



IDENTIFIKÁCIA RUŠENIA GNSS SIGNÁLU NA LETISKÁCH

Michal Paraska
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Andrej Novák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

In this thesis, the interference of GNSS signals at airports was studied, identifying the main types of interference and their sources. Through a thorough analysis and reevaluation of experimental setups, effective detection methods and mitigation strategies were established. The findings emphasize the significant impact of interference on safety and operational efficiency in aviation. It is recommended to enhance signal integrity with advanced monitoring systems and to work with aviation regulatory authorities to update existing frameworks, ensuring reliable GNSS functionality in an increasingly congested environment.

Keywords

GNSS, interference, mitigation, safety

1. Úvod

GNSS, alebo Globálny navigačný satelitný systém, je univerzálny termín používaný pre systémy, ktoré poskytujú autonómne geopriestorové polohovanie s globálnym pokrytím. Tento systém využíva konšteláciu umelých satelitov, ktoré obiehajú okolo Zeme vo vysokých orbitách, a príslušné pozemné stanice, ktoré spoločne poskytujú informácie o polohe a čase pre rôzne civilné, vojenské a komerčné aplikácie.

GNSS zahŕňa niekoľko rozličných systémov: americký GPS (Global Positioning System), ruský GLONASS, európsky Galileo, čínsky BeiDou a ďalšie regionálne systémy ako napríklad japonský QZSS a indický NavIC. Každý z týchto systémov má schopnosť nezávisle poskytovať presné informácie o polohe a čase, avšak ich integrácia zvyšuje presnosť a spoľahlivosť poskytovaných údajov.

GNSS sa široko využíva v mnohých odvetviach, vrátane dopravy, poľnohospodárstva, vojenstva, stavebníctva, a výskumu. Používa sa pre navigáciu vozidiel, riadenie letových operácií, mapovanie, sledovanie pohybu objektov a ďalšie aplikácie, kde je potrebné presné určenie polohy.

V súčasnom leteckom priemysle je závislosť na globálnych navigačných satelitných systémoch (GNSS) pre navigáciu a časovanie kľúčová. Tieto systémy sú neoddeliteľnou súčasťou globálneho riadenia letovej prevádzky a poskytujú presnosť, ktorá je základom pre bezpečnosť a efektivitu v leteckej doprave. Avšak táto závislosť tiež zvyšuje zraniteľnosť leteckého sektora voči rušeniam GNSS signálov, či už neúmyselným alebo úmyselným. Následky takéhoto rušenia môžu byť vážne a môžu ovplyvniť všetko od presnosti letových trás až po spoľahlivosť komunikácie medzi pilotmi a dispečermi.

Článok sa zaoberá rušením signálov GNSS v leteckom priemysle, najmä v kontexte letísk, kde je integrita týchto signálov nevyhnutná. Vzhľadom na rastúci počet prípadov rušenia, ktoré boli zdokumentované v mnohých správach a štúdiách, je dôležité venovať sa tejto problematike. Cieľom je podrobné

popísanie infraštruktúry GNSS a jej využitia v letectve, vrátane vysvetlenia, ako môžu byť GNSS signály rušené. Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS), ako sú GPS, Galileo, GLONASS a BeiDou, sú základom pre mnohé letecké operácie. Tie poskytujú kritické služby v oblastiach ako navigácia, prístávanie a riadenie letovej prevádzky.

