

# USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN UNMANNED AERIAL VEHICLES INDUSTRY

## VYUŽITIE UMELEJ INTELIGENCIE V ODVETVÍ LIETAJÚCICH BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV

**Adam Buday**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
adam.buday@centrum.sk

**Viliam Ažaltovič**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
viliam.azaltovic@fpedas.uniza.sk

### Abstract

*The aim of this paper is the analysis of the contemporary state of implementation of artificial intelligence in the area of unmanned aerial vehicles (UAV), and a proposal of further use of artificial intelligence systems in this area in the future. We analyse three essential areas in which artificial intelligence systems are currently being implemented to some extent – path following, object detection and tracking, and anti-collision systems. In each mentioned area we apply different solution methods, technical requirements, but also advantages and disadvantages of those solutions. We present an overview of artificial intelligence as a scientific branch. Finally, we present an overview of how artificial intelligence in the field of UAV could be implemented in the future, based on an analysis of the current state and direction of research and development in the present. We describe the possibilities of use artificial intelligence systems in two areas that are currently receiving the most attention at concept level, namely the flight of autonomous UAV swarms and the improvement of communication and data exchange between individual UAVs using artificial intelligence.*

### Keywords

*Unmanned aerial vehicles, artificial intelligence, machine learning, artificial neural networks*

## 1. Úvod

V súčasnosti dochádza k masovému využívaniu bezpilotných lietajúcich prostriedkov v mnohých oblastiach, či už v civilnej, alebo vo vojenskej oblasti. Dôvodom je najmä ich široká komerčná dostupnosť a výrazne nižšie náklady pri porovnaní s použitím pilotovaných letúnov. V poslednom desaťročí našli svoje využitie v oblasti bezpilotných lietajúcich prostriedkov aj systémy, ktoré pracujú na princípe umelej inteligencie. Ukazuje sa, že použitie týchto systémov bude kľúčové pri ich použití v mnohých ďalších sférach.

Cieľom tejto práce je poskytnutie prehľadu o súčasnom stave využitia systémov pracujúcich na princípe umelej inteligencie v oblasti bezpilotných lietajúcich prostriedkov (ďalej UAV), a analýze možností ich širšieho využitia v budúcnosti, po vyriešení problémov a nedostatkov, ktoré v súčasnosti ich širšie využitie nedovoľujú, alebo značne obmedzujú.

V prvej kapitole sa venujeme analýze súčasného stavu implementácie systémov využívajúcich princípy umelej inteligencie v oblasti UAV. Sledujeme tu 3 hlavné oblasti, pri ktorých sú v súčasnosti systémy pracujúce na princípoch umelej inteligencie využívané v najväčšej miere: autonómna navigácia, autonómne protizrážkové systémy a autonómna detekcia a sledovanie objektu.

V druhej kapitole sa venujeme podrobnejšej definícii pojmu umelá inteligencia a stručnej histórii vývoja umelej inteligencie ako vednej disciplíny. Taktiež opisujeme princíp činnosti dvoch

konceptov, ktoré sú v najväčšej miere využívané v oblasti autonómnych systémov UAV – strojové učenie a umelé neurónové siete.

Tretia kapitola opisuje metódy a postupy, ktoré sme používali pri tvorbe tejto práce.

V poslednej kapitole sa venujeme analýze možností širšieho využitia UAV v civilnej, ako aj vo vojenskej sfére. V prípade budúceho využitia umelej inteligencie v oblasti UAV sa zaoberáme letmi formácií autonómnych UAV, ako aj možnosti využitia umelej inteligencie ako nástroja pre zefektívnenie komunikácie a výmeny dát medzi jednotlivými UAV.

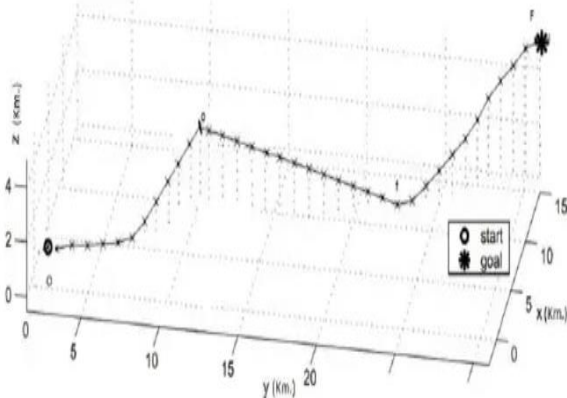
### 1.1. Analýza súčasného stavu

Systémy pracujúce na princípe umelej inteligencie nachádzajú svoje uplatnenie aj v oblasti UAV. Umožňujú vývoj rôznych autonómnych systémov a funkcií, a tým znižujú pracovné zaťaženie UAV. Taktiež môžu znížiť riziko nehody spôsobenej zlyhaním ľudského faktora. Väčšina z nich je v súčasnosti autonómnych iba do istej miery, resp. iba niektoré činnosti sú automatizované. Najväčším problémom, ktorý bráni širšej implementácii umelej inteligencie v oblasti UAV, je nedostatok výpočtovej kapacity.

