ՀՀ Կրթության և գիտության նախարարություն
Երևանի պետական համալսարան

Գոռ Արսենի Մկրտչյանի

OFDM ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՌԱԴԱՐԱՅԻՆ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ա.04.03 «ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության սեղմագիր

ԵՐԵՎԱՆ 2019

© National Library of Armenia OCR by Portmind

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ա.Ա. Հախումյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ա.Ժ. Բաբաջանյան

Տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Վ.Հ. Ավետիսյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2019թ հունիսի 15-ին ժամը 12:00-ին, Երևանի պետական համալսարանում գործող ԲՈԿ–ի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ 0025, Ա. Մանուկյան 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2019թ. մայիսի 3-ին :

Մասնագիտական խորհրդի Գիտական քարտուղար՝ Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ Վ.Պ. Քալանթարյան

© National Library of Armenia

<u>Աշխատանքի արդիականությունը</u>

Ժամանակակից ռադարների զարգացումը ուղեկցվեց նրանով, որ բացի ավանդական օգտագործումից՝ ռազմական և նավիգացիոն խնդիրներից, սկսվեց բուռն զարգանալ նրանց կիրառումը նաև քաղաքացիական ոլորտներում, ինչպիսիք են մեծ քաղաքներում տրանսպորտի և մարդկանց հոսքերի հսկման և կառավարման համակարգերը, ավտոմեքենաների ինքնաղեկավարման սարքերում անվտանգության ապահովման համալիրները, որոնք նոր յուրահատուկ պահանջներ դրեցին կիրառվող ռադարների առջև:

Մյուս կողմից, վերջին ժամանակներում մշակված և զարգացած նոր զինատեսակները, որոնք առանձնանում են փոքր ցրման մակերեսով, մեծ արագությամբ և արագացումով, բերեցին նրան, որ խիստ փոխվեցին ժամանակակից ռադարների վրա դրվող պահանջները, որոնք ստեղծվում են նմանատիպ օբյեկտները հայտնաբերելու և հետևելու նպատակով:

Բացի այդ, խելացի ռադարների և ռադարային ցանցերի զարգացումը նոր պահանջ դրեցին, որ լոկացիոն կայանները օժտված լինեն թիրախների լեկալիզացիոն բնութագրերի մասին ինֆորմացիան միմյանց միջև փոխանակելու հատկությամբ, ինչի շնորհիվ զգալի կմեծացվի ռադարների արագագործությունն ու մեծ մաշտաբի տարածքները զննելու հատկությունը:

Զարգացումների այս ընթացքն առաջ է բերել մի շարք խնդիրներ, որոնցից կարևորությամբ կարելի է առանձնացնել երկուսը՝ ռադարային կիրառման համար նոր ազդանշանների ուսումնասիրումը, ինչպես նաև ռադարային անտենաների ուղղորդվածության դիագրամի նոր եղանակների մշակումն ու կիրառումը:

Հեռանկարային ազդանշաններից են օրթոգոնալ հաճախային բաժանմամբ մեդուլացված ազդանշանները (OFDM), որոնք լայնորեն կիրառվում են չորրորդ սերնդի՝ ինչպես նաև որոշ ձևափոխումներով կիրառվելու են նաև հինգերորդ սերնդի հեռահաղորդակցական համակարգերում: Դրա հետ զուգահեռ, այդ ազդանշանները բացի ինֆորմացիա հաղորդելուց կարող են նաև օգտագործվել ռադարային նպատակներում: Պատկանելով լայնաշերտ ազդանշանների դասին, OFDM ազդանշանները ունեն յուրահատկություններ, որոնք մեծ առավելություններ են տալիս ռադարային կիրառումներում: Հատկապես շեշտադրվում է այն, որ այդ

© National Library of Armenia

ազդանշանները հնարավորություն են տալիս տարանջատելու ժամանակային և հաճախային պրոցեսները, այսինքն տալիս են մեծ ճկունություն օբյեկտների հեռավորությունների, արագությունների և տարածական դիրքի որոշման մեջ: OFDM տեխնոլոգիան յուրահատուկ է նաև նրանով, որ հնարավորություն է ընձեռում համակցել ինֆորմացիոն և ռադարային ազդանշանները մեկ հոսքի մեջ: Վերջինս մեծ առավելություն է տալիս այդ ազդանշաններին կիրառվելու ավտոմոտիվ ռադարային համակարգերում և առարկա է բազմաթիվ հետազոտությունների:

Սակայն, դեռևս գոյություն ունեցող խնդիրները սահմանափակում են OFDM ազդանշանների ռադարային լայն կիրառմանը: Այդ խնդիրներից նշենք՝ թույլ դիմակայումը Դոպլերյան հաճախականային շեղումների նկատմամբ, մեծածավալ հաշվարկներ պահանջող մշակման եղանակները և վերջապես, մեծ զգայնությունը ոչ-գծայնությունների նկատմամբ:

Այս եղանակների լուծմանն են նվիրված վերջին տարիների բազմաթիվ հետազոտություններ և տվյալ ատենախոսությունը:

