



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Daniel Urban

Identifikace a řešení překážek při zavádění e-ID pro
UAS

Bakalářská práce

2020



K621**Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Daniel Urban

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – TUL – Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Identifikace a řešení překážek při zavádění e-ID pro UAS**

Název tématu (anglicky): Identification and Solution of Barriers for Implementation of e-ID for UAS

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je identifikovat překážky zavádění e-ID pro UAS na základě analýzy použitelných technologií plánovaného pronikání UAS do všech částí vzdušného prostoru.
- Charakteristika použitelných technologií
- Systémový pohled na vzdušný prostor a zavádění e-ID
- Identifikace překážek při zavádění dostupných technologií a návrh řešení odstranění překážek
- Návrh řešení e-ID a jeho zhodnocení



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Nařízení Evropské Komise 2018/1039, 2019/947, 2019/945
SESAR: U-space blueprint
UAS Identification and tracking - ARC Recommendations, 2017

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Daniel Urban
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. října 2019

Poděkování

Rád bych zde tímto poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Jakubu Krausovi Ph.D. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za vynikající rady, které mi poskytoval po celou dobu psaní této práce. Dále bych rád poděkoval všem ostatním, kteří semnou konzultovali všechny vzniklé potíže a především Ing. Lukáši Brchlovi z Dronetag, že mi na začátku psaní bakalářské práce pomohl vytvořit si představu o tématu elektronické identifikace a s ní spojené potíže. Na závěr chci poděkovat své rodině za skvělou podporu po celou dobu mého studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 1. srpna 2020



.....
Daniel Urban

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce „Identifikace a řešení překážek při zavádění e-ID pro UAS“ je analyzovat použitelné technologie e-ID pro UAS a na jejich základě identifikovat překážky, které by se mohly vyskytnout při jejich implementaci do vzdušného prostoru. Tyto technologie poté začlenit do jednotlivých částí tohoto vzdušného prostoru a poté na základě této analýzy a rozřazení navrhnout řešení na nalezené překážky.

Abstract

The subject of the bachelor thesis „Identification and Solution of Barriers for Implementation of e-ID for UAS“ is to analyse applicable technologies of the e-ID for UAS and identify barriers that could occur when these technologies are implemented into the airspace. Then classify these technologies into the individual parts of the airspace. Based on this analysis and sorting find solutions for the found barriers.

Klíčová slova

Bezpilotní letadla, vzdušný prostor, U-Space, elektronická identifikace, koordinace vzdušného prostoru, sledování, bezpečnost

Key words

Unmanned aircraft, airspace, U-Space, electronic identification, airspace coordination, surveillance, safety

Seznam použitých zkratk

EASA	Evropská agentura pro bezpečnost letectví	European Union Aviation Safety Agency
SESAR	Evropský program jednotného evropského nebe	Single European Sky ATM Research
e-ID	Elektronická identifikace	Electronic identification
UA	Bezpilotní letadlo	Unmanned Aircraft
UAS	Bezpilotní létající systém	Unmanned Aerial System
USSP	Poskytovatel služeb U-Space	U-Space Service Provider
ANSP	Poskytovatel řízení letového provozu	Air Navigation Service Provider
ANSI	Americký národní standardizační institut	American National Standards Institute
CTA	Asociace spotřebitelských technologií	Consumer Technology Association
FAA	Federální letecká správa	Federal Aviation Administration
ADS-B	Automatický závislý přehled o vzdušné situaci-vysílání	Automatic Dependant Surveillance-Broadcast
ADS-R	Automatický závislý přehled o vzdušné situaci-přeposílání	Automatic Dependant Surveillance-Rebroadcast
ISM	Průmyslové, vědecké a lékařské	Industrial, Scientific and Medical
BLE		Bluetooth Low Energy
1090 ES		1090 Extended Squitter
UAT	Universální vysílač připojení	Universal Access Transceiver
VDL	Velmi krátké vlny digitální link	Very High Frequency Data link
VLOS	Hranice viditelnosti	Visual Line of Sight
BVLOS	Za hranicí viditelnosti	Beyond Visual Line of Sight
IoT	Internet věcí	Internet of Things
LTE		Long Term Evolution
ČTÚ	Český telekomunikační úřad	Czech Telecommunication Office
GNSS	Globální navigační satelitní systém	Global Navigation Satellite System
ČR	Česká republika	Czech Republic
USA	Spojené státy americké	United States of America
CTR	Kontrolní zóna	Control Zone
ATZ	Letištní provozní zóna	Air Traffic Zone

TMA	Koncová řízená oblast	Terminal Manoeuvring Area
IFR	Pravidla pro let podle přístrojů	Instrument Flight Rules
VFR	Pravidla pro let za viditelnosti	Visual Flight Rules
TCAS	Letecký antikolizní systém	Traffic Allert and Collision Avoidance System
EU	Evropská unie	European Union
OGN		Open Glider Network
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví	International Civil Aviation Organization
ŘLP	Řízení letového provozu	Air Traffic Control

Obsah

Úvod	10
1 Vysílání identifikace.....	11
1.1 Elektronická identifikace.....	11
1.2 Network identification service	12
2 Charakteristika použitelných technologií	14
2.1 Broadcast.....	14
2.1.1 Wi-Fi	15
2.1.2 Bluetooth.....	16
2.1.3 ADS-B (Automatic Dependant Surveillance – Broadcast).....	18
2.2 Network.....	19
2.2.1 LTE – Long Term Evolution.....	20
2.2.2 5G.....	23
2.2.3 FLARM.....	25
3 Systémový pohled	27
3.1 U-Space v neřízeném prostoru.....	28
3.1.1 Network.....	28
3.1.2 Bluetooth/Wi-Fi.....	29
3.1.3 FLARM.....	29
3.2 Mimo U-Space v neřízeném prostoru	30
3.2.1 Bluetooth.....	30
3.2.2 Network.....	31
3.2.3 FLARM.....	31
3.3 U-Space v řízeném prostoru.....	31
3.3.1 Network.....	32
3.3.2 Bluetooth/Wi-Fi.....	32
3.3.3 ADS-B	34
3.4 Mimo U-Space v neřízeném prostoru	34
4 Identifikace překážek.....	35
4.1 Systém měření výšky.....	35
4.1.1 Měření výšky nad bodem vzletu	36
4.1.2 Měření výšky nad povrchem	36
4.2 FLARM-Malé pokrytí přijímačů	37
4.3 Zahlcení 1090MHz pásma ADS-B signálem	39

4.4	Identifikační číslo ADS-B.....	40
4.4.1	Identifikační číslo.....	41
4.4.2	Množství identifikačních čísel.....	41
5	Návrh řešení překážek.....	42
5.1	Převodní systém pro měření výšky nad povrchem.....	42
5.1.1	Určení členitosti terénu.....	43
5.1.2	Určení nulové hladiny.....	43
5.2	FLARM.....	44
5.3	Omezení zahlcování pásma 1090MHz ADS-B signálem.....	45
5.3.1	Snížení vysílacího výkonu.....	45
5.3.2	Využití technologie UAT pro přenos dat.....	46
5.3.3	Omezení využití ADS-B.....	47
5.4	Identifikační číslo ADS-B.....	48
5.4.1	Identifikační číslo.....	48
5.4.2	Množství identifikačních čísel.....	48
6	Diskuze.....	50
7	Závěr.....	51
	Použité zdroje.....	53
	Seznám obrázků.....	56
	Seznam tabulek.....	57

Úvod

Bezpilotní letadla se v dnešní době stávají čím dál více dostupnějšími, jak pro veřejnost, tak pro komerční užití různými společnostmi. Momentálně se nejvíce využívají pro fotografování terénu a budov, pro kontrolu stavu vnější konstrukce budov a mostů, dokonce v některých zemích využívají hasičské sbory drony pro kontrolu budov po požáru. Jsou i společnosti, které se snaží prosadit přepravu nákladu pomocí bezpilotních letadel. S takto rostoucím provozem bezpilotních letadel je čím dál více jasnější, že bude potřeba tento provoz nějakým způsobem kontrolovat. K tomu bude sloužit elektronická identifikace.

V Evropě vzniká tzv. U-Space, který spadá pod evropskou agenturu pro civilní letectví, EASA. Tento nápad vznikl hlavně na základě studie z roku 2016 od SESAR [25] a na základě Varšavské deklarace také z roku 2016 [26]. Jedná se o letový prostor pro bezpilotní letadla, ve kterém budou poskytovány nové služby, které mají hlavně podporovat bezpečnost, efektivnost a bezpečnou integraci bezpilotních letadel do vzdušného prostoru. Jedním z pilířů je Network identification service, která je postavena na elektronické identifikaci.

1 Vysílání identifikace

Na elektronickou identifikaci bezpilotních letadel se dá pohlížet ze dvou stran. Na jedné straně je to čistě elektronická identifikace. Tedy přídatné zařízení na bezpilotním letadle, které vysílá určité informace nezávisle na tom daném letadle.

Na druhé straně je to také součást služby ve vznikajícím U-Space. Konkrétně se jedná o službu Network identification service. Je to služba, která bude v rámci U-Space sloužit k tomu, aby poskytovatel zmíněné služby měl přehled o bezpilotních letadlech v prostoru a na jejich základě mohl daný prostor kontrolovat. Oboje bude popsáno v následujících kapitolách.

1.1 Elektronická identifikace

Elektronická identifikace (zkráceně e-ID) je schopnost bezpilotního letadla (UA, Unmanned aircraft) vysílat za letu identifikační údaje, které mohou být přijaty dalšími stranami.

E-ID bylo stanoveno z důvodu zvýšení bezpečnosti. Identifikace umožňuje dalším stranám na příslušném přístroji zjistit veškeré potřebné údaje o letícím UA a jeho operátorovi. Pokud by se UA choval nedovoleným způsobem, mohli by být provedeny potřebné kroky pro jeho zastavení. Dále se data budou odesílat do stanoviště poskytovatele služeb U-Space (USSP, U-Space service provider), kde probíhá schvalování letu, kontrola letu, zda se pohybuje ve vymezeném prostoru, a navíc poskytuje operátorovi informace o aktuálním stavu letového prostoru [12]. Takovýto USSP bude v prostoru více, avšak pro jeden U-space prostor bude stanoven vždy jen jeden. Taková kontrola pomocí USSP je poskytována pouze v rámci U-Space prostoru. Mimo něj tato služba není poskytována, ale samotná elektronická identifikace, tedy vysílání dat z UA je povinné i mimo něj.

Podle nařízení Evropské komise 2019/945 [1] musí elektronická identifikace splňovat:

1. Umožňuje nahrát registrační číslo provozovatele bezpilotního systému v souladu s článkem 14 prováděcího nařízení (EU) 2019/947 [23] a výlučně v návaznosti na postup stanovený registračním systémem
2. Má fyzické sériové číslo, které je v souladu s normou ANSI/CTA-2063 *Small Unmanned Aerial Systems Serial Numbers* (Sériová čísla malých bezpilotních systémů) a které je čitelně umístěno na doplňkovém zařízení a jeho obalu nebo jeho uživatelské příručce.
 1. V reálném čase během celé doby trvání letu zajišťuje přímé periodické vysílání následujících údajů z bezpilotního letadla s použitím otevřeného a zdokumentovaného přenosového protokolu, a to způsobem, aby bylo možné je přímo přijímat stávajícími mobilními zařízeními v rámci vysílacího rozsahu:
 - a. Registrační číslo provozovatele bezpilotního letadla

- b. Jedinečné fyzické sériové číslo bezpilotního letadla, které je v souladu s normou ANSI/CTA-2063
 - c. Zeměpisná poloha bezpilotního letadla a jeho výška nad povrchem nebo bodem vzletu
 - d. Letová dráha měřená ve směru hodinových ručiček od skutečného severu a pozemní rychlost bezpilotního systému
 - e. Zeměpisná poloha dálkově řídicího pilota bezpilotního letadla nebo, pokud není k dispozici, bod vzletu
3. Zajišťuje, aby uživatel nemohl upravovat údaje uvedené v ods. 3 bodech ii, iii, iv a v
4. Je uveden na trh s uživatelskou příručkou, která obsahuje odkaz na přenosový protokol používaný pro vysílání přímé identifikace na dálku a návod k:
- a. Instalaci tohoto modulu na bezpilotní letadlo
 - b. Nahrání registračního čísla provozovatele bezpilotního letadla

Dále elektronická identifikace je povinná pro bezpilotní letadla, která spadají do alespoň jedné z kategorií C1, C2 a C3. Jednotlivé kategorie jsou popsány v tabulce 1.

Tabulka 1: Popis jednotlivých kategorií UAS a výpis požadavků kladených na konkrétní kategorie a jejich operátory. [27]

Působení/operování bezpilotního prostředku		Povinnosti operátora bezpilotního letadla	UAS (Unmanned Aerial System, Bepilotní letecký systém)				Registrace UAS operátora
Podkategorie	Oblast působení/operování		Třída	MTOM/ Joule (J)	Hlavní technické požadavky	e-ID/geo-awareness	
A1 (Smi létat nad lidmi)	Smi létat nad nezapojenými lidmi do probíhajícího letu (kromě davů)	Přečíst si manuál k bezpilotnímu letadlu 1)Přečíst si manuál 2)Online sledování 3)Absolvovat online test	Soukromě vyrobeno	< 250 g	N/a	Ne	Ne
			C0		Manuál, Určeno jako hračka, <19 m/s, žádné ostré hrany, nastavitelný limit dostupy		
A2 (Smi létat v blízkosti lidí)	Smi létat v bezpečné vzdálenosti od nezapojených lidí do probíhajícího letu	1)Přečíst si manuál 2) Online sledování 3) Online test 4)Absolvovat test z teoretických znalostí v místě určeném leteckým úřadem	C1	< 80 J / <900 g	Manuál, <19 m/s, kinetická energie, mechanická pevnost, řízení při ztraceném spojení, žádné ostré hrany, nastavitelný limit dostupy	Ano + unikátní sériové číslo pro identifikaci	Ano
A3 (Smi létat v dostatečné vzdálenosti od lidí)	Měi by: 1) Létat v takových oblastech, kde je velmi nepravděpodobné, že dojde k ohrožení nezapojených lidí do probíhajícího letu 2) Držet bezpečnou vzdálenost od obydlených oblastí	1) Přečíst si manuál 2) Online sledování 3) Online test	C3	< 25 kg	Manuál, řízení při ztraceném spojení, nastavitelný limit dostupy, křehkost	Ne	
			C4		Manuál a bez automatického řízení letu		
			Soukromě vyrobeno		N/a		

1.2 Network identification service

Jedna ze služeb, které budou poskytovány v U-Space prostoru, ve kterém budou poskytovány různé služby pro jejich operátory, které by měly zvýšit bezpečnost provozu.

Hranice tohoto prostoru si určuje každý stát zvlášť, ale pro všechny státy existují určité služby, které jsou vždy povinné. Mezi tyto služby patří Network identification service, geo-awareness,

traffic information a UAS flight authorisation [12]. K těmto službám si poté může každý stát zvolit další nepovinné služby pro zvýšení bezpečnosti a pro zkvalitnění provozu v prostoru.

Právě network identification service je jedním z hlavních pilířů celého projektu. Tato služba je postavena na základě požadavků, které byly stanoveny v nařízení komise 2019/945 [1]. Hlavním důvodem je nevytvářet další potřeby na vybavení a schopnosti UA a jejich operátory. Tedy služba využívá data vysílaná z UA pomocí e-ID technologie a na jejich základě poskytuje ostatní služby v rámci U-Space prostoru. Z toho vyplývá, že služba je spíše jakýsi kontrolní orgán, který pracuje na základě technologií elektronické identifikace.

Mezitímco elektronická identifikace vznikla pro podporu bezpečnosti a soukromí všech osob. Network identification service vznikl pro podporu bezpečnosti provozu a zvýšení schopnosti sledovat UA ve vzdušném prostoru.

Každý U-Space prostor má jednoho tzv. U-Space service provider, který tyto služby zprostředkovává. Lze to přirovnat k poskytovatelům letových navigačních služeb, tedy řízení letového provozu, ale USSP prostor neřídí, ale pouze ho kontrolují. Jednotlivý USSP by měli mezi sebou dostupná data sdílet, čímž se získá přehled nad všemi bezpilotními letadly v těchto prostorech po celé evropské unii. Zároveň tyto informace budou poskytovány jednotlivým operátorům UA

Zatímco e-ID je podle nařízení komise 2019/945 [1] pouze zařízení, které vysílá přímo tzv. broadcast, v U-Space je možnost vysílat i data pomocí network, tedy po internetové síti. USSP jsou povinni zajistit, že budou moci přijímat oba druhy signálů. To podporuje redundanci systému. Oba způsoby budou probrány v další kapitole.

2 Charakteristika použitelných technologií

Protože se práce zabývá identifikací překážek a návrhem jejich řešení v rámci technologií e-ID, je potřeba si tyto technologie popsat. Budou charakterizovány jen ty nejaktuálnější, jejichž řešeními se zabývají výrobci technologií pro bezpilotní letadla a které se objevují v dokumentech od FAA a EASA.

Charakterizace je rozdělena na Broadcast a Network, kde budou popsány způsoby přenosu dat z UAS do ostatních zařízení, která slouží pro jejich sledování.

