

THE FUTURE OF AIRCRAFT DATA COMMUNICATION AND MANAGEMENT AS A PART OF AVIATION 4.0 CONCEPT

BUDÚCNOSŤ DÁTOVEJ KOMUNIKÁCIE A MANAŽMENTU AKO SÚČASŤ KONCEPTU AVIATION 4.0

Jakub Sekera
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jacob.sekera@gmail.com

Andrej Novák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
andrej.novak@fpedas.uniza.sk

Abstract

Data communication and management represent a crucial part of future systems in aviation. Huge recent technological advancements have led the whole aeronautical industry into the new evolutionary era called Aviation 4.0. The goal of Aviation 4.0 is the creation of cyber-physical system, following the path from advanced automation, to very first autonomy systems efficiently assisting human. This system involves multiple direct data related applications and devices, including AI analytics, massive use of IoT devices, machine learning capabilities, or advanced monitoring. Due to needed enormous flow of data, current connectivity solutions are becoming insufficient for the future use cases. Near future connectivity problems may become very apparent in datalink. With exponentially increasing amount of data needed by the future aircraft systems, higher datalink communication capacity and better performance of datalink subnetwork are required to meet the higher performance standards and levels of operational safety. This paper offers complex overview of current datalink communication technologies, planned concepts and possible solutions to the problem, in the form of new datalink technology – LEO mega satellite constellation offering Internet connectivity. Through basic deductive research, paper is aimed to study existing datalinks and proposed new LEO satellite communication datalink, evaluating their performance based on the future datalink requirements stated in studied plans and roadmaps. Furthermore, Aviation 4.0 dominant aspects are studied, requirements on future data communication technology are declared, and the possible use cases of Aviation 4.0 smart aircraft systems are showed. The objective of this paper is targeted to determination whether any of the researched datalink subnetwork would comply with Aviation 4.0 future datalink requirements.

Keywords

Datalink, Aviation 4.0, In-flight connectivity, IoT, SATCOM, Starlink

1. Úvod

Rýchly pokrok vo výrobe a prevádzke lietadiel, riadení letovej prevádzky, službách pre cestujúcich a v mnohých ďalších iných odvetviach letectva, prináša novú éru „Aviation 4.0“ zameranú na používanie najpokročilejších technológií. Náhly nárast požiadaviek na konektivitu, hlavne z hľadiska výkonnosti a dostupnosti, spôsobil značné komplikácie. Jednou z najproblematickejších oblastí pre aplikáciu adekvátneho riešenia konektivity, vyžadovanej budúcou technológiou, je lietadlo za letu. Spočiatku sa, s vyššími štandardmi ponúkaných služieb pre cestujúcich, vrátane internetu počas letu, vytvoril rozdiel medzi dopytom a ponukou dostupnej rýchlosti pripojenia. Existujúca technológia dátového spojenia lietadlo-zem je pre súčasné potreby naďalej dostatočná, ale to sa však v blízkej budúcnosti môže radikálne zmeniť. Bez vhodných inovatívnych opatrení sa rozdiel medzi dopytom a ponukou dostupnej kvality pripojenia prejaví oveľa zreteľnejšie, a to nielen na službách pripojenia pre cestujúcich, ale aj na prevádzkových, a pravdepodobne aj bezpečnostných službách vyžadovaných palubnými systémami budúcnosti. Tento problém môže vyriešiť nová možnosť vysokorýchlostného pripojenia na internet s nízkou latenciou, pomocou satelitnej mega konštelácie na nízkej obežnej dráhe (LEO) s globálnou dostupnosťou služieb. Hlavným cieľom diplomovej práce je

preskúmať možnosť, či tento typ riešenia konektivity bude vyhovovať požiadavkám budúcich technológií Aviation 4.0.

2. Súčasný stav dátovej komunikácie v letectve

Táto kapitola práce sa zaoberá rozsiahlym teoretickým výskumom zadanej problematiky. Je poukázané na prítomnosť veľkých dát, potreba spoločnej dátovej platformy v letectve a nutnosť pokročilej dátovej analytiky. Ďalej je predstavený rozsiahly pohľad na súčasnú dátovú komunikáciu, s prihliadnutím na spojenie lietadlo-zem, a je predstavený rozmach služby internetového pripojenia počas letu pre cestujúcich. Ďalšie podkapitoly sa venujú plánom budúcnosti dátovej komunikácie, a vysvetlením konceptu Aviation 4.0 ako súčasťou štvrtého priemyselnej revolúcie.