<u>Ատենախոսության նպատակը</u>

Ատենախոսության նպատակն է հետազոտել և սինթեզել OFDM ռադարային ազդանշանի մշակման նոր եղանակներ, որոնց իրագործումը պահանջում է զգալիորեն քիչ հաշվողական ծավալներ քան ավանդական եղանակները: Հետազոտել Դոպլերի էֆեկտի ազդեցությունը OFDM ազդանշանների վրա և մշակել եղանակներ ուղղված միջկրողային ինտերֆերենցիայի նվազմանը և չափվող արագությունների տիրույթի ընդլայնմանը: Ձևավորել միասնական ալգորիթմներ OFDM ազդանշանի մշակման և անտենային ցանցերի ուղղվածության դիագրամի թվային ղեկավարման համար:

<u>Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները</u>

1. Բազմաթիրախ միջավայրում, թիրախների հեռավորությունների և արագությունների բազմությունները կարող են որոշվել առանձին-առանձին՝ կիրառելով միաչափ Ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխություններ, և նրանց տարրերի միջև համապատասխանությունը հաստատելով ցրման մատրիցաների նմանակների ճշմարտանմանության չափանիշով:

© National Library of Armenia

2. OFDM ռադարային ազդանշանի՝ Դոպլերյան հաճախականային շեղումների նկատմամբ կայունությունը զգալիորեն կարելի է մեծացնել, մուտքային ազդանշանի վրա կիրառելով Դոպլերյան կոմպենսացում, որի արդյունքում վերականգնվում է ազդանշանի օրթոգոնալությունը, վերանում է միջկրողային ինտերֆերենցիան և էականորեն ընդլայնվում է չափվող արագությունների տիրույթը:

<u>Ստացված արդյունքները</u>

1. Առաջարկվել և ստեղծվել է OFDM ռադարային–հեռահաղորդակցական ազդանշան, հիմնված մաքսիմալ երկար հաջորդականությունների գեներատորով ստեղծված հենքային ազդանշանների վրա, նրանց փոքր մասը փոխարինելով ինֆորմացիոն սիմվոլներով, որի շնորհիվ նվազեցվում է ազդանշանի հզորության դինամիկ տիրույթը, բարձրացվում է կայունությունը ոչ-գծայնությունների նկատմամբ և առաջանում է ինֆորմացիայի հաղորդման հնարավորություն:
2. Հաստատվել է, որ ընդունված OFDM ռադարային ազդանշանի մշակումը և անտենայի ուղղվածության դիագրամի ճառագայթի ճոճքով պայմանավորված թիրախի տարածական դիրքի որոշումը իրականանում է միևնույն Ֆուրյեի մշակման եղանակով:
3. OFDM ազդանշանի կոհերենտ ընդունումը կարելի է իրականացնել նորմավորելով ազդանշանի մատրիցայի բոլոր տողերն ու սյուները ըստ առաջին անդամի և գումարելով այդ նորմավորված մատրիցան սյուն առ սյուն և տող առ տող կատարել ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխություն:
4. Առաջարկվել և հաստատվել է, որ OFDM ազդանշանի՝ Դոպլերյան հաճախականային շեղումների նկատմամբ դիմակայումը մեծանում է ընդունված ազդանշանում Դոպլերյան շեղման կոմպենսացիայի միջոցով, որի արդյունքում վերականգնվում է ազդանշանի օրթոգոնալությունը և վերանում է նրա խախտմամբ պայմանավորված միջկրողային ինտերֆերենցիան, որն էլ բերում է չափվող արագությունների տիրույթի զգալի մեծացմանը:
5. Առաջարկված է ալգորիթմ, որը միանշանակ կապ է հաստատում հեռավորության և արագության բազմությունների տարրերի միջև, որոնք

© National Library of Armenia

ստացվում են OFDM ռադարում երկու առանձին միաչափ Ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխության արդյունքում: Այդ բազմությունների տարրերով ստեղծվում է կապուղու իմպուլսային բնութագրի նմանակներ և այդ նմանակների բազմությունը համեմատվում է փորձնականորեն ստացված իմպուլսային բնութագրի հետ, որի ամենաճշմարտանման լուծումը հաստատվում է մատրիցական d_∞ նորմի միջոցով:

<u>Գիտական նորույթը</u>

1. Ցույց է տրվել, որ բազմաթիրախ միջավայրից անդրադարձած OFDM ազդանշանը հնարավոր է մշակել օգտագործելով միայն միաչափ Ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխություններ, և ստեղծվել է այդպիսի մշակման եղանակ, որը պահանջում է զգալիորեն քիչ հաշվողական ծավալներ քան ավանդական մշակման հայտնի եղանակները:
2. Հիմնվելով OFDM ազդանշանի հաճախականային և ժամանակային առանցքներով կիրառված Ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխությունների անկախության հատկության վրա, առաջարկված է ռադարային ազդանշանի մշակման նոր եղանակ, որը բացառում է միջկրողային ինտերֆերենցիան և զգալիորեն ընդլայնում է թիրախների չափվելիք արագությունների տիրույթը:

