

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra informatiky a výpočetní techniky

Diplomová práce

Dálkový dohled s GSM komunikací

Plzeň 2024

Josef Štědronský

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Mgr. Bc. Josef ŠTĚDRONSKÝ**
Osobní číslo: **A19N0079P**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Počítačové systémy a sítě**
Téma práce: **Dálkový dohled s GSM komunikací**
Zadávací katedra: **Katedra informatiky a výpočetní techniky**

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte možnosti komunikace pro dálkový dohled technických zařízení,
2. Prostudujte a porovnejte vlastnosti a parametry komerčních zařízení a modulů pro podobné účely.
3. Zvolte vhodnou platformu pro vlastní řešení.
4. Navrhněte vlastní řešení a podle možností realizujte navržené zařízení a změřte jeho důležité charakteristiky.
5. Proveďte diskusi dosažených výsledků a navrhněte další rozšíření.

Rozsah diplomové práce: **doporuč. 50 s. původního textu**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

dodá vedoucí diplomové práce

Vedoucí diplomové práce: **Dr. Ing. Karel Dudáček**
Katedra informatiky a výpočetní techniky

Datum zadání diplomové práce: **8. září 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2024**

L.S.

Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Přemysl Brada, MSc., Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 11. října 2023

Prohlašuji, že jsem předloženou závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně s použitím zdrojů informací a literárních pramenů, které uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Plzni dne 5. května 2024

.....

vlastnoruční podpis

Abstrakt

Tato práce se zabývá konstrukcí a softwarovým vybavením systému dálkového dohledu s GSM komunikací na platformě STM32 a jeho kooperací s některými dalšími moduly pro dálkový dohled a řízení některých funkcí domácnosti, nebo domu. Cílem práce bylo zkonstruovat systém jednoduchého dálkového dohledu, který poskytne uživateli požadovanou funkcionalitu prostřednictvím sítě GSM, pomocí DTMF a SMS ovládání a ukládání dat do cloudu, s možností přístupu po internetu. Tento systém je konstruován pro budoucí možná rozšíření a funkcionalitu na úrovni jednoduché „inteligentní domácnosti“. V práci jsou řešeny základní potřebné funkce tohoto systému a nastíněny další možnosti funkcí, kterými by mohl být postupně dovybaven.

Abstract

This work deals with the construction and software equipment of a remote monitoring system with GSM communication on the STM32 platform and its cooperation with some other modules for remote surveillance and control of certain home or household functions. The aim of the work was to design a simple remote monitoring system that would provide the user with the desired functionality through the GSM network, using DTMF and SMS control, and data storage in the cloud, with the possibility of internet access. This system is designed for possible future extensions and functionality at the level of a simple "smart home system". The thesis deals with the basic necessary functions of this system and outlines further possible functions with which it could be gradually equipped.

Seznam obrázků.....	10
Úvod.....	11
1 Teoretická část	13
1.1 Základní filosofie systémů dálkového.....	13
1.1.1 Zájem o automatizaci.....	13
1.1.2 Vývoj v poslední době.....	13
Domácí prostředí	13
Klíčové výzvy.....	14
1.1.3 Internet věcí	14
1.1.4 Možnosti realizace různých systémů vzdálené komunikace	15
1.1.5 Komunikace systémů dálkového dohledu: globální a lokální perspektiva... 15	
Globální úroveň komunikace.....	15
Lokální úroveň komunikace	15
Bezdrátová komunikace	16
Komunikace „po drátě“	16
1.1.6 Různé možnosti architektury domácí automatizace dle záměru, potřeb a dostupných technologií.....	16
Současné možnosti architektury	16
Zásadní aspekty	17
Současné možnosti komunikace.....	17
Bezdrátová komunikace	17
1.2 Možnosti komunikačních sběrnic a protokolů na lokální úrovni, „po drátě“	20
1.2.1 SPI	20
1.2.2 I2C	21
1.2.3 Controller Area Network (CAN).....	23
1.2.4 Sériové sběrnice RS-422/RS-485	25
1.3 Lokální úroveň, bezdrátová komunikace.....	28
1.3.1 ZigBee	28
1.3.2 Z-Wave	30
1.3.3 LoRa	31
1.4 Možnosti dálkového řízení – globální úroveň.....	32
1.4.1 Ovládání prostřednictvím internetu.....	32
1.4.2 Ovládání pomocí emailů.....	32
1.4.3 Ovládání prostřednictvím telefonu	32
1.4.4 DTMF – Dualní tónová multifrekvenční volba.....	33
1.4.5 Komplexní řešení s využitím internetu.....	34
1.4.6 LoRaWan & LoRa	35

LoRa	36
LoRaWAN	36
1.4.7 Možnosti dálkového ovládání pomocí GSM sítě.	38
Ovládání pomocí hlasového kanálu.....	38
Ovládání prostřednictvím SMS	38
Mobilní data.....	38
Výhody a nevýhody GSM	38
1.5 Základní stavební kameny pro funkcionalitu dálkového dohledu či inteligentní domácnosti.....	40
1.5.1 Komunikační kanály systému.....	40
1.5.2 Aktivní komponenty systémů.....	40
Centrální jednotka	40
Digitální vstupy a výstupy	40
Analogové vstupy	41
Zabezpečovací systémy - kooperace	41
Bezpečnost a ochrana u komplexních systémů	41
Prostředí – vytápění a chlazení.....	42
Měření energie a spotřeby.....	42
1.6 Hardwarové platformy potenciálně použitelné pro systémy vzdáleného dohledu a smart home systémy	44
1.6.1 Hardwarové platformy pro centrální jednotku	44
Minipočítače (např. Raspberry Pi, BeagleBone).....	44
Mikrokontroléry (např. STM32, AVR).....	44
Výběr vhodné HW platformy:.....	44
1.7 Komerčních zařízení a moduly pro účely dálkové komunikace, dohledu a smart home systémy.	46
1.7.1 Jednoduché komunikátory	46
Příklady na českém trhu	46
Univerzální GSM komunikátor a ovladač GD-04K.....	46
GD-02K-DIN Univerzální GSM komunikátor a ovladač – Jablotron.....	47
GSM Exeo DIN - GSM Ovládání na DIN lištu s radiovým modulem.....	49
1.7.2 Komplexní „smart“ systémy.....	49
Samsung SmartThings.....	50
Philips Hue	50
Home Assistant	51
Google Nest nebo Home devices	51
Další možné alternativy:.....	53
IFTTT	53

openHAB.....	53
Vlastnosti openHAB:.....	53
Homebridge	53
Home	53
ioBroker.....	54
Gladys.....	54
Domoticz	54
2 Praktická část - hardware.....	55
2.1 Možnosti pro volbu vhodné platformy	55
2.1.1 Možnosti platformy pro centrální jednotku.....	55
Vývojové desky Arduino	57
Arduino UNO rev3	57
ESP32-DEVKITC 38PIN ESP-WROOM-32 WI-FI+BT	59
Vývojové desky STM32.....	61
STM32103xx BluePill.....	61
STM32F3xx Nucleo board	63
STM32F755ZI-Q Nucleo board	65
Minipočítače Raspberry PI, BeagleBone, Uni-Pi, Raspberry Pico	67
Raspbery PI 4	67
Raspberry Compute Module.....	68
BeagleBone Black	70
Srovnání Raspberry PI 4 a Beagle Bone Black	72
2.2 Volba konkrétní platformy pro centrální jednotku	73
STM32 mikrokontroléry - vlastnosti	73
2.3 Volba způsobu interní a externí komunikace.....	75
2.3.1 Volba interní komunikace	75
2.3.2 Volba externí vzdálené (remote) komunikace	75
2.4 Volba periférií (rozděleno dle připojení)	76
2.4.1 Zařízení na sběrnici RS-485	76
RS-485 TTL To RS485 MAX485CSA Driver.....	76
Modbus RTU Relay Module 7-24V RS485 TTL UART.....	77
8CH Digital Switch RS485 Digital Input Modbus RTU	78
Temperature and Humidity Transmitter RS485 modbus RTU	79
Optically Isolated 16CH Input Board RS485 Modbus RTU	81
2.4.2 Moduly připojené na USART	83
Voice playback module.....	83
2.4.3 GSM modem SIM900	85

Specifikace:.....	85
2.4.4 Moduly I2C	87
Real Time Clock	87
Dvouřádkový systémový I2C displej	87
2.4.5 Moduly vysílač a přijímač 433 MHz (teplotní čidla, čidla vlhkosti).....	88
2.5 Volba SW platformy	89
2.5.1 Vývojové prostředí STM CubeIDE.....	89
2.5.2 CubeMX – grafický nástroj konfigurace	90
2.6 Hardware navrhovaného zařízení	91
2.6.1 HW složení navrhovaného zařízení – použité moduly	91
2.6.2 Návrh funkcionality	92
Logické digitální signály	92
Přenos analogové hodnoty	93
Komplexnější funkce	93
Komunikační kanály pro vnější svět	93
Napájení.....	94
Další možnosti případného využití	94
3 Praktická část - softwarové řešení	96
3.1 Uživatelská konfigurace	96
3.1.1 Skriptovací jazyk	96
Proměnné	96
Hodnoty (values) – vyhodnocování výrazů.....	97
Základní typy hodnot.....	97
Hodnoty čtené z periferií	98
Šablony pro textový výstup	98
Akce (actions).....	99
Základní akce.....	99
Akce pracující s periferiemi	99
3.1.2 Struktura konfigurace	101
Systém pravidel (sekce rules).....	101
Spouštěče (triggers)	102
Příklad - termostat	102
Pravidla pro příchozí hovory (sekce incoming_call)	103
Definice hlasových menu (sekce dtmf_menu).....	104
Příklady obsluhy příchozích hovorů a menu	105
Otevření garážových vrat prozvoněním	105
Ovládání termostatu přes hlasové menu	105

Další sekce	106
3.2 Základní architektura	107
3.3 Architektura modulů	109
3.3.1 Komunikace s perifériemi	109
uartbuf.c – bufferovaná UART komunikace	109
modemdrv.c – komunikace s GSM modemem SIM900.....	109
Nízkoúrovňová část – práce s AT příkazy	109
Vysokoúrovňová část – volání, SMS a další.....	109
mp3.c – komunikace s modulem MP3 přehrávače.....	110
rf433mhz.c – příjem signálu 433 MHz teplotních čidel.....	110
rtc.c – správa hodin reálného času.....	111
modbus.c – Modbus komunikace	111
influx.c – odesílání dat do InfluxDB	111
3.3.2 Konfigurace a logika	112
app_value.c – vyhodnocování výrazů a expanze šablon	112
Vyhodnocování výrazů	112
Expanze šablon	112
app_actions.c – mechanismus akcí.....	113
app_rules.c a app_triggers.c – mechanismus pravidel a spouštěčů.....	113
Spouštěče založené na pollingu.....	113
Spouštěče založené na událostech	113
dtmf.c – obsluha hlasových menu	114
3.4 Popis modulů a jednotlivých funkcí	115
3.4.1 SW moduly základní logiky systému	115
app.c	115
app_actions.c	115
app_config.....	116
app_rules.c.....	117
app_triggers	117
app_value.c	117
3.4.2 Moduly obsluhy periférií	118
console.c.....	118
dtmf.c.....	118
gpiodrv.c	119
i2c_lcd.c.....	119
influx.c	120
modbus.c.....	120

mp3.c.....	121
modemdrv.c.....	122
rf433mhz.c.....	123
rtc.c.....	123
Uartbuf.c.....	124
Závěr.....	125
Význam některých použitých zkratk a pojmů	128
Literatura:	129
Elektronické zdroje:.....	130
Přílohy:	134
Elektronická příloha:	134

Seznam obrázků

Obrázek 1 Arduino UNO rev3, (https://www.laskakit.cz/arduino-uno-rev3--original/)	57
Obrázek 2 Vývojový kit ESP32-DevKitC, (https://www.hwkitchen.cz/esp32-devkitc-38pin-espwroom32-wifi-bt/) (17.3.2024, 15:45).....	59
Obrázek 3 BluePill ARM STM32 STM32F103C8, (https://www.laskakit.cz/bluepill-arm-stm32-stm32f103c8-vyvojova-deska/) (18.3.2024, 10:25).....	61
Obrázek 4 NUCLEO-F303RE, (https://cz.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/NUCLEO-F303RE) (19.3.2024, 11:30).....	63
Obrázek 5 NUCLEO-H743ZI, (https://botland.cz/stm32-nucleo/15489-stm32-nucleo-h755zi-q-stm32h755zit6-arm-cortex-m7-m4-5904422323851.html) (19.3.2024, 13:30)...	65
Obrázek 6 Raspberry PI 4, (https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf) (24.3.2024, 10:20).....	67
Obrázek 7 Compute modul s konektory pro připojení do stávajícího zařízení, (https://rpishop.cz/278698/raspberry-pi-compute-module-4-wi-fi-bluetooth-ano-velikost-ram-1-gb) (24.3.2024, 10:20).....	68
Obrázek 8 BeagleBone Black, (https://rpishop.cz/beaglebone/4498-beaglebone-black.html) (24.3.2024, 17:20)	70
Obrázek 9 RS-485 Driver, (https://www.aliexpress.com/item/1005006316933270.html) (25.3.2024, 8:05)	76
Obrázek 10 RTU Relay Module, (https://www.aliexpress.com/item/1005003968454165.html) (25.3.2024, 15:00).....	77
Obrázek 11, (8CH Digital Switch RS485, (https://www.aliexpress.com/item/1005003168136880.html) (25.3.2024, 19:00).....	78
Obrázek 12 Temperature and Humidity modul, (https://www.aliexpress.com/item/1005004348103329.html) (25.3.2024, 20:00).....	79
Obrázek 13 Input board, (https://www.aliexpress.com/item/1005005221827446.html , (26.3.2024, 8:00)	81
Obrázek 14 Zvukový modul, (https://www.aliexpress.com/item/4000492977695.htm) (30.3.2024, 9:00)	83
Obrázek 15 Obrázek 11 GPRS GSM Shield SIM900 (https://dratek.cz/arduino/1215-gprs-gsm-shield-sim900-850-900-1800-1.html) (21.2.2022, 9:00).....	85
Obrázek 16 RTC modul, (https://www.aliexpress.com/item/1005004910354483.html) (31.3.2024, 14:10)	87
Obrázek 17 I2C 1602 displej, (https://www.laskakit.cz/16x2-lcd-displej-1602-i2c-prevodnik/) (31.3.2024, 17:10).....	87
Obrázek 18 Blokové schéma navrhovaného zařízení.....	91
Obrázek 19 Pracovní sestava modulů.....	92
Obrázek 20 Ukázka možností zobrazení dat z elektroměru, v systému Grafana (z jiné aplikace autora).....	95
Obrázek 21 Ukázka možností zobrazení dat z teploměrů, v systému Grafana (z jiné aplikace autora).....	95
Obrázek 22 Základní struktura běhu aplikace	108

Úvod

V dnešní době rostoucí mobility a dynamického životního stylu se čím dál více lidí potýká s potřebou udržet si přehled a kontrolu nad svým domovem, letním sídlem, chatou či jinými nemovitostmi, i když jsou fyzicky daleko. Motivací pro vytvoření této diplomové práce byla právě tato potřeba mít svou domácnost či jinou nemovitost pod kontrolou nezávisle na naší přítomnosti. Vzhledem k tomu, že člověk často musí opouštět svůj domov kvůli práci, cestování nebo dalším aktivitám, vzniká požadavek na efektivní systémy pro dálkový dohled, které umožňují monitorovat a řídit různé aspekty domácnosti na dálku. V této oblasti je často používán termín „smart home“, či „inteligentní domácnost“, což zahrnuje různé aspekty i námi zkoumaného ovládní funkcionality domácnosti vzdáleně, ale i oblast určitě „vlastní inteligence“ systémů, oblast IoT (internet of things) apod. Zahrnuje tedy i podstatně širší, modulárnější a komplexnější funkcionalitu než námi navrhované zařízení. Přesto této oblasti věnujeme pozornost v teoretické části práce, neboť nám nabízí určitou vizi možných a plánovaných rozšíření našeho systému v budoucnosti. Systém bude navržen tak, aby mohl fungovat jak minimalisticky, tak komplexně, dle potřeb daného uživatele a objektu, kde bude instalován.

V této práci jsou zkoumány možnosti, jak sledovat jak digitální stavy, například krizové situace jako jsou zaplavení, požár, nebo narušení objektu, tak obecně stavové informace, jako dosažená hladina vody v nádrži, nebo zapnutí či vypnutí určitých zařízení, stav binárních čidel. Dále jsou prozkoumány možnosti monitorování analogových veličin, jako je například teplota, vlhkost, tlak, napětí baterie apod. Součástí úvah jsou také komfort a bezpečnostní funkce, které taková zařízení obvykle nabízejí, a úvahy nad tím, co nového by mohly přinést.

Specifickým zaměřením této práce je i prozkoumat výhody a nevýhody zařízení pro dálkový dohled, která komunikují přes internet, a srovnání s možnostmi, které nabízí systémy využívající mobilní síť GSM pro ovládní pomocí SMS a DTMF a také výhody a nevýhody zařízení více či méně centralizovaných a jednoúčelových, v porovnání s komplexními distribuovanými systémy používajícími mnoho kooperujících výpočetních jednotek. Internetová připojení přináší rizika jako výpadek připojení, snadné narušení připojení či možnost „nabourání systému“, a často vyžadují stálé platby poskytovatelům internetových služeb. Naproti tomu, systémy využívající GSM nabízí jistou míru nezávislosti a spolehlivosti díky schopnosti ovládat základní funkce a sledovat základní parametry bez nutnosti internetového připojení. U složitějších systémů s mnoha výpočetními jednotkami zase narážíme na problémy s komunikací, bezpečností, zálohování napájení a mnoho dalších, což bude probráno v dalších kapitolách.

Zamýšlíme se také nad tím, jaké aspekty této technologie ocení specifické skupiny uživatelů, jako jsou například senioři. Pro ně může být jednoduchost ovládní a spolehlivost základních funkcí klíčová.

Pro tuto práci využijeme komunikace použitím GSM modulu a tónové DTMF provolby, případně SMS, k získání základních informací a ovládní několika základních prvků. Vycházíme ze zkušeností s rozsáhlejšími aplikacemi, které ukazují, že čím více komponentů musí spolupracovat, tím problematičtější je, zajistit dlouhodobou spolehlivost a jak bylo výše zmíněno, odolnost proti výpadku internetového připojení, či napájení. Navrhované zařízení by mohlo také sloužit jako záloha sofistikovanějších systémů, při jejich možném výpadku, či selhání. Primárně je však zamýšleno pro jednoduché aplikace v nemovitostech, jako chaty, zahradní domky, garáže apod. Mělo by také poskytnout jednoduchý způsob, který nebude od uživatele požadovat znalosti práce na PC, a přesto mu zajistí možnost mít pod kontrolou důležité entity své domácnosti/nemovitosti, což je například pro starší generaci

žádoucí, neboť komplikované systémy jsou v obsluze často obtížně zvládnutelné, a také obtížně zapamatovatelné, pokud jsou využívány jen občasně.

Tato práce se tedy snaží poskytnout ucelený pohled na možnosti moderních technologií dálkového dohledu a řízení domácnosti, s důrazem na praktičnost, bezpečnost a adaptabilitu v rámci různých situací a potřeb uživatelů.

1 Teoretická část

1.1 Základní filosofie systémů dálkového

1.1.1 Zájem o automatizaci

Zájem o automatizaci v domácnostech se objevil již před dlouhou dobou. První model pračky byl vyvinut v pozdních letech 18. století. Během 19. a 20. století postupně narůstal počet domácích pomocníků ve formě různých zařízení, které usnadňovaly běžnou domácnost. Vývoj šel ruku v ruce s evolucí technologií, od počátečních převážně mechanických systémů, přes elektromechanické, až po současné technologie IoT – „internet věcí“. Pokud jde o automatizaci domova, někteří by mohli tento trend považovat za projev lenosti, avšak nelze popřít, že lenost často působila jako „motor“ technologického rozvoje. V současnosti si již většina lidí těžko dokáže představit život bez domácích zařízení jako jsou automatické pračky, myčky, pekárny nebo chytré kávovary. (ELSENPIETER, 2003, str. 3)

1.1.2 Vývoj v poslední době

Vývoj výpočetní techniky přispěl k vzniku zařízení, která odpovídají vizím všudypřítomného světa. Od vynálezu počítačů, kdy jedno zařízení sloužilo více uživatelům, jsme se dostali k éře, kde jeden uživatel využívá několik zařízení. Klíčovým momentem bylo rozšíření internetu v 90. letech, které propojilo zařízení po celém světě a umožnilo jejich komunikaci pomocí dostupných technologií jako Wi-Fi, GSM, Bluetooth a RFID. Tyto technologie nyní umožňují zařízením vzájemně komunikovat a zvyšují jejich mobilitu. Pokrok v oblasti energetické nezávislosti zařízení, která nyní mohou fungovat roky na jednoduché baterie, je dalším důležitým faktorem. V různých prostředích, jako jsou vozidla, pracovní místa nebo restaurace, mohou všudypřítomná zařízení nabízet užitečné služby, které usnadňují každodenní život uživatelů. Tato prostředí umožňují uživatelům využívat různé služby, od jednoduchých elektronických agend po složitější systémy pro úsporu energie v domácnosti, což dokazuje, jak všudypřítomné výpočetní technologie přispívají k většímu pohodlí a efektivitě v běžném životě. (AL-QUTAYRI, 2010, str. 3)

Domácí prostředí

Domácí prostředí je součástí všudypřítomných aplikací, které se zaměřují na automatizaci ovládání domácích zařízení. Za tímto účelem mají elektronická zařízení v prostředí schopnost vzájemně komunikovat, přičemž použité komunikační protokoly se liší podle typu zařízení. Automatizovaná domácnost obvykle umožňuje ovládání intenzity osvětlení, otvírání a zavírání okenic, regulaci vytápění a klimatizace nebo multimediální systémy. Hlavním cílem aplikací pro domácnost je zvýšení pohodlí a zjednodušení každodenního života obyvatel, a to včetně podpory starších osob nebo rekonvalescentů. Spektrum aplikací je široké a zahrnuje dohled nad rekonvalescenty v domácím prostředí, kontrolu spotřeby energie apod. V rámci dynamického a heterogenního prostředí s různorodými zařízeními a SW, které komunikují pomocí rozličných protokolů. (AL-QUTAYRI, 2010, str. 4)

Klíčové výzvy

Distribuce: Zařízení jsou roztroušena po fyzickém prostředí a přístup k nim je možný přes různé protokoly, což vyžaduje jistou distribuci aplikací.

Heterogenita: Existuje velké množství komunikačních protokolů, přičemž dosažení konsenzu na jednotném protokolu je komplikované kvůli rozdílné povaze zařízení a zájmům výrobců udržet kontrolu nad svými produkty.

Dynamika: Dostupnost zařízení je proměnlivá, což je ovlivněno pohybem uživatelů, vypínáním zařízení nebo jejich vybíjením a pravidelnými aktualizacemi služeb.

Více poskytovatelů: Zařízení a aplikace pocházejí od různých dodavatelů, což vyžaduje spolupráci mezi různými poskytovateli.

Škálovatelnost: Schopnost systémů zvládat různá množství zařízení je klíčová, zvláště když je prostředí dynamické.

Bezpečnost: Zajištění bezpečnosti a ochrany soukromí je nezbytné, zejména při přístupu k osobním datům a zařízením.

Auto-adaptace: Systémy musí být schopné přizpůsobit se změnám v chování a potřebách uživatelů, stejně jako v dostupnosti dalšího softwaru.

Jednoduchost použití: Systémy by měly být snadno použitelné a přístupné i pro uživatele bez technických znalostí, s cílem stát se "neviditelnými" a intuitivně ovladatelnými.

Všudypřítomné prvky se snaží o maximální integraci a plynulost v každodenním životě, ale tyto výzvy ukazují na složitost vývoje a správy takových systémů.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 6-7)

1.1.3 Internet věcí

V posledním desetiletí se zařízení internetu věcí (IoT) stala neodmyslitelnou součástí našich domovů, pracovišť a veřejných prostor. Tento trend představuje revoluční krok ve způsobu, jakým interagujeme s okolním světem, a nabízí nevídané možnosti pro automatizaci, efektivitu a sběr dat. Od inteligentních termostatů, které se přizpůsobují našim potřebám, po rozsáhlé průmyslové systémy schopné předvídat údržbu zařízení, IoT zařízení transformují naše životní a pracovní prostředí.

Odhaduje se, že do roku 2025 bude po celém světě připojeno k internetu více než 75 miliard IoT zařízení. Tento nebývalý nárůst je poháněn poklesem nákladů na senzory a konektivitu, zlepšením technologie baterií a masivním rozvojem cloudových služeb. Díky tomu je možné sbírat, analyzovat a sdílet obrovské objemy dat v reálném čase, což vede k optimalizaci procesů a zlepšení kvality života.

S rostoucím počtem IoT zařízení však přicházejí i nové výzvy, zejména v oblasti bezpečnosti a soukromí. Každé připojené zařízení potenciálně představuje cíl pro kybernetické útoky, což vyvolává potřebu robustních bezpečnostních protokolů a šifrování. Kromě toho, sběr a analýza dat vyvolávají otázky týkající se ochrany osobních údajů a etiky. Řešení těchto problémů bude vyžadovat koordinované úsilí výrobců, vývojářů, regulačních orgánů a samotných uživatelů.

Budoucnost IoT slibuje další inovace a integraci do našich životů. Výzkum se soustředí na rozvoj edge computing, což je způsob zpracování dat přímo na zařízení nebo blízko něj, což snižuje závislost na cloudových serverech a zlepšuje reakční čas. Další pokroky v umělé inteligenci a strojovém učení umožní zařízením IoT lépe predikovat potřeby uživatelů a autonomně reagovat na měnící se podmínky.

<https://www.iotport.cz/iot-novinky/ostatni-clanky-o-iot/> (2.1.2024, 8:25)

1.1.4 Možnosti realizace různých systémů vzdálené komunikace

V dnešní době se možnosti vzdálené komunikace s vlastní domácností staly nejen realitou, ale pro mnohé i nutností. Od základního monitorování až po pokročilou automatizaci, současné technologie umožňují uživatelům spravovat své domovy z jakéhokoli místa na světě.

Trh nabízí širokou škálu komerčních platform pro domácí automatizaci, jako jsou Google Home, Amazon Alexa, Apple HomeKit, Samsung SmartThings a mnoho dalších. Tyto platformy poskytují integrované řešení, které uživatelům umožňuje ovládat různé aspekty svých domácností – od osvětlení a vytápění po bezpečnostní systémy a domácí zábavu.

Komunikace mezi zařízeními a centrálními platformami je zprostředkována různými protokoly a komunikačními médii. Mezi nejpoužívanější patří Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth a LoRaWAN. Každý z těchto protokolů má své specifické vlastnosti, co se týče dosahu, spotřeby energie a kapacity datového přenosu, což ovlivňuje jejich vhodnost pro konkrétní aplikace v domácí automatizaci.

Systémy domácí automatizace se liší svou komplexností a škálovatelností. Zatímco některé platformy jsou navrženy pro jednoduché aplikace a malý počet zařízení, jiné mohou zvládnout rozsáhlé systémy s desítkami nebo stovkami propojených zařízení. Vybrané řešení by mělo reflektovat potřeby a růstový potenciál každé domácnosti či nemovitosti, jako například chaty, garáže apod.

Jednou z hlavních výzev v oblasti komerční domácí automatizace je kompatibilita mezi zařízeními různých výrobců.

Výběr správné platformy a technologií pro vzdálenou komunikaci s domácností závisí na individuálních potřebách, požadavcích na kompatibilitu a očekávané škále rozšíření systému. Vše bude popsáno důkladněji v dalších kapitolách této práce.

1.1.5 Komunikace systémů dálkového dohledu: globální a lokální perspektiva

Systémy dálkového dohledu umožňují uživatelům monitorovat a ovládat svoje domácí systémy z jakéhokoli místa na světě, což přináší novou úroveň pohodlí a bezpečnosti.

Globální úroveň komunikace

Na globální úrovni se pro přístup k těmto systémům může využívat několik technologií:

Internet: Nejběžnější způsob připojení, umožňuje uživatelům přistupovat k jejich systémům prostřednictvím webového rozhraní nebo mobilní aplikace.

LoRaWAN: Dlouhé dosahy a nízká spotřeba energie činí LoRaWAN ideálním pro monitorování v odlehlých oblastech.

GSM/3G/4G/5G: Umožňuje komunikaci prostřednictvím textových zpráv (SMS) nebo mobilního internetu, což je užitečné tam, kde není dostupné Wi-Fi.

Satelitní komunikace: Poskytuje pokrytí v nejodlehlejších oblastech, i když s vyššími náklady.

Lokální úroveň komunikace

Na lokální úrovni musí systém dálkového dohledu efektivně komunikovat s různými moduly a senzory v domácnosti, což zahrnuje jak drátové, tak bezdrátové technologie:

Bezdrátová komunikace

Wi-Fi: Běžně využíváno pro připojení chytrých domácích zařízení díky své dostupnosti a snadnému nastavení.

Bluetooth (BT): Ideální pro krátké vzdálenosti a zařízení s nízkou spotřebou energie.

Zigbee / Z-Wave: Nízkopříkonové bezdrátové protokoly navržené pro automatizaci domácnosti a inteligentní domy.

RF 433 MHz / RF 2,4 GHz: Radiové frekvence vhodné pro bezdrátovou komunikaci na střední a krátké vzdálenosti.

Komunikace „po drátě“

Ethernet: Pro spolehlivou a rychlou drátovou síťovou komunikaci, vhodnou pro zařízení vyžadující vysokou propustnost.

One-Wire: Jednoduchý protokol pro komunikaci s teplotními senzory a dalšími jednoduchými zařízeními.

RS-485: Robustní drátový komunikační standard, často používaný pro průmyslové aplikace a systémy budov.

CAN (Controller Area Network): Robustní vozidlová sběrnice navržená pro efektivní komunikaci mezi mikrokontroléry v automobilových a průmyslových aplikacích bez hostitelského počítače.

SPI (Serial Peripheral Interface): Sběrnice s vysokou rychlostí datového přenosu používaná pro komunikaci mezi mikrokontroléry a různými periferními zařízeními, jako jsou senzory, paměti nebo další mikrokontroléry.

I2C (Inter-Integrated Circuit): Multimasterová, dvoulinková, sériová sběrnice používaná pro nízkonákladovou, poměrně pomalou komunikaci mezi integrovanými obvody na krátké vzdálenosti.

1.1.6 Různé možnosti architektury domácí automatizace dle záměru, potřeb a dostupných technologií

Jedním z hlavních výzev při vytváření inteligentní domácnosti je návrh infrastruktury pro implementaci aplikací domácí automatizace. Výrobci zařízení a provozovatelé internetu navrhli různé architektury.

Současné možnosti architektury

Většina současných systémů vychází z architektury, která zahrnuje webový server propojený s internetovou bránou pomocí HTTP protokolu nebo jiných protokolů nad IP. Cílem této internetové brány je přemostit lokální síť spojující různá zařízení v domácnosti s internetem. Služby domácí automatizace jsou implementovány jako distribuované aplikace běžící na internetovém serveru a na zařízeních v domácnosti. V jedné domácnosti mohou být přítomny brány od různých poskytovatelů (telekomunikační operátoři a dodavatelé elektřiny, dodavatelé zařízení pro domácí automatizaci). I když tato architektura umožňuje implementaci všudypřítomných služeb pro domácnost, trpí také některými omezeními. Většina zpracování a koordinace probíhá na straně serveru, což ovlivňuje škálovatelnost a

flexibilitu:

Server musí zvládat zvýšenou zátěž, když jsou přidány další brány nebo když se zvyšuje počet připojených zařízení v domácnosti. Množství informací přenášených mezi internetovou branou a serverem se zvyšuje úměrně s počtem zařízení v domácnosti.

Server musí znát každé nové zařízení zavedené do domácnosti, aby umožnil dynamický vývoj služeb.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 7-8)

Zásadní aspekty

Je doporučeno, aby byl systém organizován do více menších, samostatně fungujících segmentů. Obvykle se setkáme s jednou hlavní řídicí jednotkou a několika dalšími subsystémy, které se starají o specifické úkoly, jako jsou termostaty, elektronické zámky, ovládané zásuvky a podobně. Tyto subsystémy poté mohou komunikovat s hlavní jednotkou pomocí rozličných komunikačních protokolů a medií. Je vhodné, aby systém byl navržen tak, aby byl schopen integrace různorodých technologií, vzhledem k široké paletě dostupných komunikačních metod a protokolů. Samozřejmě, požadavky na přenosovou rychlost, spolehlivost a bezpečnost se mohou lišit v závislosti na konkrétní aplikaci. Dalším faktorem může být to, zda jsou subsystémy napájeny z baterie či z elektrické sítě, což ovlivňuje frekvenci a kontinuitu přenosu dat. Pokud chceme systém kombinovat s produkty různých výrobců, můžeme narazit na významné rozdíly v požadavcích na komunikaci. Důležitou charakteristikou systému by měla být jeho schopnost budoucího rozšíření, jak z hlediska množství subsystémů, tak i jejich typologie, reflektující pokrok v technologiích. Bezpečnost je další klíčovou oblastí, kde mohou být požadavky velmi rozdílné. Systém by měl být navržen tak, aby byl schopen adaptace na změny v chování uživatelů, což bude dále rozvedeno v následujících kapitolách. Nezanedbatelnou vlastností je také uživatelská přívětivost, ergonomie a intuitivní ovládání celého systému, což se týká především uživatelského rozhraní, ale i celkového přístupu k funkcionalitě.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 6-8)

Současné možnosti komunikace

Bezdrátová komunikace

V dnešní době umožňují rychlý rozvoj bezdrátových komunikací a informačních technologií vytvoření domů s různými stupni inteligence. Tyto inteligentní domácnosti jsou schopné inteligentní interakce se svými obyvateli, čímž zvyšují jejich komfort a bezpečnost. Interakce mohou zahrnovat od jednoduché regulace pokojové teploty po služby založené na kontextově uvědomělých a mobilních agenty. Jako příklad lze uvést poskytování specifického informačního obsahu v závislosti na poloze obyvatele v domě a jeho aktuálních aktivitách.

Bezdrátové sítě a senzory se stávají stále důležitějšími faktory pro rozvoj technologií všudypřítomného výpočetního prostředí, které jsou klíčové pro realizaci inteligentních domů. Rozšíření bezdrátových sítí v našem každodenním životě je umožněno díky komunikačním standardům jako Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, RFID, mobilní GSM technologie a další. Kombinace těchto standardů může být využita při budování inteligentního domu. V podstatě všechny bezdrátové technologie umožňující nějakou formu dálkového přenosu dat, senzorky a ovládání, jsou vhodné k zahrnutí do portfolia inteligentních domů.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 17)

Bluetooth je univerzální rádiové rozhraní, které umožňuje bezdrátovou komunikaci různých elektronických zařízení, jako jsou mobilní telefony a senzory, na krátké vzdálenosti. Tato technologie zjednodušila propojení zařízení tím, že nahradila drátové spojení a umožnila vytváření osobních sítí. Bluetooth zařízení pracují na volně přístupném frekvenčním pásmu 2.45 GHz a pro minimalizaci interference využívají metodu skákání frekvence. Komunikační dosah se liší podle třídy Bluetooth zařízení, od 1 metru až po 100 metrů, s nejběžnějším dosahem 10 metrů pro zařízení třídy 2. V síti Bluetooth může zařízení fungovat jako slave (podřízené) nebo master (řídící) a tvořit malé podsítě zvané piconety, kde komunikace mezi slave zařízeními probíhá přes master. Bluetooth nabízí širokou škálu aplikací pro inteligentní domy, od monitorování a ovládání spotřebičů po sítě senzorů sledující zdraví osob s postižením. Výzvy spojené s použitím Bluetooth v inteligentních domech zahrnují bezpečnostní rizika, přičemž bylo navrženo několik řešení pro zvýšení bezpečnosti a ochrany soukromí v komunikaci založené na Bluetooth.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 19-20)

ZigBee (IEEE 802.15.4) je standard pro bezdrátovou komunikaci s nízkými náklady a nízkou spotřebou energie určený pro osobní oblastní sítě (PAN). Jeho nízké náklady a spotřeba energie jej činí ideálním pro aplikace dálkového ovládání a monitorování, umožňující dlouhodobý provoz na baterie. Standard specifikuje fyzickou vrstvu a vrstvu přístupu k médiím (MAC), definuje datové rychlosti, frekvence a velikost sítě. Datové rychlosti se pohybují od 250 kbit/s do 20 kbit/s v závislosti na vzdálenosti a výkonu přenosu. Zařízení mohou fungovat v pásmech 868 MHz, 915 MHz a 2400 MHz, přičemž 2,4 GHz pásmo je preferováno pro globální použití bez licencí. Standard umožňuje vytváření sítí typu hvězda, strom a mřížka, kde mřížková topologie zvyšuje spolehlivost a dosah díky vícecestnému přenosu dat. V ZigBee síti existují tři typy zařízení: koordinátor PAN, router a koncové zařízení, s různými funkcemi od startování sítě po směrování dat. ZigBee také definuje sady aplikací pro usnadnění vývoje a nasazení kompatibilních zařízení různých výrobců.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 20-21)

RFID (Radio Frequency Identification) je systém pro bezdrátovou identifikaci objektů pomocí rádiových vln, který zahrnuje RFID značky uchovávající informace o předmětech a RFID čtečku pro jejich skenování. Značky mohou být aktivní s baterií nebo pasivní bez baterie, přičemž pasivní využívají magnetické pole čtečky pro napájení. Systémy RFID se liší podle frekvencí: nízkofrekvenční (LF), vysokofrekvenční (HF) a (UHF), s rozdíly v dosahu čtení a nákladech. Ve smart home prostředích lze RFID využít pro připojení objektů k domácí síti s unikátními identifikátory pro sledování jejich polohy nebo pro identifikaci polohy obyvatel domu pomocí RFID.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 21-22)

GSM (Globální systém pro mobilní komunikaci) je technologie, která vyvolala revoluci v oblasti mobilních komunikací. V uplynulém desetiletí byly představeny nové generace GSM, včetně GPRS, UMTS a dalších, za účelem zlepšení rychlosti přenosu a nabídky nových typů služeb. GSM, známé také jako mobilní síť, využívá princip opětovného využití frekvencí. Za tímto účelem je určitá geografická oblast rozdělena na buňky. Velikost buňky obvykle závisí na místní distribuci a poptávce po provozu.

Mobilní bezdrátový systém, jako je GSM/GPRS, se používá k poskytování komunikace

hlasem i daty. Jednou z cenově efektivních služeb, kterou síť nabízí a která může být využita pro aplikace chytrých domů, je SMS (služba krátkých textových zpráv). Obsah SMS může být zpracován pomocí vhodného programu za účelem vykonání příkazů pro monitorování a kontrolní operace. Možnost použití sítě GSM znamená, že je možný dálkový přístup a ovládání chytrého domu.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 22)

Wi-Fi, IEEE 802.11, je standard pro bezdrátové komunikace v lokálních sítích (WLAN) v pásmu 2,4, 3,6 a 5 GHz. Umožňuje uživatelům přístup k síti téměř odkudkoli bez omezení pohybu a nabízí ekonomické řešení pro prostory, kde je instalace kabelů problematická, jako jsou staré budovy. V rámci Wi-Fi standardu se rozlišují dva typy zařízení: přístupový bod (AP) a bezdrátové zařízení, klient, například notebook s bezdrátovým síťovým rozhraním. Hlavní funkcí AP je propojení kabelové sítě a bezdrátové sítě, přičemž jeden AP může obsluhovat dle typu cca 30 bezdrátových zařízení a pokrýt oblast 33–50 metrů uvnitř budov a až 100 a více metrů venku. Zařízení mohou být propojena buď prostřednictvím infrastrukturní topologie nebo ad-hoc topologie.

Infrastrukturní topologie, často označovaná jako AP topologie, se skládá z AP a sady bezdrátových zařízení rozdělených do základních buněk řízených AP. Pro rozšíření pokrytí lze použít více takových buněk. Bezdrátové sítě umožňují připojení k službám pevné LAN sítě, jako jsou servery, tiskárny a přístup k internetu, a to prostřednictvím distribučního systému, který propojuje různé AP, buď kabelově, nebo bezdrátově. Distribuční systém zajišťuje přenos datových paketů mezi různými buňkami v síti.

Na druhou stranu, ad-hoc topologie umožňuje dynamické vytváření sítí mezi Wi-Fi zařízeními bez nutnosti připojení k AP nebo pevné síti, což je ideální pro rychlé a snadné nastavení bezdrátové sítě.

Norma IEEE 802.11, podobně jako norma IEEE 802 pro LAN a metropolitní síť (MAN), se zaměřuje na dvě nejnižší podvrstvy referenčního modelu OSI: fyzickou vrstvu a vrstvu datového odkazu. Standard IEEE 802.11 se vyvíjel a definuje systémy pro pásma 2,4 GHz (např. 802.11b/g) a 5 GHz (např. 802.11n), přičemž 802.11n podporuje vyšší rychlosti přenosu dat, což je výhodné zejména pro streamování videa v chytrých domech. Avšak původní standardy 802.11a/b/g mají pro aplikace vyžadující vysokou šířku pásma a real-time přenos omezení, i když se díky pokrokům v technologiích kodeků snižují požadavky na šířku pásma pro streamování videa. Nicméně další aplikace, jako je video vysokého rozlišení nebo VoIP, zvyšují potřebu větší šířky pásma.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 23-24)

1.2 Možnosti komunikačních sběrnic a protokolů na lokální úrovni, „po drátě“

1.2.1 SPI

Serial peripheral interface (SPI) je jedno z nejčastěji používaných rozhraní mezi mikrokontrolérem a periferními integrovanými obvody, jako jsou senzory, ADC, DAC, posuvné registry, SRAM a další.

