

Сведения об авторах

Назерке Рахимбай – магистрант кафедры «Информационные системы», Казахский национальный университет им. аль-Фараби, e-mail: nazerke.rkh@gmail.com

Камшат Тусупова – PhD, старший преподаватель кафедры «Информационные системы», Казахский национальный университет им. аль-Фараби, e-mail: kamshat-0707@mail.ru

Information about the authors

Nazerke Rakhimbay – Master's student of the Department of Information Systems, Al-Farabi Kazakh National University, e-mail: nazerke.rkh@gmail.com.

Kamshat Usupova – PhD, Senior Lecturer at the Department of Information Systems, Al-Farabi Kazakh National University, e-mail: kamshat-0707@mail.ru.

Редакцияға енуі 11.04.2024

Жариялауға қабылданды 13.05.2024

DOI: 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-7

FTAXP: 81.93.29



Ж.К. Абдугулова, М.Н.Тлеген*, Т.М. Төлеубеков

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
10000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сатпаев к-сі, 2
*e-mail: meruert-0202@mail.ru

МУЛЬТИРОТОР ТИПТІ ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫНЫҢ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ҚҰРАСТЫРУ

Аңдатпа: Мультиротор типті ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару жүйесін зерттеу және құрастыру қарастырылды. ҰҰА толықтай ақпарат беріліп, қазіргі таңдағы маңыздылығы анықталды. Басқару объектісі ретінде квадрокоптер алынды. ҰҰА зерттеп, олардың түрін ажыратып талдау және басқару объектісі квадрокоптердің құрлымын, жұмыс істеу принципі зерттелді және оның қозғалысына байланысты математикалық моделі жасалды. ҰҰА-ның дизайны және формасына, жұмыс істеу принципіне байланысты мультироторлы, бекітілген қанатты, бір роторлы-ұшқышсыз тікұшақ, гибридті түрлері ажыратылды. ҰҰА-ның мультироторлы типі, соның ішінде квадрокоптердің құрлымы мен бөлшектері қарастырылды, олардың түрлеріне және құрлымына байланысты түсініктеме берілді. Жұмыс істеу принципіне талдау жасалды. Квадрокоптерді басқару негізінен жердегі оператор және борттық жүйе болып екі бөлікке бөлінеді бөлінеді. Жердегі оператор өзіне керекті биіктікті, бағытты таратқыш, яғни, басқару пульті арқылы ақпаратты квадрокоптерге береді. Таратқыштар көбінде 4 арналы болып келеді және ол 2.4 GHz жиілігінде жұмыс істейді. Кейбір таратқыштарда бұл арналардың саны 7 немесе 10-ға жетуі мүмкін. Борттық жүйедегі қабылдағыш ақпаратты қабылдап оны ҰК-ға берді. ҰК-і операторға керекті бағытқа бұрылу үшін әр қозғалтқышқа берілетін күштің, кернеудің, жылдамдықтың есептеулерін жасайды. Ал қозғалтқыштарға керекті жылдамдықты реттеу үшін электронды жылдамдықты реттегіш қолданылады. Әр қозғалтқыштың жылдамдығын өзгерту арқылы оның бағытын өзгертеміз. Квадрокоптердің ұшу бағытының өзгеріс түрлеріне бұрандалардың әсері, яғни, әр бұрандаға әсер ететін тарту күшінің әсерінен аппараттың бағытының өзгерісі анықталды. Аппараттың қозғалысының крен, рыскание, тангаж, төмен-жоғары, алдыға-артқа, оңға – солға 6 бағыты болады.

Түйін сөздер: Ұшқышсыз ұшу аппараттары, Мультикоптер, Басқару объекті, Дрон.

Кіріспе. Қазіргі уақытта автоматты техниканы дамытудың арқасында ұшқышсыз авиациялық жүйелерді, сондай-ақ олардың негізіндегі кешенді шешімдерді қолдану айтарлықтай кеңеюде. Ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) – бұл заманауи, қазіргі таңдағы өте жоғарғы қарқынмен дамып келе жатқан ірі көлемдегі ұшу аппараттарынан (ҰА) пайдалану мүмкін емес жағдайларда немесе адам өміріне қатер төндіретін жағдайларда қолдануға арналған авиациялық техниканың бір түрі.

Ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) техниканың дамуына байланысты көптеген авиациялық компаниялардың ең басты өнімдеріне айналады. Аэроғарыштық инженерлерді шығаратын көптеген университеттер кейбір ерекше салаларда, сондай-ақ оқу мақсаттары үшін зерттеу үшін өздерінің ҰҰА-тын дамыту бағдарламаларын жасайды. Қолданыстағы және перспективалы ҰҰА-ын талдау, қазіргі уақытта ұтымдылығы көптеген елдердің әзірлеушілерінің тәжірибесімен расталған, аппараттардың әрбір сыныбы үшін қолайлы схемалар мен құрастырулар анықталғанын көрсетеді және оның бірнеше себебі бар. Біріншіден, ҰҰА-ның қауіпсіздік мәселесін жоғарғы деңгейде шешуі. Екіншіден, ұшқышсыз жүйе операторын дайындау ұшқыш дайындаудан оңай әрі көп уақытты талап етпейді. Үшіншіден, ұшқыштың болмауы борттық жүйені болдырмауға, ұшақ көлемін және массасын азайтуға мүмкіндік береді. Төртіншіден, бағасы жағынан дәстүрлі ұшу аппаратына қарағанда әлде қайда арзан.

