

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY



# Konferencia UAV 2023

Kód projektu: 313011V422  
„Inteligentné operačné a spracovateľské systémy pre UAV“

ISBN 978-80-553-4389-1

2023

## Zborník z konferencie UAV 2023

**Vydavateľ:** Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Technická univerzita v Košiciach  
Letná 9, 040 01 Košice, Slovenská republika

**Dátum vydania:** máj 2023

**Tlač:** 50 kusov CD

**Jazyk:** slovenský, anglický

**Strán:** 86

**Predseda redakčnej rady:** doc. Ing. Ján Genči, PhD.

**Odborní garanti:** prof. RNDr. Peter Vojtáš, DrSc.  
doc. Ing. Ján Genči, PhD.  
Ing. Štefan Mičko

**Programový výbor:** Ing. Juraj Vojtáš  
doc. Ing. František Jakab, PhD.  
Ing. Roman Hraško  
Ing. Ondrej Kainz, PhD.

**Editor:** Ing. Miroslav Michalko, PhD.

## O konferencii UAV 2023

Projektová konferencia UAV 2023 bola organizovaná na pôde Technickej univerzity v Košiciach, v rámci prezentačných priestorov Univerziténeho vedeckého parku TECHNICOM, v dňoch 11. – 12. 5. 2023, v rámci projektu:

**Názov projektu:** Inteligentné operačné a spracovateľské systémy pre UAV

**Kód projektu:** 313011V422

**Prijímateľ NFP:** GLOBESY, s.r.o.

**Partneri:** Qintec a.s.

YMS, a.s.

Technická univerzita v Košiciach (TUKE)

Žilinská univerzita v Žiline (UNIZA)

(ďalej len „projekt UAV“).

Projekt UAV je spolufinancovaný z prostriedkov Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra.



EURÓPSKA ÚNIA  
Európske štrukturálne a investičné fondy  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020

Riadiaci orgán:



V zastúpení na základe splnomocnenia:



## Obsah

**Csaba SZABÓ, Ján KAŠPÁREK**

*Simulátor letu drónom: model, architektúra a overenie prototypu skúškou* ..... 6

**Ivan ILAVSKÝ, Peter BOBÁL, Radovan HILBERT, Tomáš IVAN**

*Využitie virtuálnej reality pre vizualizáciu výsledkov priestorového monitoringu* ..... 12