SPI je synchronní, plně duplexní rozhraní. Data z hlavního uzlu nebo z podřízeného uzlu jsou synchronizována s hranou hodinového signálu. Hlavní i podřízený uzel mohou posílat data současně.

Čtyřdrátová zařízení SPI mají čtyři signály:

- Hodinový signál (SPI CLK, SCLK)

- Výběr čipu – Chip Select (CS)

- výstup master, vstup slave (MOSI)

- vstup master, výstup slave (MISO)

Zařízení, které generuje hodinový signál, se nazývá master. Data přenášená mezi masterem a podřízeným uzlem (slave) jsou synchronizována s hodinovým signálem generovaným hlavním. Zařízení SPI podporují mnohem vyšší frekvence hodin oproti rozhraním I2C.

Rozhraní SPI může mít pouze jednoho mastera a může mít jeden nebo více podřízených uzlů. Signál CS pro výběr čipu z hlavního uzlu se používá k výběru podřízeného uzlu, tedy v případě více slave uzlů vyžadován individuální signál CS pro výběr čipu pro každý podřízený uzel.

MOSI a MISO jsou datové linky. MOSI přenáší data z hlavního uzlu do podřízeného a MISO přenáší data z podřízeného uzlu do hlavního.

Pro zahájení komunikace SPI musí master odeslat signál hodin a vybrat podřízenou jednotku (slave) aktivací signálu CS. Obvykle je signál pro výběr čipu aktivní v nízké úrovni. SPI je full-duplexní rozhraní. Jak master, tak slave mohou současně posílat data přes linky MOSI a MISO. Během komunikace SPI jsou data současně přenášena (serializována na sběrnici MOSI/SDO) a přijímána (data na sběrnici MISO/SDI). Hrana sériových hodin synchronizuje posouvání a vzorkování dat. Rozhraní SPI poskytuje uživateli flexibilitu ve výběru vzestupné nebo sestupné hrany hodin pro vzorkování a/nebo posouvání dat.

V režimu zapojení „daisy chain“ jsou subuzly nastaveny tak, že signál pro výběr čipu je propojen mezi všemi subuzly a data se postupně předávají z jednoho subuzlu na další. V této konfiguraci všechny subuzly přijímají stejný SPI hodinový signál současně. Data z hlavního uzlu jsou přímo propojena s prvním subuzlem, který poté předává data dalšímu subuzlu a tak dále.

DAISY-CHAIN je dalším možným způsobem využití SPI. V této metodě, jak se data šíří z jednoho sub-uzlu na další. Počet hodinových cyklů potřebných k přenosu dat je pak úměrný pozici sub-uzlu v řetězci. Režim „daisy chain“ není nutně podporován všemi zařízeními SPI.

(<https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/introduction-to-spi-interface.html>) (2.1.2024, 9:25)

SPI není přesně definovaný protokol a na trhu dnes existuje mnoho "variant" SPI. Na rozdíl od protokolů jako je I²C, SPI nedefinuje frekvenci hodinového signálu, která by měla být použita. Běžné frekvence pro SPI jsou kolem 10 MHz. S technologiemi jako je FPGA je

poměrně snadné používat frekvence hodin až 50 MHz nebo dokonce 100 MHz.

Using SPI protocol at 100 MHz <https://www.byteparadigm.com/files/documents/Using-SPI-Protocol-at-100MHz.pdf> (3.5.2024, 15:30)

Vzhledem ke specifikaci, nepředpokládáme využití SPI rozhraní v naší práci. Hodí se spíše pro vysoké rychlosti a větší objem dat na krátké vzdálenosti, tedy v našem případě pro periférie v blízkosti řídicí jednotky. Námi plánované periferní moduly nepodporují toto rozhraní. Nicméně řada obvodů toto rozhraní díky parametrům používá, například BMS obvody monitorování a balancování, ADC a DAC převodníky apod.

1.2.2 I2C

„Inter-integrated Circuit“, známý jako IIC či I2C, byl vyvinut jako komunikační protokol pro vzájemnou komunikaci různých integrovaných obvodů na základní desce, jako jednoduchý vnitřní sběrnice systém. Tento standard byl původně vyvinut firmou Philips Semiconductors (nyní NXP Semiconductors) na konci 70. let. Byl zvláště navržen pro snadné připojení CPU k periferním čipům v televizorech. Proto byla zavedena dvou vodičová komunikační sběrnice, kterou dnes známe jako protokol sběrnice I2C, umožňující komunikaci mezi periferními IC v elektronických systémech pomocí jednoduchého komunikačního hardwaru.

Dnes se I2C stalo de facto světovým standardem, který je implementován ve více než 1000 různých integrovaných obvodech a je licencován více než 50 společnostem, včetně předních výrobců jako Xicor, ST Microelectronics, Infineon Technologies, Intel, Texas Instruments, Maxim, Atmel, Analog Devices a dalších.

I2C sběrnice se navíc používá v různých kontrolních architekturách, jako je System Management Bus (SMBus), Power Management Bus (PMBus), Intelligent Platform Management Interface (IPMI), Display Data Channel (DDC) a Advanced Telecom Computing Architecture (ATCA).

(Dawoud, 2022, str. 3-4)

Terminologie sběrnice I2C:

Vysílač: Zařízení odesílající data nebo zprávu přijímači.

Přijímač: Zařízení přijímající data nebo zprávu.

Master (řídící): Zařízení, které generuje hodinové signály, zahajuje a ukončuje přenos. Může také fungovat jako vysílač/přijímač.

Slave (podřízený): Zařízení adresované masterem, může také fungovat jako vysílač/přijímač.

Multi-master: Více masterů může současně ovládat sběrnici bez poškození dat/zpráv.

Arbitráž: Postup zajišťující, že pokud se více masterů pokusí současně ovládat sběrnici, bude to povoleno pouze jednomu a data nebudou poškozena.

Synchronizace: Postup pro synchronizaci hodinových signálů dvou nebo více zařízení.

Sériová datová linka (SDA): Linka, na které probíhá veškerý přenos dat mezi zařízeními.

Sériová hodinová linka (SCL): Hodinový signál sběrnice.

I2C je synchronní protokol, SCL se používá ke synchronizaci všech zařízení a přenosu dat.

(Dawoud, 2022, str. 6)

Protokol I2C

Jedná se o velmi jednoduchý protokol popisující formát zpráv při komunikaci mezi integrovanými obvody na sběrnici, včetně časování celé transakce od začátku do konce. Transakce I2C se skládá z jedné nebo více zpráv, kde každá zpráva začíná *start* a končí *stop* symbolem. Existují zprávy čtení a zápis. Jednoduchá transakce obsahuje buď jednu čtecí nebo zápisovou zprávu, zatímco kombinovaná transakce může obsahovat více zpráv, typicky zápis adresy následovaný čtením. Sběrnice I2C fyzicky obsahuje dva aktivní vodiče: datovou linku (SDA) a hodinovou linku (SCL), plus jeden zemní vodič. Tyto vodiče jsou obousměrné, zařízení je na sběrnici připojeno pomocí otevřených kolektorů. Když je sběrnice neaktivní, je v *high* logickém stavu díky externímu *pull-up* rezistoru. Signalizace na sběrnici se provádí aktivací výstupního tranzistoru čipu, který táhne sběrnici do nízké úrovně. Díky tomu funguje sběrnice jako logické AND. Pokud sběrnici stažena jedním zařízením do nuly, ostatní čipy ztrácejí právo na přístup k sběrnici, což se využívá pro arbitráž sběrnice.

Zařízení I2C

Na sběrnici I2C lze připojit různé typy zařízení. Zařízení stejné logiky (například TTL nebo CMOS) s identickým napájecím napětím mohou být snadno propojena. Využívají sdílenou hodinovou linku (SCL) pro synchronizaci dat přenášených po datové lince (SDA). Vzhledem k tomu, že zařízení jsou propojena metodou logického AND, sběrnice je volná, když jsou SDA a SCL ve vysoké úrovni. Toto umožňuje arbitráž sběrnice, pokud je na ní více než jeden master.

(Dawoud, 2022, str. 6-10)

I2C je synchronní sběrnice, obsahuje tedy hodinový signál (clock), který přesně určuje, kdy přijímač čte data na datové lince. Díky této synchronizaci může rychlost přenosu dat dosáhnout hodnot jako 100 kbit/s, 400 kbit/s, 1 Mbit/s nebo dokonce 3.4 Mbit/s. Komunikace probíhá pouze přes dva vodiče: SDA pro data a SCL pro hodinový signál. Všechna zařízení na sběrnici tyto vodiče sdílejí, což umožňuje komunikaci mezi libovolnými zařízeními. Nicméně, obsluha je implementačně složitější. Typicky se na sběrnici I2C vyskytuje jedno hlavní zařízení (Master), které kontroluje veškerou komunikaci, a několik řízených zařízení (Slave). Master zahajuje komunikaci s vybranými zařízeními a nemusí se obávat, že by jeho komunikaci někdo narušil. V případě, že se na sběrnici nachází více Masterů, musí tato zařízení dodržovat určitá pravidla, aby mohla na sběrnici fungovat společně a neinterferovat navzájem.

http://www.elektromys.eu/clanky/ele_i2c/clanek.html#:~:text=I2C%20je%20synchronní%20sběrnice%2C%20má,nebo%20až%203.4Mbit%2Fs. (3.5.2024, 17:30)

Jaké jsou tedy skutečné přednosti a omezení I2C pro použití v systémech smart home? I2C používá pouze dva vodiče – jeden pro data (SDA) a jeden pro hodinový signál (SCL), což usnadňuje zapojení a snižuje hardwarové náklady. Díky tomu je I2C vhodný pro propojení malého počtu zařízení, na malou vzdálenost.

Další výhodou je, že I2C podporuje více masterů a slave zařízení v jedné síti, což umožňuje flexibilní konfiguraci systému. V smart home kontextu to může znamenat, že různé komponenty systému mohou efektivně komunikovat a spolupracovat, aniž by bylo nutné vše centralizovat. Tato flexibilita je užitečná pro malé systémy, které mohou v průběhu času růst nebo se měnit.

Avšak, I2C má také několik omezení. Jedním z hlavních omezení je dosah a rychlost přenosu. I2C je navržen pro komunikaci na krátké vzdálenosti. Rychlost přenosu dat je také relativně

nížká ve srovnání s jinými technologiemi.

Dalším významným omezením je náchylnost k rušení.

Pro účely naší práce by tato sběrnice byla vhodná například pokud bychom měli nějaké moduly přímo v rozvaděči, kde bude umístěna centrální jednotka, tedy v našem případě zvukový modul a modul reálného času RTC.

1.2.3 Controller Area Network (CAN)

CAN sběrnice je specializovaná k propojení komponent uvnitř vozidla (např. automobilu, autobusu, vlaku apod.). Je vhodná kvůli specifickým požadavkům na řízení vozidel, jako je zajištění doručení zpráv, absence konfliktů ve zprávách, minimální doba doručení, nízké náklady, odolnost vůči elektromagnetickému rušení, redundantní směrování. Tradiční technologie počítačových sítí (jako Ethernet a TCP/IP) se používají zřídka, s výjimkou letectví, kde se využívá ARINC 664, jako je například Avionics Full-Duplex Switched Ethernet. Letadla využívající AFDX zahrnují B787, A400M a A380.

(Dawoud, 2022, str. 138)

Protokol CAN, který je založen na zprávách, nevyužívá tradiční adresaci zařízení. Místo toho rozesílá zprávy všem uzlům v síti s unikátním identifikátorem obsahu zprávy, bez specifikace odesílatele nebo příjemce. Uzly poté zprávu vyhodnotí a rozhodnou, zda je pro ně relevantní. Například informace ze senzoru airbagu mohou být poslány přes CAN do routeru bezpečnostního systému a odtud distribuovány dalším uzlům. CAN také používá identifikátor pro určení priority zpráv při přístupu k sběrnici, kde nižší hodnota znamená vyšší prioritu. Tento systém umožňuje tzv. „nedestruktivní arbitráž“, která zajišťuje, že v případě souběžného vysílání více uzlů jsou zprávy odesílány podle priority a žádná zpráva není ztracena.

V případě selhání jednoho modulu (uzlu) na CAN bus to obvykle nevede k selhání ostatních modulů, pokud nejsou tyto systémy přímo navzájem závislé. To zvyšuje celkovou bezpečnost systému.

Protokol také nabízí jednoduché rozhraní pro připojení dalších uzlů, které mohou sloužit pro diagnostiku, re-programování, monitorování a další účely. Existuje řada nástrojů a řešení pro propojení s CAN bus. Například převodníky USB na CAN, wireless na CAN, PCIx na CAN a dokonce i logger dat CAN bus.

(Dawoud, 2022, str. 139 - 140)

Detekce chyb a zabezpečení v CAN

CAN obsahuje několik mechanismů detekce chyb, které dokážou odhalit téměř jakoukoli chybu v datech na úrovni zprávy i bitu a v případě detekce chyby vynutit zničení a opětovné vyslání zprávy. Použití těchto mechanismů zajišťuje, že přijaté zprávy jsou bez chyb a obsahují platná data. Tyto mechanismy také zaručují, že uzly nepřijdou o žádnou zprávu.

Existují mechanismy hesel pro přenos dat, které mohou měnit software řídicí jednotky, jako je stahování softwaru nebo kódy zapalovacích klíčů, ale obvykle se nepoužívají pro standardní komunikaci.

(Dawoud, 2022, str. 143)

Aplikace sběrnice CAN

Původně vyvinutý pro automobilový průmysl, dnes se protokol sběrnice CAN používá v řadě dalších oblastí. Díky jednoduchému systému propojení jednotlivých modulů do jedné

centrální řídicí sběrnice se začal využívat protokol CAN v průmyslových montážních linkách, vozidlech, zdravotnických přístrojích, testovacím vybavení mobilních zařízení i jakékoli další technice s více moduly, které musí mezi sebou komunikovat.

Na základě spolehlivosti a efektivity protokolu roste i jeho využití ve zdravotnických a vojenských zařízeních.

Aplikace: Automobily

Největší procesor je obvykle řídicí jednotka motoru. Další jednotky jsou pak používány pro převodovku, airbagy, protiblokovací brzdový systém/ABS, tempomat, elektrické posilovače řízení/EPS, audio systémy, okna, dveře, nastavení zrcátek atd. Některé z těchto systémů fungují nezávisle, ale komunikace mezi ostatními je nezbytná. Standard CAN byl vyvinut, aby splnil tyto potřeby. Dnes se sběrnice CAN používá i jako fieldbus v obecném automatizačním prostředí, hlavně kvůli nízké ceně některých kontrolérů CAN a procesorů.

(Dawoud, 2022, str. 143-144)

Některé vlastnosti sběrnice CAN:

Efektivní komunikace: CAN umožňuje efektivní komunikaci mezi různými mikroprocesory bez nutnosti zvyšování počtu kabelů díky absenci centrálního řízení. Každý procesor v systému může přímo odesílat a přijímat zprávy, což v některých případech redukuje potřebu kabeláže až o 90 %.

Sdílení měření: Více jednotek může využívat měření přenášené přes sběrnici, eliminuje se tak potřeba individuálních senzorů pro každou jednotku.

Flexibilita a rozšiřitelnost: Díky použití identifikátorů zpráv namísto adresace je systém flexibilní a jednoduše konfigurovatelný a nové uzly mohou být snadno přidány nebo odstraněny bez potřeby změn v existujícím hardwaru nebo softwaru.

Přístupnost a testování: Každá jednotka v systému CAN může být vyvíjena a testována samostatně, což zvyšuje pravděpodobnost správné funkce celého systému.

Rovnoprávnost uzlů: Uzly v systému CAN jsou spojeny do řetězce a jsou si rovné, což zajišťuje kontinuitu funkce systému i při selhání jednoho z procesorů.

Krátké zprávy: CAN zprávy jsou krátké, maximálně osm bajtů, což je ideální pro spouštění událostí nebo přenos naměřených veličin, jako jsou teplota, tlak apod.

Vysoká spolehlivost: Díky rozsáhlým mechanismům pro kontrolu chyb je CAN velmi robustní systém.

Vysoká propustnost: Systém CAN dokáže přenést až 7600 osmibajtových zpráv za sekundu.

Připojená zařízení: Zařízení připojená k síti CAN jsou obvykle senzory, aktuátory a řídicí zařízení. Zprávy posílané po CAN nikdy nedorazí do těchto zařízení přímo, ale je nutný hostitelský procesor a kontrolér CAN mezi těmito zařízeními a sběrnicí.

(Dawoud, 2022, str. 148 - 149)

Bitové rychlosti a délky sběrnice

Různé faktory ovlivňují maximální možnou bitovou rychlost. Mezi tyto faktory patří:

Délka sběrnice, Čas šíření signálu, Čas potřebný elektronickými obvody k vysílání a přijímání těchto signálů.

Zvýšení délky sběrnice zvyšuje sumu času šíření signálu a času potřebného pro vysílající a přijímající zařízení. Například pro dosažení rychlosti 1 Mbps je maximální možná délka sběrnice specifikována jako 25 metrů. Pro delší délky sběrnice je nutné snížit bitovou rychlost, např. pro 1 km na 50kbps.

(Dawoud, 2022, str. 157)

Controller Area Network (CAN) byl původně navržen pro automobilový průmysl, ale jeho potenciální využití pro smart home systémy malého rozsahu stojí za zvážení. CAN bus umožňuje různým zařízením v síti komunikovat mezi sebou bez nutnosti centrálního počítače, což může přinést zajímavé výhody.

Robustnost a spolehlivost jsou základními atributy CAN, díky čemuž je velmi odolný proti rušení. CAN podporuje multi-master komunikaci, což umožňuje každému zařízení v síti stát se iniciátorem komunikace. V kontextu smart home to znamená, že různá zařízení, jako jsou senzory, termostaty a osvětlení, mohou mezi sebou efektivně komunikovat bez závislosti na centrálním řídicím systému. Tato decentralizace může zvýšit celkovou odolnost systému proti selhání jednotlivých komponent.

Původně navržen pro vozidla, CAN může být složitější na implementaci a může vyžadovat více hardwarové podpory než jiné síťové technologie, které jsou pro smart home systémy specificky určeny, jako je ZigBee nebo Z-Wave.

Z popisu sběrnice CAN vyplývá, že i pro naši práci se jeví jako vhodný kandidát pro komunikační sběrnici pro různé moduly uvnitř budovy.

1.2.4 Sériové sběrnice RS-422/RS-485

RS-422 a RS-485 dva standardy sériové komunikace definované organizací Electronics Industry Association, přesněji jako EIA/TIA-422 a EIA/TIA-485. Tyto komunikační systémy přenášejí data přes kroucenou dvoulinku. Zařízení mohou být od sebe vzdálena až 1220 metrů, než je potřeba použít opakovače. RS-422 drivery mohou vysílat až pro 10 přijímačů. Na jednu sběrnici RS-485 se může připojit až 32 transceiverů. Systémy RS-422/485 mohou komunikovat rychlostí až 10 Mbps, ale z pravidla pracují na nižších přenosových rychlostech. Obě sběrnice využívají symetrické výstupy a diferenciální vstupy, což zajišťuje lepší odolnost proti rušení než např. RS-232. To umožňuje provoz na delší vzdálenosti a s vyššími rychlostmi než při použití RS-232.

RS-485 lze použít v systémech se dvěma nebo čtyřmi vodiči. Třístavové vysílače u RS-485 umožňují připojit více transceiverů (párů vysílač/přijímač) k dvouvodičové multidrop sběrnici. Alternativně lze použít čtyř-vodičový systém, kde je driver hlavního uzlu (master node) připojen ke všem přijímačům podřízených (slave) a všechny drivery slave jsou připojeny k přijímači hlavního uzlu (master).

RS-485 je základem mnoha komerčních a průmyslových datových komunikačních systémů. Průmyslové systémy jako PROFIBUS, INTERBUS a další jsou postaveny na technologii RS-485. RS-422 se historicky používal v starších počítačích.

Standardy EIA/TIA-422 a EIA/TIA-485 nedefinují protokoly. Jsou pouze standardy fyzické vrstvy a nespécifikují ani konektory ani rozložení pinů. RS-422 a RS-485 lze tedy implementovat v mnoha systémech a aplikacích. Často se standardy používají k rozšíření sériových spojů nebo k síťovému propojení zařízení, které dříve nebylo vzájemně propojeno. Systémy využívající protokol MODBUS jsou často propojeny pomocí vícebodových sítí RS-485.

RS-422 And RS-485 Applications Ebook str. 6-8, <https://advantech-bb.com/wp-content/uploads/2014/12/RS-422-RS-485-eBook.pdf> (4.1.2024, 8:25)

Síťové schopnosti.

Na rozdíl od omezení RS-232 na dvě zařízení je RS-485 rozhraní typu multi-drop, které může obsahovat více vysílačů a přijímačů. S přijímači s vysokou impedancí může mít spoj RS-485 až 256 uzlů. Dlouhé spoje. Linka RS-485 může být dlouhá až 4000 stop, ve srovnání s typickým limitem 50 až 100 stop pro RS-232. Rychlost. Přenosová rychlost může dosáhnout až 10 megabitů za sekundu

(Axelson, 2000, str. 186)

Propojení sběrnice

V systémech RS-485 se používá mnoho různých zařízení. Některá zařízení mají oddělené vysílací a přijímací datové linky, což umožňuje jejich použití v systémech RS-422 nebo RS-485 s čtyřmi vodiči. Jiná mají vnitřně propojené vysílací a přijímací datové linky, takže se mohou používat pouze v režimu se dvěma vodiči. Některá lze přepínat na 2 nebo 4. Některé čipy přijímačů jsou vyrobeny s interně propojenými vysílacími a přijímacími datovými linkami, což je trvale konfiguruje jako zařízení se dvěma vodiči. Specifikace EIA-485 označuje datové linky jako A a B. Někteří výrobci označují systémy se dvěma vodiči jako DATA A a DATA B a systémy se čtyřmi vodiči jako TDA, TDB, RDA a RDB. Obrácení polarity zařízení RS-485 nepoškodí, ale nebude komunikovat.

RS-422 And RS-485 Applications Ebook str. 13-14, <https://advantech-bb.com/wp-content/uploads/2014/12/RS-422-RS-485-eBook.pdf> (4.1.2024, 8:45)

Třístavové řízení sběrnice

Jednou z důležitých vlastností systémů RS-485 je možnost přidávat uzly do vícebodové sítě. Aby to bylo možné, výstupy všech driverů RS-485, které právě nevysílají, musí být účinně odpojeny od přenosové linky. Bez této funkce by drivery, které jsou typicky v nečinném stavu, když nevysílají, udržovaly na přenosové lince negativní napětí (logická 1). Pokud by jiný driver připojený k téže přenosové lince začal odesílat data, nedokázal by linku přetáhnout do stavu logické 0. Tomuto jevu se říká konflikt na sběrnici.

Aby bylo možné používat několik driverů na jedné přenosové lince, mají symetrické drivery RS-485 vstup pro „enable“. Ovládním tohoto vstupu enable lze driver účinně odpojit od přenosové linky. V odpojeném stavu se výstup stává vysokou impedancí vůči lince a vůbec neovlivňuje stav linky. To efektivně přidává třetí stav výstupu driveru. Kvůli třem stavům (logická 0, logická 1 a vysoká impedance) se výstup zařízení nazývá třístavový (tri-state). Když je ve stavu vysoké impedance, bývá výstup někdy označován jako "tri-stated". Typicky systémech se ovládním vstupu pro povolení driveru provádí pomocí ovládním.

RS-422 And RS-485 Applications Ebook str. 13-14, <https://advantech-bb.com/wp-content/uploads/2014/12/RS-422-RS-485-eBook.pdf> (4.1.2024, 10:45)

Rychlost

Rychlost spojení RS-485 může dosahovat až 10 Mbps a fungovat až na vzdálenost 1200 metrů, ale nikoli zároveň. Delší kabely vyžadují nižší rychlost přenosu dat. Na velké vzdálenosti kapacita kabelu zpomaluje přechody signálu. Při rychlostech až do 90 kbps podporují RS-485 a RS-422 délky kabelů až 1200 metrů. Při vyšších rychlostech maximální povolená délka kabelu klesá, na přibližně 120 metrů při 1Mbps a 15 metrů při 10Mbps.

(Axelson, 2000, str. 193)

Ovládání odesílání dat

Driver RS-485 je aktivován hned, jakmile jsou na vstupu zjištěna data, a deaktivován po uplynutí doby odpovídající délce jednoho znaku od okamžiku, kdy data přestanou být přijímána, čímž eliminuje potřebu aktivovat hardwarovou signalizační linku při každém přenosu dat. To řeší retriggerable monostabilní klopný obvod.

Protože doba potřebná pro přenos jednoho znaku se liší v závislosti na baudové rychlosti, musí být čas tohoto obvodu konfigurovatelný. Některá zařízení RS-485 jsou z výroby nastavena s přednastavenými hodnotami R/C pro 9600 baudů. Jiná mají předvolby, které lze vybrat přepínačem. Při nastavování doby trvání časového obvodu je třeba opatrnosti. Pokud je čas příliš krátký, může dojít k vypršení času dříve, než bude celý znak přenesen, což by vedlo k opakovaným pokusům o odeslání zprávy. Pokud je čas příliš dlouhý, může dojít ke ztrátě začátku dat od posledního dotazovaného uzlu. (V systému typu master/slave si master vyžádá data, takže žádný uzel kromě toho, který byl masterem osloven, by neměl odesílat nebo odpovídat.)

RS-422 And RS-485 Applications Ebook str. 19-20, <https://advantech-bb.com/wp-content/uploads/2014/12/RS-422-RS-485-eBook.pdf> (4.1.2024, 11:35)

Z výše popsaných vlastností jeví se nám sběrnice RS-485 jako jeden z favoritů pro naši práci. Důvodem je jednoduchost implementace, robustnost a dostupnost velkého množství hotových modulů pro tuto sběrnici, které tedy není potřeba navrhovat. Sběrnice se po budově snadno rozvede např. jedním UTP kabelem, má napájení z jednoho bodu, tudíž také bezproblémové zálohování napájení. Tyto vlastnosti se nám jeví jako vhodné pro plánovaný model funkcionality.

1.3 Lokální úroveň, bezdrátová komunikace

1.3.1 ZigBee

ZigBee je bezdrátová síť pro senzory a ovládání, kterou vyvinula aliance ZigBee. Je navržena s ohledem na efektivitu, nízkou spotřebu energie a využití v různých aplikacích, od domácí automatizace po průmyslové monitorování.

Typy zařízení a topologie:

ZigBee definuje tři hlavní typy zařízení: koordinátor, router a koncové zařízení. Zařízení mohou také působit jako trust centrum nebo brána. Nabízí topologie hvězda, strom a mřížka (mesh). Využívá architekturu vrstev pro svůj protokol a IEEE 802.15.4 pro své fyzické a MAC vrstvy.

Adresace a protokolová architektura:

Poskytuje přímou, skupinovou a vysílací adresaci. Koncové zařízení ZigBee může mít až 240 koncových bodů, kde každý koncový bod může reprezentovat jinou aplikaci. Architektura protokolu ZigBee se skládá z aplikační, aplikační podpůrné subvrstvy a síťových vrstev.

ZigBee PRO:

Používá topologii mřížky. Nabízí stochastickou adresaci, skupinovou adresaci, asymetrické spojení, fragmentaci a frekvenční agilitu. Frekvenční agilita může být použita k boji proti rušení. Nabízí směrování od mnoha k jednomu a multicastové směrování. Poskytuje standardní a vysoké bezpečnostní režimy. ZigBee PRO poskytuje správu spojení. Koncová zařízení ZigBee PRO jsou napájena pouze bateriemi.

Výhody Technologie ZigBee:

Efektivní komunikace mezi různými mikroprocesory bez zvýšení potřeby kabeláže.

Rozšiřitelnost s vysokým stupněm flexibility.

ZigBee je široce uznávaná a používaná technologie pro vytváření bezdrátových sítí osobní oblasti (Personal Area Networks - PAN) s nízkým přenosem dat a nízkou spotřebou energie. Díky svým specifikacím a vlastnostem je ideální pro řadu aplikací v domácí automatizaci, průmyslu, zdravotnictví a inteligentních energetických systémech.

Klíčové aspekty a charakteristiky technologie ZigBee:

Přenosové rychlosti ve vzduchu 250 kbps, 40 kbps a 20 kbps, což umožňuje efektivní využití energie pro aplikace s nízkou potřebou přenosu dat.

Podporuje hvězdicové a mesh (peer-to-peer) topologie, což zvyšuje flexibilitu sítě a zajišťuje vysokou spolehlivost díky schopnosti dat procházet skrze více uzlů k dosažení cíle.

Alokace zaručených časových slotů (GTS) zlepšuje efektivitu komunikace v sítích s vysokou hustotou zařízení. Využívá CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) pro přístup ke kanálu, což minimalizuje riziko kolizí při přenosu dat.

Bezpečnost:

Bezpečná komunikace je zajištěna použitím AES (Advanced Encryption Standard) s 128bitovými kryptografickými klíči, což zajišťuje ochranu dat proti neoprávněnému přístupu.

Protokolový Stack a Aplikace:

ZigBee je postaveno na standardu IEEE 802.15.4, který definuje vrstvy MAC a fyzické vrstvy pro LR-WPAN. Specifikace ZigBee definuje síťové, bezpečnostní a aplikační vrstvy. (Dawoud, 2022, str. 253-255)

ZigBee aplikační profily

Aliance ZigBee vyvinula tyto aplikační profily:

Chytrá energie: ZigBee umožňuje rychlé čtení údajů z elektroměrů, plynoměrů a vodoměrů. Síť ZigBee pro chytrou energii umožňuje bezdrátovou komunikaci mezi pokročilou měřicí infrastrukturou (AMI) a domácí sítí, což zlepšuje energetickou efektivitu a řízení špičkového odběru.

Automatizace komerčních budov: V komerčních budovách může být ZigBee klíčovým nástrojem pro údržbu. Umožňuje bezdrátové monitorování požárních čidel a stavu požárních dveří, což zjednodušuje kontrolu bezpečnostních systémů.

Automatizace domácnosti: Profil pro automatizaci domácnosti definuje zařízení pro rezidenční i komerční využití. ZigBee umožňuje dálkové ovládání osvětlení, vytápění, chlazení a zamykacích mechanismů, stejně jako dálkový monitoring čidel a bezpečnostních systémů domácnosti.

Osobní, domácí a nemocniční péče (PHHC): Tento profil slouží k monitorování zdravotního stavu pacientů v domácím prostředí bez omezení jejich mobility, například umožňuje dálkové sledování krevního tlaku a srdečního tepu.

Telekomunikační aplikace: ZigBee aplikace do mobilního telefonu nebo PDA vytváří nové zařízení, ZigBee mobilní zařízení, které umožňuje komunikaci s ostatními ZigBee zařízeními. Umožňuje odesílání a přijímání zpráv a sdílení kontaktů a obrázků, a dokonce komunikaci mezi zařízeními s různými aplikačními profily.

(Dawoud, 2022, str. 257)

Charakteristiky sítě ZigBee:

ZigBee je nový standard pro bezdrátové senzorové a ovládací sítě, který se odlišuje od existujících standardů, jako jsou Bluetooth, Wi-Fi a WiMax. Jeho hlavní vlastnosti zahrnují: Nízkou spotřebu baterie, umožňující zařízením fungovat měsíce nebo dokonce roky bez nutnosti výměny baterie.

Nízké náklady.

Nízkou datovou rychlost, s maximem 250 kbps.

Jednoduchost implementace.

Podporu až 65 000 uzlů v síti.

Automatické vytváření sítě.

Používání malých datových paketů ve srovnání s Wi-Fi a Bluetooth.

Bluetooth, přestože je funkčně podobný ZigBee, nenabízí takovou škálu topologií a jeho pohotovostní proud je téměř 70krát vyšší než u ZigBee, což činí ZigBee vhodnějším pro aplikace vyžadující dlouhou výdrž baterie.

(Dawoud, 2022, str. 259)

Aplikace technologie ZigBee zahrnují například následující oblasti:

Sběr lékařských dat

Technologie se využívá při monitorování pacientů v domácím prostředí, kde je klíčový sběr lékařských dat. Pacient nosí zařízení ZigBee, které shromažďuje informace jako tepová frekvence, tělesná teplota, krevní tlak a další.

Inteligentní detektory kouře

ZigBee se používá v inteligentních detektorech kouře. Systém zahrnuje modul pro detekci

kouře, bezdrátový komunikační modul, modul pro sběr dat a inteligentní identifikační modul, který rozlišuje typy kouře, jako je kouř z vaření, náhodný požár apod.

System domáci automatizace

Technologie se využívá v systémech domácí automatizace. Chytré klimatizace, chytré televizory, chytré ledničky, chytré domácí alarmy a další zařízení mohou být díky této technologii vzájemně propojeny.

Bezdrátové senzorové sítě

Inteligentní systém bezdrátových senzorových sítí umožňuje shromažďování informací a monitorování kvality vzduchu, počasí, dopravních podmínek atd.

(Dawoud, 2022, str. 264-265)

ZigBee jako technologie pro malé smart home systémy přináší mnoho zajímavých vlastností, které ji činí vhodnou volbou pro domácí automatizaci.

Nízká spotřeba energie je jednou z nejvýraznějších vlastností ZigBee, což znamená, že zařízení v síti mohou fungovat na baterie měsíce nebo dokonce roky bez nutnosti výměny. To je ideální pro smart home aplikace, jako jsou senzory teploty, detektory pohybu, nebo inteligentní zámky, které musí být neustále zapnuté, ale zároveň minimalizovat údržbu.

Nízká cena je dalším klíčovým faktorem, který činí ZigBee atraktivní pro malé smart home projekty. Umožňuje spotřebitelům snadno rozšiřovat své systémy přidáváním nových zařízení bez významných finančních investic.

Rychlost 250 kbps je pro většinu domácích automatizačních úkolů dostatečné. Implementace ZigBee je relativně jednoduchá, což znamená, že uživatelé mohou snadno nastavit a spravovat své smart home zařízení bez potřeby hlubokých technických znalostí. V naší práci však bezdrátová technologie pro interní komunikace nejeví se jako nejvhodnější, vzhledem k potřebě občasné výměny baterií v perifériích, což nemusí být v případě objektu jako například chata žádoucí vlastností. Samozřejmě že jednotlivé prvky by mohly být napájeny i ze síťových zdrojů u každého z nich, což zvyšuje riziko selhání, požáru a komplikuje zálohování napájení. Výhodou pro mnoho aplikací ale naopak může být absence nutnosti přívodních kabelů.

1.3.2 Z-Wave

Protokol Z-Wave je interoperabilní, bezdrátová technologie komunikace na bázi RF, která byla speciálně navržena pro aplikace kontroly, monitorování a čtení stavu v domácích a lehkých komerčních prostředích.

Z-Wave je technologie mesh sítě, vyvinutá v roce 1999 dánskou společností Zensys s cílem vytvořit standard pro bezdrátovou RF komunikaci domácích zařízení. Umožňuje bezdrátové ovládání domácích spotřebičů a dalších zařízení, jako jsou systémy osvětlení, bezpečnostní systémy, termostaty, okna, zámky, bazény a otevírače garážových vrat. Systém Z-Wave lze ovládat přes internet z chytrého telefonu, tabletu nebo počítače, a lokálně prostřednictvím chytrého reproduktoru, bezdrátového klíčenky nebo nástěnného panelu s centrální řídicí jednotkou Z-Wave, která slouží jako hub (centrální prvek) a portál do vnějšího světa. Z-Wave umožňuje interoperabilitu aplikační vrstvy mezi domácími řídicími systémy různých výrobců, kteří jsou součástí jeho aliance. Počet takových produktů Z-Wave roste. V roce 2017 jich bylo přes 1 700 a v roce 2019 již přes 2 600.

Charakteristiky provozu Z-Wave

Frekvence používaná Z-Wave se liší v závislosti na zemi. V USA Z-Wave funguje na frekvenci 908,42 MHz a v Evropě na 868,42 MHz. Tedy zařízení Z-Wave nebudou interferovat s ostatními domácími zařízeními obvykle na 2,4 GHz. Díky této frekvenci mají

zařízení Z-Wave větší dosah signálu ve srovnání se ZigBee, který pracuje na 2,4 GHz. Typický dosah se uvádí kolem 30 m uvnitř budovy a 100 m venku.

Rozšíření dosahu je možné jednoduše přidáním více zařízení Z-Wave do sítě. Protože všechna zařízení Z-Wave jsou opakovače, signál se předává z jednoho na druhý a s každým opakováním se získá dalších přibližně 30 m dosahu uvnitř. Signál lze prodloužit až o tři další zařízení (skoky).

(Dawoud, 2022, str. 479-480)

Technické vlastnosti:

Rádiové frekvence Z-Wave jsou navrženy pro spolehlivý přenos malých datových balíčků s nízkou latencí a rychlostí až 100 kbps. Propustnost činí 40 kbps (9,6 kbps u starších čipů) a je vhodná pro ovládací a senzorové aplikace. Modulace je posunování frekvence (FSK) s kódováním Manchester.

Z-Wave využívá nelicencované pásmo pro průmyslové, vědecké a lékařské. V Evropě funguje na frekvenci 868,42 MHz, v jiných zemích používá různé frekvence v závislosti na místních předpisech. Vyhýbá se interferenci s Wi-Fi, Bluetoothem a dalšími systémy, které pracují na přeplněném pásmu 2,4 GHz. Datové rychlosti zahrnují 9600 bps a 40 kbps, s výstupním výkonem 1 mW nebo 0 dBm. Čipy přijímače Z-Wave dodává společnost Silicon Labs.

(Dawoud, 2022, str. 481)

Historie Z-Wave

Protokol Z-Wave byl vyvinut společností Zensys, dánskou firmou, v roce 1999. Téhož roku Zensys představil systém pro ovládání osvětlení určený pro spotřebitele, který se vyvinul v Z-Wave jako proprietární systém na čipu (SoC) pro protokol domácí automatizace.

V roce 2005, Z-Wave přijalo pět společností. Tyto společnosti založily Z-Wave Alianci s cílem propagovat technologii Z-Wave, všechny produkty členů aliance jsou vzájemně kompatibilní.

V roce 2005 bylo na trhu šest produktů Z-Wave. Do roku 2012, kdy se domácí technologie stávaly stále populárnějšími, existovalo již přibližně 600 produktů využívajících technologii Z-Wave.

(Dawoud, 2022, str. 481-482)

Podobně jako ZigBee, má Z-Wave velmi podobné výhody a nevýhody, jak bylo zmíněno výše v hodnocení vlastností ZigBee.

1.3.3 LoRa

Dalším typem bezdrátové komunikace na lokální úrovni může být technologie LoRa. Ta je popsána dále, v sekci globální úrovně, společně s LoRaWan, jelikož LoRaWan je adaptací technologie LoRa na tuto úroveň.

1.4 Možnosti dálkového řízení – globální úroveň

Pro vzdálené připojení a ovládání domácnosti můžeme využívat mnoho metod, z nichž některé si dále popíšeme.

1.4.1 Ovládání prostřednictvím internetu

Používání internetu se stalo běžným způsobem sdílení a výměny informací mezi uživateli. Aktivací webové stránky pro účely dálkového ovládání můžeme selektivně vydávat příkazy k zapnutí nebo vypnutí vybraných domácích spotřebičů. Jedná se o aktivní metodu ovládání spotřebičů, kdy lze příkazy vydávat s vědomím aktuálního stavu spotřebiče.

Hardwarové požadavky interaktivního ovládání založeného na webu spočívají v potřebě PC, ze kterého přistupujeme na webovou stránku ovládání – uživatelský interface. Na té sledujeme stav vzdálené jednotky ovládání, měřené hodnoty, stavy výstupů, ovládajících např. relé. Na místě ovládání, domácnosti je pak např. další minipočítač, který může fungovat přímo jako webový server a na připojené reléové desce pak přímo ovládat spotřebiče. Deska má registr, kde čteme stav vstupů i výstupů a zároveň přes registr ovládáme výstupy

Softwarové požadavky ovládání založeného na webu vyžadují běh webového serveru a na něm patřičné webová stránka pro dálkové ovládání. Ta může být navržena např. v HTML. Problémy s hesly mohou být řešeny pomocí JavaScriptu. Jakmile uživatel otevře webovou stránku na vzdáleném PC, na obrazovce monitoru se zobrazí ovládací tabulka, která nabízí uživateli možnosti pro zadávání příkazů pro dálkové spínání.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 44-45)

1.4.2 Ovládání pomocí emailů

Jako další možnost komunikace se nabízí použití E-mailů. A to jak jednosměrné – systém zasílá stavové informace uživateli, tak obousměrné – uživatel může prostřednictvím e-mailů vzdálený systém ovládat. Ovládání jistě skýtá různá rizika, odesílání stavových informací a notifikací emailem uživateli však může být v mnoha situacích výhodným řešením.