Мультикоптер – бұл крест немесе жұлдызша формалы ұштарында қозғалтқыштары бар ұшу апараты. Қозғалтқыштары бір орынға бекітілген. Контроллер борттық компьютер, аккумуляторлар, датчиктер және басқа да перифериялық құрылғылар мүмкіндігінше раманың ортасында орналасады. Автономды ұшу режимдерінде мультикоптерлерді қолдану тиімді. Басқару қашықтан басқару пульті арқылы жүзеге асырылады, онда оператор адам квадрокоптердің бағытын және оның биіктігін белгілейді немесе квадрокоптер өздігінен жүруі керек бағытты көрсетеді. Тәуелсіз жұмыс істеудің нұсқалары мүмкін, мысалы, борттық камерадан бейне деректерге сәйкес. Квадракоптер адамға ауыр емес заттарды көтеруге, фото немесе бейне түсірілім үшін қолданылады. Ұшқышсыз ұшу аппаратын курьерлер ретінде пайдалану аз адамдарды тартуға мүмкіндік береді және қалалық жол желісіне жүктемені азайтады.

Ұшақ қозғалуы үшін басқару жүйесін жобалау қажет. Басқару жүйесінің негізгі бөлшегі – реттеуші – бұл басқару объектісінің күйін жүйе ретінде бақылайтын және ол үшін басқару сигналдарын шығаратын құрылғы болып табылады. Реттегіштер басқару объектісінің кейбір параметрлерінің өзгеруін бақылайды және кейбір басқару алгоритмдерін қолдана отырып, олардың өзгеруіне жауап береді.

Зерттеу шарттары мен әдістері

Басқару объекті ретінде мультироторлы ұшқышсыз ұшу аппаратының бір түрі – квадрокоптер қарастырылады. Квадрокоптер – бұл қашықтан басқару пульті арқылы басқарылатын төрт бұрандасы бар ұшқышсыз ұшу апараты (сурет 1). Квадрокоптердің таңдалуы, ҰҰА-ның азаматтық мақсатта ең көп қолданыста болуы, берілген бағыт бойынша квадрокоптердің ұшуын басқаруды жүзеге асыруға мүмкіндік беретін басқару жүйесін әзірлеу өзекті болып табылады.

Азаматтық өмірде дрондарды қолдану жыл сайын артып келеді. Дрондарды әскери мақсатта қолдану қазірдің өзінде кең таралған. Қазір дрондардың көмегімен барлау, ауаның ластануы мен радиоактивтілігін бағалау жүргізіледі, нысандарды күзету, пошта, сәлемдемелер жеткізіледі, оқиға орнына медициналық құрылғылар мен дәрі-дәрмектерді, өрт сөндіргіштерді жеткізу, тіпті оқ-дәрілерді жеткізу сияқты қызыметтерді атқарады.

«Дрон» – бұл ұшқышсыз ұшу аппараты (ҰҰА), бортында ұшқыш- адамы жоқ ұшу аппараты. Ұшқышсыз ұшу аппараттарының 4 негізгі түрі бар:

- Мультироторлы дрондар;
- Бекітілген қанаты бар дрондар;
- Бір роторлы дрондар;
- Гибридті дрондар.

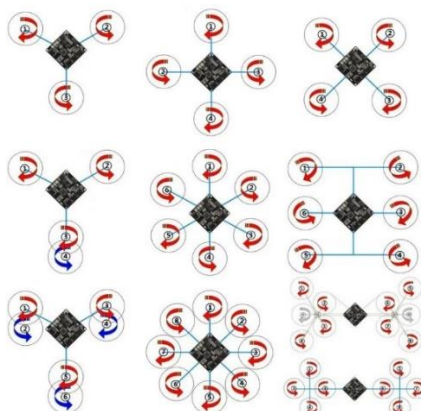
Мультироторлы дрондар – бұл кәсіпқой да, әуесқой да қолданатын дрондардың ең көп таралған түрлері. Бұл дрондар платформаға орнатылған қозғалтқыштар санына байланысты 3, 4, 6, 8 қозғалтқышты болып бөлінеді. Сонымен, төрт қозғалтқышы бар дрон-трикоптер, төрт қозғалтқышы бар дрон-квадракоптер, алты қозғалтқышты-гексакоптер, сегіз қозғалтқышты-октокоптер деп аталды. Ұшу кезінде ұшақ жер бетіне қатысты көлденең позицияны ұстайды және белгілі бір жерден жоғары көтеріліп, солға, оңға, алға, артқа, жоғары және төмен

қозғалады, сонымен қатар өз осінің айналасында бұрыла алады. Барлық әрекеттер әр қозғалтқышқа берілетін күшті өзгерту арқылы жасалады [3].



Сурет 1 – Квадрокоптер

Мультироторлы дрондардың бұрандалар саны артқан сайын оның айналу бағыты мен орналасуы әр түрлі болады (сурет 2). Әдетте трикоптердің үш, квадрокоптердің екі, гексакоптердің екі, октокоптердің үш түрлі қозғалтқыш орналасуы және бұрандалар айналу бағыты ажыратылады.



