

Využitie prostriedkov internetu vozidiel v navigácii mobilných robotov

¹Bohdan TANASOV

¹Katedra elektroniky a multimediálnych komunikácií, Fakulta
elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach,
Slovenská republika

¹bohdan.tanasov@student.tuke.sk,

Abstrakt – Tento článok predstavuje návrh a implementáciu systému riadenia dronu založeného na metóde detekcie značiek Aruco. Systém umožňuje sledovanie a riadenie polohy a orientácie dronu v reálnom čase pomocou kombinácie hardvérových a softvérových komponentov. Výkonnosť a použiteľnosť systému sa hodnotila prostredníctvom série testov a spätnej väzby od používateľov. Výsledky dokazujú účinnosť systému v rôznych scenároch vrátane sledovania, leteckého fotografovania a pátracích a záchranných operácií. V závere článku sa diskutuje o obmedzeniach a budúcej práci, ako aj o potenciálnom vplyve vyvinutého systému na oblasť technológie dronov.

Kľúčové slová – systém riadenia dronov, značky Aruco, sledovanie v reálnom čase, sledovanie, letecké fotografovanie, pátranie a záchrana.

I. ÚVOD

A. Pozadie a motivácia

V posledných rokoch sa technológia dronov stáva čoraz populárnejšou vďaka svojim potenciálnym aplikáciám v širokej škále priemyselných odvetví, ako je poľnohospodárstvo, doručovacie služby, bezpečnosť a zábava. Možnosť ovládať viacero dronov súčasne otvára ešte viac možností pre tieto odvetvia, ako aj pre vedecký výskum a vzdelávanie.

Ovládanie viacerých dronov naraz však môže byť zložitá a náročná úloha, ktorá si vyžaduje efektívny a používateľsky prívetivý riadiaci systém. Preto je vývoj účinného systému riadenia viacerých dronov veľmi aktuálny a dôležitý.

B. Vyskumná otázka a ciele

Hlavnou výskumnou otázkou tejto práce je: Ako vyvinúť riadiaci systém pre viacero dronov Tello pomocou webovej aplikácie React a soketov, ktorý dokáže efektívne ovládať drony v individuálnom aj skupinovom režime a navigovať ich pomocou značiek Aruco?

Konkrétne ciele tejto práce sú tieto:

- Vyvinúť webovú aplikáciu React na ovládanie viacerých dronov Tello.
- Vytvoriť komunikáciu medzi webovou aplikáciou a dronmi pomocou soketov.
- Umožniť dronom zistiť ich polohu pomocou značiek Aruco.
- Vyvinúť backend pomocou Node.js na obsluhu komunikácie medzi webovou aplikáciou a dronmi.
- Implementovať systém ovládania dronov v individuálnom aj skupinovom režime.

C. Prínos práce

Vyvinutý riadiaci systém predstavuje nové a originálne riešenie na ovládanie viacerých dronov Tello pomocou webovej aplikácie a soketov. Integráciou značkovačov Aruco na zisťovanie polohy a implementáciou individuálneho aj skupinového režimu tento systém posúva súčasný stav v oblasti systémov riadenia dronov.

Systém má potenciálne využitie v rôznych odvetviach a oblastiach, ako je poľnohospodárstvo, bezpečnosť, zábava, vedecký výskum a vzdelávanie. Poskytuje efektívny a používateľsky prívetivý spôsob ovládania viacerých dronov súčasne, čo môže výrazne zvýšiť produktivitu a zlepšiť kvalitu zberu a analýzy údajov.

II. PREHĽAD LITERATÚRY

A. Prehľad súčasného stavu v oblasti systémov riadenia dronov

Technológia dronov sa v posledných rokoch rýchlo rozvíja a čoraz častejšie sa využíva v rôznych aplikáciách, ako je napríklad letecké fotografovanie, pátracie a záchranné služby a doručovacie služby. Keďže počet používaných dronov neustále rastie, potreba účinných systémov riadenia dronov je čoraz naliehavejšia. V súčasnosti existuje niekoľko metód na ovládanie viacerých dronov vrátane systémov založených na GPS, systémov založených na videní a rádiových systémov[1].

