



NÁVRH RIEŠENIA RIADENIA SKUPINY UAV

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

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

Abstract

This thesis addresses the challenges and solutions to the management of groups of unmanned aerial vehicles (UAVs). Using a comparative analysis approach, the research evaluates UAV group management methods in terms of their effectiveness under various criteria. The findings suggest that swarm algorithms, inspired by the collective behavior of natural systems, offer a better approach to achieve decentralized, adaptive, and scalable control of UAV groups. This thesis contributes to this field by providing a comprehensive analysis of UAV group management strategies and demonstrating the benefits of swarm algorithms across a variety of criteria. This research has implications for enhancing the capabilities and effectiveness of UAVs in applications such as search and rescue, environmental monitoring, etc.

Keywords

UAV, Decentralized control, Swarm algorithms, AI

1. Úvod

Bezpilotné letecké prostriedky (UAV), známe aj ako drony, sa javia ako kľúčové nástroje v rôznych oblastiach, od sledovania a prieskumu, po monitorovanie životného prostredia a rýchlu reakciu pri katastrofách. Stúpajúci dopyt po nasadení UAV v rôznych odvetviach viedol k vzniku skupín UAV. Skupiny UAV môžeme chápať ako flotily UAV s viacerými dronmi pracujúcimi súbežne. Pri riadení skupiny UAV sa otvára množstvo výziev, ktorým treba čeliť, týkajúcich sa napríklad komunikácie, koordinácie, optimalizácie zdrojov a mnoho ďalších.

Táto diplomová práca preniká do jadra týchto výziev s cieľom poskytnúť komplexné a inovatívne riešenie pre efektívne riadenie skupín UAV. Názov "Návrh riešenia pre riadenie skupín UAV" zachytáva podstatu tohto výskumného úsilia, ktoré sa snaží zaoberať problémami a detailmi spojenými s riadením viacerých UAV súčasne.

Všeobecným cieľom tejto práce je zanalyzovať súčasné možnosti riadenia skupín UAV a prísť s jasným záverom, ktorý bude poukazovať na najefektívnejší prístup, ktorý nielen umožňuje plynulú komunikáciu a koordináciu medzi UAV, ale tiež optimalizuje ich kolektívny výkon. Keďže UAV čoraz viac nachádzajú uplatnenie v komplexných a dynamických prostrediach, potreba inteligentného a adaptívneho riešenia pre riadenie skupín UAV sa stáva nevyhnutnou.

V nasledujúcich kapitolách budem preskúmať existujúce systémy, riadenia skupín UAV, identifikovať súčasné problémy a navrhmem riadenie, ktoré najviac vyhovuje daným podmienkam. Do detailu sa pozrieme na systémy ako sú centralizované riadenie, decentralizované riadenie, umelá inteligencia, 4G/5G mobilné siete a ďalšie. Taktiež sa budem venovať monitorovacím systémom UAV kde sa bližšie pozriem na radarové systémy, rádiový frekvenčné systémy atď.. Na záver teoretickej časti si ešte priblížime aspekty letu UAV. V neposlednom rade navrhmem najefektívnejší prístup na riadenie skupín UAV a taktiež potenciálne zlepšenie daného systému. Prostredníctvom analýzy dát teoretických podkladov a praktických implementácií si kladiem za cieľ významne prispieť k

oblasti technológie UAV, posúvajúč schopnosti a efektívnosť operácií skupín UAV.

2. Metodika a metódy skúmania

Cieľom tejto diplomovej práce je identifikovať a vyhodnotiť optimálne prístupy na riadenie skupín bezpilotných lietadiel. Dôležitosť efektívneho a prispôsobivého riadenia skupín UAV podčiarkujú potenciálne aplikácie v oblastiach, ako je logistika, dohľad a reakcia na katastrofy a mnoho ďalších. Hlavnou otázkou je: Aké sú optimálne prístupy k riadeniu skupín bezpilotných lietadiel vzhľadom na definované kritériá?

V tejto práci sa využíva komparatívny prístup založený na zmiešaných metódach. Teoretická analýza existujúcich modelov riadenia ako je: centralizované a decentralizované riadenie, 4G/5G mobilné siete, Strojové učenie/AI, Algoritmy roja, Satelitná komunikácia, Distribuované vnímanie a komunikácia.