### 1.2. Plánovanie trasy UAV s využitím umelej inteligencie

Pri pohybe v dynamickom prostredí sa UAV sa musia počas letu vyhýbať prekážkam a náhlym, neočakávaným hrozbám (tzv. pop – up threats). Pre zvýšenie efektivity musí plne autonómne UAV

letieť po optimálnej, alebo skoro optimálnej trase. Hlavným problémom pri plánovaní trasy autonómnych UAV je neistota spojená s dynamickým prostredím a implementácia autonómneho rozhodovacieho algoritmu v danom časovom okne. Pre riešenie dynamického plánovania trasy je v súčasnosti používaných niekoľko druhov algoritmov, ako napríklad A\*, GA, VPF, alebo MPC. [1]



Obrázok 1: Geometria trasy UAV s využitím význačných bodov. Zdroj: [2].

Pre dynamické plánovanie trasy sa vo všeobecnosti používa segmentácia trate na význačné body, medzi ktorými je vzhľadom na optimalitu vypočítaná vhodná trasa. UAV sa môžu počas letu stretnúť s nepredvídanými hrozbami alebo prekážkami, preto musia disponovať schopnosťou dynamického plánovania trasy. Akonáhle UAV zachytí nepredvídanú prekážku, musí replánovať svoju trasu pomocou revízie referenčnej trasy, aby sa zabránilo kolízií. [2]

### 1.3. Proporcionálna navigácia v oblasti UAV, využitie strojového učenia

So zvyšujúcim sa počtom letúnov prevádzky je vzájomná kolízia čoraz vážnejšou hrozbou. Jednou z možností riešenia tejto hrozby je použitie autonómnej proporcionálnej navigácie, ktorá je v súčasnosti najpoužívanejšou v oblasti UAV. Aj keď bola proporcionálna navigácia vyvinutá už v 60. rokoch 20. storočia, stále sú jej možnosti a charakteristiky predmetom širšieho výskumu. Táto môže byť použitá pre účely navigácie, aj ako prostriedok vyhnutia sa narušiteľovi. V súčasnosti sa vykonáva riadenie letovej prevádzky UAV najmä na pozemných stanovištiach riadenia letovej prevádzky. Avšak s rýchlym nárastom objemu leteckej dopravy a počtu UAV, pozemné riadenie letovej prevádzky nebude dostačujúce na efektívne pokrytie a navádzanie každého letúna. Preto sú vyvíjané samostatné palubné systémy navigácie, riadenia a protizrážkové systémy. [3]

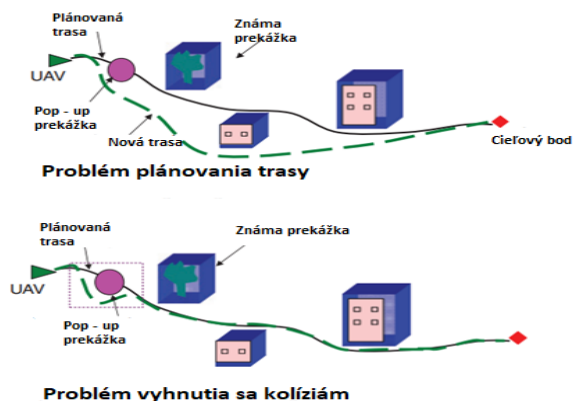
Umelá inteligencia poskytuje viacero algoritmov pre hľadanie optimálnych riešení komplexných problémov a systémy samostatného učenia, ktoré vylepšujú správanie sa modelu na základe predchádzajúcich skúseností. Umelá inteligencia je používaná pre hľadanie optimálnej dráhy letu a pre predchádzanie kolíziám. Algoritmus umelej inteligencie učenia sa je založený na základnej proporcionálnej navigácii. Vylepšený algoritmus učenia sa neustále mení na základe predchádzajúcich

skúseností. Pre riešenie vyhnutia sa kolízií je teda najvhodnejšie použiť algoritmy strojového učenia (machine learning). Tieto používajú reálne modely na učenie a vyhodnotenie rôznych scenárov. Reálne modely vyžadujú abstraktné, nerelevantné informácie pre zvýšenie rýchlosti vyhodnotenia daného problému, avšak tieto musia byť také, aby došlo k čo najmenšej redukcii typického správania sa. [4]

### 1.4. Autonómne protizrážkové systémy UAV

Pri mnohých aplikáciách UAV je potrebný let v nízkej výške, čo automaticky zvyšuje riziko kolízie s prírodnou, alebo umelou prekážkou. Preto sa vyžaduje schopnosť detekcie prekážky a plnenie pôvodnej úlohy v tom istom čase. Táto schopnosť vyžaduje implementáciu robustných, výpočtovo uskutočniteľných protizrážkových algoritmov. Tieto algoritmy musia spĺňať viaceré kritériá, a to: zohľadnenie dynamiky daného UAV, čo najkratší čas implementácie po detekcii prekážky, efektívne využitie výpočtových zdrojov a vykonanie uhýbacieho manévru vzhľadom na optimalitu trasy.

