

Technical University of Košice



**Faculty of Electrical Engineering
and Informatics**

Electrical Engineering and Informatics

XII

Proceedings of
the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

ISBN 978-80-553-3940-5

2021

Electrical Engineering and Informatics XII
Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Letná 9, 040 01 Košice, Slovak Republic

Date of publication: August 2021 Language: English, Slovak
Printing: 50 pieces CD Pages: 471

Editorial board chairman: prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.

Proceedings reviewers: prof. Ing. Ján Paralič PhD.
prof. Ing. Daniela Perduková, PhD.
prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.
prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.
Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.
prof. Ing. Iveta Zolotová CSc.
assoc. prof. Ing. Norbert Ádám, PhD.
assoc. prof. Ing. Anton Baláž, PhD.
assoc. prof. Ing. Lubomír Beňa, PhD.
assoc. prof. Ing. Marek Bundzel PhD.
assoc. prof. Ing. Peter Butka PhD.
assoc. prof. Ing. Lubomír Doboš, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Bystrík Dolník
assoc. prof. Ing. Miloš Drutarovský, PhD.
assoc. prof. Ing. Jaroslav Džmura, PhD.
assoc. prof. Ing. Mária Gamcová, PhD.
assoc. prof. Ing. Ján Gamec, PhD.
assoc. prof. Ing. Eva Chovancová, PhD.
assoc. prof. Ing. Ján Kaňuch, PhD.
assoc. prof. Ing. Iraida Kolcunová, PhD.
assoc. prof. Ing. Milan Lacko, PhD.
assoc. prof. Ing. Marián Mach CSc.
assoc. prof. Ing. Kristína Machová PhD
assoc. prof. Ing. Dušan Medveď, PhD.
assoc. prof. Ing. Ján Papaj, PhD.
assoc. prof. Ing. Jaroslav Petráš, PhD.
assoc. prof. Ing. William Steingartner, PhD.
assoc. prof. Dr. Ing. Ján Vaščák
assoc. prof. Ing. Jaroslava Žilková, PhD.

Editors: prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

Contents

Martin Kolek, Roman Cimbala, Peter Havran <i>Electrophysical properties of solid insulation materials</i>	7
Luboš Ovseník, Jakub Oravec, Maroš Lapčák, Norbert Zdravecký <i>Návrh automatizovaného systému pre tvrdé prepínanie hybridnej FSO/RF linky na báze strojového učenia</i>	12
Luboš Ovseník, Jakub Oravec, Norbert Zdravecký, Maroš Lapčák <i>Návrh 32-kanálového Ultra-DWDM systému pre potlačenie vplyvu nelineárnych javov SPM, XPM a FWM</i>	18
Daniel Florek, Anton Baláž, Branislav Madoš <i>Rozšírenie Minecraftu z pohľadu fungovania Bitcoinu</i>	24
Branislav Sobota, Sára Javorková, Marián Hudák, Štefan Korečko <i>The therapy of upper limbs with virtual reality technology</i>	38
Andrea Petrášová, Branislav Madoš, Anton Baláž <i>Návrh grafického súborového formátu pre ukladanie dvoj-dimenzionálnych dát s využitím HDS</i> ..	45
Tara Stefányi, Valerie Novitzká <i>Categorical model of simply-typed lambda-calculus with reference type</i>	51
Matúš Križánek, František Babič, Viera Pavlišková <i>Vytvorenie prototypu na spracovanie transakčných dát v MSP pomocou jazyka R</i>	57
Kristián Mičko, František Babič <i>Evidencia dočasného parkovania pomocou metód počítačového videnia a umelej inteligencie</i>	61
Peter Havran, Roman Cimbala, Maksym Oliinyk <i>Dielektrická spektroskopia transformátorového GTL oleja</i>	65
Patrik Hrivniak, Dušan Medveď <i>Využitie open-source platformy na elektroenergetické účely</i>	70
Martin Chlebovec, Miloš Drutarovský <i>Bezpečná vzdialená aktualizácia IoT senzora na báze ESP32</i>	76
Ján Presada, Dušan Medveď <i>Tepelná analýza priameho kontaktu</i>	82
Pavol Silagyi, Dušan Medveď <i>Analýza výroby elektrickej energie pri zbernicovom systéme prehriatej pary</i>	88
Peter Havran, Roman Cimbala, Vladimír Kohan <i>Impedance analysis of inhibited mineral oil</i>	94
Ján Mihalík <i>Kódovanie ľudskej hlavy v štandarde MPEG-4 SNHC</i>	100
Michal Švingál, Dušan Kocur, Jána Fortes <i>UWB-PerLoc-2D3D: softvér na lokalizáciu osôb v 2D a 3D priestore</i>	105
Jakub Oravec, Luboš Ovseník, Maroš Lapčák, Norbert Zdravecký <i>Vylepšenie vlastností logistického zobrazenia z hl'adiska obrazových šifrovacích algoritmov</i>	110

