

**Е. С. ВИТУЛЁВА^{1*}, Қ. Н. ҚАДЫРЖАН², А. Б. ҚАДЫРЖАН²,
Д. Б. ШАЛТЫКОВА³, И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ³**

¹ *эл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Ақпараттық-ғарыштық технологияларды ұжымдық пайдаланудың ұлттық ғылыми зертханасы Satbayev University, Алматы, Қазақстан;*

² *Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан;*

³ *Қазақстан Республикасының Ұлттық Инженерлік академиясы, Алматы, Қазақстан.*

**E-mail: Lizavita@list.ru*

РАДИОДИАПАЗОНДАҒЫ БЕТКІ ҚАБАТ АСТЫНДАҒЫ ОБЪЕКТІЛЕРДІ ДИАГНОСТИКАЛАУ ҮШІН ДРОН ТОПТАРЫН ҚОЛДАНУ

Витулева Елизавета Сергеевна – эл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің аға ғылыми қызметкері, ақпараттық және ғарыштық технологияларды ұжымдық пайдалану Ұлттық ғылыми зертханасының ғылыми қызметкері, Satbayev University, Алматы, Қазақстан;

E-mail: Lizavita@list.ru; Orcid ID 0000-0002-6075-4870

Қадыржан Қайсарәлі Нұрланұлы – Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университетінің коммуникациялық және ғарыштық инженерия институтының «электрондық инженерия» кафедрасының докторанты, оқытушысы, Алматы, Қазақстан;

E-mail: kaisarali1997ss@gmail.com; ORCID ID 0000-0002-9299-8933

Қадыржан Аружан Болатқызы – Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университетінің коммуникациялық және ғарыштық инженерия институтының «Ғарыштық инженерия» кафедрасының докторанты, оқытушысы, Алматы, Қазақстан;

E-mail: aru.kadyrzhan@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-1082-6696

Шалтыкова Дина Бернарвна – химия ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы Ұлттық Инженерлік академиясының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан;

E-mail: haltykova.d@mail.ru; ORCID 0000-0002-6245-6447

Сүлейменов Ибрагим Есенұлы – химия ғылымдарының докторы, физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, академик және Қазақстан Республикасы Ұлттық Инженерлік академиясының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан.

E-mail: esenych@yandex.kz; Orcid ID 0000-0002-7274-029X

Күрделі пішінді денелер болып табылатын объектілердің диагностикасы олардың осындай объектілердің (соның ішінде беткі қабат астындағы) шекараларын параболоидтар жиынтығы түрінде көрсетуге негізделуі мүмкін. Мұндай параболоидтардың спецификалық геометриялық сипаттамаларын анықтау бөлінген линзаның жасанды синтезі арқылы қамтамасыз етілетіні, оның

жекелеген элементтері жеке ұшқышсыз ұшу аппараттарына орналастырылатыны көрсетілген. Техникалық тұрғыдан линзаның синтезі фазалық ауыстырғыштардың көмегімен жүзеге асырылатын радиожиілік сәулелену фазасын өзгерту арқылы жүзеге асырылады. Әдіс тиімді оптикалық қуатты және оның кеңістіктегі бағдарын реттеу арқылы зерттелетін объектіні сканерлеу арқылы жүзеге асырылады. Ұсынылған әдісті қолданудың болашағын дәлелдейтін үлгілік есептеулер ұсынылған. Ұсынылған тәсілді жүзеге асыруды қамтамасыз ететін радиоэлектрондық тізбектердің нақты мысалдары келтірілген. Пайдаланылатын фаза айналғыштардың ерекшелігі бөлінген линзаның әрбір элементіне келетін сигнал фазасын алдын ала анықтау және антифазадағы гармоникалық сигналдардың салмақты қосындысына байланысты қосымша фазалық айырмашылықты кейіннен енгізу болып табылады.

Түйін сөздер: ұшқышсыз ұшатын аппараттар, беткі қабат астындағы объектілері, сәулелені түрлендіргіштері, линзалар, сканерлеу, фаза айналдырғыштар, фазалар айырымы.

**Е. С. ВИТУЛЁВА¹*, Қ. Н. ҚАДЫРЖАН², А. Б. ҚАДЫРЖАН²,
Д. Б. ШАЛТЫКОВА³, И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ³**

*¹Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби,
Национальная научная лаборатория коллективного пользования информационных
и космических технологий, Satbayev University, Алматы, Казахстан;*

*²Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
Алматы, Казахстан;*

³Национальная Инженерная Академия Республики Казахстан, Алматы, Казахстан.

**E-mail: Lizavita@list.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ГРУПП ДРОНОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ В РАДИОДИАПАЗОНЕ

Витулёва Елизавета Сергеевна – старший научный сотрудник Казахского национального университета им. аль-Фараби, научный сотрудник Национальной научной лаборатории коллективного пользования информационных и космических технологий, Satbayev University, Алматы, Казахстан;

E-mail: Lizavita@list.ru; Orcid ID 0000-0002-6075-4870

Кадыржан Кайсарали Нурланович – докторант, преподаватель кафедры «Электронная инженерия» Института коммуникационной и космической инженерии Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан;

E-mail: kaisarali1997ss@gmail.com; ORCID ID 0000-0002-9299-8933

Кадыржан Аружан Булатовна – докторант, преподаватель кафедры «Космической инженерии» Института коммуникационной и космической инженерии Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан;