**Peter PEKARČÍK, Eva CHOVANCOVÁ**

*Bezpečnostná analýza útokov na UAV* ..... 15

**Peter BOBÁL, Radovan SUNEKA, Veronika HORNÍKOVÁ**

*Priestorový monitoring s využitím GIS* ..... 23

**Branislav SOBOTA, Štefan KOREČKO, Miriama MATTOVÁ, Lukáš JASENKA**

*Koncepcia virtuálno-reálného prostredia pre simuláciu práce dronov*..... 28

**Peter VOJTÁŠ**

*Image data annotated by objects distances* ..... 34

**Marek TÓTH, Daniel HREHA, Maroš HLIBOKÝ, Ján MAGYAR, Marek BUNDZEL, Peter SINČÁK**

*Lokalizácia a plánovanie trasy dronov inteligentnom priestore* ..... 40

**Ondrej KAINZ, Jakub FRANKOVIČ, Miroslav MICHALKO, František JAKAB**

*Detekcia zoskupovania ľudí z UAV záznamu* ..... 46

**Gabriel KOMAN, Milan KUBINA, Patrik BORŠOŠ**

*Možnosti nasadenia UAV systémov na Slovensku* ..... 51

**Pavol ONDRÍK, Milan KUBINA, Juraj VOJTÁŠ**

*UAV technológia v zdravotníctve* ..... 56

**Pavol ONDRÍK, Milan KUBINA, Juraj VOJTÁŠ**

*Možnosti využitia UAV technológie* ..... 61

**Daniel SEDLÁK, Maroš STRIŠOVSKÝ**

*Meranie vzdialenosti objektu pre UAV pomocou Time-of-Flight snímačov* ..... 68

**Daniel SEDLÁK, Maroš STRIŠOVSKÝ**

*Prototypové riešenie UAV v interiéri* ..... 72

**Matúš BARTKO, Peter FECIĽAK**

*Predspracovanie dát na palube UAV* ..... 76

**Stanislav FRANKO, Miroslav MICHALKO, Ondrej Kainz, František JAKAB**

*Experimental design of UAV usage in intralogistics* ..... 81

# Lokalizácia a plánovanie trasy drona v inteligentnom priestore

<sup>1</sup>Marek TÓTH, <sup>2</sup>Daniel HREHA, <sup>3</sup>Maroš HLIBOKÝ, <sup>4</sup>Ján MAGYAR,  
<sup>5</sup>Marek BUNDZEL, <sup>6</sup>Peter SINČÁK

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a  
informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovensko

<sup>1</sup>marek.toth.2@student.tuke.sk, <sup>2</sup>daniel.hreha@student.tuke.sk, <sup>3</sup>maros.hliboky@tuke.sk,  
<sup>4</sup>jan.magyar@tuke.sk, <sup>5</sup>marek.bundzel@tuke.sk, <sup>6</sup>peter.sincak@tuke.sk

**Abstrakt** – Lokalizácia a plánovanie trasy drona sú dve úlohy úzko späté s využívaním drona v interiéri. V tomto článku predstavíme systém, ktorý rieši tieto dva problémy v inteligentnom priestore, ktorý je snímaný v reálnom čase vhodne umiestnenými kamerami. Vytvorený systém umožňuje automatickú detekciu drona z kamerového obrazu, ako aj označenie štartovacej a koncovej pozície letu drona. Systém následne automaticky naplánuje najkratšiu trasu drona s vyhýbaním sa prekážkam. Vytvorený systém bol otestovaný a validovaný v dvoch rôznych priestoroch.

**Keywords** – dron, kalibrácia kamery, lokalizácia, plánovanie trasy

## I. ÚVOD

Úspešná a bezpečná manipulácia s dronom (UAV) v interiéri vyžaduje vyriešenie niekoľkých úloh, ktoré boli definované pre riadenie mobilných agentov, ako je navigácia, lokalizácia, mapovanie a plánovanie trasy. V tomto článku popíšeme systém, ktorý využíva statické kamery na snímanie priestoru, v ktorom sa nachádza dron. UAV je následne detegovaný z kamerového obrazu pomocou neurónovej siete, a jeho poloha je určená na základe kalibrácie kamier. Ďalšou funkcionalitou navrhnutého a popísaného systému je možnosť naplánuvať trasu drona zo štartovacieho do cieľového bodu tak, aby cesta bola čo najkratšia, avšak obchádzala statické prekážky.

Článok je štruktúrovaný nasledovne: sekcia **II** popisuje laserové zariadenie, ktoré bolo navrhnuté a vytvorené pre podporu kalibrácie kamier pre presnú lokalizáciu drona. Lokalizácia drona a vývoj neurónovej siete sú popísané v sekcii **III**. Sekcia **IV** popisuje algoritmy využívané na plánovanie trasy drona a predstaví používateľské rozhranie nášho systému. Sekcia **V** obsahuje vyhodnotenie systému a diskusiu dosiahnutých výsledkov, a načrtne možné smerovanie ďalšieho vývoja.