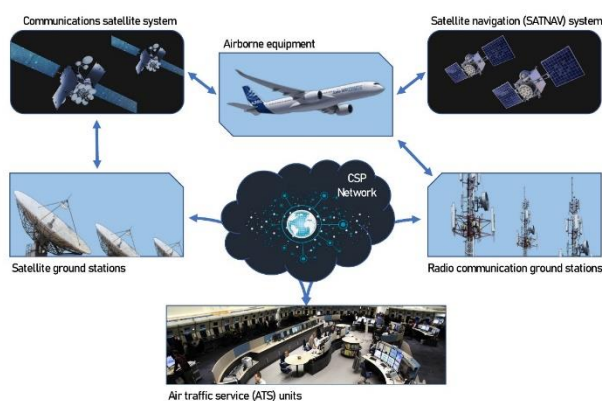
2.1. Dáta v letectve

Dáta sú v súčasnosti mnohými odborníkmi označované za najcennejšiu komoditu 21. storočia s predpokladanou exponenciálnou rýchlosťou rastu. Dáta sú veľmi dôležitou súčasťou všetkých oblastí leteckého priemyslu, tvorba dát sa taktiež v letectve časom exponenciálne zvyšuje. V posledných rokoch, vďaka pokročilým technológiám produkujúcim obrovské množstvá dát v reálnom čase, je na analytiku dát a na

konektivitu kladený čoraz väčší dôraz. Už súčasný výskum a analýza údajov môže ľahko viesť k väčšej efektívnosti riadenia letovej prevádzky, včasnému odhaleniu bezpečnostných rizík alebo zníženiu emisií lietadla pomocou optimalizácie spotreby paliva. Zber, analýza a zlúčenie dát umožňuje jednoduchým modelom umelej inteligencie používať strojové učenie z minulého správania. Zvyšujúci sa počet pokročilých lietadiel s posádkou, aj bez posádky v posledných desaťročiach vytvára obrovské množstvo tzv. veľkých dát. Tieto pokročilé systémy (najmä obsahujúce platformy poskytujúce automatizáciu, alebo autonómiu) vytvárajú dáta prostredníctvom vzájomnej komunikácie, ktorá môže byť dátovo náročná. Predpokladá sa, že tieto navrhované pokročilé systémy budú v budúcnosti pracovať primárne prostredníctvom zdieľania údajov. Hromadné vytváranie, spracovanie a ukladanie heterogénnych dát s možnosťou spätného prístupu je priamo spojené so zaistením bezpečnosti všetkých zúčastnených objektov leteckej dopravy. [1] [2]

2.2. Súčasné systémy dátového spojenia lietadlo-zem

Na obrázku 1 môžeme vidieť zjednodušenú koncepciu dátového spojenia lietadlo-zem. Štruktúra a princíp systému spočíva v prepojení palubných zariadení a jednotiek pozemných leteckých služieb pomocou sietí poskytovateľov komunikačných služieb (pozemných rádiových komunikačných staníc a/alebo satelitných komunikačných systémov). Satelitný navigačný systém je určený na poskytovanie presných údajov o polohe pre palubné zariadenia, ktoré sa následne môžu na služby sledovania lietadla.



Obrázok 1: Univerzálny prehľad dátového spojenia lietadlo-zem. Zdroj: Autori.

Typy systémov dátových spojení sú predstavované súborom aplikácií, ktoré vznikli spoločne s vývojom komunikácie dátových liniek. Systémy sú definované pomocou použitej technológie - podsietami dátového spojenia, požiadavkami, funkciami a štandardmi kompatibility. Na účely diplomovej práce sú súbory aplikácií (ACARS, FANS, ATN Baseline) a podsiete dátových spojení (VDL, HFDL, SATCOM, AeroMACS, LDACS) podrobne definované.

2.3. Služby pripojenia na internet počas letu pre cestujúcich

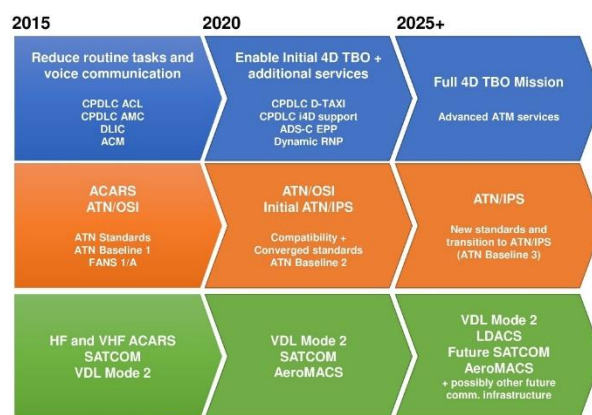
So súčasnými možnosťami a dostupnosťou konektivity sa zreteľne mení aj demografia a ideológia cestujúcich. Nová v súčasnosti nastupujúca veková generácia cestujúcich, ktorá

počas celého svojho života nikdy nezažila svet bez pripojenia, či už mobilného alebo internetového, určuje v blízkej budúcnosti minimálnu úroveň ponúkaných služieb pripojenia. Výskumná štúdia [3] z roku 2018 uskutočnená spoločnosťou Gogo LLC zdôrazňuje potrebu dostupnosti letového internetu na základe zistení:

- 78% cestujúcich na celom svete chce na palube lietadla prístup na internet
- 94% cestujúcich má pocit, že poskytnutie tejto služby by im vylepšil zážitok zo samotného letu, pričom 30% cestujúcich hľadá už pri rezervácii letu možnosť internetu na palube
- 92% cestujúcich naznačuje záujem o úlohy presahujúce jednoduché prehliadanie webových stránok pri pripojení na internet - záujem o streamovacie služby, online nakupovanie, sledovanie letov a batožiny, rezervácia a pod.
- 63% si myslí, že viac letov by malo mať k dispozícii na palube WiFi a 48% si myslí, že WiFi v lietadle by mala byť taká rýchla, ako je na zemi
- 92% „budúcich cestujúcich“ má záujem o použitie vlastného zariadenia na palube lietadla 47% by platilo za pripojenie na internet

Analogicky, London School of Economics and Political Science (LSE) v spolupráci s Inmarsat Aviation vytvorili ekonomicky zamieranú štúdiu, ktorá zvyrazňuje výhody poskytovania služby pripojenia na internet počas letu. Najdôležitejším zistením bola, že poskytovanie spomínaných služieb otvorí časom trh s celkovou hodnotou 130 miliárd amerických dolárov. [4]

2.4. Budúcnosť systémov dátového spojenia lietadlo-zem



Obrázok 2: FCI vývojový diagram. Zdroj: Autori.

Budúcnosť systémov dátového spojenia pre letectvo sa skrýva v použití ATN/IPS, ktorá poskytuje zabezpečenú digitálnu konektivitu, a možnosť integrovať služby pre komunikáciu, navigáciu a sledovanie (CNS). IPS poskytne potrebné sieťové funkcie na zabezpečenie prepojenia prostredníctvom viacerých podsietí - IP širokopásmových dátových spojení (multilink) a základných sietí na podporu leteckých a hlasových aplikácií pre bezpečnosť a pravidelnosť letu. Pre zachovanie dočasnej kompatibility budú systémy zo začiatku podporovať aj existujúce siete ATN/OSI a ACARS. [5] Predpokladaný vývoj je naznačený na Obrázku 2. Pre dodatočné posúdenie budúcnosti vývoja dátovej komunikácie som použil European ATM Master Plan [6] publikovaný spoločným podnikom SESAR a Global Air Navigation Plan [7] publikovaný organizáciou ICAO.

2.5. Koncept Aviation 4.0

Tabuľka 1: Štyri fázy evolúcie komerčného letectva. Zdroj: Autori na základe [8].

Fáza	Charakteristika	Hlavné výzvy
Aviation 1.0	VFR; porovnávacia navigácia; konštrukcia prvých lietadiel; vývoj základných let. prístrojov a aeromechaniky	Ako skonštruovať a pilotovať lietadlo?
Aviation 2.0	IFR; rádionavigácia; manažment vzdušného priestoru	Let a navigácia v nepriaznivých podmienkach. Poskytovanie efektívnej a bezpečnej služby riadenia letovej prevádzky
Aviation 3.0	Asistenčné systémy; spracovávanie digitálnych dát a komunikácia	Informačný manažment Ako poskytovať súhrnné, vizualizované a zrozumiteľné informácie
Aviation 4.0	Kyber-fyzikálne systémy; decentralizované systémové rozhodnutia, AI a automatizácia	Vytvorenie kyber-fyzikálnych systémov s pokročilými schopnosťami rozhodovania a autonómnou činnosťou

Hlavnou charakteristikou a cieľom Aviation 4.0 je vytváranie kyber-fyzikálneho systému. Podstatou tohto systému je iniciatíva vo vytváraní, zhromažďovaní a následnej analýze dát pre potreby strojového učenia, ktoré je podmnožinou súčasťou umelej inteligencie. Výsledkom je potreba komunikácie medzi množstvom zariadení, čo zásadne zvyšuje nároky na konektivitu. Mnohé odvetvia leteckého priemyslu sú už v súčasnosti pod silným vplyvom technológií Aviation 4.0. Väčšina technológií je využívaná vo výrobných procesoch, v obchodných službách a službách pre cestujúcich. Počiatocnými a najväčšími používateľmi súčasnej technológie Aviation 4.0 sú výrobcovia lietadiel. Okrem, dnešného už štandardného, používania 3D tlačie, pokročilých konštrukcií z kompozitných materiálov, virtuálnej a rozšírenej reality, náročných simulácií a inteligentných návrhov sa objavuje nový technologický trend - internet vecí (IoT). Vyvíjajúca sa koncepcia IoT zahŕňa digitálny ekosystém senzorov, zabudovaných počítačov a inteligentných zariadení, ktoré navzájom komunikujú a zdieľajú údaje. [9] [10] Aviation 4.0 prináša letiskám a leteckým spoločnostiam inovatívne trendy vrátane inteligentnej automatizácie, flexibilných modelov pracovných síl, digitálnych platforiem a pokročilých simulácií a predpovedí. [11] [12] [13]