Jakub Oravec, Luboš Ovseník, Norbert Zdravecký, Maroš Lapčák <i>Parametrizovaný kvantizačný algoritmus pre obrazové šifrovacie algoritmy</i>	115
Maroš Lapčák, Norbert Zdravecký, Luboš Ovseník, Jakub Oravec <i>Design of a Backup RF Link for Hybrid FSO/RF System</i>	119
Maroš Lapčák, Norbert Zdravecký, Ján Turán, Samuel Andrejčík <i>Monitoring Weather Conditions for Hybrid FSO/RF System Using UAV Devices</i>	124
Maroš Lapčák, Norbert Zdravecký, Luboš Ovseník, Jakub Oravec <i>Analysis of the Proposed Horn Antenna as a Backup Line for Hybrid FSO/RF System</i>	128
Samuel Andrejčík, Ján Turán, Maroš Lapčák <i>CMS server pre Laboratórium optoelektronických systémov</i>	133
Norbert Zdravecký, Luboš Ovseník, Maroš Lapčák, Jakub Oravec <i>Investigation of amplifiers in DWDM systems</i>	138
Norbert Zdravecký, Luboš Ovseník, Maroš Lapčák, Jakub Oravec <i>Investigation of modulation in ultra-DWDM systems</i>	142
Marek Fedor, Daniela Perduková <i>Dynamická identifikácia vnútorných veličín asynchrónneho motora</i>	146
Richard Nezník, Ján Papaj <i>Využitie technológie Blockchain v 6G a MANET sieti</i>	154
Filip Mondok, Anton Baláž, Emília Pietriková <i>Web kiosk v OS Linux</i>	160
Heidar Khorshidiyeh, Branislav Madoš, Anton Baláž <i>Kompresia multi-dimenzionálnych dát s využitím transformácie ich dimenzionality</i>	165
Miroslav Andraš, Dušan Medved <i>Návrh nekonvenčného zdroja energie na konvenčné účely</i>	171
Peter Havran, Roman Cimbala, Miloš Šárpataky <i>Impedance spectroscopy of liquid dielectrics</i>	177
Bohuslav Potočník, Zdeněk Havlice, Lucia Veselovská <i>Application for Truck Entry and Traffic Tracking</i>	183
Daniel Slinčák, Zdeněk Havlice, Richard Széplaki <i>System for Processing and Analyzing Test Results</i>	189
Jerguš Kačmár, William Steingartner <i>Doc2vec as an expansion to full-text search engine for a specific domain</i>	195
Marek Grešák, Dušan Medved <i>Inteligentné elektromery a ich využitie</i>	200
Peter Havran, Roman Cimbala, Luboš Šárpataky <i>Dielectric spectroscopy of transformer paper in the time domain</i>	205
Jozef Frivaldský, Marián Mach <i>Porovnanie transformačných operátorov horolezeckého algoritmu v rámci domény TSP</i>	210
Peter Focko, Ján Genči <i>Spracovanie EKG záznamov metódami strojového učenia</i>	216

Tamás Porteleky, Dušan Kocur, Jána Fortes <i>Softvér v programovacom prostredí LabView určený na sledovanie pohybujúcich sa osôb v reálnom čase</i>	222
Marek Roháč, Miloš Drutarovský <i>Bezpečnostné riziko pri generovaní náhodných dát v prostredí virtuálnych strojov s OS Windows</i> .	227
Eva Kupcová, Miloš Drutarovský <i>NTT s konštantnou dobou výpočtu v post-quantovej kryptografii</i>	233
Jozef Doci, František Babič, Viera Pavlišková <i>Vizualizácia geopriestorových dát o hovoroch na tiesňovú linku</i>	239
Jákob Ildža, Dušan Medved <i>Účinky elektromagnetického poľa na ľudský organizmus</i>	244
Miroslav Biñas, Patrik Koscelanský <i>Automation in creation of lists for tests execution in Arena</i>	250
Filip Zverec, Ján Papaj <i>Smerovanie a strojové učenie v MANET</i>	257
Michaela Šaková, Ján Papaj <i>Bezpečnosť a Blockchain v MANET</i>	263
František Jakab, Lucia Michalénková, Dávid Cymbalák, Roman Vápeník <i>Livestreaming Delivery with Enhanced Interactive Functions in NTI in SANET</i>	269
František Jakab, Dávid Cymbalák, Miroslav Michalko, Martin Korének <i>Multikamerová distribúcia streamovaného videa z UAV pri sledovaní pohybujúceho sa objektu</i> ..	274
Patrik Schütz, Ján Vaščák <i>Simulation of Activities in a Robotic Swarm</i>	279
Maroš Baumgartner, Jozef Juhár, Ján Papaj <i>Výkonová analýza prístupových technológií 5G sietí v simulátore NS-3</i>	285
Marek Berka, Ondrej Kainz, Miroslav Michalko, František Jakab <i>Controlling plant growing condition using machine learning</i>	291
Jozef Eliáš, Ondrej Kainz, Miroslav Michalko, František Jakab <i>Smart IoT security solution for premises monitoring</i>	296
Matúš Huba, Ján Paralič <i>Predikovanie úmrtí na Covid19 v rôznych časových oknách</i>	301
Lenka Dobranská, Viera Pavlišková, František Babič <i>Vizualizácia publikačnej činnosti výskumného tímu</i>	307
Ján Vaščák, Dušan Herich <i>Cloud Based System for Autonomous Vehicle Navigation</i>	312
Miloš Šárpataky, Irida Kolcunová, Ján Zbojovský, Juraj Kurimský, Peter Havran <i>Radiofrequency Shielding Enhancement of Building Materials by Carbon-Based Coating</i>	318
Viktor Petro <i>Vybrané metódy bezsnímačového riadenia synchronného motora s permanentnými magnetmi</i> ...	327

