

Mass Use of Drones for Civilian Purposes. (MDCU)*

Tomáš Mariňák, Dmytro Seredenko, Dominik Luksaj

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií
xszeredenkod@stuba.sk xmarinak@stuba.sk

8. novembra 2025

1 IMPLEMENTÁCIA

Implementácia projektu bude realizovaná v niekoľkých navzájom prepojených etapách, ktoré zabezpečia tvorbu funkčného demonštračného modelu decentralizovanej siete dronov (ďalej „systém“) určeného pre civilné účely — doručovanie, pomoc v núdzi, monitorovanie bezpečnosti. Cieľom je predviesť technickú aj organizačnú realizovateľnosť tejto koncepcie v mestskom prostredí.

Fáza 1: Analýza požiadaviek a špecifikácia systému

V tejto úvodnej fáze bude vykonaná hĺbková analýza potrieb relevantných užívateľov a strán — logistických operátorov, záchranných služieb, bezpečnostných zložiek a mestských správcov. Zameriame sa na definovanie základných funkčných požiadaviek systému, ako sú: registrácia dronov a staníc (tzv. uzlov siete), pridelovanie úloh dronom, sledovanie polohy a stavu dronov v reálnom čase, výmena dát medzi uzlami a centrálnou kontrolou, adaptívne plánovanie letových trás a reakcia na dynamické udalosti (napr. núdzové zásahy). Pri tejto analýze budeme vychádzať aj z literatúry týkajúcej sa siete dronov a ich komunikačných a radiacích výziev — napríklad survey článok „Unmanned Aerial Vehicles: A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges“ [1] uvádza, že jedným z hlavných problémov nasadenia dronov v civilných aplikáciách je výdrž batérie, vyhýbanie sa kolíziám a komplexné sieťové a bezpečnostné požiadavky.

Fáza 2: Návrh architektúry systému

Na základe analytických výstupov bude navrhnutá architektúra systému, založená na decentralizovanom modeli riadenia siete dronov. Predpokladom je, že mesto je pokryté množstvom staníc (uzlov) pre drony — tieto uzly budú vybavené nabíjacími/preskladacími modulmi, komunikačnou infraštruktúrou a lokalizačnými senzormi. Drony budú spravované autonómne v rámci pridelených oblastí a budú schopné komunikovať medzi uzlami cez mesh-sieť alebo prostredníctvom mobilnej siete (napr. 5G) ako záložnej infraštruktúry — čo korešponduje s prácou „A Survey on Cellular-connected UAVs: Design Challenges, Enabling 5G/B5G Innovations, and Experimental Advancements“ [2]. Komunikačný model bude definovaný tak, že uzly môžu prijímať a odosielať informácie o pozícii, stave, úlohách a prioritách dronov v reálnom čase. Taktiež bude navrhnuté rozloženie letových zón, priemerné vzdialenosti dronov od staníc, režim nabíjania a výmenu dronov na staniciach. Na modelovanie architektúry systému budú použité nástroje ako UML (use-case diagramy, komponentné diagramy) alebo nástroje vizualizácie (napr. Draw.io) a simulácie návrhov v prostredí Python, pričom budú využité knižnice pre simuláciu udalostí (napr. SimPy) a vizualizáciu trás a prevádzky. Tým sa overí funkčnosť návrhu pred implementáciou prototypu.

Fáza 3: Vývoj prototypu a simulácia prevádzky

V tejto fáze bude vyvinutý demonštračný prototyp softvérovej časti systému. Prototyp bude pozostávať z komponentov: satelitný model alebo simulátor dronov, radiaceho uzla (server) a jednoduchého používateľského

*Semestrálny projekt v predmete Metódy inžinierskej práce, ak. rok 2024/25, vedenie: Vladimír Mlynarovič

rozhrania (web- alebo mobilná aplikácia) pre zadávanie úloh a vizualizáciu prevádzky. Simulácia bude demonštrovať spracovanie viacerých dronov súčasne v mestskej oblasti, pridelovanie úloh, nabíjanie a výmenu dronov na staniciach, reakciu na núdzové situácie a preladenie prevádzky podľa časových a priestorových parametrov. Výstup simulácie bude vizualizácia trás, využitia zdrojov (staníc, dronov), a analýza metrik ako priemerný čas doručenia/zásahu, percento využitia staníc, počet úloh za jednotku času. Tento prístup vychádza aj z literatúry „Networked Unmanned Aerial Vehicles for Surveillance and Monitoring: A Survey“ [3], ktorá skúma komunikačné modely a požiadavky na siete dronov pre civilné monitorovanie.

