Bezpilotní letecké prostředky v geoinformatice

05 – Technologie v UAS

Michal Kačmařík

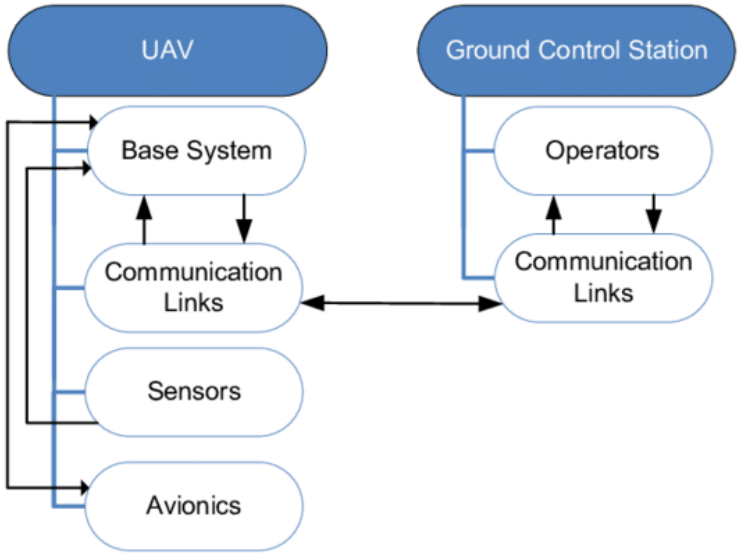
Katedra geoinformatiky, VŠB-TUO

Obsah

- základní komponenty UAV
- orientace a navigace
- komunikace
- detekce překážek, autonomní provoz, SLAM
- kolaborativní UAV, SWARM

Základní komponenty UAV

- Tělo
- Energetický sub-systém
- Pohybová soustava
- Palubní počítač
- Komunikační zařízení
- Sensory (pro orientaci a navigaci, sběr dat, monitorování stavu UAV, ...)
- Stabilizovaný závěs



Tělo

- Tvoří základ UAV, jsou k němu připevněny všechny součásti UAV
- Materiály
  - Termoplasty – např. polyester, nylon, polystyren
  - Karbon
  - (Kompozitní materiály)
- Součástí může být podvozek

Energetický sub-systém

Zdroje energie

- Elektřina
  - typicky lithium-polymerové baterie složené z několika samostatných článků
  - výhody = vysoká kapacita, nízká hmotnost, minimální samovybíjení, velká výkonnost, dlouhá životnost, rychlé nabíjení
  - nevýhody = cena
  - nutnost skladovat ne zcela nabité či vybité, nemají rády dlouhý pobyt v zimě či vystavování vysokým teplotám, baterie pravidelně kontrolujeme
  - pro menší UAV (cca < 3 kg) je obvyklé využití jedné baterie, u větších strojů dvou či více baterií
  - jednoduché a prakticky bezúdržbové používání

Energetický sub-systém

Zdroje energie

- Benzín
  - Obvykle jen pro velké UAV (> 20 kg)
  - Náročnější na provoz a údržbu
- (Solární panely)

Pohybová soustava

- motory
  - typicky jeden samostatný motor pro každý rotor
- Standardní elektrické motory
  - Stejnosměrné či střídavé
  - Výhody oproti benzínovým motorům: minimum vibrací, žádné zplodiny, prakticky nulová údržba
- letecké benzínové motory

Pohybová soustava

- kryty motorů
  - Potřeba nízké hmotnosti a schopnosti odvádět teplo od motorů (materiál: termoplasty a/či slitiny hliníku)
- ovladač rychlosti (electronic speed control, ESC)
  - Kontroluje a reguluje otáčky el. motoru, směr chodu

Pohybová soustava

- vrtule
  - materiál – typicky termoplast, karbon, případně dřevo, kompozitní materiály, slitiny hliníku
  - Počet listů dva až čtyři
  - jejich velikost a tvar ovlivňuje chování UAV během letu, dobu letu, úroveň hluku (větší vrtule vytvoří větší tah, ale mají větší setrvačnost a odebírají větší proud)
  - Před každým letem je vhodné provádět jejich vizuální kontrolu a v počátcích letu hodnotit případné anomálie chování UAV, které mohou být způsobené právě vrtulemi