Сурет 2 – Мультироторлы дрондар бұрандалары айналу бағыты

Мультироторлы дрондардың бұрандалар санының айырмашылығы оның жұмысының сипаттамасына үлкен әсер етеді. Трикоптер мен квадрокоптердің салмағы жеңіл болғандықтан жылдамдығымен ерекшеленеді. Гексакоптерлер мен октокоптерлер-ең тұрақты, қымбат және ауыр аппараттар. Мұндай аппараттарды зат көтеруде, жоғары сапалы фото және бейне түсірілімде қолданады, мұнда қуатты қозғалтқыштар мен энергия көзі қолданылады. Бірақ жабдық неғұрлым күрделі болса және оның маңызды түйіндері неғұрлым көп болса, ұшқышсыз құрылғының істен шығу ықтималдығы соғұрлым жоғары болады. Гексакоптер және одан жоғары мультироторлы дрондар жағдайында, егер қозғалтқыштардың біреуі істен шықса, аппарат апаттық апаттық жағдайда қонуды жүзеге асыра алады.

Жылжымайтын қанаты бар дрондардың көпшілігінде орташа ұшу уақыты бірнеше сағатқа созылады. Газ қозғалтқышы бар дрондар 16 сағатқа дейін және одан да көп уақыт ұшуға болады. Ұшу уақыты мен жанармай үнемділігі жоғары болғандықтан, жылжымайтын қанаты бар ұшқышсыз ұшу аппараттары ұзақ мерзімді операциялар үшін өте қолайлы болып табылады.

Бекітілген қанатты ұшқышсыз ұшқыштардың басқа кемшіліктері – бұндай дронда ұшу үшін қажетті басқару дағдыларын персоналды оқытуға кететін шығындар. Бекітілген қанаты бар дронды ауаға көтеру оңай емес. Жылжымайтын қанаты бар дрондардың көптеген түрі ауаға өзінен көтеріле алмайды. Ауаға шығару және көтеру үшін арнайы «ұшу-қону жолағы» немесе катапульт түріндегі ұшыру қондырғысы қажет (сурет 3). Мұндай қондырғылар аппараттың ұшу кезінде оған алдыға жылжуына қосымша күш береді. Құрылғыны жерге қауіпсіз қондыру үшін ұшу-қону жолағы, парашют немесе тор қажет. Бір роторлы ҰҰА нақты тікұшақтарға өте ұқсас. Көп роторлы дроннан айырмашылығы, бір роторлы дронда бір үлкен бір үлкен негізгі бұранда және бағытты басқару үшін аппараттың артқы бөлігінде бір кішкене бұранда болады. Бір роторлы дрондар көп роторлы нұсқаларға қарағанда әлдеқайда тиімді. Олардың ұшу уақыты ұзағырақ және іштен жанатын қозғалтқыштармен жұмыс істей алады.



Сурет 3 – Дронды ұшыруға арналған қондырға

Аэродинамикада бұрандалардың саны неғұрлым аз болса, объектінің жалпы айналуы соғұрлым аз болады. Бұл квадрокоптерлердің октоптерлерге қарағанда тұрақты болуының басты себебі. Бір роторлы дрондар көп роторлы дрондарға қарағанда тиімді байланысты жоғары шығындар мен пайдалану шығындарына ие. Олар сондай-ақ басқару үшін арнайы операторлар даярлауды қажет етеді. Гибридті дрондар – жаңа буын датчиктерінің гироскоптар мен акселерометрлер пайда болуымен құрылымның гибридтілігі жаңа өмір мен даму бағытын алды.

Басқару объектіні сипаттау. Квадрокоптер – бұл төрт бұрандасы бар тікұшақ схемасы бойынша жасалған ұшу аппараты. Мультироторлы ҰҰА ХХІ ғасырда ұшқышсыз ұшу аппараттар ретінде жаңа сипатта жасалды. Құрлымының қарапайымдылығына байланысты квадрокоптерлер әуесқой модельдеуде жиі қолданылады. Мультикоптер қымбат емес аэрофототүсірілімдер мен түсірілімдер үшін ыңғайлы – үлкен камералар бұрандалар айналу аймағынан шығарылады. Квадрокоптерлерде төрт тұрақты винт бар. Әрбір бұранда өз қозғалтқышымен қозғалады. Бұрандалардың жартысы сағат тілімен, жартысы сағат тіліне қарсы айналады. Квадрокоптерлерді бұрандалардың айналу жылдамдығын өзгерту арқылы маневр жасалады. Микропроцессорлық жүйе радиобасқару командаларын қозғалтқыш командаларына аударады. Тұрақты бір орында тұруды қамтамасыз ету үшін мультироторлы дрондардың құрылғының орамасын бекітетін үш гироскоппен қамтамасыз етілуі керек. Көмекші құрал ретінде кейде акселерометр де пайдаланылады, оның деректері процессорға абсолютті көлденең позицияны орнатуға мүмкіндік береді және құрылғыны қажетті биіктікте бекітуге мүмкіндік беретін қысым датчигі. Датчиктер автоматты қону және төмен биіктікті сақтау, кедергілерді айналып өту үшін қолданылады.

Қазіргі заманғы мультикоптерлер энергия көзі ретінде электр қозғалтқыштары мен литий полимерлі батареяларды пайдаланады. Радио сигналының күшейткіштерін және бағытталған антенналар жүйесін қолданатын ұқсас жабдықтардың ең жақсы үлгілері 100 км қашықтықта тұрақты радио бақылау мен бейне роликті қамтамасыз ете алады. Мультикоптерлердің әрекет ету радиусына ең үлкен шектеу ұшу уақытын белгілейді. ҰҰА негізгі элементтерінің бірі, квадрокоптердің рамасы квадрокоптердің мақсатына байланысты таңдалады. Кішкентай дрондар акробаттар мен жарыстар үшін қолданылады, өйткені олар қатты және тұрақсыз. Керісінше, аэрофототүсірілім үшін үлкенірек дрондар қолданылады, өйткені олар тегіс ұшу кезінде тұрақты болады.