1.4.3 Ovládání prostřednictvím telefonu

Rozšíření mobilní telefonie a internetové hlasové komunikace snížilo využívání pevných linek. Pevná telefonní síť si stále udržuje své místo díky jednoduchosti a cenové dostupnosti pro předplatitele. Přes pevnou linku bylo možné vydávat příkazy pro zapnutí nebo vypnutí domácích spotřebičů tím, že se po vytočení telefonního čísla zadaly dodatečné číslice. Rozšiřovací karta připojené k domácímu telefonu rozpoznala tyto číslice, dekodovala je a ovládala zapnutí nebo vypnutí spotřebičů.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 51)

Telefon můžeme taktéž použít jako notifikaci stavu, například prozvonění při poplachu, nebo v kombinaci s hlasovým modulem na „volající - vysílací“ straně, můžeme ohlásit stavy, hodnoty, například – požár, potopa, vetřelec, teplota, či stavy sepnutých relé a podobně. Také byl dříve hojně využíván pro spojení zabezpečovací ústředny s pultem centrální ostražky. Další možností bylo využití modemů a připojení se vzdáleně k remote stanici. Nebo viz dále, jako přenosová linka pro DTMF ovládání.

1.4.4 DTMF – Dualní tónová multifrekvenční volba

Dvoutónová multifrekvenční volba, známá také jako DTMF, je odborný termín pro zvukové frekvence, které se generují při stisknutí kláves na telefonu. DTMF, často označované jako tónové volání, bylo původně využíváno pro telefonní signalizaci mezi telefonem a místní telefonní ústřednou, avšak dnes nachází uplatnění v mnoha oblastech telekomunikací a call center.

Každé klávese na telefonu je přiřazena specifická frekvence, přičemž při stisknutí klávesy jsou současně reprodukovány dva tóny – jeden s nižší frekvencí a jeden s vyšší frekvencí. Tato kombinace dvou tónů je prakticky nemožné přesně napodobit lidským hlasem.

Každá ze čtyř řad kláves na telefonu má přiřazen tón nízké frekvence a každému ze tří sloupců je přiřazen tón vysoké frekvence. Čtvrtý sloupec kláves označený písmeny A, B, C a D je volitelný a většinou se používá v armádních sítích.

What DTMF tone is, Specialty Answering Service.

https://www.specialtyansweringservice.net/wp-content/uploads/resources_papers/dtmf-tone/Dual-Tone-Multi-Frequency-Signalling.pdf , str. 2 (8.1.2024, 8:45)

Historie a vývoj

Před zavedením DTMF byly telefonní sítě závislé na pulzní volbě. Nevýhodou pulzního volání bylo omezení na spojení v místních ústřednách a pro spojení na dlouhé vzdálenosti vyžadovalo operátora.

DTMF bylo uvedeno 18. listopadu 1963 pod obchodní značkou "Touch Tone" systémem Bell. Použití zvukových tónů pro signalizaci nebylo novinkou a signalizace Multi-Frequency (MF), která byla používána telefonními ústřednami pro komunikaci mezi sebou již existovala.

Po uvedení DTMF ztratilo pulzní volání svůj význam. V důsledku toho byly v telefonních ústřednách zavedeny přepínací systémy řízené DTMF.

https://www.specialtyansweringservice.net/wp-content/uploads/resources_papers/dtmf-tone/Dual-Tone-Multi-Frequency-Signalling.pdf , str. 3-4, (8.1.2024, 9:25)

DTMF je velmi spolehlivý způsob signalizace, který používají telekomunikační společnosti k zpracování informací od zákazníků. DTMF číslo je dekodováno místní ústřednou, aby mohlo být hovor směrován.

DTMF lze přenášet po telefonních linkách i přes internet. Tóny jsou na přijímacím konci dekodovány a využívány pro praktické aplikace, jako je interakce s počítačovými systémy a záznamovými zařízeními. Interakce s počítačovým systémem je dosažena pomocí systému IVR (interaktivní hlasová reakce). Na běžné pevné lince se DTMF odesílá jako zvukové signály. V případě mobilních telefonů mohou být tóny DTMF generovány až po navázání spojení. Tato funkce je často využívána call centry pro sběr vstupů od volajících pro výběr z IVR menu, získávání informací o účtu pro telefonní bankovníctví a podobně. U telefonu VoIP je DTMF přenášena jako datový balíček přes internet, což však může být náchylné k chybám.

Technologie DTMF podporuje akustický přenos. To znamená, že tóny DTMF mohou být přenášeny standardním reproduktorem a přijímány standardním mikrofonom.

https://www.specialtyansweringservice.net/wp-content/uploads/resources_papers/dtmf-tone/Dual-Tone-Multi-Frequency-Signalling.pdf , str. 5, (8.1.2024, 9:25)

DTMF signály zahrnují šestnáct kombinací, ze dvou tónů z osmi různých frekvencí. Dvanáct signálů je používáno spotřebiteli, čtyři jsou vyhrazeny pro vojenské účely nebo použití v telefonních ústřednách. Použité frekvence: 697 Hz, 770 Hz, 852 Hz, 941 Hz, 1209 Hz, 1336 Hz, 1477 Hz a 1633 Hz, v toleranci chyby 1,5 % a vyšší frekvence je přenášena o 3 dB hlasitěji, aby se kompenzoval úbytek vysokých frekvencí. Pár signálů reprezentuje číslici nebo symbol na průsečiku řady a sloupce. Například, pokud má být odeslána číslice 5, přenášené frekvence jsou 1336 Hz a 770 Hz v sinusové kombinaci.

(https://www.specialtyanswerservice.net/wp-content/uploads/resources_papers/dtmf-tone/Dual-Tone-Multi-Frequency-Signalling.pdf , str. 6, (8.1.2024, 9:55)

Aplikace

Dekodéry DTMF jsou mnohem pomalejší než modem. Zatímco DTMF dokáže zpracovat téměř deset tónů za sekundu, modem dokáže přenášet téměř 3000 bajtů za sekundu. DTMF signalizace v několika případech stále preferována. Tóny DTMF lze také použít pro přenos informací o volajícím v telefonních systémech.

Primárním posláním DTMF je identifikace voleného čísla. Tóny DTMF však mají širokou škálu aplikací v oblastech jako jsou hlasové schránky, telefonní bankovníctví, zákaznické služby a jiné typy příchozích call center.

Klávesy A, B, C a D se v telefonních sítích používají jen zřídka, ale některé sítě je stále používají pro účely řízení sítě. Například klávesa A se používá k poslechu hovorů procházením různých operátorů.

Dřívější VHS kazety používaly signalizaci DTMF ke kódování informací na videokazetě, čímž poskytovaly informace o nastaveních jako formát, délka, hlasitost atd. automatickým duplikačním strojům. To umožnilo lepší replikaci videokazet.

Signály DTMF lze také přenášet rádiem pro ovládání zapínání a vypínání věcí. Praktické aplikace zahrnují dálkové ovládání domácích spotřebičů, aktivaci varovných systémů, otevírání a zavírání dveří, spouštění a zastavování motorů a obecně jakoukoli binární akci.

Pomocí obousměrného rádia lze číslo přenášet pomocí tónů DTMF. Dekodér DTMF naprogramovaný stejným číslem na přijímacím konci a připojený k přijímači na vzdálené lokalitě pak může být aktivován a použit pro ovládání připojeného zařízení.

Stejně tak, je možné přijímat informace ze vzdálené lokality to je známé jako systém zpětné vazby nebo SCADA systém a může posílat informace zpět pomocí DTMF, které pak mohou být použity pro indikaci stavu nebo pro vstup do počítače pro další akce.

(https://www.specialtyanswerservice.net/wp-content/uploads/resources_papers/dtmf-tone/Dual-Tone-Multi-Frequency-Signalling.pdf , str. 13-14, (8.1.2024, 11:20)

1.4.5 Komplexní řešení s využitím internetu

V dnešní době se běžně vyskytují komerční řešení, využívající internet, založené na různých platformách, od PC, přes minipočítače až po rozsáhlé systémy.

Některé komerční Smart home systémy používající internet:

Samsung SmartThings: Jako jeden z předních produktů v oblasti smart home, SmartThings od Samsungu umožňuje integraci široké škály zařízení a senzorů pro komplexní řízení domácnosti, od osvětlení a zabezpečení po klimatizaci a multimédia.

Philips Hue: Systém inteligentního osvětlení Philips Hue je příkladem specializovaného smart home řešení, které lze integrovat do širších systémů pro zvýšení pohodlí a energetické efektivity.

Home Assistant: Jde o open-source platformu pro automatizaci domácnosti, která podporuje širokou škálu hardwaru a protokolů. Home Assistant je vhodný pro pokročilé uživatele, kteří chtějí mít plnou kontrolu nad svým smart home systémem a jsou ochotni se věnovat jeho nastavení a konfiguraci.

Google Nest: Nabízí integraci různých produktů pro smart home, včetně termostátů, kamer, zvonků a detektorů kouře. Google Nest se zaměřuje na jednoduchost použití a vysokou úroveň integrace s dalšími produkty a službami Google.

Tyto systémy pokrývají široké spektrum možností od jednoduchých DIY řešení až po plně integrované smart home systémy. Při výběru systému je důležité zvážit specifické potřeby a požadavky domácnosti, včetně rozpočtu, očekávané úrovně komplexnosti a preferencí v oblasti uživatelské přívětivosti a rozšiřitelnosti. Některé z nich budou popsány dále podrobněji.

1.4.6 LoRaWan & LoRa

Internet věcí (IoT) je téma, o kterém rezonuje v mediálním prostoru, a slibuje obrovské změny v technologické krajině. Znalost každé nové technologie je zásadní, aby člověk nebyl nepřipraven. S dostupnými technologiemi to již je možné, ale ne vždy za přijatelné náklady nebo pouze s omezenými vlastnostmi.

Vlastnosti LoRaWan

- velký dosah,
- bezdrátové připojení k síti,
- bateriový provoz s dlouhou výdrží baterie,
- nízká cena.

Uzly IoT mohou být např. různé objekty, senzory, měřicí zařízení, monitorovací systémy a bezpečnostní systémy.

LoRaWAN je otevřená architektura systému LPWAN, kterou vyvinula a standardizovala LoRa Alliance™. Tato aliance je nezisková asociace mající více než 500 členů. Roku 2021 Mezinárodní telekomunikační unie (ITU) oficiálně schválila LoRaWAN jako standard.

Tento standard „Protokol s nízkým výkonem pro bezdrátové sítě širokého dosahu“ doporučení ITU-T Y.4480 a spadá pod zodpovědnost expertní skupiny ITU pro „Internet věcí a chytrá města a komunity“ viz odkaz níže:

(Kühnel, 2022, str. 9-10)

LoRaWAN se dynamicky konstituovalo jako řešení komunikace v IoT. V tom má velký podíl The Things Network (TTN), a to jak pro amatéry, tak pro komerční využití. TTN je globální kolaborativní ekosystém IoT, pro sítě, zařízení a řešení s využitím LoRaWAN. Společně s The Things Stack Community, TTN udržuje otevřenou a decentralizovanou síť LoRaWAN. Tato síť umožňuje testovat zařízení, aplikace a integrace a seznámit se s LoRaWAN

(Kühnel, 2022, str. 9-10)

I v ČR je několik providerů poskytujících celostátní pokrytí sítí LoRaWan, tedy je možné i zde provozovat v podstatě celorepublikovou komunikaci za přijatelnou cenu.

Informace o celoplošném pokrytí najdeme například zde: <https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikační-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice> (9.3.2024, 11:20)

LoRa

Byla vyvinuta společností Semtech pro potřeby požadavků IoT.

Vlastnosti charakterizující LoRa:

Přenos malého množství dat na vzdálenost až několika kilometrů pomocí rádiového signálu s velmi malým výkonem. To umožňuje, že být sensorové uzly mohou být vybavené jen bateriemi, které mohou vydržet až několik let. LoRa poskytuje obousměrnou komunikaci s datovými rychlostmi od 0,3 do 50 kbps. Přenos dat je v městském prostředí 2 až 5 km. Ve venkovském prostředí dokonce až 15 km. LoRa modulace je odvozena od kódování Chirp Spread Spectrum (CSS). Dokáže tak využít celé přidělené šířky pásma k odeslání signálu. Tedy může fungovat i při nízkém poměru signál/šum (SNR) tedy s vysokou úrovní odolnosti vůči rušení. LoRa pracuje v Evropě na neomezených ISM (Industrial Scientific & Medical) pásmech 433 MHz a 868 MHz. Vestavěná technologie šifrování zabezpečí přenos dat proti neoprávněnému přístupu.

(Kühnel, 2022, str. 13)

LoRaWAN

LoRaWAN odvozena ze specifikace sítě Low Power Wide Area Network (LPWAN) architektura sítě používá současně.

Základy LoRaWAN

LoRaWAN podle modelu OSI. LoRa představuje fyzickou (PHY) vrstvu pro navázání komunikačního spojení s rozsáhlým přenosovým dosahem modulace Chirp Spread Spectrum (CSS).

LoRaWAN pak vrstvu přístupu k médiím (MAC) a je otevřený síťový protokol, poskytující zabezpečenou obousměrnou komunikaci, mobilitu a lokalizační služby.

LoRaWAN je standardizován a spravován aliancí LoRa. První specifikace LoRaWAN byla uvedena v roce 2015.

LoRaWAN používá rozšířenou topologii hvězdy. Brány (gateway) tvoří most pro předávání zpráv od koncových zařízení (uzlů LoRaWAN) k centrálnímu síťovému serveru LoRaWAN. Brány jsou připojeny k serveru pomocí standardního IP, zatímco koncová zařízení komunikují bezdrátově s jednou nebo více branami. IoT sítě vyžadují bezpečnou komunikaci, což vyžaduje použití několika vrstev šifrování.

(Kühnel, 2022, str.22- 24)

Komunikace LoRaWAN

LoRa a LoRaWAN komunikace, nemá jasně definovaný rozdíl. V koncovém zařízení, aplikace komunikuje přes SPI s fyzickou vrstvou (PHY), která provádí modulaci. Data jsou bezdrátově přenášena do brány.

Zpráva je přijata branou prostřednictvím PHY v bráně a předána pomocí packet forwarding do TCP/IP stacku, čímž umožní komunikaci se síťovým serverem. Síťová vrstva nad fyzickou vrstvou se nazývá LoRaWAN.

Poskytovatelé služeb LoRaWAN

Tuto infrastrukturu zpřístupňují poskytovatelé služeb. Kromě komerčních poskytovatelů lze některé služby využívat zdarma.

(Kühnel, 2022, str.25- 28)

Brána LoRaWAN (gateways)

Brány LoRaWAN tvoří most mezi koncovými zařízeními a serverem. Koncová zařízení používají LoRaWAN ke komunikaci s branou. Brána pak dále používá síť jako Wi-Fi, Ethernet a mobilní síť, k připojení k serveru LoRaWAN. Všechny brány v dosahu

koncového zařízení přijímají zprávy od tohoto koncového zařízení a přeposílají je serveru. Server LoRaWAN redukuje zprávy přijaté vícekrát a vybírá bránu, která nejlépe předává všechny zprávy ve frontě pro downlink. Jedna brána může obsluhovat tisíce koncových zařízení.

Brány pracují jako routery vybavené koncentrátorem LoRa pro příjem LoRa paketů.

Koncová zařízení LoRaWAN

Koncová zařízení LoRaWAN se bezdrátově připojují k jedné nebo více branám. Koncová zařízení mohou být např. "věci" v "Internetu věcí". Koncová zařízení často zaznamenávají data a odesílají je do sítě a jsou obvykle označována jako senzorové uzly.

The Things Network (TTN)

LoRaWAN je také primárním protokolem přijatým TTN. V minulosti iniciativa řídila crowdsourcing kompletní IoT datové sítě pro Amsterdam. Pracuje i v dalších metropolitních oblastech.

(Kühnel, 2022, str.28-29)

Technologie LoRa a LoRaWAN představují zajímavou možnost pro použití v systémech smart home, zejména díky svým unikátním vlastnostem, jako je dlouhý dosah a nízká spotřeba energie. Vhodnost jejich použití se však může lišit v závislosti na specifických potřebách a omezeních jednotlivých aplikací. Podívejme se podrobněji na tři různé scénáře použití v rámci smart home systémů:

Lokální komunikace systému na úrovni budovy

Pro interní komunikaci v rámci smart home systému, který vyžaduje přenos malého množství dat mezi zařízeními rozmístěnými po celém domě nebo bytovém komplexu, může být LoRa výhodné. Díky schopnosti LoRa pokrýt velkou plochu při nízké spotřebě energie by senzory a aktuátory mohly efektivně komunikovat bez nutnosti časté výměny baterií, což je klíčové pro zařízení, která jsou často umístěna na obtížně dostupných místech. Avšak, omezená datová propustnost a potenciální latence v komunikaci by mohly být omezující pro aplikace vyžadující rychlou reakci nebo přenos velkého množství dat.

Remote komunikace se vzdálenými senzory

V případě, že smart home systém vyžaduje integraci s vzdálenými senzory, například v zahradě nebo na jiných nemovitostech v blízkém okolí, nabízí LoRa velký potenciál. Schopnost LoRa komunikovat na vzdálenost několika kilometrů (v závislosti na terénu a dalších faktorech) umožňuje bezproblémové připojení těchto vzdálených senzorů k centrálnímu smart home systému. To by mohlo být ideální pro monitorování venkovních podmínek, jako je vlhkost půdy nebo bezpečnostní systémy monitorující perimetr nemovitosti.

Možnosti využití LoRaWAN jako jediného připojení smart home do vnějšího prostředí, při absenci širokopásmového připojení

V oblastech, kde není k dispozici širokopásmové připojení, nebo jako záložní komunikační kanál v případě jeho výpadku, by mohl být LoRaWAN cenným doplňkem smart home systému. LoRaWAN by mohl poskytovat základní vzdálený přístup k systému pro monitorování a ovládání, což je zvláště užitečné pro domácnosti umístěné ve vzdálenějších oblastech. Avšak, omezená propustnost a potenciální zpoždění v přenosu dat by znamenala, že některé pokročilé funkce, by nemusely být plně podporovány.

1.4.7 Možnosti dálkového ovládnání pomocí GSM sítě.

Ovládnání pomocí hlasového kanálu

Zde platí vše, co již bylo uvedeno výše pro telefon a pro DTMF.

Ovládnání prostřednictvím SMS

Posílání textových zpráv z jednoho mobilního telefonu na jiný se stalo běžnou praxí. Tato metoda komunikace využívá mobilní telekomunikační síť. Tuto možnost ale také můžeme využít k ovládnání domácích spotřebičů na dálku pomocí SMS zaslaných z mobilního telefonu.

Na straně ovládnání domácnosti pak zprávu dekodujeme a vyextrahujeme z ní patřičný příkaz, například zapnutí spotřebiče. Ať už je komunikační prostředek pro vydávání příkazů spotřebičům jakýkoliv, konečnými ovládacími prvky jsou relé umístěná na nějaké reléové desce připojené například k centrálnímu minipočítači vzdáleného systému.

Uživatel odesílá SMS zprávu pro ovládnání např. spotřebiče v bytě z mobilního telefonu. Jako příklad uveďme -- chce-li zapnout ventilátor-1, může být SMS ve tvaru „VENT_1_ZAP“. Ta je na přijímací straně dekodována a sepnuto patřičné relé napájení ventilátoru.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 49)

Mobilní data

GSM síť samozřejmě můžeme využít i jako datové spojení. Největším problémem tohoto použití, asi mohou být relativně vysoké ceny, ať už ceny paušální, za nějaký datový balíček, tak ceny počítané, například za jeden MB přenesených dat. Režie každého spojení spotřebuje určité množství dat a může to být např. právě 1 MB jen za vystavění připojení. Další problém je, že pokud do našeho zařízení umístíme SIM kartu, která má relativně levná data, v současné době zpravidla neumí volání a SMS, čímž přicházíme o zásadní redundanci notifikačních kanálů. Až budou na trhu za rozumný peníz karty umožňující vše, pak komplexní využití GSM pro kanály Voice, SMS a Data, bude jasnou volbou.

Výhody a nevýhody GSM

V případě, že se rozhodneme pro řízení prostřednictvím GSM sítě bez zapojení internetu, narazíme na specifické pro i proti. Jak bylo výše zmíněno, na straně nevýhod můžeme narazit na omezené nebo nákladné možnosti přenosu dat. Naopak mezi výhody patří nezávislost na internetovém připojení, možnost ušetřit na měsíčních poplatcích a snazší zálohování zařízení s nízkou spotřebou energie. Tato řešení se pak dobře hodí pro použití v odlehlých lokalitách, jako jsou chaty, chalupy nebo zahrady. S omezením na základní ovládnání a funkcionalitu může být GSM bez datového přenosu dostatečný, umožňující ovládnání prostřednictvím volání, SMS zpráv nebo DTMF viz výše. Vzhledem k omezením funkcí a flexibility je klíčové zvážit možnosti zařízení, zejména pokud jde o zařízení s dlouhou výdrží na baterie, které musí být energeticky efektivní a schopné fungovat dlouhodobě i v případě výpadku elektrické energie. Pro jednoduché aplikace může být vhodné „vše-v-jednom“ (all-in-one) řešení. Pokud jde o složitější systémy může být potřeba omezit množství připojených modulů na minimum, abychom snížili energetické požadavky.

Na trhu je dostupná široká škála komerčních produktů s různým rozsahem funkcí. Nejjednodušší zařízení obvykle nabízí několik digitálních a analogových vstupů a výstupů pro monitorování specifických stavů, jako je alarm, detekce požáru, vodní havárie nebo únik plynu, a mohou také měřit teplotu. Výstupy mohou sloužit k aktivaci topení, klimatizace,

spuštění žaluzií, otevření garážových vrat nebo deaktivaci alarmu. Ovládání je často zajištěno voláním nebo SMS, přičemž je možné nastavit omezení pro přijímání zpráv pouze z určitých telefonních čísel. První taková zařízení na českém trhu obvykle využívala běžné mobilní telefony, jako byly modely od Siemensu nebo Ericssonu. Dnes je možné najít GSM moduly určené pro montáž na DIN lištu v rozvaděči, které jsou často vybaveny interními nebo externími bateriemi a informují uživatele o přerušení napájení. Existuje i mnoho komplexních řešení s různou úrovní funkcionality, které budou zmíněny v další části práce.

1.5 Základní stavební kameny pro funkcionalitu dálkového dohledu či inteligentní domácnosti

Inteligentní domácnost vyžaduje určité klíčové hardwarové prvky pro efektivní fungování chytrého systému. Toto vybavení se může lišit v rozsahu od jednoduchých komponent až po složité systémy.

1.5.1 Komunikační kanály systému

Komunikace může být na principu přímého zapojení – „drát“, přes síťové až po bezdrátové nebo infrapřenosy. Za základní nástroje komunikace lze považovat domácí síť, jak v podobě tradičního Ethernetu IEEE 802.3, tak Wi-Fi IEEE 802.11, včetně specifických komunikačních protokolů, ať už bezdrátových nebo kabelových. Patří sem například sběrnice I2C, CANBUS, OneWire, RS485, bezdrátové technologie jako 433 MHz, Z-Wave, ZigBee, LoRa a podobně, některé byly podrobněji rozebrány výše. V rámci standardních počítačových sítí lze pro komunikaci s ostatními prvky v síti využít např. protokol MQTT, což umožňuje využití stávající ethernet infrastruktury nebo Wi-Fi přístupových bodů.

Stále častěji dávají uživatelé, zejména hotových novostaveb přednost, bezdrátovému řešení před tradičními kabelovými instalacemi, i přes potenciální komplikace, které to může znamenat. Zpravidla nikdo v nových stavbách RD nepočítá s budoucími možnými prvky připojenými na nějakou sběrnici „drátem“. Přesto v některých případech může být propojení kabely stále preferováno, protože má své nesporné výhody.

1.5.2 Aktivní komponenty systémů

Centrální jednotka

Obvykle představuje jádro automatizačního systému, zahrnující základní inteligenci a umožňující komunikaci jak uvnitř objektu, tak i na dálku, například v zahradě. Je schopna interagovat s vlastními subsystemy, čidly i stávajícími systémy, jako jsou například zabezpečení, vytápění, osvětlení, zavlažování, audiovizuální systémy a další. V současné době může integrovat komunikaci se všemi zařízeními internetu věcí (IoT) v domácnosti, nicméně to je mimo zaměření naší práce.

Z popsaných požadavků vyplývá, že centrální jednotka musí nabízet širokou škálu funkcí, což vyžaduje implementaci výpočetního systému. K dispozici jsou dvě hlavní řešení: MCU s plně naprogramovaným ovládním bez operačního systému, případně s RTOS systémem, nebo minipočítač s OS, který značně zjednodušuje design díky automatizaci mnoha úkolů. Zatímco první možnost je vhodná pro jednodušší aplikace, druhá je preferovaná pro komplexnější a uživatelsky přívětivější systémy. Systém s operačním systémem umožňuje snadnější realizaci, avšak komplikuje nám další oblasti, jako je spotřeba a zálohování napájení, aktualizace operačního systému, nutnost znát systém a dokázat jej zabezpečit, a následně zabezpečení kontrolovat a aktualizovat.

Digitální vstupy a výstupy

Nejjednodušší prvky zpravidla jsou digitální vstupy a výstupy, nabývající stavů 0/1 – vypnuto/zapnuto. Umožňují nám tedy pomocí vstupů zjišťovat stav nějaké entity. Například dostatek vody v akumulární nádrži a pomocí výstupů můžeme zapínat různé spotřebiče, například elektrické topení, otevírat vrata garáže a mnoho dalšího. Digitální vstupy/výstupy může poskytnout buď přímo centrální jednotka – GPIO vývody, nebo mohou být do různé míry vzdálené, připojené drátem nebo bezdrátově, za pomoci výše zmiňovaných komunikačních kanálů.

Analogové vstupy

Tradičně nám poslouží k získávání hodnoty nějaké měřené veličiny, například teploty. Zdaleka ne vždy však budeme využívat analogové vstupy na MCU centrální jednotky. Ty se nám hodí například pro měření napájení, nicméně pro výše zmíněnou teplotu spíš využijeme čidla speciálně pro tento účel vyrobená a vybavená nějakou drátovou či bezdrátovou komunikací, např. I2C, Wi-Fi apod. Možnosti jsou nepřehledné

Zabezpečovací systémy - kooperace

Tvoří další klíčový prvek, obvykle instalovaný jako samostatný celek a zpravidla se jedná o vysoce kvalitní a odolný systém. Může být výhodné, aby centrální jednotka domácí automatizace byla schopna alespoň částečně s tímto systémem spolupracovat, ať už pomocí standardních vstupů a výstupů nebo programovatelných vstupů a výstupů, pokud přímá komunikace přes systémovou sběrnici není možná. Jako příklad uveďme třeba možnost vypnutí napájení některých obvodů a zařízení v domě, když není nikdo přítomen a bezpečnostní systém je tedy tzv. „za-armován“ použijeme tedy například PGM výstup bezpečnostní ústředny, který nám tento stav předá do našeho systému a my se postaráme o odpojení požadovaných okruhů (relé, stykače apod.). Taktéž je možno v tomto stavu například vytvářet dojem, že v objektu někdo je, k odstrašení potenciálních lupičů, například postupným rozsvěcením světel v domě/bytě.

Funkce odpojení okruhů při nastavení střežení budou implicitně implementovatelné i do našeho systému, pomocí GPIO, případně vzdálených I/O. Předpokládáme využití například k vypnutí čerpadla ve studně, pokud je objekt prázdný a nastaven do stavu střežení, pro snížení rizika vytopení při poruše vodoinstalace.

Bezpečnost a ochrana u komplexních systémech

Bezpečnost a ochrana jsou důležité aspekty lidského života. Proto je zahrnutí otázek bezpečnosti do konceptu inteligentního domu důležitým požadavkem pro většinu obyvatel inteligentních domů. Na trhu je dostupná řada produktů, které implementují některé koncepty inteligentního domu za účelem poskytování různých aspektů bezpečnosti, alarmu a ochrany. Obecná architektura těchto systémů se skládá z vhodné sady vzájemně propojených senzorů, které sledují specifické podmínky nebo situace a komunikují je s místním „serverem“, který je následně přenáší dotčeným stranám. Tyto senzory mohou zahrnovat detektory kouře, úniku vody, vetřelců, výpadku proudu atd. V případě alarmu budou o existenci alarmu informováni jak majitel domu, tak bezpečnostní společnost. Díky instalaci chytrého systému v domě bude tento přenášet podrobné informace určující přesnou polohu a příčinu alarmu. Navíc systém uživateli umožní dálkově ovládat některé domácí spotřebiče. Například pokud majitel domu očekává doručení zásilky a nemůže být doma, hlavní brána může být otevřena, aby mohl pošťák zásilku doručit. Po odchodu pošťáka může také zavřít dveře a hlavní bránu. Přes internet nebo svůj mobilní telefon by mohl také zapnout nebo vypnout topení/chlazení pro konkrétní část svého domova. V případě, že obyvatelé inteligentního domu jsou na dovolené, mohou systém naprogramovat tak, aby simuloval přítomnost majitele doma zapnutím světel v domě a jejich vypínáním v pravidelných časech. (AL-QUTAYRI, 2010, str. 28)

Pro náš systém se spokojíme s poněkud méně košatou funkcionalitou ale i jednoduchý systém nám může posílat notifikace typu „narušení objektu“, „mráz v objektu“, „potopa“, „požár“ a podobně.

Prostředí – vytápění a chlazení

Vytápění a chlazení domu jsou hlavními položkami na účtech za energie domácností, a proto si zaslouží zvláštní pozornost při návrhu inteligentních domů. Základem pro snížení těchto nákladů je výběr kvalitních izolačních materiálů vhodných pro dané prostředí. Efektivní správu spotřeby energie domu umožňuje nasazení chytrých senzorů uvnitř i vně domu. Tyto senzory, umístěné jak uvnitř (termostaty, vlhkost, proudění vzduchu atd.), tak vně domu (termostaty, vlhkost, sluneční záření, měřič rychlosti větru atd.), shromažďují informace, které lze zpracovat pro řízení jednotek HVAC (Heating, ventilation, and air conditioning) a žaluzií/rolet/oken. Například pokud je okno otevřeno po předem stanovenou dobu, zatímco v dané místnosti je zapnutá jednotka HVAC, může být učiněno rozhodnutí jednotku zastavit nebo uživatele upozornit na neefektivní využití energie. Kromě toho lze uživateli doporučit, aby v noci zavřel závěsy, pokud je venkovní teplota mnohem nižší než teplota uvnitř domu, zatímco je zapnuté vytápění.

Možnosti využití obnovitelných zdrojů energie v inteligentních domech se liší podle jejich geografické polohy. Například na místech, kde slunce svítí většinu roku, je vhodné mít na střeše nainstalované solární panely. V oblastech s větrným klimatem je zase vhodné mít ve zahradě instalované větrné turbíny. Monitorováním environmentálních podmínek uvnitř i vně domu a aktuálního zatížení domácnosti lze rozhodovat o tom, jak využít vyrobenou elektřinu.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 29-30)

V našem systému si nebudeme klást za cíl, aby měl vlastní inteligenci v oblasti vytápění a chlazení, ale počítáme například se začleněním funkcionality termostatu do jeho možností. Termostat pak může fungovat samostatně pro vytápění například chaty, nebo může jen v paralelním chodu s běžným pokojovým termostatem poskytovat jistou redundanci proti selhání jednoho z nich. Standardní funkcionalita zapínání spotřebičů nám umožní například zapnout vzdáleně topení, což je např. u rekreačních objektů funkce žádoucí.

Měření energie a spotřeby

Ekologické povědomí je dnes hlavním trendem, který má vliv na všechny oblasti podnikání, zejména v rozvinutých zemích. Hlavními hnacími silami tohoto zájmu jsou rostoucí náklady na energii a snaha o snížení emisí skleníkových plynů. Tyto faktory vedou k redukci spotřeby energie nebo k jejímu optimalizovanému využívání v domácnostech a komerčních budovách prostřednictvím chytrých energetických produktů. Obvykle mohou náklady na energii tvořit až pětinu provozních nákladů budovy, přičemž nejvíce energie spotřebují osvětlení a vytápění či chlazení jak v obytných, tak v komerčních objektech. Proto jsou právě náklady hlavním cílem pro snížení spotřeby energie prostřednictvím chytrého využívání energie. Energetické společnosti jsou připraveny nasazovat řízení zatížení a tarify podle času využití, aby pomohly řídit zatížení během špiček. Rády by měly možnost vypnout některá nekritická zatížení zákazníků, jako je například systém HVAC (Heating, ventilation, and air conditioning), na krátkou dobu během špičkové poptávky. Mohou také využít mechanismus odezvy na poptávku, kdy jsou zákazníci informováni o tarifech. To zákazníky povzbudí k efektivnějšímu řízení jejich spotřeby energie. Tyto kroky pomohou energetickým společnostem snižovat jejich špičkové poptávky a uživatelům snižovat jejich účty za energie.

Použití chytrých elektroměrů v inteligentních domech rozhodně umožní komunikaci s energetickými společnostmi za účelem řízení zatížení a odezvy na poptávku.

(AL-QUTAYRI, 2010, str. 29)

V dnešní době fotovoltaického boomu je tato problematika ještě komplexnější, ale FVE systémy mají zpravidla své vlastní inteligentní rozhraní, pro komunikaci s provozovatelem, provozovatelem distribuční soustavy, ale i pro sběr informací a ukládání prostřednictvím internetu. Tedy v naší práci FVE systémy zcela opomeneme. V našem systému nepočítáme s použitím této funkcionality, nicméně například měření spotřeby elektroměrem s RS-485 by nebyl problém implementovat i do velmi jednoduchého dálkového dohledu.

1.6 Hardwarové platformy potenciálně použitelné pro systémy vzdáleného dohledu a smart home systémy

1.6.1 Hardwarové platformy pro centrální jednotku

Jak zvolit vhodnou platformu pro zařízení od jednoduchého dálkového dohledu, po komplexnější smart home systém?

Výběr hardwarové platformy pro centrální jednotku dálkového dohledu nebo smart home systému je klíčovým rozhodnutím, které ovlivňuje nejen výkon a spolehlivost systému, ale i jeho rozšiřitelnost, cenu a uživatelskou přívětivost. Zde je několik populárních platform, jejichž možnosti a omezení bychom měli zvážit při výběru:

Minipočítače (např. Raspberry Pi, BeagleBone)

Výhody:

Výkon: Tyto platformy nabízejí významný výpočetní výkon, který je schopný zpracovávat velké množství dat a provádět složité výpočty, jako je analýza obrazu.

Rozhraní: Mají bohaté možnosti připojení (USB, Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth), které usnadňují integraci s různými komunikačními protokoly a periferními zařízeními.

Flexibilita: Díky plnohodnotnému operačnímu systému (např. Linux) podporují širokou škálu vývojových nástrojů a jazyků, což umožňuje vyvíjet složité aplikace.

Nevýhody:

Spotřeba energie: Vyšší výkon přichází s vyšší spotřebou energie, což může být problém pro systémy napájené bateriemi.

Náklady: Větší výkon a flexibilita může znamenat vyšší pořizovací cenu.

Mikrokontroléry (např. STM32, AVR)

Výhody:

Energetická efektivita: Mikrokontroléry jsou navrženy pro aplikace s nízkou spotřebou energie, což je ideální pro bateriemi napájené nebo energeticky úsporné systémy.

Cena: Obvykle jsou levnější než minipočítače, což je důležité pro rozsáhlé nasazení nebo produkty s omezeným rozpočtem.

Real-time performance: Mnohé mikrokontroléry podporují real-time operace a mohou být lepší volbou pro aplikace vyžadující přesné časování.

Nevýhody:

Omezený výkon a paměť: Pro složité aplikace může být jejich výpočetní výkon a paměťové možnosti nedostatečné.

Vývojová složitost: Programování mikrokontrolérů může vyžadovat hlubší znalosti hardwaru a specifických programovacích technik.

Výběr vhodné HW platformy:

Pro výběr mezi těmito platformami je klíčové zvážit konkrétní potřeby a omezení projektu:

Pro komplexní systémy dálkového dohledu s pokročilou analýzou dat (např. rozpoznávání obrazu) a vysokou mírou integrace (např. webové rozhraní, databáze) může být lepší volbou minipočítač jako Raspberry Pi.

Pro jednoduché nebo energeticky účinné smart home systémy, které primárně sbírají data z různých senzorů a ovládají aktuátory bez potřeby složitějšího zpracování dat, mohou být vhodnější mikrokontroléry z rodin STM32 nebo AVR. Tyto systémy mohou také profitovat z jejich schopnosti efektivně pracovat na baterie a z jejich nižších nákladů.

Výběr platformy by měl rovněž zohledňovat dostupnost vývojových nástrojů, komunitní podporu, a možnost budoucího rozšíření systému. Například, pokud je pravděpodobné, že systém bude v budoucnu potřebovat integrovat další funkce nebo služby, může být vhodnější zvolit flexibilnější a výkonnější platformu i přes vyšší počáteční náklady a spotřebu energie.

1.7 Komerčních zařízení a moduly pro účely dálkové komunikace, dohledu a smart home systémy.

1.7.1 Jednoduché komunikátory

Na trhu je mnoho jednoduchých komunikačních systémů s různou funkcionalitou a v různých cenových relacích.

Ty nejjednodušší mohou sloužit například jen k otevření vrat na pozemek, či do garáže, složitější nám pak umožní sledovat několik digitálních a analogových senzorů a spouštět požadované spotřebiče, například topení, případně i nastavovat nějakou požadovanou veličinu, například teplotu. Za zmínku stojí systémy pro motorová vozidla, která umí například vozidlu vypnout zapalování, případně určit jeho polohu, je-li odcizeno.

Příklady na českém trhu

Univerzální GSM komunikátor a ovladač GD-04K

Univerzální GSM komunikátor a ovladač GD-04K

Univerzální GSM komunikátor a ovladač GD-04K umožňuje ovládat a sledovat stav nejrůznějších spotřebičů na dálku.



3 900 Kč

bez DPH 3 223,10 Kč

[Detail](#)

„Popis

Ovládání lze provádět pomocí standardní SMS nebo prozvoněním. Pro ovládání jsou k dispozici dva výstupy, které mohou být stavové nebo impulzní. Při ovládání výstupu prozvoněním lze každému telefonnímu číslu nastavit omezení počtu ovládaní (vhodné např. pro různé placené vjezdy, kde má každé telefonní číslo určitý kredit představující povolený počet vjezdů). Pro hlášení stavu má GD-04K čtyři vstupy reagující na spojení s GND. Aktivace a deaktivace vstupu může být hlášena formou SMS, prozvoněním nebo kombinací obou možností. Do zařízení je možné uložit až 100 autorizovaných telefonních čísel. Pro zajištění funkce i při výpadku napájení je možné dokoupit záložní modul GD-04A, který zajistí zálohování, až na 24 h. Nastavení funkcí lze provádět lokálně pomocí SW GD-Link

2.0 a počítače propojeného s GD-04K USB kabelem (je součástí dodávky). Vzdálené nastavení lze provést jednosměrnou nastavovací stránkou nebo mnohem pohodlněji ze SW GD-Link 2.0.“

<https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/pro-kutily/univerzalni-gsm-komunikator-a-ovladac-gd-04k-%5BCIP269%5D> (11.3.2024, 11:00)

„lze použít jako:

Vypínač ovládaní SMS zprávami. Pro zapnutí a vypnutí každého kontaktu si můžete nasatvit své vlastní texty.

Časový spínač, který můžete aktivovat na dálku mobilním telefonem (dobu sepnutí můžete nastavit od 1s do 10 hodin).

Relé spínané prozvoněním z telefonu. Každému relé lze nastavit až 50 telefonních čísel, na která budou reagovat. Ovládání prozvoněním je v GSM síti zdarma (DAVID přichází hovor nezvedne, pouze sleduje, kdo volá, a pokud je to oprávněné číslo, aktivuje při první zazvonění relé). To se hodí např. při otvírání parkovacích závor a pod.

Relé spínané prozvoněním z telefonu s omezeným počtem použití. Při zadání oprávněného čísla lze stanovit limit a pro jeho překročení DAVID volání z tohoto čísla ignoruje. To se hodí např. pro předplatné určité služby (např. počet použití parkoviště apod.). Další přístup může uživatel povolit dálkově (pomocí SMS).“

<https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/pro-kutily/univerzalni-gsm-komunikator-a-ovladac-gd-04k-%5BCIP269%5D> (11.3.2024, 11:00)

GD-02K-DIN Univerzální GSM komunikátor a ovladač – Jablotron



GD-02K-DIN
Univerzální GSM
komunikátor a
ovladač - Jablotron

Model: GD-02K-DIN | Výrobce: [Jablotron](#)
Produktové číslo: 106/000230

Doporučená koncová cena s DPH: 3 629 Kč
Vaše cena bez DPH: **2 819,06 Kč**
Vaše cena včetně DPH: 3 411 Kč

Dostupnost: **Skladem**

Množství

„GD-02K-DIN Univerzální GSM komunikátor a ovladač

Univerzální GSM komunikátor a ovladač GD-02K-DIN umožňuje ovládat a sledovat stav nejrůznějších spotřebičů na dálku. Ovládání lze provádět pomocí standardní SMS nebo prozvoněním. GD-02K-DIN obsahuje záložní akumulátor, který zajistí funkci i při výpadku napájení. Výrobek je určen pro instalaci na DIN lištu. Nastavení funkcí lze provádět pomocí SW GD-Link verze 2.3.0. a vyšší (dále jen GD-Link) a počítače připojeného k GD-02K-DIN

MicroUSB kabelem (je součástí dodávky) nebo také vzdáleně pomocí datového GSM připojení (GPRS).