Palubní počítač (řídící jednotka)

- angl. flight controller (FC), flight controller board (FCB), autopilot
- typicky každý výrobce UAV využívá své vlastní FC vyvinuté na míru svým strojům
- účelem FC je:
  - přijímat pokyny z pilotova dálkového vysílače a dávat příkazy všem součástem UAV (např. motorům, gimbalu, kameře), aby mohly být pokyny realizovány
  - Přijímat a zpracovávat data ze sensorů UAV – IMU jednotka, kompas, GNSS jednotka, antikolizní čidla, atd.

Komunikační zařízení

- Dálkový ovladač (remote controller, RC)
  - Univerzální typy či dedikované pro konkrétní model UAV
  - Konkrétní ovladač a UAV jsou vždy vzájemně spárovány, aby se zamezilo vzájemnému rušení s dalšími zařízeními
  - Většinou frekvence 2.4 GHz (dříve i 5.8 GHz)
  - Přenos pilotových instrukcí (latence optimálně 5 ms), dat z UAV (10 ms), video obrazu z kamery (130 ms)
  - Dosah typicky 2 až 5 km
  - Pilot a kameraman mohou mít každý svůj vlastní ovladač

Komunikační zařízení

- Telemetrie
  - Kromě instrukcí pilota a videa z kamery jsou UAV vysílána telemetrická a jiná data, jedná se např. o:
    - Parametry letu: poloha, horizontální vzdálenost a **výška** od místa vzletu (pilota), rychlost letu, azimut, úhel náklonu
    - **Úroveň nabití baterie UAV**, síla signálu komunikace, otáčky motorů, teplota regulátorů motorů
    - Informace z GNSS jednotky (počet družic, odhad přesnosti polohy)
    - nastavení a expoziční parametry kamery

Komunikační zařízení

- Antény
  - Všesměrové vs. směrové, různé typy polarizací – ovlivnění směřování a síly vyzařování signálu
  - U DJI: dvě antény na ovladači by měly být pokud možno v jedné rovině, svírat tvar písmena V a jejich rovina musí být kolmá na směr k UAV
  - Antény na UAV musí mít co nejlepší výhled do stran a dolů, nesmí být stíněny jeho konstrukcí, pokud je jich na UAV více, měly by být co nejdále od sebe
  - Komunikace mezi UAV a dálkovým ovladačem může být rušena místními vysílači či např. vedeními vysokého napětí

Sensory pro orientaci a navigaci

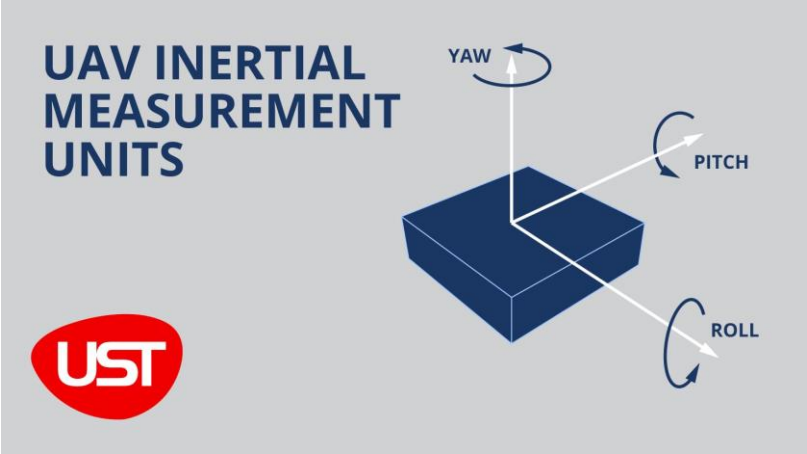
- GNSS jednotka
  - Umožňuje určit aktuální polohu UAV, výrazně pomáhá stabilizovat stroj při letu a manévrování
  - Nutná pro autonomní sběr dat UAV
  - Většina UAV je vybavena pouze základním GNSS přijímačem s jednou anténou – jedno-frekvenční, kódová měření, GPS+GLONASS, přesnost řádově první metry
  - Pokročilé UAV mohou být vybaveny kvalitnějším GNSS přijímačem s jednou či dvěma anténami – dvou-frekvenční kódová i fázová měření, schopnost realizovat techniku RTK či PPK (Precise Point Kinematic, post-processing varianta RTK), přesnost až první centimetry