Бұрандалар аппараттың қажетті өнімділігі мен биіктігін алу үшін қозғалтқыштың жылдамдығына және тарту күші мөлшеріне байланысты таңдалады. Әрбір бұранда, ең болмағанда, кеңістікте бір орында тұру үшін қозғалтқыштың айналу диапазонында айналу кезінде аппараттың салмағының $\frac{1}{4}$ -не тең тарту күшін қамтамасыз етуі тиіс. Квадрокоптерде екі бұранда сағат тілімен, ал қалған екеуі бұрандалардың айналу нәтижесінде пайда болған моментті теңестіру үшін сағат тіліне қарсы бұрылады. Бұрандаларды диаметрі мен қадамы бойынша таңдауға болады, бұл ұзындығы мен бір айналымнан өткен қашықтықты білдіреді, әдетте дюйммен белгіленеді.

Квадрокоптер үшін щеткасыз тұрақты қозғалтқыштар (BLDC) қолданылады, өйткені олар щетка қозғалтқыштарына қарағанда көбірек момент береді және щетка қозғалтқыштары сияқты жиі техникалық қызмет көрсетуді қажет етпейді. BLDC-нің айналымына байланысты екі түрі бар: ішкі және сыртқы, сәйкесінше қозғалтқыштың ішкі және сыртқы айналмалы бөлігі. Кірістірілген бағыттағыштар сыртқы бағыттағыштармен салыстырғанда тезірек айналады, ал сыртқы бағыттағыштар көбірек момент береді, бұл оларды квадрокоптерлер үшін танымал етеді. Қозғалтқыштар әр түрлі номиналды кВ мәндерімен қол жетімді, бұл батареямен қамтамасыз етілген максималды кернеуге көбейтілген кезде қозғалтқыштың максималды жылдамдығын береді. Үлкен бұрандалар үшін төмен кернеулі қозғалтқыштар және жоғары кернеулі төрт кішкентай бұрандалар таңдалады.

Квадрокоптерде қолданылатын қозғалтқыштарды негізінен екі топқа бөлуге болады. Олар: ротордың орналасу датчиктерімен және датчиксіз. Көптеген аппараттарда датчиксіз қозғалтқыштар қолданады. Электрондық жылдамдықты реттегіштер (Э.Ж.Р.) бұл электр қозғалтқышының жылдамдығын басқаратын және реттейтін электрондық схема болып табылады. Ол қозғалтқыштың кері қозғалысын және динамикалық тежелуді қамтамасыз ете алады. Миниатюралық электрондық жылдамдық реттегіштері электр жетегі бар модельдерде қолданылады. (Э.Ж.Р.) қозғалтқыштар тұтынатын максималды ток негізінде таңдалады.

Жұмыс істеу принципі: батареядан кернеу және ұшу контроллерінен сигналдар ESC кірісіне беріледі, ал басқару жетегі басқару кернеуін шығысқа береді.

Электрондық жылдамдықты реттегіштертер BEC және UBEC екі түрге бөлінеді.

BEC (Battery Eliminator Circuit) – өзінің кіріктірілген кернеу тұрақтандырғышы бар реттегіш. Мұндай модельдің орташа қуаты-5В, ол қабылдағышты және квадрокоптердің көптеген басқа жабдықтарын қуатпен қамтамасыз етеді. BEC екі түрі болады: сызықтық (LBEC) және импульстік (SBEC).

– Сызықтық реттегіш энергияны жылуға айналдырады, қызып кеткен кезде ол өшеді;

– Импульстік жылдам қосу және өшіру арқылы кернеуді реттейді, бұл тәсіл қызып кетуді болдырмайды, шығыс қуатын арттырады және 90% тиімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді, сондай-ақ импульстік BEC сызықтық BEC-қа қарағанда салмақта жеңеді. UBEC universal BEC немесе кейде ultimate BEC деп аталады. Ол ESC- де кіріктірілген BEC болмаған кезде немесе автономды қуат жүйесі қажет болған кезде қолданылады. Реттегіштің бұл түрі тиімдірек, сенімді және BEC-ге қарағанда көбірек ток бере алады. UBEC негізгі мультикоптер батареясына тікелей қосылады [18].