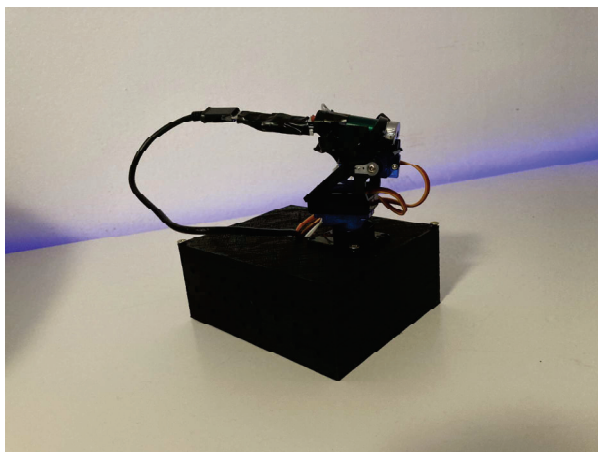
## II. KALIBRÁCIA KAMIER

Kalibrácia kamery je rozhodujúcim procesom v počítačovom videní, ktorý zahŕňa určenie vnútorných a vonkajších parametrov kamery s cieľom umožniť zachytenie presných obrázkov a videí napríklad pre detekciu a sledovanie objektov, a 3D rekonštrukciu.

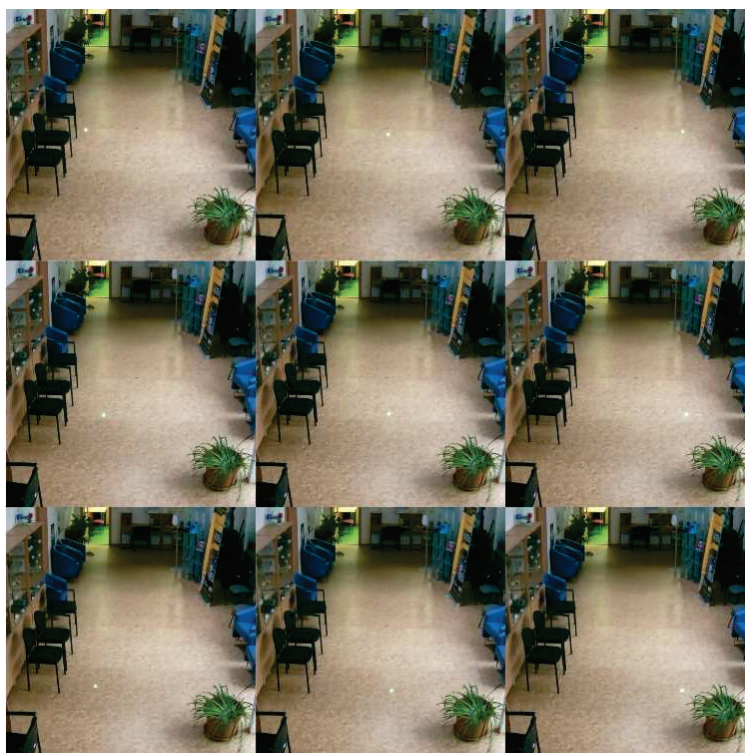
Kalibrácia kamery sa používa na korekciu skreslenia, ku ktorému dochádza pri snímaní obrazu kamerou. Toto skreslenie môže byť spôsobené rôznymi faktormi, ako sú nedokonalosti objektívu, nelinearita snímača, a skreslenie perspektívy. Tieto skreslenia môžu spôsobiť, že zachytené obrázky budú vyzeráť odlišne od skutočných scén, čo vedie k nepresným meraniam a odhadom.

Náš systém používa techniku kalibrácie kamery pomocou laseru, táto metóda bola popísaná v [1]. Pomocou laseru sa dá jednoducho pohybovať kalibračným bodom po celej rovinatej ploche (priestore), bez potreby konštantného premiestňovania kalibračnej pomôcky, ako napríklad šachovnice. To umožňuje širšie využitie kalibračnej metódy aj pre viaceré kamery, kým je zabezpečený pohľad z kamery na kalibračný bod.

Náš laser sa ovláda pomocou vzdialeného pripojenia, hlavnou riadiacou jednotkou je mikropočítač Wemos D1 Mini založený na mikrokontroléri ESP8266. Pohyb lasera po dvoch osiach je riešený cez dva servomotory typu SG90. Okrem nasmerovania lasera vzdialený prístup umožňuje laser zapínať a vypínať, ako aj nastaviť stav napájania a vypínať servomotory, aby sme predišli ich prehrievaniu. Pre ovládania lasera bola vytvorená jednoduchá web stránka, príkazy sa posielajú ako HTTP požiadavky. Model lasera určeného na kalibráciu je možné vidieť na obrázku 1.