Vo všeobecnosti sú autonómne protizrážkové algoritmy riešené dvoma spôsobmi: ako problém plánovania trasy alebo ako problém vyhýbania sa kolíziám. Pri probléme plánovania trasy sa vzhľadom na optimalitu po vykonaní uhýbacieho manévru vypočíta nová trasa. Naopak, pri použití problému vyhýbania sa kolíziám sa UAV vracia na pôvodnú trasu. Toto riešenie je vhodné napríklad pri prieskume terénu, kde nie je pevná požiadavka na konkrétnu trasu. [5]



Obrázok 2: Zobrazenie problémov plánovania trasy a vyhnutia sa kolízií. Zdroj: [5].

### 1.5. Detekcia a sledovanie objektu s použitím autonómnych UAV

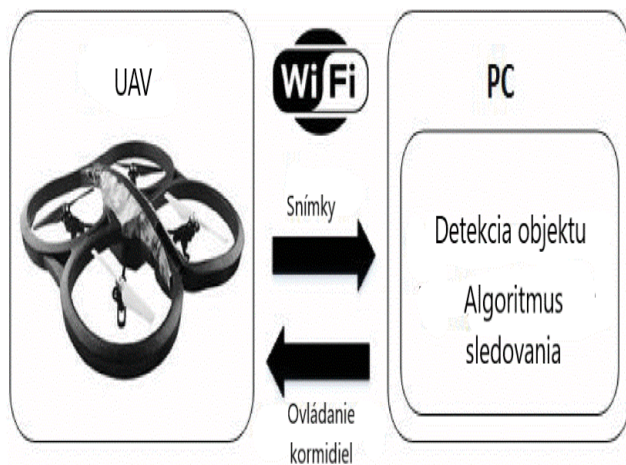
V poslednom období výrazne vzrástol záujem o použitie autonómnych UAV, napríklad pri prieskume danej oblasti, pátraní a záchrane a kontrole infraštruktúry. Pri týchto aplikáciách UAV je vizuálna detekcia daného objektu kľúčovým prvkom a vyžaduje vývin plne autonómnych systémov. Detekcia objektu je však veľmi náročná, najmä pri použití bežne dostupných nízkonákladových UAV. Rozlíšenie kamery je často nízke, a obraz daného objektu býva rozmazaný v dôsledku pohybu UAV. Ďalším limitujúcim faktorom v tejto oblasti je potreba pre výkon detekcie a rozpoznania v reálnom čase.

Výkon pri rozpoznávaní objektov sa však rapídne vylepšuje, vďaka vývoju prelomových techník počítačového videnia, ktoré správne funguje pre širokú škálu objektov. Väčšina týchto techník je založená na princípe „hlbokého učenia“ (deep learning). Klúčovou metódou je tu určenie modelov pri jednotlivých objektoch použitím surových pixelových dát, namiesto tradičného prístupu vytvorenia algoritmu pre každý objekt. Vytvorenie týchto modelov bude vyžadovať vytvorenie veľkých datasetov. Tento problém môže byť vyriešený vytvorením veľkokapacitných databáz. Pri rozpoznávaní objektov z danej databázy je potrebné použiť výkonný GPU. Použitie týchto technológií je z veľkej časti nedosiahnuteľné pri bežne komerčne dostupných UAV, kvôli požiadavkám na hmotnosť, veľkosť a výkon. Riešením pri tejto metóde rozpoznávania objektu by mohlo byť použitie vzdialeného servera. [6]

### 1.6. Umelé neuronové siete ako nástroj pre detekciu a sledovanie objektu pomocou UAV

V súčasnosti je navrhnutých množstvo metód pre autonómnú detekciu sledovanie objektu v oblasti UAV. Jedným z najslubnejších riešení je využitie konvolučných neuronových sietí, ktorých princíp činnosti opisujeme v tretej kapitole. Konvolučné neuronové siete sú jedným s najslubnejších riešení, ktoré môžu v tejto oblasti efektívne využívať princípy tzv. hlbokého učenia (Deep Learning). Konvolučné neuronové siete sú jedným z typov neuronových sietí.

Konvolučné neuronové siete sú považované za veľmi účinný nástroj pri použití v týchto oblastiach. Kvôli veľkému potenciálu konvolučných neuronových sietí bolo navrhnutých množstvo druhov detektorov obrazu. Pri ich navrhovaní sa kladie dôraz na zlepšenie presnosti detekcie a výpočtovej komplexity ich metód s cieľom dosiahnuť požadovaný výpočtový výkon v reálnom čase.



Obrázok 4: Architektúra systému detekcie a sledovania objektu pomocou KNS. Zdroj: [7].