Sensory pro orientaci a navigaci

- kompas
  - Magnetometr
  - Umožňuje určit orientaci UAV vůči severu
  - Pomáhá se stabilizací UAV za letu
  - **Po delším nepoužívání UAV či letu s ním v nové lokalitě je vždy potřeba před startem provést kalibraci kompasu**
  - Kompas může být lokálně rušen a tím i značně destabilizovat UAV v letu, je proto vhodné vyhýbat se vedení elektrického napětí, vysílačům, velkým kovovým konstrukcím, problémy však může způsobovat i místní horninové prostředí

Sensory pro orientaci a navigaci

- Inerciální IMU jednotka
  - IMU = Inertial Measurement Unit
  - Zařízení využívající akcelerometry a gyroskopy k měření zrychlení a změny rotace UAV
  - Díky nim je možno určovat změnu relativní polohy, orientace a rychlosti pohybu
  - Řídící jednotka UAV kombinuje výstup z GNSS jednotky, IMU jednotky a kompasu pro řízení a stabilizaci letu UAV



Sensory pro orientaci a navigaci

- Antikolizní čidla
  - Umožňují UAV během letu detekovat objekty (překážky) v jejich okolí
  - Pokud je překážka detekována, UAV může být schopno se jí samo automaticky vyhnout změnou výšky letu či směru letu
  - Obvyklé je použití optických kamer (mono či stereo), ultrazvukových sonarů, případně LiDARu či infra čidel
  - Základní parametry antikolizních systémů:
    - Počet směrů, do kterých jsou schopny se dívat (dolů, dopředu, dozadu, do stran, nahoru)
    - Max. vzdálenost, na kterou jsou schopny detekovat překážku; ta je ovlivněna konkrétními senzory a výpočetní kapacitou UAV, řádově první desítky metrů

Černá skříňka

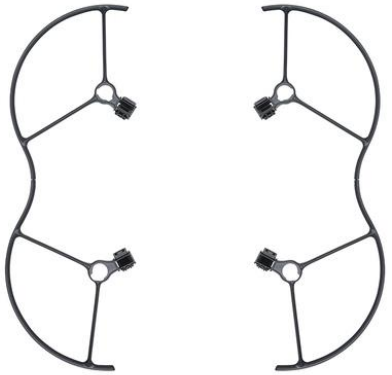
- Oficiální název = zapisovač letových údajů
- Bývá běžnou součástí i standardních komerčních UAV pro běžné uživatele
- Během letu kontinuálně ve vysokém časovém intervale (1-200 ms) zapisuje velké množství údajů o letu a stavu UAV, např.:
  - Poloha, výška letu, letový čas, data z jednotlivých senzorů, motorů (otáčky, tah), baterie, kvalita komunikace s dálkovým ovladačem, atd.
- údaje jsou cenné při analýze závad UAV, prokazování důvodů havárie, apod.

Stabilizovaný závěs (gimbal)

- Stabilizační systémy, na které jsou umísťovány sensory pro sběr dat (kamery, LiDAR, apod.)
- Slouží k zajištění požadovaného a neroztřeseného pohledu kamery (sensoru) při pohybu UAV spojeného s jeho různým naklápěním a otáčením, k eliminaci přenosu vibrací z (motorů a vrtulí) UAV na kameru (sensor)
- Jejich použití je nutností v případě (multi)-koptér, v případě UAV typu letoun (křídlo) bývá výjimkou
- Používají vlastní motory
- Aktuálně většinou tříosé, v minulosti spíše dvouosé
- K tělu UAV bývají připevněny skrz tlumící gumové bloky
- Napájení z baterie UAV či z vlastního zdroje