Martin Hasin, Martin Havrilla <i>Implementácia RSS algoritmu v procese meranie sieťovej prevádzky</i>	331
Ján Vaščák <i>Rekurentné fuzzy neurónové siete pri riadení pohonov mobilných robotov</i>	337
Gabriela Vašková, Ján Papaj <i>Viacpreskoková mobilné siete MANET a mobilné siete 6. generácie</i>	343
Tomáš Maniak, Marek Pavlík <i>Parametre náhradného modelu fotovoltického článku</i>	348
Zuzana Pella, Juraj Kanuščák <i>Analýza vplyvu predspracovania dát na vybrané modely analýzy dát</i>	352
Tomáš Ondruško, Marek Pavlík <i>Modelovanie účinnosti tienenia elektromagnetického poľa</i>	358
Ján Vaščák <i>Návrh inteligentného požiarneho varovného systému s využitím neurónových fuzzy prostriedkov</i> .	362
Peter Girovský, Martin Závaš <i>Riadenie BLDC motora</i>	368
Peter Girovský, Stanislav Mačák <i>Návrh algoritmu pre rozpoznávanie obrazu</i>	373
Stanislav Ondáš, Miriama Fedorišinová <i>Časové charakteristiky prekrývajúcej sa reči v konverzačných interakciách</i>	377
Lukáš Koniar, František Ďurovský <i>Riadenie horizontálneho zásobníka kontinuálnej linky</i>	382
Eduard Pynzar, Matúš Pleva <i>Overovanie hodnovernosti biometrického znaku</i>	388
Daniel Majerník, Matúš Sulír <i>Audiovisual Live Coding with Audience Participation via Parameter Guessing</i>	393
Dávid Bodnár, František Ďurovský <i>Riadenie zásobníka energie elektrického midibusu</i>	399
Dávid Gula, Štefan Korečko, Branislav Sobota <i>Prototypovanie riadenia dronov v zdieľanej webovej virtuálnej realite</i>	406
Ján Vaščák <i>Návrh systému na reguláciu klímy v skleníku s využitím siete ANFIS</i>	412
Daniel Novák, Michal Kolárik <i>Nástroje a knižnice pre analýzu dát v oblasti medicíny</i>	417
Maroš Baumgartner, Jozef Juhár, Ján Papaj <i>Simulovanie LTE a 5G prístupových technológií z pohľadu energetickej účinnosti s využitím NS-3</i>	422
Ivan Čík, Marián Mach <i>Concept of Concentration Metric for Convolutional Neural Networks</i>	428

Branislav Sobota, Štefan Korečko, Matej Masrna <i>Virtuálne prostredie pre podporu vzdelávania hendikepovaných osôb</i>	435
Peter Michalik, Ladislav Pomšár, Iveta Zolotová <i>Design Of Methodology for Selection Suitable Analytic Platform in the Area of Data Analysis</i> ..	442
Ján Vaščák <i>Tvorba zabudovaných systémov snímačov pre potreby inteligentného priestoru</i>	452
Adrián Marcinek, František Ďurovský <i>Matematický model výkonového multiport meniča</i>	458
Tomáš Talian, Štefan Korečko, Branislav Sobota <i>Perspectives of OR/TS2JavaConn Utilization in Automated Rail Control Simulation</i>	465
Author's index	470

Prototypovanie riadenia dronov v zdieľanej webovej virtuálnej realite

¹Dávid GULA, ²Štefan KOREČKO, ³Branislav SOBOTA

Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

¹david.gula@student.tuke.sk, ²stefan.korecko@tuke.sk, ³branislav.sobota@tuke.sk

Abstrakt – Súčasťou vývoja zariadení je aj tvorba a testovanie ich prototypov, ktorá je častokrát zdĺhavá a finančne náročná. Je potrebné vytvoriť a postaviť fyzický prototyp, ktorý sa potom testuje v reálnom prostredí a vyhodnocuje pomocou rôznych metrík a senzorov. Taktiež je nutné zaručiť bezpečnosť účastníkov, keďže pri poruche reálneho zariadenia môže dôjsť k materiálnym, či dokonca zdravotným škodám. V tomto príspevku predstavujeme zdieľané virtuálne prostredie, v ktorom je možné overovať funkčnosť prototypov zariadení využitím technológií virtuálnej reality. Prostredie je možné spustiť jednoducho vo webovom prehliadači a podporuje pripojenie viacerých používateľov naraz prostredníctvom počítača, smartfónu, tabletu, či prilby pre rozšírenú a virtuálnu realitu. Účelom prostredia je prototypovanie riadenia dronov v ňom s ohľadom na bezpečnosť používateľov. Prezentovaný je aj scenár, kde dron roznáša materiál v prostredí staveniska tak, aby nedošlo k ohrozeniu používateľov.