2.1 Broadcast

Zahrnuje všechny vysílání, která probíhají pouze v tzv. jednom směru. To znamená, že signál putuje pouze od UA do všech zařízení, která jsou v dosahu vysílače na UA, a jsou nastavena na příjem daného signálu a není těmito zařízeními přeposílán do žádné centrální sítě. Schéma vysílání je na obrázku 1.

Z toho vyplývá, že tyto technologie mají omezený dosah a je vhodný pouze pro vysílání v menších oblastech, kde potřebují získávat data z UA pouze okolní uživatelé. Tento dosah se může navýšit pomocí vysílačů, která budou signál přijímat, zesilovat a znovu vysílat.

Protože u této technologie se nevyužívá žádná centrální síť, kam se data posílají a následně si je odtud uživatelé stahují, není zde provozuschopnost ovlivněna právě provozovateli této centrální sítě, ani na tom, zda jsme nebo nejsme připojení k internetové síti. Ta je závislá pouze na správné funkci vysílače a přijímače.

Do kategorie broadcast se dá samozřejmě zařadit velké množství technologií, ale pokud se budeme bavit o elektronické identifikaci, je zde pouze pár technologií, které jsou nejvíce vhodné pro toto využití. Mezi ně patří Wi-fi, Bluetooth, ADS-B.



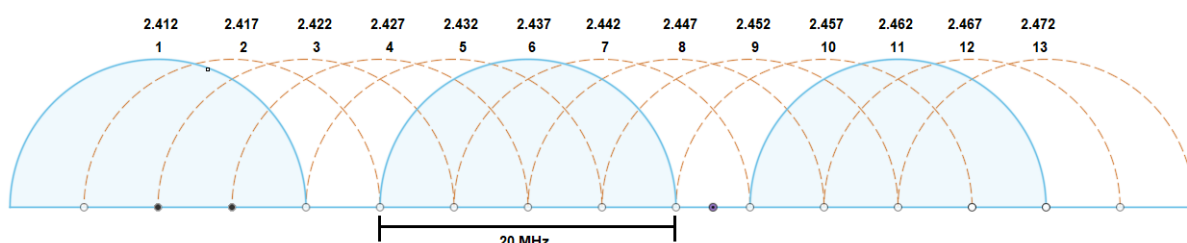
Obrázek 1: Schéma vysílání typu Broadcast [2]

2.1.1 Wi-Fi

Jedná se o standard, který popisuje bezdrátovou komunikaci mezi zařízeními. Pro komunikaci se zde využívá tzv. bezlicenčního frekvenčního pásma, které se označuje jako ISM pásmo. Bezlicenční pásmo znamená, že využití tohoto pásma není sice zatíženo poplatky, ale zařízení zde pracující musí dodržovat dané normy, které stanovují maximální vyzářený výkon, který limituje dosah vysílání, použitou modulaci signálu a maximální spektrální hustotu.

Wi-Fi operuje na frekvenci 2.4 GHz nebo na frekvenci 5 GHz. Pásmo 2.4 GHz je rozděleno do 13 kanálů, každý o šířce 20 MHz nebo 40 MHz a kanály mají separaci 5 MHz. Z toho vyplývá, že se musejí vzájemně překrývat, a proto se většinou využívá jen výběr kanálů, které se nepřekrývají, ale samozřejmě se mohou použít všechny. To ale způsobí interference mezi nimi a tím dojde ke snížení přenosové rychlosti.

Každá země si použité kanály vybírá sama, ale v Evropské unii je povoleno všech 13, to znamená, že se využívá kombinace 1, 6 a 11 nebo 1, 5, 9 a 13 při použití šířky kanálu 20 MHz. Při využití jen třech kanálů se eliminují jakékoliv interference, zatímco když se použijí čtyři, tak zůstávají interference na krajích kanálů. Znamená to, že lze použít 3 nebo 4 vysílače, aniž by docházelo k významnému rušení a tím k poklesu přenosové rychlosti. Ukázka překrývání kanálů a výběr těch nejvhodnějších je na obrázku 2.



Obrázek 2: Schéma wi-fi kanálů ve 2.4 GHz pásmu, zdroj: Autor

Pásmo 5 GHz má nepřekrývajících se kanálů 19. Přenosová rychlost je v tomto pásmu mnohem větší díky větší šířce kanálů a menšímu obsazení těchto frekvencí. Ale výrazně klesá dosah vysílání, protože je výrazně náchylnější na překážky a dochází k zeslabování signálu. [18]

Pro elektronickou identifikaci se bude využívat odlišný typ Wi-Fi, než který známe z domácností. Jedná se o tzv. Wi-Fi Aware. U klasické Wi-Fi musíte přímo navázat spojení mezi vysílačem a přijímačem. To znamená, pokud to aplikujeme na případ elektronické identifikace, musel by uživatel provést spojení s každým vysílačem zvlášť, stejně jako když se doma připojujete na domácí Wi-Fi síť. Dokud by neproběhlo toto navázání spojení, uživatel by nedostával žádná data a musel by to provést pro každý nově přichozí UA.

Při použití Wi-Fi Aware se toto ruční navázání spojení eliminuje a probíhá zcela automaticky. Vysílací zařízení, tzv. Publisher, vysílá kontinuálně data kolem sebe. Ve chvíli, kdy do toho vysílání vstoupí zařízení, které může daná data přijmout, tzv. Subscriber, přijme subscriber oznámení o vstupu do tohoto prostoru. Tím se subscriber dozví o tom, že se v jeho okolí nachází publisher, vyhledá ho a naváže s ním spojení. Zařízení mohou zastávat obě dvě funkce, publisher i subscriber.

Výhodou je, že mobilní zařízení, které se chová jako subscriber a stahuje si data z UA, se může chovat i jako Publisher a data může přeposílat dále. Tím se zvyšuje dosah této technologie.

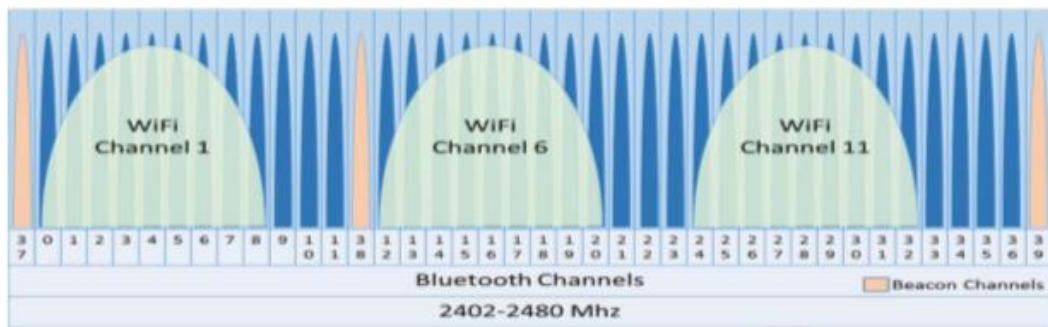
2.1.2 Bluetooth

Bluetooth pracuje na stejné frekvenci jako výše zmíněné Wi-Fi, tedy 2.4 GHz. To znamená, že spadá také do pásma ISM a platí pro něho tedy stejné normy o omezení vyzářeného výkonu, modulace a spektrální hustoty.

S příchodem verze Bluetooth 4.0 v roce 2010 jsou k dispozici dvě verze. Klasické Bluetooth a Bluetooth Low Energy (BLE) kde, jak z názvu vyplývá, je hlavním rozdílem energetická náročnost technologie, která je výrazně menší a může dosahovat až o polovinu menších hodnot v závislosti na vytíženosti zařízení. [17] V případě elektronické identifikace je vhodné se bavit pouze o BLE, protože přináší možnost tzv. Advertising. To znamená, že Bluetooth vysílá do všech okolních zařízení, aniž by se museli jednotlivá zařízení párovat

BLE má o polovinu méně kanálů než klasické Bluetooth, tedy 40. Každý kanál má šířku 2 MHz. Pracovní pásmo je 2402–2480 MHz, což je stejné pásmo, které využívá technologie Wi-Fi.

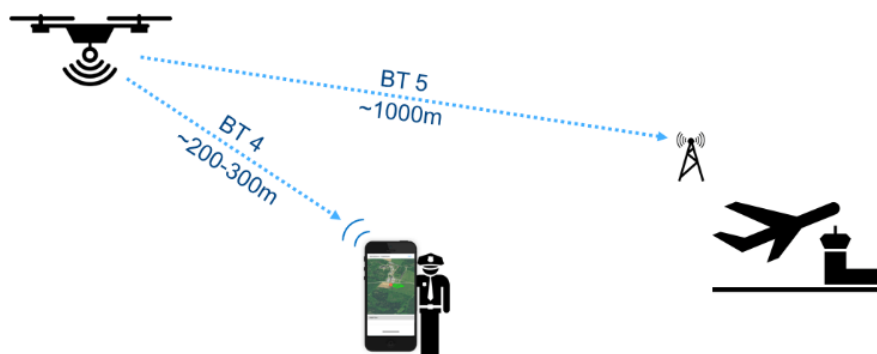
Jak již bylo řečeno, pro e-ID je nejvíce vhodné použít Bluetooth Advertising. Využívá se právě v BLE, protože se jedná o přenos menších zpráv, které nepotřebují tak velkou přenosovou rychlost, které poskytuje klasické Bluetooth. Tento advertising funguje jen na 3 kanálech, ze všech celkových 40. Konkrétně 37, 38 a 39. Použití těchto kanálů je z toho důvodu, protože Wi-Fi a Bluetooth pracují ve stejném pásmu. Výše bylo zmíněno, že Wi-Fi využívá převážně jen konkrétní tři kanály pro přenos dat, a právě Bluetooth kanály 37, 38 a 39 se nacházejí mimo tyto Wi-Fi kanály, aby se vzájemně nerušily. Na následujícím obrázku 3 je ukázka toho, jak se překrývají kanály pro wi-fi a Bluetooth.



Obrázek 3: Schéma Bluetooth kanálů a znázornění překryvání s wi-fi kanály [3]

Zbylých 37 kanálů je poté využíváno pro přenos běžných dat, při peer-to-peer Bluetooth komunikaci. S nově přichozí verzí Bluetooth 5.0, která také umožňuje BLE, se mohou pro advertising využívat i zbylé kanály a to tak, že po prvních třech 37, 38 a 39 se pošle tzv. pointer, který říká přijímači, že zprávy se posílají na zbylých kanálech. Bluetooth 5.0 je zpětně kompatibilní s verzí 4.0.

Zároveň příchod nejnovější verze 5.0 výrazně zvyšuje dosah technologie oproti předchozí verzi. Veškeré prováděné testy s verzí 4.0 ukazují hodnoty kolem 200-300 m [5], u verze 5.0 můžeme dostat až 4krát větší dosah. Společnost Nordic Semiconductor [4] provedla testy s verzí 5.0 při několika nastavených výkonech. Při nastavení jednotky na „long range“, došla k výslednému dosahu kolem 750 m. Rozdíl ve využití jednotlivých verzí je vidět na obrázku 4. S přihlédnutím na skutečně naměřené hodnoty verze 4.0 se výsledek výrazně blíží k uváděnému čtyřnásobnému dosahu. Tento výsledek převyšuje i dosah výše zmíněné Wi-fi technologie.



Obrázek 4: Bluetooth komunikace s teoretickým dosahem jednotlivých verzí [5]

Za určitých okolností, jako jsou lepší antény, žádné překážky mezi vysílačem a přijímačem a minimální interference z okolních vysílání, se dosah může dostat až k 1000 m.

Největší výhodou této technologie, ale i technologie Wi-Fi, je infrastruktura. Přijímačem může být každý moderní mobilní telefon nebo laptop, protože jsou již vybaveny potřebnými

technologemi. U jiných technologií, které budou popsány níže, musí dojít k vybavení uživatelů speciálními zařízeními, které budou moci toto vysílání přijímat. Tím se omezí počet osob, které budou moci získat informace z UA oproti Bluetooth a Wi-Fi, kde by mohl vysílání přijímat každý, s potřebnou aplikací v mobilním telefonu.

2.1.3 ADS-B (Automatic Dependant Surveillance – Broadcast)

Jedná se o automatické závislé sledování druhu broadcast, které je umístěné na palubě letadla. Data jsou z letadla/UA vysílána automaticky dvakrát za sekundu a informace jsou posílány plošně všem uživatelům v dosahu. Skládá se ze dvou základních částí:

1. ADS-B OUT

- a. Funkce na letadle/UA, která periodicky vysílá svoji polohu, rychlost, barometrickou výšku a identifikaci letadla/UA
- b. Systém ADS-B vysílá polohu vypočtenou pomocí GNSS

2. ADS-B IN

- a. Je to funkce komplementární k funkci ADS-B OUT. Slouží k příjmu zpráv ADS-B

Určité kategorie letadel nemusejí být vybaveny ADS-B IN a do této kategorie patří i UAS. To výrazně zmenšuje požadavky na ADS-B technologii pro UAS.

Pro přenos ADS-B byly navrženy tři technologie:

1. 1090ES – Extended Squitter
2. UAT (Universal Access Transceiver)
3. VDL Mód 4

VDL Mód 4 se nikdy nerozšířil a v současné době se vůbec nepoužívá. Na globální úrovni se rozšířil pouze 1090ES, které je také v Evropské unii jediným povoleným způsobem. V USA se ještě rozšířil UAT, který je využíván pro soukromé a rekreační lety.

1090ES (Extended squitter) je tedy globálně využíván v obchodní letecké dopravě. ES byl navržen přímo pro ADS-B a v Evropské unii je jako jediný schválený pro použití v celém letectví. UAT je na rozdíl od toho velmi málo využíván. K propojení vysílání s 1090ES je nutno doplnit infrastrukturu o ADS-R stanice, které přeposílají 1090ES jako UAT a opačně.

Největším problémem při využití ADS-B pro UAS je zahlcení prostoru vysíláním na 1090 MHz velkým počtem bezpilotních letadel. Pro toto využití by bylo nutné drasticky snížit výkony vysílačů na UAS a redukovat množství těch, kteří tuto technologii využívají [6]. ADS-B má dosah přibližně 200 námořních mil [24]. Při takovém dosahu by docházelo k četným odrazům signálu od okolních budov a kopců. Tyto odrazy by způsobovaly nadměrné interference, které

by snižovaly pravděpodobnost přijetí zprávy. S tímto i souvisí množství UAS v prostoru, které tuto technologii využívají. Navíc by se i snížila pravděpodobnost přijetí ADS-B zpráv vyslaných od letadel na zem.

Jako nejlepší možnost při využití ADS-B pro UAS je použít pro přenos technologii UAT. Protože ji nevyužívají dopravní letadla, tak by nedocházelo k rušení jejich signálů, ale bohužel je toto možné provést jen v USA z důvodu rozšířené infrastruktury pro tuto přenosovou technologii.

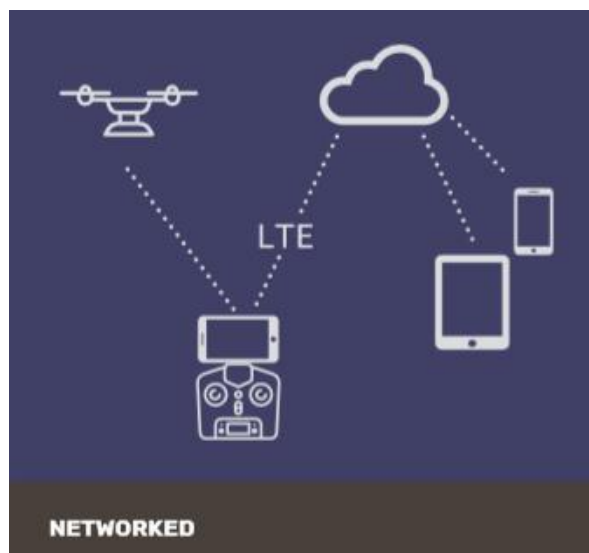
Z tohoto důvodu si nechal Federální úřad pro civilní letectví v USA (FAA) vypracovat studii s názvem „ADS-B Surveillance System Performance with Small UAS at Low Altitudes“ [6], která pojednává o využití ADS-B pro malé letové výšky, a to právě s technologií UAT. Byly testovány čtyři úrovně vysílacího výkonu 1 W, 0.1 W, 0.05 W a 0.01 W. Nejlépe vycházejí poslední tři úrovně, které ještě stačí, aby bylo možné zprávy zpracovat, ale mají velmi malý dopad na ostatní ADS-B vysílání, protože UAT technologie vyžaduje navíc ADS-R, které přeposílají zprávy 1090ES a UAT mezi sebou. Tím se zajistí, že letadla vybavená technologií UAT zachytí zprávy na 1090 ES, a opačně. A právě velké množství UAS v prostoru s ADS-B by způsobilo rušení zpráv z ADS-R vysílačů. Konkrétní testované hustoty provozu UAS jsou 5 UAS/km², 3 UAS/km², 1 UAS/km², 0.5 UAS/km²

Společnost uAvionix [7] se zabývá vývojem ADS-B pro UAS. Je to firma sídlící v USA, zabývá se tedy hlavně technologií UAT, ale poskytuje i vysílače na frekvenci 1090 MHz. Vyvinula mobilní přijímače ADS-B, které poté přeposílají signál do mobilních telefonů uživatele.