Simulácia tiež umožní testovanie scenárov: masové doručenia zásielok počas špičky, paralelné zásahy pri rôznych udalostiach, a robustnosť systému pri výpadku jednej alebo viacerých staníc. Na základe výsledkov simulácie budú navrhnuté odporúčania pre veľkosť siete staníc, počet dronov, režim výmeny nabíjania a optimálne rozloženie uzlov.

Fáza 4: Pilotné nasadenie a testovanie v reálnom prostredí

Po úspešnej simulácii bude navrhnutý plán pilotného nasadenia v obmedzenom mestskom území – napríklad v konkrétnej mestskej časti. Vybraný segment bude slúžiť na testovanie systému v reálnych podmienkach – doručenie malých zásielok, zásah dronu v simulovanej núdzovej situácii (napr. doručenie výbavy prvej pomoci) a monitorovanie vybranej oblasti pomocou siete dronov. Pilotné nasadenie umožňuje reálne overenie komunikácie, reakčného času, bezpečnostných aspektov a koordinácie medzi dronmi a uzlami. Bude definované monitorovanie výkonnosti systému – napríklad spoľahlivosť komunikácie, úspešnosť vykonania úloh, využitie batérií, výpadky dronov či staníc, latencia riadenia. V tejto fáze budú vyriešené aj otázky integrácie s existujúcou infraštruktúrou (napr. logistické centrá, zásahové zložky) a budú definované prevádzkové postupy a bezpečnostné protokoly. Zohľadnené budú aj legislatívne aspekty nasadenia dronovej siete v meste – koordinácia s letovými službami, pravidlá nasadzovania dronov nad urbanizovaným územím, ochrana osobných údajov a bezpečnostné opatrenia.

Fáza 5: Vyhodnotenie, optimalizácia a dokumentácia

Na záver bude vykonané vyhodnotenie pilotného nasadenia – zber dát o prevádzke systému, analýza výkonnosti a identifikácia úzkych miest (napr. stanice s nábehom na preťaženie, oblasť s nízkym pokrytím, nadmerné čakanie dronov na výmenu batérie). Na základe týchto dát bude realizovaná optimalizácia – úprava počtu dronov a staníc, prepracovanie atribučného modelu pridelovania úloh, vylepšenie komunikačných protokolov a plánovanie letových trás. Dokumentácia bude zahŕňať technickú správu, používateľskú príručku pre systém, návrh správy prevádzky siete a odporúčania pre škálovanie systému v širšom mestskom prostredí.

2 Rozpočet

Položka	Množstvo / popis	Odhad nákladu (EUR)
Drony (5 ks)	civilné viacúčelové drony, vrátane senzora a komunikácie	12000
Nabíjacie/prenášacie stanice (3 ks)	modulárne uzly so stanicou na výmenu batérií + sieťové pripojenie	6000
Komunikačná infraštruktúra	router/mesh-uzly, SIM/konektivita 5G pre testovacie nasadenie	3000
Vývoj softvéru a simulácie	licencie, vývojári, testovanie (2 mesiace práce)	8000
Legislatíva/súlad s normami	konzultácie, povolenia, bezpečnostné protokoly	1500
Pilotné nasadenie	prenájom priestoru, testovacie scenáre	2500
Rezerva (cca 10%)	nepredvídané výdavky	3000
Celkom		36000

Poznámka: Rozpočet je orientačný a bude doladený v rámci ďalšej fázy projektu.

Literatúra

- [1] Hesham Shakhatreh, Ahmad Sawalmeh, and Ala Al-Fuqaha et al. Unmanned aerial vehicles: Civil applications and key research challenges. <https://arxiv.org/abs/1805.00881>, 2018.
- [2] Debashisha Mishra and Enrico Natalizio. A survey on cellular-connected uavs: Design challenges, enabling 5g/b5g innovations, and experimental advancements. <https://arxiv.org/abs/2005.00781>, 2020.
- [3] Xiaohui Li and Andrey V. Savkin. Networked unmanned aerial vehicles for surveillance and monitoring: A survey. <https://www.mdpi.com/1999-5903/13/7/174>, 2021.