Režimy provozu:

Ovládání

2 výstupů – silového nebo signálového - aktivuje/deaktivuje výstup s možností nastavení časového impulzu (1 s – 24 h)

Pomocí SMS nebo prozvoněním z až 100 telefonních čísel

Sledování stavu

pomocí vstupu sleduje stav jiného zařízení (výpadek proudu, poruchu, atd.)

Měření teploty

s použitím snímače teploty JB-TS-PT1000 měří aktuální teplotu a reportuje překročení nastavené mezní hodnoty

Termostat

s použitím snímače teploty JB-TS-PT1000 měří aktuální teplotu a dle nastavené teploty (požadované nebo nezámrzné) spíná silový výstup REL1 (např. elektrokotel, přímotop, apod.). Požadovanou a nezámrznou teplotu lze vzdáleně SMS příkazem nastavit a přepínat se mezi nimi.

Počítadlo impulzů

umožňuje připojit až dva externí měřiče spotřeby s impulzním výstupem (jako např. elektroměry, plynoměry či vodoměry) nebo jeden měřič rozlišením nízkého a vysokého tarifu. Režim počítadla impulzů poskytuje formou SMS informaci o jejich aktuálním stavu nebo překročení nastavených hladin.“

https://www.jabloshop.cz/gd-02k-din-univerzalni-gsm-komunikator-a-ovladac?utm_source=heureka.cz&utm_medium=referral&utm_id=heureka.cz_referral&utm_campaign=cost_import&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsAGoxjaLwkho2yVlO4Svn0KKae0T7cecF6J2Ab8Iw9Kui9KH2ZG7CRTSK1VwaAiKyEALw_wcB

(11.3.2024, 12:50)

GSM Exeo DIN - GSM Ovládání na DIN lištu s radiovým modulem



„Gsm modul obsahuje 4 výstupy jež je možné dálkově ovládat (pulsní/přepínací kontakt) pomocí SMS a 2 fyzické vstupy (další je možné řešit bezdrátově) jejich aktivace může odeslat SMS a zavolat na nastavená čísla nebo mohou být jen sledovány na vyžádání.

Je vhodný ne jen pro ovládání topení, ale pro dálkovou správu a monitorování objektu, jednoduché zabezpečení, díky rozmanitým funkcím pro hlídání teploty i pro oblasti potravinářského průmyslu, zahradnictví apod. Zajímavé uplatnění najde také v oblasti IT především pro hlídání teplot a vlhkosti serveroven a ovládání klimatizace.“

<https://www.jabloshop.cz/gsm-exeo-din-gsm-ovladani-na-din-listu> (12.3.2024, 17:20)

„4x fyzický výstup s libovolně definovatelnými příkazy (ZATOP, NETOP apod), nastavení režimu spínací nebo pulsni, s nastavitelnou délkou pulzu a možnost automatického vypnutí 1-255 hodin

ovládání výstupů SMS, zavolání s hlasovou navigací, bezplatně prozvoněním z nastavených čísel

2x fyzický vstup pro bezpotencialový kontakt, samostatné pojmenování v SMS

možnost kdykoli se poptat na SMS se stavem vstupů, výstupů, napájení, teplot atd vlastní záložní Li-Ion akumulátor pro zálohu až 24H- zasilání informace o výpadku a obnově napájení

dálková konfigurace pomocí PC přes WEBové rozhraní, nepotřebujete žádný propojovací kabel, konfigurujte na dálku kdykoli!

vnitřní teploměr

podpora regulace topení - režim termostatu, hlídání nezámrzné teploty, ALARM SMS o teplotě na libovolném připojeném teploměru

možnost ovládání SMS, prozvoněním, zavoláním s hlasovou audionápovědou“

<https://www.jabloshop.cz/gsm-exeo-din-gsm-ovladani-na-din-listu> (12.3.2024, 17:20)

1.7.2 Komplexní „smart“ systémy

Komplexní systémy vzdáleného ovládání a dohledu se vyskytují na trhu od mnohých výrobců spotřební elektroniky. Zpravidla mívají aplikaci na mobilním telefonu, případně webové rozhraní a v domácnosti jsou připojeny na internet. Vyžadují tedy od uživatele jak připojení na internet řízené budovy/domácnosti, tak zpravidla PC a/nebo mobilní telefon připojený k internetu. Podívejme se tedy na několik z těchto systémů.

Samsung SmartThings

Na svých stránkách Samsung prezentuje svou aplikaci takto:

Samsung SmartThings je aplikace, která umožňuje spravovat chytré domácí produkty z telefonu. S touto aplikací lze synchronizovat tisíce zařízení, automatizovat každodenní úkoly, vytvářet rutiny a sledovat spotřebu energie.

Některé z funkcí Samsung SmartThings:

Ovládání domácnosti: Zapínání spotřebičů, osvětlení, sledování, kolik energie je spotřebováváno.

Vytvoření domácího centra: Přizpůsobení prostředí domova pomocí stanice SmartThings. Lze nastavit oblíbené rutiny v aplikaci SmartThings a spustit je na chytrém centru jedním kliknutím.

Sledování spotřeby energie v reálném čase: Systém umožňuje sledovat a spravovat spotřebu energie zařízení v domácnosti na jednom místě.

Automatizace TV a osvětlení: Vytvoří dokonalou atmosféru pro filmový večer.

Sledování dětí: Systém zajistí sledování toho, co se děje doma, a poskytuje upozornění v reálném čase s možností využití „live“ kamer.

Sledování mazlíčků: Spojením Jet Bot AI+ s telefonem, poskytne možnost sledovat a natáčet mazlíčka v domácnosti odkudkoli.

Ztráta zařízení: Pokud dojde ke ztrátě telefonu Galaxy, tabletu, hodinek nebo jiného zařízení, SmartThings Find umožní je najít.

<https://www.samsung.com/us/smarthings/do-the-smartthing> (14.3.2024, 7:15)

Philips Hue

V tomto případě se jedná o jednoúčelové zařízení, sloužící ke komfortnímu ovládní osvětlení, viz níže:

Philips o svém systému referuje takto:

Philips Hue je systém chytrého osvětlení, který umožňuje ovládat domácí světla pomocí aplikace na telefonu. S tímto systémem lze vytvářet různé nálady, vytvářet pohlcující zážitky při sledování televize, hraní her nebo poslechu hudby.

Některé z funkcí Philips Hue:

Automatizace světel: Umožní naplánovat, kdy se světla zapnou a vypnou, nebo je ovládat na dálku.

Nastavení nálady: Lze nastavit světla tak, aby vytvářela určitou atmosféru nebo náladu.

Zabezpečení: Je možno použít světla k vytvoření dojmu, že je někdo doma, i když není.

Wellness: Světla je možno nastavit tak, aby podporovala denní rytmy obyvatelů domácnosti a zlepšovala celkové pohodlí.

Kompatibilita: Philips Hue je kompatibilní s mnoha dalšími zařízeními, platformami a asistenty pro chytrou domácnost.

Philips Hue nabízí širokou škálu produktů, včetně žárovek, světelných pásů, lamp a příslušenství.

<https://www.philips-hue.com/en-us/explore-hue> (14.3.2024, 12:00)

Home Assistant

Home Assistant je otevřený systém pro automatizaci domácnosti, který klade důraz na místní ovládání a ochranu soukromí¹. Tento systém je navržen tak, aby byl kompatibilní s tisíci různých zařízení a služeb.

Vlastnosti Home Assistant:

Integrace zařízení: Home Assistant je schopen integrovat a propojovat zařízení používající různé protokoly a od různých výrobců.

Pokročilé automatizace: Jakmile jsou všechna vaše zařízení doma integrována, můžeme využít pokročilý automatizační engine Home Assistantu, aby náš dům pracoval pro nás. Zapnout světla, když se setmí, nebo někdo přijde domů, upozornit na nezavřená vrata od garáže apod. Home Assistant obsahuje informace o všech zařízeních a službách. Tyto informace jsou uživatelům k dispozici v dashboardu aplikace a mohou být využity k aktivaci automatizací. Automatizace v Home Assistant umožňují automaticky reagovat na události, které se dějí. Můžete například zapnout světla při západu slunce nebo pozastavit hudbu, když dojde k přijetí telefonního hovoru.

Rozšíření systému pomocí doplňků (Add-ons): Home Assistant není omezen pouze na Home Assistant. Snadno lze nainstalovat další aplikace, které pomohou spravovat dům.

Doplňky umožňují uživatelům rozšířit funkčnost Home Assistantu instalací dalších aplikací. To může zahrnovat spuštění aplikace, se kterou Home Assistant může integrovat (jako je MQTT broker), nebo sdílení konfigurace pro snadné ovládání z jiných počítačů.

Doplňky pro Home Assistant jsou volně dostupné v obchodě s doplňky. Všechny doplňky, včetně jejich dokumentace, jsou přímo dostupné v obchodě.

Mobilní aplikace: Home Assistant nabízí oficiální mobilní aplikace, které jsou pohodlným doplňkem pro rychlé ovládání zařízení a pro zaslání upozornění, když se něco děje v domě.

Správa energie: Home Assistant vám umožňuje získat přehled o energetickém využití pomocí funkce pro správu energie domácnosti.

Home Assistant chce přispět k řešení klimatické krize a pomoci uživateli udělat totéž. Jednou ze součástí boje proti klimatické krizi je zajistit, aby naše domovy byly energeticky efektivní a využívaly zdroje energie s nízkými uhlíky. Home Assistant pomáhá sledovat spotřebu energie, přejít na udržitelné zdroje energie a ušetřit peníze.

Kompatibilita Home Assistant:

Home Assistant je kompatibilní s tisíci různých zařízení a služeb. Díky tomu je možné propojit a ovládat širokou škálu zařízení, včetně osvětlení, senzorů, kamer, termostatů a mnoha dalších. Tato široká kompatibilita umožňuje uživatelům vytvářet komplexní a vysoce přizpůsobitelné automatizace pro jejich domácnosti.

<https://www.home-assistant.io/> (15.3.2024, 8:25)

Google Nest nebo Home devices

Google Nest nebo Home speakers, či displeje usnadňují život díky funkcím, které vám umožňují používat hlas k přehrávání médií, správě úkolů, plánování dne a mnoha dalším věcem.

Přehrávání nebo poslech médií

Voice Match – Sdílení reproduktorů nebo displeje s rodinou a přáteli. Připojení účtu Google a hlasu k reproduktoru nebo displeji a získávání personalizovaných informací.

Hudba – Přehrává hudbu z populárních hudebních služeb podle umělce, písně, žánru, alba, playlistu, nálady nebo aktivity.

Zprávy – Umožní získat nejnovější zprávy od důvěryhodných.

Sledování zpráv – Lze sledovat zprávy na jakékoliv televizi s podporou hlasu pomocí Chromecastu.

Podcasty – Poslech populárních podcastů.

Rádio – Všechny populární rádiové stanice k poslechu.

Odpočinek – Zahraje uklidňující ambientní zvuky.

Bluetooth – Přehraje hudbu uloženou v jakémkoli zařízení které ji umí vyslat pomocí Bluetooth.

Ovládání televizorů a reproduktorů

Přehrávání televizních pořadů a filmů – Streamue videoobsah na jakýkoliv televizor s připojeným nebo vestavěným Chromecastem.

Přehrávání videí z YouTube na televizorech – Dokáže spouštět videa z YouTube na jakémkoli televizoru s Chromecastem nebo vestavěným Chromecastem pouze pomocí hlasového ovládání.

Přehrávání zvuku na reproduktorech a televizorech – Lze streamovat zvuk na jakýkoliv reproduktor s připojeným Chromecast Audio nebo vestavěným Chromecastem.

Skupiny reproduktorů – Lze seskupit libovolnou kombinaci reproduktorů, displejů, podporovaných zařízení Chromecast a dalších pro synchronní hudbu v celém domě.

Přehrávání zvuku z telefonu na reproduktor nebo displej – Je možno přehrávat zvuk z telefonu na reproduktor nebo displej streamováním z více než 100 aplikací s podporou Chromecastu, přehráváním Android Audio nebo připojením přes Bluetooth.

Zapnutí a vypnutí televizoru – Televizor můžete zapnout a vypnout pomocí hlasu a reproduktoru nebo displeje.

Získání předpovědi počasí na televizi – Aktuální počasí a předpověď na televizi s Google Assistantem a Chromecastem.

Plánování dne

Ranní rutina „Dobré ráno“ – Poskytne denní přehled, který zahrnuje počasí, kalendář, dobu cesty, připomínky a zprávy.

Doprava – Informace o dopravě a časech cest, ať už uživatel pojedete autem, pěšky nebo na kole.

Počasí – Aktuální počasí nebo předpověď na týden pro domácí lokalitu nebo jakékoliv jiné místo na světě.

Kalendář – Rozvrh dne z Google Kalendáře.

Informace o letu – Aktuální informace o nadcházejících naplánovaných letech.

Volání – Volání přátelům, rodině a podnikům pouze pomocí hlasu a reproduktoru nebo displeje.

Úkoly – Nastavit, dotazovat se na a mazat úkoly na reproduktoru nebo displeji.

Automatizace domova – Umožní nastavit Rutiny, které automaticky přizpůsobí chytrá zařízení na požadované nastavení. Rutiny mohou začít vlastním hlasovým příkazem, v určitý čas, když někdo přijde domů. Pro další možnosti lze vytvořit pokročilé domácí automatizace pomocí editoru skriptů.

If this, then that (IFTTT) – Ovládání nesčetných online služeb a chytrých zařízení třetích stran, která nejsou přímo integrována.

Streamování bezpečnostní kamery – Lze streamovat bezpečnostní kameru na televizor pomocí reproduktoru nebo displeje a Chromecastu nebo televizoru s vestavěným Chromecastem.

Zvonek – Umožní poslech nebo video z kamery u dveřního zvonku na televizoru pomocí Chromecastu nebo televizoru s vestavěným Chromecastem.

Google Nest Help <https://support.google.com/googlenest/answer/7130274?hl=en>
(16.3.2024, 9:15)

Další možné alternativy:

IFTTT

Více než 600 aplikací je kompatibilních s IFTTT, včetně Twitteru, Telegramu, Google Drive, Twitch, Weather Underground, Instagramu, Gmailu a také zařízení jako Google Home, Amazon Alexa, Nest, Philips Hue a iPhone. Aplikace IFTTT je také integrována s aplikací Zdraví, což umožňuje snadno sledovat zdravotní údaje.

Funkce IFTTT:

- Podpora češtiny a dalších 16 jazyků.
- Nízká náročnost na zdroje zařízení ve srovnání s podobnými aplikacemi.
- Není vyžadováno programování pro používání.

openHAB

openHAB je open-source platforma pro automatizaci domácnosti založená na Javě, která integruje a kombinuje široký rozsah různých systémů a technologií chytré domácnosti do jediného komplexního řešení

- openHAB je nejoblíbenější alternativou k Home Assistant pro Windows, Mac, Linux a Self-Hosted.
- openHAB je nejoblíbenější open-source alternativou k Home Assistant.

Vlastnosti openHAB:

- Zaměření na soukromí, považováno za alternativu přátelskou k soukromí.
- Bez reklam.
- Rozšiřitelnost pomocí pluginů a rozšíření.
- Integrace s IFTTT, což umožňuje automatické spouštění akcí v openHAB.
- Podpora Chromecastu umožňuje streamovat obsah na zařízení připojené k Chromecastu s openHAB.

Multiple protocols, vendors, KNX, MQTT, ZigBee, Alexa, Homekit, Philips Hue.

Homebridge

Homebridge je lehký server NodeJS, který lze spustit v domácí síti a emuluje iOS HomeKit API. Podporuje pluginy, moduly vytvořené komunitou, které poskytují základní most mezi HomeKit a různými API třetích stran pro "chytré domácí" zařízení.

Vlastnosti Homebridge:

- Rozšiřitelnost pomocí doplňků, pluginů a rozšíření. Podporuje KNX, Smart home Siri.

Home

S aplikací Home lze bezpečně ovládat všechna příslušenství HomeKit z iOS zařízení. Například zapnout a vypnout světla, podívat se, kdo je u předních dveří např z iPadu, či ovládat věci na dálku s pomocí Apple TV.

Vlastnosti Home:

Integrovan do IOS.

ioBroker

ioBroker je integrační platforma pro internet věcí zaměřená na chytrou domácnost, automatizaci budov, inteligentní měření, podporu života ve stáří, automatizaci procesů, vizualizaci a záznam dat. Snaží se být možnou náhradou nebo rozšířením pro software jako například.

Vlastnosti ioBroker:

- Podpora NodeJS.
- Vysoká dostupnost.
- Vizuální programování.
- Modulární systém.
- Integrace Alexy.
- Chytrá domácnost.
- Hlasové příkazy.
- Editor Blockly.
- Podpora pro více dodavatelů.
- Webové rozhraní.

Gladys

Gladys je open-source program, který běží na Raspberry Pi nebo Dockeru. Integruje se do života, bezproblémově komunikuje napříč celou domácí sítí a zařízeními, zatímco kontroluje propojený kalendář. Založeno na NodeJS.

Vlastnosti Gladys Assistant:

Smart home

MQTT

Linux-based

Domoticz

Domoticz je systém pro automatizaci domácnosti, který umožňuje monitorovat a konfigurovat různá zařízení jako světla, spínače, různé senzory/měřiče jako teplota, déšť, vítr, UV, elektřina, plyn, voda a mnoho dalšího. Oznámení/upozornění mohou být odeslána na jakékoli mobilní zařízení.

Vlastnosti Domoticz

Smart home

Support for Xiaomi MiHome

<https://alternativeto.net/software/home-assistant-io/> (17.3.2024, 7:15)

2 Praktická část - hardware

2.1 Možnosti pro volbu vhodné platformy

K vývoji a odladění námi požadovaného zařízení budeme používat vývojové moduly, což je nejjednodušší cesta, jak mít možnost vyzkoušet širokou škálu možností aplikací. Pro centrální jednotku vybereme jednu z níže uvedených vývojových desek od prvovýrobců. Jako periferie pak použijeme škálu levných desek čínské výroby, které však zdaleka nemusí být nevalné kvality a někdy i překvapí úrovní čistoty řemeslného zpracování.

Pro účely naší práce je nejdůležitější volba platformy pro centrální jednotku, na které se bude odehrávat převážná část veškeré funkcionality a logiky. K této centrální jednotce pak budou připojeny jednotky periferní, jako senzory, aktuátory, komunikační zařízení, jako síťová rozhraní, GSM modemy, hlasové moduly, případně například ZigBee či LoRaWan brány a podobně. Vše v závislosti na požadavcích možností projektovaného zařízení. Jako nejvhodnější pro vývoj podobných zařízení se jeví použití vývojových desek, kterých je na trhu za levný peníz bezpočet. Pojdme se tedy nyní podívat na některé z nich, které pak podrobíme dalšímu zkoumání možností a vybereme platformu pro naše zařízení.

2.1.1 Možnosti platformy pro centrální jednotku

Vývojové desky jsou základním kamenem pro návrh podobných zařízení zvláště v amatérských podmínkách, včetně smart home systémů, které umožňují dálkový dohled a kontrolu nad domácími zařízeními. Každá platforma má své specifické vlastnosti, které ji činí vhodnější pro určité typy aplikací. Podíváme na možnosti a schopnosti funkcionalit několika populárních platforem a porovnáme jejich vlastnosti.

Arduino Uno a Arduino Mega

Arduino Uno a Arduino Mega jsou základní desky z rodiny Arduino, které jsou obzvláště vhodné pro hobby projekty a vzdělávací účely. Arduino Uno má omezený výkon a paměť, ale jeho jednoduchost a rozsáhlá podpora komunity z něj dělají skvělou volbu pro začátečníky. Na druhou stranu, Arduino Mega nabízí více I/O pinů a větší paměť, což umožňuje komplexnější projekty a větší flexibilitu.

ESP32

ESP32 je výkonný mikrokontrolér s integrovaným Wi-Fi a Bluetooth, což jej činí ideálním pro IoT projekty. Díky vysokému výkonu, nízké spotřebě energie a schopnosti bezdrátové komunikace je ESP32 skvělou volbou pro smart-home systémy, které vyžadují dálkovou kontrolu a data shromažďovaná z různých senzorů.

STM32 - STM32F103xx - BluePill, STM32F3xx, STM32H7xx

Rodina STM32 nabízí řadu mikrokontrolerů s různým výkonem a schopnostmi. STM32 BluePill je cenově dostupná deska, která je vhodná pro jednodušší aplikace. Rodina STM32F3 přináší vyšší výkon a je vhodná pro aplikace vyžadující složitější výpočty nebo rychlou komunikaci. STM32H755ZI je na špičce s extrémní výpočetní kapacitou a podporou pro grafické uživatelské rozhraní, což ji činí vhodnou pro náročné aplikace.

Raspberry Pi 3 a Raspberry Pi 4, Beagle Bone Black, Uni-Pi, Raspberry Pico

Raspberry Pi 3 a 4 jsou plnohodnotné počítače na jedné desce, které nabízí výkon, flexibilitu a rozšiřitelnost pro složité domácí automatizační systémy. Raspberry Pi 4 nabízí větší výkon

a lepší podporu pro periferie než jeho předchůdce. Beagle Bone Black je alternativou k Raspberry Pi s podobnými schopnostmi. Uni-Pi přidává k Raspberry Pi rozhraní pro připojení k průmyslovým systémům. Raspberry Pico je malý a cenově dostupný mikrokontrolér vhodný pro jednoduché úlohy v rámci většího systému.

Možnost použití PLC (Programovatelných logických automatů)

PLC automaty jsou tradiční volbou pro průmyslovou automatizaci, ale mohou být použity i v domácích automatizačních systémech, kde je potřeba robustní a spolehlivá kontrola. I když jsou obvykle dražší a složitější na programování než výše zmíněné vývojové desky, nabízejí vysokou úroveň spolehlivosti a jsou vhodné pro aplikace, které vyžadují precizní kontrolu a dlouhodobou stabilitu.

Výběr správné platformy pro návrh smart home systému závisí na mnoha faktorech, včetně požadovaného výkonu, rozpočtu, rozhraní, která mají být integrována, a osobních preferencí. Pro hobby projekty a vzdělávání jsou ideální Arduino desky. ESP32 a STM32 rodina nabízí větší výkon a flexibilitu pro složitější aplikace. Raspberry Pi a podobné plnohodnotné počítače poskytují podporu pro komplexní operační systémy a aplikace vyžadující vyšší výpočetní výkon. PLC automaty jsou nejlepší volbou pro průmyslové aplikace vyžadující vysokou spolehlivost a robustnost.

Vývojové desky Arduino

Arduino UNO rev3



Obrázek 1 Arduino UNO rev3, (<https://www.laskakit.cz/arduino-uno-rev3--original/>)

„Specifikace:

Mikrokontroler ATmega328P

Frekvence CPU až 20MHz

FLASH 32KB

EEPROM 1KB

SRAM 2KB

14x digital I/O

1x 10-bit ADC 6 kanálů

6 PWM kanálů

2x 8-bit časovač – oddělený Prescaler + Compare Mode

1x 16-bit časovač – oddělený Prescaler + Compare Mode + Capture Mode

1x programovatelný Watchdog časovač s odděleným integrovaným oscilátorem

1x USART, 1x SPI, 1x I2C

1x analogový komparátor

1x obvod reálného času – RTC s odděleným oscilátorem

Interrupt a Wake-up při změně úrovně na pinu

Oscilátory, reset a správa napájení:

- *Napájení 1.8 – 5.5V*
- *Reset při zapnutí napájení (Power-on Reset) a programovatelný detektor nízkého napětí (Brown-out)*
- *Externí až 20MHz oscilátor pro CPU*
- *Interní 8MHz oscilátor pro CPU*
- *Interní oscilátor pro RTC*

Režim nízké spotřeby:

- *Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby a Extended Standby“*

<https://www.laskakit.cz/arduino-uno-rev3--original/> (18.3.2024, 9:20)

Arduino Uno je ideální pro začátečníky a malé projekty, kde není vyžadováno mnoho I/O pinů nebo vysoká paměť. Jeho jednoduchost a široká podpora komunity znamenají, že existuje mnoho dostupných tutoriálů a knihoven, které usnadňují práci se zařízením. Pro námi zamýšlené zařízení by bylo vhodné, pokud by zařízení bylo jednoduché, a mělo například jen několik digitálních I/O, případně jeden analogový. Taktéž bychom byli limitováni počtem sériových portů (USART), který je zde jen jeden.

ESP32-DEVKITC 38PIN ESP-WROOM-32 WI-FI+BT



Obrázek 2 Vývojový kit ESP32-DevKitC, (<https://www.hwkitchen.cz/esp32-devkitc-38pin-espwroom32-wifi-bt/>) (17.3.2024, 15:45)

„Specifikace:

- SoC: ESP32-D0WDQ6 (revision 1)
- Frekvence CPU 80 až 240 MHz
- Programová flash 4MB
- SRAM 520 kB
- WiFi 2,4-2,5GHz 802.11bgn (802.11n až do 150 Mbps)
 - režim Wifi - Station/softAP/SoftAP+station/P2P
 - zabezpečení WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
- Bluetooth v4.2 BR/EDR a BLE, podpora audia CVSD a SBC
- Hardware akcelerované kryptování AES/SHA2/Elliptical Curve Cryptography/RSA-4096
- Rozhraní paměťových modulů SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC
- Komunikační rozhraní 3xUART, 3xSPI, SDIO, 2xI2C, 2xI2S, IR
- Rozhraní vstupně-výstupní 34xGPIO, 18xADC, 2xDAC, 16xLED PWM, LNA, kapacitní dotykové senzory, hallové senzory
- RTC s odděleným oscilátorem 32kHz
- Interní 26MHz oscilátor pro CPU
- Různé režimy nízké spotřeby až 3mA v aktivním režimu, 2.5uA v hibernaci.
- Integrovaná LED: GPIO1
- Rozměry desky: cca 55x28mm“

<https://www.laskakit.cz/iot-esp-32s-2-4ghz-dual-mode-wifi-bluetooth-rev-1--cp2102/>
(17.3.2024, 15:45)

ESP32 je vybavena dvoujádrovým procesorem Tensilica Xtensa LX6, který může běžet až na frekvenci 240 MHz. To ji činí vhodnou pro náročnější aplikace, které rychlé zpracování dat.

Jednou z klíčových vlastností ESP32 je její podpora bezdrátových protokolů. Tato deska nabízí Wi-Fi a Bluetooth (včetně BLE), což umožňuje snadnou integraci do domácích sítí a komunikaci s jinými smart zařízeními bez nutnosti dodatečného hardwaru.

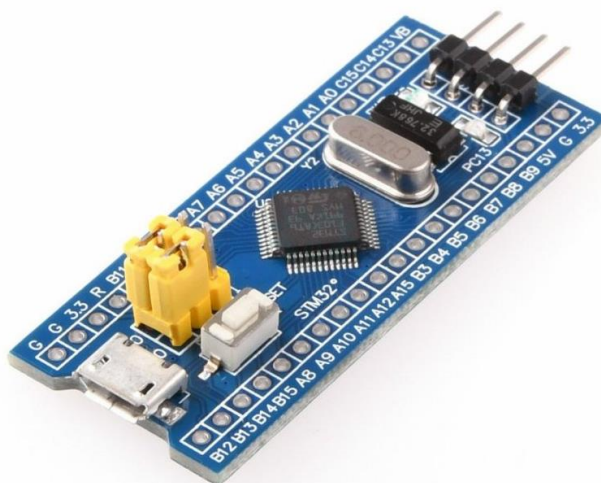
Přestože ESP32 poskytuje vysoký výkon, je také navržena s ohledem na energetickou efektivitu, což je zásadní pro zařízení poháněná bateriemi nebo pro aplikace, které vyžadují dlouhou dobu provozu na jedno nabití. Podpora hlubokého spánku a jiných režimů úspory energie umožňuje vývojářům optimalizovat spotřebu energie pro konkrétní aplikaci.

Vývojové prostředí a komunita

ESP32 těží z rozsáhlé podpory vývojových prostředí, jako jsou Arduino IDE, Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF), a další. Silná komunita vývojářů a bohatá dokumentace usnadňují vývoj aplikací, od jednoduchých hobby projektů po složité komerční aplikace.

Vývojové desky STM32

STM32103xx BluePill



Obrázek 3 BluePill ARM STM32 STM32F103C8, (<https://www.laskakit.cz/bluepill-arm-stm32-stm32f103c8-vyvojova-deska/>) (18.3.2024, 10:25)

„Řada mikrokontrolerů STM32F103xx obsahuje vysoce výkonné 32-bitové jádro RISC ARM®Cortex®-M3 pracující s frekvencí až 72 MHz, vysokorychlostní vestavěné paměti (paměť Flash až 128 kB a SRAM až 20 kB), bohatý počet vylepšených I/O portů a periférií připojených ke dvěma sběrnicím APB. Mikrokontrolery nabízejí dva 12bitové ADC převodníky, tři univerzální 16bitové časovače plus jeden PWM časovač, jakož i standardní a pokročilá komunikační rozhraní: až dvě I2C a SPI, tři USART, USB a CAN.“

(<https://www.laskakit.cz/bluepill-arm-stm32-stm32f103c8-vyvojova-deska/>) (18.3.2024, 10:25)

„Specifikace:

Mikrokontroler STM32F103C8 (klon)

Frekvence CPU až 72MHz

FLASH 64KB

SRAM 20KB

2 x 12bit ADC (0 – 3.6V, 16 kanálů)

7 x DMA

7 x časovač:

3 x 16bit časovač, každý s až 4 vstupy IC/OC/PWM nebo čítačem impulzů a kvadrurním (inkrementálním) vstupem pro enkodér

16bitový časovač PWM s řízením motoru s generováním mrtvé doby (dead-time) a nouzovým zastavením

2 x Watchdog časovač (Independent a Window)

24bit SysTick časovač

2 x I2C (SMBus/PMBus)

3 x USART (ISO 7816 interface, LIN, IrDA, modem control)

2 x SPI (18 Mbit/s)

1 x CAN (2.0B Active)

1 x USB 2.0 full-speed

1 x obvod reálného času - RTC

CRC calculation unit, 96-bit unikátní ID

Oscilátory, reset a správa napájení:

Napájení 2.0 - 3.6 V

Reset při zapnutí napájení (Power-on Reset), reset při vypnutí napájení (Power-down Reset) a programovatelný detektor napětí (PVD)

Externí 4 - 16 MHz oscilátor pro CPU

Interní 8 MHz oscilátor pro CPU

Interní 40 kHz oscilátor pro RTC

PLL pro taktování CPU

Externí 32.768 kHz oscilátor s kalibrací pro RTC

Režim nízké spotřeby:

Sleep, Stop a Standby režim

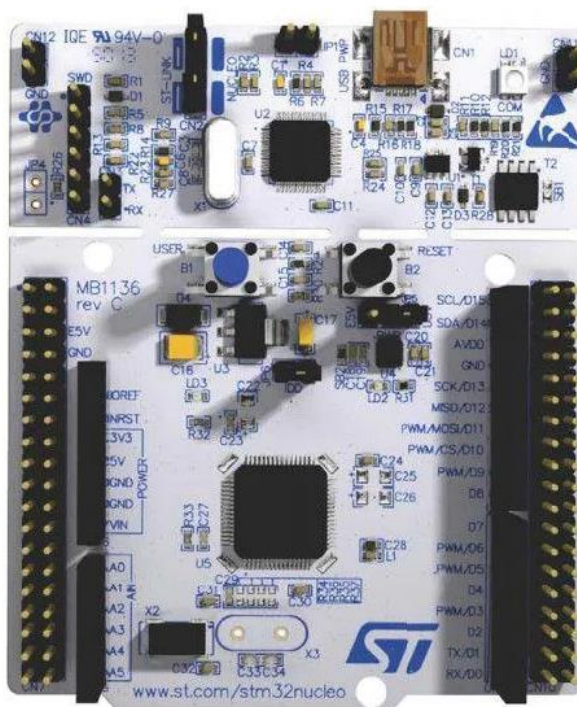
VBAT vstup pro zálohování napájení pro RTC a záložní registry“

(<https://www.laskakit.cz/bluepill-arm-stm32-stm32f103c8-vyvojova-deska/> (18.3.2024, 10:25))

STM32F103, prodáváný na vývojové desce, čínskými prodejci také jako BluePill, je cenově dostupný a výkonný mikro-kontrolér založený na architektuře ARM Cortex-M3, který nabízí zajímavé možnosti pro vývojáře a konstruktéry elektroniky.

Je vybaven významně lépe, než jednodušší verze Arduina odpovídajících rozměrů, tedy například Arduino-Nano. Napájení 3,3V může být v mnoha aplikacích výhodou, nutno dodat, že jindy naopak i nevýhodou a je potřeba mít na zřeteli, s jakými úrovněmi budou pracovat budoucí periférie. BluePill pracuje také na několikanásobně vyšší frekvenci, má dva ADC Převodníky, 3x USART, 7x časovač, SPI a I2C sběrnice a další. Zdá se tedy být vhodnějším kandidátem na většinu složitějších zařízení.

STM32F3xx Nucleo board



Obrázek 4 NUCLEO-F303RE,
<https://cz.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/NUCLEO-F303RE> (19.3.2024,
 11:30)

Specifikace:

Vlastnost produktu	Hodnota vlastnosti	Zvolit atribut
Výrobce:	STMicroelectronics	
Kategorie produktu:	Vývojové desky a soupravy - ARM	
RoHS::	Údaje	
Série:	NUCLEO-F303RE	
Výrobek:	Development Boards	
Jádro:	ARM Cortex M4	
Nástroj je pro ohodnocení :	STM32F303RET6	
Balení:	Bulk	
Značka :	STMicroelectronics	
Šířka datové sběrnice :	32 bit	
Popis/Funkce:	STM32 nucleo board	
Pro použití s:	STM32F	
Typ rozhraní:	USART, USB	

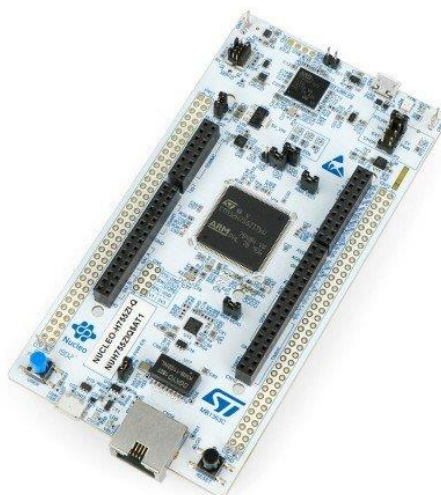
Provozní napájecí napětí :	3.3 V, 5 V, 7 V to 12 V
Typ produktu:	Development Boards & Kits - ARM
Množství v balení od výrobce:	1
Podkategorie:	Development Tools
Obchodní označení:	NUCLEO
Jednotková váha:	77,111 g

<https://cz.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/NUCLEO-F303RE>
(19.3.2024, 11:30)

STM32F3xx Nucleo board představuje řadu vývojových desek od STMicroelectronics, které jsou založené na mikrokontrolérech STM32F3 s jádrem ARM Cortex-M4. Desky jsou navrženy tak, aby poskytovaly cenově dostupný a flexibilní způsob pro uživatele, aby mohli vyzkoušet nové nápady a prototypy s jakýmkoliv mikrokontrolérem řady STM32F3. Ve srovnání s STM32F103, známým jako Blue Pill, řada STM32F3 přináší vylepšené výpočetní schopnosti a lepší analogové periferie, což ji činí atraktivní volbou pro pokročilejší projekty, včetně těch, které vyžadují detailní zpracování signálů případně pro jednoduché smart home systémy.

STM32F3xx série nabízí pokročilé analogové periferie, včetně přesných ADC (analogově-digitálních převodníků), což je klíčové pro aplikace, kde je potřeba přesné měření a sběr dat, jako jsou senzorové uzly pro monitorování prostředí.

STM32F755ZI-Q Nucleo board



Obrázek 5 NUCLEO-H743ZI, (<https://botland.cz/stm32-nucleo/15489-stm32-nucleo-h755zi-q-stm32h755zit6-arm-cortex-m7-m4-5904422323851.html>) (19.3.2024, 13:30)

Specifikace:

„Common features

- *STM32 microcontroller in an LQFP144 or a TFBGA225 package*
- *3 user LEDs*
- *2 user and reset push-buttons*
- *32.768 kHz crystal oscillator*
- *Board connectors:*
 - *SWD*
 - *ST Zio expansion connector including ARDUINO® Uno V3*
 - *ST morpho expansion connector*
- *Flexible power-supply options: ST-LINK USB V_{BUS} , USB connector, or external sources*
- *Comprehensive free software libraries and examples available with the STM32Cube MCU Package*
- *Support of a wide choice of Integrated Development Environments (IDEs) including IAR Embedded Workbench®, MDK-ARM, and STM32CubeIDE*
- *Features specific to some of the boards*

- *External or internal SMPS to generate V_{core} logic supply:NUCLEO-L496ZG-P, NUCLEO-L4R5ZI-P, NUCLEO-L552ZE-Q, NUCLEO-H745ZI-Q, NUCLEO-H755ZI-Q, NUCLEO-H7A3ZI-Q, NUCLEO-U575ZI-Q, and NUCLEO-U5A5ZJ-Q*
- *Ethernet compliant with IEEE-802.3-2002:NUCLEO-F207ZG, NUCLEO-F429ZI, NUCLEO-F439ZI, NUCLEO-F746ZG, NUCLEO-F756ZG, NUCLEO-F767ZI, NUCLEO-H563ZI, NUCLEO-H723ZG, NUCLEO-H743ZI, NUCLEO-H743ZI2, NUCLEO-H745ZI-Q, NUCLEO-H753ZI, NUCLEO-H755ZI-Q, and NUCLEO-H7S3L8*
- *USB Device only, USB OTG full speed, or SNK/USP (full-speed or high-speed mode)*
- *Board connectors:*
 - *MIPI20 compatible connector with trace signals (NUCLEO-H7S3L8)*
 - *USB with Micro-AB or USB Type-C[®]*
 - *Ethernet RJ45*
- *On-board ST-LINK (STLINK/V2-1, STLINK-V3E, or STLINK-V3EC) debugger/programmer with USB re-enumeration capability: mass storage, Virtual COM port, and debug port“*

<https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-h755zi-q.html> (19.3.2024, 13:30)

NUCLEO-H745ZI-Q je vývojová deska od, která je součástí Nucleo-144 řady a je založena na mikrokontroléru STM32H745ZI s dvěma jádry, ARM Cortex-M7 a Cortex-M4. Tato deska je navržena pro vývojáře, kteří potřebují vysoký výkon pro realizaci složitých aplikací, takže ji lze použít například i pro složitější systémy dálkového dohledu a smart home systémy. Vyznačuje velkými výpočetními schopnostmi a bohatou sadou periférií, což ji činí vhodnou pro návrh vysoce integrovaných a výkonných systémů.

Vylepšené analogové a digitální periferie

Deska obsahuje pokročilé analogové periferie jako jsou ADC (analogově-digitální převodníky), stejně jako pokročilé časovače a PWM (pulzně šířková modulace) kanály, což umožňuje precizní sběr dat a ovládání externích zařízení.

Integrované ladění a programování:

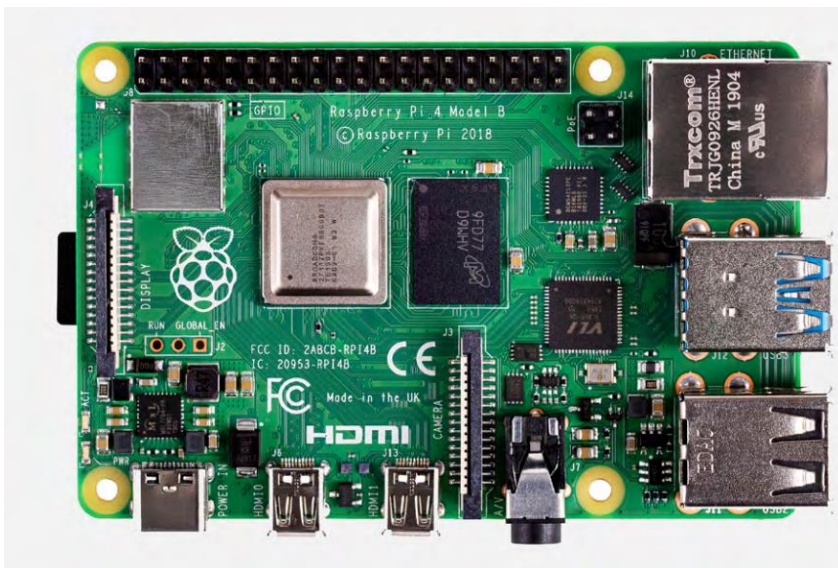
S integrovaným ST-LINK/V2-1 programátorem/debuggerem usnadňuje NUCLEO-H745ZI-Q vývoj a ladění, umožňující vývojářům rychle iterovat a optimalizovat své aplikace.

Minipočítače Raspberry Pi, BeagleBone, Uni-Pi, Raspberry Pico

Pokud bychom použili některý z těchto minipočítačů, bude pro naši práci na pozici centrální jednotky, která bude obsluhovat přímo senzory, pravděpodobně vhodný minipočítač s dostatkem GPIO a dalších potřebných periférií. Zaměříme se tedy na RPI 4 a BeagleBoneBlack, jako na dva zástupce této kategorie.

Pro obě námi vybrané desky platí, že jsou víceméně předurčeny pro běh OS Linux.

