Model vytížení přijímače ADS-B na nízkých oběžných drahách

Luděk Dudáček
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni
dudacekl@kae.zcu.cz

Workload model of the ADS-B receiver on Low Earth Orbit

Abstract – **Automatic Dependant Surveillance - Broadcast (ADS-B) is system used for plane localization and tracking in order to air traffic management (ATM). Aircraft equipped by the ADS-B periodically transmits flight related information in the form of Mode-S 1090ES data signal. ADS-B messages are transmitted in random time, which could be the cause of frames collisions and loss of information. Receiver placed on the Low Earth Orbit (LEO) can receive messages from large area which can result in its overloading. Model realized in simulation environment GPSS World can help to verify the workload of the receiver.**

Keywords – *Automatic Dependant Surveilance - Broadcast, Low Earth Orbit, ADS-B, GPSS, LEO*

I. Úvod

V letounu osazený vysílač ADS-B (ADS-B Out) periodicky vysílá aktuální letové informace v kmitočtovém pásmu 1090 MHz. Nosný signál je amplitudově klíčován v kombinaci s PPM pro zvýšení odolnosti vůči rušení.

Vysílání z jednotlivých letounů probíhá v náhodných časech, tudíž může docházet ke kolizím rámců pocházejících z různých letounů. V případě kolize je přijímačem vyhodnocen výkon zachycených rámců. Pokud je některý z přijatých rámců alespoň o 3 dB silnější než ostatní kolidující rámce je tento rámec dekódován. V opačném případě není dekódován žádný z kolidujících rámců. Tento přístup přirozeně vede ke ztrátám rámců. Při příjmu pozemním přijímačem je dosah přijímače omezen přímou viditelností. Prakticky je příjem realizován do vzdálenosti přibližně 300 nm. Při současné hustotě provozu není v tomto případě počet rámců ztracených z důvodu kolize kritický. Budeme-li však uvažovat příjem pomocí satelitu umístěného na LEO, může být oblast pokrytá jediným přijímačem výrazně větší a počet kolidujících rámců již může být významný.

II. Geometrické uspořádání satelitu a letounu

Pro vytvoření modelu vytížení přijímače umístěného na LEO je potřeba definovat vzájemné geometrické uspořádání satelitu a letounu. Na obrázku I je znázorněna situace pro satelit (S) se zeměpisnou šířkou a délkou α_S a β_S ve vzdálenosti r_S od středu Země a pro letoun (L) na souřadnicích α_L a β_L ve vzdálenosti od středu Země r_L. Pro další analýzu je nutné stanovit úhlovou vzdálenost satelitu a letounu γ. Úhlová vzdálenost γ je dána cosinovou větou pro strany sférického trojúhelníka:

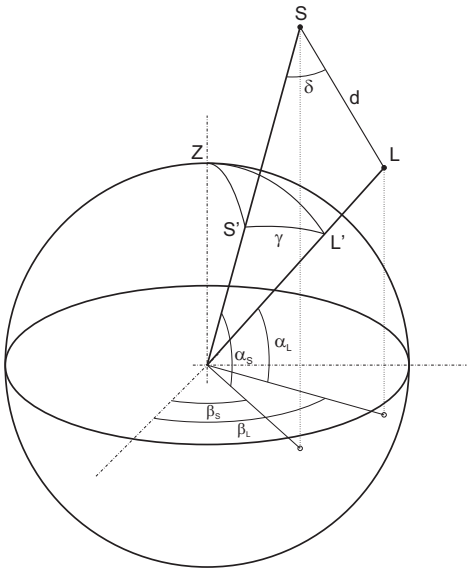
$$cos(\gamma) = sin(\alpha_S)sin(\alpha_L) + cos(\alpha_S)cos(\alpha_L)cos(\beta_L - \beta_S). \quad (1)$$

