

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.



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 SUNEGA, 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

# Simulátor letu drónom: model, architektúra a overenie prototypu skúškou

<sup>1</sup>Csaba SZABÓ, <sup>2</sup>Ján KAŠPÁREK

<sup>1</sup> Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>2</sup> Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>csaba.szabo@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.kasperek@student.tuke.sk

**Abstrakt** — V technickej dobe, ktorej žijeme, sa stávajú vrtuľové dróny súčasťou každodenného života. Pre bezpečnosť ľudí a majetku je potrebné poveriť riadením týchto lietajúcich objektov skúsený resp. vyškolený personál (t.j. pilotov). Pre automatizáciu riadenia resp. robotické riadenie navyše potrebujeme dostatočne presné modely samotných technických zariadení, ale aj procesov ich ovládania. Pri školení pilotov zohrávajú simulátory dôležitú úlohu, a to nielen z dôvodu šetrenia nákladov na materiál a bezpečnosti, ale hlavne možnosťou nastaviť poveternostné a ostatné podmienky, ktoré by bolo v reálnej prevádzke skoro nemožné dosiahnuť. V tomto príspevku sa zameráme na model drónu v prototypu takéhoto simulátora. Navyše si ukážeme architektúru, ktorá umožňuje poskladať si vlastnú konfiguráciu drónu nad jeho fyzikálnym modelom a na základe parametrov dostupných súčiastok. Nedostatky riešenia overíme skúškou, kde porovnáme reálny let so simulovaným letom. Naše zistenia sú použiteľné pri tvorbe autonómneho (robotického) riadenia drónov.

**Kľúčové slová** — architektúra, drón, model, overenie skúškou, simulátor

## I. ÚVOD

V modernej dobe sa stále viac stretávame s bezpilotnými lietajúcimi prostriedkami, či už v rámci zábavy alebo profesionálneho využitia. Rozvoj bezpilotných lietadiel je jednou z najdôležitejších kategórií v oblasti technológií. Bez pilotov sa tieto stroje používajú v rôznych oblastiach ako napríklad v priemysle, na vojenské účely, prehliadky a monitorovanie stavu zariadení, filmovanie a mnoho ďalších.

Unmanned Aerial Vehicle - UAV, tzv. dróny, sú bezpilotné lietajúce dopravné prostriedky, rôznej veľkosti, dĺžky doletu, nevezúce pilota, diaľkovo ovládané alebo autonómne, nesúce život ohrozujúci alebo neohrozujúci náklad[1].

Dróny sú stále viac rozšírené v mnohých odvetviach, vrátane priemyslu, logistiky, záchranných operácií a aj v oblasti zábavy. S ich nárastom sa zvyšuje aj dopyt po odbornej kvalifikácii a skúsenostiach v pilotovaní drónov. Tieto prostriedky umožňujú vykonávanie rôznych úloh a operácií bez prítomnosti ľudskej posádky, čím prispievajú k zlepšeniu efektívnosti a bezpečnosti rôznych odvetví.

Pri školení pilotov zohrávajú simulátory dôležitú úlohu, a to nielen z dôvodu šetrenia nákladov na materiál a bezpečnosti, ale hlavne možnosťou nastaviť poveternostné a ostatné podmienky, ktoré by bolo v reálnej prevádzke skoro nemožné dosiahnuť. V tomto príspevku sa zameráme na model drónu v prototypu takéhoto simulátora

Sekcia II opisuje matematický model a reguláciu PID regulátorom. Sekcia III predstavuje architektúru a implementáciu simulátora, kým v Sekcii IV sa nachádza overenie simulátora praktickou skúškou.

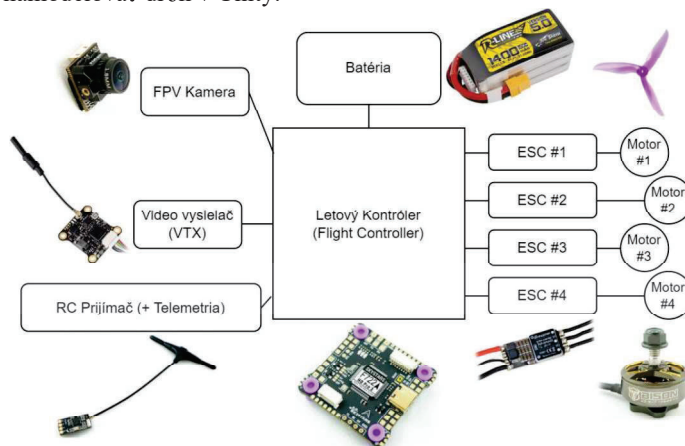


je lineárna k chybe.