Z těchto poznatků lze říct, že tato technologie není vhodná pro rozšíření mezi běžně dostupné UAS pro širokou veřejnost. Buď kvůli problémům s interferencemi, infrastrukturou nebo příjmem signálu pro všechny uživatele v okolí. Ale jeví se jako velmi vhodnou pro UA ve službách policie, záchranných služeb a komerčních službách, jejichž práci je nutno vykonávat v blízkosti letišť nebo při BVLOS (Visual Line of Sight) letech. Tímto by tyto stroje získaly potřebné přímé spojení s jednotlivými letadly v jejich blízkosti, což je v současné době jeden z největších problémů bezpilotního létání.

2.2 Network

Do této skupiny lze zahrnout veškeré technologie, které využívají přenos dat přes internet, tedy všechny IoT (internet of Things) zařízení. To znamená, že data odeslaná z UA jsou uschována v centrální síti (uložišti) a odtud si mohou uživatelé data stahovat pomocí příslušné aplikace. Na obrázku 5 je vidět schéma network technologie.



Obrázek 5: Schéma vysílání typu Network [2]

Výhodou je téměř neomezený dosah, protože dokud je UAS a cílový uživatel, který data chce přijmout, v dosahu internetového signálu, je data schopen získat. Samozřejmě za předpokladu, že poskytovatel mezičlenu v podobě centrálního uložení udrží systém v provozu.

Z výše zmíněného vyplývá, že systém je závislý na přístupu k internetovému signálu, který se s lokací mění, a někde není vůbec, a je dostupný jen do určité výšky. To znamená, že systém nemůže zaručit provozuschopnost za každé situace a v jakémkoliv místě na zemi.

Velkou nevýhodou je, že pro přístup k internetové síti, musí být zařízení vybaveno kartou SIM od určitého operátora. Tento operátor může dočasně přestat službu poskytovat v rámci údržby a tím přestává být celý systém provozuschopný. To může být v určitých situacích fatální.

Mezi nejaktuálnější technologie v kategorii network patří 4G a momentálně se rozvíjející technologie 5G.

2.2.1 LTE – Long Term Evolution

Jedná se o technologii, která je určena pro vysokorychlostní internet v mobilních sítích. Spadá do standardu 3G, ale jeho rozšířená verze LTE Advanced již funguje na standardu 4G. Teoretická rychlost odesílání dat je 57.6 Mbit/s. Ve skutečnosti bude tato hodnota menší, protože záleží na obsazenosti zdroje signálu, vzdálenosti ke zdroji, množství překážek, počasí a velikosti pásma. U LTE se přenosová rychlost dělí mezi všechny uživatele připojené k danému zdroji signálu (vysílači). Tedy čím více uživatelů bude připojeno v danou chvíli, tím pomalejší bude přenos dat. Pokud je v dané oblasti k dispozici jen jedno pásmo, mohli by uživatelé pocítit znatelné zpomalení přenosu dat.

LTE využívá celosvětově několik přenosových pásem a každá země má přidělená konkrétní pásma. České republice je přiděleno LTE v pásmech 1, 3, 7, 8 a 20. Popis těchto pásem

v tabulce 2. Poté záleží na operátorovi, ve kterém pásmu nebo pásmech bude provozovat své LTE a v jaké šířce ho použije. Šířka kanálu poté přímo ovlivňuje přenosovou rychlost v daném pásmu. V Česku se používá pro pásma 3 a 7 šířka 20 MHz, což poskytuje rychlost odesílání až 50 Mbit/s. A pro pásma 1 a 20 se používá šířka 10 MHz, přitom se dosáhne rychlosti odesílání až 25 Mbit/s. [20] Lze používat i šířky menší, třeba šířka 3MHz, ale to se používá jen výjimečně.

Tabulka 2: Seznam LTE pásem v ČR [15], [16]

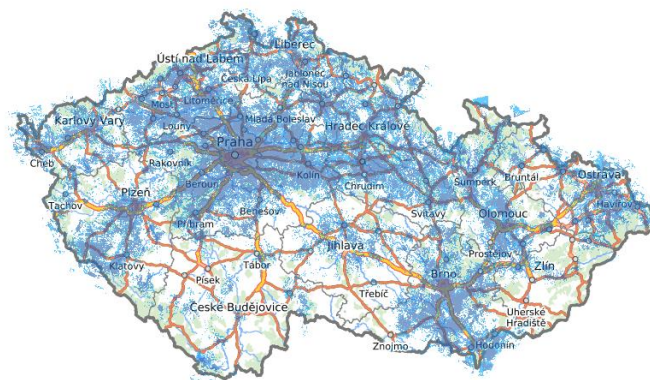
Název	Frekvence	Popis
Pásmo 1	2100 MHz	Primárně zde operuje 3G. Navíc se přidalo LTE a umožňuje vysílat z jednoho transceiveru 3G a LT
Pásmo 3	1800 MHz	Vhodné do míst s vysokými datovými nároky. Využívá se hlavně ve velkých městech
Pásmo 7	2600 MHz	Téměř nulové pokrytí. Používá se jen jako doplněk pro další pásma, protože zde operuje LTE Advanced
Pásmo 8	900 MHz	Stále se zde provozuje 2G. Ale přechází se na 800 MHz, kvůli nařízení ČTÚ
Pásmo 20	800 MHz	Má největší pokrytí v České republice. Dříve se využívalo společně s televizním vysíláním. S přechodem na digitální televizní vysílání, bylo uvolněno pro LTE

Všichni tři operátoři v České republice provozují LTE v Pásmech 1, 3, 7 a 20. Největší pokrytí je v pásmu 20, které pokrývá téměř celé území České republiky u všech operátorů. Nepokrytá zůstávají jen některá místa na okrajích území nebo v místech, kde je žádné nebo minimální osídlení. Mapa pokrytí pásmem 20 v České republice je na obrázku 6.

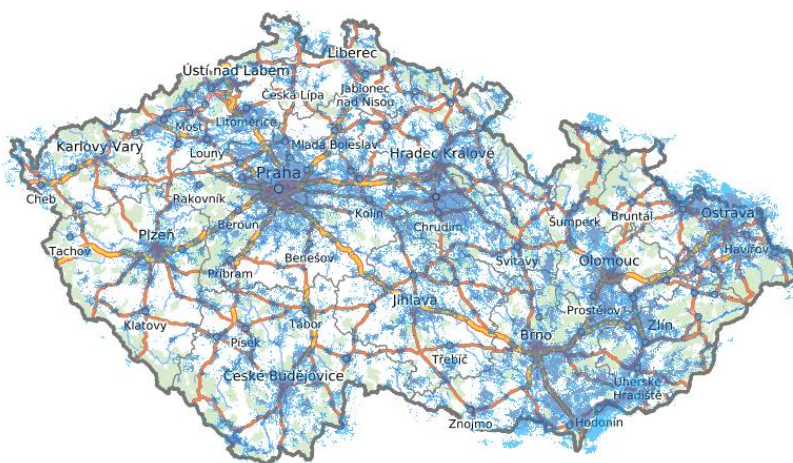


Obrázek 6: Mapa pokrytí v pásmu 20 [8]

V pásmu 3 a 1 je pokrytí už mnohem menší a liší se podle operátora. V těchto pásmech je pokrytí soustředěno hlavně do velkých měst, protože je vhodné pro vysoké datové nároky. Pokrytí pásmem 3 a 1 je vidět na následujících obrázcích 7 a 8. Z obrázků je vidět, o kolik je pokrytí v ČR menší oproti pásmu 20.



Obrázek 7: Mapa pokrytí v pásmu 3 [8]



Obrázek 8: Mapa pokrytí v pásmu 1 [8]

A v pásmu 7 je pokrytí téměř nulové. Nachází se v oblastech pouze jako doplněk k předchozím dvěma pásmům, a je na něm poskytováno LTE Advanced, které pracuje na standardu 4G. Poskytuje tedy větší přenosové rychlosti, ale nachází se spíše jen v místech, jako jsou obchodní centra. Pokrytí je opět vyobrazeno na mapě na obrázku 9.



Obrázek 9: Mapa pokrytí v pásmu 7 [8]

Pro přístup k mobilnímu internetu, musí být e-ID zařízení na UA vybaveno SIM kartou. Protože, v každé zemi jsou pro LTE přidělena jiná pásma, musí být zajištěno, že elektronická identifikace bude schopna v provozu i na těchto jiných pásmech. Nejčastěji mívají operátoři mezi sebou dohody, takže bude LTE fungovat i za hranicemi, pořád s jedním operátorem. Ale stále se mohou najít případy, kdy taková možnost nebude, proto se využívají tzv. eSIM.

eSIM (Embedded) je programovatelná SIM karta, která je integrovaná do obvodů vysílacího zařízení. Lze na ni opakovaně nahrávat jiné mobilní operátory podle toho, v jakém území zařízení operuje.

2.2.2 5G

Jedná se o nový telekomunikační standard pro nové mobilní sítě, který by měl nahradit stávající 3G, LTE a 4G. 5G sítě nabídnou skokové navýšení přenosové rychlosti a výrazné snížení doby odezvy. To znamená plynulejší přenos a aktualizace dat z UA. Snížení odezvy až na milisekundy umožní rozvoj autonomního řízení bezpilotních letadel. Teoretická přenosová rychlost je až 10 Gbit/s. [9] Při testech v Karlových Varech v roce 2018 se dosáhlo „pouze“ 1,8 Gbit/s. [19] Porovnání 5G a starších standardů je v tabulce 3

5G nabízí novou vlastnost tzv. Network Slicing. Jedná se o řešení, kdy je možné rozdělit 5G síť na různé virtuální sítě, kde každá bude mít jiné vlastnosti. Některé budou mít vysoké přenosové rychlosti a jiné budou mít zase minimální čas odezvy. Dále 5G umožní přímou komunikaci dvou IoT zařízení mezi sebou s vynecháním operátora, čímž se sníží zpoždění při komunikaci.

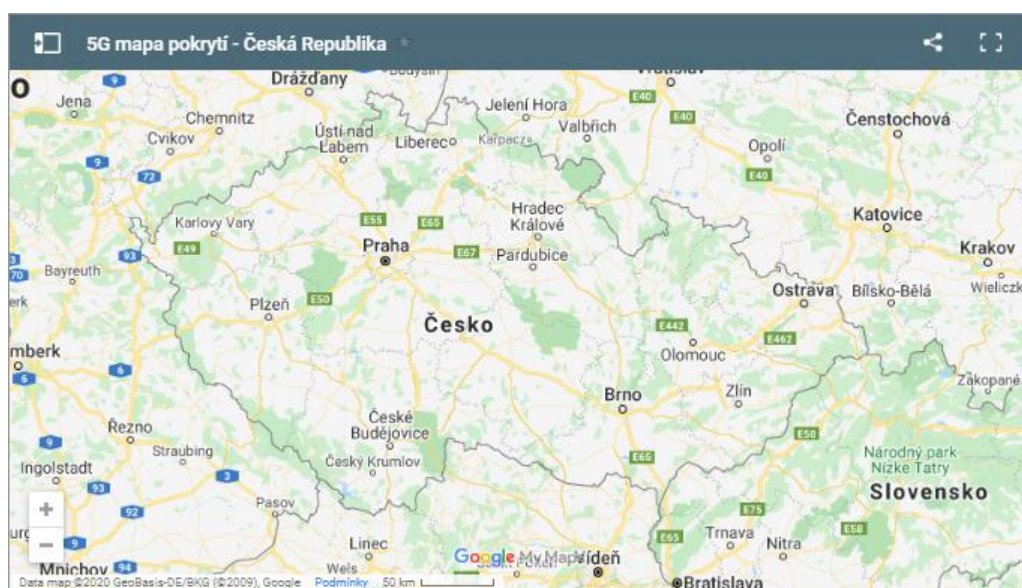
Budou zde dvě samostatné sítě. Jedna bude pracovat na frekvencích pod 6 GHz, druhá nad 6 GHz. Nízkofrekvenční pásmo, tedy pod 6 GHz, bude využívat současná mobilní pásma, ale budou mít 100 MHz kanály. Tím se zvýší přenosová rychlost až o 50 %, oproti LTE.

Hlavní pokrok 5G bude nad 6 GHz, kdy Evropě bylo přiděleno pásmo 24,25 - 25,5 GHz. Jedná se o prakticky nevyužité pásmo, což umožňují zvětšit šířku kanálů až na 400 MHz. Tím se dosáhne ještě větší přenosové rychlosti.

Tabulka 3: Porovnání 5G s přechozími sítěmi [9]

Vybrané parametry	Mobilní síť 2G	Mobilní síť 3G	Mobilní síť 4G	Mobilní síť 5G
Rok nasazení ve větším měřítku	1991	1998	2008	2020
Podporované služby	volání, SMS	volání, SMS, internet	volání, SMS, internet, streamované video	volání, SMS, internet, streamované video ve 4K, 3D video, IoT
Přenosová rychlost	0,1 MB/s	0,1–0,8 MB/s	15 MB/s	1–10 GB/s

Pokrytí 5G je na obrázku 10. Jak je vidět, tak v momentálně je pokrytí v ČR nulové. K 1. červenci 2020 proběhnou aukce, kde si jednotliví operátoři v ČR budou moci vysoutěžit jednotlivá pásma, která budou moci používat. Podle jednotlivých pásem se poté začne budovat infrastruktura 5G v ČR. Nepředpokládá se, že by 5G nahradilo stávající sítě během pár let.



Obrázek 10: Mapa pokrytí 5G v ČR [10]

Vyskytly se názory na bezpečnostní rizika 5G. Podle některých je možné díky 5G jednoduše sledovat polohu uživatelů. To spolu s masivními objemy dat a spoustou připojených IoT přiláká spoustu kyberútoků. A pokud se s 5G zamýšlí jako s možným členem v autonomním řízení, je třeba se na toto zaměřit.

Řeší se i zdravotní rizika spojená s 5G. Lidé se obávají špatného vlivu milimetrových vln, které používají 5G sítě, na zdraví organismu. Ale zatím nebyly prokázány žádné škodlivé vlivy.

2.2.3 FLARM

FLARM je společnost zabývající se vývojem proti srážkovým systémům pro letouny, vrtulníky, kluzáky a elektronickou identifikací pro bezpilotní letadla. V Evropě pracují všechny systémy na frekvenci 868.4 MHz. Všechny letadla jsou vybavena, podobně jako u ADS-B, dvěma moduly:

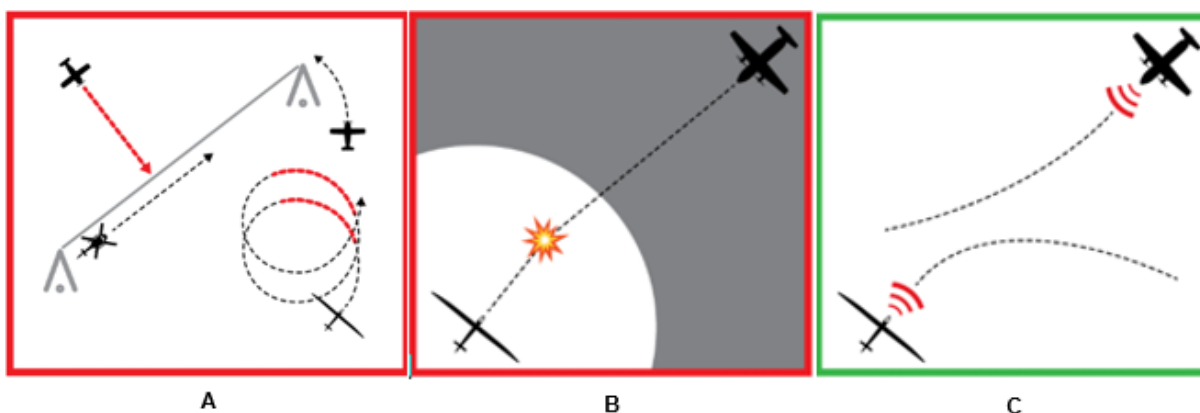
1. FLARM OUT

- a Funkce, která vysílá GNSS polohu, barometrickou výšku, rychlost a identifikaci. Touto funkcí je vybaven i modul pro elektronickou identifikaci UA

2. FLARM IN

- a Součástí systému zodpovědná za příjem signálu FLARM OUT. Signál přijímá, zpracovává a vypočítává možnou kolizní trajektorii a vydává výstrahu pilotovi. Tímto není e-ID modul vybaven

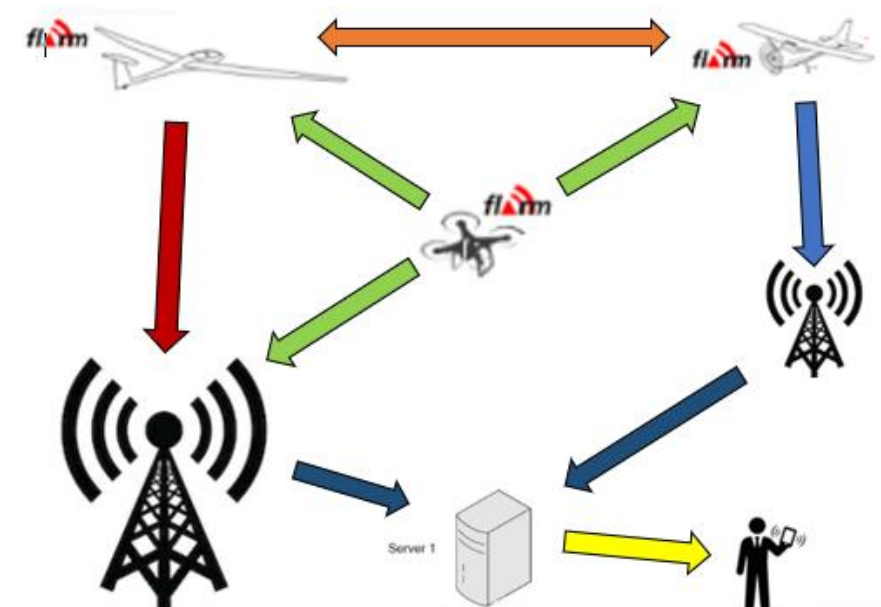
UA nepřetržitě vysílá signál. Tento signál je zachycen jiným FLARM zařízením, který je vybaven FLARM IN, a je schopen vypočítat trajektorii obou letadel. Pokud se tyto trajektorie v nějakém bodě protnou, je vydána výstraha pilotovi. Existují i moduly, které dokážou navrhnout úpravu aktuální trajektorie [11]. Znázornění na obrázku 11.