3. Metodika a metodológia

Celá diplomová práca je založená na deduktívnom kvalitatívnom výskume s použitím sekundárnych zdrojov dát. Hlavným cieľom diplomovej práce bol výskum možnosti, či by navrhovaný LEO satelitný systém poskytujúci širokopásmové pripojenie na internet, mohol splniť požiadavky kladené technológiou Aviation 4.0. Pre splnenie daného cieľa bola zvolená hypotéza: „Vzájomne prepojenie inteligentných lietadiel v globálnom merítku bude v prostredí Aviation 4.0 umožnené dátovým spojením pomocou LEO satelitnej mega konštelácie s poskytovaním širokopásmového pripojenia na internet.“ Pre potvrdenie alebo vyvrátenie hypotézy boli použité výskumné otázky: Ktoré dátové spojenie lietadlo-zem bude použité, aby splnilo potreby budúcej dátovej komunikácie? Aké budú vlastnosti vybranej dátovej komunikácie? Aké sú požiadavky kladené Aviation 4.0 na konektivitu dátovej komunikácie? Ako sa vyvinú inteligentné systémy lietadla v prostredí Aviation 4.0?

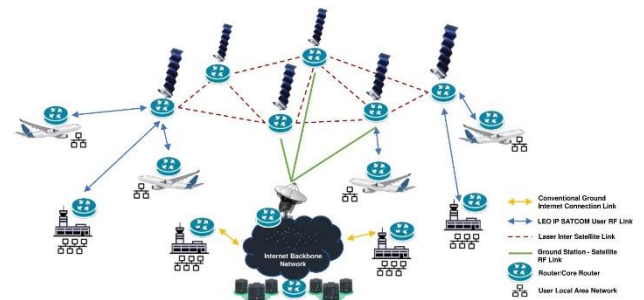
4. LEO satelitné konštelácie – nová éra dostupnosti pripojenia na internet

4.1. Štúdium navrhovaného satelitného dátového spojenia lietadlo-zem – LEO IP SATCOM



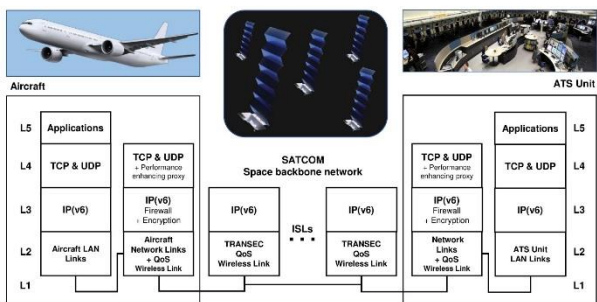
Obrázok 3: Prehľad dátového spojenia lietadlo-zem s použitím navrhovaného dátového spojenia LEO IP SATCOM. Zdroj: Autori

V prvej časti tejto kapitoly diplomovej práce som si vybral jediný príklad použitia vybraného satelitného systému v praxi – Starlink. Pomocou neho som neskôr vytvoril navrhované dátové spojenie LEO IP SATCOM. Jeho nasadenie pre dátové spojenie leteckých telekomunikácií predstavuje skok vpred po technologickej stránke. Ak sa tento systém použije pre dátovú komunikáciu ako primárny, ako môžeme vidieť na obrázku 3, z globálneho hľadiska dokážeme cez jeden systém zabezpečiť komunikáciu aj sledovanie a s použitím GNSS aj presnú navigáciu.



Obrázok 4: Sieťový diagram navrhovaného dátového spojenia LEO IP SATCOM. Zdroj: Autori.

Ako môžeme vidieť na obrázku 4, pripojenie na internet je poskytované každému užívateľovi, pričom je možné spojenie medzi ktorýmkoľvek užívateľmi. S pomocou medzi-satelitných laserových spojov bude prakticky možné dosiahnuť na väčšiu vzdialenosť lepšiu latenciu ako s použitím konvenčného pripojenia na internet. Pri použití protokolu IPv6 je možné ľahko definovať, či je používateľ pripojený priamo k sieti SATCOM, jednoduchým pridelením definovaných podsietí adresy IPv6. Zainteresovaní poskytovatelia LEO IP SATCOM budú následne pridelovať adresy z podsiete svojim terminálom. Pri fungujúcej schopnosti smerovania paketov satelitmi v konštelácii môže byť smerovanie založené na geografických súradniciach. Pre letectvo je veľmi výhodné uložiť aktuálne polohy lietadiel (a ich terminálov) s ich IP adresami do dynamickej databázy. Všetky terminály/stanice v pohybe by pravidelne aktualizovali svoje súradnice a prepisovali údaje v databáze. Pri kontaktovaní terminálu SATCOM v pohybe so známou IP adresou je možné prístupom do databázy zistiť jeho polohu a na smerovanie paketu použiť zodpovedajúcu hodnotu geografických súradníc.



