The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025

UNMANNED AERIAL VEHICLE AUTONOMOUS NAVIGATION AND CONTROL SYSTEMS IN CHALLENGING ENVIRONMENTS

N VINODHA[1]*, M SNEHA[2]
[1] Assistant Professor, Department of ECE, Indur Institute Of Engineering &Technology, JNTU , Telangana, p.vinoda16@gmail.com

[2] Assistant Professor, Department of ECE, Sree Chaithanya College of Engineering, JNTU, Telangana, snehamadhamshetti91@gmail.com

సవాలుతో కూడిన వాతావరణాలలో మనుషులు లేని వైమానిక వాహనం స్వయంప్రతిపత్తి నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థలు

ఎన్ వినోద [1] *, ఎం స్నేహ [2]
[1] అసిస్టెంట్ ప్రొఫెసర్, ECE విభాగం, ఇందూర్ ఇన్స్టిట్యూట్ ఆఫ్ ఇంజనీరింగ్ & టెక్నాలజీ, JNTU, తెలంగాణ, p.vinoda16@gmail.com

[2] అసిస్టెంట్ ప్రొఫెసర్, ECE విభాగం, శ్రీ చైతన్య కాలేజ్ ఆఫ్ ఇంజనీరింగ్, JNTU, తెలంగాణ, snehamadhamshetti91@gmail.com

వియుక్త

మెరుగైన వైమానిక నిఘా మరియు డేటా సేకరణ కోసం UAV లు సైనిక, పర్యావరణ మరియు వ్యవసాయ పరిశ్రమలలో విస్తృతంగా ఉపయోగించబడుతున్నాయి. ఈ పత్రం UAV ఆపరేషన్‌కు సంబంధించిన కీలక సవాళ్లను పరిష్కరిస్తుంది, వాటిలో అడ్డంకులను గుర్తించడం, ఉత్తమ మార్గాన్ని నిర్ణయించడం మరియు వ్యవస్థ స్థిరత్వాన్ని నిర్ధారించడం వంటివి ఉన్నాయి. అనిశ్చిత సంఘటనలకు ప్రతిస్పందనను మెరుగుపరచడానికి మేము ప్రస్తుత స్వయంప్రతిపత్తి నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థలను మూల్యాంకనం చేసాము. మా విధానంలో వినూత్న అడ్డంకి నివారణ అల్గోరిథంలు, మార్గ ప్రణాళిక పద్ధతులు మరియు రియల్-టైమ్ ఆపరేటింగ్ సిస్టమ్‌లు, పైథాన్ మరియు C++ ఉపయోగించి అభివృద్ధి చేయబడిన నియంత్రణ నిర్మాణాలు ఉన్నాయి. నియంత్రిత మరియు సంక్లిష్టమైన దృశ్యాలలో సూచించబడిన విధానం యొక్క ఫలితాలు 200 మీటర్ల టెస్ట్ ట్రాక్‌పై 0.0 సగటు లోపంతో మరియు రద్దీగా ఉండే ప్రాంతాలలో 10 మీటర్ల ఎత్తులో పనిచేస్తే నావిగేషన్ ఖచ్చితత్వాన్ని మెరుగుపరచవచ్చని చూపిస్తున్నాయి. ప్రస్తుతం సూచించబడిన వ్యవస్థ ఇతర స్థాపించబడిన పద్ధతులతో పోలిస్తే దాని పద్ధతిలో మరింత ఖచ్చితమైనది మరియు వేగవంతమైనది. ఈ పురోగతులు పర్యావరణ పరిరక్షణ, పర్యవేక్షణ మరియు నిఘా మరియు శోధన మరియు రక్షణ వంటి అనేక డొమైన్‌లలో UAV ల సామర్థ్యాలను విస్తరిస్తాయని మేము నమ్ముతున్నాము. వారు అల్గోరిథంల గణన సవాలును పెంచడంతో పాటు UAV లలో ఆచరణాత్మక ఉపయోగం, సెన్సార్ ఇంటిగ్రేషన్ వంటి భవిష్యత్తు పరిశోధన అంశాలను కూడా నిర్దేశిస్తారు. ఈ అధ్యయనం పర్యావరణంలో

CC BY

UAV లను నిర్వహించడానికి మరియు నియంత్రించడానికి పద్ధతులను అందిస్తుంది, ఇది ఈ రంగానికి సంబంధించినదిగా చేస్తుంది.

కీలకపదాలు: సెన్సార్ ఫ్యూజన్, అటానమస్ నావిగేషన్, రియల్ టైమ్ కంట్రోల్, డైనమిక్ ఎన్విరాన్మెంట్స్, అన్‌మ్యాన్డ్ ఏరియల్ వెహికల్స్ (UAVS), కచ్చితమైన నావిగేషన్ మరియు అల్గోరిథం ఆప్టిమైజేషన్

పరిచయం

యుఎవిలు ఎగురుతూ, సైనిక, వ్యవసాయం మరియు పర్యావరణ అధ్యయనాలు వంటి నిర్దిష్ట ప్రాంతాన్ని కవర్ చేయగల సామర్థ్యం ఉన్నందున వాటిని వివిధ రంగాలలో ఉపయోగిస్తున్నారు. స్వయంప్రతిపత్తి స్వీయ-నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణను పెంచుతుంది, యుఎవిలు కనీస జోక్యంతో విభిన్న భూభాగాలను చర్చించడానికి వీలు కల్పిస్తుంది. గత దశాబ్దంలో, యుఎవి నావిగేషన్ సంక్లిష్ట గణిత నమూనాలు మరియు భూభాగం మరియు అవరోధ సమస్యలను నిర్వహించే ఇంటిగ్రేటెడ్ సెన్సార్లతో మెరుగుపడింది [2]. సాంప్రదాయ పద్ధతుల ద్వారా చేయడం సవాలుగా ఉన్న అటువంటి వాతావరణాలలో ఉత్తమంగా పనిచేయగల వ్యవస్థలను మెరుగుపరచడం ఈ పరిశోధన లక్ష్యం [3]. అయినప్పటికీ, సంక్లిష్ట వాతావరణాలలో UAV అటానమస్ నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థలపై అనేక ముఖ్యమైన సమస్యలు సందేహాన్ని రేకెత్తిస్తూనే ఉన్నాయి: మరోవైపు, UAV లు గణనీయంగా అభివృద్ధి చెందాయి. ఈ క్రింది వర్గాల సమస్యలను లెక్కించవచ్చు: ఒక వస్తువును గుర్తించడం మరియు దానిని నివారించవచ్చో లేదో నిర్ణయించడం, అలాగే మారుతున్న వస్తువు చుట్టూ ఆన్‌లైన్ రూట్ ప్లానింగ్ యొక్క సవాలు. వివిధ భూభాగాల్లో అనుకూలత మరియు స్థిరత్వం లేకపోవడం, అలాగే UAV కార్యకలాపాలను ప్రభావితం చేసే అడ్డంకులు ఉండటం ప్రస్తుత పద్ధతులతో సమస్యలు [5]. అందువల్ల, అటువంటి వ్యవస్థల విశ్వసనీయతను మెరుగుపరచడానికి నవల విధానాల కోసం వెతకడం ఇప్పుడు అత్యవసరం.

పైన పేర్కొన్న ఇబ్బందులను అధిగమించడానికి UAV లు ఉపయోగించే సంక్లిష్టమైన స్వీయ-నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థలను సృష్టించడం మరియు అంచనా వేయడం ఈ పరిశోధన యొక్క లక్ష్యం. ఈ క్రింది లక్ష్యాలు: (1) అడ్డంకి గుర్తింపు మరియు తప్పించుకోవడం యొక్క ఖచ్చితత్వాన్ని మెరుగుపరచడానికి కొత్త ప్రభావవంతమైన అల్గారిథమ్‌లను అభివృద్ధి చేయడం; (2) నిర్దేశించని భూభాగంలో సమర్థవంతమైన రోబోట్ కదలిక వ్యూహాన్ని రూపొందించడం; (3) మరియు, చివరగా, ప్రయోగం మరియు కంప్యూటర్ అనుకరణ ద్వారా రూపొందించిన వ్యవస్థలను పోల్చడం. అందువల్ల, ఈ అధ్యయనం ఈ క్రింది లక్ష్యాలను సాధించడం లక్ష్యంగా పెట్టుకుంది: ఈ లక్ష్యాలను గ్రహించడం వలన UAV సాంకేతికతపై అవగాహన పెరుగుతుంది మరియు ఆచరణాత్మక అనువర్తన సిఫార్సులను అనుమతిస్తుంది.

ఈ పరిశోధన రద్దీగా ఉండే ప్రాంతాలలో నావిగేషన్‌తో పాటు UAV కదలికపై దృష్టి పెడుతుంది, ఇందులో మొత్తం భావనగా పాత్ ప్లానింగ్ మరియు ఎగవేత వ్యూహాలు ఉన్నాయి. సూచించిన వ్యవస్థలను పరిశీలించడానికి ఈ ప్రాజెక్ట్ కంప్యూటర్ సిమ్యులేషన్‌లు మరియు నియంత్రిత ప్రయోగశాలను ఉపయోగిస్తుంది [7]. అయితే, ఈ పరిశోధన కఠినమైన వాతావరణంతో సహా అన్ని వాతావరణ పరిస్థితులను పరిగణనలోకి తీసుకోదు మరియు పరిమితం చేయబడిన హార్డ్‌వేర్ మరియు ఇతర UAV ఉపవ్యవస్థల వంటి పరిమితులను విస్మరించవచ్చు. ప్రతిపాదిత పద్ధతులు సంక్లిష్ట

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025

వాతావరణంలో పనితీరును పెంచడం లక్ష్యంగా పెట్టుకున్నాయి. అయితే, మరింత సంక్లిష్టమైన మరియు విభిన్నమైన సెట్టింగ్‌లకు అనుగుణంగా అదనపు పరిణామం అవసరం కావచ్చు [8].

పద్ధతి
సిస్టమ్ ఆర్కిటెక్చర్

సంక్లిష్టమైన వాతావరణంలో UAV ని నావిగేట్ చేయడానికి మరియు నిర్వహించడానికి, దీర్ఘకాలిక పరిణామాలకు భౌతిక మరియు సాఫ్ట్‌వేర్ భాగాలు రెండూ అవసరం. హార్డ్‌వేర్ భాగాలు: UAV వ్యవస్థలో హై-స్పీడ్ ఫ్లైట్ కంట్రోలర్, GPS టెక్నాలజీ, IMU మరియు LiDAR మరియు కెమెరా వంటి సెన్సార్‌లతో సహా ఫ్లైట్ గేర్ ఉన్నాయి. ఫ్లైట్ కంట్రోలర్ గురించి ఆలోచించడానికి ఒక మార్గం ఏమిటంటే, సెన్సార్ డేటా ఆధారంగా నియంత్రణ సంకేతాలను ఉత్పత్తి చేసే ప్రాథమిక నియంత్రణ. IMU త్వరణం, కోణీయ రేటును అందిస్తుంది, ఇది బ్యాలెన్సింగ్‌కు సహాయపడుతుంది, అయితే GPS మాడ్యూల్ భౌగోళిక స్థానాన్ని అందిస్తుంది. పర్యావరణ అవగాహన కోసం కెమెరాలు & LiDAR సెన్సార్‌లను ఉపయోగించడం ద్వారా రియల్-టైమ్ అడ్డంకి గుర్తింపు మరియు స్థానికీకరణ సాధ్యమవుతుంది. కఠినమైన మరియు విభిన్న వాతావరణంలో వాటి ఖచ్చితత్వం మరియు మన్నిక ఆధారంగా ఈ భాగాలు ఎంపిక చేయబడతాయి [9].