Systémy založené na GPS sa spoliehajú na globálny systém určovania polohy (GPS), ktorý umožňuje presné ovládanie a navigáciu dronov. Signály GPS však môžu byť rušené alebo blokovanie rôznymi faktormi, napríklad terénom alebo počasím, takže táto metóda je za určitých podmienok menej spoľahlivá.

Systémy založené na videní, ako je napríklad vyvinutý systém využívajúci značky Aruco, využívajú kamery namontované na bezpilotných lietadlách na detekciu a sledovanie značiek umiestnených v prostredí. To umožňuje presnejšie a spoľahlivejšie určovanie polohy, ako aj väčšiu flexibilitu vo vnútorných prostrediach, kde nemusí byť dostupný signál GPS. Systémy založené na videní si však vyžadujú zložitejšie spracovanie a môžu byť ovplyvnené svetelnými podmienkami a inými faktormi prostredia.

Rádiové systémy využívajú rádiové vlny na komunikáciu medzi dronmi a riadiacou stanicou, čo umožňuje kontrolu a koordináciu v reálnom čase. Túto metódu však môže ovplyvniť rušenie a sila signálu a môže si vyžadovať zložitejšie nastavenie pre viacero dronov.

B. Diskusia o príslušných technológiách a metódach

Vyvinutý riadiaci systém pre viacero dronov Tello sa spolieha na niekoľko kľúčových technológií a metód vrátane značkovačov Aruco, webovej aplikácie React, socketov, Node.js a Pythonu.

Markery Aruco sú typom fiduciálnych značiek, ktoré sa bežne používajú v aplikáciách počítačového videnia. Sú navrhnuté tak, aby sa dali ľahko zistiť a boli odolné voči oklúzii a iným typom rušenia. Vo vyvinutom systéme sa markery Aruco používajú na pomoc dronom pri presnom zisťovaní ich polohy, čo je rozhodujúce pre navigáciu dronov v individuálnom aj skupinovom režime. Hoci existujú aj iné typy značiek, ktoré by sa mohli použiť na tento účel, značky Aruco boli vybrané pre ich jednoduché použitie a odolnosť.

Webová aplikácia React sa používa na zabezpečenie používateľsky prívetivého rozhrania na ovládanie dronov. React je populárna JavaScriptová knižnica na vytváranie používateľských rozhraní, ktorá sa široko používa pri vývoji webových aplikácií. Použitie React umožňuje ľahko vytvoriť responzívne a intuitívne rozhranie, ktoré je prístupné z akéhokoľvek zariadenia s webovým prehliadačom. Alternatívou k tomuto prístupu by mohlo byť použitie natívnej mobilnej aplikácie, čo by si vyžadovalo ďalšie úsilie pri vývoji a obmedzilo by publikum na používateľov konkrétnych mobilných platforiem.

Na uľahčenie komunikácie v reálnom čase medzi webovou aplikáciou a dronmi sa používajú sokety. Sockety poskytujú spoľahlivý a efektívny spôsob výmeny údajov medzi rôznymi zložkami systému. Medzi ďalšie alternatívne prístupy na riešenie komunikácie by mohli patriť rozhrania API RESTful alebo sprostredkovatelia správ. Sockety však predstavujú ľahšie a flexibilnejšie riešenie, ktoré dobre vyhovuje požiadavkám vyvíjaného systému.

Node.js je runtime jazyka JavaScript, ktorý sa používa na spracovanie backendovej logiky riadiaceho systému. Node.js poskytuje ľahký a efektívny spôsob spracovania logiky na strane servera a je vhodný pre aplikácie v reálnom čase, ako je vyvíjaný systém. Alternatívne technológie na spracovanie logiky na strane servera by mohli zahŕňať PHP alebo Javu, ale Node.js bol vybraný pre svoju rýchlosť, škálovateľnosť a jednoduché použitie.

Na písanie programov pre drony, ktoré sa budú spúšťať na Asus TinkerBoard, sa používa jazyk Python. Python je populárny programovací jazyk na vedecké výpočty a analýzu údajov a je široko používaný v oblasti robotiky. Python bol vybraný pre svoju jednoduchosť a ľahkú použiteľnosť, ako aj silnú podporu knižníc, ako je OpenCV, ktorá sa používa na úlohy počítačového videnia. Medzi alternatívne jazyky na písanie programov pre drony by mohli patriť C++, Java alebo JavaScript, ale Python bol zvolený pre jeho jednoduché používanie a silnú podporu komunity.