Na obrázku č. 4 vidíme základnú architektúru systému detekcie a sledovania objektu s využitím konvolučných neuronových sietí. UAV komunikuje s počítačom pomocou siete Wi-Fi. UAV odosiela do počítača snímky pri konštantnej frekvencii, ktorá je prednastavená operátorom UAV, obvykle 30 Hz. Tieto snímky sú prijaté a spracované počítačom prostredníctvom konvolučnej neuronovej siete určenej na detekciu objektov. Určí sa poloha

sledovaného objektu pre odhad nastavenia hodnoty klonenia, klopenia a zatáčania a zmeny výšky. Tieto parametre sú poslané naspäť do UAV a použité pre iniciáciu procesu sledovania. [7]

## 2. Umelá inteligencia

Využitie systémov pracujúcich na princípoch umelej inteligencie je kľúčové pri vývoji autonómnych systémov v oblasti UAV. Umelá inteligencia vznikla ako teoretický koncept už pri vývoji prvých počítačov, počas 40. rokov 20. storočia. Pri vývoji systémov umelej inteligencie je snaha napodobniť princíp činnosti ľudskej inteligencie. V súčasnosti je rozpracovaných množstvo konceptov takýchto systémov, no ako hlavný nedostatok sa ukazuje opäť potreba pre výrazné zvýšenie výpočtovej kapacity. Pre plnohodnotné využitie niektorých konceptov bude potrebný vývoj úplne nových druhov počítačovej architektúry

### 2.1. Definícia pojmu

V súčasnosti stále neexistuje ucelená, jednoduchá a všeobecne akceptovaná definícia pojmu umelá inteligencia. Americký autor A. Barr definuje umelú inteligenciu ako „štúdium vzťahov medzi výpočtom a vedomím“. S vývojom prvých počítačov vzišla otázka, či bude možné, aby výpočtové systémy mysleli a riešili problémy podobným spôsobom, ako ľudský mozog. Toto obdobie sa nazýva aj ako „temné časy umelej inteligencie“ (40. roky 20. storočia).

Jeden z prvých a do dnešnej doby najuniverzálnejších výskumov inteligencie strojov bol „Computing machine and intelligence“ (tzv. Turingov test), napísaný britským matematikom Alanom Turingom v roku 1950. Vytvorenie teoretického konceptu Turingovho stroja a jeho praktické skúsenosti viedli Turinga k položeniu si základných otázok konceptu umelej inteligencie. Snažil sa nájsť odpovede na nasledujúce otázky: Existuje myslenie bez skúseností? Existuje myseľ bez komunikácie? Existuje jazyk bez života? Existuje inteligencia bez života? Turing definoval inteligentné správanie počítača ako „schopnosť dosiahnuť výkon ako človek pri vykonávaní kognitívnych úloh“. [8]

### 2.2. Machine learning

T. Mitchell definuje machine learning (strojové učenie) ako „štúdium počítačových algoritmov, ktoré sa vylepšujú automaticky pomocou skúseností“. Machine learning môžeme širšie definovať ako výpočtové metódy, ktoré používajú predchádzajúce skúsenosti na zvýšenie výkonu, alebo vytváranie presných predpokladov. Predchádzajúce skúsenosti môžu byť napríklad tréningové dáta nahrané človekom. Machine learning pozostáva z vytvárania efektívnych a presných predikčných algoritmov. Keďže úspešnosť algoritmu učenia závisí od použitých dát, machine learning je do veľkej miery odvodený zo štatistiky a dátovej analýzy. Spôsoby učenia sú teda dátové metódy, ktoré spájajú základné metódy v informatike s metódami štatistiky a dátovej analýzy. [9]

Vo vzťahu k autonómnym UAV je potrebné, aby bol daný systém schopný poskytnúť používateľovi relevantné vysvetlenie, prečo vykonal danú akciu. Preto dochádza k vývoju tzv. vysvetliteľnej umelej inteligencie (XAI – explainable artificial intelligence). Vysvetlenie môže byť podané buď pre celý rozhodovací proces globálne, alebo explicitne pre každý krok. [10]

### 2.3. Umelé neurónové siete

Jednou s najvýznamnejších možností aplikácie systémov umelej inteligencie je vytvorenie umelých neurónových sietí. Umelé neurónové siete sú matematické modely, vychádzajúce zo štúdia biologických nervových systémov. Ich implementáciou je teda možné vytvoriť úplne nový druh výpočtového stroja. V budúcnosti môže byť ich použitie bežné a veľmi významné, a to na základe dvoch významných faktorov.

Prvým je, že umelé neurónové siete, vďaka simuláciám biologických neurónových sietí, tvoria úplne nový druh výpočtovej architektúry a procesu algoritmickej. Umožňujú použitie jednoduchých výpočtových operácií na riešenie komplexných, nepresne definovaných matematických problémov.