Obrázek 11: Vyobrazení funkčnosti FLARM detekce kolize [11], A) zobrazuje predikci možných kolizních situací B) Vyobrazení předpokládané kolize C) Návrh úpravy trajektorie pro zabránění kolize.

Signál z FLARMU, tedy polohu, rychlost, výšku a identifikaci, lze zobrazit na externích zařízeních pomocí mobilních aplikací. FLARM využívá aplikace třetích stran, ve kterých si může autorizovaný uživatel zobrazit všechna FLARM zařízení v dosahu, tedy umožňuje elektronickou identifikaci. Vysílá svůj signál do okolí, ten je přijat soustavou pozemních přijímačů a odeslán do uložišť, odkud je možné je pomocí internetového připojení stáhnout. Navíc umožňuje dalším letadlům v prostoru mít přehled o pohybu těchto UA. To je vlastnost, která u většiny řešení zatím chybí.

Bohužel ani FLARM technologie není v tomto dokonalá, protože tato spolupráce s dalšími letadly je možná pouze, pokud jsou vybavena FLARM zařízením. Tím jsou vybaveny hlavně letadla určená pro rekreační létání, jako jsou ultra lehká letadla nebo kluzáky. Pokud letadlo není vybavenou touto technologií, žádná vysílání nepřijme, a tedy nelze počítat kolizní trajektorii. Schéma komunikace FLARM mezi letadly a pozemními přijímači je na obrázku 12.



Obrázek 12: Schéma komunikace FLARM. Zdroj: Autor

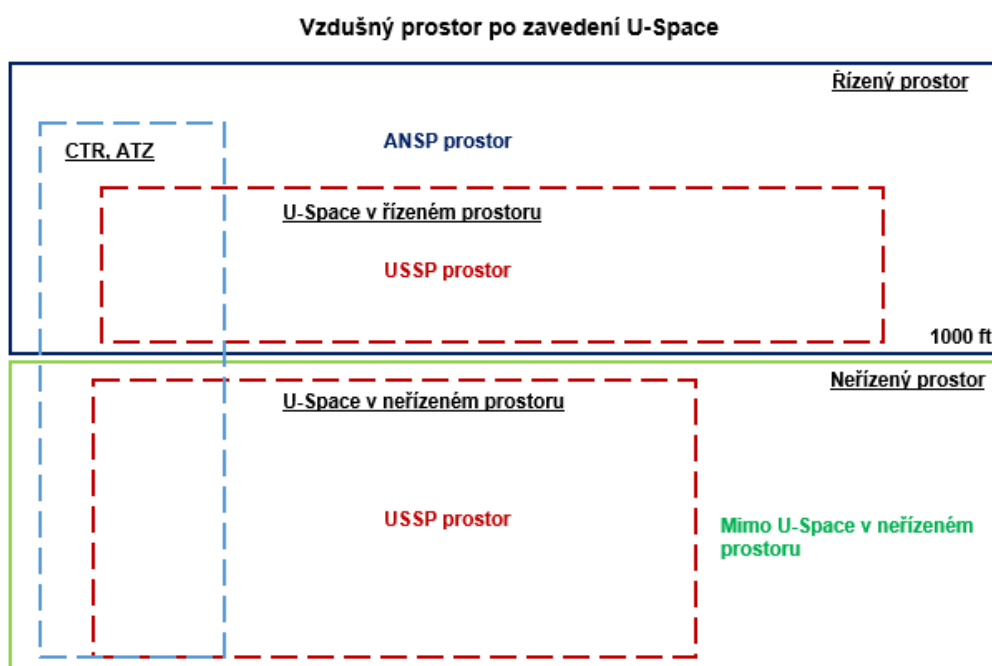
Je tedy mnohem lépe využitelný v městských podmínkách, ve srovnání s ADS-B. Nedochozí zde k rušení ADS-R signálu ze země při použití UAT a vysílač má menší výkon, tedy dosah, čímž se sníží četnost odrazů od okolních překážek. Zvyšuje bezpečnost pohybu UA ve vzdušných prostorech za VLOS, kde je zvýšený pohyb letadel s posádkou, hlavně v těch pro rekreační létání. Dále je vhodný pro bezpilotní letadla, která se pohybují v blízkosti menších letišť, kde je také zvýšený pohyb letadel.

3 Systémový pohled

Na základě dokumentu „EASA Opinion No 01/2020 High-level regulatory framework for the U-Space“ [12], kde došlo k bližšímu popsání U-Space a s ním spojeným prostorem, je možné rozdělit vzdušný prostor na 4 sekce. Tyto 4 sekce se pak dělí na dvě, které spadají do řízeného prostoru (nad 1000 ft v České republice) a na dvě, které patří do neřízeného prostoru (pod 1000 ft v ČR). Konkrétně to jsou:

1. U-Space v neřízeném prostoru (USSP)
2. Mimo U-Space v neřízeném prostoru
3. U-Space v řízeném prostoru (USSP)
4. Mimo U-Space v řízeném prostoru – (ANSP)

Dále se nám v obou prostorech nacházejí zóny CTR a ATZ, které dále určují velikost U-Space prostoru a požadavky na vybavení UAS. Na obrázku 13 je znázorněné rozdělení vzdušného prostoru.



USSP prostor

Prostor, ve kterém jsou poskytovány služby pro bezpilotní prostředky. Jsou to služby Traffic information, Network identification, Weather information, Tracking service, Geo-awareness service a další. Mohou se zde vyskytovat letadla s posádkou, která letí podle VFR. Ty musí v tomto prostoru vysílat svoji polohu v dostatečných intervalech

ANSP prostor

Prostor, ve kterém je poskytována služba řízení letového prostoru. Je oddělen od USSP prostoru a bezpilotní letadla sem směřují jen s povolením řízení letového provozu.

Obrázek 13: Vzdušný prostor po zavedení U-Space . Zdroj: Autor

3.1 U-Space v neřízeném prostoru

Jedná se o vyhrazený prostor, který se v České republice rozpíná od země do 1000 ft, nachází se tedy ve vzdušném prostoru G. V prostoru G se pohybují letadla s posádkou, která létají podle VFR a nachází se zde zóny CTR a TMA, což jsou zóny, které slouží pro ochranu prostor v okolí letišť. CTR je řízený vzdušný prostor v okolí řízených letišť. ATZ se stanovuje v okolí neřízených letišť a provoz bezpilotních letadel v tomto prostoru je třeba koordinovat s letištní letovou informační službou nebo provozovatelem letiště.

Dále se zde můžeme setkat s výškovými překážkami, jako jsou budovy, stromy, různé stožáry, a lety zde probíhají v blízkosti nezainteresovaných osob. Pro všechny tyto faktory, je třeba přizpůsobit použití technologie pro elektronickou identifikaci.

Jelikož se nacházíme v U-Space, jedná se o prostor, kde jsou poskytovány služby všem UA kategorií C1, C2 a C3. Zároveň je pro tyto kategorie povinná elektronická identifikace. Dále v textu budou popsány technologie elektronické identifikace, které jsou vhodné pro tento typ vzdušného prostoru.

3.1.1 Network

Protože se zde nacházíme v U-Space, které ve svých požadavcích umožňuje vysílat data pomocí network technologie, jak je zmíněno ve druhé kapitole, je možné tuto technologii považovat za použitelnou v tomto prostoru. Avšak, toto platí pouze pro službu network identification service. Samostatné e-ID jako takové, stále musí splňovat nařízení a musí tedy být přímým vysíláním. To znamená, že podle aktuálního znění, je nutné spárovat network s nějakou jinou broadcast technologií.

Network je podstatně jednodušší pro implementaci pro network identification service, protože infrastruktura přijímacích stanic je již vystavěná, narozdíl od stanic pro příjem většiny broadcast technologií, které jsou spíše lokálním řešením než řešením přes celý vzdušný prostor. Network je tedy vhodný pro tuto službu využívat, protože již poskytuje online sledování celého prostoru, což je pro poskytování služeb v U-Space podstatné.

Problém u této technologie spočívá v tom, že ve chvíli, kdy nebude v dané oblasti signál, tak nebude tato služba fungovat a s ní i celá network technologie. Ve chvíli, kdy k takové ztrátě signálu dojde, bude celý provoz „oslepen“ a již ho nebude možné řídit. A pokud se bavíme o BVLOS letech, tak se jedná o fatální selhání, protože není možné zabránit případným kolizím. To lze řešit právě tím nutným spárováním s broadcast technologií.

U-Space v neřízeném prostoru se vypořádává s letadly s posádkou tak, že letadla, která vletí do tohoto prostoru jsou povinna, vysílat svoji pozici i přesto, že jsou pro ně v neřízeném

vzdušném prostoru. U-Space service provider pak na základě pozice letadla s posádkou je schopen navrhnout takovou úpravu uspořádání UA v prostoru, aby nedošlo ke kolizi.

Tedy při případné nefunkčnosti celého systému, by mohlo dojít i ke kolizím s dalšími letadly, nejen s bezpilotními. Je tedy třeba, aby při nefunkčnosti této služby byl k dispozici jiný způsob e-ID. Ten je potřeba z důvodu, aby mohli příslušné pozemní složky identifikovat jednotlivé UA, ať už za letu, nebo po přistání. Navíc budou moci operátoři v dosahu dané technologie sledovat dění v prostoru.

Vhodnými technologiemi pro zálohu pro tento prostor jsou Bluetooth, Wi-Fi a FLARM.

3.1.2 Bluetooth/Wi-Fi

Jelikož obě technologie pracují na stejných frekvencích a téměř všechna moderní mobilní zařízení je mohou přijímat, je možné je zmínit pospolu. Protože je USSP povinen zajistit příjem i broadcast vysílání, je stále zachována funkčnost USSP a tím i network identification service [12].

Tyto technologie mají omezený dosah na pár stovek metrů, bude tedy nutné vymyslet způsob, jakým dostat vysílaná data od všech UAS v prostoru k USSP. Nejvhodnější způsob by byl využít mobilní telefony v oblasti, ale s tím přicházejí určité problémy jak právní, tak technické. Jako třeba, že data by byla nejspíše přeposílána přes mobilní data nebo wi-fi do internetové sítě. Stal by se z toho tedy jakýsi hybrid. Což je vhodné pro samotné e-ID, ale neřeší to problém s výpadky network identification service, jehož funkčnost je kritická pro U-Space a BVLOS lety.

Ale pokud se zaměříme čistě na technologii Bluetooth nebo wi-fi, je nespornou výhodou, že zde nemůže dojít k žádnému výpadku signálu.

3.1.3 FLARM

Tato technologie je velmi specifická. Vysílá na frekvencích, které nezachytí mobilní telefony a je rozšířena jen v některých typech letadel, jako jsou ultra lehká letadla nebo kluzáky. A ani v těchto letadlech není ve všech případech instalována.

Nespornou výhodou je, že signál mohou přijímat ostatní letadla s touto technologií. Pokud je letadlo vybaveno FLARM IN modulem, je schopen přijímat tento signál. Jednotka FLARM v letadle je poté schopna spočítat na základě pozic obou letadel kolizní kurz. Nejnovější moduly jsou schopny navíc navrhnout příslušnou úpravu kurzu. Podobně jako systém TCAS. Tuto schopnost mají pouze moduly pro letadla s posádkou. E-ID modul pro UA má jen schopnost vysílat data.

To by umožnilo zůstat UAS ve vzduchu i přes nefunkčnost USSP. Toto je ale vhodné jen pro nezbytné operace, protože jednotlivá UAS budou pořád oslepena, protože e-ID moduly od FLARM, nejsou navrženy na výpočty kolizních kurzů a ani nejsou schopny přijímat signál.

Nevýhodou je, že pozemní složky nebudou moci sledovat UAS, jako v případě Bluetooth/wifi, které se dají přijímat i mobilním telefonem s příslušnou aplikací. V případě FLARM je nutno mít přijímač, který následně signál přepošle. Popřípadě existují přenosné přijímače FLARM, které by bylo možné využít. Dále existují přijímací stanice, které následně signál zpracovávají a přeposílají na internetovou síť. Poté je možné informace zobrazit na mobilních telefonech s příslušnou aplikací [13].

3.2 Mimo U-Space v neřízeném prostoru

Jedná se o stejný prostor jako v případě U-Space, tedy od 0 do 1000 ft, výskyt prostorů CTR a TMA, Zakázané zóny, lety nad civilisty a jiné. Rozdíl je v tom, že zde neprobíhá kontrola provozu pro bezpilotní letadla, není tu tedy USSP. Není tu tedy třetí strana, která by zabránila srážce mezi UA nebo mezi UA a letadlem s posádkou.

Z tohoto důvodu je vhodné navrhnout, aby se v tomto prostoru prováděli pouze lety v rámci VLOS, tedy do viditelné hranice. Operátor by tak měl pořád svůj UA na dohled a mohl by učinit potřebné kroky k zabránění srážce.

Níže budou opět popsány ty technologie, které jsou vhodné pro použití v tomto vzdušném prostoru.

3.2.1 Bluetooth

Jelikož zde nejsou poskytovány žádné U-Space služby, je dostačující provozovat pouze lokální elektronickou identifikaci, protože není potřeba přenést data až k USSP. Data by byla přenášena za každé situace a každý kdo je v dosahu, tedy všechny ovlivněné osoby, by mohli získat potřebné informace o daném letu.

Pokud by se navázalo na doporučení létat pouze VLOS, je lokální identifikace nejlogičtější volbou, protože by byla viditelná všechna zařízení v dosahu a tento dosah je dostačující pro takovéto operace. Operátoři UA by tedy měli v dané omezené lokalitě přehled o všech zařízeních, ovšem za předpokladu, že je každý schopen signál přijmout. Signál je možno přijmout všemi moderními mobilními telefony typu smartphone, které mají v sobě nainstalovanou příslušnou aplikaci.

Dále může existovat zprostředkovatel, který by tato data sbíral a poté poskytoval pomocí mobilních sítí všem uživatelům. Každý přijímač tohoto signálu by mohl data přeposílat do internetové sítě, kde by se uložila a poté by si je odtud mohli příslušní uživatelé stahovat. To by zvýšilo bezpečnost provozu v tomto prostoru.

3.2.2 Network

Podle aktuálního znění nařízení komise 2019/945 [1], je za e-ID považováno jen to, co spadá do technologií broadcast. Ale i přesto je zde tato možnost uvedena, tedy i mimo U-Space, protože je to jedna z možných technologií, která je dostupná a ekonomicky přívětivá. Navíc je zde na ni kladeno méně požadavků na spolehlivost a stabilitu, protože je zde absence USSP.

Problém nastává opět ve chvíli, kdy dojde ke ztrátě signálu. Pak není UAS možné zobrazit na žádných dostupných zařízeních. Ovšem zde to není tak kritické, protože jsou povoleny jen VLOS lety a nejsou tu poskytovány žádné služby.

3.2.3 FLARM

V tomto prostoru by byl více přínosný než v předchozích případech, protože by se tím zajistila konektivita mezi bezpilotními letadly a letadly s posádkou. To opět výrazně zvyšuje bezpečnost provozu. A to zejména díky tomu, že se instaluje hlavně v kluzácích a ultralehkých letadlech, které se vyskytují nejčastěji v tomto prostoru.

Bohužel se jedná částečně o network řešení, takže se v případě výpadku internetové sítě nedá mluvit o plnohodnotném e-ID. Ve chvíli, kdy je připojení na internet dostupné, je možné toto přeposílat přes pozemní stanice do mobilních telefonů a vznikne tím plnohodnotné e-ID, které podporuje bezpečnost a soukromí osob.

3.3 U-Space v řízeném prostoru

Tento prostor se nachází v České republice nad hranicí 1000 ft. Horní hranice prostoru je stanovena státem podle toho, jaké vytyčí hranice U-Space prostoru. Všechny vzdušné prostory nad hranicí 1000 ft jsou již řízeným prostorem, proto je potřeba nastavit přísnější podmínky pro provoz bezpilotních letadel v tomto prostoru.