Obrázok 5: ATN/IPS model peer-to-peer dátového spojenia lietadlo-zem s použitím LEO IP SATCOM . Zdroj: Autori.

Obrázok 5 charakterizuje peer-to-peer spojenie medzi lietadlom a poskytovateľom letových služieb, kde sú oba terminály priamo spojené so satelitnou sieťou LEO IP, ako súčasť 5-vrstvového modelu IPS ukazujúceho použitie QoS, firewallu, šifrovania alebo zabezpečenia prenosu.

4.2. Porovnanie charakteristík existujúcich technológií a navrhovaného dátového spojenia lietadlo-zem

4.2.1. VDL M2

Charakteristiky: Pozemná sieť; Frekvenčné pásmo: VHF; Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 0,0315 Mbps; Latencia: variabilná; Kompatibilita: ACARS, FANS, ATN/OSI (B1 & B2), ATN/IPS (plánovaná)

Potenciálne výhody: Jednoduchá, dlhodobo používaná podsieť; Možno považovať za kompatibilnú so všetkými súčasnými leteckými komunikačnými sieťami a súbormi aplikácií; Nízke náklady na potrebné vybavenie (anténa podobná hlasovému VHF COMM); Postačuje pre súčasné aplikácie dátového spojenia

Potenciálne nevýhody: Veľmi nízka prenosová rýchlosť, výrazne pod rýchlosťami základného širokopásmového pripojenia; Nižšia kvalita pripojenia, kvôli už spomenutým nižším rýchlostiam prenosu a variabilnej latencii a oneskoreniam; Nevhodné pre pokročilejšie aplikácie a služby vyžadujúce kvalitnejšie pripojenie (aplikácie závislé na vyššej rýchlosti prenosu a citlivé na latenciu)

4.2.2. SATCOM Iridium

Charakteristiky: Satelitná sieť (LEO – 66 satelitov, SATCOM Class B); Frekvenčné pásmo: L (užívateľské spojenie) a K (spojenie medzi satelitmi + pozemné stanice); Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 0,704Mbps; Latencia: nízka/stredná; Kompatibilita: ACARS, FANS, + možnosť IP pripojenia

Potenciálne výhody: Globálna dostupnosť siete Iridium; Dostatočné pre súčasné aplikácie; Relatívne malá anténa pre SATCOM; Široká škála ponúkaných služieb pre letectvo - vrátane SATVOICE

Potenciálne nevýhody: Služby a aplikácie sú ponúkané iba z hľadiska bezpečnosti a prevádzky lietadla - žiadna komerčná možnosť pripojenia pre cestujúcich; Nízka rýchlosť prenosu, nižšie ako základné širokopásmové pripojenie; Nevhodné pre pokročilejšie aplikácie a služby vyžadujúce kvalitnejšie pripojenie (aplikácie závislé na vyššej rýchlosti prenosu)

4.2.3. SATCOM Inmarsat

Charakteristiky: Satelitná sieť (GEO 4(I-4 SB) + 5 (GX) + 7 (plánované) satelity, SATCOM Class B); Frekvenčné pásmo: L (SB), K+Ka (GX); Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 1,728 Mbps (SB), 50 Mbps (GX); Latencia: vysoká; Kompatibilita: ACARS, FANS + možnosť IP pripojenia

Potenciálne výhody: Takmer globálna dostupnosť siete Inmarsat; Historicky prvé a v súčasnosti najpoužívanejšie SATCOM dátové spojenie v letectve; Široká škála ponúkaných služieb pre letectvo vrátane SATVOICE; Satelity GX umožňujú širokopásmové pripojenie NGA pre lietadlo; možnosť pripojenia pre cestujúcich

Potenciálne nevýhody: Obmedzené pokrytie pre vyššie severné a južné zemepisné šírky - polárne oblasti (po spustení satelitov GX10 bude dostupné pokrytie nad severným pólom); Na pripojenie k satelitom GX v pásme K / Ka je potrebná anténa pomerne veľká, čo vytvára dodatočný aerodynamický odpor pre lietadlo; vysoká latencia a oneskorenie - neodporúča sa používanie aplikácií v reálnom čase a aplikácií citlivých na latenciu

4.2.4. AeroMACS

Charakteristiky: Pozemná sieť iba v okolí letiska; Frekvenčné pásmo: C; Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 10 Mbps (s použitím šírky pásma 5 MHz); Latencia: nízka; Kompatibilita: IP pripojenie, ATN/IPS (plánovaná - multilink)