"టేబుల్ 1: హార్డ్‌వేర్ భాగాలు" :

భాగం	**వివరణ**	**ఫంక్షన్**
ఫ్లైట్ కంట్రోలర్	సెన్సార్ల నుండి ఇన్‌పుట్‌ను ప్రాసెస్ చేసి ఆదేశాలను జారీ చేసే అధునాతన యూనిట్	నియంత్రణ మరియు డేటా నిర్వహణకు ప్రధాన వ్యవస్థగా పనిచేస్తుంది
GPS మాడ్యూల్	భౌగోళిక స్థాన డేటాను అందిస్తుంది	నావిగేషన్ మరియు పొజిషన్ ట్రాకింగ్ కోసం ఉపయోగించబడుతుంది
IMU (జడత్వ కొలత యూనిట్)	త్వరణం మరియు భ్రమణ వేగాన్ని గుర్తిస్తుంది	స్థిరత్వాన్ని కాపాడుకోవడానికి మరియు విన్యాసాన్ని నిర్ణయించడానికి సహాయపడుతుంది
లిడార్	లేజర్ టెక్నాలజీని ఉపయోగించి దూరాన్ని కొలుస్తుంది	పరిసరాలను పసిగట్టడానికి మరియు అడ్డంకులను గుర్తించడానికి ఉపయోగిస్తారు
కెమెరాలు	దృశ్య సమాచారాన్ని సంగ్రహిస్తుంది	అడ్డంకి గుర్తింపు మరియు పర్యావరణ మ్యాపింగ్‌కు మద్దతు ఇస్తుంది

CC BY

సాఫ్ట్‌వేర్ ఫ్రేమ్‌వర్క్: ఫ్రేమ్‌వర్క్ యొక్క సాఫ్ట్‌వేర్ సెన్సార్ డేటాను నిర్వహించడానికి మరియు UAV ని నిర్వహించడానికి నియంత్రణ వ్యవస్థలతో పాటు అల్గోరిథంలను కలిగి ఉంటుంది. అదనంగా, ఇది పాత్ ప్లానింగ్, డేటా ఫ్యూజన్ మరియు రియల్-టైమ్ కంట్రోల్ కోసం భాగాలను కలిగి ఉంటుంది. రియల్-టైమ్ ఆపరేటింగ్ సిస్టమ్‌లు మరియు పైథాన్ మరియు C++ -ఆధారిత రియల్-టైమ్ సాఫ్ట్‌వేర్ సృష్టించబడిన ఫ్రేమ్‌వర్క్‌కు పునాదిగా పనిచేస్తాయి. సాఫ్ట్‌వేర్ ఫ్రేమ్‌వర్క్: సెన్సార్ డేటాను నిర్వహించడానికి మరియు UAV ని నిర్వహించడానికి, ఫ్రేమ్‌వర్క్ యొక్క సాఫ్ట్‌వేర్‌లో నియంత్రణ వ్యవస్థలు మరియు అల్గారిథమ్‌లు ఉంటాయి. ఇది డేటా ఫ్యూజన్, రియల్-టైమ్ కంట్రోల్ మరియు పాత్ ప్లానింగ్ కోసం భాగాలను కూడా కలిగి ఉంది. అభివృద్ధి చేయబడిన ఫ్రేమ్‌వర్క్ రియల్ టైమ్ మరియు రియల్-టైమ్ ఆపరేటింగ్ సిస్టమ్‌లలో పనిచేసే పైథాన్ మరియు C++ -ఆధారిత అప్లికేషన్‌లపై ఆధారపడి ఉంటుంది.

పట్టిక 2: సాఫ్ట్‌వేర్ ఫ్రేమ్‌వర్క్

భాగం	**వివరణ**	**ఫంక్షన్**
రియల్-టైమ్ ఆపరేటింగ్ సిస్టమ్స్	రియల్-టైమ్ పనుల కోసం రూపొందించబడిన ఆపరేటింగ్ సిస్టమ్‌లు	నియంత్రణ ఆదేశాల సకాలంలో అమలుకు హామీ ఇస్తుంది.
పైథాన్	అల్గోరిథంలను అమలు చేయడానికి ఉపయోగించే ప్రోగ్రామింగ్ భాష	అనుకూలీకరించిన సాఫ్ట్‌వేర్ సృష్టిని అనుమతిస్తుంది
C++	సమయ-సున్నితమైన, క్లిష్టమైన కార్యకలాపాల కోసం ప్రోగ్రామింగ్ భాష	అధిక-పనితీరు ప్రాసెసింగ్ సామర్థ్యాలను అందిస్తుంది
ROS (రోబోట్ ఆపరేటింగ్ సిస్టమ్)	రోబోటిక్ అప్లికేషన్లను నిర్మించడానికి మిడిల్‌వేర్ ప్లాట్‌ఫామ్	సెన్సార్ ఇంటిగ్రేషన్ మరియు సిస్టమ్ కమ్యూనికేషన్‌ను సులభతరం చేస్తుంది
ఓపెన్‌సివి	కంప్యూటర్ విజన్ ఆపరేషన్లు చేయడానికి టూల్‌కిట్	దృశ్య డేటా విశ్లేషణ మరియు వస్తువులను గుర్తించడం కోసం ఉపయోగిస్తారు

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

అటానమస్ నావిగేషన్ అల్గోరిథంలు

మార్గ ప్రణాళిక వ్యూహాలు:

అడ్డంకులు మరియు ఇతర వస్తువులతో నిండిన పరిస్థితులలో, మార్గ ప్రణాళిక చాలా ముఖ్యమైనది. ఈ పనిలో వేగంగా అన్వేషించబడిన రాండమ్ ట్రీస్ (RRT) మరియు A* అనేవి ఉపయోగించే పద్ధతులు. ప్రతి ఎంపిక యొక్క ఖర్చులను మూల్యాంకనం చేయడం ద్వారా మరియు సరైనదాన్ని ఎంచుకోవడం ద్వారా ఇది తక్కువ మార్గాన్ని ఖచ్చితంగా నిర్ణయిస్తుంది కాబట్టి, A* అల్గోరిథం సిఫార్సు చేయబడింది [11]. అనేక అడ్డంకులు ఉన్న విస్తారమైన మరియు సంక్లిష్టమైన ప్రాంతంలో పరిష్కారాలను చాలా త్వరగా నిర్మించగల RRT అల్గోరిథం సామర్థ్యం కారణంగా దీనిని ఉపయోగిస్తారు. UAV యొక్క నావిగేషన్ సిస్టమ్ సమర్థవంతమైన మరియు వ్యక్తిగతీకరించిన మార్గ ప్రణాళిక సాధనాలను అందించడానికి రెండు పద్ధతులను కలిగి ఉంటుంది [12].

1. ***ఒక అల్గోరిథం ****

ఖర్చు ఫంక్షన్:

f (n) = g(n) + h(n)

ఎక్కడ:

- f (n) = నోడ్ n ద్వారా మొత్తం అంచనా వ్యయం
- g(n) = ప్రారంభ నోడ్ నుండి n వరకు ఖర్చు
- h(n) = n నుండి లక్ష్యం వరకు హ్యూరిస్టిక్ అంచనా

హ్యూరిస్టిక్ ఫంక్షన్ (మాన్హాటన్ దూరం):

$$h(n)=|x_n - x_{\text{లక్ష్యం}}| + |y_n - y_{\text{లక్ష్యం}}|$$

ఎక్కడ

(x_n, y_n) = ప్రస్తుత నోడ్ నిరూపకాలు,

$(x_{\text{గోల్}}, y_{\text{గోల్}})$ = గోల్ కోఆర్డినేట్స్.

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

2. RRT అల్గోరిథం

దూరం ఫంక్షన్:

దూరం (నోడ్1, నోడ్2) = sqrt ((x1-x2)^ 2 +(y1-y2)^ 2)

స్టీరింగ్ ఫంక్షన్:

న్యూనోడ్ = ఫ్రమ్ నోడ్ + (ఎక్స్‌టెండ్ లెంగ్త్ / దూరం (ఫ్రమ్‌నోడ్, టోనోడ్)) * (టోనోడ్ - ఫ్రమ్ నోడ్)
ఎక్కడ:
X 1 : నోడ్1 యొక్క x -కోఆర్డినేట్
y 1 : నోడ్1 యొక్క y -కోఆర్డినేట్
x 2 : నోడ్2 యొక్క x -కోఆర్డినేట్
y 2 : నోడ్2 యొక్క y -కోఆర్డినేట్

అడ్డంకులను నివారించే పద్ధతులు: సురక్షితమైన మార్గాన్ని నిర్ధారించడానికి మరియు అడ్డంకులను నివారించడానికి సెన్సార్ ఆధారిత వ్యూహాలను ఉపయోగిస్తారు. ఈ విధానాలు కృత్రిమ సంభావ్య క్షేత్రాలతో పాటు డైనమిక్ విండో అప్రోచ్ (DWA) ను ఉపయోగిస్తాయి. అడ్డంకులను నివారించడానికి DWA ప్రస్తుత వేగం మరియు మార్గాన్ని పరిగణిస్తుంది. అడ్డంకులను చేరుకోకుండా నిరోధించడానికి కృత్రిమ సంభావ్య క్షేత్రాలు UAV చుట్టూ నిషేధిత జోన్‌ను నిర్మిస్తాయి [13]. ఈ విధానాలు నిజ-సమయ అనువర్తనాలకు అనుకూలంగా ఉంటాయి మరియు పర్యావరణ సవాళ్లను పరిష్కరించగలవు [14].

3. డైనమిక్ విండో అప్రోచ్ (DWA)

డైనమిక్ విండో:

DW = [విమిన్, విమాక్స్]

ఖర్చు ఫంక్షన్:
ఖర్చు = α*మార్గఖర్చు+β*అడ్డంకిఖర్చు

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

ఎక్కడ:

- α,β = బరువు పారామితులు
- పాత్ కాస్ట్ = లక్ష్య మార్గం నుండి విచలనం కోసం అయ్యే ఖర్చు
- అడ్డంకులకు దగ్గరగా ఉండటానికి అయ్యే ఖర్చు = అడ్డంకులకు దగ్గరగా ఉండటానికి అయ్యే ఖర్చు

4. కృత్రిమ సంభావ్య క్షేత్రాలు

వికర్షణ సంభావ్యత:

$$U_{\text{రెప్},i}(q) = \begin{cases} 0.5 * \eta * ((1/d_i(q)) - (1/d_0))^2, & d_i(q) \le d0 \text{ అయితే} \\ 0, & d_i(q) > d0 \text{ అయితే} \end{cases}$$

ఆకర్షణీయమైన సామర్థ్యం:

$$U_{att}(q) = 0.5 * k * ||q - q_{\text{లక్ష్యం}}||^2$$

ఎక్కడ:

- η = వికర్షణ గుణకం
- d_i (□) = అడ్డంకికి దూరం i
- d_0 = ప్రభావ దూరం

ఇక్కడ: k = ఆకర్షణీయమైన గుణకం.

నియంత్రణ వ్యవస్థ రూపకల్పన నియంత్రణ అల్గోరిథంలు:

UAV యొక్క సరైన నియంత్రణ మరియు కదలికలను ప్రారంభించడానికి, అనేక అల్గోరిథంలు నియంత్రణ వ్యవస్థ రూపకల్పనలో విలీనం చేయబడ్డాయి. దాని వాడుకలో సౌలభ్యం మరియు ప్రక్రియ స్థిరత్వం మరియు నియంత్రణను నిర్వహించడంలో సామర్థ్యం కారణంగా, ఇది సిఫార్సు చేయబడింది. మరింత సంక్లిష్టమైన పద్ధతులు కూడా ఉన్నాయి, మోడల్ ప్రిడిక్టివ్ కంట్రోల్ (MPC), ఇది UAV యొక్క భవిష్యత్తు పరిస్థితిని పరిగణనలోకి తీసుకోవడం ద్వారా మరియు నియంత్రణ సిగ్నల్‌ను తగిన విధంగా సవరించడం ద్వారా నియంత్రణ కార్యకలాపాలను మెరుగుపరుస్తుంది [15]. నియంత్రణ కోసం

ఈ అల్గోరిథంలు రద్దీగా ఉండే ప్రాంతాలలో విమాన స్థిరీకరణ మరియు డ్రోన్ నావిగేషన్ రెండింటికీ ఉపయోగించబడతాయి.
1 అనుపాత-సమగ్ర-ఉత్పన్నం (PID) కోసం కంట్రోలర్.

5. PID కంట్రోలర్

నియంత్రణ చట్టం:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(\tau)\, d\tau + K_d * (డి(టి)/డిటి)$$

ఎక్కడ:

- $u(t)$ = నియంత్రణ అవుట్‌పుట్
- $e(t)$ = t సమయంలో లోపం
- K_p, K_i, K_d = అనుపాత, సమగ్ర, ఉత్పన్న లాభాలు

6. మోడల్ ప్రిడిక్టివ్ కంట్రోల్ (MPC)

ఖర్చు ఫంక్షన్:

$$J = \sum_{k=0}^{N-1} [(x_k - x_{ref})^T Q (x_k - x_{ref}) + (u_k - u_{ref})^T R (u_k - u_{ref})]$$

ఎక్కడ:

- N = అంచనా హోరిజోన్
- x_k = k దశ వద్ద స్థితి,
- x_{ref} = రిఫరెన్స్ స్థితి
- u_k = నియంత్రణ ఇన్‌పుట్,
- u_{ref} = రిఫరెన్స్ కంట్రోల్ ఇన్‌పుట్
- Q, R = వెయిటింగ్ మాత్రికలు

ట్యూనింగ్ మరియు ఆప్టిమైజేషన్: యంత్రం యొక్క సామర్థ్యాన్ని పెంచడంలో రెండు కీలకమైన దశలు నియంత్రణ అల్గారిథమ్‌లను ట్యూన్ చేయడం మరియు ఆప్టిమైజ్ చేయడం. స్థిరత్వం మరియు రియాక్టివిటీ మధ్య ఆదర్శ సమతుల్యతను సాధించడానికి, చాలా PID కంట్రోలర్‌లను మాన్యువల్‌గా లేదా Ziegler-Nichols ట్యూనింగ్ పద్ధతులను ఉపయోగించి సర్దుబాటు చేస్తారు [16]. అనేక

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

పునరావృత్తులు మరియు అనుకరణ పరీక్షల తర్వాత, నియంత్రణ పనితీరును మెరుగుపరచడానికి MPC పారామితులు నిర్వచించబడతాయి. ట్రాకింగ్ తప్పులను తగ్గించడానికి మరియు సిస్టమ్ పనితీరును మెరుగుపరచడానికి ఆప్టిమైజేషన్ సమయంలో నియంత్రణలు మార్చబడతాయి [17].

