



## VYUŽITIE MOBILNÝCH SIETÍ PRE OVLÁDANIE A PRENOS VIDEO Z UAV

**Adrián Harasin**

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

**Andrej Novák**

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

### Abstract

*Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are increasingly used in various fields, with reliable communication and data transmission being key aspects of their effective deployment. This paper explores the use of mobile networks for remote UAV control and real-time video transmission. It analyzes the advantages and limitations of different mobile network generations, particularly 4G LTE and 5G, in terms of latency, stability, and bandwidth. The results highlight optimization possibilities and potential applications of mobile networks in areas such as monitoring, security operations, and autonomous systems. Additionally, the thesis examines technological challenges and security aspects that impact the reliability of this solution.*

### Keywords

*UAV, Mobile networks, Video transmission, Remote control, 5G, 4G LTE*

### 1. Úvod

Bezpilotné lietadlá (UAV) predstavujú dôležitý prvok moderných technologických riešení, ktoré nachádzajú uplatnenie v širokom spektre civilných aj priemyselných aplikácií od monitorovania a mapovania až po logistiku či bezpečnostné akcie. S rastúcou automatizáciou rastie aj požiadavka na vzdialené ovládanie mimo vizuálneho kontaktu (BVLOS) sa do popredia dostáva otázka spoľahlivého a bezpečného komunikačného kanála medzi UAV a pozemnou stanicou.

Tradičné technológie prenosu dát, ako sú napríklad krátkodosahové rádiové spojenie alebo Wi-Fi, sú často limitované dosahom, stabilitou signálu a kapacitou prenosu. V takomto kontexte sa mobilné siete využívajúce infraštruktúru celoplošného pokrytia javia ako vhodná alternatíva pre komunikáciu s UAV v reálnom čase. Ich využitie umožňuje rozšíriť prevádzkový rádius bezpilotných prostriedkov a zvýšiť spoľahlivosť prenosu ovládania a telemetrických dát a zároveň zadovážiť kvalitný prenos vizuálnych informácií.

Cieľom práce je preskúmať celkové možnosti využitia mobilných sietí pre prenos ovládania a videa z UAV. Práca sa zameriava na technické aspekty integrácie UAV do infraštruktúry mobilných sietí, s dôrazom na parametre ako prenosová kapacita, latencia, spoľahlivosť spojenia či geografické pokrytie. Výsledkom práce je komplexné zhodnotenie predpokladov a obmedzení, ktoré mobilné siete prinášajú pri implementácii do systémov riadenia UAV.

Vzhľadom na rastúci počet UAV v zdieľanom priestore je potrebné posúdiť, ako mobilné siete prispievajú k ich bezpečnej prevádzke. Taktiež sa venuje regulačným výzvam spojeným s využívaním týchto sietí. Výsledky môžu slúžiť ako základ pre ďalší výskum v oblasti komunikácie.

### 2. Metodika a metódy skúmania

Metodikou tejto záverečnej práce je vychádzať z analytického prístupu, pričom cieľom je získať ucelený pohľad na možnosti využitia mobilných sietí pri riadení bezpilotných lietadiel (UAV) a prenose vizuálneho kontaktu v reálnom čase. Skúmanie je založené na analýze dostupnej odbornej literatúry, technickej dokumentácie, platných štandardov a prípadových štúdií z reálnej prevádzky UAV v prostredí mobilných sietí.

Práca využíva metódu deskriptívnej analýzy, ktorej cieľom je systematicky opísať princípy fungovania mobilných sietí od Bluetooth až po 5G sieť, ako aj parametre prenosu vrátane latencie, dostupnosti signálu a bezpečnostných požiadaviek. Následne sa uplatňuje komparatívna metóda, pomocou ktorej sú porovnávané vlastnosti jednotlivých typov mobilných sietí z hľadiska ich použiteľnosti pre riadenie UAV a prenos videa. Zámerom je určiť, ktoré technologické riešenia poskytujú optimálny kompromis medzi spoľahlivosťou spojenia a kvalitou prenosu.

Dôležitou súčasťou metodiky je aj kritická analýza bezpečnostných aspektov, vrátane zraniteľnosti prenosových kanálov, možnosti autentifikácie a šifrovania, ako aj spôsobov zmiernenie rizík pri komunikácii UAV prostredníctvom verejných mobilných sietí.

Výstupom aplikácie uvedených metód je vytvorenie prehľadového rámca, ktorý sumarizuje technické predpoklady, limity a perspektívy využitia mobilných sietí v oblasti bezpilotného letectva. Takto definovaný prístup umožňuje komplexne posúdiť, do akej miery sú súčasné mobilné siete schopné zabezpečiť stabilnú, efektívnu a bezpečnú komunikáciu medzi UAV a pozemnou stanicou.

