

ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫ БАСҚАРУҒА АРНАЛҒАН РАДИО СИГНАЛЫНЫҢ ТАРАЛУЫН ТАЛДАУ

Хабай А.¹, Тулешов Е.А.¹, Шадыманова А.А.², Оразалы Е.Е.¹, Байтурганова В.К.¹

¹Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.

²Ұлттық мемлекеттік ғылыми-техникалық сараптама орталығы, Алматы, Қазақстан.

Түйіндеме. Ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) өндірістік әр саласында сондай-ақ әртүрлі әскери қосымшалары мен азаматтық қосымшаларында үлкен қызығушылыққа ие. Ұшу аппараттарын жер станциялармен байланыструда, қолданылатын ақпарат алмасуға радиолық байланыс алгоритмін құрудың маңызы өте зор. Осы мақсатта бұл мақалада ұшу апаратын басқаруға арналған радио сигналының таралу, таралу жолындағы кедергілерді, қабылдау антенналарын арасындағы байланыстар негізінде нақты талдаулар ұсынылады.

Түйінді сөздер: сымсыз байланыс желілері, ұшқышсыз ұшу аппараттары, радио байланыс.

Кіріспе. Ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдануға болатын әртүрлілік пен шексіз қолдану салаларын ескере отырып, соңғы жылдары квадрокоптер (дрон) саласына деген қызығушылық экспоненциалды түрде өсті. Қазіргі уақытта дрондар, сондай-ақ ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) деп те аталады, азаматтық және әскери ортада кеңінен қолданылады, бұл инспекциялау, бақылау, картография және модельдеу қосымшалары үшін маңызды деректер көзі болып табылады [1-5]. Квадрокоптер мен жердегі басқарудың ұшу диспетчері мен жердегі жабдық арасында екі жақты ақпарат алмасуды радиобайланыс каналын мен қамтамасыз етеді [6]. Квадрокоптердың ұшуын, бағытын, телеметриялық ақпаратты беру борттық жабдықтың жұмысын басқару үшін командалық ақпаратты жіберу (фотосуреттер, теледидар бейнелері және т.б.), мақсатты жабдықтың көмегімен алынған ақпараттарды алуды жерден басқару көрсетілген [7]. Белгісіз орталарды картографиялау көптеген роторлы байланыс құралдарының нүктелік алгоритмін (ICP) қолдану көрсетілген [8-10].

Зерттеу әдістері. Ұшқышсыз ұшу апаратын басқаруға арналған радио сигналдың таралуы. Алайда, бұл жағдайларда квадрокоптерды адам басқарды. Массачусетс техноло-

гиялық институтының командасы кеңейтілген Калман сүзгісін, сондай-ақ Гаусс бөлшектері сүзгісін қолданып, лидерлік деректер мен нүктелік алгоритмін деректерін біріктіру арқылы әуе кемесін автономды ішкі басқаруға қол жеткізді [11-13]. Алайда, бұл жағдайда қоршаған орта алдын-ала картаға түсіріліп, алдын ала анықталған траекториялар қолданылды. Кешенді картаға түсіру және бақылау - бұл қазіргі кездегі зерттеу бағыты. Біз осы негізгі мәселерді талдай отырып, өзімізді автоматты басқарлытын квадрокоптердың жұмысын ұсынып отырмыз.

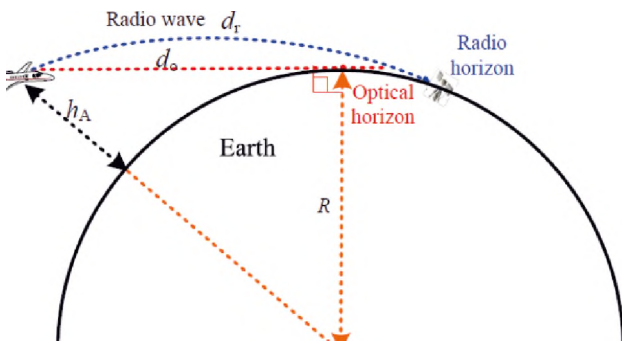
Зерттеу нәтижелері. Квадрокоптер және жердегі басқару станцияларды орналастырмас бұрын, біз пайдалану қашықтығын бағалауымыз керек. Атмосфералық қабаттардың сыну әсерін ескере отырып, d_0 сигналдың көлбеу таралун және оны $d_0 = \sqrt{2k_a R h}$ екендігіне көз жеткізуге болады. Қалыпты ауа-райы жағдайында жердің үштен бір $k_a = 4/3$ эффектін қарастыру керек, яғни, нақты радиотолқынның сыну негізінде жердің кеңейтілген радиусы $4/3R$ сипатталады (1-суретте көрсетілген). Формула ақпараттық-коммуникациялық технологиялары (ITU) бойынша

статистикалық өлшенген параметр бойынша калибрленген. Дәл осы қашықтықты Пифагор теоремасы арқылы Френельдің теңіз деңгейінен жоғары деңгейді басқару параметрлерне негізделіп алуға болады [14].