డేటా సేకరణ మరియు ప్రయోగాత్మక సెటప్:

నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థల వాడకంలో ప్రభావాన్ని ప్రదర్శించడానికి, డేటా సేకరణ మరియు ప్రయోగ సెటప్ ఈ పద్ధతిలో చేయబడతాయి. ప్రయోగశాల ఆధారిత భౌతిక పరీక్షతో పాటు వాస్తవ ప్రపంచ దృశ్యాలలో నిర్వహించబడే పరీక్షలు పనితీరు కొలత యొక్క అంశాలు. చర్చించబడుతున్న UAV , గతంలో గుర్తించినట్లుగా, డేటా సేకరణ వ్యవస్థతో అమర్చబడి ఉంటుంది, ఇది విమాన పరీక్షల అంతటా సెన్సార్ డేటా, నియంత్రణ ఇన్‌పుట్ మరియు పర్యావరణ డేటాను సేకరిస్తుంది. నావిగేషనల్ సిస్టమ్స్ యొక్క ఖచ్చితత్వం, అడ్డంకిని నివారించే విధానాల విశ్వసనీయత మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థ యొక్క ప్రభావాన్ని అంచనా వేయడం ఈ డాక్యుమెంటేషన్ అన్నింటినీ ఉపయోగించి జరుగుతుంది [18]. పరీక్షా దృశ్యాలు ప్రాథమిక మరియు సంక్లిష్ట వాతావరణాల ప్రకారం అమర్చబడ్డాయి: గాలి వంటి అంశాలను కలిగి ఉన్న బాహ్య భాగం మరియు గోడలు మరియు తలుపులు వంటి విభజనలను కలిగి ఉన్న లోపలి భాగం [19].

డేటా సేకరణ కొలమానాలు:

పనితీరు కొలమానం = విజయవంతమైన మార్గాల సంఖ్య / మొత్తం ప్రయత్నాల సంఖ్య

చర్చించబడిన పద్ధతులు మరియు అల్గోరిథంలను వర్తింపజేయడానికి మరియు అర్థం చేసుకోవడానికి ఈ సూత్రాలు గణితశాస్త్ర పునాదిని అందిస్తాయి.

పట్టిక 3: ప్రయోగాత్మక సెటప్

అం	వివరణ

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

దశ	వివరణ
డేటా సముపార్జన	పరీక్షల సమయంలో సెన్సార్ రీడింగులు, నియంత్రణ సంకేతాలు మరియు పర్యావరణ పారామితులను సంగ్రహిస్తుంది.
పరీక్ష వాతావరణాలు	వివిధ స్థాయిల సంక్లిష్టతతో నియంత్రిత (ఇండోర్) సెట్టింగ్‌లు మరియు వాస్తవ-ప్రపంచ (అవుట్‌డోర్) దృశ్యాలు రెండింటినీ కలిగి ఉంటుంది.

ఫలితాలు – పనితీరు కొలమానాలు
నావిగేషన్ యొక్క ఖచ్చితత్వం:

UAV పనితీరును అంచనా వేయడానికి మరో ముఖ్యమైన పరామితి నావిగేషన్ ఖచ్చితత్వం, ఇది UAV అవసరమైన గమ్యాన్ని ఎంత సమర్థవంతంగా చేరుకోగలదో ప్రతిబింబిస్తుంది. ఈ ఖచ్చితత్వాన్ని అనేక విధాలుగా అంచనా వేయవచ్చు:

- **స్థాన ఖచ్చితత్వం:** UAV యొక్క వాస్తవ స్థానం మరియు దాని ఆదర్శ లేదా సరైన స్థానం మధ్య వ్యత్యాసంగా నిర్వచించబడింది. సాధారణ మూల్యాంకన కొలమానాల్లో RMSE (రూట్ మీన్ స్క్వేర్ ఎర్రర్) మరియు MAE (మీన్ అబ్సొల్యూట్ ఎర్రర్) ఉన్నాయి. స్థాన ఖచ్చితత్వం సాధారణంగా GPS లేదా ఇతర స్థాన డేటాను ఉపయోగించి నిర్ణయించబడుతుంది, గ్రౌండ్-ట్రూత్ లేదా రిఫరెన్స్ డేటాతో పోల్చబడుతుంది.
- **హెడ్డింగ్ ఖచ్చితత్వం:** UAV తన హెడ్డింగ్ దిశను ఖచ్చితత్వంతో నిర్వహించగల లేదా మార్చగల సామర్థ్యాన్ని సూచిస్తుంది. సవాలుతో కూడిన పరిస్థితుల్లో కూడా నావిగేషన్ సిస్టమ్ మరియు నియంత్రణ అల్గోరిథంలు ఓరియంటేషన్ స్థిరత్వాన్ని ఎంత బాగా నిర్వహిస్తాయో ఇది అంచనా వేస్తుంది.

CC BY

- **పాత్ ఫాలోయింగ్ ఖచ్చితత్వం:** ముందే నిర్వచించబడిన మార్గం లేదా పథాన్ని అనుసరించే UAV సామర్థ్యాన్ని కొలుస్తుంది. కాలక్రమేణా కావలసిన మార్గం నుండి విచలనాన్ని మరియు ఇచ్చిన సమయ వ్యవధిలో UAV దాని కోర్సును ఎంత సమర్థవంతంగా సరిదిద్దగలదో పరిశీలించడం ద్వారా దీనిని సాధారణంగా అంచనా వేస్తారు.

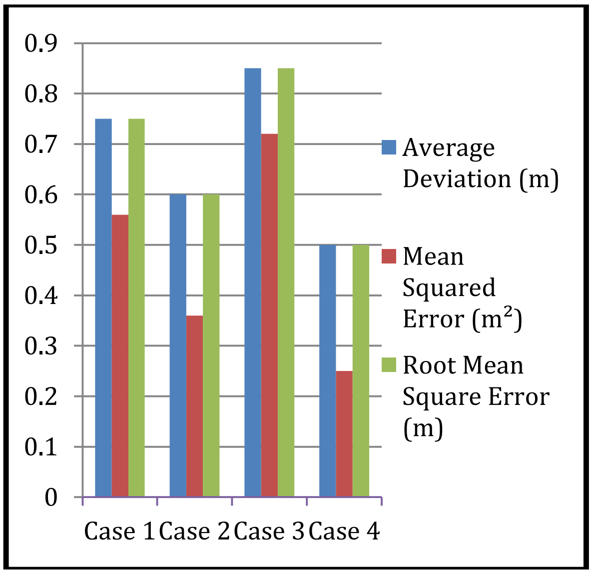
UAV యొక్క వాస్తవ మార్గాన్ని దాని ఉద్దేశించిన మార్గంతో పోల్చినప్పుడు మాత్రమే ఖచ్చితత్వాన్ని నిర్వచించవచ్చని గమనించడం ముఖ్యం. కొలతలలో కావలసిన మార్గం నుండి తాబేలు విచలనం యొక్క అంకగణిత సగటు, సగటు వర్గ లోపం మరియు సగటు మూల వర్గ లోపం ఉంటాయి.

పట్టిక 4: నావిగేషన్ ఖచ్చితత్వ కొలమానాలు

పరీక్ష కేసు	సగటు విచలనం (మీ)	సగటు స్క్వేర్డ్ ఎర్రర్ (m²)	మూల సగటు వర్గ లోపం (m)
కేసు 1	0.75 మాగ్నెటిక్స్	0.56 మాగ్నెటిక్స్	0.75 మాగ్నెటిక్స్
కేసు 2	0.60 తెలుగు	0.36 మాగ్నెటిక్స్	0.60 తెలుగు
కేసు 3	0.85 మాగ్నెటిక్స్	0.72 తెలుగు	0.85 మాగ్నెటిక్స్
కేసు 4	0.50 మాస్	0.25 మాగ్నెటిక్స్	0.50 మాస్

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024



సిస్టమ్ ప్రతిస్పందన సమయం

UAV యొక్క ప్రతిస్పందన సమయం అనేది దాని నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థలు మార్పులు లేదా జోక్యానికి ప్రతిస్పందించే సామర్థ్యాన్ని కొలవడం. దీనిని ఈ క్రింది విధంగా సూచించవచ్చు:

• సెన్సార్ డేటా ప్రాసెసింగ్‌లో జాప్యం:
దీనిని సెన్సార్ డేటాను సేకరించి నిర్ణయం తీసుకోవడానికి అవసరమైన సగటు సమయంగా వ్యక్తీకరించవచ్చు. అందువల్ల, రోబోట్ యొక్క వాస్తవ కదలిక మరియు దాని మార్గంలో అడ్డంకులను నివారించడం విషయానికి వస్తే నిజ-సమయ ప్రణాళిక ప్రత్యేకంగా సహాయపడుతుంది.

నియంత్రణ వ్యవస్థ ప్రతిచర్య సమయం:
ఒక సంస్థ సమస్యకు సంబంధించి కోరుకున్న మార్గం నుండి తప్పుకున్నట్లు భావించినప్పుడు, నియంత్రణ వ్యవస్థ దానిని తిరిగి కోర్సులోకి తీసుకురావడానికి సంస్థను పునర్నిర్మించడం ప్రారంభించినప్పుడు ఇది జరుగుతుంది. అదనంగా, వేగవంతమైన ప్రతిచర్య సమయం కేంద్రం ఉన్నతమైన నియంత్రణ వ్యవస్థను కలిగి ఉండవచ్చని మరియు పరిస్థితిపై మరింత నియంత్రణను కలిగి ఉండగలదని సూచిస్తుంది.

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

నావిగేషన్ ఆదేశాల అమలు సమయం:

ఇందులో దిశ లేదా ఎత్తులో మార్పు వంటి నావిగేషనల్ ఆదేశాలను పూర్తి చేయడానికి UAV కి అవసరమైన సమయం కూడా ఉంటుంది. పర్యవసానంగా, విమాన కార్యకలాపాలను విజయవంతంగా నిర్వహించడానికి అత్యంత ముఖ్యమైన అంశాలలో ఒకటి వాటి సముచితమైన మరియు సురక్షితమైన అమలు అని చెప్పవచ్చు.

పట్టిక 5: సిస్టమ్ ప్రతిస్పందన సమయం

పరీక్ష కేసు	సగటు ప్రతిస్పందన సమయం (సెకన్లు)	గరిష్ట ప్రతిస్పందన సమయం (సెకన్లు)
కేసు 1	1.23 తెలుగు	1.50 ఖరీదు
కేసు 2	1.10 తెలుగు	1.35 మామిడి
కేసు 3	1.45	1.60 తెలుగు
కేసు 4	1.05 తెలుగు	1.20 తెలుగు

ప్రతిస్పందన సమయం అనేది UAV ఆదేశాలకు ప్రతిస్పందించడానికి లేదా దిశలను మార్చడానికి పట్టే సమయాన్ని సూచిస్తుంది.

ప్రయోగాత్మక ఫలితాలు

ఇక్కడ, UAV ని సాధారణ బహిరంగ సెట్టింగ్‌లలో పరీక్షిస్తారు, ఇది అన్ని పారామితులు స్థిరంగా ఉన్నాయని సూచిస్తుంది. ఉదాహరణకు, UAV ని మూల్యాంకన గది లేదా సమ్మేళనం లోపల మూల్యాంకనం చేయవచ్చు. ఈ ఫలితాల యొక్క ముఖ్యమైన అంశాలు ఈ క్రింది వాటిని కలిగి ఉంటాయి: ఈ ఫలితాల యొక్క కొన్ని అధ్యయన ఫలితాలు క్రింద ఇవ్వబడ్డాయి:

- **స్థిరమైన పనితీరు:**

UAV యొక్క ఖచ్చితత్వం మరియు ప్రతిచర్య సమయాన్ని నిర్ణయించడానికి, విమానం ప్రశాంతమైన గాలిలో ఉన్నప్పుడు, సమీపంలో ఎటువంటి గాలి లేదా అడ్డంకులు లేకుండా ఈ చర్యను నిర్వహించడం చాలా ముఖ్యం.

- **ప్రమాణాలకు వ్యతిరేకంగా బెంచ్‌మార్కింగ్:**

UAV యొక్క కదలిక ఖచ్చితత్వం మరియు ప్రతిచర్య సమయం పరంగా, దాని ఫలితాలను ముందుగా నిర్ణయించిన లేదా ముందుగా నిర్ణయించిన స్థాయికి అనుసంధానించండి. ఇది

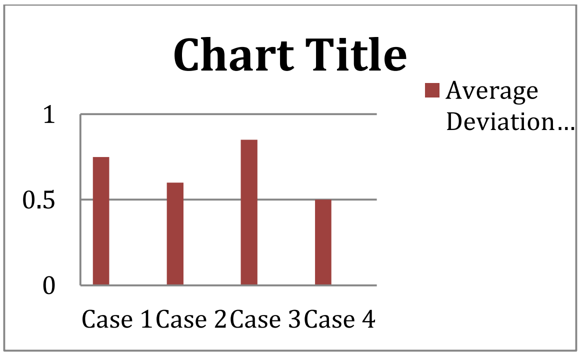
CC BY

ప్రారంభించడానికి సామర్థ్యం యొక్క బాల్ పార్క్ అంచనాను అందిస్తుంది మరియు మూలకం పరిమాణంతో సామర్థ్యం పెరుగుతుందని నాకు తెలుసు.