Ďalším aspektom, čo odlišuje umelé neurálne siete od konvenčných výpočtových systémov, je ich vysoká paralelnosť. Konvenčné digitálne počítače sú sekvenčné prístroje. Ak vznikne porucha na jednom z tranzistorov, prípadne inej súčiastke, vedie to k poruche, alebo nefunkčnosti celého systému. Ľudský nervový systém stráca s časom množstvo neurónov, pričom nervová funkcia mozgu je zväčša nezasiahnutá.

Umelé neurónové siete je výhodné použiť pri riešení komplexných, nedostatočne zadefinovaných problémov. Množstvo takýchto problémov nájdeme napríklad v oblasti medicíny, ekonomiky a bezpečnosti. Mnoho z týchto problémov je v súčasnosti predmetom intenzívneho záujmu. V súčasnosti sú používané vo vzťahu k UAV (na experimentálnej úrovni) pre účely detekcie a sledovania objektu [11].

### 3. Návrh a využitie umelej inteligencie v bezpilotných prostriedkoch

V tejto kapitole uvádzame prehľad, akým spôsobom by mohli byť UAV, využívajúce umelú inteligenciu, používané v budúcnosti, a v akých oblastiach. Prinášame pohľad na využitie v civilnej a vojenskej sfére. Popisujeme možnosti implementácie umelej inteligencie v 2 oblastiach – lety formácií autonómnych UAV a možnosti optimalizácie sietí UAV pomocou umelej inteligencie.

#### 3.1. Potenciál širšieho využitia UAV s použitím systémov umelej inteligencie

Súčasný pokrok pri systémoch umelej inteligencie postupne umožní vývoj novej generácie autonómnych UAV, ktoré budú schopné autonómne vykonávať úlohy, bez potreby akéhokoľvek zásahu operátora. Hlavným dôvodom potreby implementácie systémov umelej inteligencie v oblasti UAV je nedostatok kvalifikovaného personálu schopného ich ovládania. Tento nedostatok bude oveľa badateľnejší už v blízkej budúcnosti. V súčasnosti existuje množstvo platforiem, kde môžu vývojári vytvoriť a simulovať fungovanie systémov umelej inteligencie vo virtuálnom realistickom prostredí. Mnohé krajiny už prispôbujú legislatívny rámec, aby bolo možné vykonávať lety autonómnych UAV.

Pri vývoji autonómnych UAV je najdôležitejším faktorom potreba transparentnosti rozhodovacieho procesu. Jej nedostatok má za následok vykonanie nelogických, alebo nepredvídateľných akcií, čo môže mať potenciálne veľmi nebezpečné následky. Vo vzťahu k transparentnosti sa vyvíja

koncept vysvetliteľnej umelej inteligencie, ktorý sme popísali v tretej kapitole.

Autonómne UAV však v súčasnosti stále nie sú používané vo veľkej miere. Môžeme to pripísať hlavne nedostatku výpočtovej kapacity. Množstvo skúšobných letov autonómnych UAV sa končí neúspechom, alebo iba čiastočným úspechom.

V blízkej budúcnosti môžeme očakávať použitie autonómnych, alebo čiastočne autonómnych UAV na komerčné účely, ako je napríklad donáška tovaru alebo pri poľnohospodárskych prácach. Množstvo veľkých spoločností má pripravené takéto technológie, a je pripravené ich využiť, akonáhle im to umožní legislatíva. Do roku 2050 môžeme očakávať široké využívanie autonómnych UAV. Pribudnú aj nové oblasti využitia, ako napríklad autonómne robotické lietajúce vozidlá, skupiny UAV čistiace oceány a vodné toky, plne autonómna výroba a distribúcia tovaru, alebo prieskum vzdialeného vesmíru pomocou autonómnych UAV. Ako pri zavádzaní každej novej technológie, aj tu vzniknú neželané vedľajšie efekty. Môžeme spomenúť hlavne obavy o ochranu súkromia, ktorú autonómne UAV určitým spôsobom výrazne narušia. Tiež vznikne príležitosť využiť autonómne UAV pri teroristickom útoku, alebo pri iných trestných činoch. Očakáva sa, že prínosy tejto technológie z dlhodobého hľadiska prevážia tieto riziká. [12]

#### 3.2. Možnosti využitia umelej inteligencie v oblasti bezpilotných prostriedkov vo vojenskej sfére

Využívanie UAV ozbrojenými zložkami je v súčasnosti pomerne kontroverznou témou. Niektoré medzinárodné organizácie nesúhlasia s akýmkoľvek využívaním UAV, najmä autonómnych, v ozbrojených silách. Pri autonómnych systémoch, ktoré budú mať za úlohu zničenie protivníka, bude teda extrémne dôležitá transparentnosť rozhodovacieho procesu.

Je však nereálne predpokladať, že ozbrojené zložky jednotlivých štátov sa vzdajú vývoja autonómnych UAV. V súčasnosti sa prudko rozvíja komerčný trh s autonómnymi leteckými aj pozemnými systémami. Zakázanie autonómnych UAV nemusí byť pre ozbrojené zložky vôbec výhodné, najmä kvôli obave ohľadom asymetrického vývoja autonómnych UAV v civilnej a vojenskej sfére.