Doplňky a příslušenství

- Ochrana vrtulí
- Padáky
- Osvětlení UAV



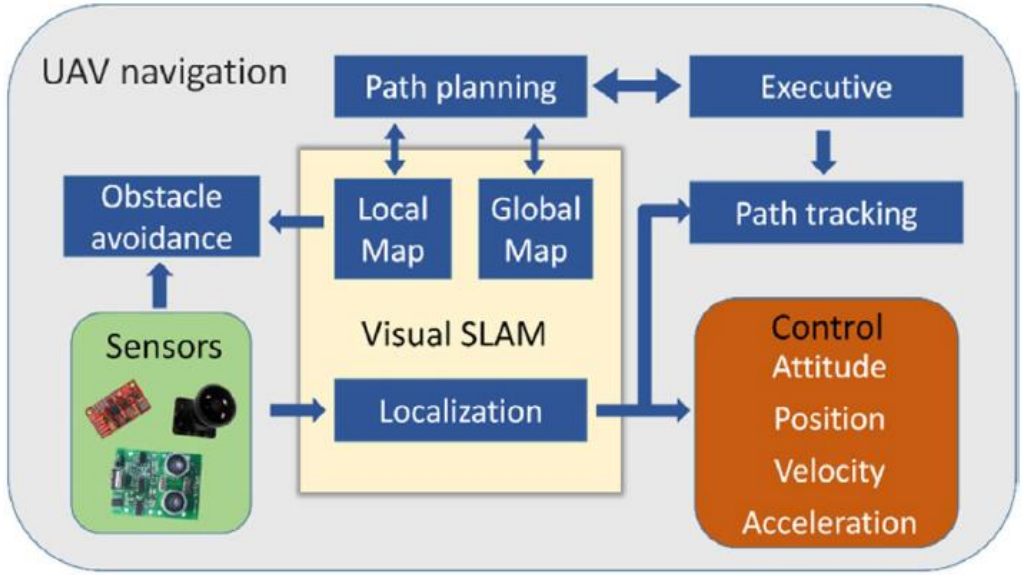
- Měřič napětí článku baterie
- Anemometr
- Přenosná přistávací plocha

Autonomní provoz UAV

- Autonomní provoz = schopnost UAV realizovat vzlet, let, přistání bez intervence člověka, jen s využitím vlastních senzorů
- Relativně snadno realizovatelný v prostředích, kde lze využívat GNSS (a kde se nevyskytují překážky ve výškách, kde UAV létá)
- Řešení pro prostředí s omezeními signálu GNSS (uvnitř budov či jakýchkoliv objektů, v podzemí, apod.) existují, jsou však stále předmětem vývoje
- Pro lokalizaci a navigaci lze využívat různé technologie a jejich kombinace:
  - GNSS, IMU – viz předchozí část prezentace
  - Antikolizní čidla – viz předchozí část prezentace
  - LiDAR, RADAR

Vizuální lokalizace

- Visual based localization (and mapping)
- Využití optických kamer (RGB či infra) k lokalizaci UAV
- Určování polohy UAV v lokálním prostředí s využitím techniky zpracování obrazu, běžné zapojení strojového učení
- Výhody optických sensorů: jsou pasivní, malé, lehké, levné, dostupné



Vizuální lokalizace

- Typy využívaných kamer

  a) Monokulární – standardní kamera s jedním objektivem, nízká cena, jednoduchost, nízká hmotnost

  b) Rybí oko (fish eye) – varianta monokulární kamery s velmi širokým úhlem záběru, vhodná pro vyhýbání se překážkám ve velmi komplexních prostředích s řadou překážek

  c) Stereokamery – dvojice monokulárních kamer vzdálená o paralaxu, umožňuje určovat vzdálenost od objektů ve scéně

  d) RGB-D – kombinace RGB kamery a infračerveného sensoru, poskytuje barevnou informaci plus obraz, kde je pro každý pixel stanovena vzdálenost k zachycenému objektu (depth map). Infračervený sensor promítá obraz, ten je zachycen infračervenou kamerou zařízení a určena depth map. Využití např. i v zařízeních typu Microsoft Kinect

a)