Při známé úhlové vzdálenosti γ pak můžeme určit přímou vzdálenost mezi satelitem a letounem potřebnou k určení ztrát způsobených šířením signálu volným prostorem a zpoždění mezi vysláním a příjmem rámce. Pro přímou vzdálenost platí:

$$d = \frac{r_L sin(\gamma)}{sin(\delta)}, \tag{2}$$

kde:

$$\delta = atan\left[\frac{r_L sin(\gamma)}{r_S - r_L cos(\gamma)}\right]. \tag{3}$$



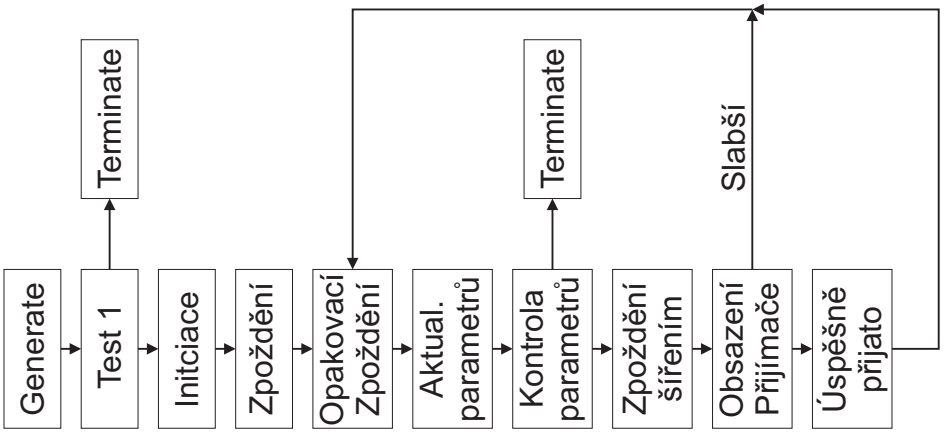
Obrázek I. **Geometrické uspořádání satelitu a letounu**

III. MODEL PŘÍJMU ADS-B SIGNÁLŮ SATELITEM

Model příjmu ADS-B signálu satelitem je vytvořen v systému General Purpose Simulation System (GPSS World) sloužícím k modelování systémů hromadné obsluhy. V modelu je uvažován jeden satelit a zvolený počet letounů. Pro simulaci byl uvažován satelit s následujícími parametry: výška dráhy 1000 km, rychlost satelitu 7.35 km/s, oběžná doba 105,116 min.

Princip fungování modelu je následující. Po spuštění modelu jsou zvoleny inicializační parametry (pozice satelitu, směr letu a výška oběžné dráhy) a dopočítány další nezbytné dráhové parametry. Dále jsou generovány transakce představující jednotlivé letouny. Letové parametry letounů jsou voleny náhodně ve stanovených mezích a ukládány jako parametry transakce. Během simulace byly voleny letové parametry v následujících mezích výška letu 0 až 10000 m rychlost letu 300 až 800 km/h. Na obrázku II je znázorněn zjednodušený diagram popisující princip fungování modelu.

V bloku *Generate* jsou generovány nové transakce v určitých časových intervalech. Následně je blokem *Test 1* testováno, zda je v modelu dostatečný počet transakcí reprezentujících jednotlivé letouny. Pokud je v modelu těchto transakcí dostatek nebo je překročena maximální délka simulace, je nově vytvořená transakce odstraněna blokem *Terminate*. V opačném případě proběhne inicializace parametrů (zeměpisná šířka a délka, výška, rychlost a směr letu, úhlová vzdálenost γ, ztráty šířením, atd.) Následně je transakce zpožděna o náhodně zvolený čas reprezentující náhodný okamžik zahájení vysílání. Poté již transakce vstupuje do simulační smyčky, kde je nejprve zpožděna o čas reprezentující periodu vysílání (0,5 s). Následuje aktualizace a kontrola parametrů. V případě,



Obrázek II. Procentuelně vyjádřený počet nezachycených letounů.