Raspberry PI 4



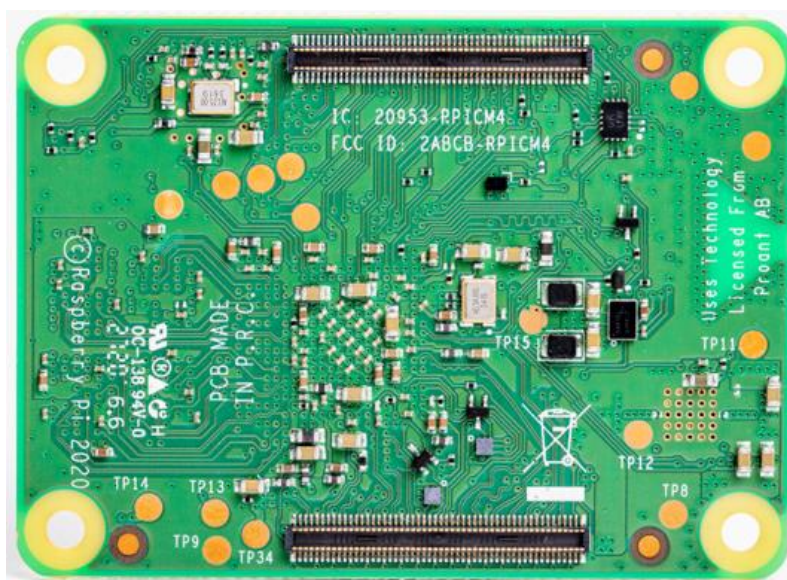
Obrázek 6 Raspberry PI 4, (<https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf>) (24.3.2024, 10:20)

„Specifications -Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.8GHz

- 1GB, 2GB, 4GB or 8GB LPDDR4-3200 SDRAM (depending on model)
- 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE
- Gigabit Ethernet
- 2 USB 3.0 ports; 2 USB 2.0 ports.
- Raspberry Pi standard 40 pin GPIO header (fully backwards compatible with previous boards)
- 2 × micro-HDMI® ports (up to 4kp60 supported)
- 2-lane MIPI DSI display port
- 2-lane MIPI CSI camera port
- 4-pole stereo audio and composite video port
- H.265 (4kp60 decode), H264 (1080p60 decode, 1080p30 encode)
- OpenGL ES 3.1, Vulkan 1.0
- Micro-SD card slot for loading operating system and data storage
- 5V DC via USB-C connector (minimum 3A*)
- 5V DC via GPIO header (minimum 3A*)
- Power over Ethernet (PoE) enabled (requires separate PoE HAT)
- Operating temperature: 0 – 50 degrees C ambient“

Raspberry Compute Module

Jelikož standardní Raspberry PI 4 má vyvedeno jen málo I/O z procesoru, stojí za zmínku ještě vestavný modul „Raspberry Compute Module“, který je určen k vestavění do finálních zařízení a co se týče počtu vývodů, je podstatně lépe vybaven.



Obrázek 7 Compute modul s konektory pro připojení do stávajícího zařízení, (<https://rpishop.cz/278698/raspberry-pi-compute-module-4-wi-fi-bluetooth-ano-velikost-ram-1-gb>) (24.3.2024, 10:20)

„Specifikace

Provedení:

55 mm × 40 mm

System on module

Procesor:

Broadcom BCM2711 quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz

Paměť:

1GB, 2GB, 4GB nebo 8GB LPDDR4 (v závislosti na variantě)

Konektivita:

Volitelná Wi-Fi 2,4 GHz a 5,0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac a Bluetooth 5.0 BLE s integrovanou a externí anténou

Integrovaný Gigabit Ethernet podporující IEEE 1588

1 × USB 2.0 rozhraní

1 × PCIe Gen 2 x1 rozhraní

28 GPIO

Rozhraní SD karty pro SD kartu nebo externí eMMC (pro použití pouze s variantami Compute Module 4 bez eMMC)

Video:

Duální HDMI rozhraní (podporuje až 4Kp60)

2proudové MIPI DSI rozhraní displeje

2proudové MIPI CSI rozhraní kamery

4proudové MIPI DSI rozhraní displeje

4proudové MIPI CSI rozhraní kamery

Multimédia:

*H.265 (4Kp60 dekódování); H.264 (1080p60 dekódování, 1080p30 kódování);
grafika OpenGL ES 3.0*

Napájení:

5V DC

Provozní teplota:

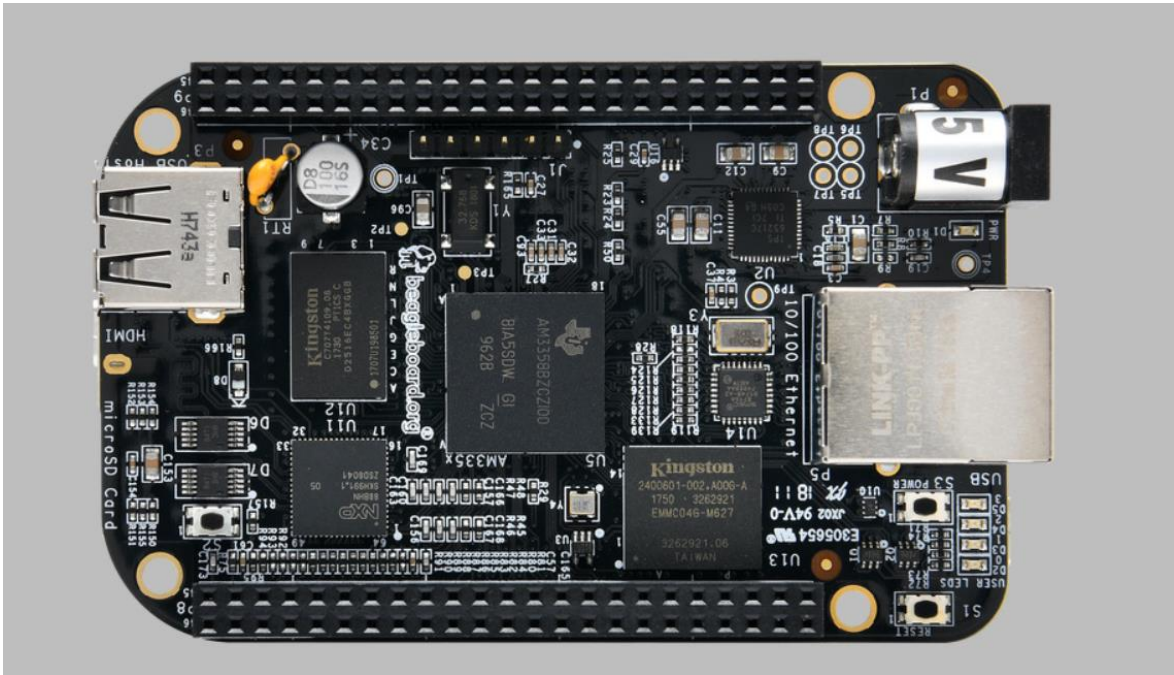
0 až +80 °C

Životnost výroby:

Raspberry Pi Compute Module 4 zůstane ve výrobě nejméně do ledna 2028“

<https://rpishop.cz/278698/raspberry-pi-compute-module-4-wi-fi-bluetooth-ano-velikost-ram-1-gb> (24.3.2024, 10:20)

BeagleBone Black



Obrázek 8 BeagleBone Black, (<https://rpishop.cz/beaglebone/4498-beaglebone-black.html>) (24.3.2024, 17:20)

Specifikace:

„Chipset Features

Texas Instruments Sitara AM3358

1GHz ARM® Cortex-A8

SGX 3D Graphics Engine

NEON floating-point accelerator

2×32-bit 200-MHz programmable real-time units (PRUs)“

<https://www.beagleboard.org/boards/beaglebone-black> (24.3.2024, 17:20)

„Board Features

Memory

SDRAM: 512MB DDR3L 800MHZ

Onboard Flash: 4GB, 8bit Embedded MMC (eMMC)

SD/MMC Connector for microSD

Power management: TPS65217C PMIC is used along with a separate LDO to provide power to the system

Debug Support: Optional Onboard 20-pin CTI JTAG, Serial Header

Power Source

miniUSB USB or DC Jack

5VDC External Via Expansion Header

Connectivity

High speed USB 2.0 Client port: Access to USB0, Client mode via miniUSB

High Speed USB 2.0 Host port: Access to USB1, Type A Socket, 500mA LS/FS/HS

Serial Port: UART0 access via 6 pin 3.3V TTL Header. Header is populated

10/100M Ethernet (RJ45)

User Input / Output

Reset Button
Boot Button
Power Button
LED power indicator
4 user configurable LEDs
Video/Audio Interfaces
HDMI D type interface
LCD interface
Stereo audio over HDMI interface
Expansion Interfaces via 2x 46 pin headers
LCD, UART, eMMC
ADC, I2C, SPI, PWM
Compact Size of a Mint Tin“

(<https://www.beagleboard.org/boards/beaglebone-black> (24.3.2024, 17:20))

BeagleBone Black je cenově dostupná vývojová platforma s vysokou možností rozšíření, která je podporována komunitou pro vývojáře. Uživatelé mohou spustit téměř okamžitě spustit Linux a začít vyvíjet pouze s jedním USB kabelem. Stejně jako jeho předchůdci je BeagleBone Black navržen s ohledem na otevřenou komunitu, a každého, kdo má zájem o cenově dostupný procesor založený na ARM® Cortex™-A8. Je vybaven sadou periférií, která uživateli umožňuje prozkoumat možnosti desky, a zároveň nabízí přístup k mnoha rozhraním a možnost použití doplňkových desek nazývaných „capes“, které přidávají mnoho různých kombinací funkcí. Uživatelé si také mohou vyvinout vlastní desku nebo přidat vlastní obvody.

(<https://www.beagleboard.org/boards/beaglebone-black> (24.3.2024, 17:20))

Srovnání Raspberry Pi 4 a Beagle Bone Black

Výkon a Procesor

BeagleBone Black: Využívá AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8 procesor. Nabízí solidní výkon pro mnoho aplikací, včetně těch, které vyžadují real-time procesing díky PRU (Programmable Real-time Units).

Raspberry Pi 4: S Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz, poskytuje výrazně vyšší výkon než BeagleBone Black. Toto z něj činí lepší volbu pro náročnější aplikace, jako jsou multimediální aplikace, pokročilé výpočetní úlohy a hry.

Paměť

BeagleBone Black: Má 512 MB DDR3 RAM a 4 GB eMMC flash paměť pro ukládání operačního systému a dat.

Raspberry Pi 4: Nabízí varianty s 2 GB, 4 GB nebo 8 GB LPDDR4-3200 SDRAM a neobsahuje vnitřní flash paměť, což vyžaduje použití SD karty pro operační systém a ukládání dat.

Počet vývodů a rozhraní

BeagleBone Black: Nabízí své dva 46pinové headery, což dává celkem 92 pinů. Z těchto pinů může být jako GPIO (obecný vstup/výstup) použito přibližně 67 pinů, i když tento počet se může mírně lišit v závislosti na konkrétním použití a konfiguraci pinů, protože některé piny mohou být sdíleny s jinými funkcemi.

Na těchto pinech jsou i různé specializované funkce: UART, I2C, SPI, CAN, PWM. ADC vstupy jsou pak na 7 pinech, které jsou jim pevně vyhrazeny.

Raspberry Pi 4: Poskytuje 40-pinový GPIO header. Standardně je možné konfigurovat jako obecné účelové vstupní/výstupní (GPIO) piny přibližně 26 až 28 pinů. I2C, SPI, UART, díky flexibilitě konfigurace softwaru na Raspberry Pi, mohou být některé z těchto speciálních funkcí pinů přeměrovány, což umožňuje jejich využití jako GPIO piny, pokud speciální funkce nejsou potřeba. Navíc nabízí modernější rozhraní, jako jsou USB 3.0 porty a dva micro-HDMI porty pro výstup obrazu ve 4K kvalitě.

Síťové možnosti

BeagleBone Black: Má 10/100 Ethernet port.

Raspberry Pi 4: Vylepšuje konektivitu s Gigabit Ethernetem, Wi-Fi 802.11ac a Bluetooth 5.0, což jej činí vhodnějším pro projekty, které vyžadují vysokorychlostní bezdrátovou komunikaci nebo připojení k internetu.

Napájení a spotřeba energie

BeagleBone Black: Je energeticky efektivnější, což je výhodou pro projekty, kde je důležitá nízká spotřeba energie.

Raspberry Pi 4: Má vyšší výkon, ale také vyšší spotřebu energie. Je nutné použít silnější napájecí zdroj (doporučeno je alespoň 3A pro model s USB zařízeními).

Pro případné použití v naší práci se jeví jako vhodnější použití Beagle Bone Black, neboť má podstatně více vývodů procesoru vyvedeno na headery, celkem 92, I/O 67 + 7 analog, takže umožní mít dostatek GPIO pro připojení periférií k vývojové desce. Výkon je pro námi zamýšlené zařízení celkem nezajímavý, oceníme spíše nižší spotřebu. Raspberry Pi 4 má oproti tomu méně než polovinu vývodů, tedy se jeví pro případné ladění našeho zařízení nevhodné.

2.2 Volba konkrétní platformy pro centrální jednotku

Po prostudování všech výše popsaných možností a hlubokém zvážení všech pozitivních a negativních atributů každé platformy, bylo s přihlédnutím k zamýšlenému zařízení zvoleno použití mikrokontroléru STM32. Hlavním důvodem pro tuto volbu bylo, že námi zamýšlené řešení patří spíše k jednodušším variantám dálkového dohledu, GSM-komunikátoru, či Smart home systému. Je zamýšleno pro užití u chat, chalup, garáží a rozhodně si neklade za cíl být komplexní, univerzální, či komunikovat s jinými platformami. Naše zařízení bude víceméně co nejjednodušší pro námi požadovanou funkcionalitu, která ale nebude úplně jednoduchá, jako u komerčních komunikátorů. Z toho plyne zásadní požadavek na kompaktnost, nízkou spotřebu a nízkou distribuovanost systému do dalších výpočetních jednotek.

Z rodiny STM32, byla vybrána platforma STM32H7, která nám usnadní vývoj, díky své veliké rezervě prostředků a integrované síťové kartě Ethernet. Samozřejmě je počítáno s tím, že pro jednodušší varianty by stačilo řešení využívající „méně výkonné MCU“ např. STM32F303xx. Zvolená platforma nám však umožní komfortní vývoj a možnost otestovat kam až se dá s takovým zařízením v komplexitě zajít.

STM32 mikrokontroléry - vlastnosti

STM32 je platforma levných a výkonných mikrokontrolérů. Tato rodina mikrokontrolérů má velkou podporu pro vývoj, viz výše. STM32 mikrokontroléry nabízejí také velkou škálu periférií, které mohou být napojeny na mnoho dalších periferních komponentů, jako jsou senzory, displeje, výkonové prvky, motory apod. Mikrokontroléry jsou vyráběny v široké škále modelů, počínajíc modely se 16 vývody a frekvencí 24 MHz až po mikrokontroléry se 240 vývody a frekvencí 400 MHz. Některé modely jsou designovány jako low-power, tedy s nízkou spotřebou, například pro napájení z baterií. Vývojových prostředí je také celá řada, nejen výše zmíněné CubeIDE poskytované výrobcem, ale mnoho dalších, komerčních i nekomerčních. Mikrokontroléry podporují dva programovací protokoly: JTAG a SWD.

(Pakdel , 2020, str. 11-12)

STM32 Series	Cortex-Mx	Max clock (MHz)	Performance (DMIPS)
F0	M0	48	38
F1	M3	72	61
F3	M4	72	90
F2	M3	120	150
F4	M4	180	225
F7	M7	216	462
H7	M7	400	856
L0	M0	32	26
L1	M3	32	33
L4	M4	80	100
L4+	M4	120	150

Figure 1.3: Comparison of various STM32 microcontrollers

Obrázek 13 Rodina STM32 (Pakdel , 2020, str. 13)

STM32 mikrokontroléry, Cortex M-4, používají velmi efektivní sadu instrukcí a three-stage pipelining, což maximalizuje jejich výkon. Ale také se přitom snaží udržet co nejnižší spotřebu energie. U paměti je využita harwardská architektura, což znamená, že programová a datová část paměti, jsou separátní. Opakem je architektura von Neuman, kde je paměť sdílená. To umožňuje, že program může být vykonáván po 4 byte blocích, zatímco data mohou být ve stejné chvíli přístupována po 1 byte blocích.

(Noris, 2018, str. 28)

STM32 MCU, využívají NVIC kontrolér, *Nested Vectored Interrupt Controller*, což je metoda prioritizace interruptů, zvyšující výkon MCU a redukující jejich latenci. Vnoření znamená, že pokud je registrován, či vykonáván interrupt s nižší prioritou a přijde další interrupt, mající prioritu vyšší, je vykonávání interruptu s nižší prioritou zastaveno a je obslužen ten s vyšší. Pak je teprve dokončena obsluha interruptu s prioritou nižší.

(Noris, 2018, str. 33)

GPIO – General purpose Input/Output piny STM32 mikrokontrolérů mohou být konfigurovány jako push-pull, open drain, a jako pull-up, nebo pull-down s vnitřními rezistory, případně i bez nich. Většina pinů je rekonfigurovatelná pro různé alternativní funkce, různých vnitřních periférií. U výstupních pinů jde také nastavit strmost náběhu, pro snížení spotřeby a rušení.

(Noris, 2018, str. 35)

Analogové piny mikrokontroléru jsou součástí analogově digitálního převodníku, s několika kanály. V závislosti na typu MCU, může být obsažen jeden, nebo více ADC. Je možno vyvolat interrupt z ADC, na základě překročení předem nastaveného prahu. Spuštění měření kanálu může být také iniciováno některým z timerů.

(Noris, 2018, str. 36)

2.3 Volba způsobu interní a externí komunikace

2.3.1 Volba interní komunikace

Pro interní komunikaci se vzdálenějšími senzory a aktuátory byla po dlouhé úvaze vybrána sběrnice RS-485. Tedy spolehlivá komunikace, využívající „drát“. I toto rozhodnutí bylo determinováno plánovaným použitím našeho zařízení, v rámci objektů s občasnou návštěvou, chaty, chalupy, garáže apod. Natahání kabeláže je sice nutno považovat za jistou nepříjemnost, ale ušetří nám to mnohé jiné nepříjemnosti s bezdrátovou komunikací a zajištěním napájení pro ni. Pokud bychom chtěli rozšířit interní komunikaci i na vzdálené senzory, použili bychom technologii LoRa, pro její malou spotřebu a další výhody, nebude však součástí této práce. Další zařízení využívají ke komunikaci rozhraní UART – tedy GSM modem a MP3 modul. Další moduly jsou připojeny na I2C sběrnici – jedná se o displej a RTC modul.

2.3.2 Volba externí vzdálené (remote) komunikace

Pro vzdálenou komunikaci jako základní byla komunikace pomocí GSM, ale bez využití GSM dat, tedy jen s využitím hlasového kanálu s DTMF a pomocí SMS. Tato komunikace by měla být dostatečně jednoduchá i pro obsluhu nepříliš technicky zdatnou a bez připojení na internet, odkudkoli na světě, s běžným tlačítkovým telefonem. Jako další kanál, pro ukládání informací do cloudu bude využita síťová karta ethernet, bude-li v místě instalace k dispozici připojení k internetu. Tento kanál bude primárně sloužit pro ukládání předem definovaného logu událostí do cloudu, aby byly k dispozici jako historie ve chvíli, kdy zařízení nebude dostupné přes GSM, například se porouchá, nebo dojde k výpadku sítě, napájení i zálohy a podobně.

2.4 Volba periférií (rozděleno dle připojení)

Pro vývoj byly použity hotové moduly, neboť to výrazně zjednoduší testování vhodných produktů a řešení. Celé zařízení tedy bude modulární.

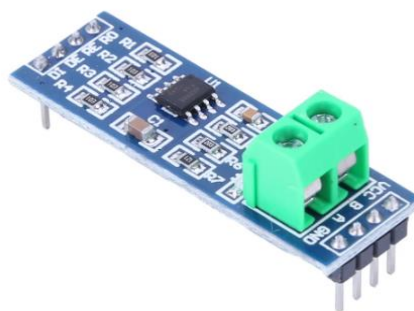
Níže si uvedeme konkrétní moduly, které by měly být využity k realizaci našeho zadání. Moduly jsou čínské provenience, nakoupené na www.aliexpress.com, tedy z tohoto zdroje budou i fotografie a základní údaje modulů. Moduly zpravidla vykazují až překvapivě dobré řemeslné zpracování, poněkud obtížnější je to pak s dokumentací k nim.

2.4.1 Zařízení na sběrnici RS-485

Jak již bylo výše zmíněno, pro periferie, senzory, aktuátory, rozmístěné po budově, bude použita sběrnice RS-485. Tím je determinován i výběr periférií, které musí podporovat tuto sběrnici.

RS-485 TTL To RS485 MAX485CSA Driver

Driver RS-485 – základní kámen komunikace. Zatímco veškeré generování protokolu pro obsluhu zajistí MCU STM32, Driver se nám postará o změnu asymetrického signálu na symetrickou sběrnici a zároveň konverzi napětí pro sběrnici RS-485.



Obrázek 9 RS-485 Driver, (<https://www.aliexpress.com/item/1005006316933270.html>)
(25.3.2024, 8:05)

„Specification:

Type: Module

Condition: New

On-Board Max485 Chip, Is A Low-Power, Limited-Swing Rate Transceiver For Rs-485 Communications

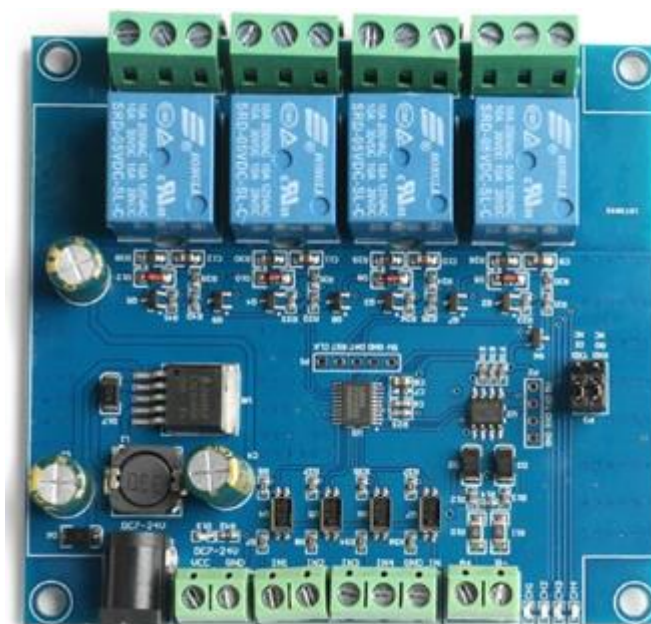
On-Board Connection 5.08 MM/0.2 In Pitch 2p Terminal Block, Convenient Rs-485 Communication Wiring
Chip All Pins Have Been Cited, You Can Control The Operation Through The Microcontroller

Operating Voltage: 5 V“

<https://www.aliexpress.com/item/1005006316933270.html> (25.3.2024, 8:05)

Modbus RTU Relay Module 7-24V RS485 TTL UART

Tento modul je kombinovaný modbus modul s 4 výstupy a 4 vstupy.



Obrázek 10 RTU Relay Module,

(<https://www.aliexpress.com/item/1005003968454165.html>) (25.3.2024, 15:00)

Popis:

„One-way/two-way/four-way Modbus relay module equipped with mature and stable 8-bit MCU and RS485 level communication chip. RS485 communication using standard MODBUS RTU format Communication protocol, can realize 1/2/4 input signal detection, 1/2/4 relay output, can be used for digital detection or power control occasions.

Note: The module has no switch function, and requires careful purchase of switch control relays

1. Onboard mature and stable 8 bit MCU and MAX485 level conversion chip
2. Communication protocol: support standard ModbusRTU protocol
3. Communication interface: support RS485/TTL UART to C]
5. Communication baud rate: 4800/9600/ 19200, default 9600bps, support power-down save
6. Optocoupler input signal range: DC3.3-30V (this input cannot be used for relay control)
7. Output signal: relay switch signal, support manual, flash off, flash off mode, flash off/flash
The delay base of the off-time is 0.1s, and the maximum flash-off/flash-off time can be set to $0\text{XFFFF} * 0.1\text{s} = 65535 * 0.1\text{s} = 6553.5\text{s}$
8. Device address: range 1-255, default 255, support power-down save.
9. Board 1 channel 5V, 10A/250V AC 10A/30V DC relay, which can be continuously pulled in 100,000 times,
With diode bleed protection, short response time
10. Onboard relay switch indicator light
11. Power supply voltage: DC7-24V, with input reverse polarity protection“

(<https://www.aliexpress.com/item/1005003968454165.html>) (25.3.2024, 15:00)

8CH Digital Switch RS485 Digital Input Modbus RTU

Tento modul slouží jako osminásobný digitální vstup na RS-485.



Obrázek 11, (8CH Digital Switch RS485,
(<https://www.aliexpress.com/item/1005003168136880.html>) (25.3.2024, 19:00)

Specifikace:

„Description:

- 1 Working voltage: DC 12V (6-24V)
- 2 Working current: 8-12MA
- 3 MODBUS RTU 03 06 command control mode
- 4 There are two input modes: low-level input (default) and high-level input
- 5 Input ports support TTL (5V) LvTTL and compatible level
- 6 In MODBUS command mode, it can support up to 247 devices to be used in parallel
- 7 Input port status supports query (default) and automatic reporting
- 8 The default baud rate is 9600BPS, which can be configured to support 1200 2400 4800 19200 baud rate
- 9 Size: 44*29*1511 Weight: 10 grams

“ (<https://www.aliexpress.com/item/1005006184088602.htm>) (25.3.2024, 19:00)

Temperature and Humidity Transmitter RS485 modbus RTU

Tento modul slouží k měření teploty a vlhkosti a komunikaci po RS-485 s centrální jednotkou.



Obrázek 12 Temperature and Humidity modul,
<https://www.aliexpress.com/item/1005004348103329.html> (25.3.2024, 20:00)

Specifikace:

„Functional Characteristics

This product uses high sensitivity digital probe, signal stability, high accuracy. The utility model has the advantages of wide measuring range, good linearity, good waterproof performance, convenient use, convenient installation, long transmission distance, etc.

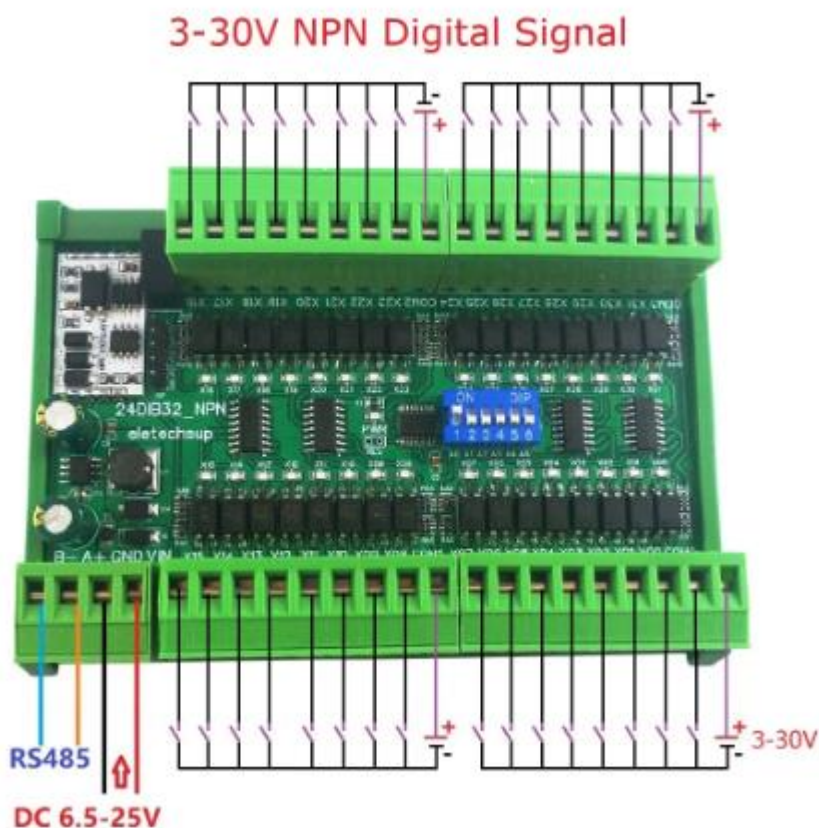
DC power supply (default)	10-30V DC
Maximum power consumption	0.1 W
Precision	Humidity \pm 3% Rh (60% RH, 25 ° C)
	Temperature \pm 0.5 ° C (25 ° C)
Transmitter circuit operating temperature	-40 ° C ~ + 60 ° C, 0% RH ~ 80% Rh
Temperature shows resolution	0.1 ° C
Humidity shows resolution	0.1% Rh
Temperature and humidity refresh time	1s
Long-term stability	Temperature \leq 0.1 ° C/Y
	Humidity \leq 1% Rh/Y

<i>Response time</i>	<i>Temperature</i>	$\leq 25s$ (1m/s wind speed)
	<i>Humidity</i>	$\leq 8s$ (1m/s wind speed)
<i>Communication protocol</i>	<i>Modbus-rtu communication protocol</i>	
<i>Output signal</i>	<i>Signal 485</i>	
<i>Parameter setting</i>	<i>Through software settings</i>	

<https://www.aliexpress.com/item/1005005471608120.html> (25.3.2024, 20:00)

Optically Isolated 16CH Input Board RS485 Modbus RTU

Tato deska má na sobě dle modifikace 16/32/64 vstupních digitálních kanálů, Galvanicky oddělených optočleny. Vstupy jsou shlukovány po osmicích na jeden zdroj budícího napětí.



Obrázek 13 Input board, (<https://www.aliexpress.com/item/1005005221827446.html>, (26.3.2024, 8:00))

„Description:

1:DC 12V (12V Version),DC 24V (24V Version)

2.Standby current (all relays closed) 14MA, 1 relay open 40MA, 2 relays open 68MA, 3 relays open 96MA, 4 relays open 122MA, 5 relays open 149MA, 6 relays open 177MA, 7 relays open 201MA, 8 relays open 225MA

3:12 photoelectric isolation Input ports (NPN low level active).

The input-output relationship can be set to various association modes through instructions(Self-lockingdefault)/Interlocking/Momentary/Interlocking/Output=Input)

4: Support standard Modbus RTU command, function code, write 05/06/15/16 read 01/02/03

5: With hardware reset function, with TVS anti-surge protection

6 12 opto-isolated inputs (NPN), 12 relay outputs (upgraded relays, more durable)

7 MODBUS commands can be made serial HyperTerminal (serial assistant) OR "Modbus Poll"Enter;

8 Under the MODBUS command mode, it can support up to 64 devices in parallel

9 The default baud rate is 9600BPS. The baud rate can be selected by Command 2400 4800 9600 19200 38400 57600 115200BPS

10 The parity can be none parity, even parity and odd parity

11 The data sending and returning time can be set, with a maximum value of 1000ms

12 Size: 188 * 72 * 12mm(Only PCB Board); 190 * 82*40mm(with Din Rail Box)

13 Weight: 206g(Only PCB Board); 330g(with Din Rail Box)

14 Maximum load: 10A / 250VAC, 10A / 125VAC, 10A / 30VDC, 10A / 28VDC, 10A / 12VDC

Upgraded Features:

MODBUS RTU Function Code 01 05 15 02 03 06 16

Support more input-output relationships

Support more baud rates, can modify the parity bit

Hardware reset to factory settings (RESET jumper)

Upgraded relays (more durable)

TVS anti-surge protection“

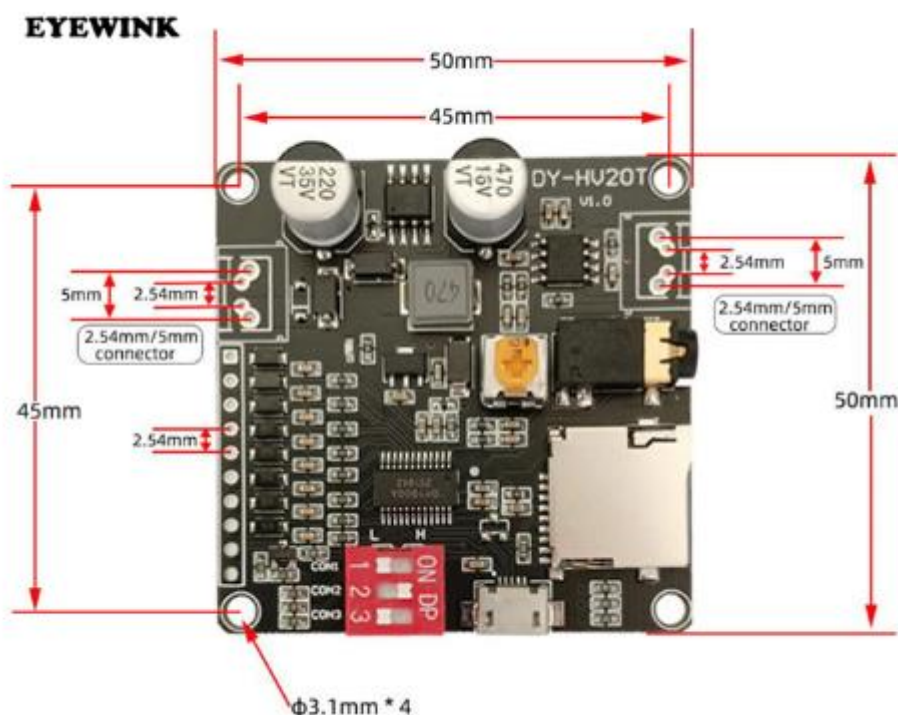
(<https://www.aliexpress.com/item/1005004306082847.html> (26.3.2024, 8:00))

2.4.2 Moduly připojené na USART

Další rozhraní použité v zařízení, bude RS-232, tedy zařízení USART na desce NUCLEO, na tuto sběrnici bude připojen GSM modem, sloužící k připojení ke GSM síti a základní komunikaci, pomocí voice, DTMF a SMS. Na druhém USART bude připojen modul MP3 přehrávače, který bude poskytovat voice „hláškami“ zpětnou vazbu obsluze pomocí DTMF.

Voice playback module

Tento modul je ovládán pomocí sběrnice UART a slouží k přehrávání zvuků, uložených na SD kartě.



Obrázek 14 Zvukový modul, (<https://www.aliexpress.com/item/4000492977695.htm>) (30.3.2024, 9:00)

„Description

12V/24V power supply 10W/20W Voice playback module supporting Micro SD card MP3 music player for Arduino

1. Product overview

DY-HV20T is a smart voice playback module developed independently by our company, Integrated IO trigger; UART protocol control, One_line single-bus protocol control, standard MP3 and other 7 operating modes setting by DIP switch; Drive 4~8 Ω , 10W~20W speaker by a 20W class D audio amplifier on board; Support MP3.WAV decoding; Support Micro SD card maximum 32G bytes, downloading music files directly by micro USB connector.

2. Product characteristics

- 1.Support MP3.WAV decoding.
- 2.Support sampling rate (K Hz):8/11.025/12/16/22.05/24/32/44.1/48.
- 3.24bit DAC output,support dynamic range 90dB,SNR 85dB.
- 4.Wide supply voltage DC:6~35V.
- 5.Support Micro SD card maximum 32G bytes.
- 6.Output maximum 20W driving 4Ω speaker; output maximum 10W driving 8Ω speaker.
- 7.Play 65535 pieces of music by UART control protocol; Play, Pause, Selecting music, VOL+/- and so on can be controlled,the communication baud rate is 9600bps.
- 8.Play 255 pieces of music by IO triggering.
- 9.Play music by One_line control protocol,Play, Pause, Selecting music, VOL+/- and so on can be controlled.
- 10.Switch 7 work modes using DIP switch easily.
- 11.ESD protection designed for 8 IOs. “

<https://www.aliexpress.com/item/4000492977695.htm> (30.3.2024, 9:00)

MP3 modul - komunikace

MP3 modul může pracovat v několika různých režimech, které se volí konfigurací DIP přepínačů. V této práci využíváme režim 001, který umožňuje ovládání prostřednictvím rozhraní UART. Jiné režimy umožňují ovládání tlačítka či přes jednoduché GPIO signály.

UART protokol je poměrně jednoduchý, ale omezeně dokumentovaný. Podařilo se nám najít neúplnou a nepřesnou dokumentaci neznámého původu (<http://attach01.oss-us-west-1.aliyuncs.com/IC/Datasheet/13441.rar>). Modul pracuje na 9600 baud, 8N1. Základní struktura příkazu:

- Pevná hlavička 0xAA
- Kód příkazu (1 bajt)
- Délka parametru (1 bajt), může být i nulová
- Parametr (proměnlivá délka) – obsah závisí na konkrétním příkazu
- Kontrolní součet celé zprávy (od 0xAA po poslední bajt parametru) modulo 256 (1 bajt)

V rámci práce využíváme pouze jediný příkaz, a to 0x08, přehrání souboru podle názvu.

Jeho parametr se skládá z:

- Identifikátor zdrojového disku (1 bajt, SD karta je 0x01)
- Cesta k souboru.

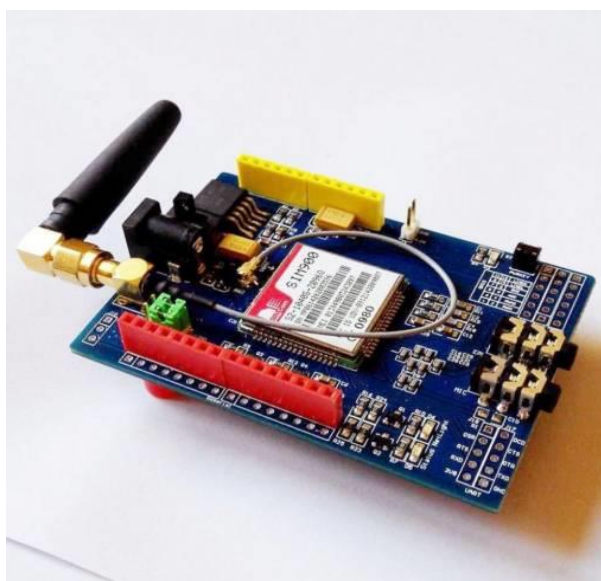
Cesta k souboru používá jako oddělovač dopředná lomítka, jedno lomítko je na začátku. Názvy souborů musí být zapsány v surovém 8.3 formátu, jak jsou uloženy ve FAT tabulce (tedy název doplněný mezerami zprava na 8 znaků, potom 3 znaky přípony bez tečky, vše velkými písmeny). Takže např. název souboru `hello.mp3` musí být odeslán jako `HELLO MP3`.

Tato vlastnost není nijak dokumentována a byla zjištěna experimentálně. Ukázkové příklady v námi nalezené dokumentaci to bez dalšího vysvětlení řeší zápisem jména s hvězdičkou místo tečky, např. `HELLO*MP3`, což nasvědčuje tomu, že modul podporuje souborové masky (a přehraje první vyhovující soubor). Toto ovšem není použitelné v případě, že máme názvy souborů, které jsou prefixy jiných názvů. Např. se může stát, že při požadavku o přehrání `1*MP3` se přehraje `10.MP3`.

Vedle UART rozhraní také modul poskytuje logický signál BUSY, který lze využít k detekci dokončení přehrávání.

2.4.3 GSM modem SIM900

Jako GSM modem je možno opět použít celou řadu modelů. Pro námi zamýšlenou funkcionalitu by stačily ty nejlevnější verze, např. M-590 viz níže. Jen v případě požadavku na použití DTMF je potřeba aby to daný modul zvládal. Nicméně vzhledem k možnému budoucímu rozšíření funkcionality raději použijeme sofistikovanější moduly, které kromě DTMF podporují například i hlasové přenosy (např. pro vzdálený odposlech) případně zvládnou i datovou komunikaci. Ta by byla užitečná v případě umístění zařízení v místě bez připojení k internetu, například pro ukládání dat a logů do cloudu, případně pro remote změny nastavení a konfigurace zařízení. Vhodné by tedy mohlo být použití GSM modulů SIM800, nebo SIM900. Použijeme modem „shield“ pro Arduino viz níže.



Obrázek 15 Obrázek 11 GPRS GSM Shield
SIM900 (<https://dratek.cz/arduino/1215-gprs-gsm-shield-sim900-850-900-1800-1.html>)
(21.2.2022, 9:00)

GPRS/GSM Shield pro Arduino na SIM900 - Technická data:

GPRS / GSM Shield poskytuje způsob, jak používat mobilní signál sítě GSM pro příjem dat ze vzdáleného místa s deskou Arduino. Přináší GSM / GPRS 850/900/1800/1900 MHz signály pro audio, SMS a GPRS. Je kompatibilní se všemi deskami, které mají stejný tvar (a pinout) jako standardní Arduino řada. GPRS / GSM shield se konfiguruje a je řízen prostřednictvím svého UARTu, pomocí AT příkazů. GPRS Shield má 6 GPIO, 2 PWM a 1 ADC a lze jej ovládat pomocí AT příkazů. V sadě je tradiční citlivá GPRS anténa.

Specifikace:

„Quad-Band 850/900/1800/1900 MHz

- Napájení: 5V-20V
- GPRS multi-slot class 10/8
- GPRS mobilní stanice (třída B)

- *Vyhovuje GSM fázi 2/2 +*
- *Třída 4 (2 W @ 850/900 MHz)*
- *Třída 1 (1 W @ 1800 / 1900MHz)*
- *Ovládání pomocí AT příkazů (GSM 07,07, 07,05 a SIMCom rozšířené AT příkazy)*
- *Nízká spotřeba energie: 1,5 mA (sleep mode)*
- *Provozní teplota: -40 ° C až +85 ° C*
- *2-in-1 headset jack“*

<https://www.laskarduino.cz/arduino-gprs-gsm-shield-sim900/> (21.2.2022, 9:00)

Manuál k modemu dostupný zde:

https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=GPRS/GSM_Shield_v1.0

2.4.4 Moduly I2C

Modul RTC – real time clock, umístěný vedle centrální jednotky, který nám poskytne časomíru pro time-stampy u logovaných událostí a tento modul je vybaven I2C sběrnici. Další modul na I2C bude dvouřádkový displej, který bude využíván při ladění SW a v produkci pak pro některé systémové hlášky, například číslo příchozího volání, chyby a pod

Real Time Clock

Tento modul použijeme jako etalon přesného času, pokud nebude možno čas získat například z internetu, nebo GSM sítě.