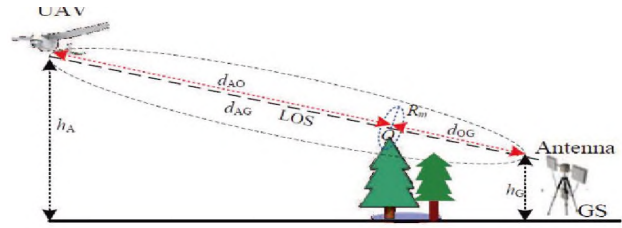
Бос кеңістікті жоғалту моделі таратқыш пен қабылдағыш арасында кедергісіз жолы болған кезде, яғни бірінші Френель аймағында объектілер болмаған кезде ғана жарамды. 2-суретте көрсетілгендей, бірінші Френель аймағы радиобайланыс жолындағы ең жоғары кедергі болуы керек минималды бөлуді анықтайды. Таралу жолының бойында берілген қашықтықтағы нүкте үшін бірінші Френель аймағының радиусы келесідей келтірілген:

$$R_m = \sqrt{\frac{\lambda d_{AO} d_{OG}}{d_{OG} + d_{AO}}} \quad (1)$$

мұндағы d_{AO} - О нүктесінің км-ге дейінгі арақашықтық, d_{OG} - О нүктесінің жер станциясынан қашықтығы. Мұнда $d_{AO} = d_{AG}$, $R_m \approx 8.656 \sqrt{d_{AG}/f}$ деп анықталады. Кедергі жоғалу траекториясына қарай қозғалған кезде сигналдың жоғалуы 6 дБ немесе одан да көп болады. Үздік талдаулар нәтижесінен алынған сигналдың сөнуіне жол бермеу үшін бірінші Френель зонасының радиусының кем дегенде 60%-дан асырмай ұстау қажет.



1-сурет. Радио сигналы таралу бойынша көжіек арақашықтығы



2-сурет. 2G байланысы үшін бірінші Френель аймағы

Радио сигналдардың өшу қуатын бағалау. Осы сигналдардың жоғалу негізінде шолу ретінде 1-кестені ұсынамыз. Берілген эквивалентті изотропты сәулелену қуаты (EIRP) күшейткіштің шығу қуаты мен антенналық күшейтудің қосындысына тең: $EIRP = G_T + P_T$ Содан кейін, қабылдағышта алынған қуат келесідей есептеледі:

$$P_R = G_T + P_T - L_T - L_F - L_R - L_A - L_O - G_R \quad (2)$$

L_F байланыс кезіндегі кеңестіктегі жоғалу. L_R – жаңбырдың әсерінен әлсіреуі. L_A - бұл су буының немесе құрғақ ауаның әсерінен тұратын атмосфераның газ тәрізді шығыны, ал L_O - басқа пайда болатын шығындар. L_T жоғары және төмен байланыс арналарындағы жалпы шығындар, мәселен қоректендіргішінің жоғалуы, антеннаның өшуі, поляризацияның сәйкес келмеуі, радиосигналдың жоғалуы, таратқыштың жоғалуы, қабылдағыштың бағытталуының жоғалуы және қабылдағыш кабелінің жоғалуынан т.б. L_F бос кеңістіктің дБ жоғалуы келесідей өрнектеледі:

$$L_F = 92.45 + 20 \log f + 20 \log d \quad (3)$$

Жауын-шашынның әсерінен бәсеңдеуі L_R – ді ITU-RP.838 [37] және [38] әдебиеттерде сипатталған, сол жерден қарауға болады. Әдетте [39] -де келтірілгендей, өте қатты жауын-шашын (100 мм/сағ) 5 ГГц-де 0,4 дБ/км әлсіреуін тудыруы мүмкін. Егер жаңбыр бүкіл сигнал жолында біркелкі болса, онда сигналдың таралуы мүмкін болмайды. Атмосфералық газдардың әсерінен дБ-дегі байланыстың әлсіреуі L_A (оттегі мен су буымен жұтылу) болып табылады;