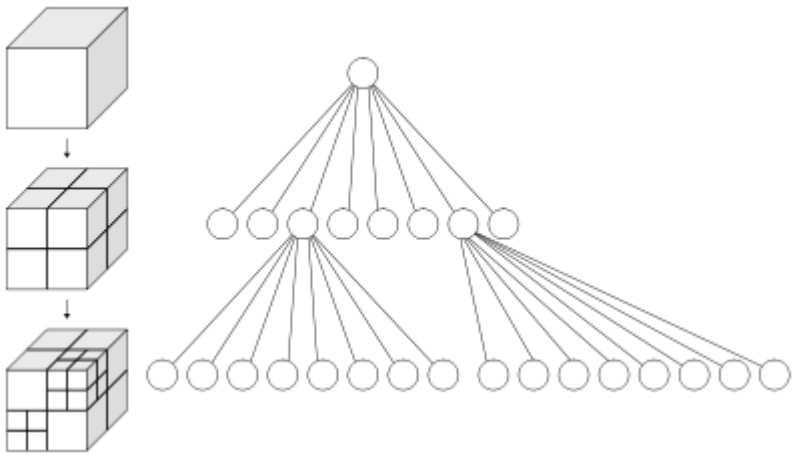
b)

c)

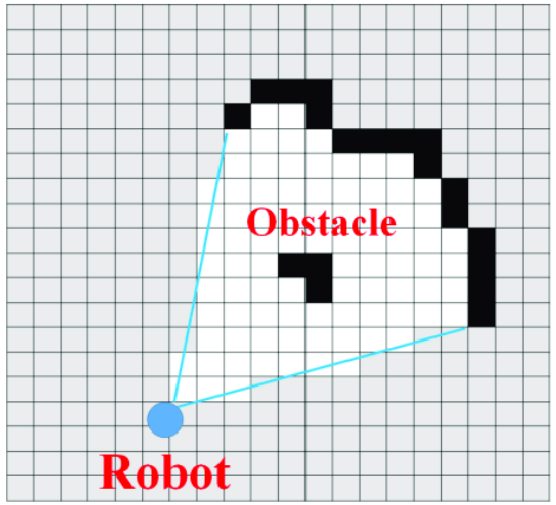
d)

Vizuální lokalizace a navigace

- 3 typy systémů:
  - nevyužívající mapu – UAV nemá dopředu žádné „mapové podklady“ pro svoji navigaci, tu zajišťuje jen s pomocí vlastních sensorů
  - Využívající mapu – UAV má k dispozici předdefinované prostorové uspořádání prostředí, usnadňuje plánování pohybu a vyhýbání se překážkám. Obecně existují dva typy map: octree (3D) a rastry obsazenosti (2D, 3D)
  - Tvořící mapu – UAV se prostředím naviguje a zároveň vytváří jeho mapu = **Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)**