### 3. Výsledky

#### Prenos videa a ovládanie cez Wi-Fi, 4G, 5G a Bluetooth

**Wi-Fi** – sa osvedčila pri prenosoch videa v krátkych vzdialenostiach do 100 metrov. Prenos je stabilný, avšak môže byť ľahko ovplyvnený najmä v prostrediach s vysokým rušením. Latencia sa pohybuje medzi 30 až 50 ms, čo je prijateľné pre väčšinu aplikácií. Wi-Fi je teda vhodná pre jednoduchšie aplikácie, ktoré nevyžadujú dosah ani vysokú kapacitu.

**4G** – poskytuje stabilný prenos videa na väčšie vzdialenosti. Latencia sa pohybuje medzi 60 až 80 ms, čo je dostatočne pre komerčné aplikácie, ako sú monitorovanie a kontrola UAV v reálnom čase. Kapacita prenosu je primeraná na HD video, avšak v prípade preťaženia siete môže dôjsť k zníženiu kvality prenosu. 4G je vhodnejšie pre oblasti s dostatočným pokrytím, ale jeho spoľahlivosť môže byť ovplyvnená hustotou prevádzky.

**5G** – prináša zásadné zlepšenie oproti 4G, s latenciou nižšou ako 10 ms a vysokou priepustnosťou až 1 Gbps. Tento typ siete umožňuje prenos videa vo veľmi vysokej kvalite až 4K a vyššie v reálnom čase. 5G je ideálnym riešením pre aplikácie, ktoré vyžadujú okamžitú reakciu, ako je riadenie UAV v režime BVLOS. Okrem toho poskytuje stabilné spojenie aj na veľké vzdialenosti, čo robí túto technológiu najvhodnejšou pre profesionálne nasadenie UAV.

**Bluetooth** – ma veľmi nízku priepustnosť, ktorá nepostačuje na prenos videa. Je vhodný iba pre aplikácie, ktoré nevyžadujú vysokú prenosovú kapacitu, ako je prenos telemetrických údajov a ovládanie UAV na krátke vzdialenosti maximálne do 30 metrov. Bluetooth je preto nevhodný pre aplikácie vyžadujúce stabilný a kvalitný prenos videa.

V tabuľke nižšie je prehľadne zobrazené porovnanie jednotlivých mobilných sietí z hľadiska prenosovej kvality.

Sieť	Rýchlosť	Latencia	4K	2K	1080p	720p	480p
Bluetooth	2Mbps	100-200 ms	✗	✗	✗	500-800 ms	300-600ms
Wi-Fi (802.11g)	100Mbps	10-30 ms	30-50 ms	20-40 ms	15-35 ms	10-30 ms	5-20 ms
4G	50Mbps	30-50 ms	50-80 ms	40-70 ms	35-60 ms	30-55 ms	25-50 ms
4G LTE	100Mbps	20-40 ms	40-70 ms	30-60 ms	25-50 ms	20-45 ms	15-40 ms
5G	1000Mbps	1-10 ms	5-15 ms	3-12 ms	2-10 ms	1,5-8 ms	1-5 ms

#### Rozdelenie dosahov a kvality prenosu videa z UAV

**Bluetooth** – má veľmi krátky dosah, spravidla do 30 metrov. Na prenos videa nie je vhodný. Prenos je pomalý a nekonzistentný. Využíva sa len na základnú telemetriu alebo jednoduché príkazy bez obrazu. V prostredí s viacerými zariadeniami môže byť signál rýchlo narušený. Jeho výhodou je nízka spotreba energie, čo sa využíva pri jednoduchých technických systémoch.

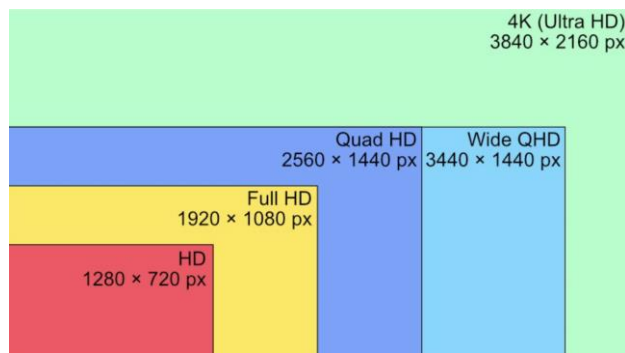
**Wi-Fi** – umožňuje prenos videa na vzdialenosť do 150 metrov. V otvorenom priestore je prenos stabilnejší než v zastavaných oblastiach. Prenos je vhodný pre video v rozlíšení 720p až 1080p, v závislosti od rušenia. Pri väčšej vzdialenosti môže dôjsť k výpadkom alebo oneskoreniu prenosu obrazu. Wi-Fi sa často

využíva pri hobby dronoch a v testovacích scenároch. Výhodou je dostupnosť a jednoduchá implementácia, no zároveň citlivosť na rušenie.