Vybrané prístupy k riadeniu sa budú hodnotiť na základe týchto 10 kritérií:

Škálovateľnosť, Efektívnosť komunikácie, Predchádzanie kolíziám, Prispôsobivosť dynamickému prostrediu, Energetická efektívnosť, Odolnosť voči poruchám, Výkonnosť misie, Bezpečnosť a ochrana súkromia, Nákladová efektívnosť, Predpisy a regulácie

Teoretický prehľad: Systematický prehľad literatúry preskúma existujúci výskum metód skupinového riadenia bezpilotných lietadiel so zameraním na porovnanie výkonnosti v rámci vymedzených kritérií a taktiež sa pozrie sa monitorovacie systémy, ktoré môžu byť použité pri monitorovaní UAV. A v nakonec sa analyzujú jednotlivé aspekty letu.

Kvalitatívna: Tematická analýza určí silné a slabé stránky a optimálne prípady použitia rôznych prístupov riadenia UAV.

Táto metodika kombinuje teoretickú analýzu a potenciálne overenie v reálnom svete s cieľom poskytnúť komplexné hodnotenie prístupov skupinového riadenia UAV. Zistenia

prispievajú k vývoju efektívnejších a prispôsobivejších systémov UAV pre rôzne aplikácie.

V záverečnej časti sa v prvom rade budem venovať diskusii v ktorej budem porovnávať výsledky, ktoré získam z komparatívnych analýz so súčasným stavom. Následne budem pokračovať so samotným záverom kde zhodnotím výstup práce.

3. Výsledky

Táto komplexná analýza dokazuje pozoruhodnú vhodnosť algoritmov roja pre široké spektrum scenárov riadenia UAV. Rojové algoritmy jednoznačne vynikli v ôsmich z desiatich kľúčových kritérií: škálovateľnosť, efektívnosť komunikácie, odolnosť voči poruchám, prispôsobivosť dynamickému prostrediu, energetická efektívnosť, bezpečnosť a ochrana súkromia, nákladová efektívnosť a súlad s právnymi predpismi. Táto dominancia naznačuje, že sú veľmi presvedčivou voľbou pre mnohé reálne aplikácie.

Kľúčovým faktorom ich úspechu je prirodzená jednoduchosť správy jednotlivých UAV v rámci roja spolu s dôrazom na lokalizovanú komunikáciu na krátku vzdialenosť. Táto decentralizovaná štruktúra umožňuje bezproblémovú škálovateľnosť, keďže pridanie ďalších UAV drasticky nezvyšuje komunikačnú réžiu ani nevyžaduje zložitú centralizovanú koordináciu. Absencia centrálného bodu zlyhania poskytuje rojom výnimočnú odolnosť voči poruchám, čím sa zabezpečuje kontinuita misie aj v prípade poruchy alebo straty jednotlivých UAV. Okrem toho závislosť od lokálneho rozhodovania robí algoritmy roja vysoko adaptabilnými, pretože môžu organicky reagovať na zmeny v prostredí alebo na zmenu cieľov.

Tieto zistenia majú významné praktické dopady. Vďaka škálovateľnosti, odolnosti voči chybám a prispôsobivosti sú algoritmy roja mimoriadne vhodné pre misie vyžadujúce veľký počet bezpilotných lietadiel operujúcich v nepredvídateľnom prostredí. Príklady zahŕňajú:

Monitorovanie a snímanie vo veľkom meradle: Algoritmy roja sú ideálne na nasadenie hustých sietí bezpilotných lietadiel na monitorovanie rozsiahlych oblastí z hľadiska zmien životného prostredia, hodnotenia stavu poľnohospodárstva alebo kontroly infraštruktúry. Škálovateľnosť rojov umožňuje rozsiahle pokrytie, pričom ich prispôsobivosť zaručuje, že sa v prípade potreby dokážu prispôbiť dynamickým podmienkam alebo zmeniť konfiguráciu.

Vyhľadávanie a záchrana: V zónach postihnutých katastrofou alebo pri pátraní v odľahlých oblastiach divočiny môže roj bezpilotných lietadiel rýchlo pokryť rozsiahle oblasti. Odolnosť voči poruchám zabezpečuje pokračovanie v pátraní aj v prípade zlyhania jednotlivých UAV a adaptívna povaha roja im umožňuje reagovať na zmeny v reálnom čase alebo upravovať pátracie vzory bez centrálného preprogramovania.

Logistika a dodávka: Logistické siete založené na rojoch by mohli priniesť revolúciu v doručovaní v mestských alebo vzdialených oblastiach. Ich prispôsobivosť meniacim sa podmienkam (doprava, počasie) a potenciál samooptimalizácie trás na základe údajov v reálnom čase zodpovedá požiadavkám doručovacích služieb na požiadanie.