E-mail: aru.kadyrzhan@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-1082-6696

Шалтыкова Дина Бернардовна – кандидат химических наук, главный научный сотрудник Национальной инженерной академии РК, Алматы, Казахстан;

E-mail: haltykova.d@mail.ru; ORCID 0000-0002-6245-6447

Сулейменов Ибрагим Эсенович – доктор химических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, академик и главный научный сотрудник Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

E-mail: esenych@yandex.kz; Orcid ID 0000-0002-7274-029X

Диагностика объектов, представляющих собой тела сложной формы, может быть основана на представлении их границ таких объектов (в том числе, подповерхностных) в виде совокупности параболоидов. Показано, что определение конкретных геометрических характеристик таких параболоидов обеспечивается через искусственный синтез распределенной линзы, отдельные элементы которой размещаются на отдельных беспилотных летательных аппаратах. Технически, синтез линзы обеспечивается за счет изменения фазы излучения радиодиапазона, осуществляемого при помощи фазовращателей. Метод реализуется через сканирование исследуемого объекта при помощи перестройки эффективной оптической силы и ее ориентации в пространстве. Представлены модельные расчеты, доказывающие перспективность использования предложенного метода. Представлены конкретные примеры радиоэлектронных схем, обеспечивающих реализацию предлагаемого подхода. Особенностью используемых фазовращателей является предварительное детектирование фазы сигнала, поступающего на каждый из элементов распределенной линзы, и последующим внесением дополнительной разности фаз за счет взвешенного суммирования гармонических сигналов, находящихся в противофазе.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, подповерхностные объекты, преобразователи излучения, линзы, сканирование, фазовращатели, разность фаз.

**YE. S. VITULYOVA^{1*}, K. N. KADYRZHAN², A. B. KADYRZHAN²,
D. B. SHALTYKOVA³, I. E. SULEIMENOV³**

¹*al-Farabi Kazakh National University, National scientific laboratory for the collective use of information and space technologies, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;*

²*Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan;*

³*National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan.*

**E-mail: Lizavita@list.ru*

THE USE OF GROUPS OF DRONES FOR DIAGNOSTICS OF SUBSURFACE OBJECTS IN THE RADIO RANGE

Vitulyova Yelizaveta – senior researcher, al-Farabi Kazakh National University, researcher, National Scientific Laboratory for Collective Use of Information and Space Technologies, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;

E-mail: Lizavita@list.ru; Orcid ID 0000-0002-6075-4870

Kadyrzhan Kaisarali – PhD student, lecturer of “Electronic Engineering” Department, Institute of Communication and Space Engineering, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan;

E-mail: kaisarali1997ss@gmail.com; ORCID ID 0000-0002-9299-8933

Kadyrzhan Aruzhan – PhD student, lecturer of “Space Engineering” Department, Institute of Communication and Space Engineering, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan;

E-mail: aru.kadyrzhan@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-1082-6696

Shaltykova Dina – Candidate of Chemical Sciences, Chief Scientific Associate, National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan;

E-mail: haltykova.d@mail.ru; ORCID 0000-0002-6245-6447

Suleimenov Ibragim – doctor of chemical sciences, candidate of physical and mathematical sciences, professor, academician and chief scientific officer of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: esenykh@yandex.kz; Orcid ID 0000-0002-7274-029X

Diagnostics of objects that are bodies of complex shape can be based on representing their boundaries of such objects (including subsurface ones) in the form of a set of paraboloids. It is shown that the determination of specific geometric characteristics of such paraboloids is ensured through the artificial synthesis of a distributed lens, the individual elements of which are placed on individual unmanned aerial vehicles. Technically, lens synthesis is achieved by changing the phase of radio frequency radiation, carried out using phase shifters. The method is implemented through scanning the object under study by adjusting the effective optical power and its orientation in space. Model calculations are presented that prove the prospects of using the proposed method. Specific examples of radio-electronic circuits that ensure the implementation of the proposed approach are presented. A feature of the phase shifters used is the preliminary detection of the phase of the signal arriving at each of the elements of the distributed lens, and the subsequent introduction of an additional phase difference due to the weighted summation of harmonic signals that are in antiphase.

Keywords: *unmanned aerial vehicles, subsurface objects, radiation converters, lenses, scanning, phase shifters, phase difference.*

Радио диапазондағы толқындарды өткізетін күрделі пішінді объектілерді диагностикалау, қазіргі кезеңдегі әскери қақтығыстар сипатының өзгеруіне байланысты барған сайын өзекті мәселеге айналуда. 2023 жылдың қазан айында Газа секторындағы қақтығыстар көрсеткендей, инженерлік технологияны жетілдіру, сондай-ақ прокси соғыстар форматына көшу жерасты құрылыстарының күрделі жүйелерінің пайда болуына әкеледі. Бұл басқалармен қатар, радиоголография әдістерін қолдана отырып, беткі қабат астындағы объектілерді диагностикалау мәселесін өзектендіреді [1,2].

Сонымен бірге, ұшқышсыз ұшатын аппараттарды (ҰҰА) қолдану тактикасының жетілдірілуі [3,4] оларды топтық пайдалану режимі туралы мәселені өзекті етеді [5,6]. Бұл тенденцияның дамуының логикалық салдары жеке физикалық құрамдас бөліктер арасындағы сигналдар алмасуының арқасында жүйелік тұтастық ретінде қызмет ететін жауынгерлік нейрондық желілерді (ЖНЖ) құру болып табылады [7-9].