$$L_A = \gamma_a d \quad (4)$$

Мұндағы Y_a дБ/км дегі әлсіреу, таралу жолына аздап қисайған кезде есептеледі. Төмен биіктік бұрыштары үшін температура 15°C , ауа қысымы $1,013$ гПа және стандартты атмосферадағы су буының тығыздығы $7,5$ г/м³ болады, 1000 МГц (960 МГц - 977 МГц) және 5000 МГц (5030 МГц - 5091 МГц), сәйкесінше Y_a әлсіреу $5.4 \cdot 10^{-3}$ дБ/км және $7.4 \cdot 10^{-3}$ дБ/км -ге тең. Таралу жолының әр түрлі болуы, көлеңкелеу, сәуленің таралуындағы қабатталулар салдарынан болатын L_o жоғалуын уақыттың аз пайыздық әдісі арқылы зерттеуге

болады [38]. Сигналдың сөнуінін келесі бөлімде жолдың жоғалуымен бірге зерттеледі.

Антеннаның қабылдауындағы шу температурасы T_A және T_R болып орнатылады, нәтижесінде $T_N = T_A + T_R$ эквивалентті шу температурасы пайда болады. Шудың қуатын келесідей есептеуге болады:

$$P_N = k(T_A + T_R)B_N + F_N \quad (5)$$

Мұндағы $k = -228,6$ дБВт/К Гц - Больцманның тұрақтысы, F_N төменгі байланыс шуының көрсеткіші.

1-кесте. Квадрокоптр ұшуын бағалауға арналған параметрлер

Параметрлері	белгіленуі	Өлшем бірлігі
Тасымалдағыш жиілігі	f	ГГц
Өткізу қабілеті	B_N	МГц
Қашықтық	d	км
T_x қуаты	P_T	дБм
T_x антеннасының пайдалық әсек кфицент	G_T	дБи
$EIRP = G_T + P_T$	$EIRP$	дБм
фидерлік және кабельді	L_{tf}	дБ
Антенна осінен тыс	L_{oa}	дБ
Ағынның жоғалуы	L_{ra}	дБ
Поляризацияның сәйкес келмеуі	L_{pm}	дБ
Көрсетілген шығын	L_{pt}	дБ
R_x фидері мен кабелі	L_{rf}	дБ
Іске асырудың жоғалуы	L_{im}	дБ
Жалпы шығындар	L_T	дБ
Бос кеңістікті жоғалту	L_F	дБ
Жаңбырдың әлсіретуі	L_R	дБ
Атмосфералық газдар	L_A	дБ
Басқа шығындар	L_O	дБ
R_x антеннасының пайдасы	G_R	дБи
R_x қуаты	P_R	дБм
Антеннаның шуы	T_A	К
R_x іу	T_R	К
Жылулық шу $T_N = T_A + T_R$	T_N	К
Шу фигурасы	F_N	дБ
Шу қуаты	P_N	дБм
$\frac{C}{N} = P_R - P_N$	C/N	дБ
Қабылдағыштың сезімталдығы	P_S	дБм
Шектері	P_m	дБ