Кез-келген ұшу аппараттарының, соның ішінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының негізгі сипаттамасы-ұшудың практикалық ауқымы. Бұл негізінен құрылғының энергетикалық қондырғысы сақтайтын энергия мөлшеріне байланысты. Квадрокоптерлер энергия қондырғыларының үш негізгі түрімен сипатталады:

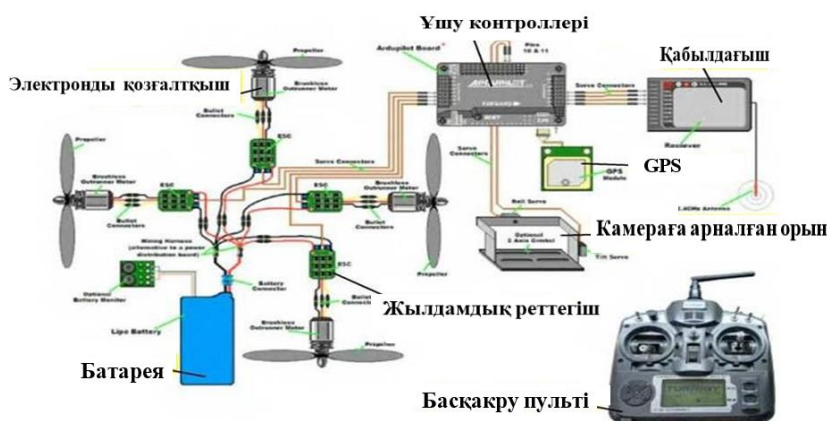
- Литий-полимерлі қайта зарядталатын батареялар;
- Отын элементтері;
- Ықшамды ІЖҚ және буферлік АKB базасындағы гибриді энергетикалық қондырғы.

Энергия көзі квадрокоптердің ұшуына, ұшу уақытына, жылдамдыққа және тартуға айтарлықтай әсер етеді. Қуатты батареяны таңдау жоғарыда аталған ұшу сипаттамаларын жақсартады. Алайда, таңдалған қозғалтқыштар үшін ұсынылған батареяларды пайдалану әрқашан маңызды, өйткені қуатты батареялар қозғалтқыштың қызып кетуіне әкеліп соғуы мүмкін, нәтижесінде оның өртенуіне әкеледі. Батарея квадрокоптер тұтынатын максималды ток негізінде таңдалады.

Таратқыш-бұл ұшқыш пен ұшқышсыз ұшу аппараттарының арасындағы байланыс әдісі. Таратқыш адам командаларын әртүрлі ұшу операциялары үшін көлік құралының сигналдарына айналдырады. Таратқышты таңдағанда, ең бастысы - арналардың саны. Қажетті тарату арналарының ең аз саны крен, тангаж, рыскания және ұшу бойынша негізгі операцияларды орындау қажет. Таратқыштар көбінде 4 арналы болып келеді және ол 2,4 GHz жиілігінде жұмыс істейді. Бірақ тарату арналар саны 7 немесе 10 болатын таратқыштарда болады [9].

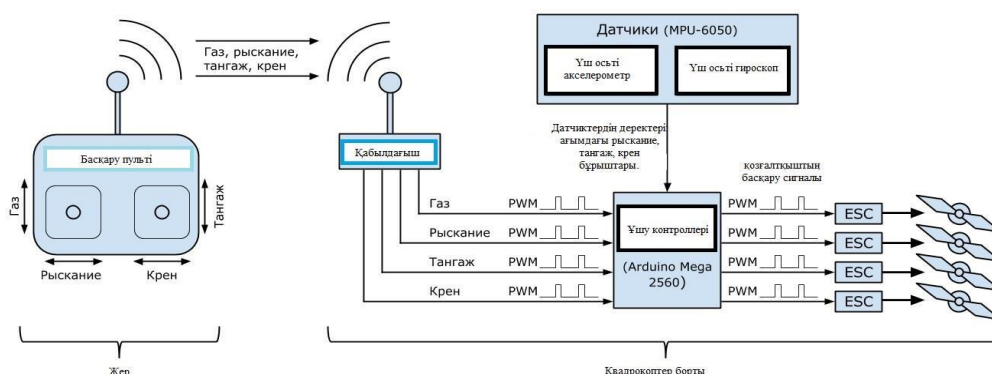
Барлық заманауи басқару жабдықтары 2,4 GHz жиілігінде жұмыс істейді.

Қабылдағыш таратқыштан радио сигналын қабылдайды және оны микроконтроллер үшін электр сигналына айналдырады. Арналардың саны мен түрі қабылдағышты таңдағанда ескеріледі. Ұшу контроллері квадрокоптердің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, ол көлік құралының миы болып саналады. Ұшу контроллері датчиктерден деректерді алады және әртүрлі маневрлерді орындау кезінде көлік құралының іс-қимылын басқару стратегиясында жасалған есептеулерді орындайды. Квадрокоптер бірнеше негізгі элементтерден тұрады, олардың көпшілігінсіз тұрақтандырылған ұшу мүмкін емес. Біріншіден, бұл барлық түсетін ақпаратты өңдейтін және оны қозғалтқыштар үшін сигналдарға түрлендіретін ұшу контроллері. Контроллер кіріс ақпаратты жиі импульстік ені модуляциясы бар цифрлық сигнал ретінде қабылдайды. Ауада толық бағдарлау үшін төрт арна жеткілікті: тарту күші, рыскание, тангаж және крен. Ұшу диспетчерлерінің кейбір үлгілері ұшу режимдерін пайдалану мүмкіндігін де қамтамасыз етеді – содан кейін кіріс сигналында қосымша арналар пайда болады. Бөлшектердің байланысуы сұлбасы 4-ші суретте көрсетілген.



Сурет 4 – Бөлшектердің байланысуы сұлбасы

Датчиктер тақтаның ауадағы орнын сипаттайтын контроллердің кірістеріне қосылған. Осы деректер негізінде контроллер шығыс сигналына автоматты түрде түзетулер енгізеді. Сигнал шығыста төрт бұранданың әрқайсысының жылдамдығына пропорционалды сәйкес кернеу мәндерін алатындай етіп өңделеді. Контроллердің шығысынан сигнал, сонымен қатар импульстік ені модуляцияланған, жоғары қуат сигналын басқаратын, оны тікелей қозғалтқыштың өзіне беретін PID реттегішіне өтеді.