<u>Գործնական արժեքը</u>

1. OFDM ռադարային ազդանշանի մշակման առաջարկված եղանակը, որը զգալիորեն կրճատում է պահանջվող հաշվողական ռեսուրսների ծավալը, կարող է կիրառվել սահմանափակ հաշվողական ունակություններով օժտված փոքրաչափ ռադիոլոկացիոն կայաններում:
2. Դոպլերյան հաճախականային շեղման կոմպենսացիայի առաջարկված եղանակի ներդնումը զգալիորեն կընդլայնի չափվելիք արագությունների տիրույթը և միևնույն ժամանակ կբարելավի OFDM ազդանշաններ կիրառող ռադարների մարտավարա-տեխնիկական բնութագրերը:
3. Աղմկանման և ինֆորմացիոն ազդանշանների համակցման առաջարկված եղանակը թույլ է տալիս բացառել անհրաժեշտությունը լրացուցիչ ռադիոկապուղու, և կարող է հաջողությամբ ներդրվել ավտոմոտիվ ռադարներում:

© National Library of Armenia

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները քննարկվել են Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի Ազդանշանների մշակման ու ԳԲՀ սարքավորումների լաբորատորիաների սեմինարներում, ներկայացվել է «IRPhE' 2018 International Conference on Microwave & THz Technologies, and Wireless Communications» (19-21 սեպտեմբերի, Աղվերան, Հայաստան) միջազգային գիտաժողովում և «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ-2018» (22-26 հոկտեմբերի, Սևաստոպոլ, Ռուսաստան) միջազգային երիտասարդական գիտատեխնիկական գիտաժողովում:

Հրապարակումները

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 4 աշխատանք, որոնցից 3-ը գիտական ամսագրերում և 1-ը «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ-2018» միջազգային երիտասարդական գիտատեխնիկական գիտաժողովի նյութերի ժողովածուում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 գլուխներից, եզրակացությունից, հավելվածից և 109 հղում պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 113 էջ է, պարունակում է 73 նկար:

Ատենախոսության բովանդակությունը

Ներածությունում հիմնավորված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ներկայացված է աշխատանքի գիտական նորույթը, ձևակերպված է հակիրճ բովանդակությունը, կիրառական նշանակությունը, ստացված արդյունքները և պաշտպանության ներկայացված հիմնական դրույթները:

Գլուխ 1-ում ներկայացված է OFDM ազդանշանի մաթեմատիկական նկարագրությունը, նրա առանձնահատկությունները ռադարային կիրառություններում, առավելություններն ու թերությունները, ինչպես նաև համեմատումը մյուս հայտնի ռադարային ազդանշանների հետ: Այն բաղկացած է 5 պարագրաֆից, որոնք իրենց մեջ ներառում են ենթավերնագրեր:

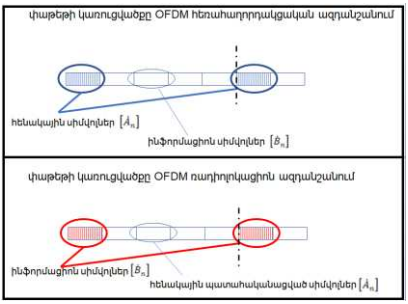
© National Library of Armenia

1.1 պարագրաֆում ներառված են OFDM ազդանշանի ձևավորման սկզբունքներն ու հատկությունները և նրա մաթեմատիկական նկարագրությունը [1]: Մասնավորապես 1.1.2 պարագրաֆում նկարագրված է OFDM ազդանշանի պաշտպանիչ ինտերվալի առանձնահատկությունները, ինչի շնորհիվ վերանում է հաղորդված OFDM ազդանշանի միջսիմվոլային ինտերֆերենցիան իսկ միջավայրի ազդեցությունը բնութագրվում ցիկլիկ փաթույթային գործողությամբ:

1.2 պարագրաֆը նվիրված է OFDM ազդանշանի ռադարային համակարգերում կիրառմանը, նրա առավելություններին և թերություններին, ինչպես նաև հաղորդիչ և ընդունիչ մասերի սինխրոնիզացիոն խնդիրների լուծմանը: Մասնավորապես 1.2.2 պարագրաֆում ընդգրկված է OFDM ազդանշանի աղավաղման գործոնների ուսումնասիրությունը, որոնցից կարևորությամբ առանձնացվել է ոչ-գծայնությամբ պայմանավորված աղավաղումները, որոնք սահմանափակում են հաղորդչի ելքային հզորության ուժողարարի ոլքային հզորությունը և որպես հետևանք, ռադարի գործող հեռավորությունը: Վերջինիս լուծման համար առաջարկվել է մաքսիմալ երկար հաջորդականությունների գեներատորի հիման վրա ստեղծել հենակային մոդուլող սիմվոլներ, որոնք ունեն հզորության հավասարաչափ աղմկանման սպեկտրյալ բաշխվածություն:

1.3 պարագրաֆում նկարագրվում է OFDM համակցված հեռահաղորդակցական և ռադիոլոկացիոն համակարգը [2], որտեղ OFDM ռադարային ազդանշանի մեջ առաջարկվել է ներառել ինֆորմացիոն մոդուլող սիմվոլներ, որոնց քանակությունը փոքր է քան մաքսիմալ երկար հաջորդականությունների գեներատորի միջոցով ստեղծված հենակային սիմվոլները և էապես չեն ազդում ազդանշանի հզորության դինամիկ տիրույթի վրա: Այստեղ օգտագործվել է OFDM հեռահաղորդակցական ազդանշանի փաթեթի կառուցվածքը որտեղ հենակային (Pilot) ազդանշանները փոխարինվել են ինֆորմացիոն սիմվոլներով, իսկ ինֆոիմացիոն սիմվոլները փոխարինվել են հենակային մոդուլող սիմվոլներով՝ (Նկ. 1): Այս հատկության շնորհիվ կարելի է իրականացնել թիրախների պատկանելիության խնդիրը և իրականացնել ժամանակակից ավտոինդուստրիայում ավտոմեքենաների հաղորդակցության ինֆորմացիոն փաթեթներով փոխանակվելու խնդիրը:

© National Library of Armenia



Նկ. 1. OFDM հեռահաղորդակցական և ռադիոլոկացիոն փաթեթի կառուցվածքը

1.4 պարագրաֆում ներկայացված է OFDM ազդանշանի և ռադիլոկացիոն կայանի միջև փոխկապակցվածությունը: Այստեղ OFDM ազդանշանի պարամետրերը միարժեքորեն արտահայտվում են ռադարային համակարգի բնութագրերի միջոցով:

1.5 պարագրաֆում իրականացվել է OFDM ռադարային ազդանշանի համեմատումը այլ հայտնի ռադարային ազդանշանների հետ: Ցույց է տրվել, որ OFDM ազդանշանշանը թիրախի հայտնաբերման հատկություններով շատ նման է ռադարային համակարգերում լայն կիրառություն գտած գծային հաճախային մոդուլացված ազդանշաններին: OFDM-ի կարևորագույն առավելությունը կայանում է նրանում, որ այն ունի հնարավորություն ներառելու ինֆորմացիոն սիմվոլներ ռադարային ազդանշանում:

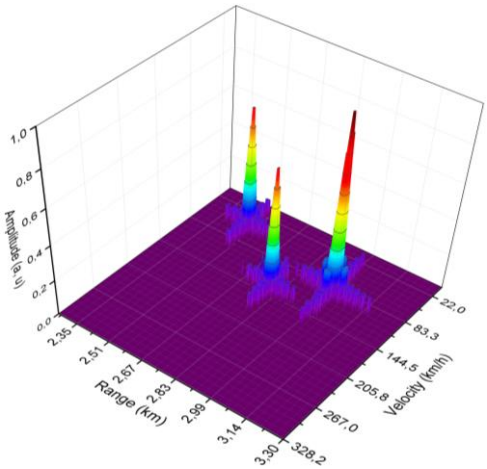
Գլուխ 2–ը ամբողջությամբ նվիրված է OFDM ռադարային ազդանշանների մատրիցական նկարագրմանը [3], [4] և արձագանք ազդանշանի մշակման եղանակներին: Առաջարկված է եղանակ OFDM ազդանշանի Դոպլերյան հաճախային շեղումների նկատմամբ դիմակայումը մեծացնելու համար:

2.1 պարագրաֆում նկարագրված է OFDM հաղորդված և ընդունված ռադարային ազդանշանների մաթեմատիկական ներկայացումը մատրիցական տեսքով, ինչի շնորհիվ հեշտացվում է ազդանշանի թվային մշակումը և թիրախների տեղայնացման խնդրի լուծումը: Մասնավորապես 2.1.2 պարագրաֆում ներկայացված է OFDM արձագանք ազդանշանի համաստեղության վրա թիրախների արագություններով և հեռավորություններով պայմանավորված ազդեցությունների հետազոտումը և այդ ազդեցությունների միջոցով միջավայրի իմպուլսային բնութագրի որոշման միաչափ և երկչափ հիմնական եղանակները [5], [6]:

© National Library of Armenia

2.2 պարագրաֆը իրենից ներկայացնում է OFDM ռադարի հաղորդած և ընդունված ազդանշանների և նրանց մշակման ալգորիթմի իրականացումը LabVIEW միջավայրում: Այն բաղկացած է երկու ենթավերնագրից:

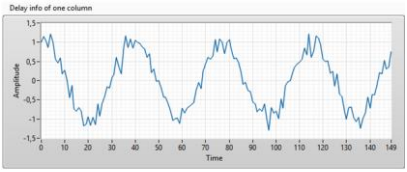
2.2.1 պարագրաֆում ներկայացված է OFDM ռադարի սիմուլյացիոն ալգորիթմի մշակումը LabVIEW միջավայրում, որտեղ ցույց է տրված ալգորիթմի աշխատանքը բազմաթիրախ միջավայրում երբ առկա են Գաուսյան սպիտակ աղմուկներ: Ընդունված և հաղորված մոդուլող սիմվոլների հարաբերության վրա կիրառելով Ֆուրյեի երկչափ դիսկրետ ձևափոխություն որոշվել է թիրախների արագություններն ու հեռավորությունները՝ (Նկ. 2):



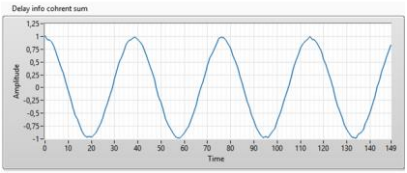
Նկ. 2. OFDM ռադարի եռաչափ պատկերումը բազմաթիրախ միջավայրում

2.2.2 պարագրաֆում ցույց է տրված, որ OFDM ազդանշանի կոհերենտ ընդունումը կարելի է իրականացնել նորմավորելով ազդանշանի մատրիցայի բոլոր տողերն ու սյուները ըստ առաջին անդամի և գումարելով այդ նորմավորված մատրիցան սյուն առ սյուն և տող առ տող կատարել ֆուրյեի միաչափ դիսկրետ ձևափոխություն, որի արդյունքում կստանանք ազդանշանի զգալի ուժեղացում՝ (Նկ. 3):