Provoz UA je zde oddělen od běžného provozu. Je zde vyhrazen prostor, ve kterém se budou moci UA pohybovat a tento prostor bude řídit USSP. Prostory mimo budou řízeny ANSP (Air Navigation Service Provider). Tedy nebudou fungovat dvě rozdílné služby v jednom prostoru ve stejnou chvíli. Lety podle VFR, které se pohybují v prostoru E budou stále moci prolétat i prostorem USSP, ale musí vysílat svoji pozici, i přesto, že to v prostoru E lety podle VFR dělat nemusejí.

Jelikož se pohybujeme v prostoru, kde se mohou vyskytovat letadla letící podle IFR a dá se předpokládat, že většina UAS operací zde bude BVLOS, je potřeba zajistit, že se nestane, aby se UA dostaly mimo území USSP. Poté by okolní provoz nevěděl o „narušiteli“ a mohlo by dojít ke srážce. Pokud totiž dojde k výpadku systémů USSP, nikdo nebude navigovat UAS pro setrvání v prostoru a mohli by se dostat do koridorů s provozem mimo.

Ideální řešení by bylo, aby po výpadku U-Space služeb všechna UA v prostoru nuceně přistála. Problém je, že UA nemůže přistát jen tak někde. Poté by mohl přistát třeba na dálnici, na budově, na cizím pozemku nebo někoho srazit.

Dnešní UA mají schopnost po výpadku signálu od řídicí stanice (ovladače) se vrátit nad místo vzletu a tam přistát. Možná je vhodné využít i stejný princip u tohoto provozu, kde po výpadku služby se všechna bezpilotní letadla samy odkloní na předem definovanou bezpečnou lokaci a na ní přistanou.

Jako v předchozích odstavcích, níže budou opět popsány technologie, které byly vybrány jako vhodné pro tento vzdušný prostor.

3.3.1 Network

Stejně jako v předchozích prostorách U-Space, je zde poskytována služba network identification service. Tedy je zde možné a výhodné využívat network technologie pro přenos dat, ale musí se zde brát ohled na maximální dostupnou výšku.

Stát musí stanovit horní hranici prostoru takovou, aby byla zajištěná 100% dostupnost signálu i v dané výšce. Dnes je již možné vysílat internetový signál skrze satelity, ale to sebou nese potřebu nákladnějšího vybavení pro UAS. Opět se díky této technologii dá zaručit plynulé sledování provozu, aby nedošlo ke kolizi mezi UA nebo se nějaký nedostal mimo vytyčený prostor.

Ve chvíli, kdy tato služba přestane fungovat, je to mnohem více nebezpečné, než v prostoru pod 1000 ft. Je potřeba zajistit, že bezpilotní letadla budou moci po výpadku bezpečně opustit prostor a přistát. Protože pokud při BVLOS nejde řídit provoz, musí se přerušit. A jediný bezpečný způsob je, že budeme vědět, kde se v prostoru jednotlivá UA nacházejí.

Tento problém zde opět řeší nutnost spárovat to s dostupnou broadcast technologií. Jen je zde potřeba určit tu vhodnou, protože se nacházíme ve zcela odlišném prostoru, kde se kolem nás uskutečňuje naprosto jiný okolní provoz. Vhodnými technologiemi jsou Bluetooth, Wi-Fi nebo ADS-B. Ale ne všechny 3 jsou stejně vhodné. Níže bude popsáno, proč jsou vhodné, ale taky jejich nevýhody pro tento prostor.

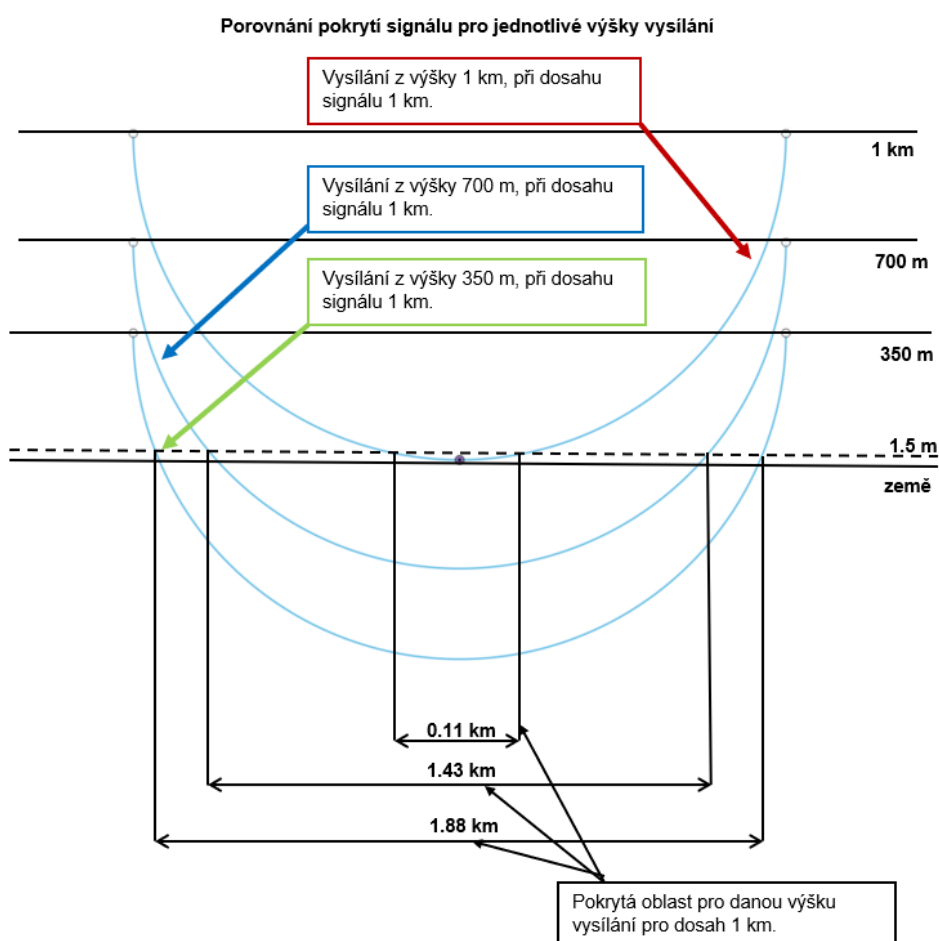
3.3.2 Bluetooth/Wi-Fi

U této technologie je problém s velmi limitovaným dosahem. Maximální dosah za dokonalých podmínek se pohybuje kolem 1 km. Protože signál má kulový charakter, s rostoucí výškou vysílání se výrazně zmenšuje plocha na zemi, kde je možné signál přijmout. Z toho vychází, že maximální teoretická výška, ze které je možné tento signál na zemi přijmout, je 1000 m. To je ale limitní hranice, která způsobí, že bude možné signál přijmout jen z velmi malé oblasti na zemi. Tato problematika je vyobrazena na obrázku 14.

Podle toho by se musela limitovat výška U-Space prostoru, ale již se dostáváme do takové výšky, která je hraniční pro dosah a nelze zaručit dostatečné pokrytí. Mohlo by se tedy stát, že vzniknou jakási slepá místa v prostoru. Protože USSP kontroluje, aby se UA nesrazila s letadly s posádkou, které letí podle VFR, je nutné mít toto pokrytí spolehlivé.

V případě nad 1000 ft, kde se vyskytují IFR lety, které UA vidět nemohou, nastává výrazný problém. USSP prostor je oddělený od prostoru pro letadla s posádkou, která létají IFR, ale pokud nebude možné kontrolovat, aby UA neopustil jeho vyhrazený prostor, může nastat situace, kdy se dostane do okolního prostoru. Tam je pro ostatní letadla neviditelný a může způsobit nehodu.

Z tohoto důvodu to není nejvhodnější technologie pro tento prostor, ale i přesto je možné ho do určitých výšek využívat. Tedy je možné stanovit výškový limit pro UA, které ji využívají.



Obrázek 14: Schéma pokrytí Bluetooth. Zdroj: Autor

3.3.3 ADS-B

Jedná se o technologie, které jsou běžnou součástí, dokonce povinnou, v letectví. V našem případě by bylo vhodné je využít při nouzových situacích, i přesto, že se běžně používají jako hlavní identifikační technologie v letectví. Ostatní účastníci letového provozu by věděli o pohybu UA, mohli by tedy podniknout kroky, aby se jim vyhnuli. Nebo obráceně, možnost využít signálu z UA pro jejich uspořádání v prostoru.

Problém je, že neexistuje infrastruktura pro příjem signálů z nízkých výšek, tedy signál neputuje tak daleko a stávající přijímače na zemi ho nezachytí. Ale i přesto, že by se signál nedostal až k přijímacím stanicím na zemi, stále by jej mohlo přijmout každé letadlo s ADS-B IN v dosahu.

Na hranici 1000 ft by došlo k přepnutí z ADS-B na Bluetooth nebo Wi-Fi. Provozování ADS-B je za touto hranicí zbytečné, protože pokud je provozováno v nízkých výškách, pravděpodobně se nedostane k přijímacím stanicím na zemi, kvůli minimální výšce pro radarové vektorování (Minimum Radar Vectoring Altitude). To určuje minimální výšku, ve které je možné letadlo sledovat, pokud není stanoveno jinak. Avšak v určitých oblastech, například v okolí letišť, je stále vhodné jej ponechat zapnutý.

Pod touto hranicí 1000 ft, by pro UA platilo to stejné, jako již výše popsané. Tedy pravidla pro provoz v U-Space v neřízeném prostoru nebo pravidlo pro provoz Mimo U-Space v neřízeném prostoru.

3.4 Mimo U-Space v neřízeném prostoru

Jelikož se tento prostor nachází mimo řízený prostor pro UA, ale pořád zde dochází k IFR letům, kterým je poskytována služba řízení letového provozu, je nutné k tomu UA přizpůsobit. Protože nejsou řízeny, musí se zajistit, že IFR lety nebudou jimi ohroženy. To se zařídí jen tak, že budou UA viditelné pro ANSP. Proto se nabízí navrhnout pro tyto UAS zavést stejné požadavky, jako pro lety podle IFR.

Potom co se dostanou buďto do U-Space nebo pod 1000 ft, začínají jednat zase podle pravidel U-Space prostoru. Tedy pouze mimo U-Space prostor v řízeném prostoru se chovají podle pravidel létání pro letadla s posádkou.

4 Identifikace překážek

V této kapitole budou probrány vybrané překážky při zavádění jednotlivých technologií. Byly vybrány ze dvou kategorií. První kategorie je z pohledu technologie získávání dat pro e-ID. V tomto případě technologie získávání údajů o výšce UA.

Druhá kategorie je z pohledu technologie přenosu. Tedy způsob, jakým se přenáší data z UA ke koncovému uživateli, například ADS-B, FLARM a podobně. Byly vybrány jen takové, které jsou považovány za nejzávažnější a je nutné je vyřešit, než dojde k implementaci technologií do systému.

4.1 Systém měření výšky

Volba správného způsobu měření výšky patří k nejkritičtější části výběru technologií pro elektronickou identifikaci. Je nutné zvolit takový způsob, který bude poskytovat všem, všude a v jakékoliv chvíli stejné informace bez ohledu na to, jak se budou měnit vnější podmínky, za kterých je let provozován.

Z těchto důvodů je nejvhodnější zvolit takový způsob, který neměří svoji výšku podle dění v atmosféře, jako je barometrický výškoměr. Protože se tlak mění v závislosti na okolní teplotě, která je vysoce závislá na okolní zástavbě a na povrchu, nad kterým je let provozován. Tento způsob je vhodný pouze pro měření výšky u UA, která se budou nacházet ve výškách nad 1000 ft, tedy v U-Space v řízeném prostoru. Zde se již vliv okolních překážek a povrchu na tlak zmenšují a také je možné provádět úhybné manévry v podstatně větších rozdílech výšek, než je možné v nižších výškách.

Ani volba měření výšky pomocí GNSS není ideální. I zde je mnoho faktorů, které způsobují nepřesnosti měření. Sice existují způsoby, kterými se tyto faktory kompenzují, a to velmi úspěšně, ale určité nepřesnosti mohou i tak vzniknout. To nevádí, pokud se technologie využívá v letadlech s posádkou, kdy se lety provozují v mnohem vyšších výškách, než je předpokládáno u bezpilotních letadel. UA se budou pohybovat nejčastěji do výšky 1000 ft (300 m) a úhybné manévry budou probíhat za mnohem menších rozdílů výšek, než je tomu v případě letadel s posádkou.

Z toho vyplývá, že nejvhodnějšími způsoby měření výšky budou takové způsoby, které výšku měří vůči jedinému bodu na zemi, který je konstantní. Tedy získaná výška bude za všech okolností vždy stejná. K tomu účelu lze vybrat dva způsoby měření, které jsou i v souladu s Nařízením komise (EU) 2019/945 [1]. Zde je uvedeno, že pro účely elektronické identifikace je nutné využít měřenou výšku vůči povrchu, tedy výška nad povrchem nebo výšku nad bodem vzletu.

4.1.1 Měření výšky nad bodem vzletu

Tato metoda se běžně využívá pro měření výšky u dnešních bezpilotních letadel. Poloha vzletu se určí jako nulová hladina a od této hladiny se poté pomocí barometru určuje rozdíl tlaků při startu a tlaku v aktuální výšce.

Jeden z hlavních problémů je využití barometru pro porovnávání tlaků. Jak již bylo zmíněno výše v textu, využití barometru pro určení výšky u bezpilotních letadel je nevhodné z důvodu změny tlaku, které mohou být pro zamýšlené výšky letu zásadní.

Dalším problémem je, že každé UA by v tuto chvíli využívalo naprosto odlišné nulové body, tedy každý by ukazoval jinou výšku, i přesto, že by ve skutečnosti byly ve stejné hladině a hrozila by tedy kolize.

Třetím zásadním problémem při využití je, že nám neukazuje skutečnou výšku od terénu. Ukazuje výšku od toho nulového bodu, tedy pokud během letu drží stálou hladinu, tak výška letu zůstává celou dobu stejná bez ohledu na to, jak se mění výška terénu a jak moc se k terénu UA přibližuje nebo oddaluje. To by nebyl problém pro využívání mimo U-Space prostory, kde není výška až tak zásadní, protože se provozují pouze VLOS lety. Ale uvnitř U-Space prostoru je předpokládáno, že se v následujících letech budou provozovat i BVLOS lety, pro které je zásadní znát svou výšku nad povrchem. Z toho důvodu je i vhodné, aby samotná elektronická identifikaci vysílala tuto výšku, protože již zmíněná Network identification service bude nedílnou součástí těchto letů

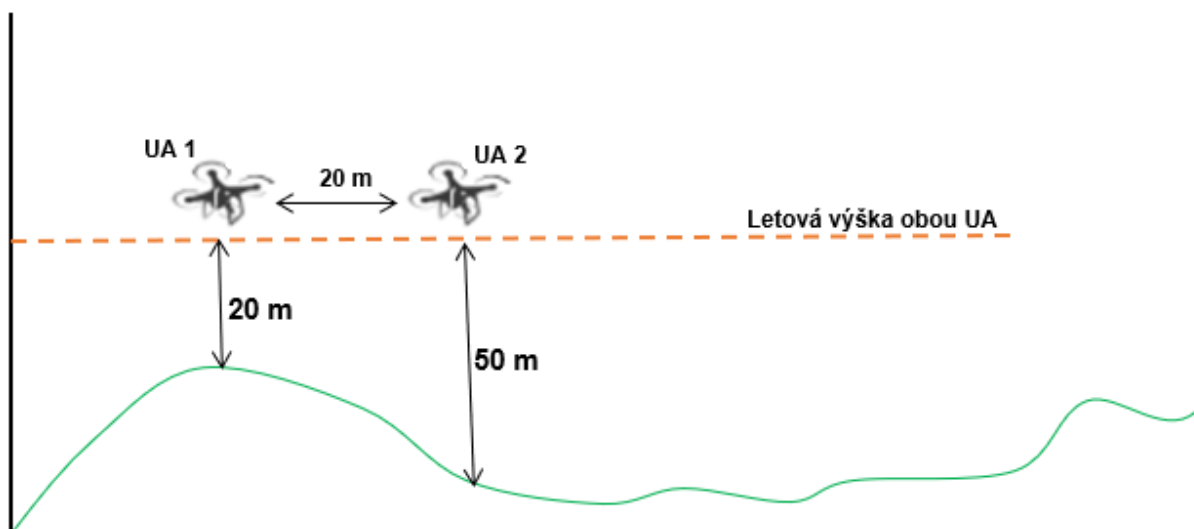
S ohledem na tyto 3 zmíněné problémy není vhodné, aby byl tento způsob používán pro účely elektronické identifikace, protože neposkytuje dostatečně vhodné informace pro vykonání bezpečného letu za všech situací.

4.1.2 Měření výšky nad povrchem

Tento způsob zbyl jako jediný možný a také se dá považovat za nejvhodnější způsob, který poskytuje všechny potřebné informace a za každé situace budou tyto informace pořád stejné. Princip je takový, že se měří skutečná výška vůči povrchu, nad kterým se v danou chvíli nacházíme. Dnešní UA již tuto technologii využívají, ale ne pro měření letové výšky, ale jako bezpečnostní prvek, aby nenarazili do okolních překážek a do země. Funguje na mnohem menší vzdálenosti, většinou několik metrů. Využívá se světelného zařízení, které vysílá světelné signály a měří jejich dobu od vyslání k návratu.