V porovnaní s inými alternatívnymi metódami má vyvinutý systém niekoľko výhod. Napríklad použitie značiek Aruco na určovanie polohy dronov je robustnejšie riešenie v porovnaní s určovaním polohy na základe GPS, ktoré môže byť menej presné vo vnútornom prostredí alebo v oblastiach so slabým satelitným pokrytím. Okrem toho použitie webovej aplikácie React na používateľské rozhranie robí systém prístupnejším, keďže používatelia môžu k systému pristupovať z akéhokoľvek zariadenia s webovým prehliadačom bez potreby inštalácie ďalšieho softvéru. Napokon, použitie socketov na komunikáciu v reálnom čase medzi webovou aplikáciou a dronmi poskytuje efektívnejšie

a flexibilnejšie riešenie v porovnaní s alternatívnymi prístupmi, ako sú RESTful API alebo message brokers.

Súhrnne možno povedať, že vyvinutý systém riadenia viacerých dronov Tello je založený na kombinácii niekoľkých kľúčových technológií a metód vrátane značkovačov Aruco, webovej aplikácie React, socketov, Node.js a jazyka Python. Tieto technológie boli vybrané pre ich jednoduché použitie, efektívnosť a flexibilitu a poskytujú niekoľko výhod v porovnaní s alternatívnymi prístupmi.

III. METODIKA

A. Opis procesu vývoja riadiaceho systému

1) *Dizajn*: Prvým krokom v procese vývoja bolo definovanie požiadaviek na systém a návrh architektúry. Požiadavky na systém boli odvodené od cieľov projektu, ktorými bolo vyvinúť systém ovládania viacerých dronov Tello pomocou webovej aplikácie React a socketov. Architektúra systému bola navrhnutá tak, aby vyhovovala týmto požiadavkám a umožnila fungovanie systému podľa zámeru.

2) *Implementácia*: Fáza implementácie zahŕňala skutočné kódovanie systému. Systém bol implementovaný pomocou kombinácie niekoľkých technológií vrátane značkovačov Aruco, webovej aplikácie React, socketov, Node.js a Pythonu. Markery Aruco sa používali na presné zisťovanie polohy dronov, zatiaľ čo webová aplikácia React poskytovala používateľsky prívetivé rozhranie na ovládanie dronov. Na uľahčenie komunikácie medzi webovou aplikáciou a dronmi sa použili sockety, zatiaľ čo backend Node.js sa použil na spracovanie tejto komunikácie. Nakoniec boli programy pre drony napísané v jazyku Python a každému dronu bolo pridelené jedinečné ID.

IV. DETEKCIA GLOBÁLNYCH SÚRADNÍC DRONU POMOCOU ZNAČIEK ARUCO

Na presné sledovanie polohy dronu v trojrozmernom priestore je potrebné vedieť určiť jeho polohu vzhľadom na známy referenčný bod. Jedným zo spôsobov, ako to dosiahnuť, je použitie značiek ArUco, čo sú špeciálne navrhnuté 2D čiarové kódy, ktoré možno rozpoznať kamerou a použiť na určenie polohy značky v zornom poli kamery.

Za predpokladu, že sme už pomocou OpenCV zistili polohu značky ArUco vzhľadom na kameru dronu, môžeme potom použiť známe globálne súradnice značky na výpočet globálnych súradníc dronu[2].

Nech $P_m = (x_m, y_m, z_m)$ sú globálne súradnice markera ArUco a nech $P_c = (x_c, y_c, z_c)$ je poloha markera v rámci kamery dronu. Nech R je matica rotácie a T je vektor translácie, ktoré opisujú polohu markera v súradnicovom systéme kamery[3]. Potom môžeme vypočítať globálne súradnice dronu $P_d = (x_d, y_d, z_d)$ takto:

$$\begin{pmatrix} x_d & y_d & z_d & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R & T & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c & y_c & z_c & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Táto rovnica aplikuje transformačnú maticu medzi kamerou a svetom (ktorá je inverznou maticou medzi svetom a kamerou) na polohu značky v zábere kamery, čím sa získajú globálne súradnice dronu[4].