Kľúčové slová – ovládanie dronov, prototypovanie, virtuálna realita, zdieľané prostredie

I. ÚVOD

Virtuálna realita je oblasť, ktorá existuje už dlhšiu dobu, no až v poslednom desaťročí sa výrazne rozširuje. Najčastejšie nájde využitie v medicíne (rehabilitácie, liečenie fóbií, svalových a nervových porúch, atď.), vzdelávaní a trénovaní na diaľku (vzdelávanie žiakov a študentov, trénovanie zamestnancov, pracovníkov a lekárov, simulácia krízových situácií, atď.).

Okrem toho je možné virtuálnu realitu využiť aj pri návrhu a testovaní prototypov rôznych zariadení. Táto fáza vývoja produktu je veľmi dôležitá, avšak zdĺhavá a finančne náročná. Taktiež si vyžaduje vytvoriť reálny prototyp produktu a overovať ho fyzicky, za pomoci prístrojov a prítomnosti odborníkov. Virtuálna realita tu ponúka možnosť vykonať testovanie vo virtuálnom prostredí, ktoré je možné jednoducho nakonfigurovať podľa potreby, vytvoriť rôzne scenáre a overovať tak funkčnosť prototypu v rôznych podmienkach. To všetko je možné realizovať bez nutnosti tvorby reálneho zariadenia. Virtuálne prostredia ale nedokážu simulovať všetky aspekty reálneho sveta, preto nie je možné reálne testovanie úplne nahradiť.

Príkladom zariadení, pre ktoré je veľmi dôležité ich otestovanie pred nasadením do prevádzky, sú lietajúce drony, najmä autonómne ovládané. V dnešnej dobe sú veľmi rozšírené komerčné drony, keďže sú lacné, dostupné a nájdu využitie v mnohých oblastiach, od fotografovania a prieskumu, cez doručovanie balíčkov, až po asistenciu počas rôznych nešťastí a hľadania ranených [1]. Veľkou výzvou v tejto oblasti je vytvoriť spoľahlivý riadiaci softvér, ktorý dokáže autonómne ovládať dron a splniť rôzne požiadavky počas plnenia úloh. Jedná sa napríklad o bezpečnosť prevádzky, rýchlosť a efektivitu plnenia úloh a schopnosť reagovať na okolité prostredie.

Ako veľmi sľubná platforma sa v tomto kontexte javí zdieľaná webová virtuálna realita, kde virtuálne prostredia (scény) sú zobrazené vo webovom prehliadači. A jedno takéto prostredie môže byť naraz zdieľané viacerými používateľmi. Je pri tom možná aj vzájomná interakcia používateľov na rôznej úrovni.

V tomto príspevku predstavujeme pilotnú implementáciu virtuálneho prostredia, použiteľného pre testovanie a overovanie prototypov riadiacich softvérov lietajúcich dronov. Virtuálne prostredie pozostáva zo scény staveniska, v ktorej sa nachádza dron aj používatelia. Pre prostredie bol implementovaný aj scenár, teda činnosť, a to pre dron aj používateľov. Dron opakovane navštevuje vopred definované miesta, kde vždy pristane a na chvíľu zotrúva. Úlohou používateľov je nájsť v prostredí určité pozície.

Prostredie aj scenár boli vytvorili v systéme *LIRKIS G-CVE* [3], [4] pre zdieľanú webovú virtuálnu realitu, postavenom na báze rámca *A-Frame*¹. Pre pohyb dronu je použitá fyzikálna

¹<https://aframe.io/>

simulácia v reálnom čase. Pre jeho autonómne riadenie bol implementovaný riadiaci systém, ktorý dron ovláda tak, aby bol schopný presúvať sa medzi pozíciami, prípadne na danej pozícii bezpečne pristáť a bezpečne z nej znova vzlietnuť. Tieto manévry vykonáva tak, aby nedošlo k ohrozeniu používateľov v jeho blízkosti. Na získavanie informácií o pripojených používateľoch sme použili komponent pre zdieľanie pozícií pripojených entít v prostredí [2], označovaný ako Enhanced Client Access (ECA) [3], [4].

II. SÚVISIACE PRÁCE

Existuje viacero rôznych systémov, ktoré podporujú virtuálnu realitu a zdieľané virtuálne prostredie pre viacerých používateľov. Väčšina z nich sa však nezameriava na overovanie prototypov zariadení. Okrem toho sú taktiež prevažne vytvárané pomocou herných rámcov, najčastejšie *Unity*, teda nejedná sa o webové virtuálne prostredia.

Systém, ktorý má najbližšie k nášmu zdieľanému prostrediu je kolaboratívne VR prostredie pre návrh produktov [5]. Systém umožňuje dizajnérom a inžinierom pracovať s prototypmi produktov a zostavovať ich v zdieľanom virtuálnom prostredí, avšak nesmú byť príliš zložitý. Vytvorený je pomocou rámca *Unity* a rozšírenia *Virtual Reality Toolkit*. Podporuje iba virtuálne prilby *HTC Vive*. Pomocou ovládačov používateľa manipulujú s objektami. Nami implementovaný systém je narozdiel od tohto realizovaný vo webovom prostredí a podporuje možnosť pripojiť sa aj imerzívne, prostredníctvom prilby pre virtuálnu realitu, ale aj pomocou bežných zariadení. Taktiež je ho možné jednoducho spustiť v prehliadači, bez nutnosti inštalácie softvéru. Ďalšou výhodou nášho systému je možnosť testovať aj funkcionality prototypov, narozdiel od prezentovania iba vzhľadu a 3D objektu.