Letadla s posádkou využívají tento způsob pro měření své skutečné výšky, ale zde se využívá zařízení zvané radiový výškoměr. Kde se porovnává doba mezi vysláním a přijetím odraženého signálu. Tento způsob zaručuje vysokou přesnost i na stovky metrů.

Avšak i měření výšky nad povrchem má významný problém, který je nutné vyřešit. Ani zde nemají dva UA ve své blízkosti stejnou měřenou výšku i přesto, že se nacházejí ve stejné hladině. Protože měřená výška je měřena od terénu, závisí tedy na členitosti terénu v dané oblasti. Jak lze vidět níže na obrázku 15, pokud se budou dva UA nacházet v horách, je rozdíl výšek dvou UA, které mají horizontální vzdálenost např. 20 metrů, několik desítek metrů i přesto, že jsou ve stejné letové výšce.



Obrázek 15: Rozdíl výšek dvou UA, která mají stejnou letovou hladinu při měření výšky od povrchu.

Zdroj: Autor

Tento problém je nutné vyřešit, aby bylo možné provádět BVLOS lety. Pro ně je zásadní znát výšku od terénu, ale také je nutné znát skutečný rozdíl výšek od okolních UA v prostoru. A protože se tyto lety budou provozovat pouze v U-Space prostoru, je díky Network identification service možné vytvořit převodní systém, který bude popsán v následující kapitole.

4.2 FLARM-Malé pokrytí přijímačů

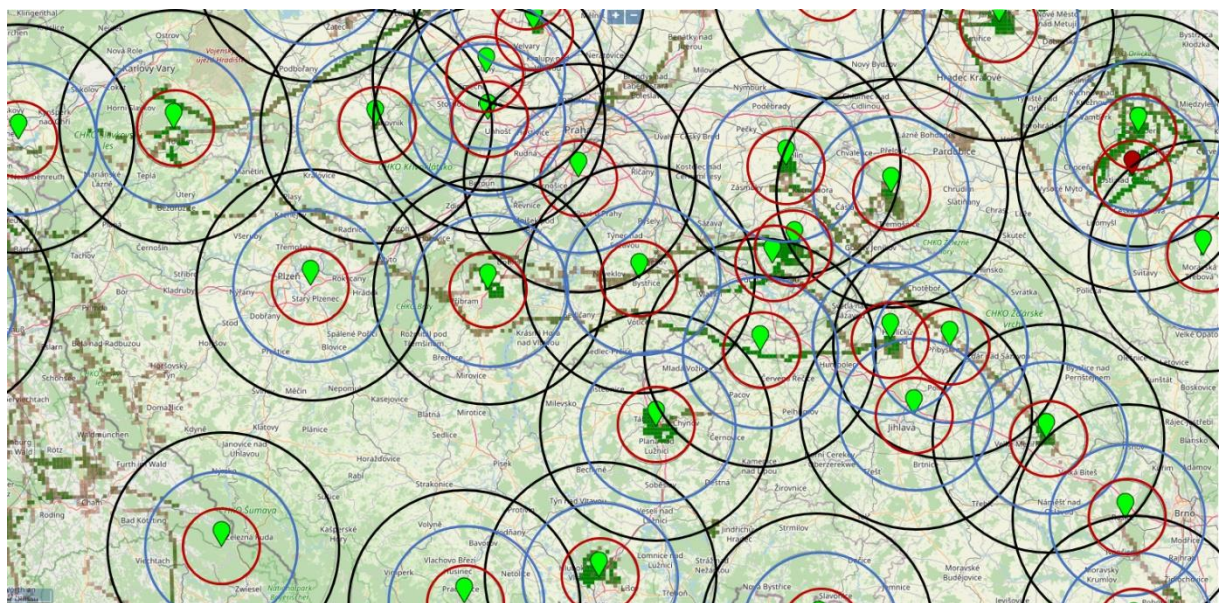
Jsou dvě možnosti, jak FLARM přijímat. Speciální mobilní přijímač nebo přijímací stanice, které poté signál přeposílají do uložiště, odkud je možné je stahovat. Dá se předpokládat, že první možnost bude dostupná spíše pro pověřené osoby, jako jsou policisté nebo jiné osoby, které se zabývají kontrolou prostoru, protože přístroj je mnohem větší jak mobilní telefon a je nutné si ho pořídit. Druhý způsob je již dostupný každému s připojením k internetu a mobilním telefonem s příslušnou aplikací.

Zatím není přímo definované, jestli je e-ID určené hlavně pro osoby, které mají dohlížet na provoz UA, tedy různé pověřené osoby. Nebo jestli je určené pro všechny zapojené osoby, kde zapojenou osobou se myslí každý, který je přímo ovlivňován daným UA. Tedy i osoba na své zahradě, nad kterou se UA pohybuje, je zapojenou osobou a má právo získat potřebné

informace o UA. Z toho důvodu je nutné všechny technologie směřovat tak, aby mohli být využívány pro obě situace.

A právě kvůli tomu nastává u FLARM technologie potíž. Toto vysílání nelze přijímat žádnou běžnou technologií, kterou disponuje běžný obyvatel. Je potřeba konkrétně složených a naprogramovaných sestav, které jsou schopny tento signál přijmout a správně data zobrazit. To nás omezuje na pouze určitou skupinu osob, kteří touto technologií disponují a mohou signál přeposílat tak, aby ho bylo možno přijímat snáze.

Taková skupina existuje a jmenuje se Open glider network (OGN). Síť, která je přímo navržena na příjem FLARM signálu. Jedná se o individuální uživatele, kteří zakoupí nebo postaví přijímač, pomocí něho pak přijímají jednotlivé signály v dosahu a přeposílají je přes internetový protokol na OGN servery. Odtud si je poté mohou ostatní stahovat přes internet a informace zobrazovat. Aktuálně je tato síť poměrně rozsáhlá po celé Evropě, tedy část území je pokrytá. Na obrázku 16 je zobrazena mapa s pokrytím v části České republiky. Jak lze vidět, určitá část území je pokrytá, ale toto pokrytí je velmi nepravidelné. Tedy v určitých oblastech lze vidět shluk přijímacích stanic a v jiných oblastech se nachází například pouze jeden přijímač.

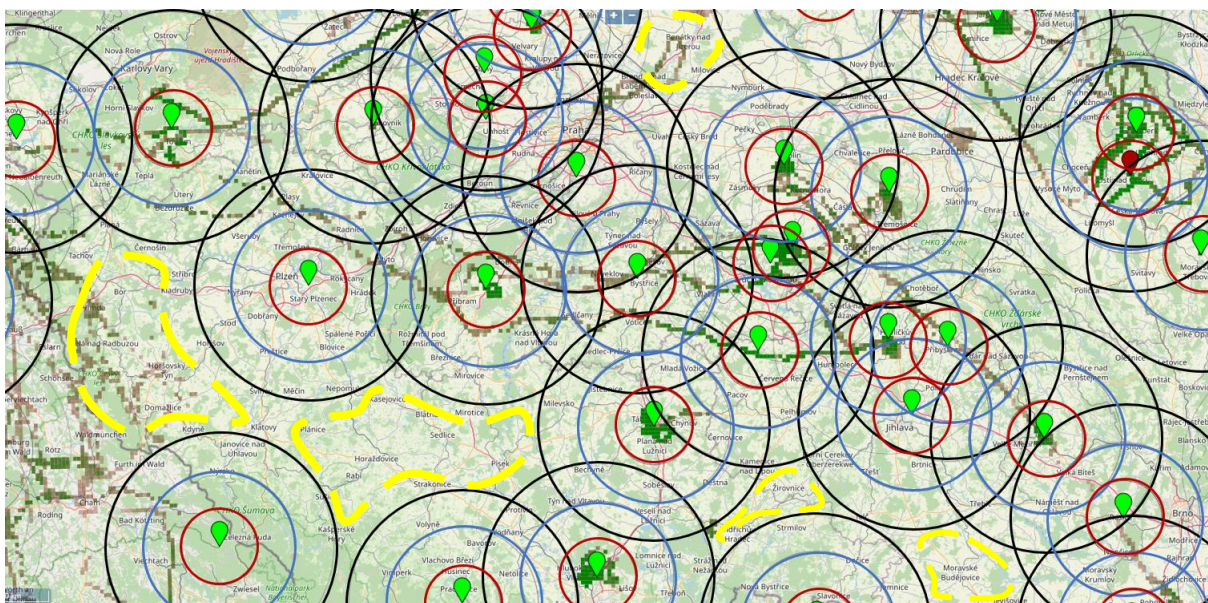


Obrázek 16: Mapa pokrytí OGN přijímači FLARM signálu [13]

Tato technologie je ale primárně stavěna pro kluzáky a ultralehká letadla, které létají ve větších výškách, než je předpokládán výskyt bezpilotních letadel. Většina UA se budou pohybovat do 1000 ft (300 m), tedy v neřízeném prostoru. A čím nižší je výška letu, tím menší je vzdálenost, na kterou je přijímač schopný signál přijmout. OGN tvrdí a lze to i zjistit z dostupné aplikace, že je možné přijmout signál z letadla, které je 50–100 km vzdálené od přijímače. Záleží na výšce letu, a množství překážek na trase mezi vysílačem a přijímačem. Pokud budeme počítat s tím, že bezpilotní letadla budou létat ve většině případů níže než letadla

s posádkou, tak je tato vzdálenost ještě menší. V případě oblastí s hustou zástavbou nebo v kopcích a horách je tato vzdálenost mnohonásobně menší a může dosahovat pouze pár kilometrů

Dále se přijímače nacházejí hlavně ve městech a v oblastech s větší zástavbou. Tedy v místech, která jsou odlehlá a kde žije velmi málo lidí, se přijímače nenacházejí a mohou zde vznikat oblasti bez signálu. Taková místa existují i u nás v České republice. V těchto místech by tato technologie nesplňovala výše popsanou roli e-ID a byla by tedy zbytečná. Na následujícím obrázku 17 žlutou čarou vyobrazeny místa, která jsou v této části České republiky zcela bez pokrytí. Ve skutečnosti budou ale tyto oblasti ještě větší, z důvodu nízkých výšek, ve kterých se UA pohybují. Kruhy kolem zeleně označených bodů znázorňují možné pokrytí jedním přijímačem. Vnější černé kruhy představují maximální možné pokrytí za podmínek, kdy mezi letadlem a přijímačem není žádná překážka a v oblasti jsou ideální podmínky pro vysílání. Tedy pro využití s bezpilotními letadly bude toto maximální pokrytí menší. A tedy slepých míst bude více.



Obrázek 17: Mapa pokrytí OGN přijímači FLARM signálu s vyznačenými slepými místy [13]. Úprava: Autor

4.3 Zahlcení 1090MHz pásma ADS-B signálem

Tento systém byl již od začátku vyvíjen primárně pro letadla s posádkou, která se většinu času pohybují v mnohem větších výškách než běžně dostupná bezpilotní letadla. Taková bezpilotní letadla létají ve většině případů do výšky 1000 ft (300 m). Při využití ADS-B pro UA se může objevit problém ve formě zahlcení pásma 1090 MHz, na kterém toto vysílání probíhá.

Toto zahlcení může nastat vlivem zhuštěného provozu. Lze předpokládat, že menší bezpilotní letadla budou využita spíše k lokálním účelům. Budou se tedy pohybovat v určené oblasti.

Takovéto využití bude mít nejspíše většina UA, protože je to velmi vhodný prostředek při mapování oblastí, při zpravodajství, fotografování a natáčení, dokonce i pro přepravu menších nákladů. A právě ve chvíli, kdy se na vytyčeném území začne pohybovat velké množství bezpilotních letadel, kde každé bude vysílat ADS-B signál, může dojít k zahlcení pásma v dané oblasti. To způsobí nefunkčnost dané e-ID technologie, ale také to může ovlivňovat funkčnost systému v letadlech s posádkou.

Studie nazvaná „ADS-B Surveillance System Performance with Small UAS at Low Altitudes“ [6] od společnosti MITRE z USA, kterou si nechala vypracovat americká FAA, ukázala, že při využití UAT technologie pro ADS-B, dochází k zásadnímu ovlivňování signálu od bezpilotních letadel, která jsou touto technologií vybavena. Při využití UAT technologie, je potřeba mít další síť vysílačů, která přeposílají UAT na 1090ES a opačně. Při zachování vysílacího výkonu ADS-B, se s rostoucím počtem bezpilotních letadel v okolí takového transceiveru, snižovala úspěšnost příjmu signálu, jak vyslaného z vysílače, tak přijímaného signálu vysílačem. Bylo to z důvodu zahlcování spektra v oblasti a tím vzniklým interferencím. Při dosažení určitého počtu došlo i k naprostému vyrušení signálu.

Toto je spíše problém pro USA, kde je UAT povolený pro použití General Aviation, tedy pro neobchodní letectví. V Evropské unii není UAT povolený pro žádnou kategorii, což nabízí určité možnosti rozvoje právě pro bezpilotní letadla, ale pouze za předpokladu, že by došlo k úpravě a bylo by povoleno jej využívat.

4.4 Identifikační číslo ADS-B

Z pohledu identifikačního čísla představuje ADS-B další dva problémy, při jeho implementaci jako e-ID. Podmínkou pro e-ID je, že musí vysílat identifikační číslo jak UA, tak i samostatně identifikační číslo pilota. To momentálně není pomocí ADS-B možné. Posílat lze pouze identifikaci samotného letadla, v našem případě konkrétního UA. V tabulce 4 lze vidět, jaké informace se pomocí ADS-B přenáší.

Tabulka 4: Zprávy posílané pomocí ADS-B [14]

Type Code	Content
1 - 4	Aircraft identification
5 - 8	Surface position
9 - 18	Airborne position (w/ Baro Altitude)
19	Airborne velocities
20 - 22	Airborne position (w/ GNSS Height)
23 - 27	Reserved
28	Aircraft status
29	Target state and status information
31	Aircraft operation status

4.4.1 Identifikační číslo

ADS-B umožňuje vysílat jednu stabilní identifikační adresu, která je letadlu přidělena při zápisu do leteckého rejstříku. Tedy vysílá se pouze adresa letadla. V rámci e-ID je ale nutné vysílat jak adresu letadla, tak adresu operátora.

Pro adresu bezpilotního letadla se předpokládá využití výrobního čísla daného UA. A pro operátora by byla přidělena adresa při jeho registraci ne leteckém úřadě. Když pomineme, že adresu operátora pomocí ADS-B nelze vysílat, tak ani adresu letadla ve formě výrobního čísla vysílat nelze, protože 24bitová ICAO adresa nemůže být generována tak, aby byla shodná s výrobním číslem daného UA.

4.4.2 Množství identifikačních čísel

Druhý problém je ve formě množství identifikačních čísel pro letadla. ADS-B umožňuje vysílat 24bitovou ICAO adresu, která umožňuje přidělit až 16 777 214 různých adres [22]. I přesto, že toto číslo je obrovské, je velmi pravděpodobné, že se tento počet vyčerpá. Pokud bychom je začaly přidělovat ještě běžným bezpilotním letadlům, kterých je po světě tisíce a jejich počet neustále roste, dostali bychom se do tohoto bodu velmi brzo. Navíc každá země má přidělené své vlastní adresy, kterých je omezený počet. Tedy v některých zemích je velmi malý počet těchto adres a jejich využití pro bezpilotní letadla by nemuselo být možné.

Je proto nezbytné se u toho problému pozastavit a vymyslet způsob, jak umožnit použití těchto adres pro běžná bezpilotní letadla, ale přitom udržet potřebu množství adres na přijatelné hranici.

5 Návrh řešení překážek

Tato kapitola navazuje na předchozí 4. kapitolu Identifikace překážek. V této kapitole budou probrány řešení jednotlivých popsanych překážek. Tyto řešení byly vybrány s ohledem na to, aby co nejméně zasahovali do stávajících systémů letadel s posádkou a byly co nejlevnější. Avšak, ne pokaždé bylo možné podmínku nezasahovat do stávajících systémů plně dodržet.

5.1 Převodní systém pro měření výšky nad povrchem

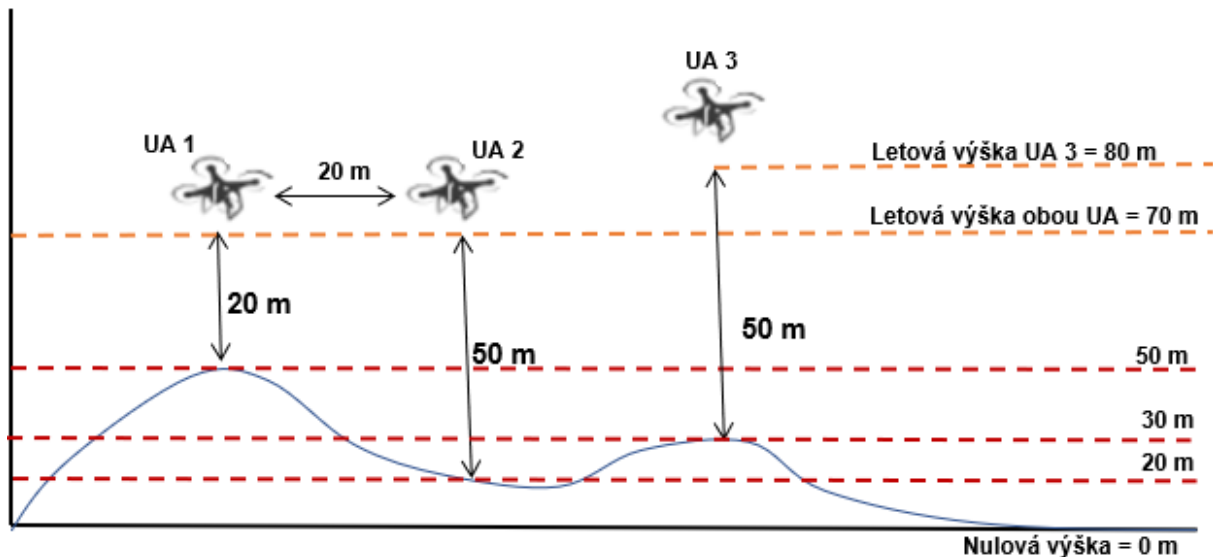
Jak bylo zmíněno v kapitole o měření výšky nad povrchem, tato korekce je možná pouze v USSP, kde je poskytována služba Network identification service. Pro správnou funkčnost tohoto převodu je nutné znát členitost terénu, tedy to, jak se mění výška terénu oproti nějakému nulovému bodu a určit si právě tento nulový bod.