Derivačný prvok meria rýchlosť zmeny chyby a produkuje hodnotu, ktorá je úmerná tejto rýchlosti zmeny, čím sa zabezpečuje rýchlejšie a presnejšie riadenie systému.

### III. ARCHITEKTÚRA A IMPLEMENTÁCIA SIMULÁTORA

Implementácia architektúry spočívala vo vytvorení simulácie drónu v prostredí Unity. Prvou časťou bolo vytvorenie objektu drónu v prostredí Unity na základe reálnych údajov. Tu sme sa zamerali na spracovanie ovládania drónu použitím PID reguláta v prostredí Unity. Taktiež bol vytvorený systém na úpravu vstupných premenných drónu, ako je váha či sila motora. Počas návrhu virtuálneho objektu drónu sme použili dôležité fyzické vlastnosti reálneho drónu. V prvom rade nás zaujímala váha komponentov drónu a taktiež celková váha drónu, a to aby sme správne vedeli namodelovať drón v Unity.



Obr. 3 Diagram základných súčasti drónu

Vďaka fyzikálnemu systému používaného v Unity vieme v inšpektore upraviť sily pôsobiace na objekt. V komponente rigidbody zmeníme váhu jednotlivých komponentov drónu na váhu aktuálne používanej konfigurácie drónu (Obr. 4). Aby sme predišli nepredvídaným silám pôsobiacim na drón, budeme používať tento fyzikálny model, ktorý je možné aj zneviditeľniť. Bude naň aplikovaná váha väčšiny komponentov drónu. Taktiež vytvoríme body v miestach, kde sa nachádzajú motory a tu aplikujeme sily produkované motormi. Týmto spôsobom zabránime pôsobeniu neočakávaných síl pôsobiacich na objekt drónu. Dané sily nevieme ovplyvniť a sú nežiadúcim následkom samostatného modelovania jednotlivých komponentov.



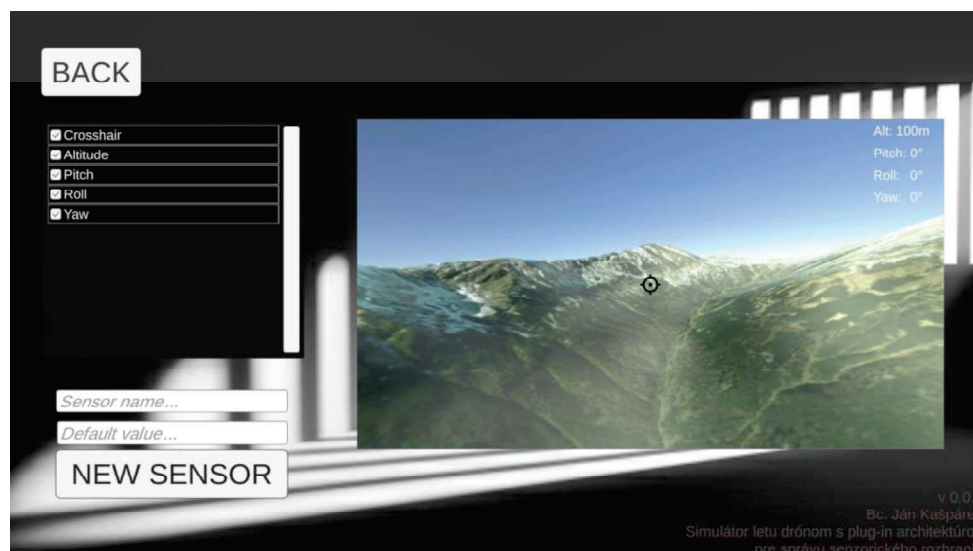
Obr. 4 Modelovanie fyzikálneho modelu drónu

V ďalšej časti bolo vytvorené virtuálne prostredie pre let drónu. Sú použité dva druhy nami vytvorených scén. Prvá scéna je určená na prototypovanie a testovanie. Ostatné scény už budú ponúkať namodelované prostredie z reálneho sveta. Tiež využívame topologické dáta, ktoré ponúka plugin BlenderGis pre využitie reálneho prostredia v Unity.

Tretia časť bola venovaná návrhu a implementácii plug in architektúry pre správu senzorského rozhrania. Tu je možné dynamicky vytvoriť nový senzor, určiť hodnotu, ktorá bude meraná týmto senzorom a vykresľovať túto hodnotu na obrazovke pomocou OSD. Pre účely konfigurácie OSD je možné pridať aj predvolenú hodnotu, tzv. placeholder.

V štvrej časti sme vytvorili systém na úpravu letových vlastností drónu. Niektoré zložky sa upravujú pred spustením simulácie. Napríklad typ rámu alebo sila motora.