Ďalšie spomínané systémy sa zameriavajú na simuláciu lietajúceho dronu vo virtuálnom prostredí a jeho interakciu s objektmi.

Jedným z takýchto systémov je simulátor *DroneVR* [6]. Implementovaný je vo webovom prostredí pomocou vizualizačného rámca *ThreeJS*. Jeho cieľom je minimalizovanie rizika nárazu dronu ovládaného buď manuálne, alebo pomocou autopilota, do budovy alebo iného objektu. Princípom je modelovanie reálneho sveta a budov vo virtuálnom prostredí, v ktorom sa človek môže naučiť ovládať zariadenie v konkrétnom simulovanom prostredí, ktoré zodpovedá reálnemu prostrediu. Dáta o budovách a ich parametroch systém čerpá zo systému *OpenStreetMap*, podľa ktorého vytvorí virtuálne prostredie. Do nášho systému je nutné objekty prostredia pridávať ručne, je ale možné takúto funkcionality do systému doplniť. Ovládanie dronu v systéme *DroneVR* je realizované buď manuálne, alebo pomocou integrovaného autopilota (v tomto móde sa dron vyhýba prekážkam). Avšak v prípade riadenia autopilotom sa dron pohybuje iba v rovnakej výške nad zemou a je schopný sa pohybovať a otáčať sa iba v ôsmich rôznych smeroch. Náš systém simuluje dron, ktorý sa pohybuje v akomkoľvek smere a výške. Taktiež simulujeme štart a pristávanie.

Ďalším simulátorom pre drony je systém *AirSim* [7]. Je implementovaný v hernom rámci *Unreal Engine*, vďaka čomu je veľmi realistický a graficky detailný. Umožňuje integrovať rôzne ovládacie firmvéry pre drony, ktoré sa používajú aj v reálnych strojoch. Okrem toho simuluje rôzne senzory, ako napríklad akcelerometer, gyroskop, barometer, magnetometer a GPS. Taktiež umožňuje simulovať rôzne efekty počasia, ktoré vplývajú na let dronu. Tento simulátor poskytuje realistickejšie spracovanie dronu, ako náš systém, avšak neumožňuje používateľom interagovať s dronom a taktiež nepodporuje viacerých používateľov v rovnakom čase.

Simulátor *Flightmare* [8] sa od *AirSim* líši najmä v tom, že autori oddelili vizualizačný rámec od fyzikálnej simulácie. Dôsledkom je zvýšenie výkonnosti simulácie použitím paralelného programovania. Na vizualizáciu používajú rámec *Unity*. Taktiež autori implementovali rozhranie pre nástroje strojového učenia, takže sa prostredie môže použiť aj na učenie autonómne ovládaných lietajúcich dronov pomocou umelej inteligencie. Podporuje aj zariadenia pre virtuálnu realitu, vďaka ktorým sa môže používateľ pripojiť do prostredia a sledovať drony vo VR. Ani tento simulátor neumožňuje interakciu používateľ-dron. Jeho fyzikálna simulácia je ale taktiež veľmi realistická a navyše je možné simulovať viacero dronov súčasne, napríklad testovať systémy pre kolaboráciu medzi týmito strojmi.

III. ZDIEĽANÉ VIRTUÁLNE PROSTREDIE NA PROTOTYPOVANIE RIADENIA DRONOV

Naše virtuálne prostredie a scenár boli vytvárané na platforme *LIRKIS G-CVE*, postavenej na webovom rámci *A-Frame*. Preto využívajú entitno-komponentový architektonický softvérový vzor, vďaka čomu je možné jednoducho rozširovať funkcionality pridávaním komponentov. Pre naše prostredie sme vytvorili niekoľko komponentov, ktoré rozširujú funkcionality *LIRKIS G-CVE*.

A. Modelovanie dronu

Prvým krokom bolo vytvoriť verný model dronu, ktorý by zodpovedal svojim správaním a stavbou reálnym strojom, ktoré sú v súčasnosti využívané. Najrozšírenejšími typmi komerčných dronov sú kvadrokoptéry. Existujú dva spôsoby konfigurácie, a to konfigurácia “×” a “+”. Zvolili sme rozloženie typu “×”, keďže takýto dron je obratnejší a záťaž motorov pri vykonávaní pohybu je rovnomernejšia.

Grafický model kvadrokoptéry sme získali bezplatne, z online databázy *3D Warehouse*. Model bol dostupný vo formáte programu *SkechUp*, preto sme ho pomocou modelovacieho programu *Blender* preložili do formátu `glTF`, ktorý je použiteľný v prostredí webovej virtuálnej reality.

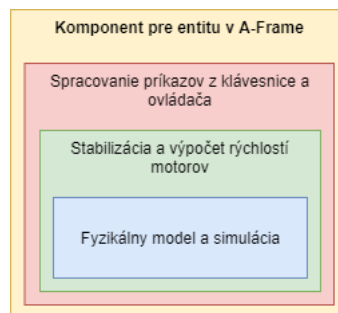
Kvadrokoptéra vykonáva svoj pohyb iba úpravou rýchlostí svojich štyroch motorov, čo z nej robí na prvý pohľad relatívne jednoduchý lietajúci stroj. Všetky motory sa po celý čas otáčajú rovnakým smerom, dva v smere a dva proti smeru hodinových ručičiek. Zmenou otáčok jednotlivých motorov vieme ovládať pohyb kvadrokoptéry v šiestich rôznych smeroch.