Rušenie týchto signálov môže byť spôsobené rôznymi zdrojmi, vrátane nelegálnych rušičov, ktoré emitujú signály na frekvenciách používaných GNSS, čím zasahujú do normálnej funkcie prijímačov na palube lietadiel alebo v riadiacich vežiach. Aktuálne technológie zahŕňajú široké spektrum detekčných nástrojov od jednoduchých, pasívnych monitorovacích systémov, po pokročilé aktívne detekčné systémy schopné analyzovať a lokalizovať zdroje rušenia v reálnom čase. Napriek ich rozsiahlej funkcionalite tieto technológie často trpia obmedzeniami, ako sú falošné poplchy, obmedzená vzdialenosť dosahu alebo neschopnosť odolať sofistikovaným formám rušenia, čo poukazuje na potrebu ďalšieho vývoja a

2. Metodika a metódy skúmania

Cieľom bolo analyticky posúdiť efektívnosť systémov pri riešení problémov s rušením signálov GNSS. Vzhľadom na chýbajúce osobné experimenty bola aplikovaná metóda založená na dôkladnej analýze dostupných dát a štúdií zameraných na technológie detekcie rušenia. Tento prístup zahŕňal systematické vyhodnocovanie vedeckých článkov, prípadových štúdií a technických správ, ako aj výsledkov experimentov uskutočnených inými výskumnými tímami. Boli tiež preskúmané technické špecifikácie a výkonnostné hodnotenia dostupných komerčných detekčných systémov, vrátane systému GIDAS.

Hlavné informačné zdroje boli získané z externých databáz a publikácií, ktoré dokumentujú implementácie systémov na rôznych letiskách. Analýza sa sústredila na široké spektrum údajov poskytujúcich informácie o rôznych aspektoch rušenia

GNSS. Z týchto údajov boli vyťažené kľúčové poznatky o efektívnosti, spoľahlivosti a praktickej aplikácii detekčných technológií. Kritické zhodnotenie zhromaždených údajov a existujúcich riešení umožnilo identifikovať silné a slabé stránky týchto technológií, ich schopnosť adaptácie na zmeny v prostredí letiska a ich funkčnosť v rozličných rušivých podmienkach. Tieto výsledky napomohli identifikovať možnosti pre zlepšenie a inovácie v technológiách detekcie rušenia GNSS.

3. Výsledky

Pozemná detekcia pomocou ADS-B:

Využitie systému Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) pre detekciu rušenia zo zeme. ADS-B je kritický pre riadenie letovej prevádzky, a jeho presnosť a spoľahlivosť môžu byť narušené. Diskutuje sa o tom, ako interferencia ovplyvňuje ADS-B a aké kroky možno podniknúť na minimalizáciu týchto efektov. Použitím estimácie polohy rušiča na základe výpočtu podľa posledného fixu a znova nadobudnutej polohy.

V rámci kapitoly o technológiách proti spoofingu sú rozoberané nasledujúce špecifické metódy a systémy na detekciu a obranu proti spoofingu GNSS signálov:

Detekcia Amplitúdy Signálu: Táto technológia analyzuje zmeny v amplitúde prijímaného signálu, ktoré môžu naznačovať prítomnosť podvrhovaného signálu. Prijímače porovnávajú očakávané úrovne signálu s aktuálnymi meraniami na určenie anomálií.

Detekcia Uhla Príchodu (AoA): Systémy využívajúce túto metódu skúmajú smer, z ktorého signály prichádzajú. To pomáha rozlíšiť legitímne signály od tých podvrhnutých, ktoré často prichádzajú z neočakávaných smerov.

Čas Príchodu Signálu (ToA): ToA technológie merajú čas, ktorý potrebuje signál dosiahnuť prijímač, na identifikáciu časových rozdielov, ktoré môžu naznačovať interferencie alebo spoofing.

Overenie Konzistencie s Ďalším Navigačným Vybavením: Tento prístup porovnáva údaje GNSS s údajmi z iných navigačných systémov, ako sú inerciálne navigačné jednotky (INU) alebo rádiové navigačné systémy, na overenie ich konzistencie.

Autentifikácia Šifrovaného Signálu: Vyšší stupeň zabezpečenia sa dosahuje šifrovaním GNSS signálov. Prijímače, ktoré majú prístup k dešifrovacím kľúčom, môžu overiť pravosť signálu.