Ve chvíli, kdy zjistíme členitost terénu, je nutné je porovnat s polohami GNSS, abychom přesně určili místa pro jednotlivé změny oproti nulovému bodu. Poté bude možné tyto změny porovnávat s GNSS polohami bezpilotních letadel. A právě toto porovnání polohy a změny, nám umožní převést skutečnou výšku UA na letovou výšku, která je pro všechny stejná bez ohledu na to, jakou mají výšku od povrchu.

Funkce spočívá v tom, že jak se UA pohybuje, vysílá svoji výšku od povrchu a GNSS polohu. USSP tyto informace přijímá. Poté se v USSP tyto informace porovnávají s výškovou mapou, kde je pro každou GNSS souřadnici definovaná nějaká změna výšky od nulového bodu. Po tomto porovnání dojde k úpravě skutečné výšky o tu hodnotu, o kterou se změnila výška terénu. A to buďto se přičte nebo odečte, podle toho, zda se UA nachází nad nebo pod nulovým bodem.

Výsledkem bude výška, která se dá nazvat letovou výškou. Tato letová výška bude pro všechny bezpilotní letadla stejná, a to bez ohledu na to, jakou výšku snímá, protože vždy bude změněna o hodnu, o kterou se změnila výška terénu. Poté USSP uvidí pouze hodnoty té letové výšky a bude schopna navrhnout takové úpravy, aby nedošlo ke kolizi.

Operátor UA uvidí výšku od povrchu, kterou mu vysílá bezpilotní letadlo, ale i upravenou výšku, kterou přeposílá USSP. To ale nebude způsobovat problém z toho důvodu, že nutná změna výšky pro úhybný manévr je stejná pro obě ukazované. Jak pro výšku od povrchu, tak pro letovou výšku. Tedy pokud USSP navrhne změnu výšky, nezáleží na té posílané, ale záleží na té velikosti změny, která je pro obě stejná.



Obrázek 18: Znázornění převodního systému pro měření výšky od povrchu. Zdroj: Autor

Z obrázku 18 je patrný celý princip převodu. Jestliže víme, kde se UA 1 nachází a víme, že v tom místě je oproti nulové výšce (v našem případě 0 m) terén vyvýšen o 50 m, pak při měřené výšce 20 m od povrchu je výsledná výška, ve které UA 1 letí, 70 m. Stejný princip platí pro UA 2. Víme, kde se nachází a víme, že v tom místě je terén oproti nulové výšce vyvýšen o 20 m. Pak výsledná výška, ve které se pohybuje UA 2 je rovna také 70 m. Tedy oba letí ve stejné letové výšce. Stejně platí pro UA 3 a letí tedy v letové výšce, která se nachází od nulového bodu ve výšce 80 m.

5.1.1 Určení členitosti terénu

Existují dva způsoby, jakým tuto členitost určit. Prvním způsobem je využít aktuální mapy terénu, ve kterých jsou tyto výšky již zaznamenány. Tam ale může nastat problém v nulové výšce, která může být odlišná od námi zamýšlené.

Druhým způsobem je vytvoření nové, pro nás vhodné výškové mapy od zamýšlené nulové výšky. Jednoduchým testovacím přeletem ve stanovené letové výšce změřit výšku od povrchu. Pokud se let provede v konstantní výšce, dostaneme množinu hodnot výšek, které se pomocí GNSS souřadnic dají zanést do mapy.

5.1.2 Určení nulové hladiny

Je spousta bodů, které se zdají vhodné pro tento způsob. Třeba hladina moře nebo nejnižší místo v oblasti, abychom se nacházeli pořád nad nulovým bodem. Ale kvůli možnému výskytu letadel s posádkou, která letí podle VFR, je vhodné využívat jako nulový bod místní letiště, ze kterého probíhají lety kluzáků, ultralehkých letadel a dalších letadel, která se nejčastěji nacházejí v právě dané výšce do 1000 ft. Protože do U-space prostoru taková letadla smějí létat, ale musejí vysílat svoji výšku a polohu.

Taková letadla měří svoji výšku právě vůči letišti, kde si nastaví na výškoměru danou nadmořskou výšku letiště a poté pomocí barometru porovnávají tlak ve výšce s tlakem na letišti. I přesto, že tato metoda s metodou námi zamýšlenou mají rozdílné přesnosti v měření, je to jediný možný způsob, jak zajistit, aby byla výška UA a letadla s posádkou dostatečně stejná, aby bylo možné provést vyhnutí se takovému letadlu. Je totiž velmi nepravděpodobné, že by taková letadla začala využívat další způsob měření výšky, jako je námi navrhovaný. Tento důvod je dalším důkazem, že měření výšky od povrchu je nejvhodnějším způsobem měření, protože poskytuje jakousi spojitost s výškou měřenou v letadlech s posádkou.

Tento nulový bod by měl také platit i pro možné měření výšky pomocí barometru ve větších výškách, jak je zmíněno v předchozí kapitole, aby se zajistilo, že všichni měří výšku vůči stejnému bodu.

5.2 FLARM

Jelikož je aktuální OGN systém vytvořený primárně pro příjem dat z ultra lehkých letadel, kluzáku a dalších podobných letadel, byl dosavadní stav přijímacích stanic dostatečný, protože tato letadla se pohybují ve větších výškách, tedy přijímací stanice je schopna signál přijmout z větších vzdáleností. Signál totiž putuje čistě přímou cestou od vysílače k přijímači a nemusí se vypořádávat s překážkami jako jsou budovy, lesy, kopce a další. Až v době, kdy se začalo mluvit o elektronické identifikaci pro bezpilotní letadla, se OGN zaměřilo na toto téma. Ale pro tuto situaci není nutné nic měnit, protože vše funguje stejně i pro bezpilotní letadla.

Avšak, pro zachování dostatečně provozuschopnosti pro bezpilotní letadla, bude nutné tuto síť rozšířit, aby to fungovalo i v nižších výškách. Změnit nebo doplnit rozmístění přijímacích stanic je poměrně cenově i logisticky náročné, protože zaplnit slepá místa bez zástavby by znamenalo výstavbu stožárů, na kterých by byly přijímače vystavěny. Jednodušší způsob je úplné vynechání těchto přijímacích stanic a umožnit vysílání dat do online uložení přímo z bezpilotních letadel.

Princip navrženého řešení spočívá v tom, že by se informace získané z FLARM modulu rovnou odesílali z UA pomocí mobilních dat. Stačilo by pouze k FLARM modulu připojit ještě modul, který je schopný vysílat data přes mobilní síť. Data by z FLARM nevystupovaly ve formě elektromagnetických vln, ale pomocí kabelu by se přemístili do vysílače, který pouze vysílá v jiných parametrech.

V tu chvíli by docházelo ke dvojímu vysílání z bezpilotního letadla. Ty samá data by se vysílala jak pomocí FLARM protokolu, tak pomocí protokolu mobilních sítí. To by zajistilo, že všechny okolní letadla vybavena FLARM IN by signál přijímala a stále by byla zachována ta funkce, která napomáhá zabránit kolizi dvěma letadlům vybavenými FLARM IN a OUT.

Mobilní sítě by pak zajistili, že dané informace budou odeslány v téměř každé oblasti, protože pokrytí mobilních sítí je mnohonásobně vyšší a dosahuje více než 90 % pokrytí v České republice [21]. Informace by pak mohl získat každý jen díky připojení k internetu a mobilnímu telefonu.

Navíc toto propojení s modulem mobilních sítí by umožnilo odesílat informace na jakýkoliv server, podle nastavení. Tedy systém by již nebyl závislý na síti OGN, ale mohl by se také odesílat přímo do USSP, což by umožnilo využití FLARM technologie v U-Space. To by navýšilo celkovou bezpečnost provozu v tomto prostoru díky FLARM IN a OUT.

5.3 Omezení zahlcování pásma 1090MHz ADS-B signálem

Problém zahlcování pásma 1090MHz se dá vyřešit dvěma způsoby. První způsob je snížení vysílacího výkonu na takovou úroveň, která zaručí, že při dané hustotě provozu bude dostatečně vysoká pravděpodobnost příjmu dat. Druhým způsobem je využití technologie UAT pro přenos dat, jak bylo zmíněno v předchozí kapitole.

5.3.1 Snížení vysílacího výkonu

Jedná se o prosté snížení výkonu při vysílání dat, tedy vyslaná elektromagnetická vlna bude mít menší energii. To způsobí, že se energie elektromagnetické vlny dostane dříve pod úroveň potřebnou pro příjem na přijímačích, tedy zmenší se dosah vysílání. Zmenšení dosahu způsobí, že jeden UA ovlivní menší oblast vysíláním, tedy zmenší se zahlcování daného pásma.

Snížení dosahu vysílání nepředstavuje v našem případě výrazný problém. Za předpokladu, že většina běžně dostupných bezpilotních letadel bude využívána v nějakých určitých oblastech, tedy prostor typu U-Space, který má své hranice, je potřeba mít jen takový dosah, který umožní pokrýt pouze danou oblast.

Ve zmíněné studii „ADS-B Surveillance System Performance with Small UAS at Low Altitudes“ [6] od společnosti MITRE z USA, také prováděli testy se snížením vysílacího výkonu a následným ovlivněním dosahu. Zjišťovali, jaký vysílací výkon je potřebný, aby se na určeném prostoru s danou hustotou provozu zachovala nutná pravděpodobnost příjmu zprávy. Zkoušené vysílací výkony a naměřené hodnoty pro jednotlivé hustoty provozu jsou v tabulce 5. Tyto vybrané vysílací výkony zaručují dosah od pár kilometrů při výkonu 0.01 W až po necelých 20 km při výkonu 1 W

Tabulka 5: Naměřené hodnoty pravděpodobnosti příjmu zprávy při daných hustotách provozu v určité oblasti a s jednotlivými vysílacími výkony pro komunikaci mezi letadly [6]

UA hustota/16 námořních mil (29.6 km)	UA vysílací výkon			
	1 W	0.1 W	0.05 W	0.01 W
(5 UA/km ²)/14000 celkem	<0.25	0.10	0.30	0.78
(3 UA/km ²)/8 500 celkem	<0.25	0.27	0.48	>0.78
(1 UA/km ²)/2 800 celkem	0.25	0.68	0.80	>0.80
(0.5 UA/km ²)/1 400 celkem	0.25	0.80	>0.80	>0.80

Tmavě označené jsou pravděpodobnosti, které se dají považovat za přijatelné, protože se pohybují nad 50 % úspěšnosti. To nám zaručuje, že minimálně každá druhá odeslaná zpráva bude přijata.

5.3.2 Využití technologie UAT pro přenos dat

Pro přenos dat se dají použít 3 způsoby. Využívají se pouze dva, a to 1090ES a UAT. 1090ES se využívá celosvětově pro obchodní leteckou dopravu a UAT se využívá v USA pro tzv. General Aviation. Do general aviation se dá v podstatě zařadit veškerá soukromá doprava, sportovní létání a podobně. Bohužel, jak jsem zmínil, v Evropě není UAT povolen pro žádnou kategorii létání.

Princip funkce UAT je totožný, jediný rozdíl je v tom, že se využívá jiný způsob přenosu dat. Ten se liší v daném protokolu, tedy jiná frekvence, modulace a další. Jelikož UAT využívá tedy naprosto jiný protokol než 1090ES, kompletně nám to eliminuje zahlcování tohoto pásma, tedy není již nadále ohrožena funkce ADS-B pro letadla s posádkou.

Dále součástí systému UAT jsou tzv. transceivery. To jsou pozemní stanice, které přijímají UAT vysílání a přeměňují ho na vysílání 1090ES a opačně. To zajišťuje kompatibilitu mezi těmito technologiemi. Tedy pokud by bylo možné využít UAT pro bezpilotní letadla, stačilo by v daném prostoru vystavět tuto stanici a ta by umožnila propojení bezpilotních letadel a letadel s posádkou.

Ale i u této technologie je zapotřebí zmenšit vysílací výkon. V hustém provozu na malém prostoru by docházeli k zahlcování i pásma UAT, protože dosavadní výkon je určený pro vysílání na desítky kilometrů. A právě i tímto problémem se zabývali v již zmíněné studii. Stejně jako v předchozím případě, kde zkoumali pravděpodobnost příjmu zprávy v Air-to-Air komunikaci, která platí i pro vysílání UAT, tak zkoumali komunikaci Air-to-Ground. To je to

vysílání, které zprostředkovává pozemní stanice, která mění vysílání z UAT na 1090ES a opačně. Protože opět při určité hustotě provozu s dosavadním vysílacím výkon by docházelo k rušení tohoto vysílání, a dokonce se i v některých případech signál úplně vytratil. Signál nebyl schopen přejít skrze oblast s hustým vysíláním. V následující tabulce 6 jsou zase zaznamenány výsledné hodnoty.

Tabulka 6: Naměřené hodnoty pravděpodobnosti příjmu zprávy při daných hustotách provozu v určité oblasti a s jednotlivými vysílacími výkony pro komunikaci mezi letadlem a pozemní stanicí [6]

UA hustota/16 námořních mil (29.6 km)	UA vysílací výkon			
	1 W	0.1 W	0.05 W	0.01 W
(5 UA/km ²)/14000 celkem	<0.25	<0.35	<0.10	0.38
(3 UA/km ²)/8 500 celkem	<0.25	<0.35	0.10	0.58
(1 UA/km ²)/2 800 celkem	0.25	0.35	0.50	0.82
(0.5 UA/km ²)/1 400 celkem	0.25	0.60	0.70	>0.82

Černě jsou opět vyznačeny vhodné velikosti pravděpodobnosti pro jednotlivé hustoty provozu a vysílací výkony. Tyto hodnoty byly opět vybrány ze stejného důvodu, který byl již popsán u tabulky 5.

5.3.3 Omezení využití ADS-B

Obě dvě předchozí řešení mají jeden zásadní společný problém. Ani jedno není povolené v letecké legislativě. ADS-B má pevně stanovený vysílací výkon, který zaručuje nutnou pravděpodobnost příjmu, která zaručí, že bude za téměř každé situace signál přijat. A jak bylo zmíněno výše, UAT technologie není vůbec povolena v Evropě neboli zemích, které spadají pod EASA. Z toho důvodu je možné navrhnout ještě jedno řešení, které je možné využít bez jakýchkoliv úprav aktuálního ADS-B systému, ale je velmi omezující a má své limity.

Jak již bylo řečeno v kapitole 3. Systémový pohled, lze omezit využití ADS-B jen na určité oblasti, ve kterých je to nezbytně nutné a pouze na stanovenou dobu. Dále v ní bylo zmíněno, že ADS-B by sloužilo pouze jako nouzový prvek e-ID v U-Space prostoru ve chvíli, kdy přestane fungovat Network identification service. V tu chvíli by nebylo možné kontrolovat pohyb bezpilotních letadel a v určitých oblastech by hrozila kolize s letadly s posádkou. Takové oblasti jsou například v blízkosti letišť, kde je samozřejmě zakázaný prostor, ale v případě BVLOS letu by mohlo dojít k situaci, kdy nehlídaný UA do takové oblasti vletí a způsobí nehodu.

ADS-B by se v takové situaci samo uvedlo do provozu a začalo by vysílat. To by zaručilo, že by dané letadlo s posádkou i ŘLP viděli UA na obrazovce a mohli by podniknout kroky, které by vedly k zabránění kolize.

5.4 Identifikační číslo ADS-B

Vyřešit problém s tím, že ADS-B neumožňuje posílat zvlášť identifikaci letadla a pilota a to, že nelze posílat výrobní číslo letadla jako identifikační číslo, je téměř nemožné. Jediný způsob, jak to udělat, je zasáhnout do celého systému ADS-B, aby bylo umožněno přidat další zprávu v podobně identifikace operátora. To však představuje problém v podobě toho, že by takováto úprava musela být celosvětově, aby nedošlo k situacím, kdy by UA vysílalo v oblasti i tuto další zprávu, ale přijímací stanice by ji neuměli dekodovat. To by mohlo vytvářet chyby při sledování a způsobovat problémy. Taková úprava je finančně i logisticky velmi náročná a je velmi nepravděpodobné, že by byla povolena.