Môžeme konštatovať, že dnešné autonómne UAV sú automatizované a teda nie plne autonómne. Ako príklad môžeme uviesť americké UAV *Desert Hawk III* alebo *RQ-11 Raven*, ktoré slúžia na účely prieskumu. Oba spomenuté UAV disponujú schopnosťou autonómnej navigácie. Prechod na autonómne bezpilotné prostriedky prinesie armádam taktiež výrazné ekonomické benefity, a hlavne eliminuje riziko ohrozenia ľudského života. [13]

V dnešnej dobe sa využívajú UAV najmä pri bojoch proti horšie vyzbrojeným ozbrojeným zložkám alebo proti teroristickým organizáciám. Lepšie vyzbrojené ozbrojené zložky (USA, pravdepodobne aj Rusko a Čína) sú schopné vyrušiť LOS dátové spojenie s pozemnou stanicou alebo so satelitom pomocou pozemných, alebo vzdušných ELINT systémov. Pokiaľ nebudú k dispozícii UAV vybavené autonómnymi zbraňovými systémami, ktoré budú schopné rozoznať protivníka od nezúčastnených strán, môžu byť použité na prieskum vzdušného priestoru protivníka a potenciálne zvýšenie radarového dosahu, keďže dosah pozemného radaru je ovplyvnený reliéfom terénu. Pri súčasných technológiách nie je efektívne používať UAV priamo

pri bojových operáciách vo vyšších počtoch. Predpokladá sa, že autonómne UAV budú použité v súčinnosti s pozemným vybavením, aby sa zabránilo jeho ohrozeniu pri hľadaní protivníka. V súčasnosti však stále nevieme presne predpovedať, akým spôsobom ovplyvnia bojové operácie autonómne UAV, ktoré budú využívať umelú inteligenciu. [14]

### 3.3. Formácie autonómnych UAV

Formáciu môžeme definovať ako koordinovanú jednotku pozostávajúcu z viacerých UAV, ktoré spoločne plnia jednu alebo viac úloh. V súčasnosti sú autonómne lety formácií UAV vo veľkej miere experimentálnym konceptom, ktorý by mohol byť v budúcnosti využitý najmä pre komerčné účely. Jedným z príkladov, kde by mohli byť využité formácie UAV, je sledovanie vegetácie pri odvetviach agrikultúry. Lety UAV vo formáciách sa začali navrhovať už začiatkom 90. rokov 20. storočia, najmä pre vojenské účely. V súčasnosti sa tejto problematike venuje vyššia pozornosť. Avšak pri súčasných letoch formácií UAV je úroveň autonómie nízka alebo nulová.

V súčasnosti sú vo väčšine prípadov jednotlivé UAV ovládané individuálne pomocou pozemnej stanice. Počítače pozemnej stanice prijímajú a vysielajú telemetrické údaje do UAV. Pri súčasnej úrovni autonómie je toto jediný spôsob, ako efektívne ovládať formáciu UAV. Nevýhodou je, že pri poruche pozemnej stanice je ohrozená prevádzka celej formácie. Tento spôsob ovládania taktiež neumožňuje individuálne vydávanie príkazov pre jednotlivé UAV.

Komunikáciu a výmenu dát medzi jednotlivými UAV vo formácií bude v budúcnosti najvhodnejšie riešiť použitím decentralizovanej (tzv. ad-hoc) siete, ktorá pre svoju funkčnosť nevyžaduje použitie existujúcej sieťovej infraštruktúry, ako sú napríklad pozemné ovládacie stanice. Pre vyriešenie týchto nedostatkov navrhujú *Campion et al.* adaptáciu vyššie spomenutej ad-hoc siete s podporou pozemnej infraštruktúry. Pozemná infraštruktúra má zabezpečiť komunikáciu medzi jednotlivými UAV, kde sú telemetrické údaje každého UAV komunikované pomocou mobilnej siete. Rozdiel medzi súčasným stavom riešenia tejto problematiky je ten, že pozemná infraštruktúra nevykonáva žiadne rozhodnutia. Rozhodovací proces je distribuovaný medzi jednotlivé UAV, pričom pozemná infraštruktúra slúži iba na prenos dát. Je však potrebné dosiahnuť vyšší výpočtový výkon, aby bola zabezpečená koordinácia rozhodovacieho procesu založená na koordinácii telemetrických dát v reálnom čase. Tento druh architektúry prináša množstvo výhod. Vzdialenosť, pri ktorej dokážu UAV efektívne komunikovať, je v podstate nelimitovaná, vďaka širokému pokrytiu vyspelých krajín mobilnými 3G, alebo novšími, sieťami. Spoľahlivosť siete ako celku oproti súčasnému riešeniu architektúry je oveľa vyššia. Vysokú úroveň autonómie je teoreticky možné dosiahnuť pri tradičných architektúrach s použitím pozemnej infraštruktúry, majú však oveľa nižšiu úroveň spoľahlivosti. Môžeme očakávať, že s vývojom mobilných 5G (alebo novších) mobilných sietí bude tento, alebo podobný druh architektúry siete širšie používaný vo vzťahu k letom formácií UAV a umožní sa ich praktické použitie v mnohých oblastiach. [15]