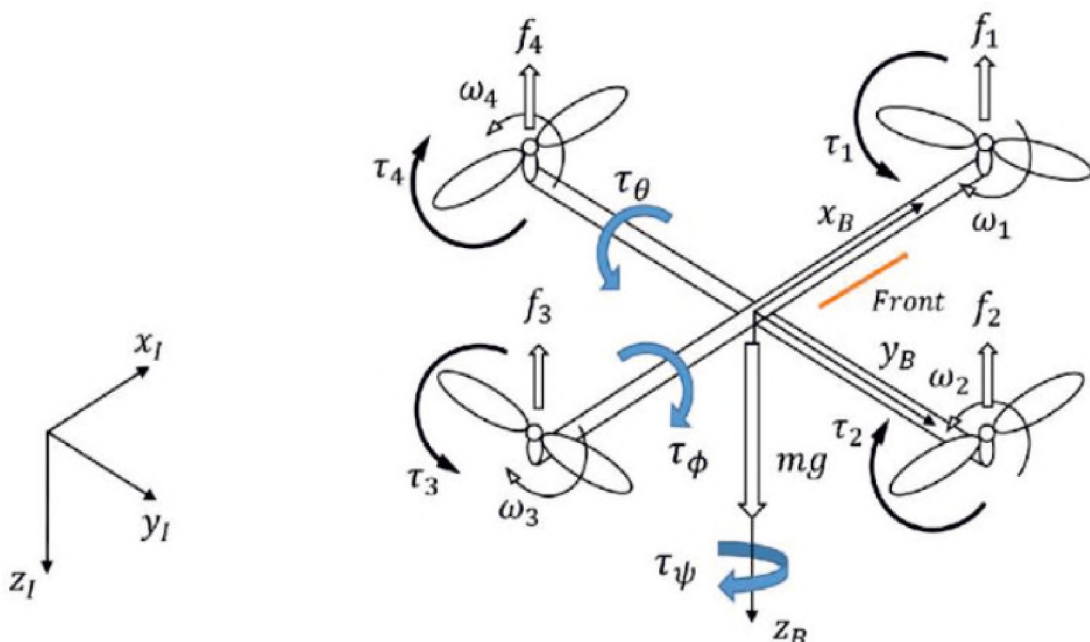
Ақырында, біз L_0 сигналының өшу шамасын ескере отырып, шудың қуатқа қатынасын $\frac{L}{N} = P_R - P_N$ анықтаймыз. P_R алынған қуатты P_S қабылдағыштың сезімталдығымен салыстыруға болады P_M ұшу шамасын бағалау үшін. Сонымен қатар ұшу аппаратының роторлары үшін C/N сызықтық мәнін тағайындалады. Тағайындалған түйінде әр түрлі екі дәйекті сілтемелерден кейін алынған мән γ_1 және γ_2 ретінде есептелуі керек.

$$\frac{C}{T} = \gamma_1 \gamma_2 / (\gamma_1 + \gamma_2)$$

(6)

салыстырғанда, әуе құралдарын басқару каналдары көбінесе дисперсиялы болады, жер үсті көлеңкесінің әсерінен әлсіреуге ұшырайды және тез өзгереді. Арналық факторларға тікелей жоғалу жолымен бірге шағылысу, шашырау, дифракция және көлеңкелеу әсерлері жатады.

Қабылдау шағылысуы антеннасының негізгі жапырақшасы жерді «көре» алатындай биіктік бұрышы төмен болған кезде пайда болады. Шашырау шағылыстың тағы бір түрі ретінде белгілі ол атмосферада немесе өте өрескел объектілерден шағылыста пайда болуы мүмкін [15]. Көлеңкелер ғимарат,



Сурет 3 – Квадрокоптердың ұшу сипаттамасы, бағыт алу күйлері

Жоғарыдағы көрсетілген мәліметтерге сүйене отырып, біз әуедегі байланыс арнасының сипаттамаларын шамамен екі түрге бөле аламыз: қашықтыққа байланысты сигналдың ғимараттар мен төбешіктер сияқты ірі объектілердің көлеңкеленуінен жоғалтуынан туындайтын ауқымды сөнуі.

Таратқыш пен қабылдағыш арасындағы бірнеше сигнал жолдарының сындарлы және деструктивті араласуынан пайда болатын кішігірім сөну. Көп бағытты жоғалту әуе кемесінің өзінен де туындауы мүмкін, ал олар әдетте әлсіз және салыстырмалы түрде кешігуі мүмкін.

Ұялы байланыс сымсыз арнасымен

рельеф немесе ағаштар сияқты жер бетіндегі кедергілерге байланысты болуы мүмкін, бірақ ұшу маневрлері кезінде ұшақтың өзінен де болуы мүмкін.

Қорытынды. Ұшақсыз ұшу аппаратын басқаруға арналған радио сигналдың таралу барысындағы негізгі мәселелерді талдай отырып, өзіміздің автоматты басқарылатын квадрокоптердың жұмысын ұсыну. Квадрокоптер және жердегі басқару станциялардың орнын, олардың пайдалану қашықтығын бағаладық. Қашықтыққа байланысты ғимараттар мен төбешіктер сияқты ірі объектілердің көлеңкеленуінен радио сигналдардың өшу қуаты бағаланды. маневрлері кезінде ұшақтың өзінен де болуы мүмкін.