Бұл жұмыс ұшқышсыз ұшу аппараттарын беткі қабат астындағы объектілерді диагностикалау үшін де қолдануға болатынын көрсетеді, бұл барлау құралдары ретінде ЖНЖ мүмкіндіктерін айтарлықтай кеңейтеді.

Түсінікті болу үшін біз беткі қабат астындағы объектінің ең қарапайым жағдайын қарастырамыз, яғни. нақты шекаралары бар нысан. Радиотолқындардың таралуына қатысты мұндай шекаралар сәулеленудің сынуы орын алатын беттерге айналады. Сыну эффектісі Френельдің іргелі формулаларынан туындайтын шағылысу эффектілерімен қатар жүруі маңызды, олар да заманауи практикалық қолдануды табады [10].

Қарастырылып отырған қарапайым жағдайдың да барлау құралы ретінде ұшқышсыз ұшу аппараттары топтарының нақты қолданылуына сәйкес болуы маңызды,

өйткені жасанды жер қойнауының құрылымдары (блиндаждар және т.б.) жоғарыда тұжырымдалған критерийді анық қанағаттандырады.

Күрделі пішінді шағылыстыратын бетті параболоидтар/сфералар жиынтығымен жуықтауға болады [11,12]. Тиісінше, қарастырылатын типтегі объектілердің диагностикасы параболоидтарды жақындату сипаттамаларын орнатуға дейін қысқарады.

Ұсынылған әдістеме зерттелетін объектіні жеке параболалық рефлекторларға «бөлу» тұрғысынан сканерлеуге негізделген.

Бұл техниканың негізі ұшқышсыз ұшу аппараттары тобының көмегімен синтезделген радиолинза болып табылады. Ақпаратты қорғауға арналған радио линза біздің жұмысымызда бұрын қарастырылған болатын [13]. Ұсынылған тәсілдің айырмашылығы мынада: қолданылатын радиолинза толығымен монохроматикалық сәулелену фазасын өзгертуге бағытталған, өйткені мұндай зерттеуді ақпаратты тасымалдайтын сол немесе басқа сигналмен модуляцияланған тасымалдаушы толқындар түрінде пайдаланудың қажеті жоқ.

Қарастырылып отырған типтегі радиолинзаны жүзеге асыратын сұлба фазалық ауыстырғыштар негізінде құрастырылған.

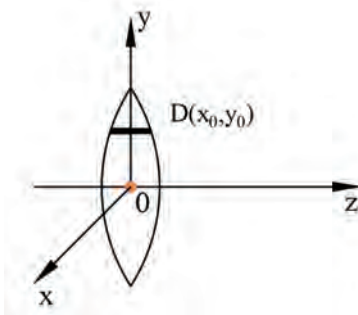
Бұл линза кәдімгі (оптикалық) линзаның жұмысына еліктейді, бірақ [14] жасалған қорытындыларды ескере отырып. Дәлірек айтқанда, келтірілген жұмыс материалдарынан нақты линзаның орнына нүктелік түрлендіргіштер жиынтығын қолдануға болатыны шығады.

Түсінікті болу үшін классикалық Фурье оптикасының [15] шеңберінде жұқа оптикалық линза сияқты элементтердің жұмысы (параксиалды жуықтауда) өрістің таралуын фазалық ығысуды енгізетін беру функциясына көбейту арқылы сипатталғанын атап өтеміз.

$$u(x, y) = \exp[ikD(x, y)] u_0(x, y) \quad (1)$$

мұнда $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – толқындық сан, $D(x, y)$ – оптикалық қалыңдық функциясы.

Оптикалық қалыңдық функциясы (1-сурет) координаталары (x, y) нүктедегі біртекті материалдан жасалған элементтің қалыңдығына сандық түрде тең, яғни. бұл (x, y) нүктесі арқылы өтетін және оптикалық оське перпендикуляр түзу бойында жатқан элементтің ішінде жатқан кесіндінің ұзындығы.



1-сурет – Оптикалық қалыңдық функциясын анықтауға қарай [13,15]

Линза үшін бұл функцияны былай жазуға болады [32]

$$D(x, y) = a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2 + b_1x + b_2y \quad (2)$$

Бұл формулада a_{ij} линзаның пішінін, ал b_i коэффициенті оның кеңістіктегі бағдарын анықтайды [16].

(1) формуладан оның дискретті аналогына өтуге рұқсат етіледі [13]

$$u_{out,i,j} = \exp[ikD_{i,j}] u_{in,i,j} \quad (3)$$

Біз [13]-ден қорытындысынан, (3) формуланың нақты болатын жағдайлары бар екенін атап өтеміз.

Бұл формула жеке элементтер өрістің таралуына фазалық ығысуды енгізетін жағдайға сәйкес келеді.

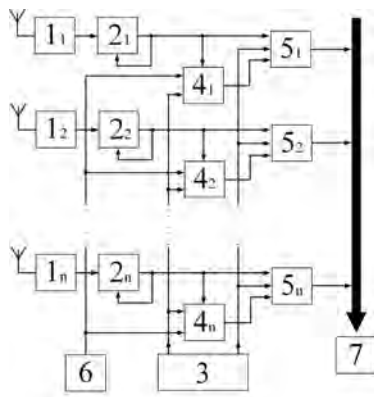
Демек, тербеліс фазасының бақыланатын өзгеруін қамтамасыз ететін құрылғыларды орналастыра отырып, қаралып отырған типтегі линзаларды синтездеу үшін ұшқышсыз ұшу аппараттарының топтарын қолдануға болады.