### 3.4. Umelá inteligencia ako nástroj pre bezpečné a efektívne prepojenie UAV v mobilných sieťach

Môžeme očakávať, že UAV budú v budúcnosti vykonávať kľúčové funkcie v mnohých odvetviach. Preto je nevyhnutné zabezpečiť ich efektívne sieťové prepojenie pre získavanie a výmenu dát. Na rozdiel od súčasného riešenia konektivity UAV na krátke vzdialenosti (napríklad použitie technológií Bluetooth alebo Wi-Fi), použitie mobilných sietí umožňuje ovládanie UAV na vzdialenosť väčšiu, ako je vizuálny dohľad. Širšie využitie mobilných sietí taktiež umožní efektívne využívanie UAV v mnohých sférach, ako napríklad donášková služba, inteligentné dopravné systémy alebo streamovanie multimédií v reálnom čase. Každá so spomenutých oblastí má svoje špecifické komunikačné a bezpečnostné požiadavky, ktoré je potrebné v týchto oblastiach riešiť individuálne. Pre uvedenie príkladu, efektívne odovzdávanie kontroly a plánovanie trasy sú vo väčšej miere dôležité pri využití v donáškových službách, zatiaľ čo kooperatívna výmena dát je dôležitá v oblasti inteligentných dopravných systémoch, ako sú napríklad lety formácií UAV. Umelá inteligencia prináša v danej sieti možnosť predikovať svoje budúce stavy, čo umožňuje individuálne prispôbenie dynamiky danej siete.

Pri donáške tovaru pomocou autonómnych UAV použitie mobilných sietí umožní Bakalárska poskytovateľom služieb sledovať polohu UAV v reálnom čase a zaručiť bezpečné doručenie prepravovaného tovaru. Jedným z možných riešení tohto problému je použitie vysoko spoľahlivých druhov komunikácie s nízkym oneskorením (URLLC - Ultra-Reliable and Low-Latency Communications). Pre zníženie oneskorenia pri komunikácii s UAV je možné sa spoľahnúť na určitý stupeň samostatnosti v jednotlivých UAV, s využitím strojového učenia.

Pre potreby rôznych multimediálnych aplikácií musia UAV pripojené v mobilnej sieti generovať videá z dátových súborov získaných pomocou kamier a senzorov. Napríklad v aplikáciách virtuálnej reality s podporou UAV je schopné vygenerovať 360° videá. Tu môžu byť konvolučné neurónové siete použité, aby umožnili do vyrovnávacej pamäte ukladať najbežnejšie dátové súbory. Môžu extrahovať a uložiť spoločné vlastnosti dátových súborov, ktoré sú požadované rôznymi používateľmi v rôznom čase.

Pri integrovaných dopravných systémoch musia jednotlivé UAV prenášať všetky údaje zo senzorov, čo zákonite vedie k preťaženiu mobilnej siete pri nasadení UAV vo väčšom počte. Na zníženie potrebnej energie a šírky frekvenčného pásma môžu UAV integrovať svoje heterogénne údaje senzorov do jedného vektora. Pre ich integráciu je vhodné použiť obmedzený Boltzmannov stroj, čo je druh umelej neurónovej siete. Na úrovni UAV bude možné identifikovať neintuitívne prvky najmä z korelácií medzi senzormi, ktoré môžu priniesť presné odhady. Tento prístup umožňuje každému UAV lepšie vyhodnotenie okolitého prostredia. [16]

## 4. Záver

Môžeme konštatovať, že počas posledného desaťročia došlo k významnému pokroku v tejto oblasti, najmä vďaka širokému používaniu UAV v mnohých odvetviach a ich komerčnej dostupnosti. V tejto súvislosti sú už dnes bežné niektoré autonómne alebo poloaunómne systémy vo vzťahu k UAV, ako je napríklad autonómna navigácia po trati a možnosť automatického pristátia v prípade poruchy, protizrážkové

systemy a do istej miery aj detekcia a sledovanie objektov. Pri všetkých spomenutých oblastiach existuje viacero možností ich technického riešenia. V súčasnosti je však evidentný jeden problém, ktorý brzdí vývoj ďalších autonómnych systémov alebo vylepšovanie už existujúcich – a to je nedostatok výpočtovej kapacity. Môžeme však očakávať, že tento nedostatok bude v blízkej dobe eliminovaný, čo súvisí s rýchlym vývojom informačných a komunikačných technológií a návrhom nových druhov výpočtovej architektúry.

V oblasti UAV sú (a budú) kľúčové 2 systémy umelej inteligencie – strojové učenie a umelé neuronové siete.