Potenciálne výhody: Efektívny spôsob vytvárania bezdrôtovej siete na letisku - zdieľaná sieť pre pevné aj mobilné užívateľské stanice; Pásmo C, ponúka dobré výkonové charakteristiky a dosahuje relatívne vysokú priepustnosť (s použitím širšej šírky pásma)

Potenciálne nevýhody: C-pásmo začína byť zarušené kvôli využívaniu v komerčných bezdrôtových sieťach (WiFi) a bezdrôtových spojoch. Pri použití šírky kanálu iba 5 MHz pokrýva prenosová rýchlosť iba základné širokopásmové pripojenie; Nutnosť dedikovaných zariadení na lietadle (napr. anténa) pre použitie tohto dátového spoja iba na letisku, ktoré je touto technológiou vybavené

4.2.5. LDACS

Charakteristiky: Pozemná sieť; Frekvenčné pásmo: L; Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): 2,6 Mbps; Latencia: nízka; Kompatibilita: ATN/IPS (plánovaná - multilink)

Potenciálne výhody: Veľmi schopná, vysoko škálovateľná pozemná sieť; V súčasnosti v procese realizácie; Sieť založená na IP a predstavuje bezproblémovú integráciu do ATN / IPS. Možnosť použitia aj ako navigačného zariadenia fungujúceho na princípe DME

Potenciálne nevýhody: Veľmi priemerná dátová priepustnosť pokrývajúca spodnú hranicu základného širokopásmového pripojenia; Vzhľadom na nižšiu prenosovú rýchlosť, nie je možné použiť aplikácie požadujúce vysoký dátový tok

4.2.6. Navrhovaný LEO IP SATCOM

Charakteristiky: Satelitná sieť (LEO a VLEO, niekoľko tisíc satelitov, SATCOM Class A); Frekvenčné pásmo: Ku+Ka+V (užívateľské spojenie a spojenie s pozemnými stanicami) a laserové spojenie medzi satelitmi (THz EM pásmo); Maximálna prenosová rýchlosť pre užívateľa (teoretická): >100 Mbps; Latencia: nízka/stredná; Kompatibilita: navrhovaná ako súčasť multilink-u ATN/IPS

Potenciálne výhody: Globálne pokrytie a dostupnosť služieb, od zeme po najvyššiu letovú hladinu (je potrebná iba priama viditeľnosť so satelitom); Spávaná s GNSS môže v budúcnosti poskytnúť riešenie typu „všetko v jednom“ pre CNS (vytvorenie zdieľanej databázy lietadiel); Očakávaná priepustnosť viac ako 100 Mbps –širokopásmové pripojenia typu NGA; ak testy na lietadle dokážu možnosť dosiahnutia rýchlosti viac ako 1 Gbps, tak to bude širokopásmové pripojenie typu UF; Dostupná priepustnosť a relatívne nízka latencia umožní používanie akokoľvek náročných budúcich aplikácií pre dátové spojenie lietadlo-zem pre posádku, systémy lietadiel a navyše môžu byť pre cestujúcich poskytované služby pripojenia na internet bez potreby viacerých systémov

Potenciálne nevýhody: Kvôli použitým rádiovým frekvenciám sa očakáva, že technické riešenie antény bude zložité a taktiež bude mať väčšie rozmery (aerodynamický odpor); Veľmi vysoká priepustnosť, ak nebude správne riadená, môže spôsobiť preťaženie siete v oblastiach s hustejšou sieťou pripojených užívateľských terminálov; postupné zvyšovanie využívania pásiem Ku a Ka plánovanými viacerými mega konšteláciami LEO využívajúcich rovnaké frekvenčné spektrum, môže zapríčiniť silné zarušenie; V súčasnosti sa táto technológia zatiaľ komerčne nepoužíva na nestacionárnych termináloch; výsledky testov použiteľnosti tejto technológie na lietadlách nie sú zatiaľ známe

5. Aviation 4.0: automatizácia, prepojenie a digitalizácia



Obrázok 6: Dominantné aspekty konceptu Aviation 4.0. Zdroj: Autori.

Pre dodatočnú analýzu vývoja Aviation 4.0 bolo potrebné vytvoriť dominantné aspekty Aviation 4.0, ktoré vplyvajú na celkový vývoj. Vytvoril som kvázi evolučný kruh s postupom v smere hodinových ručičiek, ktoré vedú od zberu dát a analytiky, k automatizácii procesov základného leteckého systému a

vzniku autonómnych systémov (obrázok 6), čo považujem za vrchol vývoja Aviation 4.0. Pokiaľ ide o požiadavky Aviation 4.0 na dátovú komunikáciu, analyzoval som vplyv každého z hlavných aspektov z hľadiska požiadaviek, napríklad na priepustnosť siete a latenciu. Výsledkom tejto kapitoly je celkový prehľad požiadaviek, ktoré môžeme vidieť v tabuľke 2.