Сурет 5 – Квадрокоптердің басқарылуының сұлбасы

Кез келген техникада ұшудың негізгі принциптері аэродинамикамен сипатталған және квадрокоптерлер де ерекшелік емес. Үш айналу осі квадрокоптердің кеңістіктегі қозғалысын және оның ұшу бағытын бір мәнді түрде белгілейді. Оның үстіне қозғалыс бағыты квадрокоптердің өзі ауада орналасуына байланысты емес. Квадрокоптердің басқарылуының сұлбасы 5-ші суретте көрсетілген.

Аппарат орнын кеңістіктегі үш координатамен оңай сипаттауға болады, бірақ аппаратты басқаруға қол жеткізу үшін біз кеңістіктегі оның бағытын да білуіміз керек. Ауадағы динамиканы (уақыт бойынша позиция және уақыт бойынша бағдар) сипаттау үшін біз аппарат денесіндегі барлық нүктелердің орнын сипаттауымыз керек, оны алты координатпен жасауға болады, алты деңгейлі қозғалыс бағыты (6-DOF) тұжырымдамасы (сурет 6). Квадрокоптердің қозғалысын теңдеулер тұрғысынан сипаттау үшін алты деңгейлі қозғалыс бағыты (6-DOF) ұғымының болуы өте маңызды. 6-DOF тұжырымдамасы аппарат орны мен бағытын үш өлшемде анықтайды (3D). Аппараттың динамикалық теңдеулері уақыт өте келе бағдар мен позицияның өзгеруін білдіреді. Біздің жағдайда жер тегіс, ауырлық күші тұрақты, масса центрі ауырлық центріне тең, ал квадрокоптердің дизайны қатал.

Тангаж құрылғының бойлық ось айналасында айналуы түсініледі, рыскание – тік осьтің айналасында, ал крен – бойлық ось. Егер тікұшақты ескерсек, онда оның негізгі бұрандасы тангаж және крен бұрышына әсер етеді, құйрық роторы айналу моментін өтейді, ал рыскание оның қаншалықты жылдам айналуына және қандай күйде болуына байланысты.

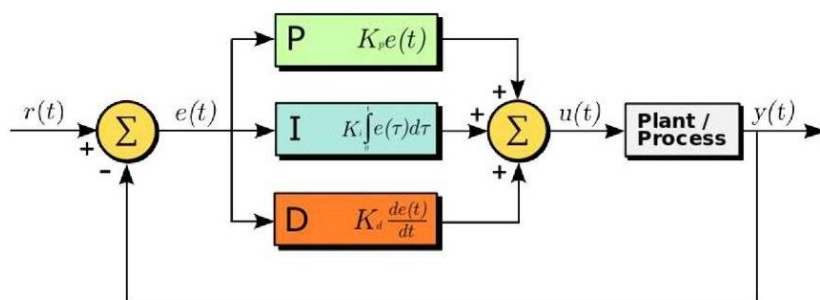
Төрт бұранда бар, олардың екеуі сағат тілімен, ал қалған екеуі қарама-қарсы бағытта айналады. Тиісінше, барлық квадрокоптер винттерінің айналу жылдамдығы бірдей болса, онда барлық параметрлер өтеледі. Квадрокоптердің винттерінің бірінің айналу жылдамдығының жоғарылауымен тепе-теңдік бұзылады. Бұл жағдайда кері айналу бағыты бар винттің жылдамдығы пропорционалды түрде азайса, онда рыскание өзгермейді, бірақ тангаж немесе крен өзгереді. Егер бір бағытта айналатын және басқаларына азайтылатын екі бұрандада бір уақытта айналымды арттырса, онда рыскание бұрышы өзгертіледі.

Квадрокоптердің қозғалтқыштарын, оның бұрандаларының айналу жылдамдығын басқару қашықтан басқару құралынан жүзеге асырылады, оның сигналы квадрокоптердің борттық компьютеріне түседі және оларға гироскоптан, акселерометрден және т.б. қажетті түзетулер қосылады. Квадрокоптерді жобалау және құру кезінде құрылғының массасы, оған орнатылған қозғалтқыштардың қуаты және басқа да бірқатар факторлар арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті табу үшін барлық қажетті есептеулер жүргізілуі керек.

ПИД реттеуіш -ұшу контроллерінен келетін сигнал тікелей қозғалтқышқа емес, кіріс сигналына сүйене отырып, қозғалтқышқа тиісті кернеу беретін PID реттегішіне беріледі. ПИД реттеу – квадрокоптерді басқару үшін қажетті технология болып табылады.

Зерттеу нәтижелері

Пропорционалды интегралдық дифференциалды басқару келесі схемамен ұсынылады (сурет 6):



Сурет 6 – ПИД-реттеуіштің принциптік схемасы

Process блогында басқару объектісінің сипаттамасы, схеманың орталық бөлігінде реттеушінің өзі ұсынылған, ол басқару объектісінен берілген сигналдың қате сигналын және өлшенген мәнді өңдейді.