Čo sa týka civilnej sféry, možnosti budúceho využitia sú prakticky neobmedzené. Mnoho koncepcií, ako napríklad Smart City, počíta s využitím autonómnych UAV. Ich širším použitím však vzniknú nové riziká a problémy, môžeme však očakávať, že nad nimi budú benefity týchto technológií budú významne prevažovať. Autonómne UAV nachádzajú svoje uplatnenie aj vo vojenskej sfére. Pre širšie využitie autonómnych UAV sa ukazujú byť kľúčové dve oblasti, ktorým je venovaná najväčšia pozornosť pri výskume a vývoji – lety autonómnych UAV vo formácií a použitie umelej inteligencie ako nástroja pre zníženie zaťaženia sietí, v ktorých sú UAV pripojené. Keďže lety samostatných UAV môžu byť vo veľa prípadoch neefektívne, lety koordinovaných formácií autonómnych UAV umožní efektívne riadiť dopravné toky, prípadne budú môcť byť použité pri poľnohospodárskych prácach. Umelá inteligencia umožní výrazné zníženie zaťaženia mobilných sietí, keďže jednotlivé UAV budú môcť vykonávať svoje niektoré činnosti samostatne.

Potenciál využitia umelej inteligencie v odvetví UAV je takmer neobmedzený. Dosiachneme zníženie pracovného zaťaženia operátorov, optimalizáciu a vylepšenie mnohých koncepcií a využitie v mnohých iných oblastiach.

## Referencie

- [1] COHEN, K. et al. 2011. Path planning of unmanned aerial vehicles in a dynamic environment. In *Infotech@Aerospace 2011*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011. ISBN 978-1-60086-944-0, p. 1654.
- [2] AL SHEBABI, A.G – NEWMAN, B. 2012. Development of UAV trajectory management system based on fuzzy logic concepts. In *50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. P. 484.
- [3] BANG, H. – HAN, S-C. 2004. Proportional navigation-based optimal collision avoidance for uavs. In *2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents*. Daejeon: Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2004. P. 13-15.
- [4] CHITHAPURAM, C. et al. 2013. Artificial Intelligence learning based on proportional navigation guidance. In *2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*. Mysore, 2013. P. 1140-1145. ISBN 978-1-4673-6217-7.
- [5] MUJUMDAR, A. – Padhi, R. 2011. Evolving Philosophies on Autonomous Obstacle/Collision Avoidance of Unmanned Aerial Vehicles. In *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*. ISSN 1542-9423, vol. 8, no. 2, p. 17 – 41.
- [6] LEE, J. et al. 2017. Real-Time, Cloud-based Object Detection for Unmanned Aerial Vehicles. In *2017 First IEEE International Conference on Robotic Computing*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. P. 36-43. ISBN 978-1-5090-6724-4.
- [7] ROHAN, A. et al. 2019. Convolutional Neural Network-Based Real-Time Object Detection and Tracking for Parrot AR Drone 2. In *IEEE Access*. ISSN 2169-3536, 2019, vol. 7 p. 69575 – 69584.
- [8] NEGNEVITSKY, M. 2002. Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems. Harlow: Pearson Education Limited, 2002. 504 s. ISBN 978-1-4082-2574-5
- [9] MOHRI, M. et al. 2018. Foundations of Machine Learning. 2. vyd. Cambridge: MIT Press, 2018. 504 s. ISBN 978-0-2620-3940-6
- [10] DAM, H. K. et al. 2018. Explainable Software Analytics. In *Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering New Ideas and Emerging Results*. New York: Association for Computing Machinery, 2018. ISBN 97-814-5035662-6, p. 53 – 56.
- [11] GRAUPE, D. 2013. Principles of Artificial Neural Networks. 2. vyd. Singapore: World Scientific Publishing, 2013. 382 s. ISBN 978-9-8145-2273-1
- [12] Drones, Artificial Intelligence, And The Future [online]. Dostupné na internete: <https://www.wevolver.com/article/drones-artificial-intelligence-and-the-future> (citované 2020-04-10)
- [13] AI in Military Drones and UAVs – Current Applications [online]. Dostupné na internete: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-drones-and-uavs-in-the-militarycurrent-applications/> (citované 2020-04-12)
- [14] Are combat drones changing warfare? And how to stop them? [online]. Dostupné na internete: [https://www.youtube.com/watch?v=ahKzbnqaTMg&ab\\_channel=Binkov%27sBattleground](https://www.youtube.com/watch?v=ahKzbnqaTMg&ab_channel=Binkov%27sBattleground) (citované 2020-04-14)
- [15] CAMPION, M. et al. 2018. A Review and Future Directions of UAV Swarm Communication Architectures. In *2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology*. Budapest: European Institute of Innovation and Technology, 2018, p. 903-908, ISBN 978-1-5386-5398-2.
- [16] CHALLITA, U. et al. 2019. Machine Learning for Wireless Connectivity and Security of Cellular-Connected UAVs. In *IEEE Wireless Communications*. ISSN 1558-0687, vol. 26, no. 1, p. 28 – 35.