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 L. Gupta, R. Jain, and G. Vaszkun, "Survey of important issues in UAV communication networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1123–1152, 2016.
- 2 M. Khan, K. Heurtefeux, A. Mohamed, K. A. Harras, and M. M. Hassan, "Mobile target coverage and tracking on drone-be-gone UAV cyberphysical testbed," IEEE Systems Journal, vol. 12, no. 4, pp. 3485 – 3496, 2017
- 3 J. A. Kakar, "UAV communications: Spectral requirements, MAV and SUAV channel modeling, OFDM waveform parameters, performance and spectrum management," Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2015.
- 4 J. A. Volpe, "Unmanned aircraft system (UAS) service demand 2015-2035," U.S. Department of transportation, Report, 2014
- 5 K. Namuduri, S. Chaumette, J. H. Kim, and J. P. Sterbenz, UAV Networks and Communications. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2018.
- 6 C. Yan, J. Wang, L. Fu, C. Jiang, M. Chen, and Y. Ren, "Timing synchronization and ranging in networked UAV-aided OFDM systems," Journal of Communications and Information Networks, vol. 3, no. 4, pp. 45–54, 2018.
- 7 D. H. Lyon, "A military perspective on small unmanned aerial vehicles," IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, vol. 7, no. 3, pp. 27–31, 2014.
- 8 R. Jain and F. Templin, "Requirements, challenges and analysis of alternatives for wireless datalinks for unmanned aircraft systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 30, no. 5, pp. 852–860, May 2012.
- 9 J. Zhang, T. Chen, S. Zhong, J. Wang, W. Zhang, X. Zuo, R. Maunder, and L. Hanzo, "Aeronautical ad-hoc networking for the Internet-above-the- clouds," Proceedings of the IEEE, vol. 107, no. 5, pp. 868–911, 2019.
- 10 P. Bello, "Aeronautical channel characterization," IEEE Transactions on Communications, vol. 21, no. 5, pp. 548–563, 1973.
- 11 R. Jain and F. Templin, "Requirements, challenges and analysis of alternatives for wireless datalinks for unmanned aircraft systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 30, no. 5, pp. 852–860, May 2012.
- 12 G. Bartoli, R. Fantacci, and D. Marabissi, "AeroMACS: A new perspective for mobile airport communications and services," IEEE Wireless Communications, vol. 20, no. 6, pp. 44–50, 2013.
- 13 D. W. Matolak and R. Sun, "Air-ground channel characterization for unmanned aircraft systems - Part I: Methods, measurements, and models for over-water settings," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 66, no. 1, pp. 26–44, 2017.
- 14 J. Haque, "An OFDM based aeronautical communication system," Thesis, University of South Florida, 2011.
- 15 D. Tse and P. Viswanath, Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge University Press, 2005.

**Хабай А., Тулешов Е.А., Шадыманова А.А., Оразалы Е.Е., Байтурганова В.К.
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ
ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**

Аннотация. Большое значение имеет создание алгоритма радиосвязи для связи летных аппаратов с наземными станциями и обмена информацией. С этой целью в данной статье проведен анализ помех на пути распространения и распространения радиосигнала для управления полетом.

Ключевые слова: беспроводные сети связи, беспилотные летательные аппараты, радиосвязь.

**Khabay A., Tuleshov Y.A., Shadymanova A.A., Orazaly Y.Y., Bayturganova V.K.
ANALYSIS OF THE RADIO SIGNAL DISTRIBUTION FOR CONTROLLING UNMANNED AERIAL
VEHICLES**

Abstract. It is of great importance to create a radio communication algorithm for the communication of flight units with ground stations and the exchange of information. To this end, this article analyzes the interference in the path of propagation and propagation of the radio signal for flight control.

Keywords: wireless communication networks, unmanned aerial vehicles, radio communications.

Сведения об авторах

Хабай Анар, PhD, профессор-ассистенті, a.khabay@satbayev.university:

Тулешов Еркебулан Амандықұлы, т.ғ.к., қауымдасқан профессоры, y.tuleshov@satbayev.university:

Шадыманова Ажар Амандыққызы, PhD, ақпарат және талдау бөлімінің expertі, a.shadymanova@inti.kz:

Оразалы Еркін Ермеқұлы, телекоммуникация магистрі, orazaly1988@gmail.com.

Байтурганова Винера Канапияевна, лектор, v.baiturganova@satbayev.university.