Төменде талқыланатын тізбекте қолданылатын фаза айналдырғыштардың бір-біріне қатысты $\pi/2$ -ге әр түрлі салмақпен ығысқан екі гармоникалық тербелістің қосындысы негізінде құрастырылған. Іс жүзінде келесі тригонометриялық формула қолданылады

$$\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}} \sin(\omega t) + \frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}} \cos(\omega t) = \sin(\omega t + \varphi) \quad (4)$$

мұнда $\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}} = \cos \varphi$

Қарастырылып отырған типтегі радиоголографиялық линзаның құрылымдық сұлбасы 2-суретте көрсетілген. Сұлба келесідей жұмыс істейді.



2-сурет – Тригонометриялық фаза айналдырғыштарға негізделген таратылған радиолинзаның құрылымдық сұлбасы.

Зерттелетін радиотолқын кеңістікте бір-бірінен алшақ орналасқан қабылдағыштардың (1к) жиынтығына келеді. Сәйкесінше, гармоникалық сигналдар қабылдағыш-

тардың шығыстарында пайда болады, фаза бойынша бір-біріне қатысты ығысады. Бұл сигналдар күшейтуді автоматты басқарудың (КАБ) (2_к) элементтеріне беріледі. Бұл элементтер сигналдардың амплитудасын жүйенің адекватты жұмысы үшін қажетті калибрленген мәнге жеткізуді қамтамасыз етеді.

КАБ элементтерінен алынған сигналдар, сондай-ақ эталондық осциллятордан (3) алынған сигналдар эталондық осциллятордан келетін сигналдар мен сигналдардан алынатын салмақтарды белгілейтін есептеу (4_к) элементтеріне беріледі. КАБ элементтерінің шығыстары жинақталады. Қосындылау (5_к) фаза айналдырғыштары орындалады, олар да (4_к) есептеу элементтерінен сигналдарды қабылдайды. (4_к) Есептеу элементтері сонымен қатар КАБ элементтерінің әрқайсысының шығыстарынан алынған сигналдарды қай фазаға ауыстыру керектігін анықтайтын негізгі басқару элементінен (6) сигналдарды қабылдайды. Фазалық ауыстырғыштардың шығыстарынан алынған сигналдар блок (7) арқылы жинақталады.

(4_к) Есептеу элементтерінің блок-схемасы (4к) 3-суретте көрсетілген.

Бұл схема микроконтроллерден және КАБ элементтерінің шығысынан алынған сигнал мен эталондық осциллятордан (3) алынған сигнал арасындағы фазалар айырмашылығын анықтауыштан тұрады.

Қарастырылып отырған есептеу элементтерін пайдалану қажеттілігі КАБ элементінің шығысынан алынған сигналдың φ_i белгісіз фазасына (эталондық осциллятордан алынған сигналға қатысты) ие болуына байланысты.

Жалпы жүйенің мақсаты φ_i фазасын берілген $\Delta\varphi_i$ мәніне өзгерту, яғни 9-суретте көрсетілген әрбір арна келесі әрекетті орындауы керек

$$\varphi_i \rightarrow \varphi_i + \Delta\varphi_i \quad (5)$$

мұндағы $\Delta\varphi_i$ – белгілі бір қабылдағыштың кеңістіктегі орналасуына байланысты қосымша енгізуді қажет ететін фазалық ығысу.

КАБ-дан алынған тербелісті келесі формуламен көрсетуге болады

$$U_1 = A_0 \sin(\omega t + \varphi_i) = A_0 \cos(\varphi_i) \sin(\omega t) + A_0 \sin(\varphi_i) \cos(\omega t) \quad (6)$$

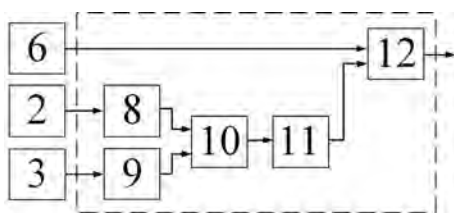
Белгілі бір салмақпен алынған бұл сигналды жиынтықтағанда, эталондық осциллятордан алынған $U_2 = A_2 \sin(\omega t)$ сигналымен тербелісі келесі түрі пайда болады

$$U_2 = [A_1 \cos(\varphi_i) + A_2] \sin(\omega t) + A_1 \sin(\varphi_i) \cos(\omega t) \quad (7)$$

мұндағы A_1 – фаза айналдырғыш тізбегімен модификацияланған сигнал амплитудасы (7), (өзгеріс фаза айналдырғыш тізбегі оның кірістеріне түсетін сигналдарды белгілі бір салмақпен қосуына байланысты).

Есептеу элементі A_1 және A_2 коэффициенттері үшін фаза айналдырғыш шығысындағы фаза $\varphi_i + \Delta\varphi_i$ -ге тең болатындай мәнді таңдайды.