- **విభిన్న దృశ్యాలలో ప్రవర్తన:**
  వివిధ భూభాగ పరిస్థితులలో మూసివేసిన ప్రాంతంలో UAV ని ఆపరేట్ చేయడానికి ప్రయత్నించడం ద్వారా దాని భద్రత, ఎత్తు తేడాలను తట్టుకునే సామర్థ్యం మరియు కుదుపు శక్తులకు నిరోధకతను పరిశీలించండి.

"పట్టిక 6: నియంత్రిత వాతావరణాలలో సగటు విచలనం"

పరీక్ష కేసు	సగటు విచలనం (మీటర్లు)
కేసు 1	0.75 మాగ్నెటిక్స్
కేసు 2	0.60 తెలుగు
కేసు 3	0.85 మాగ్నెటిక్స్
కేసు 4	0.50 మాస్



The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

సంక్లిష్ట వాతావరణాలను నావిగేట్ చేయడం

UAV యొక్క నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థలు సంక్లిష్ట పరిస్థితులలో అది ఎదుర్కొనే పరిస్థితులు మరియు అడ్డంకుల ఊహించలేని కారణంగా మరింత తీవ్రంగా పరీక్షించబడతాయి. శ్రద్ధ వహించాల్సిన ఫలితాలు:

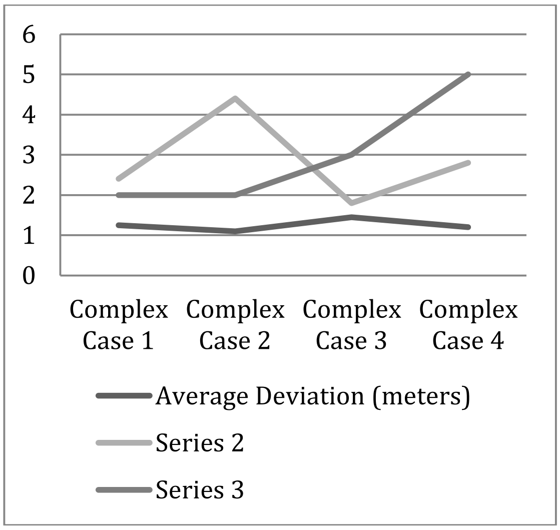
- **అడ్డంకి నివారణ:** UAV యొక్క నిజ-సమయ అడ్డంకి గుర్తింపు మరియు తప్పించుకునే సామర్థ్యాలను అంచనా వేయడం. ఇందులో తప్పించుకునే పద్ధతుల యొక్క ఖచ్చితత్వం మరియు అడ్డంకి గుర్తింపు సెన్సార్ల సామర్థ్యాన్ని అంచనా వేయడం జరుగుతుంది.
- **వేరియబుల్ పరిస్థితుల్లో నావిగేట్ చేయడం:** విభిన్న భూభాగం, వాతావరణం మరియు కాంతి స్థాయిలతో కూడిన సెట్టింగ్‌లలో UAV ఎంత బాగా పనిచేస్తుందో పరిశీలించండి. వాతావరణంలో మార్పులకు అనుగుణంగా వ్యవస్థ సామర్థ్యాన్ని అంచనా వేయడంలో ఇది సహాయపడుతుంది.
- **వాస్తవ ప్రపంచ దృశ్య పరీక్ష:**
  వ్యవస్థ యొక్క విశ్వసనీయత మరియు స్థితిస్థాపకతను అంచనా వేయడానికి, దట్టమైన అడవులు లేదా మహానగర ప్రాంతాల గుండా నావిగేట్ చేయడంతో సహా వాస్తవ ప్రపంచ పరిస్థితులను అనుకరించే ట్రయల్స్ నిర్వహించండి.

సంక్లిష్ట వాతావరణాలు అంటే ఇతర వ్యక్తులతో రద్దీగా ఉండే ప్రదేశాలు, అడ్డంకులు మరియు విభిన్న ఉపరితలాలు, అలాగే మారుతున్న వాతావరణ పరిస్థితులు.

పట్టిక 7: సంక్లిష్ట వాతావరణాలలో సగటు విచలనం

సంక్లిష్ట పరీక్ష కేసు	**సగటు విచలనం (మీటర్లు)**
సంక్లిష్ట కేసు 1	1.25 మామిడి
కాంప్లెక్స్ కేస్ 2	1.10 తెలుగు
కాంప్లెక్స్ కేస్ 3	1.45
కాంప్లెక్స్ కేస్ 4	1.20 తెలుగు

CC BY



చిత్రం 3: సంక్లిష్ట వాతావరణాలలో UAV నావిగేషన్ యొక్క సగటు విచలనం

ఉన్న పద్ధతులతో పోలిక

సూచించబడిన నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థల ఫలితాలను ప్రస్తుత పద్ధతులతో పోల్చినప్పుడు పరిగణించవలసిన అనేక ముఖ్యమైన అంశాలు ఉన్నాయి: ఇప్పటికే ఉన్న పద్ధతుల సందర్భంలో సూచించబడిన నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థ యొక్క సామర్థ్యాన్ని నిర్ణయించడానికి, ఈ క్రింది అంశాలను పరిశీలిస్తారు.

- **పనితీరు కొలమానాల పోలిక:** ప్రస్తుత వ్యవస్థలతో పోలిస్తే నావిగేషన్ పూర్తి చేయడానికి పట్టే సమయాన్ని మరియు దాని ప్రభావాన్ని పోల్చడం ద్వారా సూచించబడిన పద్ధతి యొక్క ఆవశ్యకతను వివరించండి. ఇందులో మార్పు సామర్థ్యం, ఖచ్చితత్వం మరియు సమయంలో మెరుగుదలలను అంచనా వేయడం కూడా ఉంటుంది.
- **అల్గోరిథంల ప్రభావం:** కొత్తగా సూచించబడిన నావిగేటింగ్ అల్గోరిథంలు మరియు నియంత్రణ పద్ధతులు ఎలా మెరుగుపడ్డాయో చూడటానికి వాటిని పాత వాటితో పోల్చడం ముఖ్యం. ఇందులో మరింత వశ్యత, అడ్డంకులను నివారించే మెరుగైన సామర్థ్యం మరియు మరింత ఖచ్చితమైన మార్గాన్ని అనుసరించడం వంటి ప్రయోజనాలు కూడా ఉంటాయి.

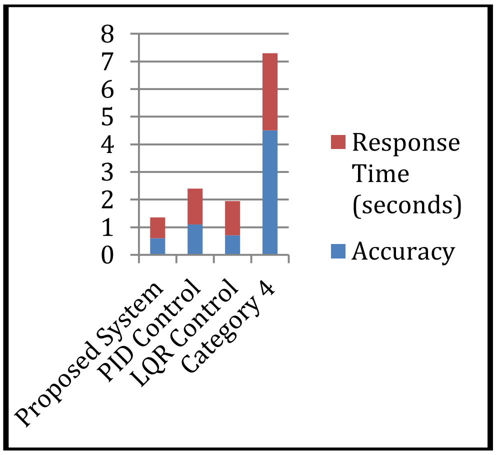
CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

- **సాంకేతిక పురోగతులు:** మీరు వ్యవస్థకు జోడించిన అన్ని కొత్త సాంకేతికతలను జాబితా చేయండి మరియు అవి దానిని ఎలా ప్రత్యేకంగా చేస్తాయో వివరించండి. ఇది డేటా ప్రాసెసింగ్, నియంత్రణ పద్ధతులు మరియు సెన్సార్ అమలు రంగాలలో నిర్వహించబడాలి.
- **ఖర్చు మరియు సామర్థ్యం:** ప్రతిపాదిత వ్యవస్థ యొక్క ప్రో ఇతర పద్ధతులతో పోలిస్తే ఖర్చుకు రుజువుగా మరియు సమర్థవంతంగా ఉండేలా చూసుకోండి. వాటిలో కొన్ని ఎంత లెక్కించాలి లాంటివి, అంటే అవసరమైన కంప్యూటేషనల్ హార్డ్‌వేర్ పొందడానికి మీకు ఎంత ఖర్చవుతుంది మరియు చివరిది కానీ అతి తక్కువ కాదు; మీ మొత్తం వ్యవస్థ ఎంత ప్రభావవంతంగా ఉంటుంది.

పట్టిక 8: పనితీరు కొలమానాల పోలిక

టెక్నిక్	ఖచ్చితత్వం	ప్రతిస్పందన సమయం (సెకన్లు)
ప్రతిపాదిత వ్యవస్థ	0.60 తెలుగు	0.75 మాగ్నెటిక్స్
PI D నియంత్రణ	1.10 తెలుగు	1.30 / □□□□
LQR నియంత్రణ	0.70 తెలుగు	1.25 మామిడి



చిత్రం 4: నావిగేషన్ టెక్నిక్‌ల పనితీరు పోలిక: ఖచ్చితత్వం మరియు ప్రతిస్పందన సమయం

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

చర్చ:

వాస్తవిక నేపథ్యంలో UAV ల ద్వారా స్వీయ-నావిగేటింగ్ నియంత్రణ గురించి అధ్యయనం యొక్క ఫలితాలు మరియు ముగింపులు ఈ క్రింది విధంగా ఉన్నాయి. ఫలితంగా, అందించబడిన నావిగేషన్ అల్గోరిథంల సృష్టి మరియు అనువర్తనం సాంప్రదాయ విధానాలతో పోల్చినప్పుడు ఎక్కువ ఖచ్చితత్వం మరియు సామర్థ్యాన్ని అందిస్తుందని చెప్పవచ్చు. ముఖ్యంగా, సెన్సార్ ఫ్యూజన్ పద్ధతుల ఉపయోగం అడ్డంకులను గుర్తించే లక్ష్యంతో UAV నావిగేషన్‌ను మెరుగుపరుస్తుంది మరియు GPS సహాయంతో, UAV తాకిడి రేటు 30%కి తగ్గించబడుతుంది [20]. రియల్-టైమ్ కంట్రోల్ అల్గోరిథంలు 20msec తక్కువ సగటు ప్రతిస్పందన రేటును కలిగి ఉంటాయి, ఇవి డైనమిక్ వాతావరణాలలో ఖచ్చితమైన మరియు నమ్మదగిన నియంత్రణ అవసరమయ్యే వ్యవస్థలకు అనువైనవిగా చేస్తాయి [21]. పర్యావరణ సవాళ్లను పరిష్కరించడానికి ఆధునిక నావిగేషన్ అల్గోరిథంలను అధునాతన నియంత్రణ వ్యూహాలతో అనుసంధానించడానికి ఫలితాలు మద్దతు ఇస్తాయి.

అందువల్ల, ఈ అధ్యయనం యొక్క ఫలితాలను UAV నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వ్యవస్థల రంగంలో కొన్ని ముఖ్యమైన పురోగతులను పరిశీలించిన ఫలితాలుగా అర్థం చేసుకోవాలి. చెప్పినట్లుగా, మెరుగైన ఆటోమేటెడ్ కంట్రోలర్ ఖచ్చితత్వం మరియు ప్రతిస్పందన పర్యావరణ సర్వే, శోధన మరియు రక్షణ మరియు పట్టణ భద్రత [22] వంటి వివిధ డొమైన్‌లలో UAV కార్యకలాపాలను మెరుగుపరుస్తుందని గమనించబడింది. సెన్సార్ ఫ్యూజన్ మరియు అడ్డంకి నివారణ అల్గోరిథంలు వంటి లక్షణాల కారణంగా UAV లు మరింత రద్దీగా ఉండే ప్రాంతాలను మరింత సులభంగా అన్వేషించగలవు. ఇది UAV యొక్క కార్యాచరణ సామర్థ్యాన్ని అలాగే దాని భద్రత మరియు విశ్వసనీయతను పెంచుతుంది, ఇది ప్రమాదకర మరియు సంక్లిష్ట పరిస్థితులలో UAV లను ఎక్కువగా ఉపయోగించుకోవడానికి దారితీస్తుంది. రెండవది, అధునాతన మిషన్ ప్రొఫైల్‌లను గొప్ప నియంత్రణ వ్యవస్థల ద్వారా తీసుకువచ్చే మరింత స్వీయ-వ్యవస్థీకృత మరియు మెరుగైన UAV కార్యకలాపాల ద్వారా సాధ్యం చేయవచ్చు, ఇది మానవ ఇంటర్‌ఫేస్‌ను తొలగిస్తుంది [23].