© National Library of Armenia



ա)



բ)

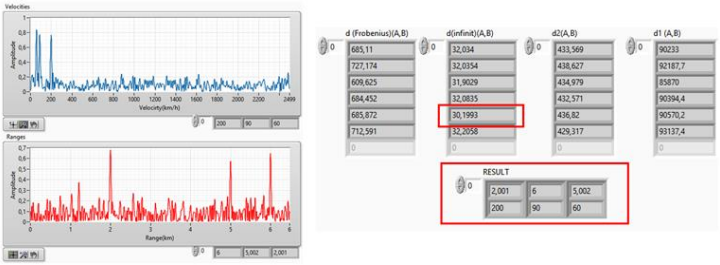
Նկ. 3. Հեռավորության ինֆորմացիան OFDM մատրիցայի ա) մեկ սյան վրա, բ) սյուների գումարի վրա:

2.3 պարագրաֆում ներկայացված է բազմաթիրախ միջավայրի ցրման մատրիցայի որոշումը OFDM ընդունած ռադիոլոկացիոն ազդանշանի միջոցով: Առաջարկվել է թիրախի տեղայնացնող պարամետրերի որոշման մի եղանակ, որը միարժեքորեն կապ է հաստատում հեռավորության և արագության բազմությունների տարրերի միջև, որոնք ստացվում են OFDM ռադարում երկու առանձին 1D ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխությունների արդյունքում: Առաջին քայլով ստեղծվում է բոլոր հնարավոր համակցությունները արագությունների և հեռավորությունների բազմությունների տարրերի միջև, որոնց հիման վրա ստեղծվում է կապուղու իմպուլսային բնութագրի բոլոր հնարավոր նմանակների բազմություն: Ստացված նմանակների բազմությունը համեմատվում է փորձնականորեն ստացված ցրման մատրիցայի հետ՝ որոշելու ամենաճշմարտանման նմանակը: Այստեղ խնդիր է առաջանում ճշմարտանմանության չափանիշի որոշման մեջ, քանի որ գոյություն չունի մատրիցաների միջև հեռավորության որոշման միարժեք չափանիշ: Գոյություն ունեցող հիմնական չափանիշները հետևյալն են՝

- $d_1(A,B) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left|a_{i,j} - b_{i,j}\right|$
- $d_2(A,B) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(a_{i,j} - b_{i,j})^2}$
- $d_\infty(A,B) = \max\limits_{1\le i\le n}\max\limits_{1\le j\le n}\left|a_{i,j} - b_{i,j}\right|$
- $d_{Frobenius}(A,B) = \sqrt{trace((A-B)\cdot(A-B)'}$

© National Library of Armenia

Անցկացնելով ստուգումներ այս վերը նշված բոլոր չափանիշներով և փոփոխելով ազդանշան աղմուկ հարաբերությունը ստացել ենք, որ կայուն լուծումները ստացվում են d_∞ չափորոշիչի օգտագործմամբ: Այսպիսով, բազմաթիրախ միջավայրում միաչափ FFT և IFFT գործողություններով ստացվում են արագությունների և հեռավորությունների բազմություններ, իսկ d_∞ չափորոշիչի միջոցով հաստատվում է լուծումների միջև միարժեք կապը (Նկ. 4):



Նկ. 4. Ցրման մատրիցաների նմանակների համեմատման արդյունքները տարբեր մատրիցական նորմերով

Մեթոդի առավելությունը կայանում է նրանում, որ ի համեմատ երկչափ Ֆուրյեի ձևափոխությունների, որտեղ կատարվում է $N \cdot P$ քանակով գործողություններ, այստեղ կատարվելիք գործողությունների քանակը $N + P + L!$ է, որը զգալի կերպով նվազեցնում է հաշվողական ռեսուրսների քանակը:

2.4 պարագրաֆում-ում քննարկված է ռադարային համակարգերի մեկ այլ կարևորագույն խնդիր՝ թույլ դիմակայումը Դոպլերյան հաճախային շեղումների նկատմամբ: OFDM ազդանշանները, ինչպես և բոլոր ռադարային ազդանշանները ունեն թույլ դիմակայում Դուպլերյան հաճախային շեղումների նկատմամբ: Այդ հաճախային շեղումների թույլատրելի սահմանը գերազանցող արժեքների դեպքում խախտվում է OFDM ազդանշանի օրթոգոնալությունը, ինչի արդյունքում առաջանում է միջկրողային ինտերֆերենցիա: Այդ ինտերֆերեցիայով պայմանավորված աղավաղումները արտահայտվում են OFDM ազդանշանի մատրիցայի միայն հեռավորությունների որոշման առանցքի վրա: Օգտվելով այս հատկությունից առաջարկվել է նոր եղանակ, որը էապես մեծացնում է համակարգի դիմակայումը Դոպլերյան հաճախային շեղումների նկատմամբ: Առաջին քայլով, ընդունելով OFDM արձագանք ազդանշանը, որի Դոպլերյան հաճախության շեղումը գերազանցում է սահմանված շեմը, արագությունների որոշման առանցքի ուղղությամբ կատարվում