Obr. 1: Laserové zariadenie určené na kalibráciu kamier



Obr. 2: Ukázkové pozície laserových bodiek pre kalibráciu kamery

V našom riešení sme použili kalibráciu na základe 9 bodov, ktoré boli postupne nasnímané v mriežke  $3 \times 3$ , ako je možné vidieť na obrázku 2. Po automatickom ukladaní týchto snímok sa spustí kalibračný skript, ktorého cieľom je vygenerovať maticu kamery, ktorá udáva hodnoty potrebné na neskoršiu transformáciu obrazu z danej kamery.

### III. LOKALIZÁCIA DRONA

Lokalizácia mobilného agenta je úloha, ktorej cieľom je určiť pozíciu agenta v snímanom prostredí vzhľadom na vybraný referenčný bod. V exteriéri sa najčastejšie používa lokalizácia pomocou GPS systému, pričom pre interiéry takisto existuje niekoľko štandardných riešení, ako napríklad ultraširokopásmová lokalizácia [2], lokalizácia pomocou signálu wi-fi [3], bluetooth [4] alebo RFID [5]. Tieto metódy však buď nemajú dostatočnú presnosť, alebo vyžadujú umiestnenie špeciálnych snímačov v priestore, alebo na samotnom agentovi, čo v prípade drona môže narúšať rovnováhu zariadenia počas letu.

Omnoho širšie aplikovateľný prístup je lokalizácia drona priamo z kamerovej snímky, keďže interiérové priestory v priemysle už často disponujú s kamerovým vybavením. Ako sme už spomínali, pred lokalizáciou je však potrebné tieto kamery nakalibrovať pre dosiahnutie zjednoteného





Obr. 3: Detekcia drona na kamerovom obraze

súradnicového systému. Po úspešnej kalibrácii kamery a získaní kalibračnej matice je možná lokalizácia drona, ktorá sa skladá z dvoch základných krokov:

- 1) detekcia drona na obraze;
- 2) určenie polohy drona k referenčnému bodu.

#### A. Detekcia drona

Detekciu drona z kamerového záberu sme sa rozhodli riešiť pomocou neurónovej siete, konkrétne prístupom transfer learningu, pričom sme použili model YoloV5. YOLO (You Only Look Once) je populárny algoritmus detekcie objektov v reálnom čase, ktorý vyvinul Joseph Redmon a jeho tím [6]. YOLOv5 je piata iterácia tohto algoritmu vyvinutá spoločnosťou Ultralytics v roku 2020, ktorý je založený na podpornej sieti CSP (Cross Stage Partial) s hlavou SPP (Spatial Pyramid Pooling) a PAN (Path Aggregation Network).

Pre trénovanie drona sme použili agregovaný dataset, v ktorom sa nachádzalo 16 278 snímok dronov z voľne dostupných zdrojov s označením pozície drona na obrázku. Z datasetu sme použili 80% dát na trénovanie, 10% na validáciu a 10% na testovanie. Model sme trénovali po 100 epoch s učiacim parametrom 0,01. Konečná presnosť dosahovala 85%. Ukážka detekcie drona na kamerovom obraze je možné vidieť na obrázku 3.

#### B. Určenie polohy drona

Po detekcii drona na obraze je možné vypočítať jeho pozíciu v skutočnom svete použitím kalibračnej a transformačnej matice. Lokalizácia drona v našom systéme funguje priamo na RTSP vysielaní kamery. Lokalizačný skript pracuje s už spomínanou transformačnou maticou z kalibrácie kamery, a ďalej s  $x$ -ovou a  $y$ -ovou súradnicou rohov ohraničeného detegovaného objektu. Následne sa tieto body konvertovali do homogénnych koordinátov pomocou pridania čísla 1 do každého riadku matice bodov.