**4G** – poskytuje prenos na vzdialenosť niekoľko kilometrov. Spojenie je závislé od dostupnosti mobilného signálu. Prenos videa je možný v kvalite 1080p, niekedy aj 2K, no latencia býva vyššia 60 až 80 ms. Prenos je vhodný na monitorovanie alebo dohľad, kde nie je nutná okamžitá odozva. Pri dobrom pokrytí ide o spoľahlivé a široko dostupné riešenie. 4G sa uplatňuje v poloprofesionálnych a priemyselných aplikáciách, kde je dôležitý dosah a plynulosť prenosu.

5G – umožňuje stabilný prenos videa vo vysokom rozlíšení aj na veľké vzdialenosti. V mestskom pokrytí je možné prenášať video v 4K kvalite, s veľmi nízkou latenciou do 10 ms. 5G je ideálne pre aplikácie, ktoré vyžadujú rýchlu reakciu a ostrý obraz v reálnom čase. Táto technológia predstavuje najvyšší štandard pre moderné UAV systémy. Vďaka nízkej latencii sa využíva aj v autonómnych a kritických systémoch, kde je potrebná presná a rýchla spätná väzba.

V nasledujúcom obrázku sú znázornené štandardy jednotlivých rozlíšení videí.



#### Spektrálne pásma

Kamery používané na bezpilotných lietadlách môžu snímať obraz v rôznych častiach elektromagnetického spektra. Každé spektrálne pásmo prináša odlišné informácie o snímanom prostredí. V praxi sa najčastejšie využíva viditeľné spektrum RGB, infračervené IR a ultrafialové UV spektrum.

**RGB (červeno-zeleno-modré) spektrum** – predstavuje viditeľné svetlo, ktoré zodpovedá tomu, čo vníma ľudské oko. Kamery v tomto pásme vytvárajú farebný obraz, ktorý sa používa pri vizuálnom pozorovaní, dokumentácii alebo navigácii. RGB kamery sú bežné pri hobby dronoch aj profesionálnych systémoch. Výhodou je jednoduché vyhodnotenie obrazu v reálnom čase.

**IR (infračervené) pásmo** – slúži na detekciu tepla. Infračervené kamery dokážu snímať tepelné rozdiely medzi objektmi, ktoré nie sú voľným okom viditeľné. Tento typ snímání je vhodný na záchranné operácie, detekciu požiarov, monitorovanie vegetácie, ale aj na technické inšpekcie budov. Infračervený obraz môže byť použitý aj v noci alebo pri zníženej viditeľnosti.

**UV (ultrafialové) spektrum** – sa nachádza mimo viditeľného rozsahu. Kamery pracujúce v tomto pásme zaznamenávajú žiarenie s kratšou vlnovou dĺžkou. UV snímání. Sa využíva najmä v špecifických priemyselných alebo vedeckých

aplikáciách. Umožňuje detegovať mikrotrhliny, chemické zmeny na povrchu materiálov alebo úniky niektorých plynov.

Jednotlivé spektrálne pásma sa môžu kombinovať v jednom systéme. Multispektrálne alebo termálne kamery umožňujú získavať komplexnejšie informácie o prostredí. Výber vhodného pásma závisí od konkrétneho účelu použitia UAV.

#### Špeciálne delenie frekvencií

Bezdrôtová komunikácia UAV sa uskutočňuje v rôznych frekvenčných pásmach, ktoré sú medzinárodné alebo národné regulované. Frekvenčné spektrum je rozdelené tak, aby sa predišlo vzájomnému rušeniu a zabezpečila sa spoľahlivá prevádzka všetkých služieb. Špeciálne delenie znamená, že určité pásma sú vyhradené pre špecifické účely. Niektoré frekvencie sú určené na verejnú komunikáciu, iné pre bezpečnostné, letecké alebo vojenské použitie. Takéto rozdelenie umožňuje lepšiu organizáciu a kontrolu využitia rádiového spektra.

ISM pásma – (Industrial, Scientific and Medical) sú frekvenčné rozsahy voľne dostupné pre široké použitie bez potreby individuálneho povolenia. Patria sem napríklad pásma 2,4 GHz a 5,8 GHz, ktoré využíva aj veľká časť UAV pre prenos dát alebo ovládania. Tieto pásma sú však náchylnejšie na rušenie, pretože ich využíva množstvo zariadení, ako sú Wi-Fi siete, Bluetooth či mikrovlnné rúry.