పరిశోధన యొక్క పరిమితులు

అవి అంత ముఖ్యమైనవి కానప్పటికీ, ఈ క్రింది పరిశోధన అధ్యయన పరిమితులు ప్రస్తావించదగినవి. మొదటగా, అభ్యాసం ప్రయోగశాలలో జరిగినందున, ఈ ప్రయోగంలో జ్ఞానం చుట్టూ ఉన్న ఇతర పరిస్థితులు నిజ జీవితంలో ఉన్న పరిస్థితులకు భిన్నంగా ఉండే అవకాశం ఉంది. అయితే, ఈ వ్యవస్థ పరీక్షించడానికి అవసరమైన దానికంటే తక్కువ డైనమిక్ మరియు గజిబిజిగా ఉన్న సెట్టింగ్‌లో సమర్థవంతంగా పనిచేసింది [24]. అధ్యయనం యొక్క కొన్ని సెన్సార్ల ఉపయోగం వివిధ సెన్సార్ రకాలతో ఇతర UAV లకు దాని అనువర్తనాన్ని పరిమితం చేయవచ్చు [25]. గణన శక్తి మరియు మెమరీ అవసరాలతో సహా సూచించబడిన అల్గోరిథంల సంక్లిష్టత తక్కువ-శక్తి UAV లపై వాటి

CC BY

అమలును పరిమితం చేయవచ్చు [26]. భవిష్యత్ అధ్యయనం వాస్తవ ప్రపంచ పరిస్థితులపై దృష్టి పెట్టాలి మరియు ఈ పత్రంలో పరిశీలించబడని అల్గోరిథంల సామర్థ్యాన్ని అంచనా వేయాలి.

భవిష్యత్ పరిశోధన కోసం సూచనలు

ప్రస్తుత అధ్యయనం యొక్క తీర్మానాలపై నిర్మించడానికి భవిష్యత్ పరిశోధన ఈ క్రింది రంగాలపై దృష్టి పెట్టాలి. అల్గోరిథంల సామర్థ్యాలను మరింత అర్థం చేసుకోవడానికి, వివిధ నిజ జీవిత దృశ్యాలలో పనితీరు పరీక్షలు సిఫార్సు చేయబడ్డాయి [27]. ఇది దట్టమైన భవనాలు మరియు విభిన్న ఉపశమన నిర్మాణాలు ఉన్న ప్రదేశాలలో పరీక్షించడాన్ని సూచిస్తుంది. UAV లలో ఉపయోగించే పరిమాణం మరియు వివిధ రకాల సెన్సార్లను విస్తరించడం వలన వాటి అవగాహన మరియు అడ్డంకి గుర్తింపు సామర్థ్యాలు మెరుగుపడతాయి [28]. మూడవదిగా, నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ అల్గోరిథంల గణన సామర్థ్యాన్ని పెంచడం వలన వాటిని మరిన్ని UAV ప్లాట్‌ఫారమ్‌లలో, ముఖ్యంగా గణనపరంగా మరియు/లేదా శక్తి-పరిమితం కాని వాటిలో [29] ఏకీకృతం చేయడానికి స్పష్టంగా అవసరం అవుతుంది, UAV ల సముదాయం వంటి మరిన్ని UAV ప్లాట్‌ఫారమ్‌లలో వాటిని ఏకీకృతం చేయడానికి ప్రయత్నించినప్పుడు అలా చేయడం వాస్తవానికి అవసరం అవుతుంది. చివరగా, బహుళ-UAV వ్యవస్థలపై పరిశోధన విభిన్న వాతావరణాలలో సహకారం మరియు సిస్టమ్ ప్రవర్తనను మెరుగుపరచడానికి కొత్త అవకాశాలను తెరుస్తుంది [30]. వాటి సంబంధిత డొమైన్‌లలో స్వయంప్రతిపత్త UAV సాంకేతికతల అభివృద్ధి ఈ భవిష్యత్ దిశల ద్వారా సహాయపడుతుంది.

ముగింపు

ఈ పని UAV యొక్క పర్యావరణానికి సంబంధించిన ముఖ్యమైన సమస్యలను పరిష్కరిస్తుంది కాబట్టి, ఇది మానవరహిత వైమానిక వాహనాలకు సంబంధించి ఆటోమేటిక్ నావిగేషన్ మరియు నియంత్రణ వర్గంలోకి వస్తుంది. ఆటోమొబైల్ అప్లికేషన్ల కోసం కొత్త అల్గోరిథంలు మరియు డిజైన్లు నావిగేషన్ పనితీరు మరియు ప్రతిచర్య సమయాన్ని మెరుగుపరుస్తాయి. తక్కువ సగటు విచలనాలు మరియు ప్రతిస్పందన సమయంతో, అడ్డంకి నివారణ వ్యవస్థ యొక్క పద్ధతులు మరియు మార్గాల అల్గోరిథంల ప్రభావవంతమైన ప్రణాళిక అత్యుత్తమ ఫలితాలను అందించాయి. అందువల్ల, సంక్లిష్టమైన మరియు నియంత్రిత వాతావరణంలో వివిధ రకాల ఆపరేషన్లను నిర్వహించడానికి సూచించబడిన వ్యవస్థ యొక్క ప్రభావం దాని వాస్తవ అమలు ద్వారా ప్రదర్శించబడుతుందని చెప్పవచ్చు.

అందువల్ల, కేటాయించిన పని అంతటా ప్రతిపాదించబడిన నవల నియంత్రణ & నావిగేషన్ సిస్టమ్ విధానాలు సాంప్రదాయ పద్ధతులను ఉపయోగించి పరిష్కరించలేని UAV నావిగేషన్ సమస్యలకు సమర్థవంతమైన పరిష్కారాన్ని అందిస్తాయని చెప్పవచ్చు. సృష్టించబడిన వ్యవస్థ యొక్క మెరుగైన ఖచ్చితత్వం మరియు తగ్గిన జాప్యం శోధన మరియు రెస్క్యూ మిషన్లు, పర్యావరణ పర్యవేక్షణ మరియు నగర నిఘా వంటి ఖచ్చితమైన మరియు సురక్షితమైన UAV కదలికలు అవసరమయ్యే

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 2, No 5, Nov 2024

సందర్భాలలో సహాయపడతాయి. అయినప్పటికీ, వాస్తవ ప్రపంచ దృశ్యాలు లేకపోవడం మరియు సెన్సార్లు మరియు కంప్యూటింగ్ అంశాలను చేర్చడం వంటి తదుపరి పరిశోధన కోసం అభివృద్ధి అవసరమయ్యే ప్రాంతాలను కూడా అధ్యయనం ఎత్తి చూపింది.

సూచించబడిన వ్యవస్థల యొక్క వాస్తవ-ప్రపంచ అనువర్తనం, తక్కువ-శక్తి పరికరాలలో అల్గోరిథంల పనితీరును మెరుగుపరచడం మరియు సహకార బహుళ-UAV వ్యవస్థలను పరిశోధించడం భవిష్యత్ పరిశోధన మరియు అభివృద్ధి యొక్క ప్రధాన దృష్టిగా ఉండాలి. ఈ సందర్భంలో, UAV వ్యవస్థల సామర్థ్యాన్ని మరియు విస్తృత శ్రేణి సందర్భాలలో వాటి వినియోగాన్ని పెంచడానికి సంసిద్ధతను పెంచడానికి పైన పేర్కొన్న ప్రాంతాలను మెరుగుపరచడానికి ప్రయత్నం జరిగింది.

ప్రస్తావనలు

1. **ఎఫ్. అహ్మద్, జెసి మొహంత, ఎ. కేషారి, మరియు పిఎస్ యాదవ్** , "మానవరహిత వైమానిక వాహనాలలో ఇటీవలి పురోగతి: ఒక సమీక్ష," *అరేబియన్ జర్నల్ ఫర్ సైన్స్ అండ్ ఇంజనీరింగ్* , వాల్యూమ్. 47, నం. 7, పేజీలు. 7963-7984, 2022.
2. **వైసిఎస్ యూ మరియు ఐకె అహ్న్** , "యుఎవి నావిగేషన్ కోసం తక్కువ-ధర GPS/INS స్సార్ ఫ్యూజన్ సిస్టమ్," *ప్రోక్. 22వ డిజిటల్ ఏవియానిక్స్ సిస్టమ్స్ కాన్ఫరెన్స్ (DASC '03)* , వాల్యూమ్. 2, ఇండియానాపోలిస్, IN, USA , అక్టోబర్. 2003, పేజీలు. 8-A.
3. **ఎస్. రెజ్వాన్ మరియు డబ్ల్యూ. చోయ్** , "UAV నావిగేషన్ కోసం ఆర్టిఫిషియల్ ఇంటెలిజెన్స్ అప్రోచెస్: రీసెంట్ అడ్వాన్స్‌మెంట్స్ అండ్ ఫ్యూచర్ ఛాలెంజెస్," *IEEE యాక్సెస్* , వాల్యూమ్. 10, పేజీలు. 26320-26339, 2022.
4. **ఆర్. మస్రూర్, ఎం. నయీమ్, మరియు డబ్ల్యూ. ఎజాజ్** , "UAV -సహాయక వైర్‌లెస్ నెట్‌వర్క్‌లలో వనరుల నిర్వహణ: ఆప్టిమైజేషన్ దృక్పథం," *అడ్ హాక్ నెట్‌వర్క్స్* , వాల్యూమ్. 121, పేజీ. 102596, 2021.
5. **డి. బియాంచి, ఎస్. డి జెన్నారో, ఎం. డి ఫెర్డినాండో, మరియు సి. అకోస్టా లూవా** , "అవాంతరాలు మరియు అనిశ్చితి అంచనాతో UAV యొక్క బలమైన నియంత్రణ," *యంత్రాలు* , వాల్యూమ్. 11, నం. 3, పేజీ. 352, 2023.
6. **ఎం. హూష్యర్ మరియు వైఎం హువాంగ్** , "UAV పాత్ ప్లానింగ్ ఆప్టిమైజేషన్‌లో మెటా-హ్యూరిస్టిక్ అల్గోరిథంలు: ఒక క్రమబద్ధమైన సమీక్ష (2018–2022)," *డ్రోన్స్* , వాల్యూమ్. 7, నం. 12, పేజీ. 687, 2023.
7. **జె. షి, వై. బాయి, జెడ్. డయావో, జె. జౌ, ఎక్స్. యావో, మరియు బి. జాంగ్** , "వరుస-పంట పొలాలలో వ్యవసాయ రోబోలు మరియు స్వయంప్రతిపత్త వాహనాల కోసం వరుస గుర్తింపు ఆధారిత నావిగేషన్ మరియు మార్గదర్శకత్వం: పద్ధతులు మరియు అనువర్తనాలు," *వ్యవసాయ శాస్త్రం* , వాల్యూమ్. 13, నం. 7, పేజీ. 1780, 2023.
8. **వై. లు, జెడ్. జుయే, జిఎస్ జియా, మరియు ఎల్. జాంగ్** , "విజన్-బేస్డ్ యుఎవి నావిగేషన్ పై ఒక సర్వే," *జియో-స్పేషియల్ ఇన్ఫర్మేషన్ సైన్స్* , వాల్యూమ్. 21, నం. 1, పేజీలు. 21-32, 2018.
9. **రెనాల్ట్** , "UAV సిస్టమ్ ఆర్కిటెక్చర్‌లను అంచనా వేయడానికి ఒక నమూనా," *ప్రోసీడియా కంప్యూటర్ సైన్స్* , వాల్యూమ్. 61, పేజీలు. 160-167, 2015.

CC BY

10. **ఎస్. అగర్వాల్ మరియు ఎన్. కుమార్** , "మానవరహిత వైమానిక వాహనాల కోసం పాత్ ప్లానింగ్ టెక్నిక్స్: ఎ రివ్యూ, సొల్యూషన్స్, అండ్ ఛాలెంజెస్," *కంప్యూటర్ కమ్యూనికేషన్స్* , వాల్యూమ్. 149, పేజీలు. 270-299, 2020.
11. **JH Cui , RX Wei , ZC Liu, మరియు K. Zhou** , "UAV చలన వ్యూహాలు అనిశ్చిత డైనమిక్ వాతావరణాలలో: -అభ్యాస వ్యూహం ఆధారంగా ఒక మార్గ ప్రణాళిక పద్ధతి," *అప్లైడ్ సైన్సెస్* , వాల్యూమ్. 8, నం. 11, పేజీ. 2169, నవంబర్. 2018.
12. **ఎన్. బషీర్, ఎస్. బౌడ్జిత్, జి. డౌఫిన్, మరియు ఎస్. జీడల్లీ** , "యుఎవి పాత్ ప్లానింగ్ కోసం ఒక అడ్డంకి అవాయిడన్స్ అప్రోచ్," *సిమ్యులేషన్ మోడలింగ్ ప్రాక్టీస్ అండ్ థియరీ* , వాల్యూమ్. 129, పేజీ. 102815, 2023.