že je překročena maximální délka simulace, maximální úhlová vzdálenost γ nebo je výkon signálu na přijímači příliš malý, je transakce z modelu odstraněna blokem *Terminate*. Pokud jsou všechny parametry v požadovaných mezích, je transakce zpožděna o čas potřebný pro šíření mezi letounem a satelitem. Následně je otestováno, zda je přijímač volný a v případě kolize je obsazen silnějším signálem na dobu odpovídající délce ADS-B rámce (120 μs). Transakce reprezentující slabší signál je přesunuta zpět do bloku Opakovacího zpoždění.

V průběhu testu jsou pak zaznamenávána data potřebná pro vyhodnocení testu. Pro každý letoun je zaznamenán počet vyslaných a úspěšně přejatých rámců, průměrný čas mezi úspěšným příjmem dvou rámců jednoho letounu, doba, po kterou byl letoun v dosahu přijímače a úhlové vzdálenosti letounů a satelitu. Tyto informace jsou programem *GPSS World* zapsány do *csv* souboru, který je následně zpracován programem matlab.

IV. Výsledky

Popsaný test byl realizován pro hustotu provozu od 20 do 3000 letounů v dosahu přijímače. Vyhodnocován byl počet letounů, pro které nebyl zachycen žádný rámec (obr. III), průměrný poměr přijatých a vyslaných rámců pro jednotlivé letouny (obr. IV) a průměrná doba mezi příjmem dvou rámců jednoho letounu (obr. V).

V. Závěr

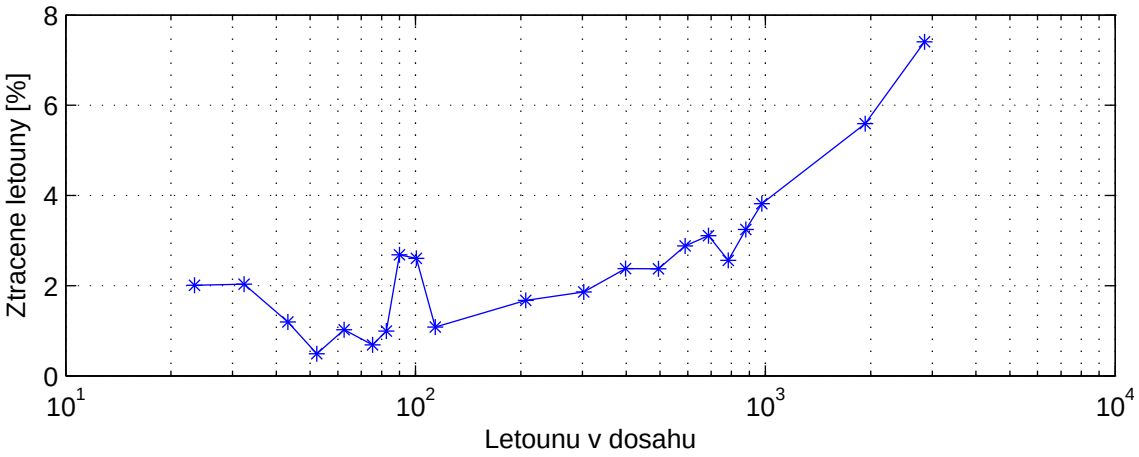
Z uvedených výsledků je patrné, že od 300 letounů v dosahu začíná prudce narůstat počet nezachycených letounů. Při tomto počtu letounů dochází též k výraznému poklesu poměru přijatých a vyslaných rámců a nárůstu doby mezi příjmem dvou rámců. Při současné hustotě provozu se nad Evropou nachází v jednom okamžiku okolo 1000 letounů. Proto při průletu satelitu nad územími s obdobnou hustotou provozu musíme uvažovat s možným zahlcením přijímače.