Obrázek 16 RTC modul,

(<https://www.aliexpress.com/item/1005004910354483.html> (31.3.2024, 14:10))

DS3231 je nízkonákladový, vysoce přesný I2C modul reálného času (RTC) s integrovaným teplotně kompenzovaným krystalem. Toto zařízení zahrnuje baterii a zachovává přesné měření času i když je hlavní napájecí zdroj odpojen.

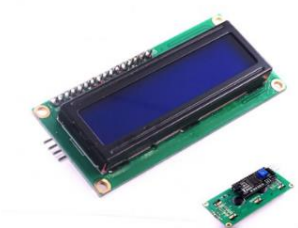
Nabízí dvě „budíková“ upozornění, která lze nastavit. Adresa a data se přenášejí obousměrnou sériovým komunikační sběrnici I2C.

Přesný teplotně kompenzovaný napěťový referenční a komparační obvod sleduje stav VCC, detekuje výpadky napájení, poskytuje výstup pro reset a automaticky přepíná na záložní zdroj napájení, když je to nutné. Navíc, pin RST může být použit jako ruční vstup pro reset mikroprocesoru.

(<https://www.aliexpress.com/item/1005004910354483.html> (31.3.2024, 14:10))

Dvouřádkový systémový I2C displej

Jako systémový displej je pro účely této práce použit 16x2 znaky LCD displej 1602 s I2C převodníkem. V reálném provozu by mohl být jak vypuštěn, tak nahrazen víceřádkovým, dle potřeby potenciálního uživatele.

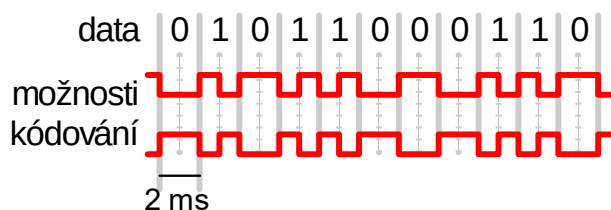


Obrázek 17 I2C 1602 displej, (<https://www.laskakit.cz/16x2-lcd-displej-1602-i2c-prevodnik/>) (31.3.2024, 17:10)

2.4.5 Moduly vysílač a přijímač 433 MHz (teplotní čidla, čidla vlhkosti)

Použitá teplotní čidla vysílají pomocí on-off-keying a diferenciálního kódování Manchester. Základní perioda je 2 ms, bitu 0 odpovídá 1 změna signálu na začátku periody, bitu jedna dvě změny (na začátku a uprostřed).

Modul 433 MHz přijímače převádí (ne)přítomnost nosné frekvence na logický signál (0/1), který je přiveden na GPIO vstup.



*Diferenciální kódování Manchester
použité v 433 MHz přenosu*

(https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_Manchester_encoding , upraveno)

Každá zpráva má 36 bitů. Skládá se z:

- Fixní hlavička (1100)
- Identifikátor čidla (6 bitů, konvenčně rozděleno 4b “číslo sítě” a 2b “číslo senzoru”)
- Fixní část (11)
- Indikátor stavu baterie (1 bit)
- Relativní vlhkost v procentech (7 bitů)
- Teplota (15 bitů)
 - Celá část (8 bitů) – posunutá o 50°C, aby byly všechny hodnoty kladné (tedy např. 15°C je reprezentováno hodnotou 65)
 - Desetinná část (7 bitů)
- Paritní bit (1 bit, sudá parita)

(<http://ala-paavola.fi/jaakko/doku.php?id=wt450h>)

2.5 Volba SW platformy

Jako nejvhodnější byla vybrána platforma poskytovaná výrobcem MCU i vývojové desky, tedy platforma STM32Cube.

STM32Cube je značka, která zastřešuje veškeré softwarové nástroje a knihovny poskytované společností STMicroelectronics pro jejich řadu mikrokontrolérů STM32. Tento ekosystém zahrnuje integrované vývojové prostředí CubeIDE, hardware abstraction layers (STM32HAL), middleware, konfigurační nástroje, jako je např. CubeMX a řadu příkladů, které usnadňují vývoj aplikací pro STM32.

CubeMX:

STM32CubeMX je grafický nástroj, který slouží k nastavení mikrokontrolérů a generování inicializačního kódu v jazycích C pro vybrané mikrokontroléry a procesory STM32. Umožňuje uživatelům graficky konfigurovat různé aspekty mikrokontroléru, jako jsou hodiny, piny a periferie, a generuje odpovídající inicializační kód, který může být použit jako základ pro aplikace.

STM32CubeIDE:

STM32CubeIDE je integrované vývojové prostředí založené na Eclipse, které kombinuje C/C++ editory, kompilátory, debugger a další nástroje do jedné platformy. Toto prostředí je zaměřené na vývoj aplikací pro mikrokontroléry STM32 a integruje funkcionalitu STM32CubeMX pro konfiguraci hardwaru a generování kódu.

STM32 HAL:

Hardware Abstraction Layer (HAL) je součástí STM32Cube softwarového balíčku. HAL poskytuje standardizované rozhraní pro přístup k hardwarovým funkcím mikrokontrolérů STM32 bez nutnosti detailně rozumět hardwarovým detailům. HAL usnadňuje přenos kódu mezi různými rodinami STM32 a snižuje celkovou složitost kódu na úrovni hardwaru.

<https://www.st.com/en/ecosystems/stm32cube.html> (3.3.2023, 10:00)

2.5.1 Vývojové prostředí STM CubeIDE

STM32CubeIDE je vývojový nástroj typu vše v jednom pracující na více operačních systémech, který je součástí softwarového ekosystému STM32Cube.

STM32CubeIDE je pokročilá vývojová platforma C/C++ s konfigurací periferií, generováním kódu, kompilací kódu a funkcemi ladění pro mikrokontroléry a mikroprocesory STM32.

Je založen na frameworku Eclipse®/CDT™ a GCC tool-chain pro vývoj a GDB pro ladění. Umožňuje integraci stovek existujících pluginů, které doplňují funkce Eclipse® IDE.

STM32CubeIDE integruje funkce konfigurace a vytváření projektů STM32 ze STM32CubeMX, aby nabídla „vše v jednom“ a ušetřila čas na instalaci a vývoj. Při založení projektu je po počátečním výběru prázdného MCU, nebo MPU STM32, nebo předkonfigurovaného mikrokontroléru či mikroprocesoru z výběru vývojových desek (např. Nucleo), případně výběru příkladu je vytvořen projekt a vygenerován inicializační kód. Kdykoli během vývoje se uživatel může vrátit k inicializaci a konfiguraci periferií nebo middlewaru a znovu vytvořit inicializační kód bez dopadu na uživatelský kód.

STM32CubeIDE obsahuje build a stack analyzátoři, které uživateli poskytují užitečné informace o stavu projektu a požadavcích na paměť.

(<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> 3.3. 2023 15:30)

STM32CubeIDE také obsahuje standardní a pokročilé funkce ladění včetně zobrazení registrů jádra CPU, paměti a registrů periferií, stejně jako sledování proměnných v reálném čase, rozhraní Serial Wire Viewer, nebo fault analyzátor.

Všechny funkce

- Integrace služeb ze STM32CubeMX: Vývojová platforma pro mikrokontroléry a mikroprocesory STM32.
- Výběr příkladu projektu, konfigurace pinoutu, hodin, periférií a middlewaru Vytvoření projektu a generování inicializačního kódu. Kompletace software a middleware s rozšiřujícími balíčky STM32Cube.
- Založeno na Eclipse®/CDT™, s podporou doplňků Eclipse®, GNU C/C++ pro Arm® toolchain a GDB debugger
- STM32MP1 Series: Podpora pro projekty OpenSTLinux: LinuxSupport pro Linux
- Další pokročilé funkce ladění včetně: jádra CPU, registrů, periférií a zobrazení paměti Živé sledování proměnných. Analýza systému a trasování v reálném čase (SWV) Nástroj pro analýzu chyb CPU, Podpora ladění s podporou RTOS včetně Azure
- Podpora ladicích sond ST-LINK (STMicroelectronics) a J-Link (SEGGER).
- Import projektu z Atollic®, TrueSTUDIO® a AC6 System Workbench pro STM32.
- Podpora více operačních systémů: Windows®, Linux® a MacOS®, pouze 64bitové verze

<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> (3.3.2024, 15:30)

Další informace viz manuál CubeIDE [UM2609: STM32CubeIDE user guide](#)

2.5.2 CubeMX – grafický nástroj konfigurace

STM32CubeMX je grafický nástroj, který umožňuje velmi snadnou konfiguraci mikrokontrolérů a mikroprocesorů STM32 a také generování odpovídajícího inicializačního C kódu pro jádro Arm® Cortex®-M nebo částečný strom zařízení Linux®, pro Arm® a Cortex®-A jádra, krok za krokem.

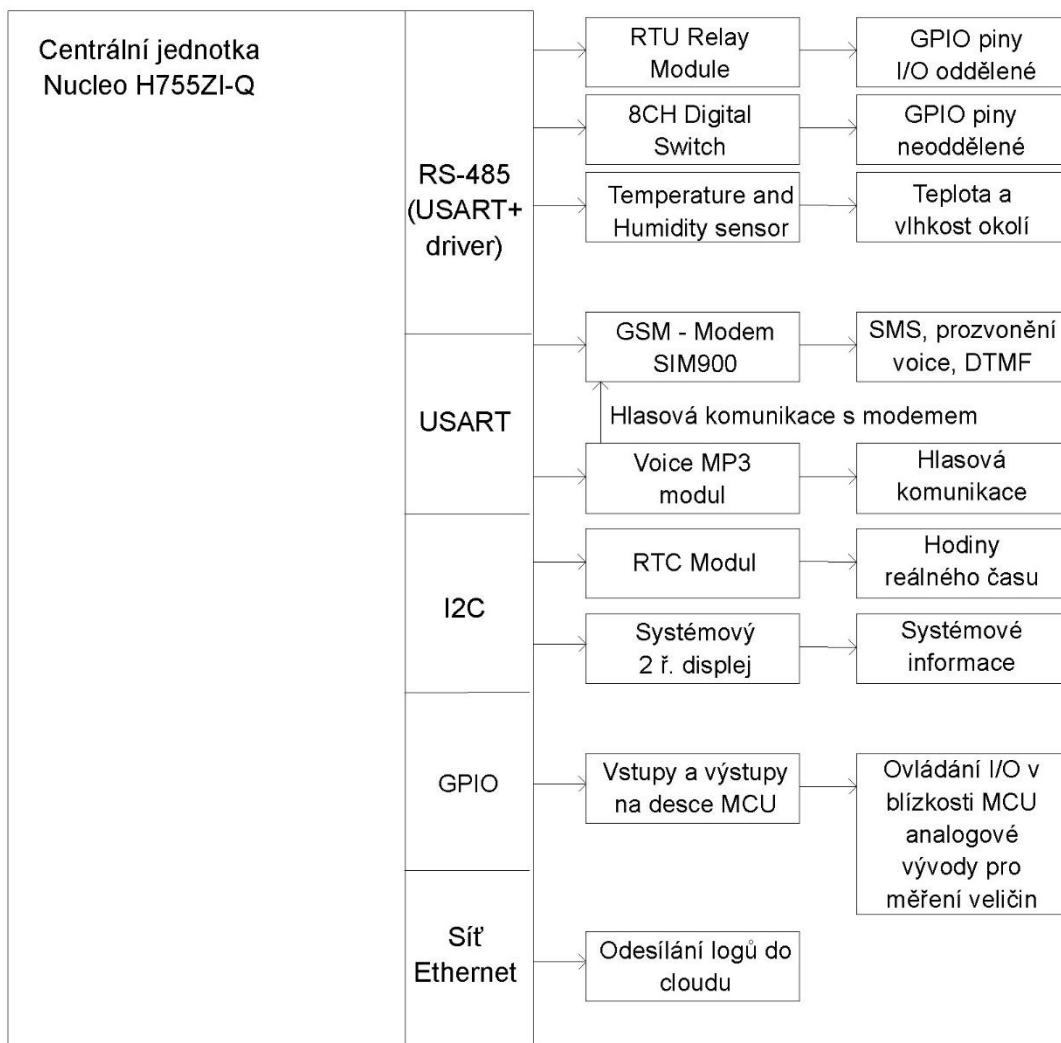
Bohaté, snadno použitelné grafické uživatelské rozhraní umožňující konfiguraci:

- Pinout s automatickým řešením konfliktů
- Funkční režimy periférií a middlewaru s dynamickým ověřováním omezení parametrů pro jádro Arm® Cortex®-M
- Strom hodin s dynamickou validací konfigurace
- Sekvence napájení s výsledky odhadované spotřeby

Výchozí balíčky software a middleware lze rozšířit díky vylepšeným rozšiřujícím balíčkovým STM32Cube. STM nebo partnerské balíčky lze stáhnout přímo ze specializovaného správce balíčků dostupného v rámci STM32CubeMX, zatímco ostatní balíčky lze nainstalovat z místního disku. Navíc nástroj STM32PackCreator, pomáhá vývojářům vytvářet jejich vlastní rozšiřující balíčky STM32Cube.

<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html> (3.3.2024, 15:30)

2.6 Hardware navrhovaného zařízení



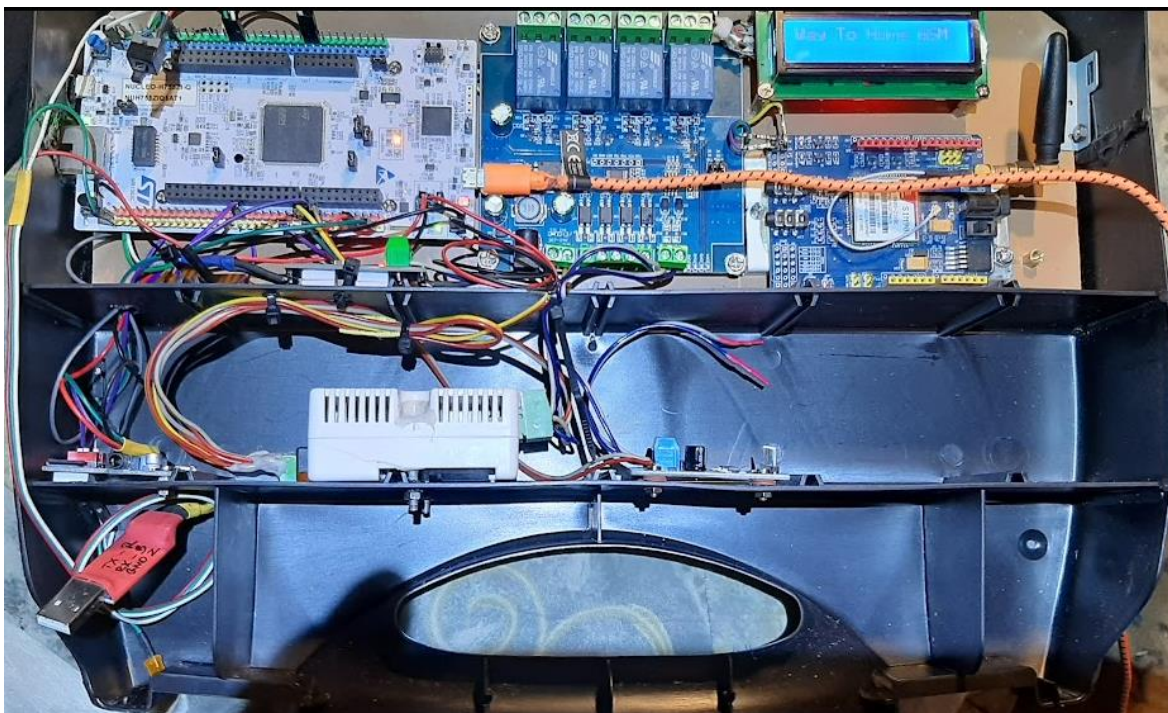
Obrázek 18 Blokové schéma navrhovaného zařízení

2.6.1 HW složení navrhovaného zařízení – použité moduly

Zařízení bude sestaveno z hotových modulů, viz níže, jak již bylo zmíněno výše. Pro jednoduchost ladění tipování vhodných modulů a jednoduchost rekonfigurace, je to. Také cena je díky tomuto způsobu velmi zajímavá a většina modulů je na velmi slušné řemeslné úrovni.

- Nucleo board H755ZI-Q
- Modem modul SIM900
- 16x2 displej připojený přes I2C
- Hlasový MP3 modul připojen přes USART
- Přijímač 433MHz
- Driver RS-485

- Temperature and Humidity Transmitter RS485
 - 8CH Digital Switch RS485 Digital Input
 - Modbus RTU Relay Module 7-24V RS485
 - Napájecí zdroje – 5V/2A napájení GSM modemu, 12V/200 mA pro driver RS-485
- Zařízení je pro účely práce vestavěno do plastového kufříku, pro snadné použití pro ladění a demonstraci.



Obrázek 19 Pracovní sestava modulů

2.6.2 Návrh funkcionality

Námi navrhované zařízení bude tedy ve své základní sestavě pro tuto práci demonstrovat základné funkcionality požadavků na něj kladených.

Logické digitální signály

Jedná se tedy o vstupy a výstupy, nabývající hodnot 0/1, což může reprezentovat různé stavy z reálného světa, jako například zapnuto/vypnuto, zavřeno/otevřeno, světlo/tma a řadu dalších. Vstupy tedy slouží ke sběru dat o stavu prostředí, výstupy pak k zapnutí nějakého aktoru, spotřebiče apod.

Standardně můžeme použít GPIO vývody MCU, pro vstup i výstup. Těch je však konečné množství, znamená to natažení ovládacích kabelů od senzoru či aktoru až k řídicí jednotce a také může být s velkou pravděpodobností potřeba galvanického oddělení. Galvanické oddělení bývá zpravidla realizováno na vstupech pomocí optočlenů a na výstupech pomocí relé. To bychom museli tedy k řídicí jednotce případně doplnit.

Další možností je použít k tomu určené moduly na nějaké sběrnici, ať po drátu, nebo bezdrátové. Pro naši práci byla zvolena sběrnice RS-485 a na ní patřičné moduly. Tu po objektu rozvedeme čtyř-drátem vzhledem k malým proudům by měl postačit UTP kabel, kde případně pro napájení použijeme po dvou drátech. V práci jsou použity moduly neoddělených vstupů, oddělených vstupů a výstupu a modul měření teploty a vlhkosti.

Posledně jmenovaný modul ale vzhledem k jeho funkcionalitě zařadíme k analogovým vstupům, neboť nám analogovou hodnotu poskytuje.

Přenos analogové hodnoty

Získání nějaké analogové hodnoty, její digitalizace a přenos do MCU je další základní užitečná či nutná funkcionalita. Jako ukázkou můžeme použít již výše zmíněné čidlo teploty a vlhkosti na RS-485, tedy hodnota je převedena čidlem do digitální formy a následně po sběrnici přečtena z MCU. Další možností je využití přímo analogového vstupu MCU. V naší aplikaci se nabízí měření napájecího napětí pro MCU a periférie. Například dojde-li k výpadku elektrické sítě a přepnutí na záložní baterii, výpadek zaznamenáme na jednom z digitálních vstupů GPIO a napětí pak měříme analogovým vstupem MCU na odporovém děliči. Uživatel tak může být včas notifikován jak o prvotním výpadku, tak o poklesu napájecího napětí z baterie pod určitou mez, kdy očekáváme, že dojde k vypnutí zařízení. Dalšími analogovými signály mohou být například měření osvětlení, větru, tlaku, data čtená z elektroměru, hladinoměru a dalších čidel. Určitou verzí analogových dat jsou jistě i údaje o čase, které nám poskytne RTC modul. SW počítá i se zařízeními na RF-433 MHz, což jsou tradičně analogové údaje z čidel teploměrů a vlhkoměrů. Byl osazen a odzkoušen, v cílové sestavě však namontován není.

Komplexnější funkce

Zařízení zvládne i složitější funkcionalitu typu „jestliže-pak“ Bude schopno například vykonávat funkci termostatu, tedy číst stav teploměru a dle toho zapínat a vypínat topení. Obecně pak, po dosažení určitého prahu analogové veličiny po nějakou dobu (hystereze) něco vykonat, tedy krom zapnutí a vypnutí, například odeslat zvoleným kanálem přednastavenou notifikaci. Ta může být například informace o nízké teplotě v objektu, narušení, zaplavení, požáru apod.

Komunikační kanály pro vnější svět

Jak již bylo výše zmíněno, hlavní komunikační kanál zařízení bude síť GSM, a to prostřednictvím prozvonění, volání, DTMF ovládání, hlasového modulu a SMS obousměrné komunikace. Jedná se tedy hlavně o notifikace nějakých stavů či změn, stavové informace na vyžádání a ovládání funkcí sadou příkazů.

Jako sekundární kanál pro ukládání informací do cloudu, bude využito síť ethernet. V budoucnu by šlo samozřejmě použít i datové komunikace v síti GSM, ale pro použití v rekreačních objektech, garážích a pod, se nám zatím jeví provoz dat relativně drahý. Data by pak musela být redukována, sbírána a odeslána jednou za určitou dobu, aby se snížil vliv režie navázání spojení, na spotřebu dat. Další problém může být, že mobilní operátoři často nabízejí za rozumný peníz datové karty, které neumožňují volání. Nicméně, pomineme-li ekonomickou stránku, je možno ethernet do budoucna zcela nahradit mobilními daty. Samozřejmě je také možno zařízení upravit tak, aby jej bylo možno ovládat z mobilní aplikace, to však není účelem této práce.

Další komunikační cesta je dvouřádkový displej, kam lze směřovat například ladící hlášky, stavové informace apod. Pokud bychom chtěli například zařízení rozšířit o funkci jednoduchého alarmu apod., dalo by se doplnit malou klávesnicí, například pro zadání hesla.

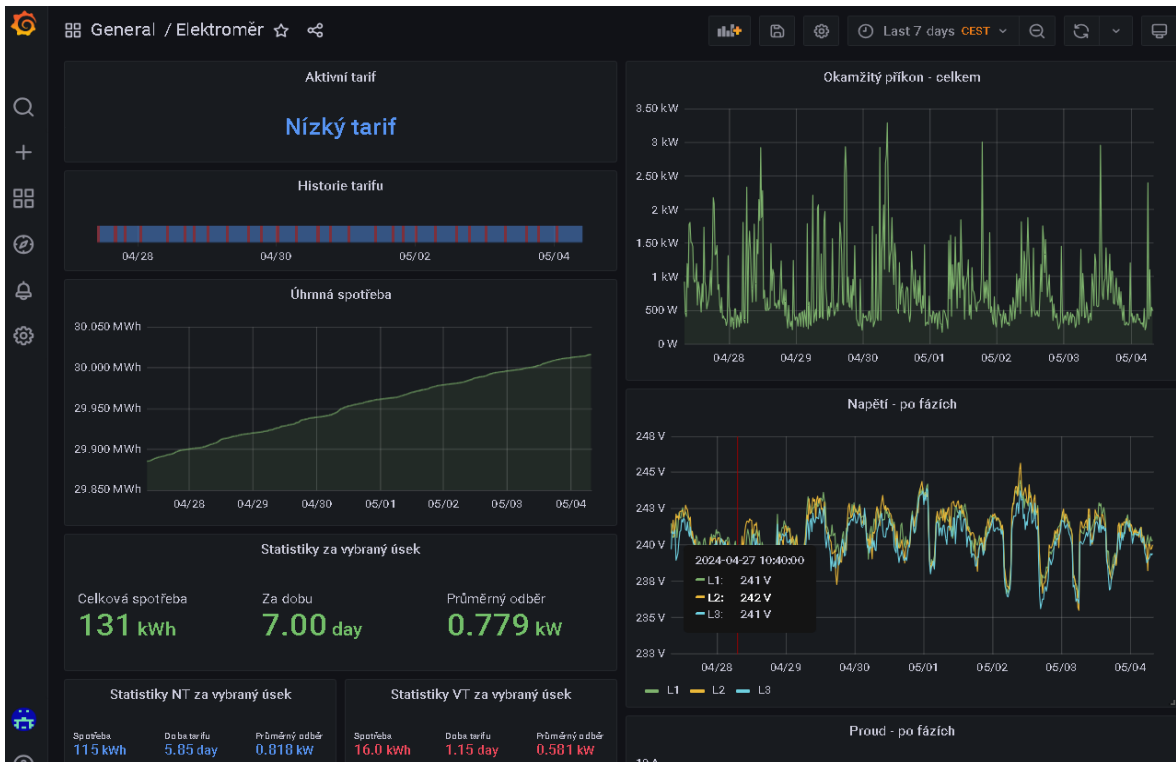
Napájení

V reálném provozu bude zařízení napájeno z jednoho zdroje, který bude zálohován baterií. Vzhledem k cenám a bezpečnosti se jako nejjednodušší varianta jeví záloha 12V autobaterií. Nehrozí požár ani výbuch a na trhu se občas vyskytují za extrémně nízké ceny v řádech stokorun. Baterie bude stále udržována malým proudem v řádu desítek mA. V případě výpadku napájení dojde k automatickému připojení záložního z baterie. Pro napájení centrální jednotky a modemu bude použit spínaný step-down měnič a pro napájení driveru RS-485 „měkký“ zdroj omezeného proudu, aby byla zajištěna funkcionálna, ale případně i zkratová odolnost sběrnice. Nicméně musíme počítat s nezanedbatelným odběrem nejen každého modulu, ale i každého relé, hypoteticky mohou být sepnuta všechna současně. Nebylo by vhodné napájet sběrnici z tvrdého zdroje, jako je autobaterie, při zkratu bychom mohli snadno uvést sběrnici a její okolí v plameny. Bylo by sice možno napájení jistit jen pojistkami, ale použití výše jmenovaného typu zdroje a samozřejmě i pojistky považujeme za bezpečnější. Přepínání ve chvíli výpadku lze zajistit mnoha způsoby. Jedním z nich je i trvalé připojení na baterii, která je soustavně dobíjena proudem o něco větším, než je průměrná spotřeba zařízení. Samozřejmě stále máme na mysli olovenou autobaterii. V testovací soustavě Pro tuto práci však využíváme k napájení dva běžné spínané zdroje, 5V/2A pro modem a Nucleo a 12V/150 mA pro napájení RS-485.

Další možnosti případného využití

Zařízení by bylo možno adaptovat například na ostrahu objektu, doplnit jej PIR čidly, čidly požárními a záplavovými, čidly akustickými pro detekci tříštění skla, magnetickými čidly dveří a oken a podobně. Taktéž je možné využít jej jako komunikační nadstavbu běžného bezpečnostního systému. Například na hojně užívaném systému Paradox, kde můžeme na bezpečnostní ústředně, naprogramovat programovatelné výstupy, které sepnou na základě nějaké události v systému Paradox a tím předají požadovanou událost našemu systému na GPIO vývod, kde jej pak můžeme přiřadit nějaké notifikaci, nebo akci. Další funkce může být například časované zalévání zahrady, větrání, řízení žaluzií apod.

Pokud budeme disponovat možností připojení k internetu, je systém vybaven implementací odesílání požadovaných dat do časových řad Influx databáze na vzdálený server. Tudiž si můžeme navolit, jaká data budou odesílána a z nich pak vhodným nástrojem, například Grafana, získat velmi komfortní grafický náhled do těchto dat. Viz: <https://grafana.com>
Níže najdeme obrázky z jiné aplikace autora, která slouží k podobným účelům, abychom si udělali představu, jak asi tato prezentace dat může vypadat.



Obrázek 20 Ukázka možnosti zobrazení dat z elektroměru, v systému Grafana (z jiné aplikace autora)



Obrázek 21 Ukázka možnosti zobrazení dat z teploměrů, v systému Grafana (z jiné aplikace autora)

3 Praktická část - softwarové řešení

Vzhledem k volbě HW platformy a vývojové desky, bylo pro vývoj SW použito STM32Cube (viz výše-výběr platformy).

Pro konfiguraci HW periférií byla použita grafická konfigurační součást STM32CubeIDE, CubeMX. Generovaná část SW, pomocí CubeMX je vytvořena v extra souborech pro konfiguraci, není tedy součástí modulu `main.c`. Tento postup byl zvolen z důvodu lepší přehlednosti a menšího rizika, že automaticky generovaný kód, přepíše kód uživatelský.

Tyto generované části kódu jsou v adresáři `/Core/Inc` a ke každému perifernímu zařízení, které je využito, je zde jeden konfigurační soubor.

3.1 Uživatelská konfigurace

Celý systém je navržen tak, aby byl maximálně konfigurovatelný, na principu oddělení výkonného kódu (funkcionality) a business logiky (pravidel, chování, rozhodování).

Samotný kód v jazyce C pro platformu STM32 obsahuje implementaci relativně obecné a modulární funkcionality (zejména obsluhu periférií a konfigurační systém). Konkrétní chování systému a reakce na události je poté určeno uživatelskou konfigurací.

Konfigurace je uložena ve formátu JSON. V aktuální verzi je konfigurace pro jednoduchost součástí programu jako řetězcová konstanta, ale nic nebrání tomu, aby byla pro konfiguraci vyhrazena samostatná oblast Flash paměti, kterou je možné aktualizovat za běhu, např. i vzdáleně.

V rámci programu je konfigurace parsována a zpracovávána pomocí knihovny cJSON.

3.1.1 Skriptovací jazyk

Součástí konfiguračního systému je i jednoduchý “skriptovací jazyk” podporující vyhodnocování aritmetických a logických výrazů, práci s proměnnými a podmínky. Od většiny programovacích jazyků se však liší tím, že nemá žádnou syntaxi, žádný textový zápis. Program je vlastně zapsán přímo abstraktním syntaktickým stromem (AST) ve formátu JSON popisujícím strukturu příkazů a výrazů.

Tento zápis je poměrně zdlouhavý a nepříliš praktický pro přímé psaní člověkem. Předpokladem je, že v reálném nasazení bude konfigurace strojově generovaná – preprocesingem z nějakého jazyka vyšší úrovně a/nebo vytvořena prostřednictvím nějakého grafického konfiguračního rozhraní.

Výhodou je, že na MCU nemusíme provádět komplexní parsování plnohodnotné syntaxe nějakého programovacího jazyka, které by bylo náročné na zdroje a bylo potenciálním zdrojem chyb.

Dále popíšeme základní stavební prvky tohoto “jazyka” – hodnoty (values) a akce (actions).

Proměnné

Všechny proměnné sdílí jeden globální jmenný prostor a jsou typu `double`.

Hodnoty (values) – vyhodnocování výrazů

Vyhodnocování výrazů pracuje vždy nad typem `double`. O vyhodnocování se stará funkce `Value_Evaluate` v `app_value.c`, která dostane jako parametr cJSON reprezentaci hodnoty a vrátí výsledek vyhodnocení jako `double`.

Základní typy hodnot

Popis výrazu je JSON hodnota. Nejjednodušší hodnotou je konstanta, která je reprezentována jako JSON číslo.

Komplexní výraz je pak zapsán jako JSON slovník. Ten obsahuje klíč `value_type` udávající typ výrazu, který vyhodnocujeme, a další klíče dle daného typu. Mezi základní typy patří:

- `var` – hodnota proměnné dané klíčem `name`. Příklad: `{"value_type": "var", "name": "teplota"}` Neinicializovaná či neexistující proměnná má hodnotu 0.
- `expr` – vyhodnocení aritmetické či logické operace. Parametry jsou: `left`, `right`: levý a pravý operand (libovolné platné `value`, které budou vyhodnoceny rekurzivně) - `operator`: prováděná operace, jedna z `+`, `-`, `*`, `/`, `//` (celočíslné dělení), `%` (modulo), `==`, `!=`, `<`, `<=`, `>`, `>=`, `&&`, `||`, `!` (používá pouze operand `right`)

Příklad: výraz s významem $2 * x + 1$ bychom zapsali jako:

```
{
  "value_type": "expr",
  "left": {
    "value_type": "expr",
    "left": 2,
    "operator": "*",
    "right": {"value_type": "var", "name": "x"}
  },
  "operator": "+",
  "right": 1
}
```

- `if` – ternární výraz - `cond` – podmínka, libovolná `value`, vyhodnocená rekurzivně, považována za `true`, pokud je výsledek nenulový (podobně jako v C) - `then` – hodnota vrácená v případě, že podmínka je splněna (vyhodnocená rekurzivně) - `else` – hodnota vrácená v případě, že podmínka není splněna (vyhodnocená rekurzivně) Používá se zkrácené vyhodnocení, tedy je vyhodnocena pouze jedna z větví.

Příklad: absolutní hodnotu (výraz $x < 0 ? -x : x$) bychom zapsali jako:

```
{
  "value_type": "if",
  "cond": {
    "value_type": "expr",
    "left": {"value_type": "var", "name": "x"},
    "operator": "<",
    "right": 0
  },
  "then": {
    "value_type": "expr",
    "operator": "-",
    "right": {"value_type": "var", "name": "x"}
  },
  "else": {"value_type": "var", "name": "x"}
}
```

Hodnoty čtené z periférií

Dále jsou k dispozici typy hodnot, které jsou získávané z různých periférií. Mezi ně patří:

- `digital_input` – parametry jsou:
 - `io_pin` – logické číslo vstupu (číslovány od 1). V systému je předdefinovaných několik pinů, které jsou vyhrazeny jako obecné digitální vstupy. Jejich seznam je v `gpiodrv.c`.
- `analog_input`
 - `analog_pin` – logické číslo analogového vstupu (dle seznamu v `gpiodrv.c`, číslováno od jedničky)
- `rf433` – teplota přečtená z 433MHz bezdrátového čidla
 - `rf433_net` – číslo sítě nastavené na čidlu
 - `rf433_id` – číslo senzoru nastavené na čidlu (tato dvě čísla dohromady tvoří identifikaci čidla)
- `tick` – aktuální timestamp v milisekundách od bootu dle `HAL_GetTick()`
- `rtc` – informace o hodinách reálného času
 - `field` – položka, o kterou máme zájem, jedna z možností: `year`, `month`, `day`, `hour`, `minute`, `second`, `weekday` (0=pondělí, 6=neděle), `timestamp` (unixový timestamp, počet sekund od 1.1.1970 0:00 UTC)
 - `utc` – vrátit čas informace v UTC (`true`), nebo místní časové zóně (`false`, výchozí hodnota) dle mobilní sítě. Nemá vliv na `timestamp`.

Šablony pro textový výstup

Přestože všechny proměnné a hodnoty jsou typu `double`, občas je potřeba generovat textový výstup, např. pro odeslání SMS či výpis na displej. K tomu slouží mechanismus šablon.

Šablona je JSON hodnota, jejíž vyhodnocením vznikne textový řetězec.

Šablona může být:

- Řetězcový literál – předán na výstup bez změny.
- Zápis hodnoty (`value`) – číslo nebo slovník dle struktury výše. Hodnota je vyhodnocena a výsledek převeden na řetězec. Slovník může navíc obsahovat klíč `decimals`, který udává, na kolik desetinných míst vypsát hodnotu.
- Navíc může být použito několik speciálních `value_type`, které jsou k dispozici pouze v rámci šablon a jejichž vyhodnocením může vzniknout i přímo řetězec, nikoliv jen číslo následně převedené na řetězec. Jsou to:
 - Zobecněná verze `if`. Má stejnou strukturu jako klasický `if` pro `values`, ale `then` a `else` větve mohou být nejen číslo, ale libovolná platná šablona (číslo, řetězec, seznam podšablon...).
 - `strftime` – formátovaný datum/čas * `format` – jako pro funkci `strftime` v jazyce C
- Seznam, který může obsahovat cokoli z předchozích.

Příklad šablony:

```
[
  "Teplota je: ",
  {"value_type": "rf433", "rf433_net": 5, "rf433_id": 2, "decimals": 1},
  "°C"
]
```

V následujícím příkladu je použita kombinace zobecněného šablonového `if` a `strftime` pro vytvoření hodin s efektem blikající dvojtečky na LCD displeji:

```

"action": {
  "action_type": "lcd_write",
  "message": [
    {"value_type": "strftime", "format": "%H"},
    {"value_type": "if", "cond": {
      "value_type": "expr",
      "operator": "%",
      "left": {"value_type": "rtc", "field": "second"},
      "right": 2
    }, "then": ":", "else": " "},
    {"value_type": "strftime", "format": "%M"}
  ]
}

```

Zde využijeme podmínky `if` k tomu, abychom mezi hodinou a minutou vypsalí v liché sekundy dvojtečku a v sudé mezeru.

Akce (*actions*)

Popis akce je JSON hodnota. Může to být buď slovník s definicí akce, nebo seznam více takovýchto slovníků (pak jsou jednotlivé akce v tomto seznamu provedeny sekvenčně).

Slovník obsahuje klíč `action_type` udávající typ akce a další klíče dle daného typu.

Základní akce

Mezi základní typy akcí patří:

- `set_var` – nastavení hodnoty proměnné:
 - `name`: název proměnné
 - `value`: hodnota (libovolná definice value dle popisu výše; číslo nebo slovník)
- `if` – podmíněný příkaz:
 - `cond` – vyhodnocená podmínka (value)
 - `then` – akce, která se má spustit, když je podmínka splněná (rekurzivní action)
 - `else` – akce, která se má spustit, když není podmínka splněná (rekurzivní action)
- `print` – tisk ladícího hlášení na sériovou konzoli
 - `message` – šablona zprávy k vytištění, viz definice šablon výše

Příklad: akce, která inkrementuje proměnnou `x` o 1, ale jen do maximální hodnoty 10:

```

{
  "action_type": "if",
  "cond": {
    "value_type": "expr",
    "left": {"value_type": "var", "name": "x"},
    "operator": "<=",
    "right": "9"
  },
  "then": {
    "action_type": "set_var",
    "name": "x",
    "value": {
      "value_type": "expr",
      "left": {"value_type": "var", "name": "x"},
      "operator": "+",
      "right": "1"
    }
  }
}

```

Akce pracující s periferiemi

- `send_sms` – odeslání SMS

- `number`: číslo adresáta
- `message`: šablona textu zprávy (viz definice šablon výše)
- `lcd_write` – výpis zprávy na vestavěný LCD displej
 - `message`: šablona textu zprávy
 - `row`: řádek displeje (indexováno od nuly, výchozí 0)
 - `column`: sloupec, od kterého vypisovat (indexováno od nuly, výchozí 0)
- `output_set` – nastavení vestavěného digitálního výstupu
 - `io_pin` – číslo výstupu dle seznamu předdefinovaných výstupů v `gpiodrv.c`, indexováno od 1
 - `value` – hodnota k nastavení, měla by se vyhodnotit na 0 nebo 1
- `output_toggle` – invertování stavu digitálního výstupu
 - `io_pin` – číslo výstupu dle seznamu předdefinovaných výstupů v `gpiodrv.c`, indexováno od 1
- `say` – přehraje zprávu složenou z MP3 nahrávek pomocí MP3 modulu. Použití má smysl pouze ve stavu, kdy je navázaný příchozí (v rámci `incoming_call` pravidel či hlasového menu) či odchozí (v rámci callbacku `onanswer` akce `dial`) GSM hovor.
 - `what` – šablona podobné struktury jako u `print` a `send_sms`, s tím rozdílem, že stringové literály v šabloně nejsou text, ale názvy MP3 nahrávek (velkými písmeny, bez přípony). Čísla a vyhodnocené výrazy jsou přečtena jako čísla.