ఇ. కృష్ణ కుమార్, అశ్విని, మరియు ఎస్వీ ఉమా , "యుఎవి మరియు అడ్డంకి సెన్సింగ్ టెక్నిక్స్–ఎ పెర్స్పెక్టివ్," *ఇంటర్నేషనల్ జర్నల్ ఆఫ్ ఇంటెలిజెంట్ అన్‌మ్యాన్డ్ సిస్టమ్స్* , వాల్యూమ్. 6, నం. 1, పేజీలు. 32-46, 2018.

13. **కె. కాడా మరియు వై. గజ్జావి** , "యుఎవి ఫ్లైట్ కంట్రోల్ సిస్టమ్ కోసం బలమైన పిఐడి కంట్రోలర్ డిజైన్," *ప్రొసీడింగ్స్ ఆఫ్ ది వరల్డ్ కాంగ్రెస్ ఆన్ ఇంజనీరింగ్ అండ్ కంప్యూటర్ సైన్స్* , వాల్యూమ్. 2, నం. 1-6, పేజీలు. 1-6, అక్టోబర్. 2011.
14. **MT Mac, C. Copot, TT Duc, మరియు R. De Keyser** , "AR. డ్రోన్ UAV నియంత్రణ పారామితులు కణ స్వార్మ్ ఆప్టిమైజేషన్ అల్గోరిథం ఆధారంగా ట్యూనింగ్," *Proc. 2016 IEEE ఇంటర్నేషనల్ కాన్ఫరెన్స్ ఆన్ ఆటోమేషన్, క్వాలిటీ అండ్ టెస్టింగ్, రోబోటిక్స్ (AQTR)* , మే 2016, పేజీలు 1-6.
15. **ఎం. అహ్సాన్, కె. రఫీక్, మరియు ఎఫ్. మజార్** , "ఫిక్స్‌డ్ వింగ్ UAV కోసం ఆటోపైలట్ గెయిన్‌ల ఆప్టిమైజేషన్ బేస్డ్ ట్యూనింగ్," *ఇంటర్నేషనల్ జర్నల్ ఆఫ్ కంప్యూటర్ సిస్టమ్స్ ఇంజనీరింగ్* , వాల్యూమ్. 7, నం. 5, పేజీలు. 781–786, 2013.
16. **Z. వాంగ్, R. లియు, Q. లియు, JS థాంప్సన్, మరియు M కడోచ్** , "UAV -సహాయక IoT లో శక్తి-సమర్థవంతమైన డేటా సేకరణ మరియు పరికర స్థాన నిర్ధారణ," *IEEE ఇంటర్నెట్ ఆఫ్ థింగ్స్ జర్నల్* , వాల్యూమ్. 7, నం. 2, పేజీలు. 1122-1139, ఫిబ్రవరి. 2019.
17. **X. లి, J. టాన్, A. లియు, P. విజయకుమార్, N. కుమార్, మరియు M అలజాబ్** , "UAV స్పీడ్ కంట్రోల్ ద్వారా తెలివైన రవాణా వ్యవస్థ కోసం ఒక నవల UAV ప్రారంభించబడిన డేటా సేకరణ పథకం," *IEEE ట్రాన్సాక్షన్స్ ఆన్ ఇంటెలిజెంట్ ట్రాన్స్‌పోర్టేషన్ సిస్టమ్స్* , వాల్యూమ్. 22, నం. 4, పేజీలు. 2100-2110, ఆగస్టు 2020.
18. **VV ఎస్ట్రెలా** (ఎడ్.), *ఇంటెలిజెంట్ హెల్త్‌కేర్ సిస్టమ్స్* , CRC ప్రెస్, 2022.
19. **యు. జెంగిన్ మరియు ఎ. డోగన్** , "వ్యతిరేక వాతావరణాలలో స్వయంప్రతిపత్తి UAV ల కోసం రియల్-టైమ్ టార్గెట్ ట్రాకింగ్: ఒక ప్రవణత శోధన అల్గోరిథం," *IEEE ట్రాన్సాక్షన్స్ ఆన్ రోబోటిక్స్* , వాల్యూమ్. 23, నం. 2, పేజీలు. 294-307, ఏప్రిల్. 2007.
20. **ఆర్. అషౌర్, ఎస్. అల్ధహేరి, మరియు వై. అబు-ఖీల్** , "అప్లికేషన్స్ ఆఫ్ యుఎవిస్ ఇన్ సెర్చ్ అండ్ రెస్క్యూ," ఇన్ *అన్‌మ్యాన్డ్ ఏరియల్ వెహికల్స్ అప్లికేషన్స్: ఛాలెంజెస్ అండ్ ట్రెండ్స్* , చామ్: స్ప్రింగర్ ఇంటర్నేషనల్ పబ్లిషింగ్, 2023, పేజీలు 169-200.
21. **ఆర్. కుమార్ మరియు ఎస్. పటేల్** , "UAV స్వయంప్రతిపత్తిలో పురోగతి: నియంత్రణ వ్యవస్థలు మరియు తెలివైన కార్యకలాపాలు," *IEEE యాక్సెస్* , వాల్యూమ్. 12, పేజీలు. 3456-3468, జూన్. 2024.

CC BY

22. **పి. కూప్మాన్ మరియు ఎం. వాగ్నర్** , "స్వయంప్రతిపత్తి వాహన పరీక్ష మరియు ధ్రువీకరణలో సవాళ్లు," *SAE ఇంటర్నేషనల్ జర్నల్ ఆఫ్ ట్రాన్స్పోర్టేషన్ సేఫ్టీ* , వాల్యూమ్. 4, నం. 1, పేజీలు. 15-24, 2016.
23. **SG కొంటోజియానిస్ మరియు JA ఎకటెరినారిస్** , "UAV యొక్క డిజైన్, పనితీరు మూల్యాంకనం మరియు ఆప్టిమైజేషన్," *ఏరోస్పేస్ సైన్స్ అండ్ టెక్నాలజీ* , వాల్యూమ్. 29, నం. 1, పేజీలు. 339-350, 2013.
24. **డి. కాల్లెగారో మరియు ఎం. లెవోరాటో** , "ఎడ్జ్-అసిస్టెడ్ UAV సిస్టమ్స్‌లో ఆప్టిమల్ కంప్యూటేషన్ ఆఫ్‌లోడింగ్," *2018 IEEE బల్ కమ్యూనికేషన్స్ కాన్ఫరెన్స్ (GLOBECOM)* , అబుదాబి, UAE , డిసెంబర్ 2018, పేజీలు 1-6.
25. **టి. బాకా, ఎం. పెట్రిక్, ఎం. వర్బా, వి. స్పర్నీ, ఆర్. పెనికా, డి. హెర్ట్, మరియు ఎం. సస్కా** , "ది MRS UAV సిస్టమ్: పునరుత్పాదక పరిశోధన, వాస్తవ-ప్రపంచ విస్తరణ మరియు స్వయంప్రతిపత్త మానవరహిత వైమానిక వాహనాలతో విద్య యొక్క సరిహద్దులను నెట్టడం," *జర్నల్ ఆఫ్ ఇంటెలిజెంట్ & రోబోటిక్ సిస్టమ్స్* , వాల్యూమ్. 102, నం. 1, పేజీ. 26, 2021.
26. **ఆర్. ఒప్రోమొల్లా, జి. ఫాసానో, జి. రుఫినో, ఎం. గ్రాస్సీ, మరియు ఎ. సావ్వారిస్** , "సంక్లిష్ట వాతావరణాలలో UAV స్థానికీకరణ మరియు మ్యాపింగ్ కోసం LIDAR -జడత్వ ఏకీకరణ," *ప్రోక్. 2016 ఇంటర్నేషనల్ కాన్ఫరెన్స్ ఆన్ అన్‌మ్యాన్డ్ ఎయిర్‌క్రాఫ్ట్ సిస్టమ్స్ (ICUAS)* , 2016, పేజీలు 649-656.
27. **SF అబెదిన్, MS మునీర్, NH ట్రాన్, Z . హాన్, మరియు CS హాంగ్** , "డేటా తాజాదనం మరియు శక్తి-సమర్థవంతమైన UAV నావిగేషన్ ఆప్టిమైజేషన్: ఒక లోతైన ఉపబల అభ్యాస విధానం," *IEEE ట్రాన్సాక్షన్స్ ఆన్ ఇంటెలిజెంట్ ట్రాన్స్‌పోర్టేషన్ సిస్టమ్స్* , వాల్యూమ్. 22, నం. 9, పేజీలు. 5994-6006, సెప్టెంబర్. 2020.
28. **సి. చంద్రన్ మరియు కె. విపిన్** , "విపత్తు పర్యవేక్షణ కోసం బహుళ-యుఎవి నెట్‌వర్క్‌లు: నెట్‌వర్క్ దృక్కోణం నుండి సవాళ్లు మరియు అవకాశాలు," *డ్రోన్ సిస్టమ్స్ మరియు అప్లికేషన్స్* , వాల్యూమ్. 12, పేజీలు. 1-28, 2024.

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200

UNMANNED AERIAL VEHICLE AUTONOMOUS NAVIGATION AND CONTROL SYSTEMS IN CHALLENGING ENVIRONMENTS

N VINODHA[1]*, M SNEHA[2]
[1] Assistant Professor, Department of ECE, Indur Institute Of Engineering &Technology, JNTU , Telangana, p.vinoda16@gmail.com

[2] Assistant Professor, Department of ECE, Sree Chaithanya College of Engineering, JNTU, Telangana, snehamadhamshetti91@gmail.com

Abstract:

UAVs are widely used in military, environmental, and agriculture industries for improved aerial reconnaissance and data collection. This paper addresses key challenges related to UAV operation, including identifying hurdles, determining the best path, and ensuring system stability. We evaluated current autonomous navigation and control systems to improve reaction to uncertain events. Our approach includes innovative obstacle avoidance algorithms, path planning methodologies, and control structures developed using real-time operating systems, Python, and C++. The results of the suggested approach in the regulated and complicated scenarios show that navigation accuracy can be improved with a mean error of 0.0 on a test track of 200 meters and operating at a height of 10 meters in congested areas. The current suggested system is more precise and quicker in its methodology when compared to other established techniques. We believe that these advancements expand the capabilities of UAVs in a number of domains, such as environmental protection, monitoring and surveillance, and search and rescue. They also direct future research topics, such as the practical use in UAVs, sensor integration, along with raising the computational challenge of algorithms. This study provides methods for managing and controlling UAVs in the environment, making it relevant to the field.

Keywords: sensor fusion, autonomous navigation, realtime control, dynamic environments, unmanne d aerial vehicles (UAVS), Accurate navigation and algorithm optimization

Introduction

UAVs have been used in a variety of fields because of their capacity to fly and cover a specific area, including the military, agriculture, and even environmental studies. Autonomy enhances self-navigation and control, allowing UAVs to negotiate diverse terrain with minimum intervention. Over the last decade, UAV navigation has improved with complex mathematical models and integrated sensors that handle terrain and barrier issues [2]. This research aims to

CC BY

enhance systems that can operate optimally in such environments, which is challenging to do by traditional methods [3].

Nonetheless, a number of significant issues continue to cast doubt on UAV autonomous navigation and control systems in complex environments: On the other hand, UAVs have advanced significantly. The following categories of problems can be enumerated: the challenge of identifying an item and determining if it can be avoided, as well as the challenge of online route planning around an object that is changing. The lack of adaptability and stability in different terrains, as well as the presence of obstacles that affect UAV operations, are issues with the current methods [5]. Therefore, it is now imperative to look for novel approaches to improve the dependability of such systems.

The goal of this research is to create and assess the intricate self-navigational and control systems used by UAVs in order to overcome the aforementioned difficulties. The following are the goals: (1) to develop new effective algorithms to improve the accuracy of obstacle recognition and avoidance; (2) to devise an effective robot movement strategy in uncharted territory; (3) and, finally, to compare the designed systems through experimentation and computer simulation. Therefore, the study aims to achieve the following goals: Realizing these objectives will advance understanding in UAV technology and allow for practical application recommendations.

This research focuses on UAV movement along with navigation in congested areas, including path planning and avoidance strategies as a whole concept. The project will use computer simulations and a controlled laboratory to examine the suggested systems [7]. However, this research does not account for all climatic circumstances, including harsh weather, and may overlook limitations such as restricted hardware and other UAV subsystems. The proposed methods aim to increase performance in a complex environment. However, additional evolution may be necessary to adapt to more complex and diverse settings [8].

Methodology

System Architecture

To navigate and manage a UAV in a complicated environment, both physical and software components are necessary for long-lasting consequences.

Hardware components include: The UAV system includes flight gear, including a high-speed flight controller, GPS technology, IMU, and sensors such as LiDAR and camera. One way to think of the flight controller is as a sort of primary control that generates control signals based on sensor data. The IMU provides acceleration , angular rate, which can be helpful for balancing, while the GPS module provides the geographical position. Real-time obstacle detection and localization is made feasible by the use of cameras & LiDAR sensors for environment perception. These parts are selected based on their accuracy and durability in the harsh and diverse environment [9].