Poděkování

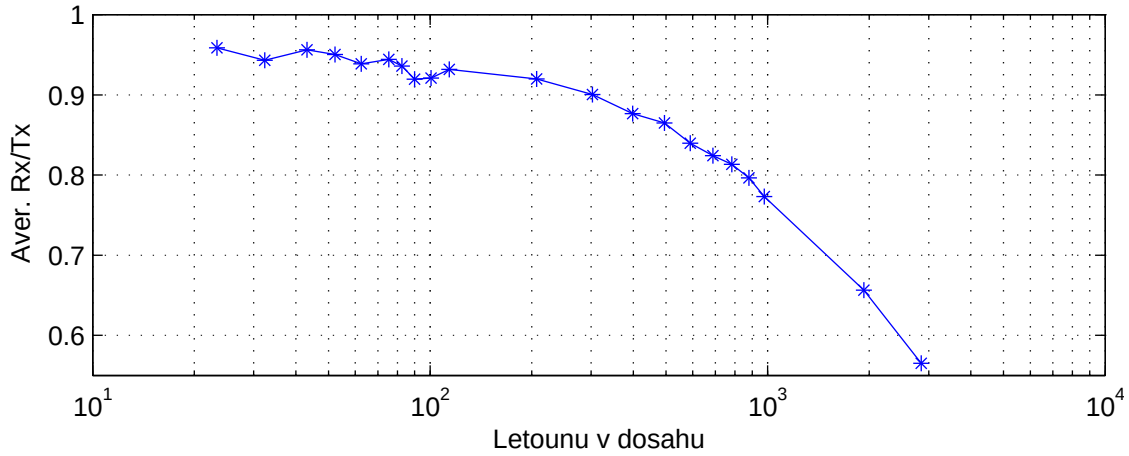
Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů.

Literatura

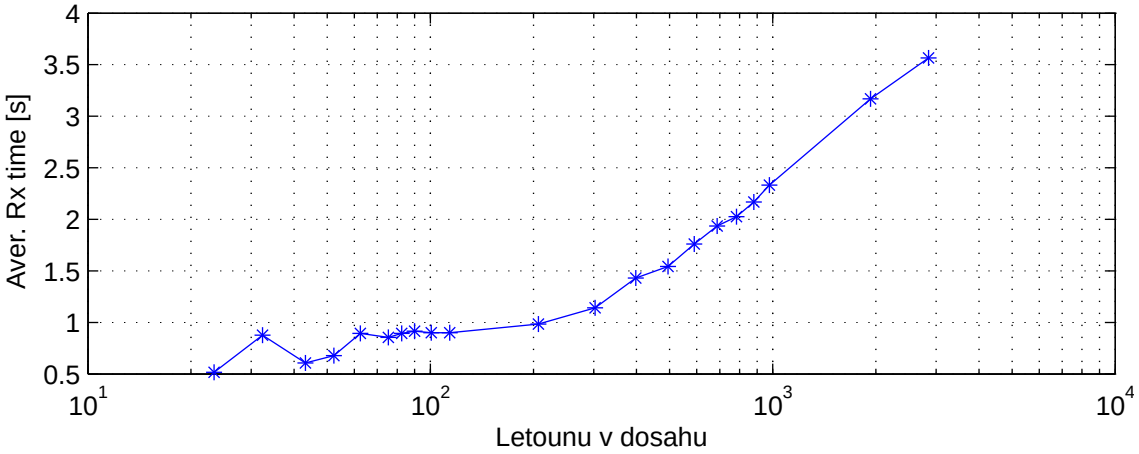
[1] Springs H., *GPSS World Reference Manual*, Minuteman Software, 2009 , dostupné z www.minutemansoftware.com/reference/reference_manual.htm



Obrázek III. Procentuelně vyjádřený počet nezachycených letounů.



Obrázek IV. Procentuelně vyjádřený počet nezachycených letounů.



Obrázek V. Procentuelně vyjádřený počet nezachycených letounů.

[2] Springs H., *GPSS World Tutorial Manual*, Minuteman Software, 2009 , dostupné z www.minutemansoftware.com/tutorial/tutorial_manual.htm

[3] Blomenhofer H., Rosenthal P., Pawlitzki A., Escudero L., *Space-Based Automatic Dependant Surveillance Broadcast (ADS-B) Payload for In-Orbit Demonstration*, 6th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference (ASMS), 2012