Bezpečnosť a dohľad: Vďaka ich škálovateľnosti a odolnosti by sa roje mohli nasadiť na trvalý dohľad nad citlivými oblasťami

alebo na dynamické hliadkovanie perimetra. Prispôsobivosť roja im umožňuje reagovať na potenciálne hrozby alebo narušenia bez potreby neustáleho centralizovaného riadenia.

4. Záver

Daná diplomová práca presvedčivo dokazuje vhodnosť algoritmov roja ako robustného a univerzálneho prístupu k riadeniu bezpilotných lietadiel. Ich sila v kritériách, ako sú škálovateľnosť, adaptabilita, odolnosť voči poruchám a energetická účinnosť, ich stavia do pozície sľubného riešenia pre rôzne reálne misie. Dôležité je, že táto štúdia zdôrazňuje výrazné výhody roja v porovnaní s centralizovanými prístupmi AI/strojového učenia. Rojové algoritmy kladú dôraz na decentralizované rozhodovanie a lokalizované interakcie, čo vedie k prirodzenej škálovateľnosti a odolnosti. Hoci decentralizované riadiace systémy v súčasnosti vykazujú výhody pri predchádzaní kolíziám, táto oblasť predstavuje príležitosť pre ďalší výskum, ktorý by potenciálne mohol skúmať hybridné modely riadenia na dosiahnutie ešte vyššej úrovne výkonnosti.

Preukázané silné stránky algoritmov roja ich stavajú do pozície výkonného základu pre skúmanie hybridných prístupov riadenia UAV. Integráciou možností predchádzania kolíziám z decentralizovaných riadiacich systémov by hybridné modely mohli ďalej zvýšiť bezpečnosť a odolnosť operácií založených na roji v zložitých alebo dynamických prostrediach. Okrem toho by hybridný prístup mohol zaviesť ďalšie vrstvy bezpečnosti kombináciou odolnosti voči poruchám rojov s prvkami redundancie z decentralizovaných systémov. Okrem toho prirodzená prispôsobivosť algoritmov roja z nich robí sľubnú platformu na integráciu učiacich sa algoritmov v rámci hybridného kontextu. Vývoj hybridných riadiacich systémov si bude vyžadovať dôkladné simulácie a starostlivo navrhnuté experimenty v teréne, aby sa zabezpečila bezproblémová a bezpečná integrácia správy roja a decentralizovaných prvkov. Takýto výskum má zásadný význam pre zabezpečenie spoľahlivosti a predvídateľnosti týchto systémov UAV novej generácie. Jednotlivé UAV roja by sa mohli potencionálne "naučiť" optimalizovať svoje lokálne správanie v priebehu času, čo by viedlo k zvýšeniu výkonnosti a efektívnosti misie.

V konečnom dôsledku táto práca prispieva k vývoju novej generácie systémov bezpilotných lietadiel - kde sa roje a decentralizované prvky kombinujú na dosiahnutie vyššej úrovne adaptability, flexibility, bezpečnosti a ochrany. Hybridné prístupy majú potenciál revolučne zmeniť oblasti, ako je monitorovanie životného prostredia, taktiež by mohli umožniť efektívnejšie fungovanie rojov v hustých mestských prostrediach.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu 313011ATR9 "Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19".

Referencie

- [1] G.Natarajan, Ground Control Stations for Unmanned Air Vehicles, Aeronautical Development Establishment, Bangalore, July 2001

- [2] Wei Meng, Zhirong He, Rodney Teo, Rong Su, Lihua Xie, Integrated multi-agent system framework: decentralised search, tasking and tracking, IET, 2015
- [3] Albert Y. Zomaya, Handbook of Nature-Inspired and Innovative Computing, Springer, 2006
- [4] Stocchero, Jorgito Matiuzzi, A network centric architecture for military command and control systems, Federal University of Rio Grande do Sul, located in Porto Alegre, Brazil, 2023
- [5] Hazem Ahmed, Janice Glasgow, Swarm Intelligence: Concepts, Models and Applications, School of Computing Queen's University Kingston, Ontario, Canada, 2012
- [6] Guy Roberts, PhD Dr. Ir. Pieter-Tjerk de Boer, Quantum Key Distribution in a Pan-European Network of National Research and Education Networks, University of Twente Enschede, 2022
- [7] Smartwear. Legislatíva lietania s dronmi na slovensku 2021. Online. Dostupné na: <https://smartwear.sk/2021/02/10/legislativa-lietania-s-dronmi-na-slovensku-2021/>
- [8] David D. Murakami, Sreeja Nag, Miles Lifson and Parimal H. Kopardekar, Space Traffic Management with a NASA UAS Traffic Management (UTM) Inspired Architecture, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2019