Obr. 5 Konfigurátor OSD

#### IV. OVERENIE PROTOTYPU SKÚŠKOU

##### A. Nastavenie experimentu

Experiment sme navrhli tak, aby sme overili presnosť simulácie na základe vstupných radiacích signálov. Následne sme porovnali let drónu s letom simulovaného drónu.

Experimentálne overenie bolo vykonávané mimo riadiaceho priestoru letiska, čo znamená, že letový strop je v tomto prípade 120m. Do úvahy boli brané bezpečnostné opatrenia[5]. Bezpilotné lietadlo, používané pri experimentálnom overení, sa s váhou 567g radí do kategórie C1[6]. Pri počítaní koeficientu počiatočnej miery rizika boli brané do úvahy nasledovné opatrenia. Let nebol vykonaný nad riedko osídlenou lokalitou, nad husto osídlenou lokalitou a ani nad zhromaždením ľudí na voľnom priestranstve. Let bol vykonaný nad lokalitou s obmedzeným prístupom, t.j. geograficky vymedzená oblasť, do ktorej majú prístup iba osoby zúčastnené na vykonaní letu s bezpilotným lietadlom. Koeficient počiatočnej miery rizika je 2. Núdzový plán nebol vypracovaný a preto zvyšuje koeficient rizika. Celkový koeficient zmierňujúcich opatrení bol 1 a koeficient konečnej miery rizika bol 3. Let s lietadlom v kategórii prevádzky B a C, je možné vykonať, ak je výsledný koeficient miery rizika rovný alebo menší ako 4. Aj daná požiadavka bola splnená[7].

Tabuľka 1  
Koeficient rizika pri vykonaní experimentu

	Koeficient rizika
Let nad lokalitou s obmedzeným prístupom s lietadlom MTOW = 0.9kg	2
Strategické zmierňujúce opatrenia	0
Prostriedky na zníženie energie dopadu	0
Núdzový plán	1
Konečný koeficient rizika	3

##### B. Overenie presnosti

Aby sme vedeli overiť presnosť simulátora, stiahli sme si dáta z blackboxu reálneho drónu. Blackbox obsahuje rôzne dáta zbierané počas letu a informácie, ktoré nás zaujímali, boli práve vstupy z vysieláča. Frekvencia zaznamenávania hodnôt blackboxu bola 400Hz.

V rámci experimentu boli vykonané tri lety drónom. Informácie z letov sme spracovali cez program Betaflight Blackbox Explorer. Následne sme dáta vo formáte csv načítali do nášho simulátora. Dáta boli spracované pomocou nami vytvoreného parsera.

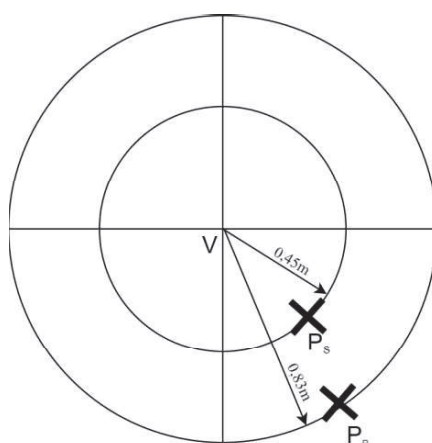
Keďže formát radiacích hodnôt zaznamenaných v blackboxe sa líši od radiacích hodnôt pri používaní ovládača cez USB, dané hodnoty boli premapované. V prípade roll, pitch, a yaw bol rozsah hodnôt  $[-1, 1]$ . Pre throttle bol rozsah hodnôt  $[0, 1]$ .

Experiment prebiehal nasledovne. V realite aj v simulácii sme nahrávali drón a virtuálny drón

približne z rovnakého miesta a porovnávali sme letové charakteristiky. V realite aj v simulácii sme mali označené miesto vzletu a po pristáti sme odmerali vzdialenosť od miesta vzletu.

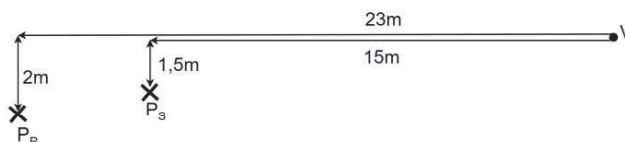
Pri vykonaní letu drónom pilot vzlietol z bodu V a pristál v bode PR. Následne boli dáta z blackboxu importované do simulátora, kde virtuálny drón vzlietol z bodu V a pristál v bode PS. Najvyšší bod pri lete reálnym drónom bol 5 metrov, zatiaľ čo najvyšší bod v simulácii bol 4,5m. Experiment bol vykonávaný pri relatívne pokojnom počasí. Jedinou komplikáciou bolo, že občas zafúkal vietor. Tieto vonkajšie vplyvy boli kompenzované buď PID regulátorom na palube drónu, alebo riadiacimi vstupmi pilota.