Pre určenie skutočných súradníc drona sme použili inverznú maticu kamerovej matice, a body sveta sme dostali pomocou delenia súradníc súradnicou  $z$ :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p1 & p2 & p3 & p4 \\ p5 & p6 & p7 & p8 \\ p9 & p10 & p11 & p12 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

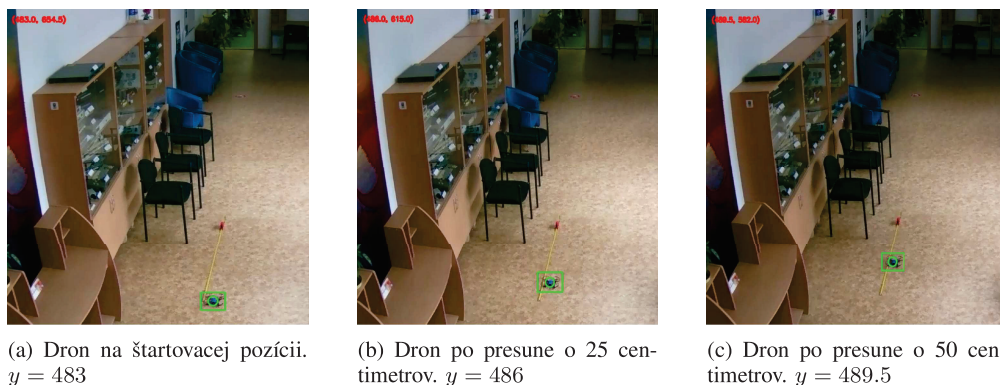
Výsledné súradnice drona ( $x$  a  $y$ ) sú neskôr vyobrazené v ľavom hornom rohu grafického prostredia, ako je možné vidieť na obrázku 4. Súradnice reprezentujú konštantnú vzdialenosť, na ukážkovom prípade posun o 25 cm zodpovedá 3 jednotkám po  $y$ -ovej osi a 7 jednotkám po  $x$ -ovej osi.

## IV. PLÁNOVANIE TRASY DRONA

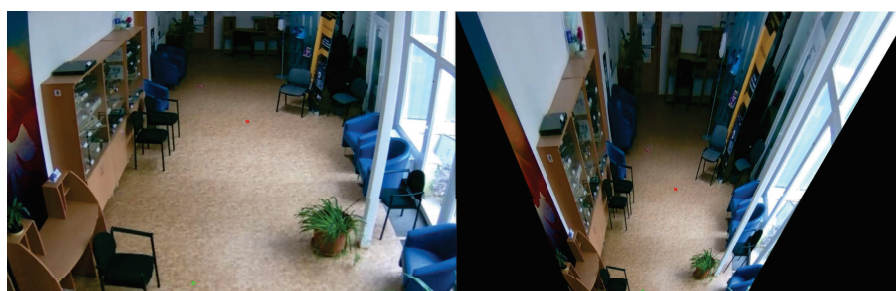
Po lokalizácii drona je možné napláňovať trasu letu zo štartovacieho bodu do cieľového bodu priamo cez prácu s kamerovým obrazom. K tomu sú vykonané nasledovné kroky:

- 1) **výber kamery** – používateľ si vyberie, na ktorej kamere chce určiť koncové body;





Obr. 4: Prevedenie polohy drona na reálne súradnicové hodnoty



Obr. 5: Označené koncové body na screenshots (vľavo) a na generovanom birdseye view (vpravo)

- 2) **vytvorenie screenshotu z kamery** – pre jednoduchšiu definíciu koncových bodov vzhľadom na možné zmeny v priestore sa urobí screenshot, na ktorom používateľ bude označovať body;
- 3) **výber bodov** – používateľ si kliknutím vyberie koncové body letu;
- 4) **birdseye view** – z kamerového screenshotu sa vytvorí birdseye view ako vstup do plánovacieho algoritmu;
- 5) **úprava masky** – na obrázku sa automaticky detegujú prekážky, používateľ môže upraviť parametre generovania masky;
- 6) **výber veľkosti mriežky** – používateľ vyznačí priestor, v ktorom sa môže dron pohybovať;
- 7) **generovanie trasy drona** – používateľ má na výber z dvoch algoritmov: A\* a Rapidly-exploring Random Tree (RTT).