Detekcia Smeru Polarizácie Signálu: Táto metóda zahŕňa analýzu polarizácie prijatého signálu na zistenie nezrovnalostí, ktoré môžu indikovať podvrhnutie.

Detekcia Vektorových Sledovacích Slučiek: Táto sofistikovaná technika sa sústreďuje na analýzu správania sa sledovacích slučiek vo vnútri GNSS prijímača, čím umožňuje detekciu zmenených alebo podvrhnutých signálov.

Problematikou rušenia signálu GNSS sa aktívne zaoberá aj Európska agentúra pre bezpečnosť v letectve (EASA). Ktorá vydala nasledujúce odporúčania pre prevádzkovateľov letov aj riadenia letovej prevádzky.

Núdzové postupy a koordinácia: EASA zdôrazňuje dôležitosť stanovenia núdzových postupov v koordinácii s poskytovateľmi služieb riadenia letovej prevádzky (ATM)/služieb leteckej

navigácie (ANS) a užívateľmi vzdušného priestoru. Cieľom je zabezpečiť, aby všetky strany boli pripravené a mohli primerane reagovať v prípade narušenia GNSS.

Udržiavanie konvenčnej navigačnej infraštruktúry:

Agentúra radí udržiavať a zabezpečiť plnú funkčnosť konvenčnej navigačnej infraštruktúry, najmä systémov pre pristávanie podľa prístrojov (ILS), ktoré môžu slúžiť ako záloha pre GNSS počas období rušenia.

Proaktívne opatrenia na zmiernenie rizík: EASA navrhuje implementovať proaktívne opatrenia na zmiernenie rizík, ako je vydávanie NOTAMov (Notices to Airmen - oznámenia pre letcov), ktoré opisujú postihnuté oblasti a súvisiace operačné obmedzenia. To pomáha pilotom a leteckým dispečerom plánovať a vykonávať lety bezpečne za podmienok rušenia GNSS.

Zbierka informácií a rýchle notifikácie: Odporúča sa, aby sa informácie o degradácii GNSS zbierali prostredníctvom poskytovateľov služieb ATM/ANS v koordinácii s národnými telekomunikačnými úradmi. Mali by sa zriadiť protokoly pre rýchle upozorňovanie.

Obmedzenie používania rušiacich zariadení: EASA presadzuje diskusie na národnej úrovni týkajúce sa obmedzenia rušiacich zariadení GNSS. To zahŕňa regulačné opatrenia na zabránenie neoprávneného používania zariadení, ktoré môžu úmyselne narušiť signály GNSS.

Neustále monitorovanie a ostrážitosť: Agentúra zdôrazňuje potrebu neustáleho monitorovania navigačného prostredia, aby sa mohli rýchlo zistiť a riešiť potenciálne hrozby pre signály GNSS. To zahŕňa monitorovanie vesmírneho počasia a vojenských testov, ktoré môžu ovplyvniť presnosť a dostupnosť GNSS.

V kapitole o hodnotení systémov na identifikáciu rušenia GNSS na letiskách sa podrobne venuje analýze a porovnaniu efektivity rôznych systémov zameraných na detekciu rušenia v reálnom čase. Dva z hlavných systémov, ktoré sú detailne skúmané, sú SWEPOS a GIMAD (GNSS Interference Monitoring and Detection). Tieto systémy sú kľúčové pre zabezpečenie spoľahlivosti a integrity signálov GNSS, ktoré sú nevyhnutné pre navigáciu a riadenie letových operácií na letiskách.

SWEPOS: Systém SWEPOS využíva rozsiahlu sieť pozemných staníc rozmiestnených po celom Švédsku, ktoré neustále monitorujú kvalitu signálu GNSS. Tieto stanice sú vybavené senzormi schopnými detegovať aj veľmi slabé rušenie, čo umožňuje rýchlu a presnú reakciu na potenciálne hrozby. SWEPOS efektívne identifikuje a lokalizuje zdroje rušenia, čím prispieva k ochrane kritických letiskových operácií pred narušením signálu.