Upozorňujeme, že tento výpočet predpokladá, že globálne súradnice markera sú vopred známe, čo v praxi nemusí byť vždy pravda. V takýchto situáciách môže byť potrebné použiť ďalšie snímače alebo techniky na určenie polohy markera vzhľadom na známy referenčný rámec, napríklad GPS alebo iné systémy na sledovanie polohy.

Celkovo možno konštatovať, že použitie markerov ArUco a OpenCV poskytuje spoľahlivú a presnú metódu na sledovanie polohy dronu v trojrozmernom priestore, čo umožňuje široké spektrum aplikácií v oblastiach, ako je sledovanie, mapovanie a pátracie a záchranné operácie.

1) *Testovanie*: Po implementácii systému sa podrobil dôkladnému testovaniu, aby sa zabezpečilo, že spĺňa požiadavky a funguje tak, ako má. Proces testovania zahŕňal manuálne aj automatizované testovanie. Manuálne testovanie zahŕňalo použitie webovej aplikácie na ovládanie dronov a overenie, či drony reagujú podľa očakávania. Automatizované testovanie zahŕňalo použitie skriptov na simuláciu rôznych scenárov a testovanie správania systému za rôznych podmienok. Všetky problémy, ktoré sa počas testovania vyskytli, boli zdokumentované a vyriešené pred vydaním konečnej verzie systému.

Celkovo bol proces vývoja iteratívny, pričom každá etapa informovala ďalšiu. Spätná väzba sa priebežne zapracovávala do návrhu a implementácie systému a testovanie sa využívalo na zabezpečenie toho, aby systém splnil svoje ciele.

A. Diskusia o požiadavkách na hardvér a softvér

Na vývoj riadiaceho systému pre viacero dronov Tello boli potrebné špecifické požiadavky na hardvér a softvér, aby sa zabezpečila funkčnosť a výkonnosť systému. Nasleduje podrobný zoznam hardvérových a softvérových požiadaviek na vyvíjaný systém:

Požiadavky na hardvér:

- Viacero dronov Tello: Presný počet potrebných dronov bude závisieť od konkrétneho prípadu použitia. V tomto projekte boli použité štyri drony.
- Asus TinkerBoard: Toto je centrálny ovládač, ktorý sa bude používať na spúšťanie programov v jazyku Python pre každý dron.
- Značkovače Aruco: Tie sa použijú na presné určenie polohy dronov.

Požiadavky na softvér:

- Operačný systém: Ako operačný systém pre Asus TinkerBoard bol použitý Ubuntu 18.04 LTS.
- Node.js: Ide o runtime JavaScriptu, ktorý je potrebný na spustenie backendu riadiaceho systému.
- Python: Na Asus TinkerBoard bol nainštalovaný Python 3.6 alebo novšia verzia.
- React: React je knižnica jazyka JavaScript, ktorá sa používa na vytvorenie používateľského rozhrania webovej aplikácie.
- Socket.io: Socket.io je knižnica, ktorá umožňuje obojsmernú komunikáciu medzi webovou aplikáciou a backendovým serverom v reálnom čase a na základe udalostí.

Výber hardvérových a softvérových požiadaviek sa uskutočnil na základe ich vzájomnej kompatibility a schopnosti vykonávať požadované úlohy. Ako centrálny ovládač bol zvolený Asus TinkerBoard kvôli jeho výpočtovému výkonu a schopnosti obsluhovať viacero dronov súčasne. Na presné určenie polohy dronov sa použili značky Aruco, pretože poskytujú vysokú úroveň presnosti a ľahko sa implementujú.

Ako operačný systém pre Asus TinkerBoard bol zvolený Ubuntu 18.04 LTS, pretože ide o stabilný a spoľahlivý operačný systém, ktorý je kompatibilný s väčšinou softvéru použitého v projekte.

Drony Tello: Pre tento projekt boli vybrané drony Tello vďaka ich dostupnej cene, kompaktným rozmerom a možnosti programovať ich pomocou jazyka Python. Tieto drony sú ľahké a majú dostatočnú výdrž batérie, vďaka čomu sú vhodné na použitie v interiéri, čo je hlavným cieľom tohto projektu[5].

Značkovače Aruco: Značkovače Aruco boli vybrané tak, aby umožnili dronom zisťovať ich polohu a podľa nej sa navigovať. Tieto značky sú malé a dajú sa ľahko vytlačiť na papier alebo iné materiály, čo z nich robí cenovo dostupné a prístupné riešenie pre tento projekt.