Výber bodov (3) používateľ vykoná priamo v grafickom používateľskom rozhraní stlačením ľavého a následne pravého tlačidla na myši. Po označení bodov sa načítajú ich súradnice po  $x$ -ovej a  $y$ -ovej osi. Koncové body sa vykreslia aj na obrazovku, štartovací bod zelenou, cieľový bod červenou farbou (viď. ľavá časť obrázka 5).

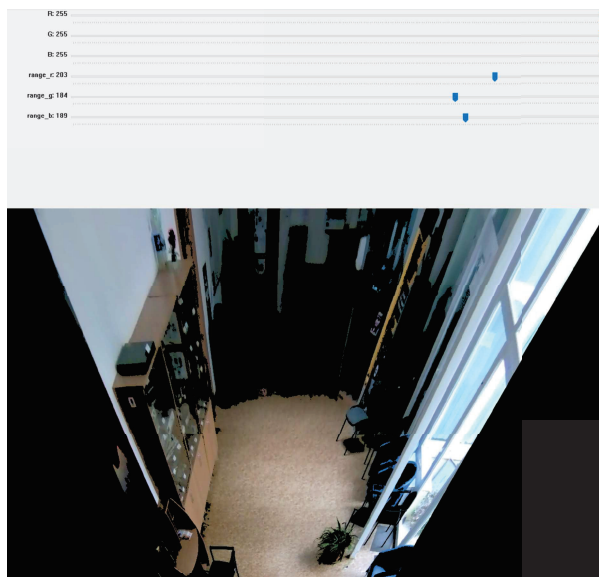
Birdseye view obrázka (pravá časť obrázka 5) sa vygeneruje pomocou knižnice *OpenCV* aplikovaním transformačnej matice. Tento krok je potrebný z toho dôvodu, aby sme čo najviac priblížili ideálne podmienky pre fungovanie plánovacích algoritmov, t.j. pohľad na priestor zhora. Na birdseye view obrázku sa následne automaticky identifikujú prekážky, ako je možné vidieť na obrázku 6. Parametre detekcie prekážok sú nastaviteľné používateľom, ktorý tak dokáže ich prispôbiť svetelným podmienkam a vlastnostiam priestoru.

Následne pre bezpečnosť letu drona používateľ môže zadefinovať priestor, v ktorom sa dron môže pohybovať. Urobí tak označením štyroch rohov mriežky, ktorá sa namapuje na priestor. Následne sa určujú pozície vybraných koncových bodov v tejto mriežke, a vygeneruje sa čo najkratšia cesta od štartovacieho po cieľový bod pomocou plánovacieho algoritmu. V systéme boli implementované dva algoritmy: A\* (viď obrázok 7a) a Rapidly-exploring Random Tree (viď obrázok 7b).

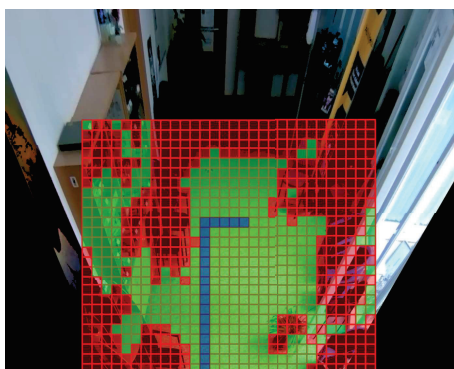
## V. DISKUSIA A ZÁVER

Implementovaný systém sme testovali v priestoroch Ústavu výpočtovej techniky pri Technickej univerzity v Košiciach. Priestor disponuje statickými IP kamerami namontovanými na strope chodby. K testovaniu sme použili dron Ryze Tello. Pohyb drona bol implementovaný posunmi v kardinálnych smeroch o 25 centimetrov.