Vlevo: rekurzivní dělení kostky na oktanty, vpravo: odpovídající octree



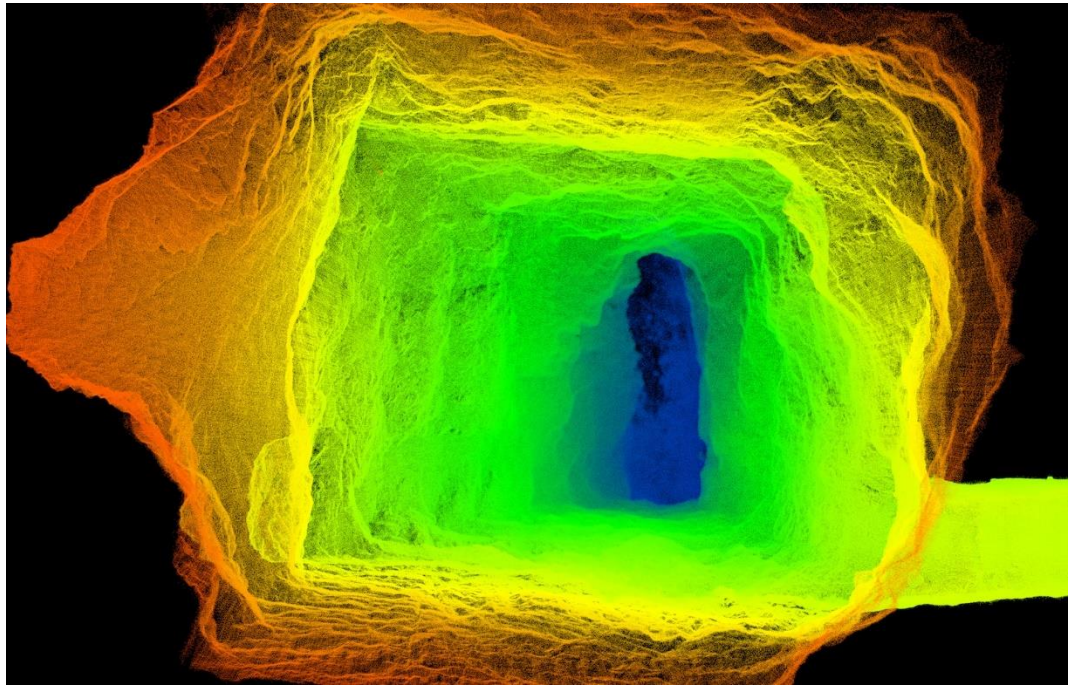
2D rastr obsazenosti

SLAM pomocí vizuálních sensorů

- 3 typy přístupů:
  - Nepřímý: algoritmus nezpracovává samotné snímky, ale nejprve z nich extrahuje objekty (features) a jejich 3D polohu a ty následně používá pro svoji lokalizaci a odhad vlastního pohybu. Lze realizovat i jen s jednou monokulární kamerou. Nevýhody: 1, primární pořízení pouze výstupu analogického k řídkému mračnu bodů k SfM, tedy nepříliš detailní reprezentace prostředí, lze jej však následně zahušťovat; 2, neschopnost pracovat v prostředích s materiály bez textury.
  - Přímý: pracují přímo se snímky, schopnost poskytovat detailní výstup, robustní techniky
  - Hybridní: kombinace nepřímého a přímého přístupu, poskytuje rychlejší a kvalitnější řešení

SLAM z kombinace sensorů

- UAV s vyšší nosností mohou být vybaveny více sensory a kombinovat výstupy z nich při procesu SLAM
- Např. využívat optické kamery k lokalizaci a navigaci a LiDAR k pořízení mračna bodů pro výsledný mapový výstup



SLAM - ukázky

Toward Deep Monocular SLAM (University of Birmingham, University of Lincoln)

- https://www.youtube.com/watch?v=Ccj1O7yndIk

Autonomous Forest Mapping with Drones (University of Pennsylvania)

- https://www.youtube.com/watch?v=V5C5MC5P8Q8

Hovermap - World's first autonomous LiDAR mapping payload (Emesent)