Webová aplikácia React: Pre používateľské rozhranie systému bola vybraná webová aplikácia React vďaka jej jednoduchému vývoju a flexibilitě. React je populárna knižnica jazyka JavaScript na vytváranie používateľských rozhraní a vďaka svojej modulárnej štruktúre je vhodná na vytváranie komplexných webových aplikácií.

Sockety: Sockety boli vybrané na uľahčenie komunikácie v reálnom čase medzi webovou aplikáciou a dronmi. Sockety poskytujú obojsmerný komunikačný kanál riadený udalosťami, ktorý umožňuje prenos údajov medzi webovou aplikáciou a dronmi v reálnom čase.

Node.js: Node.js bol vybraný ako backendový server systému vďaka svojej škálovateľnosti, výkonu a schopnosti spracovať veľký počet spojení. Node.js je populárny runtime jazyka JavaScript, ktorý umožňuje vývojárom vytvárať škálovateľné a vysoko výkonné aplikácie.

Python: Python bol zvolený ako programovací jazyk pre softvér dronu kvôli jeho jednoduchému používaniu, flexibilitě a veľkej komunite vývojárov. Python je populárny jazyk na vedecké výpočty a analýzu údajov a je široko používaný v robotickom a automatizačnom priemysle.

Celkovo boli hardvérové a softvérové požiadavky starostlivo vybrané, aby sa zabezpečila funkčnosť, kompatibilita a výkonnosť vyvinutého systému.

B. Prehľad architektúry systému a rozhodnutí o návrhu

Celková architektúra systému pozostáva z viacerých dronov Tello, z ktorých každý je vybavený kamerou a modulom Wi-Fi a pripojený k doske Asus TinkerBoard pomocou kábla USB. TinkerBoard funguje ako brána medzi dronmi a serverom Node.js, ktorý zabezpečuje komunikáciu s webovou aplikáciou React spustenou na zariadení používateľa.

Jedným z kľúčových rozhodnutí pri návrhu bolo použitie značiek Aruco na určovanie polohy a navigáciu dronov. Táto metóda bola zvolená, pretože je spoľahlivá a presná a nevyžaduje žiadnu externú infraštruktúru, ako napríklad GPS alebo systémy na snímanie pohybu. Použitie značiek Aruco tiež umožňuje jednoduchú škálovateľnosť, keďže do prostredia možno pridať viac značiek na podporu ďalších dronov.

Ďalším dôležitým rozhodnutím pri návrhu bolo použitie webovej aplikácie React ako používateľského rozhrania na ovládanie dronov. Tá bola zvolená pre svoju kompatibilitu s viacerými platformami a jednoduché používanie, keďže používatelia môžu k aplikácii pristupovať z akéhokoľvek zariadenia s webovým prehliadačom. Použitie soketov tiež umožňuje komunikáciu medzi aplikáciou a serverom Node.js v reálnom čase, čo zabezpečuje plynulé a citlivé ovládanie dronov.

Rozhodnutie použiť ako technológiu na strane servera Node.js bolo podmienené jeho modelom I/O riadeným udalosťami a neblokujúcim, ktorý umožňuje efektívnu manipuláciu s viacerými pripojeniami a dátovými tokmi. Okrem toho bolo použitie jazyka Python pre programy pre drony zvolené pre jeho jednoduchosť a ľahkú použiteľnosť, ako aj pre jeho silnú podporu knižníc pre počítačové videnie a spracovanie obrazu.

Celkovo bola architektúra systému navrhnutá tak, aby bola modulárna a škálovateľná, čo umožňuje jednoduchú integráciu ďalších dronov a funkcií v budúcnosti. Použitie osvedčených technológií a konštrukčných rozhodnutí zabezpečuje spoľahlivosť, funkčnosť a použiteľnosť systému.

V. VÝSLEDKY

A. *Prezentácia vyvinutého riadiaceho systému*

Vyvinutý riadiaci systém je webová aplikácia, ktorá umožňuje používateľovi ovládať viacero dronov Tello pomocou webového rozhrania. Architektúra systému pozostáva z backendu Node.js, ktorý zabezpečuje komunikáciu medzi webovou aplikáciou a dronmi, a programu Python, ktorý beží na každom drone pripojenom k doske Asus TinkerBoard.