© National Library of Armenia

է Ֆուրյեի արագ դիսկրետ ձևափոխություն և որոշվում են թիրախի ռադիալ արագությամբ պայմանավորված Դոպլերյան հաճախային շեղումները: Այնուհետև հաճախային տիրույթում ստեղվում են հարթեցնող զտիչներ, որոնք հետադարձ կապի միջոցով բերվում են դեպի սկիզբ, և OFDM բլոկում վերացվում են Դոպլերյան շեղումները: Քանի որ Դոպլերյան շեղման չեզոքացումը կատարվում է OFDM բլոկի արագությունների առանցքում և քանի որ ժամանակային և հաճախականային առանցքներն միմյանց օրթոգոնալ են, անկախ են, ուստի այդ չեզոքացումը ոչ մի կերպ չի ազդում հեռավորության որոշման առանցքի վրա, միայն չեզոքացնում է միջկրողային ինտերֆերենցիան, որը վերացնում է համակարգում առաջացած կեղծ թիրախները: Սա թույլ է տալիս արդեն, մյուս քայլով, OFDM բլոկի հեռավորության առանցքի ուղղությամբ կատարել հակադարձ Ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխություն և որոշել թիրախների հեռավորությունները:

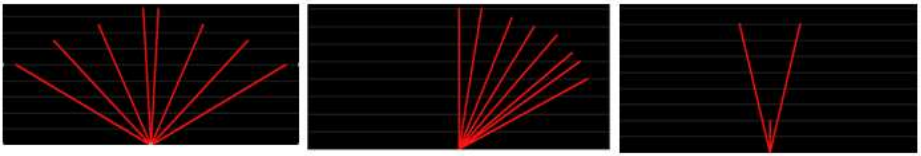
Գլուխ 3-ում նկարագրված է 3D OFDM ռադարի իրականացման սկզբունքները, որտեղ եռաչափ պատկեր ստանալու նպատակով ստեղծվել է անտենայի ուղղվածության դիագրամի կոմբինացված էլեկտրո-մեխանիկական ճոճքի համակարգ: Այն իր մեջ պարունակում է երկու ենթավերնագիր:

3.1 պարագրաֆում ներկայացված է ռադարի փուլավորված անտենային ցանցի համակարգը, ինչպես նաև ուղղորդվածության դիագրամի ղեկավարման թվային եղանակը: Ցույց է տրված, որ և՛ OFDM ազդանշանի ձևավորումն ու մշակումը, և՛ անտենայի ՈՒԴ-ի ձևավորումը ու ղեկավարումը կատարվում են միևնույն Ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխման եղանակով, որը բերում է այդ երկու տարբեր գործողությունների ունիվերսալացմանը՝ հնարավորություն տալով միավորելու ազդանշանի ձևավորման և մշակման և ուղղվածության դիագրամի թվային ղեկավարման ալգորիթմը:

3.1.2 պարագրաֆում ներկայացված է ճառագայթի արագ տեսածրման և ղեկավարման ստացումն ու ստուգումը թվային եղանակով: Ճառագայթի կառավարումը կատարվում է թվային եղանակով և միաժամանակ կառուցվում է ութ ճառագայթ (հովհարաձև դիագրամա), որը թույլ է տալիս միաժամանակ կատարել դիտարկում բոլոր ստեղծված ուղղություններով: Որպես ընդունիչ օգտագործվել է չորս ուղղիանի USRP-2945R սարքը, որի FPGA ենթակառուցվածքում կատարվել է ճառագայթների կառուցում զուգահեռ ազդանշանի թվային մշակման եղանակով: Մշակվել և փորձնական ճանապարհով ստուգվել են ռադարային համակարգի

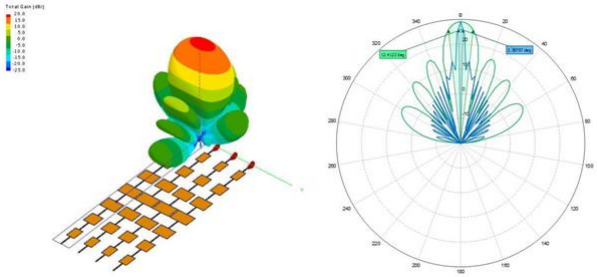
© National Library of Armenia

փուլավորված անտենային ցանցի ձևավորման հիմնական երեք մոդերը՝, նորմալ մոդը, շեղված մոդը և մոնոպոլ մոդը՝ (Նկ. 5):



Նկ. 5. ՓԱՑ-ի ճառագայթի ձևավորման հիմնական երեք մոդերը

Որպես ընդունիչ անտենա օգտագործվել է ուղղանկյունաձև միկրոշերտավոր անտենայի հիման վրա ստեղծված փուլավորված անտենային ցանց, որը բաղկացած է չորս հատ ութ տարրանոց միկրոշերտավոր անտենաների տողերից (Նկ. 6):



Նկ. 6. 4 տողից բաղկացած միկրոշերտավոր անտենան և նրա ՈՒԴ-ն E և H հարթություններում