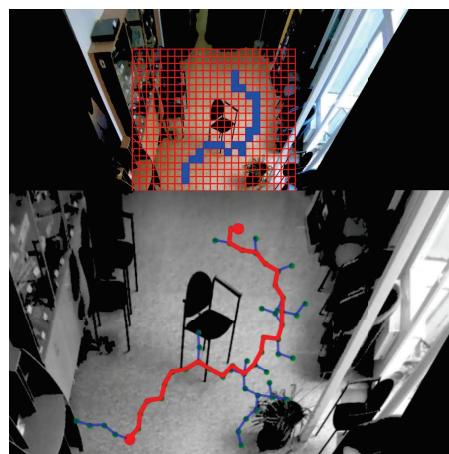
Testovanie potvrdilo detekciu drona z kamerového obrazu s vysokou úspešnosťou, a lokalizácia bola presná v rozmedzí kalibračných bodov. Táto skutočnosť bola potvrdená konštantnými zmenami po jednotlivých osiach pri presune drona o konštantnú vzdialenosť. Pre plánovanie trasy



Obr. 6: Detekcia prekážok z birdseye view obrazu



(a) Vygenerovaná mriežka a naplánovaná trasa pomocou algoritmu A\*: červená – prekážky, zelená – voľný priestor, modrá – generovaná trasa



(b) Vygenerovaná mriežka a naplánovaná trasa pomocou algoritmu RTT

Obr. 7: Vygenerované trasy drona pomocou rôznych algoritmov

sme použili oba implementované algoritmy, ktoré dokázali vygenerovať bezpečnú trasu drona s vyhýbaním sa prekážkam.

Systém sa dá rozšíriť určovaním  $z$  súradnicovej hodnoty pozície drona, čo by umožnilo efektívnejšie vyhýbanie sa prekážkam (napr. dron by dokázal preletieť nad nízkou prekážkou). Pri automatickej detekcii prekážok sme narazili na problém, kde algoritmus nepresne rozpoznal prekážky rovnakej farby ako je pozadie snímky (podlaha alebo stena). Plánovanie trasy by sa dalo rozšíriť aj o reakciu na dynamické prekážky použitím algoritmov ako D\*, alebo opätovným volaním existujúcich algoritmov po urobení jedného kroku.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia bola podporená z operačného programu Integrovaná infraštruktúra v rámci projektu: Inteligentné operačné a spracovateľské systémy pre UAV, kód ITMS2014+: 313011V422 a spolufinancovaná Európskym fondom regionálneho rozvoja.

#### POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] T. Svoboda, D. Martinec, and T. Pajdla, "A convenient multicamera self-calibration for virtual environments," *Presence: Teleoperators & virtual environments*, vol. 14, no. 4, pp. 407–422, 2005.
- [2] L. Zwirello, T. Schipper, M. Harter, and T. Zwick, "Uwb localization system for indoor applications: Concept, realization and analysis," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2012, pp. 1–11, 2012.
- [3] J. Biswas and M. Veloso, "Wifi localization and navigation for autonomous indoor mobile robots," in *2010 IEEE international conference on robotics and automation*. IEEE, 2010, pp. 4379–4384.

- 
- [4] R. Bruno and F. Delmastro, "Design and analysis of a bluetooth-based indoor localization system," in *Personal Wireless Communications: IFIP-TC6 8th International Conference, PWC 2003, Venice, Italy, September 23-25, 2003. Proceedings 8*. Springer, 2003, pp. 711–725.
  - [5] T. Sanpechuda and L.-o. Kovavisaruch, "A review of rfid localization: Applications and techniques," in *2008 5th international conference on electrical engineering/electronics, computer, telecommunications and information technology*, vol. 2. IEEE, 2008, pp. 769–772.
  - [6] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2016, pp. 779–788.