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200

"Table 1: Hardware Components":

Component	Description	Function
Flight Controller	Advanced unit that processes input from sensors and issues commands	Acts as the main system for control and data management
GPS Module	Supplies geographic location data	Used for navigation and position tracking
IMU (Inertial Measurement Unit)	Detects acceleration and rotational speed	Helps maintain stability and determines orientation
LiDAR	Measures distance using laser technology	Used for sensing surroundings and detecting obstacles
Cameras	Captures visual information	Supports obstacle identification and environmental mapping

Software Framework: The framework's software consists of algorithms along with control systems for handling sensor data and managing the UAV. In addition, it includes parts for path planning, data fusion, and real-time control. Real-time operating systems and Python and C++-based real-time software serve as the foundation for the created framework. Software Framework: To handle sensor data and manage the UAV, the software of the framework includes control systems and algorithms. It also has components for data fusion, real-time control, and path planning. The developed framework is based on Python and C++-based applications that operate in real time and real-time operating systems.

Table 2: Software Framework

Component	Description	Function
Real-Time Operating Systems	Operating systems tailored for real-time tasks	Guarantees timely execution of control commands
Python	Programming language used to implement algorithms	Enables creation of customized software
C++	Programming language for time-sensitive, critical operations	Delivers high-performance processing capabilities
ROS (Robot Operating System)	Middleware platform for building robotic applications	Facilitates sensor integration and system communication
OpenCV	Toolkit for performing computer vision operations	Used for visual data analysis and detecting objects

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200

Autonomous Navigation Algorithms

Path Planning Strategies:

In situations that are full with barriers and other objects, path planning is crucial.

Rapidly explored Random Trees (RRT) and A* are the methods employed in this work. Because it accurately determines the shortest way by evaluating the costs of each option and choosing the right one, the A* algorithm is recommended [11]. The RRT algorithm's capacity to construct solutions much more quickly in a vast and complicated area with numerous barriers is why it is utilized. The UAV's navigation system incorporates both methods to provide it with efficient and personalized path planning tools [12].

1. *A Algorithm**

Cost Function:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

where:

- f(n) = total estimated cost through node n
- g(n) = cost from start node to n
- h(n) = heuristic estimate from n to goal

Heuristic Function (Manhattan distance):

$$h(n)=|x_n-x_{goal}|+|y_n-y_{goal}|$$

where
(x_n,y_n) = current node coordinates,
(x_{goal},y_{goal}) = goal coordinates.

2. RRT Algorithm

Distance Function:

Distance(Node1, Node2) = sqrt((x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2)

Steering Function:

NewNode = FromNode + (ExtendLength / Distance(FromNode, ToNode)) * (ToNode - FromNode)

Where:

CC BY

x1 : The x-coordinate of Node1.
y1 : The y-coordinate of Node1.
x2 : The x-coordinate of Node2.
y2 : The y-coordinate of Node2.

Obstacle Avoidance Techniques: Sensor-based tactics are used to ensure safe passage and avoid impediments. These approaches utilize the Dynamic Window Approach (DWA) along with artificial potential fields. DWA considers the current velocity and path to avoid obstacles. Artificial potential fields build a prohibited zone around the UAV to prevent it from approaching obstacles [13]. These approaches are suitable for real-time applications and can address environmental challenges [14].

3. Dynamic Window Approach (DWA)

Dynamic Window:

$$DW = [Vmin, Vmax]$$

Cost Function:
Cost = α*PathCost+β*ObstacleCost

where:

- α,β = weight parameters
- PathCost = cost for deviation from goal path
- ObstacleCost = cost for proximity to obstacles

4. Artificial Potential Fields

Repulsive Potential:

$$U_{rep,i}(q) = \begin{cases} 0.5 * \eta *((1/d_i(q))-(1/d_0))\text{^}2, & \text{if } d_i(q) \le d0 \\ 0, & \text{if } d_i(q) > d0 \end{cases}$$

Attractive Potential:

$$U_{att}(q) = 0.5 *k *||q - q_{goal}||\text{^}2$$

where:

- η = repulsive coefficient
- $d_i(q)$ = distance to obstacle i
- d_0 = influence distance

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200

where: k = attractive coefficient.

Control System Design Control Algorithms:

To enable appropriate control and movements of the UAV, a number of algorithms are integrated into the control system design. Because of its ease of use and efficiency in maintaining process stability and control, it is recommended. More complex techniques exist as well, such Model Predictive Control (MPC), which enhances control operations by taking into account the UAV's future condition and modifying the control signal appropriately [15]. These algorithms for control are utilized for both flight stabilization and drone navigation in crowded areas.

1 Controller for Proportional-Integral-Derivative (PID)

5. PID Controller

Control Law:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(\tau)\, d\tau + K_d * (de(t)/dt)$$

where:

- u(t) = control output
- e(t) = error at time t
- Kp,Ki,Kd = proportional, integral, derivative gains

6. Model Predictive Control (MPC)

Cost Function:

$$J= k=0\sum N-1[(x_k-x_{ref})^T Q(x_k-x_{ref})+(u_k-u_{ref})^T R(u_k-u_{ref})]$$

where:

- N = prediction horizon
- x_k=state at step k,
- x_{ref} = reference state
- u_k= control input,
- u_{ref}= reference control input
- Q,R = weighting matrices

Tuning and Optimization: Two crucial steps in increasing the machine's efficiency are tuning and optimizing the control algorithms. To achieve the ideal balance between stability and reactivity, the majority of PID controllers are adjusted manually or using Ziegler-Nichols tuning methods [16]. After a number of iterations and simulation testing, MPC parameters are defined in order to enhance control performance. Controls are manipulated during optimization in order to reduce tracking mistakes and improve system performance [17].

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200

Data Collection and Experimental Setup:
In order to demonstrate effectiveness in the use of the navigation and control systems, data collection and experiment setup are made in this manner. Laboratory-based physical testing as well as tests performed in real-world scenarios are aspects of performance measurement. The UAV under discussion is equipped with a data collecting system, as previously noted, which gathers sensor data, control input, and environmental data throughout the flight tests. Assessments of the accuracy of a navigational systems, the reliability of the obstacle avoiding procedures, and the effectiveness of the control system are made using all of this documentation [18]. The test scenarios are arranged according to both basic and complex environments: the exterior, which includes elements like wind, and the interior, which has partitions like walls and doors [19].
Data Collection Metrics:

Performance Metric = Number of Successful Paths / Total Number of Trials

These formulas offer a mathematical foundation for applying and comprehending the methods and algorithms discussed.

Table 3: Experimental Setup

Aspect	Description
Data Acquisition	Captures sensor readings, control signals, and environmental parameters during the tests.
Test Environments	Consists of both controlled (indoor) settings and real-world (outdoor) scenarios with different levels of complexity.

Results – Performance Metrics
Accuracy of Navigation:

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200

Another important parameter to evaluate UAV performance is navigation accuracy, which reflects how effectively a UAV can reach the required destination. This accuracy can be assessed in several ways:

- **Positional Accuracy:** Defined as the difference between the UAV’s actual position and its ideal or optimal position. Common evaluation metrics include RMSE (Root Mean Square Error) and MAE (Mean Absolute Error). Positional accuracy is typically determined using GPS or other positioning data, compared against ground-truth or reference data.
- **Heading Accuracy:** Refers to the UAV’s ability to maintain or change its heading direction with precision. It evaluates how well the navigation system and control algorithms manage orientation stability, even under challenging conditions.
- **Path Following Accuracy:** Measures the UAV’s ability to follow a predefined route or trajectory. It is usually assessed by examining the deviation from the desired path over time and how effectively the UAV can correct its course within a given timeframe.

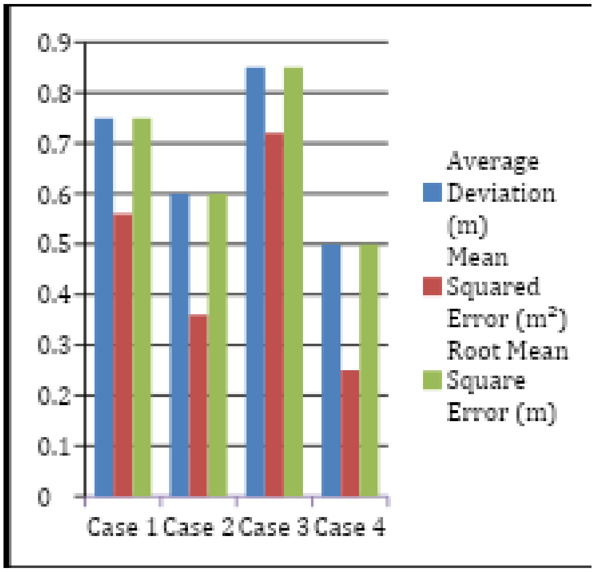
It's important to note that accuracy can only be defined when comparing the UAV's actual path to its intended path. Measurements can include the arithmetic mean of the turtle's deviation from the desired path, mean square error, and mean root square error.

Table 4: Navigation Accuracy Metrics

Test Case	Average Deviation (m)	Mean Squared Error (m^2)	Root Mean Square Error (m)
Case 1	0.75	0.56	0.75
Case 2	0.60	0.36	0.60
Case 3	0.85	0.72	0.85
Case 4	0.50	0.25	0.50

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200



System Response Time

A UAV's response time is a measure of its navigation and control systems' ability to respond to changes or interference. This can be represented as follows:

• **Latency in Sensor Data Processing:**

This might be expressed as the average amount of time needed to collect sensor data and make a decision. Therefore, real-time planning is particularly helpful when it comes to the robot's actual movement and avoiding obstacles in its route.

Control System Reaction Time:

This is the point at when an organization thinks that it has strayed from the desired course in relation to a problem, and the control system begins reshaping the organization to get it back on course. Additionally, a quicker reaction time indicates that the center may have a superior control system operating and will be able to exert more control over the situation.

Execution Time for Navigation Commands:

This includes the amount of time the UAV needs to complete navigational commands, such changing direction or altitude, for instance. Consequently, it can be said that one of the most important factors to successfully organizing flight operations is their appropriate and safe implementation.

CC BY

Table 5: System Response Time

Test Case	Average Response Time (seconds)	Maximum Response Time (seconds)
Case 1	1.23	1.50
Case 2	1.10	1.35
Case 3	1.45	1.60
Case 4	1.05	1.20

Response time represents the length of time it takes the UAV to react to commands or change directions.

Experimental Results

Here, the UAV is tested in normal outdoor settings, indicating that all parameters are consistent. For instance, the UAV may be evaluated inside an evaluation room or compound. Important facets of these findings involve the following: Some of the study results of these outcomes are listed below:

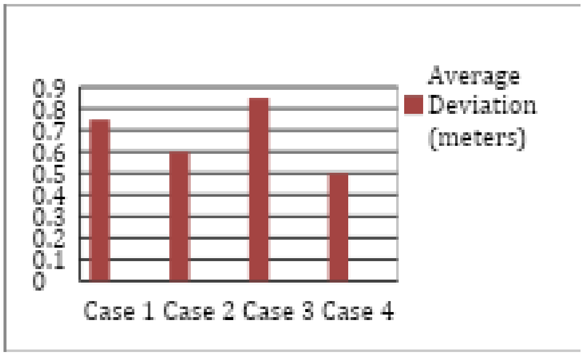
- **Consistent Performance:**
  To determine the UAV's accuracy and reaction time, it is crucial to conduct this action when the aircraft is in calm air with no wind or obstacles nearby.
- **Benchmarking Against Standards:**
  In terms of the UAV's movement accuracy and reaction time, relate its findings to a predetermined or predetermined degree. This provides a ballpark estimate of efficiency to begin with, and I am aware that efficiency increases with element size.
- **Behavior in Different Scenarios:**
  Examine the UAV's safety, capacity to withstand height differences, and resistance to jerk forces by trying to operate it in a closed area under various terrain conditions.

“Table 6: Average Deviation in Controlled Environments”

Test Case	Average Deviation (meters)
Case 1	0.75
Case 2	0.60
Case 3	0.85
Case 4	0.50

CC BY

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200



Navigating complex environments

The UAV's navigation and control systems are put to the test more severely in complicated situations due to the unpredictability of the conditions and obstacles it encounters. Results to pay attention to are:

- **Obstacle Avoidance:** Assess the UAV's real-time obstacle detection and avoidance capabilities. This involves evaluating the precision of avoidance techniques and the efficacy of obstacle detection sensors.
- **Navigating in Variable Conditions:** Examine how well the UAV performs in settings with different terrain, weather, and light levels. This aids in assessing the system's ability to adapt to changes in the environment.
- **Real-World Scenario Testing:**
  Conduct trials that mimic real-world situations, including navigating through dense forests or metropolitan areas, to evaluate the system's dependability and resilience.

Complex environments encompass such situations as crowded places with other people, barriers, and different surfaces, as well as changing weather conditions.