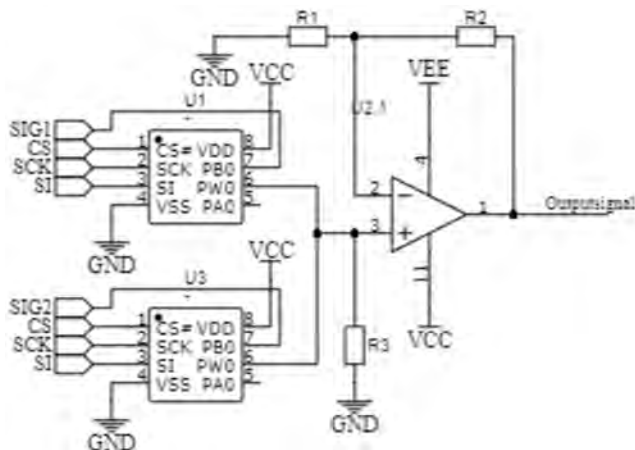
Есептеу элементі (4) келесідей жұмыс істейді. (8) және (9) элементтерінің кірістері сәйкесінше КАБ элементінің және эталондық осциллятордың шығысынан гармоникалық сигналдармен қамтамасыз етіледі. (8) және (9) элементтері гармоникалық сигналды логикалық сигналға сәйкес тікбұрышты сигналға түрлендіреді.



3-сурет – Есептеу элементінің блок-сұлбасы.

(8) және (9) элементтерінің шығыстарынан сигналдар «ЖӘНЕ» (10) логикалық элементінің кірістеріне беріледі, оның ұзақтығы φ_i фазасымен анықталатын төртбұрышты сигналды тудырады. Әрі қарай, бұл сигнал түзеткішке (11) беріледі, ол оны тұрақты сигналға түрлендіреді, ол өз кезегінде (7) формулаға сәйкес фаза айналдырғыш сұлбасын басқаратын сигналдарды тудыратын микроконтроллерге (12) беріледі.

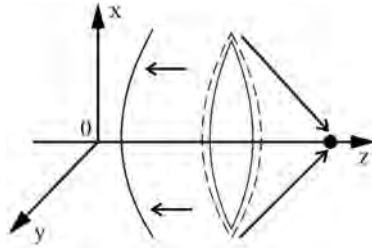
Фаза айналдырғыш сұлбасы 4-суретте көрсетілген. Оның кірісіне КАБ элементінің шығысындағы сигнал, сондай-ақ эталондық осциллятордың (3) шығысының сигналы беріледі. Бұл сигналдар (56) формула бойынша анықталатын салмақтармен жинақталады. Бұған микроконтроллер (12) тудыратын сигналдармен басқарылатын айнымалы резисторларды (13) және (14) пайдалану арқылы қол жеткізіледі. Нақты жинақтау операциялық күшейткіш болып табылатын элемент (15) арқылы жүзеге асырылады.



4-сурет – Фаза айналдырғышының сұлбасы.

Қарастырылып отырған түрдегі объектив көмегімен орындалатын сканерлеу процедурасы 5-суретте көрсетілген. Сканерлеу линзаның эквивалентті фокустық аралығын өзгерту және/немесе оның кеңістіктегі бағдарын өзгерту арқылы жүзеге асырылады. Қажет болса, осьтік симметриялы емес линзаны да қолдануға болады. Түзету (2) формуладағы a_{ij} және b_i коэффициенттерін уақыт бойынша өзгерту арқылы жүзеге асырылады. Эквивалентті оптикалық сұлба (немесе оның аналогы) таңдалған нүктеде фокусты қамтамасыз ететін шарттар бар (5-сурет) және сканерлеу кезінде дәл осы шарттар ізделеді.

Фокустау шартына сәйкес келетін линзаның параметрлерін біле отырып, зерттелетін беттің белгілі бір фрагментіне қатысты шағылыстырғыштың параметрлерін орнатуға болады.



5-сурет – ҰҰА тобының көмегімен синтезделген реттелетін линзаны пайдалану арқылы бетті сканерлеу процедурасының эквивалентті диаграммасы.

6-суретте 5-суреттегі сұлбамен сәйкес жүзеге асырылатын синтезделген линзаның оптикалық қуатын өзгерту арқылы сканерлеу процедурасының үлгі мысалына қатысты графиктер көрсетілген.

Есептеулер келесі әдістемемен жүргізілді.

Синтезделген линзаның жазықтығындағы өрістің таралуы өрнек арқылы беріледі деп болжанады.

$$u = \sum_{i,j=-K}^{i,j=K} \sin(\omega t + \varphi_{i,j}) \tag{8}$$

мұнда модельдік есептеулер үшін сфералық толқынға сәйкес өріс қолданылады

$$\varphi_{i,j} = -\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{Z_0^2 + X_{i,j}^2 + Y_{i,j}^2} \tag{9}$$

X_i, Y_j – радиациялық қабылдағыштар орналасқан нүктелердің координаттары, олардың әрқайсысы жеке дронда орналасқан, λ – радиотолқын ұзындығы.

(8) және (9) формулаларымен сипатталған толқын жазық толқынның жеке айналу параболоидымен фокусталуынан туындайды, және Z_0 координатасы фокус аралығына сәйкес келеді деп болжанады.

2-суреттегі сұлбаға сәйкес фаза айналдырғыштарды қолданып, фазалық ауысуды енгізгеннен кейін бұл үлестірім төмендегі формулаға сәйкес келеді

$$u = \sum_{i,j=-K}^{i,j=K} \sin(\omega t + \varphi_{i,j} + \Delta\varphi_{i,j}) \tag{10}$$

мұндағы

$$\Delta\varphi_{i,j} = \frac{2\pi}{\lambda} D(X_{i,j}^2 + Y_{i,j}^2) \tag{11}$$

D – синтезделген линзаның оптикалық күші.