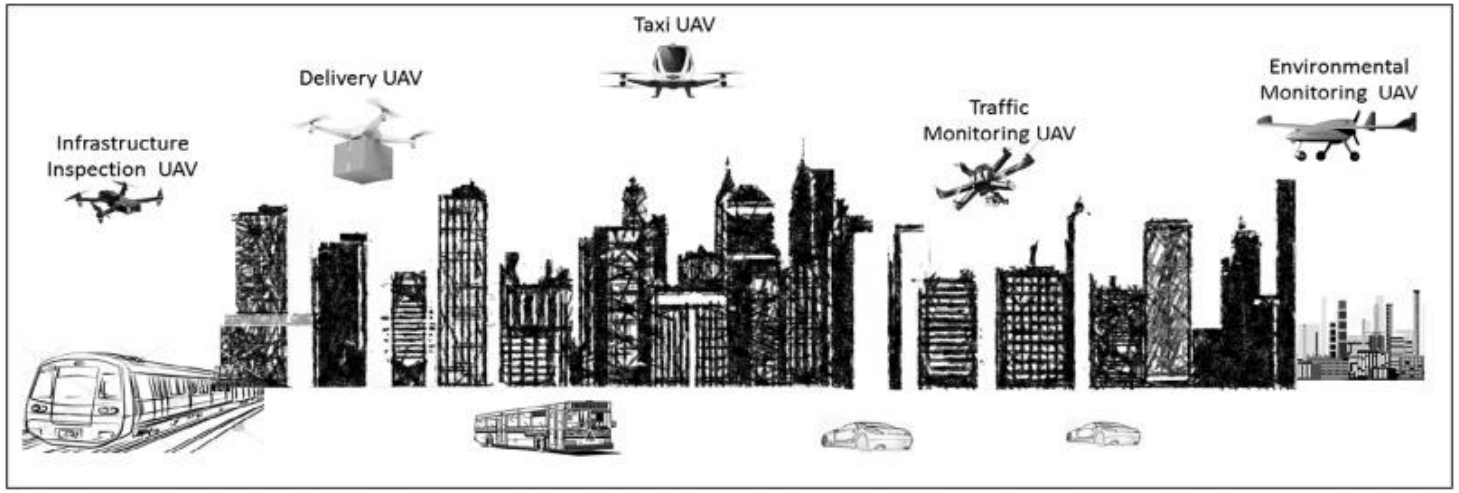
- https://www.youtube.com/watch?v=2zadTtCadeI

Kolaborativní UAV

- Kolaborativní = spolupracující
- Využití dvou a více UAV v jedné letce (fleet, SWARM), které kooperují na řešení zadaného úkolu – obvykle v autonomním režimu zcela bez či s nízkou intervencí člověka
- Redukují či eliminují některé z nevýhod UAV technologie – zejména schopnost pokrýt rozsáhlejší území
- Využívání umělé inteligence, často bio-inspirované algoritmy (napodobování chování hmyzu – včel, mravenců, ptáků, apod.)

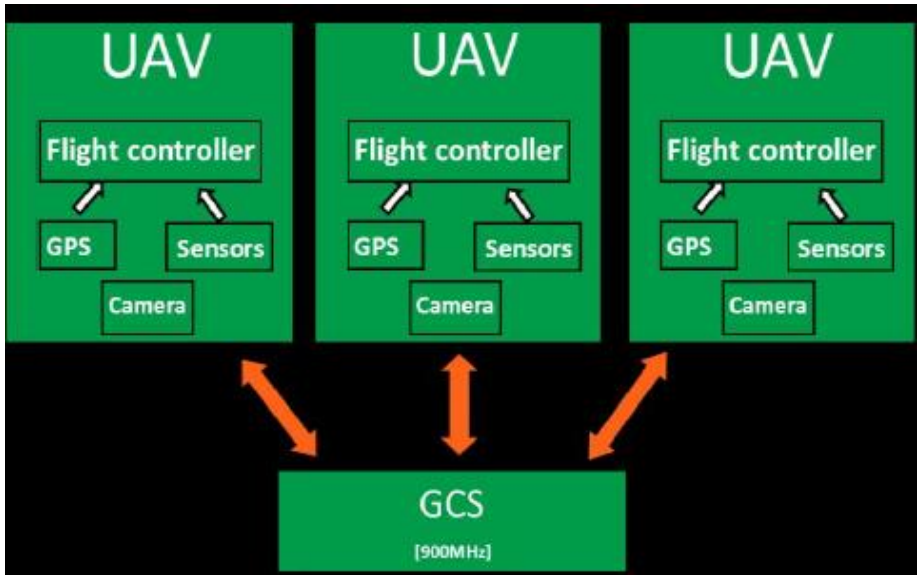
Kolaborativní UAV – (možná) využití

- Precizní zemědělství, lesnictví
- Rychlá reakce na přírodní a jiné katastrofy
- Aplikace v rámci konceptu chytrých měst a regionů
- Správa krajiny, ochrana životního prostředí
- Vojenství