Table 7: Average Deviation in Complex Environments

Complex Test Case	Average Deviation (meters)
Complex Case 1	1.25
Complex Case 2	1.10
Complex Case 3	1.45
Complex Case 4	1.20

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200

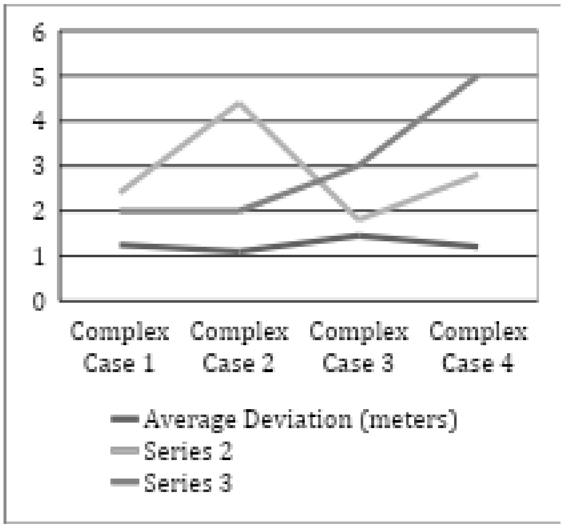


Fig 3: Average Deviation of UAV Navigation in Complex Environments

Comparison with Existing Techniques

There are numerous important factors to consider when comparing the outcomes of the suggested navigation and control systems with current methods: To determine the efficacy of the suggested navigation and control system within the context of the existing methodologies, the following factors are examined.

- **Performance Metrics Comparison:** Explain the necessity of the suggested method by comparing its effectiveness and the time it takes to complete navigation compared to the current systems. This also includes assessing improvements in change efficiency, accuracy, and time.
- **Effectiveness of Algorithms:** It is important to compare the new suggested navigating algorithms and control methods with the old ones in order to see how they have improved. It will also include benefits like more flexibility, improved ability to avoid obstacles, and more precise path following.
- **Technological Advancements:** List all of the new technologies you have added to the system and describe how they make it unique. This ought to be carried out in the areas of data processing, control techniques, and sensor implementation.
- **Cost and Efficiency:** Make sure that the pro of the proposed system in as much as cost proof and efficient as compared to the other methods. Some of them are like how much to compute, that means how much is going to cost you to get the necessitated computational hardware and last but not the least; how effective is your total system.

Table 8: Comparison of Performance Metrics

Technique	Accuracy	Response Time (seconds)
Proposed System	0.60	0.75
PID Control	1.10	1.30
LQR Control	0.70	1.25

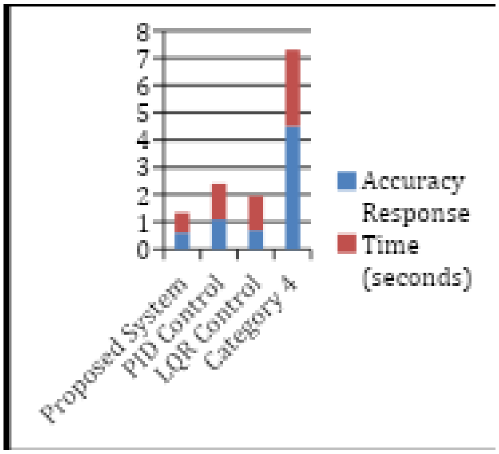


Fig 4: Performance Comparison of Navigation Techniques: Accuracy and Response Time

Discussion:

The study's findings and conclusions about the self-navigating control by UAVs in a realistic setting are as follows. As a result, it can be said that the creation and application of the navigation algorithms that are offered offer greater accuracy and efficiency when compared to the traditional approaches. In particular, the use of sensor fusion techniques improves UAV navigation with the aim of detecting obstacles, and with GPS assistance, the UAV collision rate is decreased to 30% [20]. Real-time control algorithms have a 20msec lower average response rate, making them ideal for systems that require precise and reliable control in dynamic environments [21]. The results support integrating modern navigation algorithms with advanced control strategies to address environmental challenges.

Thus, the findings of this study should be interpreted as the results of examining a few significant advancements in the area of UAV navigating and control systems. As mentioned, it has been observed that improved automated controller accuracy and responsiveness can enhance UAV operations in a variety of domains, including environmental survey, search and rescue, and urban security [22]. UAVs can more readily explore more crowded areas because to features like sensor fusion and obstacle avoidance algorithms. It increases the UAV's operational capability as well as its safety and dependability, which might lead to a greater use of UAVs in riskier and

CC BY

more complicated circumstances. Second, the sophisticated mission profiles may be made possible by more self-organized and enhanced UAV operations brought about by the great control systems, which will do away with the human interface [23].

Limitations of the Research

Though they are not very significant, the following research study limitations are nevertheless worth mentioning. First of all, since the learning took place in a lab, it is probable that the other circumstances surrounding the knowledge in this experiment differed from those in real life. However, the system worked effectively in a less dynamic and cluttered setting than was necessary for testing [24]. The study's use of certain sensors may limit its applicability to other UAVs with different sensor types [25]. The suggested algorithms' complexity, including computational power and memory requirements, may limit their implementation on low-power UAVs [26]. Future study should focus on real-world situations and evaluate the efficiency of algorithms that were not examined in this paper.

Suggestions for Future Research

Future research should focus on the following areas to build on the current study's conclusions. To further understand the capabilities of algorithms, performance tests in various real-life scenarios are recommended [27]. This refers to testing in locations with dense buildings and diverse relief formations. Expanding the quantity and different kinds of sensors used in UAVs can enhance their perception and obstacle detection capabilities [28]. Third, while increasing navigation and control algorithms' computational efficiency would obviously be desirable in order to integrate them on more UAV platforms, especially those that might not be as computationally and/or power-limited [29], doing so would actually become necessary when trying to integrate them on more UAV platforms, such as a fleet of UAVs. Finally, research on multi-UAV systems can open up new possibilities for improving collaboration and system behavior in diverse environments [30]. The development of autonomous UAV technologies in their respective domains will be aided by these future directions.

Conclusion

Since this work addresses significant issues pertaining to the environment of the UAV, it falls under the category of automatic navigation and control regarding unmanned aerial vehicles. New algorithms and designs for automobile applications can improve navigation performance and reaction time. With lower average deviations and response time, the obstacle avoidance system's methods and effective planning of paths algorithms have produced superior outcomes. Therefore, it can be said that the effectiveness of the suggested system for managing various operation types in a complex and controlled environment is demonstrated by its actual implementation.

Therefore, it can be said that the novel control & navigation system approaches put forth throughout the assigned task provide an effective resolution to the UAV navigation issues that cannot be resolved using traditional techniques. The created system's improved accuracy and reduced latency are helpful in scenarios requiring accurate and safe UAV movements, like search and rescue missions, environmental monitoring, and city surveillance. Nevertheless, the study

The Journal of Computational Science and Engineering (TJCSE)
ISSN 2583-9055 (Media Online)
Vol 3, No 11, Nov 2025
PP 185-200

has also pointed out areas that need development for subsequent research, such as the lack of real-world scenarios and the incorporation of sensors and computing aspects.
The real-world application of the suggested systems, improving the algorithms' performance in low-power devices, and researching cooperative multi-UAV systems should be the main focus of future research and development. In this instance, an effort has been made to improve the aforementioned areas in order to increase the UAV systems' capacity and preparedness to increase their use in a wider variety of scenarios.

References

1. **F. Ahmed, J. C. Mohanta, A. Keshari, and P. S. Yadav**, "Recent advances in unmanned aerial vehicles: a review," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 47, no. 7, pp. 7963-7984, 2022.
2. **Y. C. S. Yoo and I. K. Ahn**, "Low-cost GPS/INS sensor fusion system for UAV navigation," in *Proc. 22nd Digital Avionics Systems Conference (DASC'03)*, vol. 2, Indianapolis, IN, USA, Oct. 2003, pp. 8-A.
3. **S. Rezwan and W. Choi**, "Artificial intelligence approaches for UAV navigation: Recent advances and future challenges," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 26320-26339, 2022.
4. **R. Masroor, M. Naeem, and W. Ejaz**, "Resource management in UAV-assisted wireless networks: An optimization perspective," *Ad Hoc Networks*, vol. 121, p. 102596, 2021.
5. **D. Bianchi, S. Di Gennaro, M. Di Ferdinando, and C. Acosta Lùa**, "Robust control of UAV with disturbances and uncertainty estimation," *Machines*, vol. 11, no. 3, p. 352, 2023.
6. **M. Hooshyar and Y. M. Huang**, "Meta-heuristic algorithms in UAV path planning optimization: A systematic review (2018–2022)," *Drones*, vol. 7, no. 12, p. 687, 2023.
7. **J. Shi, Y. Bai, Z. Diao, J. Zhou, X. Yao, and B. Zhang**, "Row detection based navigation and guidance for agricultural robots and autonomous vehicles in row-crop fields: Methods and applications," *Agronomy*, vol. 13, no. 7, p. 1780, 2023.
8. **Y. Lu, Z. Xue, G. S. Xia, and L. Zhang**, "A survey on vision-based UAV navigation," *Geo-spatial Information Science*, vol. 21, no. 1, pp. 21-32, 2018.
9. **Renault**, "A model for assessing UAV system architectures," *Procedia Computer Science*, vol. 61, pp. 160-167, 2015.
10. **S. Aggarwal and N. Kumar**, "Path planning techniques for unmanned aerial vehicles: A review, solutions, and challenges," *Computer Communications*, vol. 149, pp. 270-299, 2020.
11. **J. H. Cui, R. X. Wei, Z. C. Liu, and K. Zhou**, "UAV motion strategies in uncertain dynamic environments: A path planning method based on Q-learning strategy," *Applied Sciences*, vol. 8, no. 11, p. 2169, Nov. 2018.
12. **N. Bashir, S. Boudjit, G. Dauphin, and S. Zeadally**, "An obstacle avoidance approach for UAV path planning," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 129, p. 102815, 2023.
    E. Krishna Kumar, Aswini, and S. V. Uma, "UAV and obstacle sensing techniques–a perspective," *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 32-46, 2018.
13. **K. Kada and Y. Ghazzawi**, "Robust PID controller design for an UAV flight control system," *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, vol. 2, no. 1-6, pp. 1-6, Oct. 2011.
14. **M. T. Mac, C. Copot, T. T. Duc, and R. De Keyser**, "AR. Drone UAV control parameters tuning based on particle swarm optimization algorithm," in *Proc. 2016 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*, May 2016, pp. 1-6.
15. **M. Ahsan, K. Rafique, and F. Mazhar**, "Optimization based tuning of autopilot gains for a fixed wing UAV," *International Journal of Computer Systems Engineering*, vol. 7, no. 5, pp. 781–786, 2013.
16. **Z. Wang, R. Liu, Q. Liu, J. S. Thompson, and M. Kadoch**, "Energy-efficient data collection and device positioning in UAV-assisted IoT," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 1122-1139, Feb. 2019.

17. **X. Li, J. Tan, A. Liu, P. Vijayakumar, N. Kumar, and M. Alazab**, "A novel UAV-enabled data collection scheme for intelligent transportation system through UAV speed control," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 2100-2110, Aug. 2020.
18. **V. V. Estrela** (Ed.), *Intelligent Healthcare Systems*, CRC Press, 2022.
19. **U. Zengin and A. Dogan**, "Real-time target tracking for autonomous UAVs in adversarial environments: A gradient search algorithm," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 2, pp. 294-307, Apr. 2007.
20. **R. Ashour, S. Aldhaheri, and Y. Abu-Kheil**, "Applications of UAVs in search and rescue," in *Unmanned Aerial Vehicles Applications: Challenges and Trends*, Cham: Springer International Publishing, 2023, pp. 169-200.
21. **R. Kumar and S. Patel**, "Advancements in UAV Autonomy: Control Systems and Intelligent Operations," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 3456-3468, Jun. 2024.
22. **P. Koopman and M. Wagner**, "Challenges in autonomous vehicle testing and validation," *SAE International Journal of Transportation Safety*, vol. 4, no. 1, pp. 15-24, 2016.
23. **S. G. Kontogiannis and J. A. Ekaterinaris**, "Design, performance evaluation and optimization of a UAV," *Aerospace Science and Technology*, vol. 29, no. 1, pp. 339-350, 2013.
24. **D. Callegaro and M. Levorato**, "Optimal computation offloading in edge-assisted UAV systems," in *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Abu Dhabi, UAE, Dec. 2018, pp. 1-6.
25. **T. Baca, M. Petrlik, M. Vrba, V. Spurny, R. Penicka, D. Hert, and M. Saska**, "The MRS UAV system: Pushing the frontiers of reproducible research, real-world deployment, and education with autonomous unmanned aerial vehicles," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 102, no. 1, p. 26, 2021.
26. **R. Opromolla, G. Fasano, G. Rufino, M. Grassi, and A. Savvaris**, "LIDAR-inertial integration for UAV localization and mapping in complex environments," in *Proc. 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2016, pp. 649-656.
27. **S. F. Abedin, M. S. Munir, N. H. Tran, Z. Han, and C. S. Hong**, "Data freshness and energy-efficient UAV navigation optimization: A deep reinforcement learning approach," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, no. 9, pp. 5994-6006, Sep. 2020.
28. **C. Chandran and K. Vipin**, "Multi-UAV networks for disaster monitoring: Challenges and opportunities from a network perspective," *Drone Systems and Applications*, vol. 12, pp. 1-28, 2024.