(10) өрнек келесі түрге келеді

$$u = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) \tag{12}$$

$$\text{где } A = \sum_{i,j=-K}^{i,j=K} \cos(\varphi_{i,j} + \Delta\varphi_{i,j}), B = \sum_{i,j=-K}^{i,j=K} \sin(\varphi_{i,j} + \Delta\varphi_{i,j})$$

Қарастырылып отырған сканерлеу техникасы үшін (12) өрнекпен берілген өріс амплитудасының сканерлеу процесі кезінде өзгертін линзаның D оптикалық күшіне тәуелділігін анықтау қызығушылықты тудырады.

Бұл өрістің амплитудасы мына өрнекпен беріледі

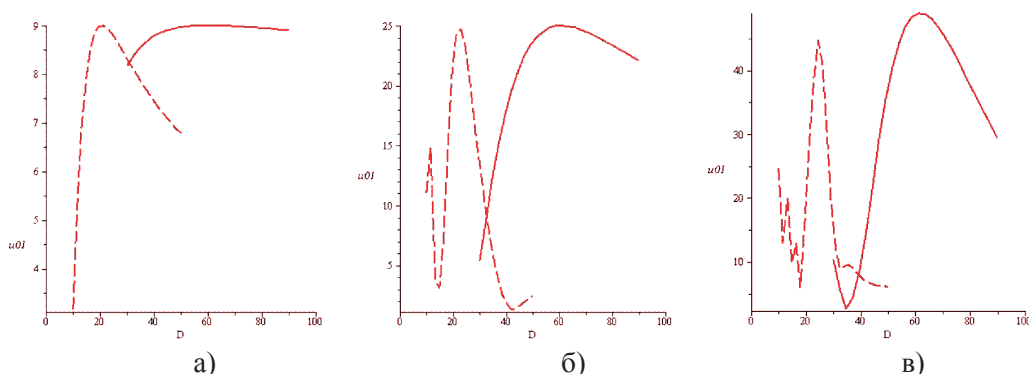
$$u_0 = \sqrt{A^2 + B^2} \tag{13}$$

6-суреттегі графиктерде u_0 -дің берілген $D = D_0/\lambda$ параметріне тәуелділіктері көрсетілген, мұндағы λ - сәулелену қабылдағыштары бірдей аралық түйіндері бар торды құрайтын модельдік жағдай үшін толқын ұзындығы, яғни

$$X_i = id, Y_j = jd, \tag{14}$$

Демек

$$\Delta\varphi_{i,j} = \frac{2\pi}{\lambda} (X_i^2 + Y_j^2)/D_0 \tag{15}$$



6-сурет – $d/\lambda = 2,5$, $K = 1$ (а), 2 (б) 3 (в), үзік сызық $Z_0/\lambda = 10$ жағдайы үшін (10) - (12) формулалары арқылы модельдік есептеулердің нәтижелері, тұтас сызық $Z_0/\lambda = 30$

Есептелген қисықтардың максимумы, күтілгендей, жақсы дәлдікпен $D_0 = 2Z_0$ теориялық мәнімен сәйкес келетінін көруге болады. Демек, ұшқышсыз ұшатын аппараттар тобының көмегімен синтезделген линза шынымен де зерттелетін бетті бөлуге болатын параболоидтардың параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, жүйенің ажыратымдылығы K жоғарылаған сайын айтарлықтай өсетінін көруге болады, яғни топтағы құрылғылар санының көбеюімен.

Сондықтан шағылысатын беттің (жеке параболоид) жеке эквивалентті тізбегінің құрамдас бөлігінің сипаттамаларын сканерлеу процедурасы арқылы шынымен анықтауға болады.

Сондай-ақ, жоғарыда келтірілген мысалда линзаның жазықтығы параболоидтың оптикалық осіне перпендикуляр болған кездегі ең қарапайым жағдай қарастырылғанын атап өткен жөн. Бірақ ұсынылған тәсілді бұл талап орындалмаған жағдайда оңай жалпылауға болады. Линзаның айналуына сәйкес келетін қосымша фазалық ығысу-

ларды енгізуді қамтамасыз ету жеткілікті; параболоид айналу параболоиды болмаған кезде ұқсас түзетулер жасалуы мүмкін.

Сондай-ақ, беткі қабат астындағы объектілерді диагностикалау үшін салыстырмалы түрде ұзын толқын ұзындығын (және, тиісінше, пайдаланылатын топтағы ұшқышсыз ұшу аппараттары арасындағы салыстырмалы үлкен қашықтықты) таңдаған жөн екенін көруге болады. Бұл, басқалармен қатар, шағын беттік біркелкі емес әсерді жоюға мүмкіндік береді, яғни. оның негізгі сипаттамаларын белгілейді.

Осылайша, ұшқышсыз ұшатын аппараттар тобының негізінде радио диапазонында электромагниттік толқындардың фокустауын (дәлірек айтқанда, оның аналогын жүзеге асыруды) қамтамасыз ететін оптикалық линзалардың аналогтары (эквивалентті линзалар) жүзеге асырылуы мүмкін. Нүктелік радиациялық түрлендіргіштерді қолданатын линзаның синтезі мүмкіндігінше дәл жасалуы маңызды, өйткені біртекті емес (демленген) толқындарды есепке алмау арқылы кез келген сәулелену түрлендіргішінің жұмысы дискретті түрге дейін төмендейді. Ұсынылған тәсіл фокустық ұзындығы бойынша да, кеңістіктегі тиімді линзаның бағдары бойынша да реттелетін линзаларды синтездеуге мүмкіндік береді.