Systém DETECTOR: DETECTOR je špecializovaný systém navrhnutý na identifikáciu a analýzu rušenia GNSS, ktorý zahŕňa pokročilé technologické riešenia na zlepšenie odolnosti GNSS služieb na letiskách. Systém analyzuje široké spektrum frekvencií používaných GNSS a využíva pokročilé algoritmy na detekciu anomálií v signáloch. Toto umožňuje presné a rýchle zistenie a riešenie rušivých signálov, čím zabezpečuje kontinuitu a spoľahlivosť navigačných a riadiacich systémov na letiskách.

GIMAD (GNSS Interference Monitoring and Detection): GIMAD je rozsiahly systém zameraný na monitorovanie a detekciu rušenia GNSS, ktorý poskytuje kritické údaje pre zabezpečenie integrity GNSS signálov. Systém GIMAD monitoruje rôzne frekvenčné pásma a využíva sofistikovanú technológiu na identifikáciu a klasifikáciu rušivých signálov. Vďaka integrovanej sieti senzorov a databáze historických údajov dokáže GIMAD efektívne predpovedať a minimalizovať vplyv rušenia na letiskové operácie.

GIDAS (GNSS Interference Monitoring and Detection System): je sofistikovaný systém navrhnutý špeciálne na detekciu a analýzu rušenia signálov GNSS. Využíva sieť monitorovacích staníc, ktoré neustále hodnotia integritu a kvalitu signálov GNSS v rôznych frekvenčných pásmach. GIDAS vyniká v detekcii rušenia v reálnom čase a ponúka komplexnú pohľady na potenciálne narušenia spôsobené rušením, či už je to úmyselné alebo náhodné.

Systém poskytuje kritické údaje, ktoré pomáhajú zabezpečiť spoľahlivosť a presnosť operácií závislých od GNSS, najmä v citlivých prostrediach, ako sú letiská. Schopnosti GIDAS zahŕňajú pokročilé analytické nástroje, ktoré identifikujú, klasifikujú a lokalizujú zdroje rušenia, čo umožňuje rýchle a účinné opatrenia na ich elimináciu. Toto zabezpečuje, že navigačné a riadiace systémy zostanú funkčné a presné aj v prípade potenciálneho rušenia.

"**sum of squares**" (súčet štvorcov) je matematická metóda používaná na analýzu a hodnotenie údajov, najmä v oblastiach ako štatistika, strojové učenie a signálové spracovanie. Tento prístup sa často využíva na kvantifikáciu variability alebo odchýlky v súbore údajov alebo na porovnanie dvoch alebo viacerých skupín údajov.

V kontexte detekcie rušenia GNSS, technológia sum of squares analyzuje signál na zistenie náhlych zmien alebo anomálií vo vlastnostiach signálu, ako sú amplitúda alebo frekvencia. Táto metóda pracuje na princípe výpočtu sumy štvorcov rozdielov medzi pozorovanými hodnotami a ich teoretickými, očakávanými hodnotami. Vysoké hodnoty súčtu štvorcov môžu indikovať významné rušenie alebo odchýlky od normálneho stavu, čo signalizuje potrebu ďalšej analýzy alebo zásahu. Integrácia metódy "sum of squares" s mobilnými telefónmi, najmä v kontexte detekcie rušenia GNSS, otvára nové možnosti pre využitie tejto technológie v širšom rozsahu aplikácií. Mobilné telefóny, ktoré sú vybavené GNSS prijímačmi, môžu využívať túto metódu na analýzu signálov prijímaných z satelitov na identifikáciu a kvantifikáciu rušenia v reálnom čase.