Қорытынды. Мультиротор типті ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару жүйесін зерттеу және құрастыру қарастырылды. ҰҰА толықтай ақпарат беріліп, қазіргі таңдағы маңыздылығы анықталды. Басқару объектісі ретінде квадрокоптер алынды. ҰҰА зерттеп, олардың түрін ажыратып талдау және басқару объектісі квадрокоптердің құрлымын, жұмыс істеу принципі зерттелді және оның қозғалысына байланысты математикалық моделі жасалды. ҰҰА-ның

дизайны және формасына, жұмыс істеу принципіне байланысты мультироторлы, бекітілген қанатты, бір роторлы-ұшқышсыз тікұшақ, гибридті түрлері ажыратылды. ҰҰА-ның мультироторлы типі, соның ішінде квадрокоптердің құрлымы мен бөлшектері қарастырылды, олардың түрлеріне және құрлымына байланысты түсініктеме берілді. Жұмыс істеу принципіне талдау жасалды. Квадрокоптерді басқару негізінен жердегі оператор және борттық жүйе болып екі бөлікке бөлінеді бөлінеді. Жердегі оператор өзіне керекті биіктікті, бағытты таратқыш, яғни, басқару пульті арқылы ақпаратты квадрокоптерге береді. Таратқыштар көбінде 4 арналы болып келеді және ол 2,4 GHz жиілігінде жұмыс істейді. Кейбір таратқыштарда бұл арналардың саны 7 немесе 10-ға жетуі мүмкін. Борттық жүйедегі қабылдағыш ақпаратты қабылдап оны ҰК-ға берді. ҰК-і операторға керекті бағытқа бұрылу үшін әр қозғалтқышқа берілетін күштің, кернеудің, жылдамдықтың есептеулерін жасайды. Ал қозғалтқыштарға керекті жылдамдықты реттеу үшін электронды жылдамдықты реттегіш қолданылады. Әр қозғалтқыштың жылдамдығын өзгерту арқылы оның бағытын өзгертеміз. Квадрокоптердің ұшу бағытының өзгеріс түрлеріне бұрандалардың әсері, яғни, әр бұрандаға әсер ететін тарту күшінің әсерінен аппараттың бағытының өзгерісі анықталды. Аппараттың қозғалысының крен, рыскание, тангаж, төмен-жоғары, алдыға-артқа, оңға-солға 6 бағыты болады.

ПИД реттегіштің басқа реттеуіштерден айырмашылығы және артықшылығы көрсетілді. Жұмыс істеу принципі және теңдеуіне, оны Лаплас түрлендіруіне келтіру қарастырылды. Амплитудалық – жиіліктік және фазалық-жиіліктік сипаттамалары графигі көрсетілді.

Квадрокоптердің математикалық моделі, қозғалыс теңдеуі, ұшу динамикасының, аэродинамикалық және квадрокоптердің ұшуын басқаруға арналған кері байланысты басқару алгоритмінің математикалық моделі жасалып талданды. Ұшуын басқарудың моделі MATLAB Simulink ортасында жасалды. Модельде аппараттың оңға-солға, алдыға-артқа, төмен-жоғары және рыскание бұрышы бойынша қозғалысын басқаруға мүмкіндік болады. Нәтижелер жылдамдықтың, бұрыштардың және координаталардың уақытпен өзгеруі график түрінде алынды.

Әдебиеттер тізімі

1. Глазков Т.В. Отслеживание программного изменения углового положения квадрокоптера / Т.В. Глазков, А.Е. Голубев // Математика и математическое моделирование. – 2017. – № 5. – С. 15-28.
2. Автономный квадрокоптер с нуля [Электроды ресурс] URL: <http://habrahabr.ru/company/technoworks/blog/216437>.
3. Ефимов В. Програмируем квадрокоптер на Arduino (ч. 1). URL: <http://habrahabr.ru/post/227425>
4. <https://drongeeek.ru/novosti/obzor-luchshih-proizvoditeli-kvadrokoptero-v-mire>
5. Беспилотный_летательный_аппарат_(дрон,_БПЛА). – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>
6. <https://aviatest.aero/articles/typy-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-obzor>
7. <https://dronomania.ru/faq/chto-takoe-regulyator-oborotov.html>
8. <https://profpv.ru/apparatura-upravleniya-kvadrokoptero/>
9. Kyaw Myat Thu Analysis, Design and Implementation of Quadcopter Control System / Kyaw Myat Thu, A.I. Gavrilov // 2015 5th International Workshop on Computer Science and Engineering: Information Processing and Control Engineering, WCSE 2015-IPCE. – 2015. – April 15-17. – P. 277-283.
10. Метода Циглера-Николса. Режим доступа: http://www.engr.mun.ca/~nick/eng5951/Ziegler_Nichols.pdf.

References

1. Glazkov T.V. Otslezhivanie programmno izmeneniya uglovogo polozeniya kvadrokoptera / T.V. Glazkov, A.E. Golubev // Matematika i matematicheskoe modelirovanie. – 2017. – № 5. – S. 15-28.
2. Avtonomnyi kvadrokopter s nulya [Ehlektrody resurs] URL: <http://habrahabr.ru/company/technoworks/blog/216437>.