Druhý experiment bol navrhnutý tak, že pilot drónu vyletí z bodu V, preletí 20m horizontálne a pristane. Pri realizácii experimentu pilot vzlietol z bodu V a pristál v bode PR vzdialenom približne 23 metrov od bodu V. Drón navyše pristál o dva metre vľavo od plánovaného bodu pristátia. Následne boli dáta z blackboxu importované do simulátora, kde virtuálny drón vzlietol z bodu V a pristál v bode PS. Je dôležité poznamenať, že pri lete v nízkej výške aplikuje firmvér Betaflight ďalší faktor, ktorý má za úlohu pri nízkej výške asistovať pilotovi drónu a zabrániť predčasnému nechcenému kontaktu so zemou. Virtuálny drón v simulácii letel rovnakým smerom, ale vzhľadom k tomu, že tento faktor nie je v simulátore implementovaný, výška drónu klesala a drón dopadol na zem skôr, ako bola vstupná riadiaca hodnota pre throttle nulová.



Obr. 6 Experimentálne overenie č.1 - vzlet a pristátie

Tretí experiment sa mal zamerať na overenie bežného letu drónom a pozorovať, ako dlho bude let drónu v simulácii stabilný. Pilot drónu vykonal let v dĺžke dvoch minút. Považujeme za dôležité poznamenať, že na drón pôsobili vonkajšie vplyvy v podobe vetra. Následne boli dáta z blackboxu importované do simulátora, kde virtuálny drón vzlietol z rovnakého bodu ako reálny drón. Dráha virtuálneho drónu sa však veľmi rýchlo odlišila od pozorovania reálneho drónu. Po viacnásobnom opakovaní tohto experimentu sme získali meranie, kde sa dráha virtuálneho drónu približovala pozorovanej dráhe drónu. Najdlhší nameraný čas bol 17 sekúnd. Keďže let drónu je veľmi koordinovaná záležitosť, aj najmenší vonkajší vplyv dokáže ovplyvniť experiment takejto dĺžky.



Obr. 7 Experimentálne overenie č.2 - horizontálny let vpred 20m

Pri experimentálnych overeniach sme tiež zistili, že vztlak drónu sa v priebehu experimentu mení. Ako sme spomenuli v podkapitole analýzy s názvom Motory, na otáčky motora vplyva nabitie batérie lineárne, a to  $RPM = KV * V$ , kde RPM sú otáčky motora za minútu, KV označuje konštantu otáčok na volt a V je nabitie batérie. Pri vybíjaní batérie je dôležité získavať aktuálny stav nabitia batérie z blackboxu. V našom prípade sme sme pred každým letom vykonali meranie batérie, a následne sme túto konštantu zadali do simulátora drónu.

## 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.

## LITERATÚRA

- [1] HASSANALIAN, Mostafa; ABDELKEFI, Abdessattar. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*. 2017, roč. 91, s. 99–131.
- [2] CÁRDENAS R, César A; GRISALES, Victor Hugo; COLLAZOS MORALES, Carlos Andrés; CERÓN-MUÑOZ, Hernan Dario; ARIZA-COLPAS, Paola; CAPUTO-LLANOS, Roger. Quadrotor modeling and a pid control approach. In: *Intelligent Human Computer Interaction: 11th International Conference, IHCI 2019, Allahabad, India, December 12–14, 2019, Proceedings 11*. Springer, 2020, s. 281–291.
- [3] *Motors Tab Betaflight Configurator* [<https://betaflight.com/docs/wiki/configurator/motors-tab>]. [B.r.]. Navštívené: 22.3.2023.
- [4] JOHNSON, Michael A; MORADI, Mohammad H. *PID control*. Springer, 2005.
- [5] *Legislatíva Prevádzky Dronov V EU a Na Slovensku* [<https://mamdron.sk/legislativa/>]. [B.r.]. Navštívené: 29.6.2022.
- [6] *Bezpilotné letectvo - dopravný úrad* [<http://letectvo.nsat.sk/bezpilotne-letectvo/>]. [B.r.]. Navštívené: 22.3.2023.
- [7] *Všeobecné podmienky vykonania letu - dopravný úrad* [<http://letectvo.nsat.sk/bezpilotne-letectvo/podmienky-vykonania-letov/>]. [B.r.]. Navštívené: 22.3.2023.