Mnohem vhodnější by bylo upravit v rámci ADS-B požadavky na e-ID z toho důvodu, že by bylo využito pouze jako nouzový prvek, tedy by nemusel splňovat veškeré náležitosti e-ID.

5.4.1 Identifikační číslo

Není nutné, aby se vysílala adresa jak UA, tak operátora. Stačí vysílat pouze jednu, pod kterou by se při registraci uchovala i adresa druhá. Nejvhodnější by bylo, aby se využilo identifikační číslo operátora. Protože pro UA, pro které je nutné e-ID, je pro jejich operátory povinností, aby se registrovali na leteckém úřadě. To znamená, že při této registraci jim může být přiděleno takové číslo, které je vzaté ze systému přidělování ADS-B adres.

Poté by se buď již při této registraci zapsalo příslušné bezpilotní letadlo pod jeho adresu. Popřípadě, pokud by operátor nepilotoval pokaždé to stejné letadlo, stačilo by při žádání o povolení k letu zapsat do letového plánu to dané UA, se kterým bude let prováděn a daný UA by tam byl zapsán svým výrobním číslem.

5.4.2 Množství identifikačních čísel

Řešení, které by výrazně snížilo počet využívaných adres již bylo zmíněno v předchozím odstavci 5.4.1 Identifikační adresa. Tam bylo navrženo, aby se využívala adresa operátora a dané letadlo by se při schvalování letu zapsalo do letového plánu pod daného operátora svým výrobním číslem. To by ale platilo jen za předpokladu, že vlastník je zároveň operátorem. Pokud by vlastník měl pro každé své bezpilotní letadlo jednoho operátora, již by toto řešení neplatilo a využití adres by se zase zvýšilo.

V minulosti se přišlo s myšlenkou, aby se registroval pouze vlastník bezpilotního letadla nebo letadel a tomuto vlastníkovy by byla přidělena adresa. Nikde se však již neřešilo to, že by vznikl problém s tím, pokud by vzlétlo více letadel tohoto vlastníka a každý by vysílal tu stejnou

adresu. To by mohlo způsobit, že by systém vyhodnotil vysílání jako chybné, protože by přijímal vysílání té stejné adresy z více míst najednou. Řešení, že by se využívala registrace operátora, je mnohem vhodnější, ale je nutné jej upravit tak, aby nevrůstala potřeba těch 24bitových ICAO adres.

Protože operátorů musí být stejně jako bezpilotních letadel, tak každý by musel mít svoji adresu a tím by nám zase narůstala potřeba těchto adres. Vhodné by bylo, aby se tyto adresy dávaly na omezenou dobu, nejlépe na dobu trvání daného letu. Při žádání o povolení k letu by byla vygenerována adresa pro operátora, která by se zadala do vysílače namontovaného na UA. Po dokončení letu by byla adresa zase odejmuta a mohla by být využita pro někoho dalšího.

6 Diskuze

Výsledky této práce jsou významné zejména pro další rozvoj elektronické identifikace pro bezpilotní letadla. Díky výběru technologií, rozdělení vzdušného prostoru, zařazení technologií do jednotlivých prostor a následná identifikace překážek a návrh řešení umožní v budoucnu rychlejší adaptaci těchto technologií na narůstající provoz UA.

Díky návrhům řešení těchto překážek je možné tyto technologie bezpečně implementovat do vzdušného prostoru a zajistit tím dostatečnou bezpečnost provozu. To umožní v dalších letech rozvoj letů za hranicí viditelnosti, kde je právě bezchybný přehledový systém kritickou částí.

Definování jednotlivých částí vzdušného prostoru v rámci bezpilotních letadel umožní rychlejší implementaci těchto technologií, protože umožní určit ty nejvhodnější technologie pro daný prostor. Každý prostor klade jiné nároky na provoz a podle toho je nutné určit jednotlivé technologie.

Výběr technologií, definování částí vzdušného prostoru a návrh řešení je čistě subjektivním výběrem. Ale jednotlivé návrhy vycházejí z již funkčních prvků, které byly buďto jen uzpůsobeny potřebám UA nebo byly zkombinovány dohromady s další již zavedenou technologií. Tedy funkčnost řešení by neměla být problémem, protože jsou to již zavedené systémy. Pouze v případě převodního systému není znám žádný podobný systém. Funkčnost tohoto řešení je podložena pouze teoretickými výpočty a názornými příklady.

V případě systémového pohledu, kde jsou definovány jednotlivé části vzdušného prostoru se vychází z části z EASA Opinion No 01/2020 High-level regulatory framework for the U-Space“ [12], kde je definován U-Space v řízeném a neřízeném prostoru. Tento návrh byl začleněn do vytvořeného vzdušného prostoru a doplněn o další dva. Dále návrh s využitím technologie UAT pro přenos ADS-B byl již probrán a testován ve zmíněné studii „ADS-B Surveillance System Performance with Small UAS at Low Altitudes“ [6]. Je to již existující návrh, u kterého byly provedeny simulace, které jsou zmíněné v textu.

7 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo identifikovat překážky při zavádění e-ID pro UAS na základě analýzy použitelných technologií plánovaného pronikání UAS do všech částí vzdušného prostoru. Pro splnění tohoto cíle bylo potřeba vybrat takové technologie, které jsou nejvhodnější právě pro toto využití. Poté provést jejich základní charakteristiku a pochopit podstatu funkce a základní vlastnosti dané technologie. Také bylo nutné vytvořit si vlastní systémový pohled na vzdušný prostor a na jeho základě určit zařazení jednotlivých technologií tak, aby byly jejich vlastnosti co nejvíce využité. Díky tomuto zařazení technologií do vzdušného prostoru bylo možné nalézt nejzávažnější překážky při zavádění některých těchto technologií a navrhnout takové řešení, které je pro daný prostor nejvhodnější.

Na začátku práce byly zavedeny dva pojmy, elektronická identifikace (e-ID) a Network identification service. Jednotlivé pojmy byly vysvětleny a byly popsány rozdíly mezi nimi a jak spolu souvisí. Dále byla provedena charakteristika jednotlivých vybraných technologií, které lze využít pro účely e-ID, popřípadě Network identification service. U každé technologie byly shrnuty základní vlastnosti a byly vybrány takové informace, které jsou podstatné pro další kapitoly této práce. Poté byl představen vytvořený systémový pohled, byly zavedeny 4 nové vzdušné prostory pro bezpilotní letadla a byly propojeny vzdušné prostory bezpilotních letadel se vzdušným prostorem letadel s posádkou. Každý jednotlivý vzdušný prostor byl charakterizován a na základě toho byly poté přiděleny vhodné technologie pro tento prostor. Konec práce se pak zabývá samotnou identifikací překážek a návrhem jejich řešení. Byly vybrány opravdu jen takové překážky, které jsou kritické a představují výrazné ohrožení provozuschopnosti systému. V této části byly identifikovány potíže z pohledu přenosové technologie a z pohledu technologie získávání dat. Je to z toho důvodu, že nejde pouze o způsob, jakým se data přenáší, ale také velmi záleží na způsobu, kterým se data získávají, protože je potřeba, aby byly tyto data využitelná za všech situací a nemuselo docházet v budoucnu k žádným výrazným změnám.

Nevýhodou této práce je absence praktických testů jednotlivých technologií i uvedených návrhů řešení překážek. Problém u těchto testů by byl, že nelze nasimulovat dostatečně reálné podmínky, se kterými by se dané technologie musely vypořádat. Není třeba testovat, jestli daná technologie je funkční, ale je potřeba otestovat její funkci při určitých hustotách provozu. S rostoucím počtem UA ve vzdušném prostoru je nutné využívat takové technologie, které dokážou bezproblémově fungovat i v situacích, kdy se na malém prostoru nachází desítky i stovky vysílacích zařízení. Tedy v celé bakalářské práci se pohybujeme pouze na teoretické rovině.

Ale i přes tento problém je tato práce velkým přínosem z důvodu představení použitelných technologií, které se již při psaní této práce snaží spousta společností využít pro chod e-ID. Následné poukázání na skutečnost, že zde existují určité velmi významné potíže s těmito technologiemi a popsání těchto potíží může v budoucnu výrazně pomoci při implementaci bezpilotních letadel do vzdušného prostoru a při tvorbě systému, který bude koordinovat lety bezpilotních letadel.

Navržené řešení těchto překážek může také zrychlit následné úpravy těchto systémů. Uvedená řešení jsou zcela funkční, protože vycházejí z již využívaných systémů v letectví a jiných odvětví. Pouze jsou upravené nebo spojené s jinou další technologií. Tedy jedinými problémy u těchto řešení je legislativa, která by byla u některých nutná upravit nebo doplnit. I přesto, že se EASA snaží do stávající legislativy zasahovat co nejméně a snaží se vytvořit izolovaný prostor pro bezpilotní letadla od běžného vzdušného prostoru, je nutné podotknout, že to není zcela možné a bude potřeba provést nutné úpravy, aby bylo možné plně využít potenciál bezpilotních letadel.

Pokud bude tato práce využita v dalších výzkumech na toto téma, je opravdu vhodné, ne-li nutné, provést rozsáhlé simulace a praktické testy, v podmínkách vysoce zhuštěného provozu, protože to je situace, která bude v příštích letech největším problémem vzdušného prostoru bezpilotních letadel. Také by bylo vhodné, aby všechna řešení nebyla tvořena s myšlenkou odděleného systému od stávajícího vzdušného prostoru. Vytvoření dvou izolovaných systémů je krok zpět ve vývoji bezpilotních letadel.

Použité zdroje

- [1]. Nařízení komise (EU) 2019/945. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj
- [2]. Remote ID and Commercial Drone. Dostupné z: <https://kittyhawk.io/resources/Remote-ID-White-Paper.pdf?dl=1>
- [3]. Open Drone ID-Bluetooth Broadcast Specification. Dostupné z: <https://github.com/opendroneid/specs>
- [4]. Tested by Nordic: Bluetooth Long Range. Dostupné z: <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/tested-by-nordic-bluetooth-long-range>
- [5]. Welcome to opendroneid.org. Dostupné z: <https://www.opendroneid.org/>
- [6]. ADS-B Surveillance System Performance with Small UAS at Low Altitudes. R.Michael Guterres, Stanley R. Jones, Gregory L. Orrell, Robert C. Strain, The MITRE Corporation. Dostupné z: <https://www.mitre.org/sites/default/files/publications/16-4497-AIAA-2017-ADS-B.pdf>
- [7]. uAvionix. Dostupné z: <https://uavionix.com/>
- [8]. Český telekomunikační úřad. Mapa pokrytí ČR v LTE pásmu. Dostupné z: <https://digi.ctu.cz/lte-pokryti/pokryti>
- [9]. 5G síť v ČR (INFORMACE): rychlost, pokrytí, rizika. Dostupné z: <https://www.alza.cz/5g-sit>
- [10]. 5G mapa pokrytí – Česká republika: Dostupné z: <https://www.google.com/maps/d/embed?mid=1AX5Nb0PhjabOt0V3mRRaBEiURok&ll=50.00217606326777%2C14.659973218750018&z=9>
- [11]. PowerFLARM. Dostupné z: <https://flarm.com/products/powerflarm/>
- [12]. EASA Opinion No 01/2020 High-level regulatory framework for the U-Space. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/document-library/opinions/opinion-012020#:~:text=The%20objective%20of%20this%20Opinion,the%20air%20and%20ground%20risks.>
- [13]. Open Glider Network Range. Dostupné z: https://ognrange.glidernet.org/#Kresin,max,lastweek,49.46195_15.09079,8,#80000040:#008000ff,circles;

- [14]. The 1090 MHz Riddle. An open-access book about decoding Mode-S and ADS-B data by Junzi Sun. Dostupné z: <https://mode-s.org/decode/adsb/introduction.html#:~:text=ADS%20DB%20Basics-,Message%20structure,and%20consists%20of%205%20parts.&text=Any%20ADS%20DB%20must%20start,for%20the%20first%205%20bits>.
- [15]. Jak je to s LTE u nás. Dostupné z: <https://gizchina.cz/2014/11/30/pojede-mi-lte-nacinskem-telefonu-v-cr-jak-zjistim/>
- [16]. Pásma LTE/UMTS/EDGE/GSM používaná v České republice. Dostupné z: <http://www.fccps.cz/pasma-lteumtsedegesm-pouzivana-v-ceske-republice-1379>
- [17]. Measuring Bluetooth Low Energy Power Consumption. Sandeep Kamath, Joakim Li. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/an/swra347a/swra347a.pdf?ts=1596315964650&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [18]. Wi-Fi Channels, Frequencies, Bands and Bandwidths. Dostupné z: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/channels-frequencies-bands-bandwidth.php>
- [19]. Vodafone v Karlových Varech ukázal 5G, sviští rychlostí 1.8 Gb/s. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/vodafone-v-karlovych-varech-ukazal-5g-svisti-rychlosti-18-gbs-35537>
- [20]. Pravda o rychlosti LTE u operátorů: marketing versus realita. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/pravda-o-rychlosti-lte-u-operatoru-marketing-versus-realita-18876#:~:text=U%20Turbo%20Internetu%20je%20maxim%C3%A1ln%C3%AD,185%2F50%20Mb%2Fs>.
- [21]. The State of LTE ([February 2018]). Dostupné z: <https://www.opensignal.com/reports/2018/02/state-of-lte>
- [22]. The Third Meeting of Automatic Dependant Surveillance – Broadcast (ADS-B) Study and Implementation Task Force (ADS-B TF/3). Bangkok, 23-25 March 2005. Dostupné z: https://www.icao.int/Meetings/AMC/MA/2005/ADSB_ADSB_TF3/ip13.pdf
- [23]. Nařízení komise (EU) 2019/947. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/oj

- [24]. What is the effective range of an ADS-B signal?, ads-b.com. Dostupné z:
[http://www.ads-b.com/faq-12.htm#:~:text=What%20is%20the%20effective%20range,%2D%20320%20Km\)%20for%20UAT.](http://www.ads-b.com/faq-12.htm#:~:text=What%20is%20the%20effective%20range,%2D%20320%20Km)%20for%20UAT.)
- [25]. European Drones Outlook Study, November 2016, SESAR. Dostupné z:
https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf
- [26]. Warsaw Declaration, „Drones as a leverage for jobs and new business opportunities“, Warsaw-24 November 2016. Dostupné z:
<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/drones-warsaw-declaration.pdf>
- [27]. Unmannedairspace.info. NEW EASA opinion clarifies drone classifications, UTM rules roadmap. Dostupné z: <https://www.unmannedairspace.info/uncategorized/new-easa-opinion-clarifies-drone-classifications-utm-rules-roadmap/>

Seznám obrázků

Obrázek 1	Schéma vysílání typu broadcast [2]	14
Obrázek 2	Schéma wi-fi kanálů ve 2.4 GHz pásmu, zdroj: Autor	15
Obrázek 3	Schéma Bluetooth kanálů a znázornění překrývání s wi-fi kanály [3]	17
Obrázek 4	Bluetooth komunikace s teoretickým dosahem jednotlivých verzí [5]	17
Obrázek 5	Schéma vysílání typu Network [2]	20
Obrázek 6	Mapa pokrytí v pásmu 20 [8]	21
Obrázek 7	Mapa pokrytí v pásmu 3 [8].....	22
Obrázek 8	Mapa pokrytí v pásmu 1 [8]	22
Obrázek 9	Mapa pokrytí v pásmu 7 [8]	23
Obrázek 10	Mapa pokrytí 5G v ČR [10]	24
Obrázek 11	Vyobrazení funkčnosti FLARM detekce kolize [11]	25
Obrázek 12	Schéma komunikace FLARM, Zdroj: Autor	26
Obrázek 13	Vzdušný prostor po zavedení U-Space. Zdroj: Autor.....	27
Obrázek 14	Schéma pokrytí Bluetooth. Zdroj: Autor.....	33
Obrázek 15	Rozdíl výšek dvou UA, která mají stejnou letovou hladinu při měření výšky od povrchu. Zdroj: Autor	37
Obrázek 16	Mapa pokrytí OGN přijímači FLARM signálu [13]	38
Obrázek 17	Mapa pokrytí OGN přijímači FLARM signálu s vyznačenými slepými místy [13]. Úprava. Autor.....	39
Obrázek 18	Znázornění převodního systému pro měření výšky od povrchu. Zdroj: Autor	43

Seznam tabulek

Tabulka 1:	Popis jednotlivých kategorií UAS a výpis požadavků kladených na konkrétní kategorie a jejich operátory [27]	12
Tabulka 2:	Seznam LTE pásem v ČR [15], [16]	21
Tabulka 3:	Porovnání 5G s předchozími sítěmi [9]	24
Tabulka 4:	Zprávy posílané pomocí ADS-B [14]	41
Tabulka 5:	Naměřené hodnoty pravděpodobnosti příjmu zprávy při daných hustotách provozu v určité oblasti a s jednotlivými vysílacími výkony pro komunikaci mezi letadly [6]	46
Tabulka 6:	Naměřené hodnoty pravděpodobnosti příjmu zprávy při daných hustotách provozu v určité oblasti a s jednotlivými vysílacími výkony pro komunikaci mezi letadlem a pozemní stanicí [6]	47