3. Efimov B. Programmiruem kvadrokopter na Arduino (ch. 1). URL: <http://habrahabr.ru/post/227425>
4. <https://drongeeek.ru/novosti/obzor-luchshih-proizvoditeli-kvadrokoptero- v-mire>
5. Bepilotnyi letatel'nyi apparat (dron, BPLA). – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>
6. <https://aviatest.aero/articles/typy-bepilotnykh-letatelnykhapparatovobzor>
7. <https://dronomania.ru/faq/chto-takoe-regulyator-oborotov.html>
8. <https://profpv.ru/apparatura-upravleniya-kvadrokoptero/>
9. Kyaw Myat Thu Analysis, Design and Implementation of Quadcopter Control System / Kyaw Myat Thu, A.I. Gavrilov // 2015 5th International Workshop on Computer Science and Engineering: Information Processing and Control Engineering, WCSE 2015-IPCE. – 2015. – April 15-17. – R. 277-283.
10. Metoda Tsiglera-Nikolsa. Rezhim dostupa: http://www.engr.mun.ca/~nick/eng5951/Ziegler_Nichols.pdf.

Ж.К. Абдугулова, М.Н.Тлеген*, Т.М. Төлеубеков
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
10000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2
e-mail: meruert-0202@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И СБОРКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА

Рассмотрено исследование и сборка системы управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа. БПЛА была полностью информирована и определена значимость на сегодняшний день. В качестве объекта управления был взят квадрокоптер. Исследованы БПЛА, различен их вид и составлена математическая модель объекта управления, принцип действия и движения квадрокоптера. В зависимости от конструкции и формы БПЛА, принципа действия были выделены мультироторные, с неподвижным крылом, однороторно-беспилотные вертолеты, гибридные типы. Был рассмотрен мультироторный тип БПЛА, в том числе конструкция и детали квадрокоптера, даны разъяснения в зависимости от их типа и конструкции. Проведен анализ принципа работы. Управление квадрокоптером в основном делится на две части: наземный оператор и бортовая система. Наземный оператор передает информацию на квадрокопты с помощью нужного ему высотного, направленного передатчика, то есть пульта управления. Передатчики большинство из них имеют 4 канала и работают на частоте 2,4 GHz. В некоторых передатчиках количество этих каналов может достигать 7 или 10. Приемник в бортовой системе принял информацию и передал ее в НК. НК производит расчеты силы, напряжения, скорости, подаваемой на каждый двигатель, для поворота в нужном оператору направлении. А электронный регулятор скорости используется для регулировки скорости, необходимой двигателям. Изменяя скорость каждого двигателя, мы меняем его направление. Установлено влияние винтов на типы изменения направления полета квадрокоптера, т.е. изменение направления аппарата под действием силы тяги, действующей на каждый винт. Движение аппарата имеет 6 направлений: крен, рыскание, тангаж, вниз-вверх, вперед-назад, вправо – влево.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, Мультикоптер, объект управления, Дрон.

J.K. Abdugulova, M.N.Tlegen*, T.M. Toleubekov
L.N. Gumilyov Eurasian National University
10000, Kazakhstan, Astana, Satpayev str., 2
e-mail: meruert-0202@mail.ru

RESEARCH AND ASSEMBLY OF A MULTIROTOR UNMANNED AERIAL VEHICLE CONTROL SYSTEM

The study and assembly of a control system for a multirotor unmanned aerial vehicle is considered. The UAV has been fully informed and its significance has been determined to date. A quadcopter was taken as the control object. UAVs have been studied, their type is different and a mathematical model of the control object, the principle of operation and movement of the quadcopter has been compiled. Depending on the design and shape of the UAV, the principle of operation, multirotor, fixed-wing, single-rotor unmanned helicopters, hybrid types were distinguished. The multirotor type of UAV was considered, including the design and details of the

quadcopter, explanations were given depending on their type and design. The analysis of the principle of operation is carried out.

The control of the quadcopter is mainly divided into two parts: the ground operator and the on-board system. The ground operator transmits information to the quadcopters using the high-altitude directional transmitter he needs, that is, the control panel. Most of them have 4 channels and operate at a frequency of 2.4 GHz. In some transmitters, the number of these channels can reach 7 or 10. The receiver in the on-board system received the information and transmitted it to the NC. NC calculates the force, voltage, and speed applied to each motor to turn in the direction desired by the operator. And the electronic speed controller is used to adjust the speed required by the engines. By changing the speed of each engine, we change its direction. The effect of screws on the types of changes in the direction of flight of a quadcopter, i.e., a change in the direction of the device under the influence of the thrust force acting on each screw, has been established.

The movement of the device has 6 directions: roll, yaw, pitch, down-up, forward-backward, right – left.

Key words: unmanned aerial vehicles, Multicopter, control object, Drone.

Авторлар туралы мәліметтер

Жанат Капаровна Абдугулова – экономика ғылымдарының кандидаты, доцент; Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.

Меруерт Нұрланқызы Тлеген – аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, e-mail: meruert-0202@mail.ru.

Талант Мейрашұлы Төлеубеков – аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.

Сведения об авторах

Жанат Капаровна Абдугулова – кандидат экономических наук, доцент; Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева.

Меруерт Нурлановна Тлеген – старший преподаватель, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, e-mail: meruert-0202@mail.ru.

Талант Мейрашович Төлеубеков – старший преподаватель, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева.

Information about the authors

Zhanat Kaparovna Abdugulova – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor; L.N. Gumilyov Eurasian National University.

Meruert Nurlanovna Tlegen – Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, e-mail: meruert-0202@mail.ru.

Talent Meyrashovich Toleubekov – Senior Lecturer, L.N. Gumilev Eurasian National University.

Редакцияға енуі 29.02.2024

Жариялауға қабылданды 04.04.2024