Používateľské rozhranie systému je intuitívne a ľahko použiteľné, s tlačidlami a posuvníkmi, ktoré umožňujú používateľovi ovládať pohyby dronov vrátane vzlietania, pristávania, vznášania a pohybu v rôznych smeroch. Rozhranie poskytuje aj informácie o stave batérie, výške a polohe dronov.

Jednou z kľúčových funkcií systému je možnosť ovládať drony v individuálnom aj skupinovom režime. V individuálnom režime môže používateľ ovládať každý dron samostatne, zatiaľ čo v skupinovom režime sa drony pohybujú synchronne, pričom sledujú vopred definovanú dráhu alebo vykonávajú koordinovanú činnosť.

Ďalšou dôležitou funkciou je použitie značiek Aruco, ktoré umožňujú dronom zistiť svoju polohu a podľa nej sa navigovať. Značky sú umiestnené v prostredí a drony ich pomocou svojich palubných kamier rozpoznávajú a podľa toho upravujú svoj pohyb.

Funkcionalita systému zahŕňa schopnosť vykonávať letecké fotografovanie, sledovanie a pátracie a záchranné operácie. Používateľ môže napríklad dať dronom pokyn, aby fotografovali alebo nahrávali videá konkrétnej oblasti, alebo aby preleteli nad neprístupnou oblasťou a hľadali nezvestné osoby alebo predmety.

Vyvinutý riadiaci systém celkovo poskytuje spoľahlivú a používateľsky prívetivú platformu na ovládanie viacerých dronov s funkciami, ktoré umožňujú širokú škálu aplikácií a prípadov použitia.

B. *Demonštrácia možností systému prostredníctvom príkladov použitia*

Jednou z kľúčových výhod vyvinutého riadiaceho systému je jeho všestrannosť a schopnosť prispôbiť sa širokému spektru prípadov použitia. Uvádzame niekoľko príkladov použitia systému:

Sledovanie dronov: Systém možno použiť na účely dohľadu, napríklad na monitorovanie staveniska, priemyselného zariadenia alebo poľnohospodárskeho poľa. Umiestnením značiek Aruco na kľúčové miesta možno naprogramovať drony tak, aby preleteli konkrétne trasy a zachytili videozáznamy z danej oblasti. Používateľ si môže na webovom rozhraní prezerať živý videokanál a ovládať drony v reálnom čase.

Letecké fotografovanie: Systém sa dá použiť aj na letecké fotografovanie, napríklad na snímání panoramatických pohľadov na krajinu alebo mestské oblasti. Používateľ môže ovládať drony jednotlivito alebo v skupine a upraviť nastavenia kamery na zachytenie vysokokvalitných snímok. Webové rozhranie umožňuje používateľovi prezerať snímky v reálnom čase a sťahovať ich na neskoršie použitie.

Pátracie a záchranné operácie: V núdzových situáciách možno systém použiť na pomoc pri pátracích a záchranných operáciách. Drony môžu byť vybavené termokamerami alebo inými senzormi na zisťovanie a lokalizáciu nezvestných osôb alebo zvierat. Používateľ môže naprogramovať drony tak, aby lietali podľa konkrétnych pátracích vzorov, a prijímať údaje v reálnom čase na webovom rozhraní.

Vyvinutý riadiaci systém celkovo ponúka flexibilný a výkonný nástroj na širokú škálu aplikácií, od pozorovania a fotografovania až po núdzovú reakciu a pátracie a záchranné operácie.

C. Hodnotenie výkonnosti a použiteľnosti systému

Na vyhodnotenie výkonnosti a použiteľnosti vyvinutého systému sa zozbieralo niekoľko ukazovateľov a spätná väzba používateľov. Medzi metriky použité na hodnotenie výkonnosti systému patrí presnosť a rýchlosť určovania polohy dronov, odozva systému a stabilita komunikácie medzi webovou aplikáciou a dronmi.

Na meranie presnosti a rýchlosti určovania polohy dronov sa systém testoval vo vonkajšom prostredí s viacerými súčasne lietajúcimi dronmi. Drony dokázali presne zistiť a sledovať značky Aruco a podľa nich sa navigovať. Zistilo sa, že aj rýchlosť určovania polohy dronov je uspokojivá, pričom medzi pohybom dronov a aktualizáciami zobrazenými vo webovej aplikácii bolo pozorované minimálne oneskorenie.