3.2 պարագրաֆում նկարագրված է OFDM արագ տեսածրմամբ ռադարի միասնական ալգորիթմի աշխատանքը: Ընդունված OFDM արձագանք ազդանշանը մուտք է գործում արագ թվային տեսածրման բլոկ, որի ելքից դուրս է գալիս միաժամանակ ութ զուգահեռ անկախ պրոցես, որոնցից յուրաքանչյուրը ստացվում է OFDM արձագանք ազդանշանի համապատասխան թվային մշակված ութ ճառագայթների փուլային գործակիցներով բազմապատկելու արդյունքում՝

$$[\dot{F}_{n,p}]^i = \sum_{m=0}^{M-1} [\dot{S}_{n,p}]^m \cdot e^{-jm\zeta_i}$$

Այդ ուղղություններից ստացված տվյալների զուգահեռ հոսքի համախումբը իրենից ներկայացնում է եռաչափ մատրիցա: Կատարելով եռաչափ մատրիցայի արագությունների և ազիմուտալ անկյան առանցքների ուղղությամբ Ֆուրյեի

© National Library of Armenia

դիսկրետ միաչափ ձևափոխություններ և հեռավորության առանցքի ուղղությամբ հակադարձ միաչափ Ֆուրյեի դիսկրետ ձևափոխություն, կստանանք թիրախի տեղայնացնող պարամետրերը: Աշխատանքում նկարագրված փորձերն իրականացվել են ռադիահամակարգի փորձանմուշի վրա, որը պատկերված է (Նկ. 7)-ում:

Նկ. 7. 3D ռադարի փորձանմուշը

<u>Եզրակացություն</u>

Ամփոփելով աշխատանքում կատարված հետազոտությունները գալիս ենք այն եզրահանգմանը, որ բազմաթիրախ միջավայրում, թիրախների հեռավորությունների և արագությունների բազմությունները կարելի է որոշել առանձին-առանձին՝ կիրառելով միաչափ Ֆուրյեի ձևափոխություններ, և նրանց տարրերի միջև համապատասխանությունը հաստատել ցրման մատրիցաների նմանակների ճշմարտանմանության չափանիշով: OFDM ռադարային ազդանշանի՝ Դոպլերյան հաճախականային շեղումների նկատմամբ կայունությունը կարելի է մեծացնել, մուտքային ազդանշանի վրա կիրառելով Դոպլերյան կոմպենսացում, որի արդյունքում կվերականգնի ազդանշանի օրթոգոնալությունը և կվերանա միջկրողային ինտերֆերենցիան:

Ստացված արդյուքների հիման վրա կարելի է մշակել տարբեր նպատակների բարձր էֆեկտիվության փոքր և միջին հեռավորության ռադիոլոկացիոն կայաններ:

© National Library of Armenia

Օգտագործված գրականության ցանկ

[1] H. Schulze and C. Lüders, *Theory and Applications of OFDM and CDMA*, vol. 316, no. 4. Wiley, 2005.

[2] D. Garmatyuk, J. Schuerger, and K. Kauffman, "Multifunctional Software-Defined Radar Sensor and Data Communication System," *IEEE Sens. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 99–106, Jan. 2011.

[3] Y. Xia, Z. Song, Z. Lu, and Q. Fu, "A novel range-Doppler imaging algorithm with OFDM radar," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 29, no. 2, pp. 492–501, Apr. 2016.

[4] R. F. Tigrek, W. J. A. De Heij, and P. Van Genderen, "OFDM Signals as the Radar Waveform to Solve Doppler Ambiguity," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 48, no. 1, pp. 130–143, Jan. 2012.

[5] C. Sturm, M. Braun, T. Zwick, and W. Wiesbeck, "A multiple target doppler estimation algorithm for OFDM based intelligent radar systems," *7th Eur. Radar Conf.*, no. September, pp. 73–76, 2010.

[6] Y. L. Sit, L. Reichardt, C. Sturm, and T. Zwick, "Extension of the OFDM joint radar-communication system for a multipath, multiuser scenario," in *2011 IEEE RadarCon (RADAR)*, 2011, no. 3, pp. 718–723.

© National Library of Armenia

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

[1] G. Mkrtchyan, A. Hakhoumian, D. Nersisyan, and T. Manukyan, "OFDM Radar Signal Processing," *Armen. J. Phys.*, vol. 11, no. 4, pp. 288–291, 2018.

[2] D. Nersisyan, A. Hakhoumian, G. Mkrtchyan, and T. Manukyan, "Digital Beamforming For OFDM 3D Radar," *Armen. J. Phys.*, vol. 11, no. 4, pp. 200–203, 2018.

[3] G. A. Mkrtchyan and A. A. Hakhoumian, "OFDM RADAR SIGNAL PROCESSING," *Mod. Issues Radioelectron. Telecommun. «RT - 2018» Mater. 14-th Int. Young Sci. Conf.*, p. 60, 2018.

[4] G. A. Mkrtchyan, "Determination of the Scattering Matrix of Multiple Target by the Received OFDM Radar Signal," *J. Contemp. Phys. (Armenian Acad. Sci.*, vol. 54, no. 1, pp. 77–83, Jan. 2019.