B. Hierarchia riadiacich komponentov kvadrokoptéry

Pohybový systém reálnych kvadrokoptér sa skladá z niekoľkých častí:

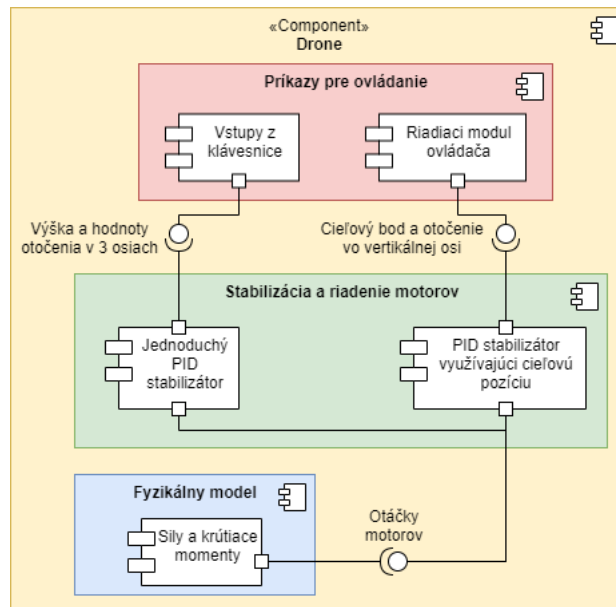
- Motory a vrtule.
- Elektronický regulátor otáčok - toto zariadenie slúži na prevod riadiaceho signálu na otáčky pre motor.
- Riadiaca doska so zabudovaným stabilizátorom - jej úlohou je reagovať na vstupy z diaľkového ovládača a podľa príkazu ovládať rýchlosti štyroch motorov.
- Autopilot - zložitejšie a drahšie kvadrokoptéry obsahujú aj autopilota, ktorý je súčasťou riadiacej dosky. Ten umožňuje kvadrokoptéram pohybovať sa autonómne.

Z hľadiska virtuálneho modelu pre nás nemá význam implementovať elektronický regulátor otáčok. Na základe spomínaných častí sme vytvorili niekoľko oddelených modulov, ktoré spolu tvoria riadiaci systém pre modelovanú kvadrokoptéru. Hierarchické usporiadanie jednotlivých častí je na Obr. 1.



Obr. 1 Hierarchia riadiacich komponentov pre model kvadrokoptéry.

Jednotlivé časti riadiaceho systému sme navrhli tak, aby boli od seba nezávislé a tým pádom ich bolo možné zamieňať a testovať tak prototypy rôznych ovládacích softvérov bez nutnosti zasahovať do nízko-úrovňového riadenia a stabilizácie dronu. Tieto časti sme vytvorili ako samostatné moduly spolu s rozhraniami, prostredníctvom ktorých medzi sebou komunikujú. Štruktúra a spôsob prepojenia modulov riadiaceho systému je zobrazený v diagrame na Obr. 2.



Obr. 2 Konceptuálny diagram riadiaceho systému kvadroptéry

Riadenie kvadroptéry pozostáva z troch hlavných častí:

- Fyzikálny model - definuje správanie sa kvadroptéry podľa reálnych fyzikálnych zákonov, teda ako má teleso reagovať na pôsobiace sily a kolízie v priestore
- PID regulátor - slúži na stabilizáciu stroja počas letu a taktiež na regulovanie otáčok motorov podľa rozdielu medzi požadovaným a súčasným stavom
- Ovládač - jeho úlohou je autonómne ovládať kvadroptéru v priestore za účelom dosiahnutia stanoveného cieľa s ohľadom na bezpečnosť používateľov

C. Fyzikálny rámec a fyzikálny model kvadroptéry

Na realizovanie fyzikálnych výpočtov a simulácie pôsobenia fyzikálnych síl a kolízií vo virtuálnom prostredí sme použili samostatný fyzikálny rámec. Zvolili sme si *Cannon.js* vďaka jeho podrobnej dokumentácii, jednoduchej integrácii a výkonnosti vo webovom prostredí. Prostredníctvom tohto rámca sme implementovali detekovanie kolízií medzi dronom a ostatnými statickými objektami.

Na uvedenie modelu dronu do pohybu využijeme sily, ktoré je možné v *Cannon.js* aplikovať priamo v konkrétnom bode daného objektu s určitou veľkosťou a smerom. Každý motor pôsobí dvoma silami na telo kvadroptéry: vztlakovou silou a silou točivého momentu. Ich veľkosti závisia od mnohých premenných, napríklad hustoty vzduchu, priemer a sklon lopatiek alebo vzdialenosťou motorov od ťažiska. Všetky tieto premenné sme zahrnuli do výpočtov tak, aby ich bolo možné podľa potreby nakonfigurovať. Rovnako tak aj hmotnosť a rozmery kvadroptéry je možné jednoducho nastaviť. Vďaka tomu umožňuje systém simulovať rôzne modely kvadroptér.