Tabuľka 2: Hlavné požiadavky na dátové spojenie lietadlo-zem vzhľadom na jednotlivé aspekty Aviation 4.0. Zdroj: Autori.

Aspekt Aviation 4.0	Ako ovplyvní dátové spojenie lietadlo-zem?	Hlavné požiadavky na dátové spojenie
Veľké dáta & Analytika pomocou AI	Streamovanie prevádzkových údajov a monitorovanie stavu lietadla	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká priepustnosť (s QoS) Nízka latencia (<i>preferovaná</i>)
Cloudové služby	Downlink nesppracovaných a uplink pracovaných dát	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká priepustnosť (s QoS) Nízka latencia
Pokročilá kybernetická bezpečnosť	Ochrana pred útokmi a kybernetickým terorizmom	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká úroveň zabezpečenia siete Zabezpečená sieťová komunikácia
Použitie IoT v letectve	Streamovanie dát zo zariadení IoT (buď už spracovaných, alebo nesppracovaných)	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká priepustnosť (s QoS) Nízka latencia (<i>preferovaná</i>)
Simulácie & Rozšírená realita	Uplink/downlink údajov pre potreby palubných počítačov	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká priepustnosť (s QoS) Nízka latencia
Pokročilá výroba a údržba	Monitorovanie stavu lietadla, prediktívna údržba a AOC	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká priepustnosť (s QoS) Nízka latencia (<i>preferovaná</i>)
Integrovaný manažment letovej prevádzky	Používanie pokročilých aplikácií manažmentu letovej prevádzky pre ATS, AOC	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká priepustnosť (<i>preferovaná</i>) Nízka latencia (<i>preferovaná</i>) Striktne definované QoS Zabezpečená sieťová komunikácia Globálna dostupnosť služieb (<i>preferovaná</i>)
Systémy AI & Predpovede	Rozsiahla komunikácia medzi strojmi (M2M komunikácia)	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká priepustnosť Nízka latencia Striktne definované QoS Zabezpečená sieťová komunikácia Globálna dostupnosť služieb
Automatizácia a autonómia		

6. Štúdium aplikácie IoT do budúcej generácie inteligentných lietadiel

Všetky spomenuté príklady v tejto kapitole (pokročilý monitoring, automatická komunikácia, zdieľanie meteorologických dát, dynamické vytváranie letových plánov, a iné) zahŕňali inteligentné systémy lietadiel predstavujúce dynamicky adaptívnu štruktúru schopnú dosiahnuť určité vyššie úrovne automatizácie. Základné inteligentné schopnosti z veľkej časti umožňoval zber dát pomocou IoT, analýza dát s využitím jednoduchšej umelej inteligencie, a prediktívne modely obsahujúce simulačné techniky, s pomocou dátového spojenia, ktoré spĺňa požiadavky dané výskumom v predchádzajúcej kapitole.

7. Záver

Výsledkom výskumu je stanovenie troch skupín požiadaviek na dátovú komunikáciu budúcnosti.

Jedna skupina poukazuje na požiadavky z hľadiska plánov rozvoja manažmentu letovej prevádzky stanovených pomocou konceptu FCI a dvoch plánov rozvoja: European ATM Master Plan publikovaný spoločným podnikom SESAR a Global Air Navigation Plan publikovaný organizáciou ICAO. Požiadavky znejú nasledovne: IPS kompatibilita pre možné použitie ATN/IPS; Použitie IPv6 sieťového protokolu (+ možnosť VoIP); Zvýšená spôsobilosť a schopnosť siete v porovnaní s pôvodnými sieťami; Pokročilá interoperabilita; Integrovaná možnosť použitia spektra CNS na základe výkonnosti.

Druhá skupina požiadaviek bola vytvorená výskumom dominantných aspektov Aviation 4.0 v kapitole 4. Požiadavky znejú nasledovne: Vysokorýchlostná konektivita s nízkou latenciou; Vhodné QoS garantované poskytovateľom pripojenia; Vysoká úroveň zabezpečenia siete, garantovaná poskytovateľom pripojenia; Globálna dostupnosť konektivity a služieb.

Tretia skupina požiadaviek poukazuje na potrebu adekvátnej konektivity aj na základe poskytovania služieb pre cestujúcich, akou je pripojenie na internet. Požiadavky znejú nasledovne: Vysokorýchlostná konektivita – širokopásmové pripojenie typu NGA ako minimálna požiadavka, širokopásmové pripojenie typu UF je odporúčané; Spoľahlivosť a zabezpečená sieť oddelená od prevádzkových služieb a služieb zabezpečenia na hardvérovej alebo softvérovej úrovni; Globálna dostupnosť konektivity a služieb.