Příklad hlášení (“Teplota je XX.Y stupňů Celsia”):

```
{ "action_type": "say", "what": ["TEMP_IS", {"value_type": "var", "name": "temp", "decimals": 1}, "DEGREE_C" ] }
```

- `dial` – odchozí GSM volání - `number` – vytáčené číslo - `onanswer` – akce, která se provede po zvednutí hovoru protistranou (typicky `say`) - `onfail` – akce, která se provede, když se nedovoláme - `menu` – po zvednutí hovoru přejít do zadaného hlasového menu (viz níže) a umožnit volanému jej ovládat (volitelné, jinak je hovor po dokončení akce zavěšen)

Příklad:

```
{ "action_type": "dial", "number": "123456789", "onanswer": {
  "action_type": "say", "what": ["ALARM", "IN_ZONE", {"value_type": "var",
  "name": "alarm_zone"}]
}}
```

- `influx_write` – zápis dat do vzdálené InfluxDB databáze (připojení k databázi se konfiguruje v konfigurační sekci `influx`, viz níže). Parametry odpovídají víceméně 1:1 zápisovému API InfluxDB.
 - `measurement` – název InfluxDB měření (datové řady, “tabulky”)
 - `tags` – slovník InfluxDB tagů
 - `fields` – slovník InfluxDB fieldů (naměřených hodnot). Klíč je řetězec, hodnota je libovolná `value`.
- `modbus_read` – čtení registrů Modbus periferie. Parametry víceméně kopírují strukturu Modbus read zpráv.
 - `addr` – adresa periferie (1 až 254)
 - `reg` – počáteční čtený registr
 - `cnt` – počet čtených registrů
 - `type` – typ čteného registru (`coil`, `discrete`, `input`, `holding`) – určuje použitý

Modbus funkční kód

- `target_var` – název proměnné, do které uložit výsledek (pro `cnt > 1` seznam názvů proměnných)
- `scale` – koeficient, kterým se přenásobí přečtená hodnota (pro `cnt > 1` může být seznam koeficientů pro každou hodnotu); výchozí: 1.0
- `tries` – počet opakování v případě neúspěchu (výchozí: 3)
- `then` – akce, která se provede po úspěšném přečtení hodnoty
- `onfail` – akce, která se provede, pokud selže poslední pokus o čtení

Příklad – čtení teploty a vlhkosti z SHT30 teplotního čidla, její zobrazení na LCD a zápis do InfluxDB:

```
{
  "action_type": "modbus_read",
  "addr": 2, "reg": 0, "cnt": 2, "type": "holding",
  "target_var": ["humidity", "temp"],
  "scale": 0.1,
  "then": [
    {
      "action_type": "lcd_write",
      "message": [
        "T:", {"value_type": "var", "name": "temp"},
        "°C RH:", {"value_type": "var", "name": "humidity"}, "%"
      ],
    },
    {
      "action_type": "influx_write",
      "measurement": "meteo",
      "tags": {"room": "obyvak"},
      "fields": {
        "temp": {"value_type": "var", "name": "temp"},
        "humidity": {"value_type": "var", "name": "humidity"}
      }
    }
  ]
}
```

- `modbus_write_single` – zápis do registru Modbus periferie
 - `addr` – adresa periferie
 - `reg` – číslo registru
 - `type` – typ zapisovaného registru (`coil`, `holding`) – určuje použitý Modbus funkční kód
 - `tries` – počet opakování v případě neúspěchu (výchozí: 3)

3.1.2 Struktura konfigurace

Výše jsme ukázali základní stavební prvky, které se budou v konfiguraci objevovat na více místech. Nyní se podívejme na strukturu konfigurace jako celku od nejvyšší úrovně.

Celá konfigurace je JSON slovník, jehož klíče jsou jednotlivé konfigurační sekce. Ty budou popsány dále.

Systém pravidel (sekce `rules`)

Sekce `rules` je JSON seznam pravidel popisujících reakce systému na události. Každé pravidlo je JSON slovník obsahující klíče:

- `trigger`: jeden nebo více spouštěčů, na které pravidlo reaguje (viz níže)
- `action`: akce, která bude vykonána v reakci na spouštěč
- `cond`: volitelná podmínka pro aplikaci pravidla (vyhodnocena jako `value` v okamžiku, kdy nastal `trigger`), pokud je výsledek 0, akce nebude provedena (ekvivalentní obalení akce příkazem `if`)

Spouštěče (triggers)

Popis spouštěče je JSON slovník obsahující klíč `trigger_type` a další klíče dle daného typu.

K dispozici jsou následující druhy spouštěčů:

- `check_value` – periodicky kontroluje hodnotu daného výrazu a vyvolá událost, když je `true`
 - `value` – vyhodnocovaná hodnota
 - `delay [ms]` – jak dlouho musí být hodnota kontinuálně `true`, než je událost vyvolána (např. pro ošetření zákmitu tlačítek)
 - `repeat [ms]` – pokud je hodnota `true` delší dobu, s jakou periodou jsou generovány další události
- `periodic` – periodicky vyvolávaná událost
 - `delay [ms]` – jak dlouho po bootu je vyvolána první událost
 - `repeat [ms]` – perioda druhého a dalšího opakování
- `sms` – reakce na příchozí SMS. Očekává se, že SMS obsahuje příkaz (1 slovo) a 0 až 4 `double` argumenty oddělené mezerami. Argumenty se při přijetí zprávy uloží do proměnných `arg1` až `arg4`, kde k nim má přístup akce vyvolaná pravidlem.
 - `sender` – číslo odesilatele (string nebo pole). Pravidlo je uplatněno jen pokud odesílatel zprávy je jedno z těchto čísel.
 - `command` – název příkazu. Spouštěč vyvolá událost pouze pro SMS, jejichž první slovo je daný příkaz (case insensitive).
 - `nargs` – očekávaný počet argumentů (0 až 4). Přijatá zpráva musí obsahovat přesně správný počet argumentů.
- `console` – zadán příkaz se sériové konzole. Struktura je stejná jako u `incoming_sms` – název příkazu a 0-4 parametry. Klíče `command` a `nargs` mají obdobný význam.
- `startup` – událost vyvolaná hned po startu systému, nemá další parametry

Příchozí hovory jsou zpracovávány mimo systém triggerů v sekci `incoming_call`.

Příklad - termostat

Termostat řízený na základě teploty čtené z 433MHz teplotního čidla. Cílovou teplotu nastavíme pomocí SMS ve tvaru `top <teplota>`, případně můžeme zvýšit/snížit po 1°C pomocí tlačítek. Topení ovládáme prostřednictvím Modbus relé. Zahrnuta je hystereze 1°C pro zabránění oscilaci.

```
"rules": [  
  {  
    "trigger": {"trigger_type": "sms", "sender": "+420...", "command": "top",  
"nargs": 1},  
    "action": {"action_type": "set_var", "name": "setpoint", "value":  
{"value_type": "var", "name": "arg1"}}  
  },  
  {  
    // teplota < setpoint - 1 => zapni topení  
    "trigger": {  
      "trigger_type": "check_value",  
      "value": {  
        "value_type": "expr",  
        "left": {"value_type": "rf433", "rf433_id": 1},  
        "operator": "<",  
        "right": {
```



```

        "value_type": "expr",
        "left": {"value_type": "var", "name": "setpoint"},
        "operator": "-",
        "right": 1
    }
}
},
"action": {"action_type": "set_var", "name": "topim", "value": 1}
},
{
// teplota >= setpoint => vypni topení
"trigger": {
    "trigger_type": "check_value",
    "value": {
        "value_type": "expr",
        "left": {"value_type": "rf433", "rf433_id": 1},
        "operator": ">=",
        "right": {"value_type": "var", "name": "setpoint"}}}
    }
},
"action": {"action_type": "set_var", "name": "topim", "value": 0}
},
{
"trigger": {
    "trigger_type": "periodic",
    "delay": 5000
    },
"action": {
    "action_type": "modbus_write_single",
    "addr": 1,
    "reg": 3,
    "type": "coil",
    "value": {"value_type": "var", "name": "topim"}
    }
},
{ // zvýšení cílové teploty o 1°C tlačítkem
"trigger": {
    "trigger_type": "check_value",
    "delay": 100,
    "value": {
        "value_type": "digital_input",
        "io_pin": 1
    }
    },
"action": { // setpoint = setpoint + 1
    "action_type": "set_var",
    "name": "setpoint",
    "value": {
        "value_type": "expr",
        "left": {"value_type": "var", "name": "setpoint"},
        "operator": "+",
        "right": 1
    }
    }
}
} // (snížení analogicky)
]

```

Pravidla pro příchozí hovory (sekce *incoming_call*)

Secke *incoming_call* obsahuje seznam pravidel pro zpracování příchozích hovorů. Každé pravidlo je slovník s klíči:

- *caller* – číslo volajícího či seznam čísel volajících (v mezinárodním formátu), pro které se pravidlo uplatní
- *pin* (volitelné) – pokud je nastaveno, po zvednutí hovoru vyžádá zadání PINu. Hodnota může být řetězec či seznam řetězců (více správných PINů, např. pro více

- `action` (volitelné) – akce, která se provede po správném zadání PINu (pokud byl nastaven), případně po přijetí hovoru
- `answer` – boolean, zda se má hovor zvednout (`true`), nebo odmítnout (`false`). Vyžádání PINu logicky funguje pouze s `answer=true`. `answer=false` lze použít pro vykonání akce pouhým prozvoněním.
- `menu` (volitelné) – název hlasového menu (viz níže), ve kterém se volající ocitne po přijetí hovoru. Pokud není nastaveno, je po přijetí hovoru a dokončení všech akcí (které mohou zahrnovat i přehrání audio zpráv pomocí `say`) hovor automaticky zavěšen.

Příchozí hovory z čísel, kterým nevyhovuje žádné pravidlo, jsou automaticky odmítnuty.

Definice hlasových menu (sekce `dtmf_menu`)

V systému je možné definovat jedno nebo více hlasových menu a mezi nimi přecházet. Definice menu jsou v sekci `dtmf_menu`, která je slovník. Každá jeho položka představuje jedno menu, klíč je název/identifikátor menu, hodnota je slovník s definicí daného menu.

Definice jednotlivého menu obsahuje následující klíče:

- `welcome`: zvuková zpráva přehraná při vstupu do menu (název MP3 souboru velkými písmeny bez přípony)
- `action`: akce provedená při vstupu do menu, zatím nevyužito.
- `type`: typ menu (řetězec). Existují dva typy: - `options` – výběr z pevné množiny voleb - `input` – zadání číselné hodnoty

Další klíče se liší dle typu menu.

Menu typu `options` obsahuje následující klíče:

- `read_options` (boolean) – při vstupu do menu vyjmenovat uživateli seznam dostupných voleb (ve tvaru “stiskněte X pro Y”, kde X je klávesa a Y název položky menu)
- `options` – seznam voleb menu. Klíč je DTMF klávesa (čísllice, *, #), hodnota je slovník s definicí položky menu. Ten obsahuje následující klíče:
 - `option_mp3`: MP3 soubor s názvem položky, který se přehraje v rámci vyjmenování voleb a při zvolení položky.
 - `action`: akce, která se provede při zvolení této položky
 - `next`: název menu, do kterého se přejde po dokončení akce, nebo speciální hodnota `hangup` pro zavěšení hovoru. Není-li uvedeno, zůstane se v aktuálním menu.

Menu typu `input` obsahuje následující klíče:

- `target_var`: název proměnné, do které se má uložit přečtené číslo po potvrzení klávesou #
- `decimal` (boolean): povolit zadání desetinných čísel (hvězdička funguje jako desetinná čárka)
- `then (action)`: akce, která se provede po zadání a potvrzení čísla
- `next` (název menu): menu, do kterého se přejde po zadání a potvrzení čísla, příp. speciální hodnota `hangup` pro zavěšení hovoru

Příklady obsluhy příchozích hovorů a menu

Otevření garážových vrat prozvoněním

Na základě prozvonění z daného čísla na 10 sekund sepne Modbus relé.

```
{
  "incoming_call": [
    {
      "caller": "+420123456789",
      "answer": false,
      "action": [
        {"action_type": "modbus_write", "addr": 5, "reg": 1, "value": 1},
        // Zapamatujeme si, kdy jsme zapnuli relé, abychom ho
        // mohli po 10s zase vypnout
        {"action_type": "set_var", "name": "pulse_start",
         "value": {"value_type": "tick"}}
      ]
    }
  ],
  "rules": [
    {
      "trigger": {
        "trigger_type": "check_value",
        "value": {
          "value_type": "expr",
          "left": {
            "value_type": "expr",
            "left": {"value_type": "tick"},
            "operator": "-",
            "right": {"value_type": "var", "name": "pulse_start"},
            "operator": ">",
            "right": 10000
          }
        }
      },
      "action": {
        {"action_type": "modbus_write", "addr": 5, "reg": 1, "value": 0},
      }
    }
  ]
}
```

Ovládání termostatu přes hlasové menu

Rozšiřuje příklad termostatu z dřívější sekce o hlasové menu, které po zadání PINu umožní dotaz na aktuální naměřenou a cílovou teplotu a změnu cílové teploty.

```
"incoming_call": [
  {
    "caller": "+420123456789",
    "answer": true,
    "pin": "1234",
    "menu": "main"
  }
],
"dtmf_menus": {
  "main": {
    "type": "options",
    "options": {
      "1": { // Dotaz na teplotu
        "option_mp3": "TEMP_Q",
        "action": {
          "action_type": "say",
          "what": [
            "TEMP_IS",
            {"value_type": "var", "name": "temp", "decimals": 1},
            "DEG_C",
            "SP",

```

```

        {"value_type": "var", "name": "setpoint", "decimals": 1},
        "DEG_C",
        {"value_type": "if", "cond": {"value_type": "var", "name": "topim"},
         "then": "TOP_ON", "else": "TOP_OFF"}
    ]
}
},
"2": { // nastavení cílové teploty
    "option_mp3": "SET_SP",
    "next": "enter_sp"
}
},
"enter_sp": {
    "type": "input",
    "target_var": "setpoint",
    "then": {
        "action_type": "say",
        "what": ["SPSETTO", {"value_type": "var", "name": "setpoint"}, "DEG_C"]
    },
    "next": "main"
}
}
}

```

Další sekce

Další menší sekce konfigurace:

- Sekce `influx` obsahuje parametry spojení ke vzdálené InfluxDB databázi přes rozhraní Ethernet.
 - `server`: IP adresa serveru
 - `port`: port serveru (volitelné, výchozí 8086)
 - `database`: název databáze
 - `username, password` (volitelné) – přihlašovací údaje pro HTTP Basic authentication
- Sekce `variables` může obsahovat výchozí hodnoty proměnných při startu systému.

3.2 Základní architektura

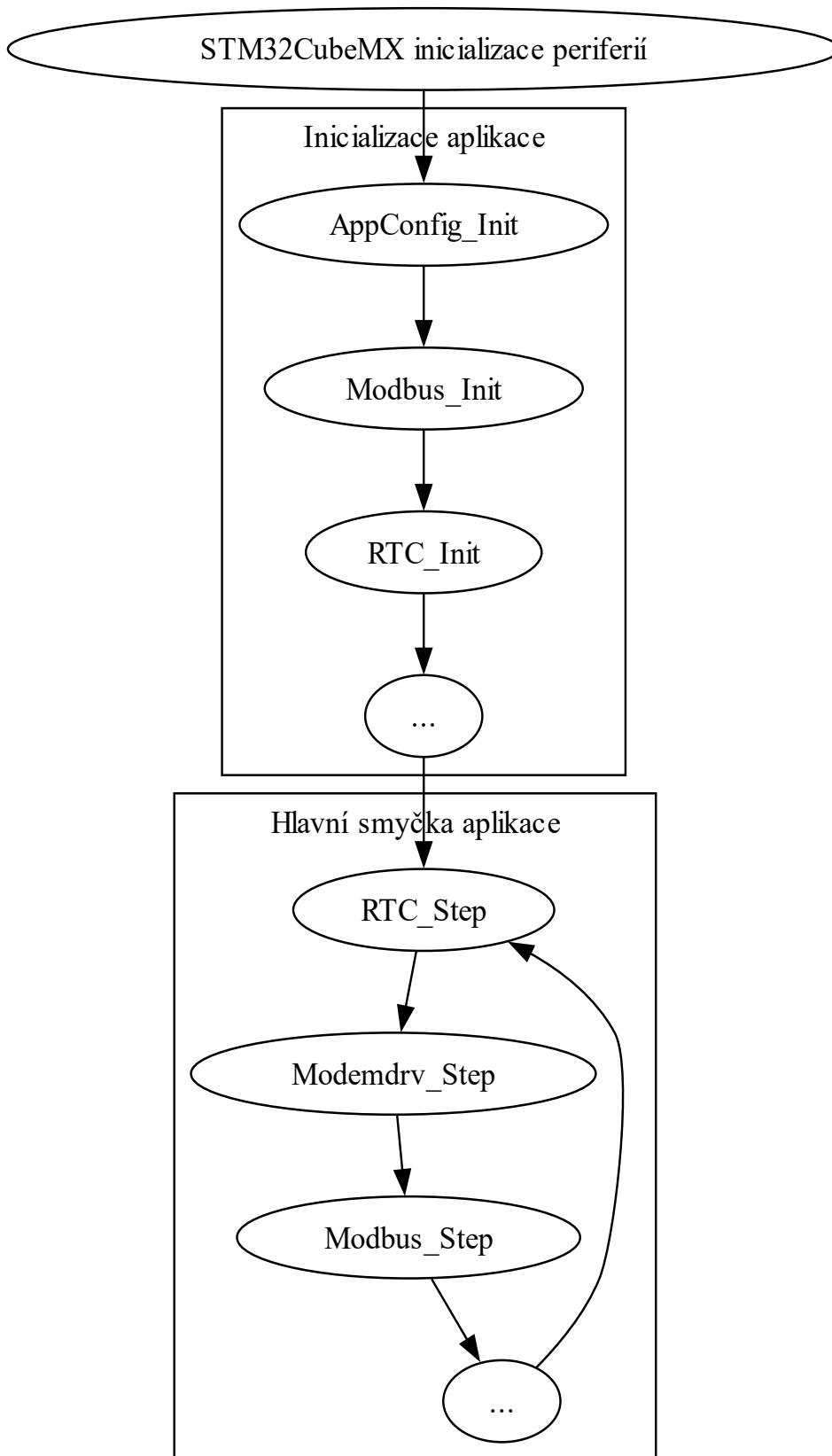
Aplikace je implementována v jazyce C jako jednovláknová bez použití RTOS. Využívá pouze jedno jádro procesoru (výkonnější Cortex-M7). Veškerá funkcionality je řešena v rámci jedné hlavní smyčky. Pro komunikaci s periferiemi je využíván polling, nevyužívá (až na několik specifických výjimek) přerušování ani DMA. To na jednu stranu znamená méně úsporný provoz např. při běhu na baterii, na druhou výrazné zjednodušení implementace a eliminaci mnoha potenciálních zdrojů chyb (např. race conditions při obsluze přerušování).

Výjimkou je zpracování 433 MHz signálu bezdrátových teplotních čidel, které je řešeno přerušováním, protože vyžaduje časování s mikrosekundovou přesností.

Aplikace využívá následující knihovny třetích stran:

- STM32 HAL pro inicializaci a obsluhu základních periférií (UART, I2C, atp.)
- lwIP (<https://www.nongnu.org/lwip/>) pro TCP/IP komunikaci.
- cJSON (<https://github.com/DaveGamble/cJSON>) pro parsování JSON konfigurace.

Aplikace se skládá z většího množství modulů. Každý modul má svou “step” funkci, která představuje jeho část hlavní smyčky a je volána periodicky.



Obrázek 22 Základní struktura běhu aplikace

3.3 Architektura modulů

3.3.1 Komunikace s periferiemi

uartbuf.c – bufferovaná UART komunikace

Aplikace na více místech využívá komunikaci přes UART (ladící konzole, modem, MP3 modul, modbus). Ve všech případech tato komunikace probíhá na úrovni celých zpráv (řádek, příkazů atp.). Protože žádný modul nemůže brzdit hlavní smyčku čekáním na přijetí/odeslání dat (odeslání 100-znakové zprávy rychlostí 9600 trvá 100 ms!), komunikace je bufferovaná.

Tj. např. Modbus modul zapíše do bufferu celou zprávu najednou a ta je pak odesílána “na pozadí” (v rámci hlavní smyčky) tak rychle, jak to rychlost UART linky umožňuje. Analogicky jsou v rámci hlavní smyčky skládány do bufferu průběžně přijaté bajty a až po přečtení celé zprávy je vyvolána obsluha z příslušného modulu.

O tuto režii komunikace se stará modul `uartbuf.c`. Každý UART kanál je popsán strukturou `uartbuf`, která obsahuje:

- referenci na odpovídající HAL UART rozhraní
- kruhový odesílací buffer
- jednoduchý přijímací buffer (není kruhový, protože je v něm vždy jedna zpráva, po přečtení posledního bajtu zprávy je okamžitě zpracována a buffer resetován)
- nastavení ukončování příchozích zpráv – aktuálně podporuje dva režimy:
 - koncem řádku (CR, LF nebo CRLF)
 - časovačem (uplynutím zadaného času od posledního přijatého bajtu) – používá se pro Modbus, kde je konec zprávy signalizován pauzou o délce 3.5 znaku

Konkrétní instance `uartbuf` struktury jsou definované v jednotlivých modulech (např. `modemBuf` v `modemdrv.c`). Ze Step funkcí příslušných modulů jsou pak volány funkce `UARTBuf_Handle_RX` a `UARTBuf_Handle_TX` pro zajištění průběžného obousměrného přesunu dat mezi buffery a UART rozhraním.

modemdrv.c – komunikace s GSM modemem SIM900

Tento modul implementuje komunikaci s GSM modulem pomocí AT příkazů.

Nízkoúrovňová část – práce s AT příkazy

Spravuje kruhovou frontu příkazů k odeslání (`commandQueue`), včetně automatického opakování neúspěšných příkazů. Příkazy jsou vykonávány asynchronně. Volající je o výsledku příkazu informován pomocí callbacku, který je součástí položky fronty. Základním vstupním bodem je funkce `Modemdrv_AddToQueue` pro přidání příkazu do fronty a funkce `Modemdrv_HandleQueue` (volaná z `Modemdrv_Step`), která spravuje stavový automat komunikace s modemem a stará se o odesílání příkazů z fronty ve vhodnou chvíli.

Vysokoúrovňová část – volání, SMS a další

Nad touto frontou je dále implementována funkcionalita vyšší úrovně. První část je funkcionalita pro manipulaci s modemem, např. odchozí volání (`Modemdrv_Dial`, `Modemdrv_Hangup`) či SMS (`Modemdrv_SendSMS`).

Kromě příkazů a odpovědí na ně modul zpracovává i asynchronní zprávy od modemu (typicky řádky začínající +), o jejich interpretaci se stará funkce

Modemdrv_HandleAsynResponse.

Na základě nich zpracovává události jako příchozí volání a SMS, které jsou předány dalším modulům (příchozí SMS jsou zpracovány jako trigger pro systém pravidel, příchozí volání předáno DTMF modulu prostřednictvím `DTMF_IncomingCall` a pak DTMF volby prostřednictvím `DTMF_KeyPressed`).

Práce s modemem je komplikována nesystematičností, až chaotičností, historického AT protokolu. Ten například nabízí několik různých režimů práce s SMS, ale každý má své problémy a zrádnosti. PDU mód vyžaduje od aplikace parsování relativně komplikovaného binárního GSM PDU formátu. Textový mód zase vypisuje text příchozích zpráv bez jakéhokoli escapování, tedy části textu zprávy mohou být zaměněny za řídicí zprávy modemu, čehož by mohl i zneužít potenciální útočník.

Zdá se, že jediná použitelná varianta je textový formát (`AT+CMGF=1`), kódovaný hexadecimálně (`AT+CSCS="HEX"`). S tím lze alespoň pracovat jednoznačně. Zajímavý vedlejším efektem tohoto nastavení je, že i telefonní čísla příjemců SMS musí být najednou kódována hexadecimálně (vlastnost, která není úplně dobře zdokumentována).

Dále na rozdíl od většiny jiných AT příkazů je třeba odesílání SMS dělat dvoukrokově: nejdřív pošleme příkaz specifikující adresáta (s hexadecimálním číslem): `AT+CMGS=313133343536373839`. Poté musíme počkat, až modem odpoví promptem `>`. Teprve poté můžeme poslat zakódovaný text zprávy. Pokud pošleme vše najednou, modem část nebo celý text zahodí.

Modul se také stará i iničiální konfiguraci modemu po bootu, mimo jiné:

- Nastavení formátu předávání SMS – textový (`AT+CMGF=1`), kódovaný hexadecimálně (`AT+CSCS="HEX"`) viz výše.
- Aktivace DTMF dekodéru (`AT+DDET=1`)
- Aktivace aktualizace času ze sítě (`AT+CLTS=1`) a posílání zpráv o času

mp3.c – komunikace s modulem MP3 přehrávače

Modul se stará o přehrávání MP3 souborů. Spravuje playlist souborů k přehrávání jako kruhovou frontu.

Komunikuje s MP3 přehrávačem pomocí rozhraní UART s využitím `uartbuf`. Komunikace je v aktuální verzi jednosměrná – jen odesílání. Zpětnou vazbu od MP3 modulu získáváme v podobě `BUSY` signálu přes GPIO. Podle něj poznáme, že skončilo přehrávání aktuální skladby a můžeme se přesunout na další.

Základním vstupním bodem je funkce `MP3_PlayFile` pro přidání souboru do playlistu.

Dále implementuje rutiny pro čtení číselných hodnot (`MP3_SayInt`, `MP3_SayDecimal`), které rozdělí číslo na vhodné segmenty (tisíce, stovky, desítky atp.), pro které jsou připravené nahrávky.

rf433mhz.c – příjem signálu 433 MHz teplotních čidel

Výstup 433 MHz přijímače je přiveden na GPIO vstup. Na jeho změny reagujeme pomocí přerušení.

Pro měření času pulzů používáme časovač TIM2, který se inkrementuje s frekvencí 1 MHz (tedy funguje jako hodiny s mikrosekundovým tikem). Při příchodu přerušení pak porovnáváme aktuální hodnotu tohoto časovače (resp. jeho counter registru) s uloženým časem předchozí hrany.

Sebraná data ze všech čidel ukládáme do globálních polí `temps` a `rhs`, odkud je pak čte zbytek systému (např. vyhodnocování `rf433` výrazů ve `Value_Evaluate`).

rtc.c – správa hodin reálného času

O udržování hodin reálného času se stará modem, který má interní RTC hodiny a navíc aktualizuje čas ze sítě, pokud toto zapneme (`AT+CLTS=1`). Aktuální čas lze z modemu přečíst příkazem `AT+CCLK`, který vrací odpověď ve tvaru `+CCLK: "24/03/07,11:29:28+08"`. Zdá se, že poslední položka je časová zóna v jednotkách čtvrt hodin, dokumentace v tomto není jasná.

Modul `rtc.c` se modemu periodicky dotazuje na čas, který následně převede na unixový timestamp použitím funkcí ze standardní knihovny jazyka C. Vždy si zapamatuje aktuální tik (dle `HAL_GetTick()`) a jemu odpovídající RTC čas. Z toho lze potom snadno dopočítat čas v libovolný okamžik přičtením rozdílu tiků, o což se stará funkce `RTC_Now`.

RTC čas se aktuálně používá pouze při odesílání dat do InfluxDB pro doplnění timestampů, případně jej má k dispozici uživatelská konfigurace. Např. je možné implementovat automatizovaný termostat s nastavením dle dne v týdnu a denní doby, ovládání osvětlení dle denní doby atp.

modbus.c – Modbus komunikace

Tento modul poskytuje poměrně přímočaré rozhraní pro komunikaci s Modbus periferiemi. Ústředním bodem je struktura `modbus_req` popisující jeden požadavek. Kromě požadavku samotného (adresa, funkční kód, čísla registrů a případně data) se do ní pak ukládá i výsledek. Kromě toho může obsahovat callback, který bude zavolán po získání odpovědi (stejně jako u jiných modulů jsou odeslání příkazu a přijetí odpovědi asynchronní).

Tyto požadavky jsou skládány do kruhové fronty (`queue`) pomocí funkce `Modbus_AddRequest`.

Modul nabízí pouze čtení a zápis standardních modbus registrů, ale nijak je neinterpretuje pro konkrétní periferie. Toto je řešeno až v rámci uživatelské konfigurace, což umožňuje dodatečně připojit libovolné periferie kompatibilní s Modbus rozhraním.

Pro řízení RS-485 driveru je využita hardwarová podpora ovládání DE (Driver Enable) pinu v STM32.

influx.c – odesílání dat do InfluxDB

Tento modul se stará o odesílání libovolných hodnot (dle uživatelské konfigurace, mohou to být naměřené veličiny jako teplota, stavy logických vstupů atp.) do vzdálené InfluxDB databáze prostřednictvím rozhraní Ethernet, které je součástí desky Nucleo.

Pro odesílání je využita knihovna lwIP, která obsahuje kompletní implementaci TCP/IP stacku. Používáme nízkoúrovňové rozhraní lwIP založené na callbackech (jiné ani bez RTOS použít nelze).

Data posíláme do InfluxDB prostřednictvím HTTP API a line protokolu (<https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/reference/syntax/line-protocol/>). Spojení není šifrované (nepředpokládá se odesílání citlivých dat), je podporována HTTP Basic autentizace.

Zapsané hodnoty jsou na server odesílány po dávkách. Dávky jsou omezeny maximální velikostí (64 kB) a časovým rozsahem (1 minuta).

Dávka je připravována v globálním bufferu (`sCurrentBatch`) už přímo naformátovaná v line protokolu včetně HTTP hlaviček. Po uzavření dávky je přesunutá do druhého bufferu (`sPendingBatch`), odkud je při nejbližší příležitosti odeslána na server. Odeslání je v případě selhání po prodlevě opakováno.

O přidávání dat se stará funkce `Action_InfluxWrite` na základě akcí v uživatelské konfiguraci.

3.3.2 Konfigurace a logika

app_value.c – vyhodnocování výrazů a expanze šablon

Vyhodnocování výrazů

O vyhodnocování se stará funkce `Value_Evaluate`, která na vstupu dostane cJSON objekt a vrátí vyhodnocenou `double` hodnotu. Vyhodnocování složených výrazů (typ `expr`) je řešeno rekurzivně. Po každém vyhodnocení (pod)výrazu je do příslušného JSON slovníku vložen/aktualizován klíč `last_value` obsahující poslední vyhodnocenou hodnotu.

Toho se využívá:

- pro ladění – příkazem `dumpcfg` ze sériové konzole lze vypsát serializovaný aktuální stav konfiguračních objektů, ve kterém jsou vidět i tyto aktualizované hodnoty
- v triggeru `check_value` pro zjištění změny hodnoty (když se nově vyhodnocená liší od `last_value` před vyhodnocením)

Expanze šablon

Dále jsou zde funkce pro expanzi šablon. Šablony se používají ve dvou mírně odlišných kontextech – pro formátování textových zpráv (odesílání SMS, výpis na displej či konzoli) a pro skládání hlasových zpráv. Každý tento kontext vyžaduje trochu odlišné zpracování, protože v případě textu je výstupem jeden řetězec, v případě hlasu je to posloupnost názvů MP3 souborů. S čísly je také nutno zacházet odlišně.

Z tohoto důvodu je obecná logika oddělena do funkce `Value_ExpandTemplateInner`. Ta generuje výstup šablony po *segmentech*, kde segment je buď řetězec, nebo číslo, a pro každý segment předá callbacku poskytnutému volajícím ke zpracování.

Vyhodnocení šablony probíhá jednoduše:

- Pokud je vstupem řetězcový literál, je předán callbacku jako řetězcový segment.
- Pokud je vstupem objekt, podíváme se na `value_type`:
 - Pokud jde o speciální šablonový `value_type` (viz sekce o šablonách v kapitole Uživatelská konfigurace), je přímo vyhodnocen:
 - V případě `if` je vyhodnocena podmínka pomocí `Value_Evaluate` a příslušná větev zpracována rekurzivně pomocí `Value_ExpandTemplateInner`
 - V případě `strftime` je vygenerován zformátovací řetězec a předán callbacku jako řetězcový segment.
 - Pokud jde o “normální” value, je vyhodnocena pomocí `Value_Evaluate` a výsledek callbacku jako číselný segment. Pokud navíc slovník obsahuje klíč `decimals`, je tato informace také předána callbacku, který ji může využít pro formátování finálního výstupu.

`Value_ExpandTemplateInner` je pak volána ze dvou kontextů:

- Z obalové funkce `Value_ExpandTemplate`, která zajišťuje expanzi šablony do řetězcového výstupu. Zde callback prostě spojí všechny segmenty do jednoho znakového bufferu a ten je vrácen volajícímu. Používá se např. pro odesílání SMS (`Action_SendSMS`) či výpis na displej (`Action_LCDWrite`).
- Z `Action_Say`, který řetězcové segmenty interpretuje jako názvy MP3 souborů a přidává je do playlistu pomocí `MP3_PlayFile`, číselné segmenty jsou přečteny pomocí `MP3_SayDecimal`.

app_actions.c – mechanismus akcí

Vstupním bodem tohoto modulu je funkce `Action_Run`, která dostane cJSON objekt popisující akci. Pokud je to seznam, provedou se rekurzivně všechny jeho prvky, jinak se zavolá příslušná obsluha dle `action_type` (e.g. `Action_Say`, `Action_InfluxWrite`, ...).

Jednotlivé obslužné funkce akcí jsou velmi přímočaré: jen z předaného JSON objektu “vytahají” parametry a ve správné podobě je předají výkonnému kódu v jiných modulech. Např. `Action_Dial` obaluje `Modemdrv_Dial`, `Action_Say` obaluje `MP3_PlayFile` a `MP3_SayDecimal` za pomoci `Value_ExpandTemplateInner`, `Action_SendSMS` obaluje `Modemdrv_SendSMS` za pomoci `Value_ExapandTemplate`, atp. V zásadě jde jen o “lepidlo” mezi konfiguračním mechanismem a dalšími moduly.

app_rules.c a app_triggers.c – mechanismus pravidel a spouštěčů

V aplikaci existují dva druhy spouštěčů: založené na pollingu a založené na událostech.

Spouštěče založené na pollingu

Stav těchto spouštěčů je aktivně kontrolován z hlavní smyčky. O to se stará funkce `Rules_Step`, která prochází všechna pravidla a kontroluje stav jejich spouštěčů pomocí `Trigger_ShouldFire`. Pokud vrátí `true`, znamená to, že událost nastala a má se provést odpovídající akce. `Trigger_ShouldFire` je jen rozvětvení na konkrétní implementace pro každý typ spouštěče (`Trigger_Periodic`, `Trigger_CheckValue`).

Je na zodpovědnosti každé implementace spouštěče, aby po vyvolání události je nevyvolala hned znovu v další iteraci hlavní smyčky. Aktuální implementace to řeší tak, že si ukládají stavové informace (u `Trigger_Periodic` např. čas posledního spuštění) přímo do JSON slovníku triggeru (naparsované cJSON struktury lze v paměti modifikovat). To má výhodu jak ve zjednodušení implementace, tak v tom, že tyto stavové informace můžeme vidět pro ladící účely, když si necháme vypsat aktuální stav konfigurace příkazem `dumpcfg` ze sériové konzole.

Spouštěče založené na událostech

Tyto spouštěče jsou vyvolávány v reakci, na nějakou asynchronní událost zpracovávanou jiným modulem – např. příchozí SMS.

Pro zjednodušení implementace těchto spouštěčů je poskytováno makro `FOREACH_TRIGGER`, které umožní libovolnému modulu jednoduše v reakci na nějakou událost projít všechny spouštěče určitého typu. Má dva parametry – typ spouštěče a tělo cyklu. Uvnitř těla cyklu je k dispozici proměnná `jTrigger` – objekt spouštěče daného typu a `jAction` – odpovídající akce.

Modul se pak na základě parametrů v `jTrigger` může rozhodnout, jestli aktuálně zpracovávaná událost vyhovuje danému spouštěči, a pokud ano, spustit příslušnou akci pomocí `Action_Run`.

Příklad použití při obsluze příchozí SMS v `modemdrv.c` (zjednodušeno):

```
FOREACH_TRIGGER("sms", {
    cJSON *jExpectedSender = cJSON_GetObjectItemCaseSensitive(jTrigger, "sender");
    char *sExpectedCmd = Util_JSON_GetObjStr(jTrigger, "command");
    if (Util_JSON_IsStringInArray(sender, jExpectedSender)
        && Util_StrCmp_CaseInsensitive(cmd, sExpectedCmd) == 0) {
        Action_Run(jAction);
    }
})
```

Tímto projdeme každý trigger typu SMS, a pokud sedí jeho parametry (odesílatel, příkaz

obsažený ve zprávě) na aktuálně příchozí zprávu, je spuštěna odpovídající akce.

dtmf.c – obsluha hlasových menu

Tento modul je opět relativně přímočarý. Přijíma od `modemdrv.c` informace o stavu hovoru a DTMF událostech (`DTMF_IncomingCall`, `DTMF_KeyPressed`, `DTMF_CallEnded`). Na základě toho si udržuje vnitřní stav `dtmfState` (`DTMF_IDLE`, `DTMF_WAIT_PIN`, `DTMF_MENU`, `DTMF_INPUT`) a aktuální menu, ve kterém se nacházíme (`current_menu`).

Dle tohoto stavu a uživatelské konfigurace (`incoming_call`, `dtmf_menus`) poté reaguje na jednotlivé události.

3.4 Popis modulů a jednotlivých funkcí

Vlastní moduly aplikace pak převážně sídlí v adresáři `/Src/app`.

Lze je rozdělit na 2 základní skupiny, a to skupinu pro obsluhu periférií a skupinu modulů zajišťující funkci logiky(jádra) celého systému a propojení s moduly periférií. Moduly logiky mají v názvu prefix `app_`.

3.4.1 SW moduly základní logiky systému

Základní funkcionalitu aplikace zajišťují tyto moduly:

`app.c`, `app_actions.c`, `app_config.c`, `app_rules.c`, `app_triggers.c`, `app_value.c`, jejichž funkce bude rozebrána dále.

Z modulu `main.c` je v podstatě jen volána vlastní obsluha, která je v modulu `app.c`.

`app.c`

Tento modul se stará o globální chod celé aplikace. Jeho funkcionalita je založena na několika funkcích:

```
int App_Run()
```

Tato funkce je zavolána z `main.c`

Na počátku se postará o inicializaci timerů a LCD, pak spustí funkci `AppConfig_Init()` z modulu `app_config`, jež zajistí další kroky inicializace, viz dále.

Dále pak ve smyčce `while()` probíhá chod vlastního programu, kde se, při každém průběhu, postupně volají kroky jednotlivých dalších modulů:

```
RTC_Step();
Modemdrv_Step();
Console_Step();
Gpio_Step();
Rules_Step();
Modbus_Step();
Influx_Step();
DTMF_Step();
MP3_Step();
MX_LWIP_Process();
```

Také se zde generuje blikání systémové LED, která signalizuje, že MCU běží.

```
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
```

Tato funkce je callback volaný při externím přerušení vyvolaném změnou stavu na některém z GPIO pinů. V tomto případě, pokud je aktivován specifický pin (`RF433_Pin`), dojde k aktivaci příslušné funkce pro zpracování signálu RF 433MHz.

`app_actions.c`

Soubor funkcí pro provádění různých akcí v aplikaci, které se jsou definovány pomocí JSON objektů. Modul pak volá funkcionalitu dalších modulů, „driverů“ `modemdrv`, `gpiodrv`, `modbus`, `mp3`, `dtmf` a několik dalších, které zprostředkovávají přístup k hardware nebo externím systémům.

```
void Action_SendsSMS(cJSON *action)
```

Odesílá SMS zprávy na jedno nebo více telefonních čísel.

Načte telefonní číslo/čísla a zprávu z JSON objektu, formátuje zprávu a odesílá ji přes modemový driver.

```
void Action_Print(cJSON *jAction)
```

Účel: Vypisuje zprávu na standardní výstup (konzole). Získá zprávu z JSON objektu a vypíše.

```
void Action_LCDWrite(cJSON *jAction)
```

Zobrazuje text na LCD. Načte a formátuje zprávu, specifikuje pozici řádku a sloupce na LCD a zobrazí text.

```
void Action_Modbus_Write_Single(cJSON *jAction)
```

Zapíše do jednoho registru Modbus zařízení. Konfiguruje Modbus požadavky a odesílá je na zařízení, čte data.

```
static void modbus_read_cb(struct modbus_req *req)
```

Zpracování výsledku čtení modbus driverem, případně zavolání nějaké akce „then“ v akci v JSON objektu akce

```
void Action_Modbus_Read(cJSON *jAction)
```

Zpracuje akci požadavek čtení modbus, jeden, nebo více registrů. Sestaví strukturu requestu a přidá požadavek čtení do fronty modbus driveru.

```
void Action_Say(cJSON *jAction)
```

Přehrávání zvukového souboru nebo hlasového výstupu číselných hodnot.

Zpracuje zadaný objekt JSON funkcí `Value_ExpandTemplateInner(jWhat, say_cb, NULL)`

```
static void say_cb(const char *sVal, double dVal, int iDecimals, void *userdata)
```

Dle parametrů buď zavolá funkci přehrání slova, nebo funkci pro sestavení a přehrání čísla.

```
void Action_Dial(cJSON *jAction)
```

Provádí telefonní hovor a spravuje odpovědi.

Načte telefonní číslo a timeout, odesílá požadavek pro vytočení čísla.

```
static void dial_cb(DialResult result, void *userdata)
```

Podle výsledku hovoru provádí další akce. Například po spojení přehraje zprávu o narušení objektu, požáru, může přepnout do nějakého menu a nabídnout například vypnutí sirény apod.

```
void Action_Run(cJSON *jAction)
```

Výkonná funkce, která zpracovává různé typy akcí specifikované v JSON objektu.

Rozhoduje o typu akce a spustí příslušnou funkci pro zpracování akce.

app_config

V tomto modulu je zpracována základní konfigurace zařízení ve formátu JSON. Prozatím napevno v kódu, do budoucna by mělo být možno tuto konfiguraci měnit na cloudu a tím funkcionalitu jednotky modifikovat, leč jen v případě existence internetového připojení.

```
void AppConfig_Init()
```

Slouží k parsování konfiguračního JSON a inicializaci knihovny pro práci s JSON objekty.

app_rules.c

```
void Rules_Step()
```

Tato funkce je jádro modulu a zajišťuje zpracování pravidel. Je volána periodicky.

Kontrola času: Na začátku funkce se kontroluje, zda uplynulo alespoň 10 tiků od posledního zpracování. Pokud ne, funkce se ukončí.

Iterace přes pravidla: Pomocí knihovny cJSON iteruje přes pole pravidel uložených v `jCfgRules`. Pro každé pravidlo získává trigger a action. Pokud jsou tyto položky definovány, zkontroluje se, zda má být trigger spuštěn `should_fire`.

Dále, pokud je k dispozici podmínka (`key „if“`), evaluuje se její platnost. Jestliže není definována žádná podmínka nebo je podmínka splněna, provede se akce.