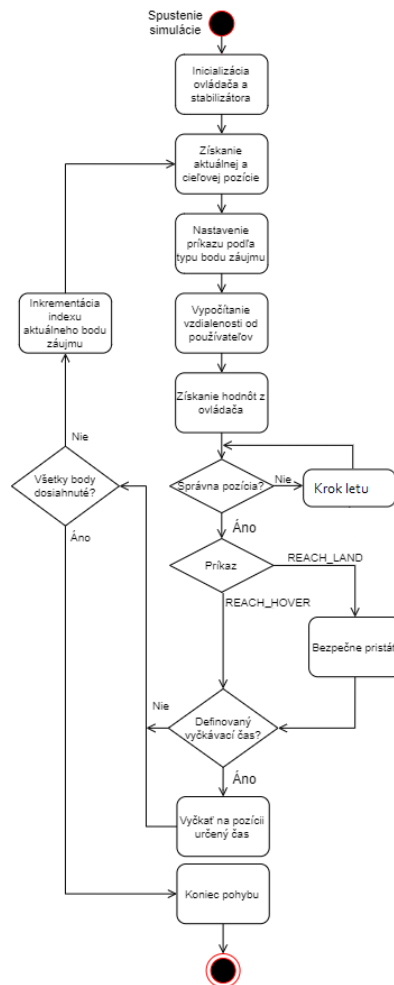
D. Modul stabilizácie kvadroptéry

Na tento účel sme implementovali modul využívajúci PID regulátory. Úlohou takéhoto regulátora je interpolácia medzi aktuálnou a požadovanou hodnotou. Pre stabilizáciu tak používame 6 rôznych regulátorov, každý z nich má na starosti jednu z osí, pričom pre každú os je jeden pre sledovanie pohybu a druhý pre sledovanie náklonu kvadroptéry. Modul dostane na vstupe aktuálnu a požadovanú polohu a na základe toho určí, aké otáčky je potrebné nastaviť jednotlivým motorom pre dosiahnutie tohto stavu.

E. Modul pre automatické riadenie

Úlohou tohto modulu je ovládať kvadroptéru autonómne tak, aby preletela všetkými bodmi záujmu a zároveň neohrozila žiadneho z používateľov vo svojom okolí. Z tohto hľadiska je zaručená bezpečnosť používateľov dvoma spôsobmi:

- 1) Kvadroptéra sa počas presúvania udržiava v bezpečnej letovej hladine, ktorú je možné ľubovoľne nakonfigurovať. Počas letu teda lieta v takej výške, kde nemôže dôjsť ku kolízii a ohrozeniu používateľov.



Obr. 3 Diagram aktivít zobrazujúci proces riadenia dronu pomocou ovládača navrhnutého pre kvadrokoptéru

- 2) Počas pristávania a štartu kvadrokoptéra sleduje minimálnu bezpečnú vzdialenosť, ktorú je možné taktiež nakonfigurovať. Ak sa niekto nachádza v tejto vzdialenosti od kvadrokoptéry počas pristávania, ovládač preruší pristávanie a vráti sa do bezpečnej letovej hladiny, kde vyčká na uvoľnenie priestoru. Ak počas štartu sa v okolí kvadrokoptéry nachádza používateľ, ovládač vyčká, kým sa priestor neuvoľní.

Činnosť ovládača a proces riadenia je znázornená v diagrame na Obr. 3. Implementovali sme ovládač tak, aby bolo možné simulovať rôzne prípady použitia dronov. Na tento účel sme implementovali príkazy, pomocou ktorých vie dron sledovať body záujmu, pristáť na konkrétnej pozícii, alebo vyčkáť vo vzduchu.

Pre tieto body sme vytvorili samostatný komponent, pomocou ktorého vieme jednoducho definovať v prostredí body záujmu pre dron. Ten si ich automaticky počas inicializácie získa a pridá do zoznamu. Vytvorili sme dva druhy bodov. *REACH* sú body, ktoré má dron iba dosiahnuť, *LAND* také, kde má aj pristáť. Každý z bodov taktiež obsahuje časový údaj definujúci, či a ako dlho má dron na danej pozícii vyčkáť.

F. Hlavný komponent Drone

Všetky spomínané moduly sú skombinované do jedného celku prostredníctvom hlavného komponentu *Drone*. Ten je potom možné pridať entite a urobiť tak z nej autonómne riadený dron. Hlavný komponent obstaráva inicializáciu modelu kvadrokoptéry, fyzikálneho modelu, stabilizátora a ovládača. Okrem toho poskytuje rozhranie pre konfiguráciu simulovaného modelu.

Ovládanie dronu zabezpečuje tento komponent v niekoľkých krokoch. Najprv sa získajú informácie o pozícii nasledujúceho bodu, ktorý má dron dosiahnuť a taktiež o vzdialenostiach a pozíciách všetkých pripojených používateľov vzhľadom na aktuálnu pozíciu dronu. Podľa týchto informácií určí modul pre autonómne riadenie stav a akciu, ktorú má dron vykonať. Na základe toho potom modul pre stabilizáciu vypočíta rýchlosti jednotlivých motorov. Tie sú potom použité hlavným komponentom vo fyzikálnom modeli. Tento cyklus sa opakuje neustále, kým je dron zapnutý.