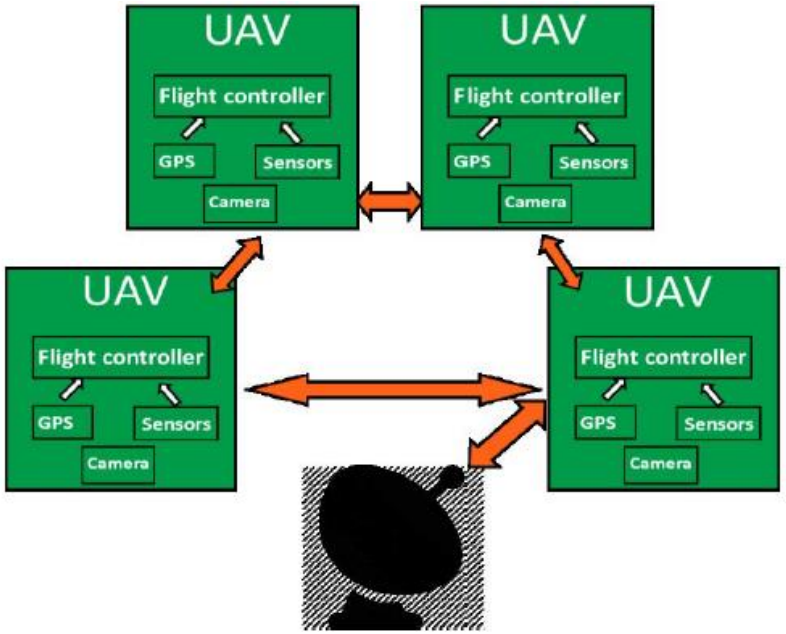
Kolaborativní UAV - architektura

- Centralizovaná
  - Základ tvoří pozemní řídící stanice
  - Ta přijímá data ze všech UAV v letce a individuálně každému z nich posílá příkazy
  - Výhody = jednotlivá UAV mezi sebou nemusí nijak komunikovat, pozemní řídící stanice má výrazně vyšší výpočetní výkon než jednotlivá UAV, může tak snadněji (v reálném čase) reagovat na aktuální situaci
  - Nevýhody = systém je zcela závislý na pozemní řídící stanici, limit vzdálenosti pro komunikaci mezi pozemní řídící stanicí a UAV



Kolaborativní UAV - architektura

- Distribuovaná
  - Flying Ad-Hoc Networks (FANET)
  - Jednotlivá UAV komunikují mezi sebou a mohou se dynamicky propojovat do sítě
  - Výhody = redundance, systém není závislý na jednom uzlu
  - Nevýhody = nutnost vzájemné komunikace mezi všemi prvky systému, omezený výpočetní výkon
  - Systém může obsahovat i pozemní řídící stanici, či některý z UAV sloužit jako řídící (master)
  - Využití rychlých 4G (5G) mobilních sítí, WiFi



Kolaborativní UAV - ukázky

Fully autonomous UAV swarm in a forest without GPS or communication (ČVUT Praha)

- https://www.youtube.com/watch?time_continue=20&v=nSIqyV0AlXU&feature=emb_logo

Intel's light display drones capture world record at the Winter Olympic 2018

- https://www.youtube.com/watch?v=WWFeE6saMnU

Zdroje

- Karas, J., Tichý, T.: Drony, Computer Press, Brno, ISBN 978-80-251-4680-4, 2016.
- Kocourek, J., Řešátko, J.: Drony, Praktická příručka pro majitele dronů DJI, Telink, Praha, ISBN 978-80-7346-228-4, 2017.
- Yuncheng, L., Zhucun, X., Gui-Song, X., Liangpei, Z.: A survey on vision-based UAV navigation, Geo-spatial Information Science, 21, 1, doi:10.1080/10095020.2017.1420509, 2018.
- Campion, M., Ranganathan, P., Faruque, S.: A Review and Future Directions of UAV Swarm Communication Architectures, 2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT), doi:10.1109/EIT.2018.8500274, 2018
- Hildmann, H., Kovacs, E., Saffre, F., Isakovic, A.F.: Nature-Inspired Drone Swarming for Real-Time Aerial Data-Collection Under Dynamic Operational Constraints, Drones, 3, 71, doi:10.3390/drones3030071, 2019