Na konci funkce se aktualizuje proměnná `u32RulesLastCheck` na aktuální hodnotu tiků.

app_triggers

Modul slouží k definování a zpracování triggerů (spouštěčů) v systému, což jsou mechanismy určené k aktivaci určitých akcí na základě splnění specifických podmínek. Zahrnuje funkce pro evaluaci podmínek a řízení časování spouštění akcí. Rozlišuje mezi různými typy triggerů jako "check_value" a "periodic" a volá příslušné pomocné funkce pro zpracování.

```
bool Trigger_CheckValue(cJSON *params)
```

Params je pointer na patričný triger. Kontroluje se `value` – výraz z definice triggeru pomocí funkce `long val = Value_Evaluate(value)`, která vrací vyhodnocení jako `true`, nebo `false` 1/0. Předchozí hodnota je uchovávána a porovnána se současnou. Hodnota `startTime` uchovává dobu, od kdy je podmínka splněna.

Kontroluje, zda je objekt `params` platný. Získá a porovnává současné a předchozí hodnoty vyhodnocení `value` funkcí `long val = Value_Evaluate(value)`.

Na základě konfigurace `delay` a `repeat` rozhoduje o tom, zda je čas aktivovat periodický trigger.

```
bool Trigger_Periodic(cJSON *params)
```

Funkce pro zpracování periodických triggerů bez `value` (podmínkového výrazu).

Kontroluje, zda uplynulo dostatečné množství času (`delay [ms]`) od startu nebo `repeat` od poslední aktivace. Pokud nastavím `repeat = 0`, trigger se opakovat nebude.

```
bool Trigger_ShouldFire(cJSON *jTrigger)
```

Funkce projde pole triggerů, a pro každý triger dle typu zavolá další, výše popsané funkce.

app_value.c

Modul slouží k vyhodnocení a zpracování různých typů dat, zejména z JSON objektů, a to za účelem získání výsledných hodnot na základě definovaných operací nebo vstupů. Tento modul implementuje několik klíčových funkcí pro práci s daty v prostředích, kde se pracuje s hardwarem a sensory, což naznačuje využití v embedded systémech, například na platformě STM32.

```
double Value_EvalComplex(cJSON *jValue)
```

Tato funkce slouží k vyhodnocení komplexních výrazů uložených v JSON objektech.

Funkce zpracovává různé typy hodnot (`value_type`), jako jsou výrazy (`expr`), hodnoty z RF433 senzorů (`rf433`), digitální (`digital_input`) a analogové (`analog_input`) vstupy,

proměnné (var), systémové ticky (tick), podmíněné výrazy (if) a reálný čas (rtc).

Pro vyhodnocení matematických a logických operátorů využívá makra `DEFINE_OPERATOR`.

```
double Value_Evaluate(cJSON *jElement)
```

Tato funkce zjednodušeně vyhodnotí hodnotu JSON objektu. Pokud je objekt číslo, vrátí jeho hodnotu. Pokud je objekt složitější, použije `Value_EvalComplex` k jeho vyhodnocení a uloží výslednou hodnotu zpět do JSON objektu jako `last_value`.

Tyto dvě funkce níže slouží k expanzi šablon, které mohou obsahovat text, čísla, podmíněné bloky, formátování data a času nebo další vnořené šablony.

```
void Value_ExpandTemplateInner(cJSON *template, void (*cb)(const char *sVal, double dVal, int iDecimals, void* userdata), void* userdata)
```

Je rekurzivní funkce, která prochází strukturu JSON a podle typu (string, číslo, objekt) zavolá callback funkci zadanou volajícím. Momentálně `static void say_cb(const char *sVal, double dVal, int iDecimals, void *userdata)` z modulu `mp3.c` a `Value_ExpandTemplate(cJSON *template)` viz níže.

```
const char * Value_ExpandTemplate(cJSON *template)
```

Inicializuje buffer a postupně vkládá vyhodnocené výrazy nebo text pomocí callback funkce `append`.

3.4.2 Moduly obsluhy periférií

`console.c`

Slouží pro odladování programu, zadávání příkazů a výstup ladících komentářů.

Zajišťuje obsluhu terminálu na UART, například PUTTY na PC, kam jsou směřovány tisky a odkud lze zadávat příkazy při ladění.

```
void Console_HandleLineFromConsole(const char * line, uint16_t length) {  
Zpracování příchozí řádky z konzole na sériovém portu MCU.
```

```
int __io_putchar(int ch)
```

Přesměruje `printf()` na daný UART

```
void Console_Step()
```

Vykoná jeden krok konzole, tedy zavolá rutiny pro čtení a zápis.

`dtmf.c`

Tento modul slouží k zpracování příchozích hovorů, autentizaci prostřednictvím čísla volajícího a PIN kódů a vytvoření hlasových menu a navigaci v nich. Modul interaguje s volajícím tak, že volající zadává z klávesnice číselné povely a přenos je uskutečněn pomocí DTMF signálů, což jsou tóny generované při stisku tlačítek na telefonní klávesnici.

```
void DTMF_IncomingCall(const char *caller)
```

Zpracovává příchozí hovory na základě konfiguračních pravidel.

Kontroluje, zda je číslo volajícího uvedeno v seznamu povolených a na základě toho rozhoduje o přijetí hovoru, spuštění autentizace PINem nebo o přesměrování hovoru do konkrétního menu.

```
void DTMF_EnterMenu(const char *menu)
```

Zajišťuje vstup do konkrétního DTMF menu, dle názvu. Hraje uvítací zprávu příslušného

menu, dále přehraje volby – options tedy číslo pro danou volbu a popis, co tato volba vykoná. Poté čeká na vstup DTMF číslice z klávesnice telefonu volaného – to platí v případě menu options. V případě menu input čeká na zadání nějakého čísla, například požadované teploty ukončené znakem „#“.

void DTMF_KeyPressed(char key)

Reaguje na stisknutí kláves při aktivním DTMF menu.

Může zpracovávat zadání PIN kódu, navigaci v menu nebo zadávání číselných hodnot.

hangup a hangup_after_playback:

Tyto funkce zajišťují ukončení hovoru. hangup okamžitě ukončuje hovor, zatímco hangup_after_playback čeká na dokončení přehrávání audio souborů.

static void start_rule()

Rozhoduje o akcích na základě pravidla, které odpovídá identifikovanému volajícímu. To může zahrnovat odpovězení na hovor, spuštění akce nebo navigaci do menu.

static void check_pin()

Ověřuje, zda zadaný PIN odpovídá očekávaným hodnotám pro aktuální pravidlo. Po ověření pokračuje v další logice hovoru.

void DTMF_CallEnded()

Resetuje stav po ukončení hovoru.

void DTMF_Init()

Inicializuje konfigurace z načteného JSON souboru.

gpiodrv.c

Obsluha I/O jak digitálních, tak analogových, tedy čtení a zápis digitálních a čtení hodnoty analogových.

void Gpio_InitDigitalOutputs()

Inicializace digitálních I/O

static void Gpio_ReadAnalogInputs()

Čtení analogových hodnot z analogových vstupů MCU.

int Gpio_ReadDigitalInput(int ioPin)

Čtení logických vstupů.

void Gpio_WriteDigitalOutput(int ioPin, int pinState)

Nastavení logických výstupů.

void Gpio_Step()

Vykoná jeden krok GPIO po zavolání z app.c

Další funkce slouží k vedlejším úkolům uvnitř modulu.

i2c_lcd.c

Modul slouží k obsluze dvouřádkového displeje, jedná se o upravený modul z příkladů v knihovnách Arduino.

influx.c

Tento modul slouží pro komunikaci s databází InfluxDB, což je časová databáze, která umožňuje efektivní ukládání a vyhledávání časově označených dat. Modul poskytuje funkce pro inicializaci, správu datových dávek (batches), autorizaci a odesílání dat do databáze.

void Influx_Init()

Inicializuje modul na základě konfiguračních dat. Nastavuje serverovou adresu, port, jméno databáze, uživatelské jméno a heslo z JSON konfiguračního objektu. Aktivuje modul pro odesílání dat.

void init_batch()

Inicializuje novou datovou dávku pro odeslání. Vytváří záhlaví HTTP požadavku včetně autorizačních údajů, pokud jsou k dispozici.

void Influx_Flush()

Přesune aktuální dávku do čekací oblasti a připraví ji k odeslání. Resetuje aktuální dávku pro další záznamy.

void Action_InfluxWrite(cJSON *jAction)

Přidává data z JSON objektu do aktuální dávky. Zpracovává časovou řadu - measurement, tagy a pole a přidává časové razítko. Dokončenou zprávu запиše do Influx bufferu.

void Influx_SendBatch()

Pokud není žádné aktivní síťové spojení, vytvoří nové a pokusí se odeslat data v callbacku na connect, na server InfluxDB.

err_t tcp_client_connected(void *arg, struct tcp_pcb *tpcb, err_t err)

Callback funkce pro TCP/IP komunikaci, řeší navázání spojení, odesílání dat a ošetření chyb při komunikaci.

tcp_sent(tcpcb, tcp_sent_cb)

Předá odeslání knihovní funkci LVIP knihovny `tcp_sent(tcpcb, tcp_sent_cb)`

void Influx_Step()

Periodicky volaná funkce, která řeší stav síťového spojení, odesílání datových dávek a obnovu síťového spojení.

modbus.c

Tento modul implementuje základní funkcionalitu pro komunikaci s zařízeními podle průmyslového komunikačního standardu Modbus. Slouží k zasílání požadavků, přijímání odpovědí a zpracování dat pomocí Modbus protokolu přes sériovou linku (UART).

bool Modbus_AddRequest(struct modbus_req req)

Přidává požadavky do fronty pro zpracování. Kontroluje, zda je v frontě dostatek místa, a pokud ano, umístí nový požadavek na konec.

static uint16_t compute_crc()

Vypočítá CRC (Cyclic Redundancy Check) pro data uložená v bufferu modbuf. Tato kontrola je klíčová pro zajištění integrity dat v Modbus komunikaci.

static void `append_crc()`

Počítá CRC pomocí funkce `compute_crc()` a připojuje výsledné CRC k datům v bufferu.

static bool `check_crc()`

Ověří, že přijatá data mají správné CRC. Tato funkce je nezbytná pro potvrzení správnosti přijatých dat.

`buf_putc()`, `buf_put16()`

Přidávají bajty nebo 16-bitové hodnoty do vysílacího bufferu `modbuf`.

`buf_getc()`, `buf_get16()`

Čtou bajty nebo 16-bitové hodnoty z přijímacího bufferu `modbuf`.

void `build_request(struct modbus_req *req)`

Sestavuje Modbus požadavek do bufferu `modbuf` na základě specifikovaného požadavku `req`.

static void `parse_response(struct modbus_req *req)`

Analyzuje přijatou odpověď z bufferu `modbuf`, extrahuje data a aktualizuje stav požadavku `req`.

static void `finish_request()`

Ukončí zpracování aktuálního požadavku, volá příslušný callback a aktualizuje stav fronty.

static void `handle_msg(const uint8_t *msg, uint16_t length)`

Zpracovává přijaté Modbus zprávy. Kopíruje zprávu do bufferu, kontroluje CRC, zpracovává odpověď a aktualizuje stav požadavku.

void `Modbus_Init()`

Do Modbus bufferu uloží parametry timeoutu pro detekci konce zprávy.

void `Modbus_Step()`

Funkce volaná v pravidelných intervalech pro zpracování přenosů a příjmů, správu časování komunikace a zpracování fronty požadavků.

mp3.c

Tento modul slouží k ovládní MP3 přehrávače v mikrokontroléru, s použitím sériové komunikace (USART). Modul obsahuje funkce pro správu playlistu, posílání příkazů do MP3 přehrávače, ovládní přehrávání souborů a manipulaci s čísly a zpožděními.

void `MP3_PlayFile(const char *filename)`

Přidá soubor do playlistu. Pokud je playlist plný (obsahuje 100 položek), vypíše chybovou zprávu.

void `MP3_SendRawCmd(uint8_t cmd, const uint8_t *data, uint8_t data_len)`

Posílá příkazy do MP3 modulu. Formátuje data podle specifikace, vypočítává kontrolní součet 1 byte, přidá nakonec a posílá data přes UART. Obecná vrstva.

void `MP3_PlayFileNow(const char *filename)`

Přehrává specifikovaný soubor v MP3 formátu. Převádí název souboru na formát vhodný pro MP3 přehrávač (všechny znaky velké, dodržení formátu 8.3), přidá číslo diskové jednotky např. 0x01 a číslo příkazu, např. 0x08 a nakonec přidá MP3 příponu.

void MP3_PlayNumberedFile(uint16_t number)

Přehrává soubor, jehož název je číslo. Používá se pro přehrávání numerických souborů, jako jsou číslice a další číselné zvukové soubory.

void MP3_SayInt(int number)

Dekomponuje celé číslo na jednotlivé složky (tisíce, stovky, desítky, jednotky) a přehrává příslušné zvukové soubory pro každou složku.

void MP3_SayDecimal(double number, int decimals)

Převádí desetinné číslo na zvukové přehrávání, kde "POINT" znamená desetinnou tečku a za ní následuje specifikovaný počet desetinných míst.

bool MP3_IsPlaying()

Funkce pro kontrolu stavu přehrávání (jestli právě něco hraje) a pro zjištění, zda je MP3 přehrávač v nečinném stavu.

void MP3_AddDelay(uint16_t ms)

Zpoždění na začátku, které umožní oddálit přehrávání, než se spojí hovor, aby jej to neořízlo.

void MP3_Step()

Tato funkce je volána pravidelně a řídí logiku přehrávání zvukových souborů, včetně zpracování zpoždění, ověřování, zda je zařízení připraveno přehrávat, a správu chyb v komunikaci s MP3 modulem.

modemdrv.c

Tento modul zajišťuje funkcionalitu komunikace s HW modulem modemu SIM900.

void Modemdrv_AddToQueue(char *payload, ModemResponseCallback handleResponse, uint8_t numOfAttempt, bool retryOnError, const char *continuation, uint16_t timeout)

Funkce přidává další příkaz, do fronty příkazů modemu.

void Modemdrv_RemoveFromQueue()

Po zpracování vyjme příkaz z fronty.

void Modemdrv_InitModem()

Inicializuje HW modem sadou AT příkazů, např nastaví baud-rate, zapne DTMF funkcionalitu etc.

void Modemdrv_HandleQueue()

Zpracuje příkaz z fronty.

void Modemdrv_SendCommand(const char *cmd, int16_t length)

Odešle předpřipravený příkaz do SIM900. Tedy do jeho SW bufferu, viz dále.

void Modemdrv_HandleAnswer(modemResponse answer)

Zpracuje odpověď modemu, jako potvrzení, chybové hlášky apod.

void Modemdrv_HandleAsynResponse(const char *line, uint16_t length)

Zpracovává asynchronní hlášky modemu, jako například příchozí zprávy, volání, ztrátu

spojení apod.

void Modemdrv_Incoming_SMS(const char *line, uint8_t numOfLine)
Zpracuje příchozí SMS, respektive jí naformátuje a překóduje pro další zpracování.

void Modemdrv_HandleIncomingSMS(const char *sender, const char *text)
Parsuje SMS, najde pravidlo pro volajícího, uloží argumenty, ověří správný počet a příkaz, pokud vše sedí, vykoná příkaz.

void Modemdrv_SendSMS(const char *number, const char *text)
Překóduje číslo volaného do hexa formátu, který očekává modem. Odešle SMS, respektive přidá předpřipravený příkaz pro odeslání, včetně payloadu do fronty příkazů.

void Modemdrv_Hangup() – zavěsí modem

void Modemdrv_Dial(const char *sNumber, uint16_t u16Timeout, DialCallback cb, void *pUserData) {
Vytočí číslo a vloží do fronty callback.

void Modemdrv_HandleLineFromModem(const char *line, uint16_t length)
Callback od uart bufferu – po dokončení řádky přijatých znaků. Buffer je jen na tu jednu řádku, nemusí být kruhový.

void Modemdrv_Step()
Jeden krok modulu modem.c. V prvním průchodu zavolá inicializaci modemu, v dalších pak, obsluhu čtení a zápisu z modulu bufferu modemu uartbuf.c, viz níže.

rf433mhz.c

Obsluha komunikace, tedy příjmu informací z RF433 modulů. Použit upravený kód z Arduino příkladů. Získané naměřené hodnoty ukládá do globálních polí.

rtc.c

Modul popsáný v poskytnutém zdrojovém kódu v C slouží k synchronizaci a správě interního času zařízení využívajícího RTC (Real Time Clock) pomocí času získaného z modemu.

void RTC_ParseUnsolicited(const char* line)
Tato funkce zpracovává odpovědi s časovými údaji od modemu. Zvládá dva formáty odpovědí, jeden je z formátu +CCLK a druhý *PSUTTZ. Funkce analyzuje řetězec, extrahuje časové údaje, provádí konverze a aktualizuje interní čas zařízení.

time_t RTC_Now()
Vrátí aktuální čas jako time_t hodnotu, přičemž zohledňuje uplynulý čas od poslední aktualizace času.

time_t RTC_LocalNow()
Tato funkce vrátí lokální čas, tedy čas získaný z funkce RTC_Now() a upravený o časovou zónu, která byla získána při poslední aktualizaci.

void RTC_RequestUpdate()
Vyžádá aktualizaci času od modemu posláním příkazu AT+CCLK?.

void RTC_Step()

Periodická funkce, volána pravidelně. Funkce automaticky vyžádá aktualizaci času od modemu, pokud od poslední žádosti uplynulo více než minutu.

void RTC_Init()

Inicializační funkce, která spustí počáteční žádost o aktualizaci času.

Uartbuf.c

Modul pro buffer RX a TX pro UART modemu, modbusu, mp3, případně konzole.

void Uartbuf_HandleRX(struct UARTBuf *pUb)

Zpracování příchozích byte z UARTu modemu, modbusu, nebo z UARTU konzole, tj. jeho HW bufferu a předání do kruhového SW bufferu pro další zpracování.

void Uartbuf_Write(struct UARTBuf *pUb, const char *data, uint16_t length)

Pokud chci odeslat data, ukládá je do bufferu.

void Uartbuf_HandleTX(struct UARTBuf *pUb)

Naopak odesílání byte z TX SW bufferu do fyzického bufferu UARTU modemu, nebo konzole.

Pokud jde o čtení dat z kruhového bufferu, každý driver má ve svém modulu callback k tomuto účelu. Tedy například modem

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit systém dálkového dohledu vzdálených objektů. Od systému bylo požadováno, aby mohl být ovládán pomocí GSM sítě, s využitím DTMF povelů prostřednictvím „voice“ kanálu, případně SMS. Tato volba vznikla na základě požadavku použitelnosti v lokalitách a objektech bez připojení k internetu, tedy například chaty, chalupy, garáže, zahrádky apod. Záměrem bylo také, obejít se bez mobilních dat. Systém je však schopen i ukládání dat po internetu, je-li připojení dostupné. Do budoucna se uvažuje o dalších možných rozšířeních, viz níže. Dalším základním požadavkem bylo napájení, s možností zálohy z jednoho bodu. Tento požadavek předem diskvalifikoval širší použití bezdrátových modulů pro základní funkcionalitu a proto byla zvolena komunikace „po drátu“. Z dostupných řešení, byla pro naše účely zvolena, pro moduly rozmístěné po budově, sběrnice RS-485. Důvodů pro tuto volbu bylo několik. Jednotné napájení z místa centrální jednotky, dostupnost velké škály modulů za přijemné ceny, spolehlivost a robustnost průmyslové sběrnice a také jednoduchost implementace. Zajímavá se jeví i kompatibilita s elektroměry, jejichž čtení, je do budoucna také plánováno.

Námi navržený systém měl primárně poskytnout jednoduché funkce dálkového dohledu, tedy čtení vstupů, jak digitálních, tak analogových a schopnost předat zjištěné stavy a naměřené údaje na vyžádání uživateli. Jako komunikační kanály pak použít buď GSM hlasový kanál, nebo komunikaci pomocí SMS. Dále bylo požadováno, aby systém umožnil dálkové zapnutí/vypnutí nějakého spotřebiče, na základě povelu, zadaného opět výše zmíněnými kanály. Nedílnou součástí základní funkcionality je i potřeba poskytnout uživateli notifikace nějakého rizika – narušení objektu, požár, mráz apod., které bude oznámeno prostřednictvím SMS, nebo prozvoněním a hlasovou notifikací. Systém je vybaven MP3 modulem, který poskytuje hlasové rozhraní podobné, jako například hlasové samoobsluhy operátorů či dodavatelů energií. Další funkcí, je nastavení akce po prozvonění uživatelem, která umožní například otevření vrat.

Komunikace s telefonem je chráněna na dvou úrovních. První je kontrola volajícího čísla a dle tohoto čísla je pak přidělena „role“ a „práva“ a jako další, je kontrola PIN při hlasové komunikaci. Při komunikaci pomocí SMS, je kontrolováno jen číslo odesílatele a opět, různým číslům, lze povolit různé funkce. Vzhledem ke způsobu ovládní a zamýšlenému účelu použití zařízení, považujeme takovéto zabezpečení za dostatečné a taktéž asi nemáme příliš dalších možností, jak bezpečnost zvýšit. Taktéž komerční zařízení podobného typu nepoužívají zpravidla žádnou další formu zabezpečení. Hypoteticky by bylo možno například použít TOTP (Time-based One-Time Password) jako druhý faktor autentizace. Zařízení je dále vybaveno implementací složitějších funkcionalit, takže je schopno lokálně zvládat některé typy regulací, jako je například termostat, hlídání hladiny a další podobné funkce.

Zajímavou vlastností námi navrženého zařízení je možnost konfigurace funkcionality prostřednictvím konfiguračního souboru a skriptovacího jazyka. Díky tomuto konceptu je možno bez zásahu do zdrojového kódu do značné míry změnit funkci zařízení pro konkrétní nasazení jen na základě změny konfiguračního souboru.

Jako HW platforma centrální jednotky byla zvolena vývojová deska STM32H7. Vzhledem k její nízké ceně a vysokému výkonu se jevila jako dobrá volba nejen pro odlaďování. Další velká výhoda tohoto řešení je i to, že vybraná vývojová deska má integrované ethernet síťové rozhraní RJ-45, což nám umožní do budoucna i komfortnější možnosti komunikace v objektech s připojením k internetu. Součástí desek Nucleo je také programátor a debugger ST-Link, který prostřednictvím USB poskytuje nejen výše zmíněné možnosti, ale také sériový port, pro komunikaci při odlaďování aplikace. Deska je také bohatě vybavena

perifériemi. Rozdíl v ceně, mezi námi zvoleným STMH7 a o poznání méně výkonnými deskami Nucleo, je v podstatě zanedbatelný.

Periferie byly použity z čínské provenience, díky široké nabídce, velmi nízkým cenám a překvapivě kvalitnímu řemeslnému zpracování. Jen s dokumentací to bylo u těchto produktů zpravidla dosti katastrofální. Bylo tedy vyzkoušeno větší množství modulů a pro demonstrační účely této práce pak bylo vybráno několik reprezentativních z nich.

Moduly vstupů a výstupů, modul měření teploty a vlhkosti, u kterých se předpokládá, že nebudou na stejném místě, jako centrální jednotka, jsou na sběrnici RS-485 připojeny prostřednictvím driveru a jednoho USART. Moduly, které naopak budou ve stejném místě jako centrální jednotka, tedy modul MP3 přehrávání a modul GSM modemu, jsou připojeny dalšími dvěma USART rozhraními desky Nucleo a modul dvouřádkového displeje pak pomocí I2C sběrnice. Modul displeje pravděpodobně bude pro případnou realizaci nahrazen modulem čtyřřádkovým, neboť dvě řádky se ukázaly jako nedostatečné. Dalším modulem, na I2C, měl být modul RTC. V průběhu realizace však bylo zjištěno, že RTC je již součástí GSM modemu a byl tedy využit tento vestavěný RTC, který si umí získat aktuální čas z GSM sítě a původně plánovaný modul RTC byl vypuštěn.

Jako SW platforma byla zvolena platforma STM32-Cube, obsahující nejen IDE, ale také hardware abstraction layer (STM32HAL), middleware, konfigurační nástroje, jako je např. CubeMX a řadu příkladů, které usnadňují vývoj aplikací pro STM32. Tato platforma umožňuje díky integraci nástrojů, velmi komfortní vývoj SW aplikací.

Software byl navržen tak, aby jej bylo možno konfigurovat použitím jednoho JSON souboru, viz výše. Do budoucna je pak plánována možnost dálkové změny konfigurace prostřednictvím internetu. Tato vlastnost pak bude použitelná, pokud bude v dané lokalitě instalace internetu dostupná. Pomocí konfiguračního souboru pak lze do značné míry měnit funkcionality zařízení, včetně možnosti změny konfigurace HW modulů, aniž bychom museli jakkoli zasahovat do zdrojového kódu samotné aplikace. Můžeme tedy jakkoli kombinovat spouštěcí události – trigery a vykonané akce – actions, na základě různě kombinovaných podmínek, včetně závislosti jak na čase uplynulém, tak čase reálném a současně na stavu jakýchkoli hodnot systémem měřitelných, případně jejich kombinací. Systém taktéž umožňuje, k jakékoli události, či kombinaci událostí a podmínek, zvolit formy notifikace, tedy předat informaci uživateli například pomocí okamžitého prozvonění a mluvené hlášky, nebo SMS. Pro uživatele, mající internetové připojení, pak umožní jakákoli zvolená data a hodnoty odesílat na vzdálený server do časových řad Influx databáze, kde je možno je spravovat například systémem Grafana, který poskytuje nejen velmi komfortní grafický výstup, ale navíc ještě funkci „alert“, jež umožní na základě nějaké zvolené události, odeslat e-mail.

Jako další možnosti rozšíření je plánováno doplnit několik rozšiřujících funkcí. Zajímavou variantou může být doplnění zařízení o komunikaci s široce rozšířenou bezpečnostní ústřednou Paradox. Tyto ústředny mají rozhraní UART, kterým lze získávat různé informace o stavu ústředny (a také programovat její funkce). Můžeme tedy získávat například stavy nastavení/vypnutí střežení, různé stavy poplachu a taktéž získávat informaci o sepnutí čidel v jednotlivých místnostech objektu, případně systém nastavit do módu střežení dálkově.

Další plánovanou budoucí funkcí je „hlasitý telefon“. Tedy připojením aktivního reproduktoru a mikrofonu, bude získána možnost odposlechu objektu při narušení a zároveň prostřednictvím hlasu bude možno potencionálního narušitele objektu odradit od dalších aktivit. Bude to ovšem vyžadovat přepínání vstupu modemu na dva zdroje signálu – mikrofon a stávající MP3 modul, což je plánováno zajistit nějakým integrovaným analogovým prepínačem – multiplexorem, nebo jen s použitím relé, které bude v normálním stavu připojovat MP3 modul, a jen v případě volání a odposlechu přepojí na mikrofon.

Jednoduše je možno doplnit i elektroměr na stávající sběrnici modbus, sledovat spotřebu a

získaná data ukládat do výše zmíněné Influx databáze.

Můžeme také zautomatizovat například zalévání zahrady, tím, že zkombinujeme například udržování určité hladiny v nádrži, s periodickou funkcí spínání ventilu apod.

System je taktéž softwarově vybaven pro zpracování signálů z čidel RF433 MHz, kterými lze bezdrátově měřit například venkovní teplotu a vlhkost. HW modul přijímače však není v sestavě pro tuto práci osazen, nicméně funkcionality byla odzkoušena. Problém 433 MHz modulů čínské provenience je však dosah, citlivost a šum, bude potřeba vybrat kvalitnější přijímač typu superhet, pro praktické nasazení.

Co se týče dalšího možného vývoje, je plánována výše zmíněná možnost dálkové změny konfigurace ze serveru, dále prezentace stavů a dat a možnost zadávání příkazů prostřednictvím webového rozhraní na serveru, pro obousměrnou komunikaci. Tyto funkce však lze použít jen v případě existence připojení k internetu ve sledovaném objektu.

Samozřejmě se nabízí i vytvoření aplikace na mobilní telefon

Další zajímavou možností rozšíření komunikace, je využití mobilních dat a připojení k internetu prostřednictvím GSM sítě. Výhody a nevýhody již byly zmíněny v analýze výše. Jako velmi zajímavé řešení se může jevit použití připojení pomocí sítě LoRaWAN a providerů tohoto připojení a tímto způsobem se připojit ke vzdálenému serveru.

Ve spojení s elektroměry a FVE, by pak mohlo být zařízení používáno například i zapínání a vypínání spotřebičů dle aktuální výroby.

Vytčené cíle práce byly tedy naplněny a zároveň se nabídla široká škála dalších možností, které budou do budoucna jistě v praktických realizacích jistě postupně využity.

Význam některých použitých zkratek a pojmů

MQTT – dříve: Message Queuing Telemetry Transport

UTF – Unicode Transformation Format

IoT – internet of things - internet věcí

PGM – programovatelné výstupy

OS – operační systém

EZS – elektronický zabezpečovací systém

QoS – Quality of service - požadovaná úroveň kvality síťových služeb

CCTV – Closed-circuit television, uzavřený televizní okruh

FTP – File Transfer Protocol

MCU – jednočipový mikrokontrolér

GPIO – General purpose I/O - vstupně výstupní univerzální vývody MCU

UART/USART – univerzální asynchronní/ synchronní/asynchronní adaptér

Ethernet – název souhrnu technologií pro počítačové sítě (LAN, MAN) z větší části standardizovaných jako IEEE 802.3

Middle-ware – specializovaný software, který poskytuje aplikacím služby nad rámec služeb poskytovaných operačním systémem

Platforma – počítačová platforma je v informatice pracovní prostředí, jak po stránce hardware, tak i software

SMART HOME – technologie chytrého domu

Shield – přídatná zpravidla periferní deska k platformám mini a mikropočítačů, jako je např. Raspberry, nebo arduino

Time-stamp – údaj obsahující informaci o datu a času

JSON – JavaScript Object Notation, formát pro výměnu dat, například na Webu

Literatura:

AL-QUTAYRI, by Mahmoud A., ed. *Smart Home System*. Vukovar, Croatia: In-Teh, 2010. ISBN 978-953-307-050-6.

AXELSON, Jan. *Serial port complete*. 1-st. Madison: Lakeview Research, 2000. ISBN 0-9650819-7-4.

CLAUS, Kühnel. *Develop and Operate Your LoRaWAN IoT Nodes*. 1-st. Netherlands: Elektor International Media B.V., 2022. ISBN ISBN 978-3-89576-494-3.

DAWOUD, Peter a DAWOUD, Shenouda. *Microcontroller and Smart Home Networks*. 1. Gistrup, Denmark: River Publishers CRC Press, 2022. ISBN 978-87-7022-156-6.

NORIS, Donald. *Programming with STM32: Getting started with the Nucleo Board and C/C++*. New York: McGraw-Hill Education, 2018. ISBN 978-1-26-003132-4.

PAKDEL, Majid. *Advanced Programming with STM32 Microcontrollers*. London: Elektor International Media B.V., 2020. ISBN 978-3-89576-410-3.

Trevor Martin. *The Insider's Guide To The STM32 ARM Based Microcontroller*. University Of Warwick, United Kingdom: Hitex (UK), 2008. ISBN 0-9549988 8.

ZURAWSKI, Richard (ed.). *Embedded systems handbook: embedded systems design and verification*. 2nd ed. Editor Richard ZURAWSKI. Industrial information technology series. Boca Raton: CRC Press, c2009. ISBN 978-1-4398-0755-2.

Elektronické zdroje:

Jaakko's Project Space [wt450h]. Online. Dostupné z: <http://ala-paavola.fi/jaakko/doku.php?id=wt450h>. [cit. 05.03.2024, 00:00].

13441 Datasheet. Online. Dostupné z: <http://attach01.oss-us-west-1.aliyuncs.com/IC/Datasheet/13441.rar>. [cit. 20.03.2024, 00:00].

RS-422 and RS-485 Applications eBook. Online. Dostupné z: <https://advantech-bb.com/wp-content/uploads/2014/12/RS-422-RS-485-eBook.pdf>. [cit. 04.01.2024, 10:45].

12 Great Home Assistant Alternatives: Top Home Automation Tools in 2024 | AlternativeTo. Online. Dostupné z: <https://alternativeto.net/software/home-assistant-io/>. [cit. 17.03.2024, 07:15].

STM32 NUCLEO-H755ZI-Q - STM32H755ZIT6 ARM Cortex M7 / M4 Botland - obchod s robotikou. Online. Dostupné z: <https://botland.cz/stm32-nucleo/15489-stm32-nucleo-h755zi-q-stm32h755zit6-arm-cortex-m7-m4-5904422323851.html>. [cit. 19.03.2024, 13:30].

NUCLEO-F303RE - Mouser. Online. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/NUCLEO-F303RE>. [cit. 19.03.2024, 11:30].

Raspberry Pi 4 Model B. Online. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf>. [cit. 24.03.2024, 10:20].

Line protocol | InfluxDB OSS v2 Documentation. Online. Dostupné z: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/reference/syntax/line-protocol/>. [cit. 29.04.2024, 00:00].

Arduino GPRS GSM Shield SIM900 850/900/1800/1 | dratek.cz. Online. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1215-gprs-gsm-shield-sim900-850-900-1800-1.html>. [cit. 21.02.2022, 09:00].

Sítě pro internet věci v České republice - TZB-info. Online. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>. [cit. 09.03.2024, 11:20].

Differential Manchester encoding - Wikipedia. Online. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_Manchester_encoding. [cit. 16.03.2024, 00:00].

GitHub - DaveGamble/cJSON: Ultralightweight JSON parser in ANSI C. Online. Dostupné z: <https://github.com/DaveGamble/cJSON>. [cit. 20.04.2024, 00:00].

Grafana: The open observability platform | Grafana Labs. Online. Dostupné z: <https://grafana.com>. [cit. 29.03.2024, 00:00].

BeagleBone Black - RPishop.cz. Online. Dostupné z: <https://rpishop.cz/beaglebone/4498-beaglebone-black.html>. [cit. 24.03.2024, 17:20].

Raspberry Pi Compute Module 4: Wi-Fi & Bluetooth - Ano, Velikost RAM - 1 GB, Velikost eMMC - 0 GB - RPishop.cz. Online. Dostupné z: <https://rpishop.cz/278698/raspberry-pi-compute-module-4-wi-fi-bluetooth-ano-velikost-ram-1-gb>. [cit. 24.03.2024, 10:20].

Explore what you can do with Google Nest or Home devices - Google Nest Help. Online. Dostupné z: <https://support.google.com/googlenest/answer/7130274?hl=en>. [cit. 16.03.2024, 09:15].

Pushbutton Calling with a Two-Group Voice-Frequency Code. Online. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20120314023131if/http://www.alcatel-lucent.com/bstj/vol39-1960/articles/bstj39-1-235.pdf>. [cit. 19.03.2024, 00:00].

8CH Digital Switch RS485 Acquisition Board Digital Input Modbus RTU Switch Module for PLC Expand Relay Industrial Automation. Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005003168136880.html>. [cit. 25.03.2024, 19:00].

Modbus RTU Relay Module 1 2 4 Channel 7-24V RS485 TTL UART Output 12V Input 485 Communication TTL Pin Modbus-Rtu Anti-reverse. Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005003968454165.html>. [cit. 25.03.2024, 15:00].

12-DI 12-DO DC 12V 24V RS485 IO Board Optically Isolated NPN Input & 12 Relay Output Modbus RTU Module. Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005004306082847.html>. [cit. 26.03.2024, 08:00].

Temperature and Humidity Transmitter RS485 Serial Communication Temperature XY-MD02 Sensors Modbus RTU Acquisition Module SHT20. Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005004348103329.html>. [cit. 25.03.2024, 20:00].

DS3231 AT24C32 IIC Precision RTC Real Time Clock Memory Module. Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005004910354483.html>. [cit. 31.03.2024, 14:10].

16/32/48CH NPN/PNP Optically Isolated Input Switching Digital Collector Board RS485 Modbus RTU Module DC 12V 24V. Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005005221827446.html>. [cit. 26.03.2024, 08:00].

SHT30 Temperature Humidity Sensor Industrial Sensors Monitor Transmitter 5Pin 35MM DIN Tracks Output RS485 Modbus Protocol. Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005005471608120.html>. [cit. 25.03.2024, 20:00].

Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005006184088602.htm>. [cit. 25.03.2024, 19:00].

RS-485 TTL To RS485 MAX485CSA MAX485 Module MCU Development Accessories TTL To RS-485 Module For Arduino Microcontroller MCU. Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1005006316933270.html>. [cit. 25.03.2024, 08:05].

Online. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/4000492977695.htm>. [cit. 30.03.2024, 09:00].

Introduction to SPI Interface | Analog Devices. Online. Dostupné z: <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/introduction-to-spi-interface.html>. [cit. 02.01.2024, 09:25].

BeagleBone® Black - BeagleBoard. Online. Dostupné z: <https://www.beagle-board.org/boards/beaglebone-black>. [cit. 24.03.2024, 17:20].

GPRS/GSM Shield v1.0 - Elecrow. Online. Dostupné z: https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=GPRS/GSM_Shield_v1.0. [cit. 17.03.2024, 00:00].

Home Assistant. Online. Dostupné z: <https://www.home-assistant.io/>. [cit. 15.03.2024, 08:25].

ESP32-DevKitC 38pin ESP-WROOM-32 WiFi+BT - HWKITCHEN. Online. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/esp32-devkitc-38pin-espwroom32-wifi-bt/>. [cit. 17.03.2024, 15:45].

Ostatní | IoTPort. Online. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/iot-novinky/ostatni-clanky-o-iot/>. [cit. 02.01.2024, 08:25].

GD-02K-DIN Univerzální GSM komunikátor a ovladač. Online. Dostupné z: https://www.jabloshop.cz/gd-02k-din-univerzalni-gsm-komunikator-a-ovladac?utm_source=heureka.cz&utm_medium=referral&utm_id=heureka.cz_referral&utm_campaign=cost_import&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsA-GoxjaL-wkho2yVIO4Svn0KKae0T7cecF6J2Ab8Iw9Kui9KH2ZG7CRTSKIVwaAiKyEALw_wcB. [cit. 25.04.2024, 00:00].

GSM Exeo Ovládání na DIN lištu s radiovým modulem. Online. Dostupné z: <https://www.jabloshop.cz/gsm-exeo-din-gsm-ovladani-na-din-listu>. [cit. 12.03.2024, 17:20].

Arduino Uno rev3, originál | LaskaKit. Online. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-uno-rev3--original/>. [cit. 18.03.2024, 09:20].

BluePill ARM STM32 STM32F103C8 Vývojová deska | LaskaKit. Online. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/bluepill-arm-stm32-stm32f103c8-vyvojova-deska/>. [cit. 18.03.2024, 10:25].

IoT ESP-WROOM-32 2.4GHz Dual-Mode WiFi+Bluetooth rev.1, CP2102 | LaskaKit. Online. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/iot-esp-32s-2-4ghz-dual-mode-wifi-bluetooth-rev-1--cp2102/>. [cit. 17.03.2024, 15:45].

16x2 LCD displej 1602 modrý + I2C převodník | LaskaKit. Online. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/16x2-lcd-displej-1602-i2c-prevodnik/>. [cit. 31.03.2024, 17:10].

Arduino GPRS-GSM Shield SIM900 | LaskaKit. Online. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-gprs-gsm-shield-sim900/>. [cit. 21.02.2022, 09:00].

Redirection. Online. Dostupné z: <https://www.nongnu.org/lwip/>. [cit. 05.04.2024, 00:00].

Smart Home Lighting - Learn | Philips Hue. Online. Dostupné z: <https://www.philips-hue.com/en-us/explore-hue>. [cit. 14.03.2024, 12:00].

Raspberry Pi 4 Model B specifications – Raspberry Pi. Online. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>. [cit. 24.03.2024, 10:20].

404. Online. Dostupné z: <https://www.samsung.com/us/smartthings/do-the-smartthing>. [cit. 14.03.2024, 07:15].

Dual Tone Multi Frequency Signaling - Telecommunication System eBook. Online. Dostupné z: https://www.specialtyanswering-service.net/wp-content/uploads/resources_papers/dtmf-tone/Dual-Tone-Multi-Frequency-Signalling.pdf. [cit. 07.03.2024, 00:00].

STM32CubeIDE - Integrated Development Environment for STM32 - STMicroelectronics. Online. Dostupné z: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>. [cit. 03.03.2024, 15:30].

STM32CubeMX - STM32Cube initialization code generator - STMicroelectronics. Online. Dostupné z: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>. [cit. 03.03.2024, 15:30].

STM32Cube Development Software - STM32 Open Development Environment - STMicroelectronics. Online. Dostupné z: <https://www.st.com/en/ecosystems/stm32cube.html>. [cit. 03.03.2023, 10:00].

NUCLEO-H755ZI-Q - STM32 Nucleo-144 development board with STM32H755ZI MCU, SMPS, supports Arduino, ST Zio and morpho connectivity - STMicroelectronics. Online. Dostupné z: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-h755zi-q.html>. [cit. 19.03.2024, 13:30].

Univerzální GSM komunikátor a ovladač GD-04K | Drátový systém Profi 63 | zabezpečovací-zarizeni.cz. Online. Dostupné z: <https://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/pro-kutily/univerzalni-gsm-komunikator-a-ovladac-gd-04k-%5BCIP269%5D>. [cit. 11.03.2024, 11:00].

Přílohy:**Elektronická příloha:**

Zdrojové kódy na přiloženém DVD, spolu s textem práce v elektronické formě.