V praxi by aplikácia sum of squares v mobilných telefónoch mohla fungovať tak, že softvér v telefóne analyzuje údaje o signále GNSS, ako sú úrovne C/NO (Carrier-to-Noise Ratio), ktoré poskytujú informácie o kvalite a integrite prijatého signálu. Ak metóda deteguje významné odchýlky, ktoré môžu naznačovať rušenie, aplikácia môže upozorniť používateľa alebo automaticky prijať kroky na minimalizáciu negatívneho vplyvu rušenia na polohovacie a navigačné funkcie telefónu.

4. Záver

Záver štúdie zdôrazňuje kritický vplyv rušenia GNSS signálov na bezpečnosť a operačnú efektívnosť v leteckom priemysle. Výsledky ukazujú, že bez adekvátnych protipatrení môže rušenie signálov výrazne narušiť navigačné a komunikačné systémy používané v letectve.

Na základe analýzy sa systém GIDAS ukázal ako výrazne nadradený v detekcii a analýze rušení. Jeho schopnosť monitorovať a identifikovať zdroje rušenia v reálnom čase je neoceniteľná pre udržiavanie integrity signálov GNSS, čo je nevyhnutné pre presnú a bezpečnú leteckú navigáciu. GIDAS poskytuje letiskám kritické údaje potrebné pre efektívne riadenie a riešenie problémov spojených s rušením signálov.

Odporúča sa ďalšie posilňovanie systému GIDAS a jeho integrácia s existujúcimi technologickými riešeniami na letiskách. Takáto integrácia by zabezpečila lepšiu koordináciu a rýchlejšiu reakciu na potenciálne hrozby rušenia, čím by sa výrazne zvýšila bezpečnosť letovej prevádzky.

Zároveň je potrebná užšia spolupráca medzi vývojármi technológií, leteckými regulačnými orgánmi a letiskami na aktualizácii a zlepšení regulačných rámcov. Toto by umožnilo rýchlejšie prijatie nových technologických riešení a zabezpečilo by, že letiskové systémy sú pripravené čeliť moderným výzvam spojeným s rušením GNSS.

V závere sa naznačuje potreba kontinuálneho výskumu a vývoja v oblasti detekčných technológií a ich aplikácií, aby sa zaistilo, že letecké systémy zostanú odolné voči rušeniu a zabezpečené pre budúcnosť.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 040ŽU-4/2022 Transfer progresívnych metód vzdelávania do študijného programu "Technológia údržby lietadiel" a "Letecká doprava".

Referencie

S. Ataş et al., "GNSS based augmentation systems aviation perspective and vision for Turkey," 2015 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), Istanbul, Turkey, 2015, pp. 123-128, doi: 10.1109/RAST.2015.7208327.

Available at:
<https://doi.org/10.17932/IAU.IAUD.m.13091352.2019.2/42.205-215> BROUMANDAN, A.; KENNEDY, S. 2023. Performance Characterization of Hexagon|NovAtel's Robust Dual-Antenna Receiver (RoDAR) during the Norwegian Jamming Trial 2022. Eng. Proc., 54, 28. <https://doi.org/10.3390/ENC2023-15470>

D. Borio and C. Gioia, "Real-time jamming detection using the sum-of-squares paradigm," 2015 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), Gothenburg, Sweden, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICL-GNSS.2015.7217161.

European Space Agency (ESA). GIDAS: Real-time interference detection making satnav safer. [online]. 20/07/2020 Available at: https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/GIDAS_Real-time_interference_detection_making_satnav_safer

European Union Agency for the Space Programme (EUSPA). 2016. What is GNSS? [online]. Available at: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss> [Accessed: 8 April 2024].

FOL, Patric und Michael FELUX, 2022. Identification and operational impact analysis of GNSS RFI based on flight crew reports and ADS-B data. In: Proceedings of the IWAC2022. Conference paper. Tokyo: Electronic Navigation Research Institute. Oktober 2022

Inside GNSS 2021. n.d. GNSS Interference Detection Passes Airport Tests, Ready for Commercialization. [online]. Available at: <https://insidegnss.com/gnss-interference-detection-passes-airport-tests-ready-for-commercialization/>.