Синтезделген линзаның параметрлерін қайта реттеу мүмкіндігі, өз кезегінде, шағылысатын беттің пішінін диагностикалаудың таза сұлбасын жүзеге асыруға мүмкіндік береді (бұл айқын шекаралары бар беткі қабат астындағы объектінің пішінін диагностикалауға сәйкес келеді). Бұл схема шағылыстыру бетінің эквивалентті сұлбасына сәйкес эллипсоидтардың параметрлерін анықтау үшін синтезделген линзаның параметрлерінің уақыт бойынша өзгеруіне сәйкес келеді (кеңістікте бағдарлау және фокус аралығы бойынша сканерлеу).

Алғыс. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті (Грант № AP15473224) қаржыландырды.

ӘДЕБИЕТ

1 Ivashov, S. I., Razevig, V. V., Vasiliev, I. A., Zhuravlev, A. V., Bechtel, T. D., & Capineri, L. (2011). Holographic subsurface radar of RASCAN type: Development and applications. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(4), 763-778.

2 Cherepenin, V. A., Zhuravlev, A. V., Chizh, M. A., Kokoshkin, A. V., Korotkov, V. A., Korotkov, K. V., & Novichikhin, E. P. (2017). Reconstruction of subsurface radio holograms fully and partially measured by different methods. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 62, 780-787.

3 UDEANU, Gheorghe & DOBRESCU, Alexandra & OLTEAN, Mihaela. (2016). UNMANNED AERIAL VEHICLE IN MILITARY OPERATIONS. *SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION IN THE AIR FORCE*. 18. 199-206. 10.19062/2247-3173.2016.18.1.26.

4 M. A. Ma'sum et al., «Simulation of intelligent Unmanned Aerial Vehicle (UAV) For military surveillance,» 2013 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Sanur Bali, Indonesia, 2013, pp. 161-166, doi: 10.1109/ICACSIS.2013.6761569.

5 Cummings, M.L., Bruni, S., Mercier, S., & Mitchell P.J. *Automation Architecture for Single Operator, Multiple UAV Command and Control*, The International Command and Control Journal, Vol. 1(2), 2007.

6 Bürkle, A., Segor, F. & Kollmann, M. Towards Autonomous Micro UAV Swarms. *J Intell Robot Syst* 61, 339–353 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10846-010-9492-x>

7 Suleimenov, I. E., Gabrielyan, O. A., Malenko, S. A., Vitulyova, Y. S., & Nekita, A. G. (2021). Algorithmic Basis Of Battle Neural Networks And Crisis Phenomena In Modern Society. In D. Y. Krapchunov, S. A. Malenko, V. O. Shipulin, E. F. Zhukova, A. G. Nekita, & O. A. Fikhtner (Eds.), *Perishable And Eternal: Mythologies and Social Technologies of Digital Civilization*, vol 120. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences* (pp. 247-255).

8 Принципы построения боевых нейронных сетей: алгебраизация языка команд / Е. С. Витулёва, С. В. Коньшин, О. А. Габриелян, И. Э. Сулейменов // *Физико-техническая информатика (СРТ2021-2022)* : Материалы Международной конференции, Пущино, 16–20 мая 2022 года. – Нижний Новгород-Москва-Пущино: Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий “Научно-исследовательский центр физико-технической информатики”, 2022. – С. 153-159.

9 Б. Б. Ермухамбетова., И. Э. Сулейменов, Е. С. Витулёва, С. В. Коньшин, К. Н. Кадыржан, Ш. Б. Кабдушев, Г. А. Мун. Алгоритм группового управления игровым прототипом боевой нейронной сети // *Вестник НИИ РК*, 2022, №4(86), С.52-61.

10 Kabdushev, S., Kadyrzhan, K., Vitulyova, Y., Bakirov, A., Kopishev, E., & Suleimenov, I. (2022, December). Floating Focusing System Based on Polymer Films: A New Example of a Smart Energy System. In *2022 2nd International Conference on Robotics, Automation and Artificial Intelligence (RAAI)* (pp. 1-6). IEEE.

11 Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A. (1994). Generalized Fourier optics: II. application of the stationary phase method to the description of wavefront propagation and reflection. *Optics and spectroscopy*, 77(3), 422-428.

12 Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A. (1995). Generalized fourier optics: III. Description of the wave front reflection from nonplanar mirrors in terms of local curvature. *Optics and Spectroscopy*, 78(1).

13 Bayana B. Ermukhambetova, Grigoriy A. Mun, Sherniyaz B. Kabdushev, Aruzhan Bulatovna Kadyrzhan, Kaisarali K. Kadyrzhan, Yelizaveta S. Vitulyova, Ibragim E. Suleimenov New approaches to the development of information security systems for unmanned vehicles *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* Vol. 31, No. 2, August 2023, pp. 810~819

14 Vitulyova Y., Matrassulova D., Suleimenov I., Bakirov A. «Discrete form of the Huygens-Fresnel principle: to the multi-dimensional analog of the Nyquist–Shannon sampling theorem», *International Journal of Information Technology*, accepted 13.08.23.