G. Virtuálne prostredie a scenár použitia

Aby sme mohli overiť použiteľnosť nami navrhnutého a implementovaného systému, vytvorili sme konkrétny scenár, ako pre používateľa, tak aj dron. Rozhodli sme sa ich zasadiť do prostredia prebiehajúcej výstavby novej budovy. Virtuálne prostredie je scénou obsahujúcou množstvo objektov, ktoré sa bežne vyskytujú na stavenisku, ako napríklad stavebný materiál, nákladné vozidlá, statické žeriavy, či kontajnery, náradie a stroje. Všetky tieto objekty² sú nastavené tak, aby cez nich používateľ, ani dron nevedeli prechádzať.

V tomto prostredí sme rozmiestnili 6 bodov tak, aby sa dron presúval medzi rôznymi pozíciami a simuloval tak konkrétny prípad použitia - presun materiálu. Do prostredia sa následne pripojili používatelia, ktorých úlohou bolo nájsť a pozbierať 6 objektov. Tie boli rozmiestnené tak, aby sa počas zbierania používateľ dron stretol a "prekážal" mu v jeho činnosti.

IV. ZÁVER

Navrhnuté a implementované prostredie sme vytvorili na báze platformy *LIRKIS G-CVE*, vďaka čomu je možné sa do neho pripojiť využitím rôznych zariadení, nie len tých pre virtuálnu realitu. Taktiež systém podporuje pripojenie a teda aj testovanie prototypov viacerými používateľmi naraz, čo zvyšuje efektívnosť a umožňuje používateľom spolupracovať pri vývoji nového produktu. Systém bol vytvorený tak, aby boli jednotlivé moduly od seba nezávislé a bolo ich možné meniť v prípade, ak by sme chceli testovať rôzne riadiace systémy alebo fyzikálne simulácie. To všetko je implementované pomocou jedného komponentu, ktorý obstaráva všetku funkcionálnosť a je ho možné integrovať do rôznych prostredí. Taktiež sme docielili to, aby bolo možné jednoducho konfigurovať parametre simulácie a testovať tak riadenie konkrétnych reálnych kvadrokoptér.

Implementované prostredie sme vyskúšali aj s reálnymi používateľmi, ktorí sa v ňom pohybovali a zbierali objekty podľa scenára spomínaného vyššie. Použiteľnosť systému sme overili využitím metodológie hodnotenia použiteľnosti systému (SUS) a príslušného dotazníka. Do overenia použiteľnosti sa zapojilo 6 ľudí a celkové priemerné SUS skóre dosiahlo nadpriemernú hodnotu 81,25.

Do budúcnosti by bolo vhodné systém rozšíriť o simuláciu senzorov zariadení, pomocou ktorých reálne stroje získavajú dáta o svojom okolí. Taktiež by bolo možné implementovať detekciu prekážok vo virtuálnom prostredí a upraviť navigáciu dronu tak, aby sa im vyhýbal. Možným rozšírením a využitím systému je aj integrácia modulu pre strojové učenie, vďaka čomu by bolo možné trénovať autonómne riadenie pomocou umelej inteligencie, alebo aj kolaboráciu lietajúcich dronov za účelom dosiahnutia spoločného cieľa.

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] J. Plaza. What is the value of the european drone market? [cit. 07.01.2021]. [Online]. Available: <https://www.commercialuavnews.com/europe/value-european-drone-market>
- [2] M. Ivan, Š. Korečko, M. Hudák, and B. Sobota, "Rozšírenie možností komunikácie a správy klientov zdieľaného virtuálne-reálneho prostredia *lirkis g-cve*," in *Electrical Engineering and Informatics XI*. Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, 2020, pp. 462–467.
- [3] M. Hudák, Š. Korečko, and B. Sobota, "Lirkis global collaborative virtual environments: Current state and utilization perspective," *Open Computer Science*, vol. 11, no. 1, pp. 99–106, 2021.
- [4] Š. Korečko, M. Hudák, B. Sobota, M. Sivý, M. Pleva, and W. Steingartner, "Experimental performance evaluation of enhanced user interaction components for web-based collaborative extended reality," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 9, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/9/3811>
- [5] S. Sharma, S. Bodempudi, M. Arrolla, and A. Upadhyay, "Collaborative virtual assembly environment for product design," in *2019 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 2019, pp. 606–611.
- [6] V. T. Nguyen, K. Jung, and T. Dang, "Dronevr: A web virtual reality simulator for drone operator," in *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 2019, pp. 257–2575.
- [7] S. Shah, D. Dey, C. Lovett, and A. Kapoor, "Airsim: High-fidelity visual and physical simulation for autonomous vehicles," in *Field and Service Robotics*, 2017. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1705.05065>
- [8] Y. Song, S. Naji, E. Kaufmann, A. Loquercio, and D. Scaramuzza, "Flightmare: A flexible quadrotor simulator," 2020.

²Použitie 3D modely pochádzajú z <https://majadroid.itch.io/3d-house-construction-site>.

Electrical Engineering and Informatics XII

Proceedings of the
Faculty of Electrical Engineering and Informatics
of the Technical University of Košice

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics
Technical University of Košice
Edition I, 471 pages
Number of CD Proceedings: 50 pieces

Editors: prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.
Ing. Emília Pietriková, PhD.

ISBN 978-80-553-3940-5