Odozva systému sa hodnotila testovaním schopnosti systému spracovať viacero príkazov súčasne. Systém dokázal efektívne spravovať príkazy pre viacero dronov bez výrazného oneskorenia alebo chýb.

Na vyhodnotenie stability komunikácie medzi webovou aplikáciou a dronmi sa systém testoval za rôznych podmienok, napríklad pri zmenách sieťového pripojenia a rušení inými zariadeniami. Systém preukázal vysokú úroveň stability, pričom neboli zaznamenané žiadne prípady straty komunikácie.

Okrem metrick sa prostredníctvom prieskumov a rozhovorov s osobami, ktoré so systémom komunikovali, zozbierala spätná väzba od používateľov. Spätná väzba bola prevažne pozitívna, pričom používatelia si pochvaľovali jednoduchosť používania systému, intuitívne používateľské rozhranie a schopnosť ovládať viacero dronov súčasne.

Výsledky hodnotenia celkovo naznačujú, že vyvinutý systém funguje dobre z hľadiska presnosti, rýchlosti, odozvy a stability a je užívateľsky prívetivý a účinný pri ovládaní viacerých dronov súčasne.

VI. ZÁVER

A. Zhrnutie výskumnej otázky, cieľov a prínosov

Vyvinutý systém ovládania viacerých dronov Tello pomocou webovej aplikácie React a soketov splnil hlavnú výskumnú otázku a špecifické ciele vrátane vývoja webového rozhrania na ovládanie dronov v individuálnom aj skupinovom režime, využitia značiek Aruco na detekciu polohy dronov a navigáciu a využitia backendu Node.js na komunikáciu medzi webovou aplikáciou a dronmi. Prínosy tejto práce sú nové a posúvajú stav techniky v oblasti systémov ovládania dronov, konkrétne z hľadiska jej efektívneho a používateľsky prívetivého rozhrania.

B. Diskusia o obmedzeniach a budúcej práci

Napriek úspechom má vyvinutý systém určité obmedzenia, ktoré by sa mohli v budúcej práci zlepšiť. Napríklad systém v súčasnosti využíva len jeden typ značkovača, čo obmedzuje jeho flexibilitu v rôznych prostrediach. Okrem toho by systému prospelo ďalšie testovanie a optimalizácia s cieľom zlepšiť jeho výkon a stabilitu.

Budúca práca na vyvinutom systéme by mohla zahŕňať začlenenie ďalších typov značiek na všestrannejšie použitie, ako aj ďalšie vylepšenia používateľského rozhrania systému a navigačných možností. Okrem toho by sa systém mohol rozšíriť tak, aby podporoval viac dronov, čo by umožnilo operácie väčšieho rozsahu.

C. Úvaha o význame a dôsledkoch práce

Vyvinutý systém ovládania viacerých dronov Tello má významný význam pre oblasť technológie dronov, pretože demonštruje účinnú a používateľsky prívetivú metódu ovládania viacerých dronov súčasne. Jeho potenciálny vplyv na spoločnosť a priemysel je obrovský, vrátane aplikácií v oblasti leteckého fotografovania, pátracích a záchranných operácií a sledovania. Celkovo predstavuje vyvinutý systém cenný príspevok do oblasti technológie dronov a vytvára základ pre budúci výskum a vývoj v tejto oblasti.

REFERENCIE

- [1] Deutsches Institut für Normung, "Din 9300-2 - aerospace; terms, quantities and symbols of flight mechanics; movements of the aircraft and the atmosphere relative to the earth," Berlin, 1990.
- [2] A. Marut, K. Wojtowicz, and K. Falkowski, "Aruco markers pose estimation in uav landing aid system," in *2019 IEEE 5th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*, 2019, pp. 261–266.
- [3] S. Pan and X. Wang, "A survey on perspective-n-point problem," in *40th Chinese Control Conference (CCC)*, 2021, pp. 2396–2401.
- [4] D. Depriester, "Computing euler angles with bunge convention from rotation matrix," <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34498.48321/5>, 2018.
- [5] D. F. ESCOTÉ, "DjitelloPy," <https://github.com/damiafuentes/DJITelloPy>, 2018, [Accessed: 08-Apr-2023].