© National Library of Armenia

АННОТАЦИЯ

Развитие современных радарных систем сопровождалось тем фактом, что помимо традиционного использования, в таких сферах как военная и навигационная, они нашли широкое применение также в гражданских целях для контроля автотранспорта, в беспилотных машинах в качестве автомобильного радара и для отслеживания, и описания передвижения людских потоков в городах с высоким уровнем урбанизации. С другой стороны, объекты небольших размеров, в том числе активно развиваюшиеся беспилотные летающие аппараты, имеющие небольшую площадь рассеяния, высокую скорость и ускорение, привели к кардинальному изменению требований к радарным системам, которые предназначены для отслеживания и захвата этих объектов. Процесс развития вышеупомянутых систем привел к ряду проблем, из которых стоит выделить две, а именно, изучение новых сигналов для применения в радиолокации, а также разработка и применение новых методов для управления лучами ЦАР, в целях пространственного сканирования в радиолокационных системах.

Целью диссертационной работы является:

1. Исследование и синтез новых методов разработки OFDM радарных сигналов, требующих значительно меньше вычислительных ресурсов по сравнению с традиционными методами.
2. Исследование воздействия эффекта Доплера на сигналы OFDM и разработка методов, позволяющих компенсировать интерференцию между поднесущими и расширить диапазон измеряемых скоростей.
3. Создание гибридных алгоритмов, предоставлявших возможность обработки OFDM сигналов и цифрового управления диаграммы направленности ЦАР.

© National Library of Armenia

Полученные результаты:

1. Был предложен и создан OFDM радиолокационный сигнал, основанный на опорных сигналах полученных генератором последовательности максимальной длины, заменяя их небольшую часть информационными символами, с помощью которых снижается динамический диапазон мощности сигнала, повышается устойчивость к нелинейностям системы, и появляется возможность для передачи информации.
2. Было установлено, что обработка принятого радарного OFDM сигнала и определение пространственного расположения цели качанием луча диаграммы направленности ЦАР, реализируется на основе одного и того же дискретного преобразования Фурье.
3. Показано, что когерентный прием OFDM радарного сигнала можно осуществить, нормируя все столбцы и строки матрицы принятого OFDM радарного сигнала по первому элементу и суммируя соотвественно полученные столбцы и строки, и применяя дискретное преобразование Фурье.
4. Было предложено и установлено, что толлерантность OFDM сигналов к допплеровским частотным сдвигам повышается благодаря компенсации доплеровского сдвига в принятом сигнале, в результате чего восстонавливается ортогональность сигнала и исчезает интерференция между поднесущими, появляющееся за счет нарушения ортогональности сигнала. В результате увеличивается диапазон измеряемых скоростей
5. Предложен алгоритм, устанавливающий однозначное соответствие между элементами множества расстояний и множества скоростей, полученные в OFDM радаре раздельно двумя ортогональными одномерными быстрыми дискретными преобразованиями Фурье. С помощью элементами этих множеств создаются модели импульсной характеристики среды и множество этих моделей сравниваются с экспериментально полученной формой импульсной характеристики среды, и наиболее правдоподобное решение определяется с помощью d_∞ нормой матрицы.

© National Library of Armenia

ANNOTATION

The progress of modern radar systems was accompanied by the fact that, in addition to traditional use, such as military and navigation areas, also become widely used in civil purposes to control the vehicles, in unmanned vehicles as an automotive radars in ADAS systems and for tracking and describing people movement in cities with high levels of urbanization. On the other hand, small size targets, including actively developing unmanned aerial vehicles with a small scattering area, high speed and acceleration, led to a dramatic change in the requirements for radar systems that are designed to track and capture these objects. The evolution of the above mentioned systems has led to a number of problems. Among them, it is worth to distinguish two, namely, the investigation of new radar signals, as well as the development and application of new methods for digital beamforming (DBF), for spatial scanning purposes in radar systems.

The aim of the thesis are:

1. Research and synthesis of OFDM radar signals development methods, requiring significantly less computational resources compared with the traditional approaches.
2. Investigation of the Doppler effect influence on the OFDM signals and design methods to compensate the interference between subcarriers and to enlarge the range of measured velocities.
3. Development of hybrid algorithms that will provide OFDM signals processing and digital beamforming.

Obtained results

1. It was proposed and created an OFDM radar signal based on the reference signals obtained by the generator of maximal length sequences, replacing a small part of them with informational symbols, which reduces the dynamic range of the signal power, increases stability to nonlinearities of the system, and gives ability to transmit information.

© National Library of Armenia

2. It was established that the received OFDM radar signal processing and the determination of the spatial location of the target by digital beamforming, realized with the same discrete Fourier transform.
3. It was shown that the OFDM radar signal can be coherently received, normalizing all the columns and rows of the received OFDM radar matrix by the first element and summing up the columns and rows, respectively, and applying discrete Fourier transform.
4. It was proposed and found that the Doppler tolerance of the OFDM signals was increased by compensating the Doppler shift in the received signal. As a result, the orthogonality of the signal was restored and the intercarrier interference was disappeared, that came from the violation of the signal orthogonality. As a result, the range of measuring speeds was increased.
5. It was suggested an algorithm, establishing one-to-one correspondence between the elements of the set of distances and the set of velocities, obtained in the OFDM radar by two separate orthogonal one-dimensional discrete Fourier transforms. With the elements of sets was created models of channel impulse response, and the set of these models was compared with the experimentally obtained form of the channel impulse response and the most plausible solution was determined with the d_∞ matrix norm.

© National Library of Armenia