Pridelené pásma – sú tie, ktoré štátne alebo medzinárodné regulačné orgány pridelujú konkrétnym službám alebo organizáciám. Môžu to byť napríklad pásma pre mobilné siete (4G, 5G). UAV využívajú tieto pásma v prípadoch, keď je vyžadovaná vyššia spoľahlivosť alebo licencia na prevádzku.

Vojenské frekvencie – sú špecifické pásma, vyhradené pre armádu a obranné systémy. Tieto frekvencie nie sú verejne prístupné a ich používanie je prísne kontrolované. Vojenské UAV využívajú šifrované spojenia na chránených frekvenciách, aby bola zaistená bezpečnosť komunikácie a odolnosť voči rušeniu alebo odpočúvaniu.

Rušenie frekvencií – predstavuje významný problém v bezdrôtovej komunikácii UAV. Môže nastať, ak viac zariadení pracuje na rovnakých alebo blízkych frekvenciách. Rušenie spôsobuje zníženie kvality prenosu, výpadky spojenia alebo úplnú stratu ovládania dronu. Preto je dôležité správne plánovať využitie frekvencií a pri kritických misiách používať spoľahlivejšie alebo rezervované pásma.

Správne riadenie frekvenčného spektra je základom pre bezpečné a efektívne využívanie UAV v rôznych oblastiach, od hobby nasadenia až po profesionálne a vojenské operácie.

#### 4. Záver

V tejto bakalárskej práci som sa zaoberal využitím mobilných sietí pri ovládaní a prenose dát z bezpilotných lietadiel (UAV). Zameril som sa najmä na siete 4G LTE a 5G, ktoré vďaka nízkej latencii, vysokej priepustnosti a spoľahlivému pokrytiu umožňujú efektívny a bezpečný prenos riadiacich aj senzorických dát v reálnom čase. Podrobnejšie som analyzoval výhody 5G technológie, ako sú ultranízka latencia (<1 ms), vysoká kapacita a podpora masívnej konektivity. Dôležitým aspektom využitia mobilných sietí je aj zvýšenie kvality a stability

prenosu videa a dát z UAV na zem. Najmä 5G umožňuje streamovanie videa vo vysokom rozlíšení (napr. 4K alebo 8K) v reálnom čase bez výpadkov a oneskorenia. Vďaka tomu môže byť operátor dronu neustále v spojení s vizuálnym aj technickým výstupom z bezpilotného lietadla (UAV), čo zvýši bezpečnosť a presnosť prevádzky. Navyše, sieťová infraštruktúra 5G umožňuje **paralelný prenos rôznych typov dát**, ako sú napríklad údaje z termokamier, LIDARu alebo iných senzorov, bez narušenia kvality spojenia. Do budúcnosti považujem za dôležité riešiť otázky **regulácie, bezpečnosti komunikácie a efektívnej integrácie UAV do mobilnej infraštruktúry** vrátane spolupráce s tzv. **U-Space systémami** pre manažment vzdušného priestoru. Mobilné siete, najmä 5G, majú potenciál stať sa kľúčovým prvkom pri budovaní robustného ekosystému pre UAV prevádzku, a tým umožniť bezpečné, škálovateľné a inteligentné využitie dronov vo verejnom aj súkromnom sektore.

#### Podakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky KEGA 54ŽU-4/2025 "Možnosti využitia umelej inteligencie v študijnom programe letecká doprava pri výučbe pilotov a technikov údržby. (SmartSkyEdu)"

#### Referencie

Alza, „Rozlíšenie 4K (Ultra HD),“ 26 Október 2020. [Online]. Available: <https://www.alza.sk/rozlisenie-4k-ultra-hd-art7638.htm>.

E. INFO, „Wi-Fi – info, limity, meranie, účinky, možnosti ochrany,“ 19 Apríl 2025. [Online]. Available: <https://elektrosmog-info.voxo.eu/wi-fi>.

J. Ř. Jaroslav Kocourek, Drony, Praha: TELINK, spol. s r. o., 2021.

T. s.r.o., „Terradron.sk,“ 2020. [Online]. Available: <https://terradron.sk>.

Ú. p. r. e. k. a. p. s. (ÚREKPS), „Slov-Lex,“ 1 Január 2021. [Online]. Available: [https://static.slov-lex.sk/pdf/prilohy/SK/ZZ/2020/367/20210101\\_5279389-2.pdf](https://static.slov-lex.sk/pdf/prilohy/SK/ZZ/2020/367/20210101_5279389-2.pdf).

Wikipédia, „Rozlišovacia schopnosť,“ 15 Apríl 2025. [Online]. Available: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Rozlisovacia\\_schopnost\\_\(monitor\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Rozlisovacia_schopnost_(monitor)).