Schopnosti navrhovaného satelitného systému boli vyhodnotené v kapitole 3: IPS kompatibilná sieť, použité IPv6 sieťového protokolu; SATCOM výkonová trieda A; Globálna dostupnosť konektivity a služieb; Kombinácia s GNSS, poskytuje možnosť komunikácie aj hlásenia polohy; Širokopásmové pripojenie typu NGA – momentálne možné, širokopásmové pripojenie typu UF očakávané; Konektivita s nízkou latenciou; Dostupné vysokorýchlostné pripojenie môže byť poskytované aj cestujúcim.

Z teoretického hľadiska je táto technológia veľmi sľubná a spája všetky predchádzajúce požiadavky, ale v čase písania práce neboli dostupné potvrdené výsledky testovania a experimentov, ktoré by priamo dokazovali použiteľnosť navrhovaného satelitného systému s užívateľskými terminálmi v pohybe. Z dôvodu iba hypotetickej predpovede, nebolo možné fakticky určiť použiteľnosť systému v letectve. Preto daná hypotéza nemôže byť objektívne potvrdená ako pravdivá, a tak žiadny, ku dňu písania práce, z dostupných alebo navrhovaných dátových spojov lietadlo-zem neumožní vzájomne prepojenie inteligentných lietadiel v globálnom merítku v prostredí Aviation 4.0. Napriek nepotvrdenej hypotéze je prínos značný len zo samotného výskumu a výsledkov práce. Práca predstavuje iba úvod k rozsiahlejšej téme dátovej komunikácie a manažmentu v budúcnosti. Preto môže slúžiť na udávanie smeru pre budúce výskumy a práce zaoberajúce sa danou problematikou.

Referencie

[1] GOUDARZI, HOUMAN. Data science hype or ripe for aviation? International Air Transport Association (IATA),

June 2019. Aviation data - White paper series. <https://www.iata.org/contentassets/d72edc56c3814aac8ec508fdf8555a52/data-science-hype-or-ripe-for-aviation-white-paper.pdf>

- [2] CHUNGA, SAI-HO, et al. Data science and analytics in aviation.: Elsevier Ltd., January 27, 2020. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. DOI 10.1016/j.tre.2020.101837. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101837>
- [3] GOGO. The 2018 Global Traveler Research Study.: Gogo LLC, 2018. Global Traveler Research Study. <https://www.gogoair.com/learning-center/2018-global-traveler-research-study/>
- [4] GROUS, ALEXANDER. Chapter One – Quantifying the commercial opportunities of passenger connectivity for the global airline industry.: Inmarsat Global Ltd, Inmarsat Aviation, 2017. Sky High Economics. <https://www.inmarsat.com/en/insights/aviation/2017/the-skys-the-limit.html>
- [5] EUROCONTROL. Future communications infrastructure and multilink for the long term. Innovation, Research and Deployment. [Online] [Citované: April 10, 2021.] <https://www.eurocontrol.int/function/future-communications-infrastructure-and-multilink-long-term>
- [6] SESAR JOINT UNDERTAKING. European ATM Master Plan - Digitalising Europe's Aviation Infrastructure. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-9216-135-4 PDF-ISBN 978-92-9216-134-7 DOI 10.2829/650097 PDF-DOI10.2829/695700
- [7] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION - ICAO. 2016–2030 Global Air Navigation Plan. Fifth Edition, Montréal, Canada : ICAO, 2016. Doc 9750-AN/963
- [8] VALDÉS, ROSA ARNALDO, et al. Aviation 4.0: More Safety through Automation and Digitization. : IntechOpen, March 9, 2018. DOI 10.5772/intechopen.73688. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73688>
- [9] AIRBUS. IoT: Aerospace's great new connector. Innovation. [Online] July 4, 2019. [Citované: April 22, 2021.] <https://www.airbus.com/newsroom/stories/iot-aerospace-great-new-connector.html>
- [10] BONNEAU, VINCENT and COPIGNEAUX, BERTRAND. Industry 4.0 in Aeronautics: IoT applications. [Document] s.l. : European Commission, June 2017. Digital Transformation Monitor. <https://ati.ec.europa.eu/reports/technology-watch/industry-40-aeronautics-iot-applications>
- [11] ŞAHIN, DIDEM RODOPLU, HAITMURODOV, UMEDJON AND TURAN, PINAR. Industry 4.0: Opportunities, Challenges of Airport and Airline Management Practices.: Future Academy, 2019. Joint Conference: 14th ISMC and 8th ICLTIBM-2018. eISSN 2357-1330 DOI 10.15405/epsbs.2019.01.02.48. <https://dx.doi.org/10.15405/epsbs.2019.01.02.48>

- [12] LĂZĂROIU, G., KLIESTIK, T. and NOVAK, A., 2021. Internet of things smart devices, industrial artificial intelligence, and real-time sensor networks in sustainable cyber-physical production systems. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 9(1), pp. 20-30.
- [13] Novák, A., Novák Sedlačková, A., Janovec, M., 2020. *Komunikačné systémy v letectve* EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0