15 Goodman, J. W., & Sutton, P. (1996). Introduction to Fourier optics. *Quantum and Semiclassical Optics-Journal of the European Optical Society Part B*, 8(5), 1095.

16 Suleimenov, I. E., Zhuvikina, I. A., & Tolmachev, Y. A. (1996). On the question of interrelation of generalized Fourier optics and matrix optics. II. Astigmatic beams. *Optics and Spectroscopy*, 81(4), 583-587.

REFERENCES

1 Ivashov, S. I., Razevig, V. V., Vasiliev, I. A., Zhuravlev, A. V., Bechtel, T. D., & Capineri, L. (2011). Holographic subsurface radar of RASCAN type: Development and applications. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(4), 763-778.

2 Cherepenin, V. A., Zhuravlev, A. V., Chizh, M. A., Kokoshkin, A. V., Korotkov, V. A., Korotkov, K. V., & Novichikhin, E. P. (2017). Reconstruction of subsurface radio holograms fully and partially measured by different methods. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 62, 780-787.

3 UDEANU, Gheorghe & DOBRESCU, Alexandra & OLTEAN, Mihaela. (2016). UNMANNED AERIAL VEHICLE IN MILITARY OPERATIONS. *SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION IN THE AIR FORCE*. 18. 199-206. 10.19062/2247-3173.2016.18.1.26.

4 M. A. Ma'sum et al., "Simulation of intelligent Unmanned Aerial Vehicle (UAV) For military surveillance," 2013 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Sanur Bali, Indonesia, 2013, pp. 161-166, doi: 10.1109/ICACSIS.2013.6761569.

5 Cummings, M.L., Bruni, S., Mercier, S., & Mitchell P.J. Automation Architecture for Single Operator, Multiple UAV Command and Control, *The International Command and Control Journal*, Vol. 1(2), 2007.

6 Bürkle, A., Segor, F. & Kollmann, M. Towards Autonomous Micro UAV Swarms. *J Intell Robot Syst* 61, 339–353 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10846-010-9492-x>

7 Suleimenov, I. E., Gabrielyan, O. A., Malenko, S. A., Vitulyova, Y. S., & Nekita, A. G. (2021). Algorithmic Basis Of Battle Neural Networks And Crisis Phenomena In Modern Society. In D. Y. Krapchunov, S. A. Malenko, V. O. Shipulin, E. F. Zhukova, A. G. Nekita, & O. A. Fikhtner (Eds.), *Perishable And Eternal: Mythologies and Social Technologies of Digital Civilization*, vol 120. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences* (pp. 247-255).

8 Principy postroeniya boevyh nejronnyh setej: algebraizaciya yazyka komand / E. S. Vituleva, S. V. Kon'shin, O. A. Gabrielyan, I. E. Sulejmenov // *Fiziko-tehnicheskaya informatika (CPT2021-2022) : Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, Pushchino, 16–20 maya 2022 goda. – Nizhnij Novgorod-Moskva-Pushchino: Avtonomnaya nekommercheskaya organizaciya v oblasti informacionnyh tekhnologij "Nauchno-issledovatel'skij centr fiziko-tehnicheskoy informatiki"*, 2022. – S. 153-159.

9 B. B. Ermuhambetova., I. E. Suleimenov, E. S. Vitulëva, S. V. Kon'shin, K. N. Kadyrzhan, SH. B. Kabdushev, G. A. Mun. Algoritm gruppovogo upravleniya igrovym prototipom boevoi nejronnoi seti // *Vestnik NIA RK*, 2022, №4(86), S.52-61.

10 Kabdushev, S., Kadyrzhan, K., Vitulyova, Y., Bakirov, A., Kopishev, E., & Suleimenov, I. (2022, December). Floating Focusing System Based on Polymer Films: A New Example of a Smart Energy System. In 2022 2nd International Conference on Robotics, Automation and Artificial Intelligence (RAAI) (pp. 1-6). IEEE.

11 Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A. (1994). Generalized Fourier optics: II. application of the stationary phase method to the description of wavefront propagation and reflection. *Optics and spectroscopy*, 77(3), 422-428.

12 Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A. (1995). Generalized fourier optics: III. Description of the wave front reflection from nonplanar mirrors in terms of local curvature. *Optics and Spectroscopy*, 78(1).

13 Bayana B. Ermukhambetova, Grigoriy A. Mun, Sherniyaz B. Kabdushev, Aruzhan Bulatovna Kadyrzhan, Kaisarali K. Kadyrzhan, Yelizaveta S. Vitulyova, Ibragim E. Suleimenov New approaches to the development of information security systems for unmanned vehicles *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* Vol. 31, No. 2, August 2023, pp. 810–819

14 Vitulyova Y., Matrassulova D., Suleimenov I., Bakirov A. "Discrete form of the Huygens-Fresnel principle: to the multi-dimensional analog of the Nyquist–Shannon sampling theorem", *International Journal of Information Technology*, accepted 13.08.23.

15 Goodman, J. W., & Sutton, P. (1996). Introduction to Fourier optics. *Quantum and Semiclassical Optics-Journal of the European Optical Society Part B*, 8(5), 1095.

16 Suleimenov, I. E., Zhuvikina, I. A., & Tolmachev, Y. A. (1996). On the question of interrelation of generalized Fourier optics and matrix optics. II. Astigmatic beams. *Optics and Spectroscopy*, 81(4), 583-587.