

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Թովմասյան Խաչատուր Ժիրայրի

OFDM ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՌԱԴԻՈԼՈԿԱՑԻՈՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ

Ա.04.03 – “Ռադիոֆիզիկա” մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Товмасян Хачатур Жирайрович

ПРИМЕНЕНИЕ OFDM СИГНАЛОВ В РАДИОЛОКАЦИИ

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
01.04.03 – “Радиофизика”

ЕРЕВАН - 2014

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու

Ա. Ա. Հախումյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ

Ա. Գ. Ղուլյան

տեխ. գիտ. դոկտոր

Վ. Հ. Ավետիսյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԿԳՆ Հայաստանի պետական

ճարտարագիտական համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2014 թ. հունիսի 10-ին, ժամը 13:30-ին, Երևանի պետական համալսարանում գործող ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ 0203, Աշտարակ, Ալիխանյան եղբ. 1, ՀՀ ԳԱԱ ՌՖԷԻ:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2014 թ. մայիսի 7-ին:



Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ

Վ.Պ.Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Институте Радиофизики и Электроники НАН РА.

Научный руководитель:

кандидат физ.-мат. наук

А. А. Ахумян

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, член-корр. НАН РА

А. Г. Гулян

доктор тех. наук

В. Г. Аветисян

Ведущая организация:

Государственный Инженерный Университет
Армении МОН РА

Защита диссертации состоится 10 июня 2014 г., в 13:30 часов, на заседании специализированного совета физики 049 при Ереванском Государственном Университете по адресу: 0203, Аштарак, ул. бр. Алиханян 1, ИРФЭ НАН РА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 7 мая 2014 г.



Ученый секретарь специализированного совета

кандидат физ.-мат. наук., доцент

В.И. Калантарян

Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Ատենախոսության արդիականությունը

Ատենախոսությունը վերաբերվում է վերջին ժամանակներում բուռն զարգացում ստացած OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) բարդ ազդանշանների ուսումնասիրությանը և կիրառմանը ռադիոլուծակցիոն համակարգերում: Ի սկզբանե, այդ դասի ազդանշանները նախատեսված էին հեռահաղորդակցական խնդիրների լուծման համար, սակայն, ժամանակին համընթաց, սկսեցին զարգանալ այնպիսի հիբրիդային համակարգեր, ինչպիսիք են ռադիոլուծակցիոն-հեռահաղորդակցական համակարգերը: Դրանց միջոցով հնարավոր է լինում ռադիոլուծակցիա իրականացնելուն զուգընթաց փոխանցել ինֆորմացիա: Այդպիսի համակարգերը իրենց կիրառությունն են գտել ինչպես կենցաղային, այնպես էլ ռազմական ոլորտներում:

Ռադիոլուծակցիոն համակարգերի զարգացմանը զուգընթաց աճել է դրանց իրականացման մեխանիզմների բարդությունը, և հետևաբար, նաև ծախսատարությունը, քանի որ այդպիսի ազդանշանների մշակման համար անհրաժեշտ են արագագործ և թանկարժեք սարքավորումներ: Այդ իսկ պատճառով արդյունավետության, ճշգրտության և ինտերակտիվության ապահովմանը զուգահեռ, առաջնային խնդիրներից մեկն է դարձել համակարգի իրագործման ծախսատարության մաքսիմալ նվազեցումը:

OFDM ազդանշանի՝ արտաքին պայմաններում տարածվելու կայունության և ճկունության շնորհիվ՝ հնարավոր է դառնում այն կիրառել միաժամանակ և՛ ռադիոլուծակցիոն, և՛ հեռահաղորդակցական խնդիրներում: Քանի որ այն օժտված է ինֆորմացիոն սիմվոլների մեծ տևողությամբ և լայն սպեկտրով, ապա դա

ապահովում է չափված ռադիոլուկացիոն պարամետրերի մեծ ճշգրտություն: Ընդ որում, նախկինում կիրառվող պիլոտ-ազդանշանների փոխարեն, OFDM-ը թույլ է տալիս ռադիոլուկացիոն ազդանշանում տեղակայել ինֆորմացիա և միաժամանակ լուծել երկու խնդիր՝ ռադիոլուկացիա և հեռահաղորդակցություն:

Այդպիսի համակցված խնդրի լուծման համար մինչ այժմ առաջարկվել են մի շարք եղանակներ: Այդ եղանակներից մեկով, առաջարկվում էր ռադիոլուկացիա՝ հիմնված հաղորդված և ընդունված ինֆորմացիոն հաջորդականությունների հարաբերությամբ՝ ռադիոլուկացիոն պարամետրերի որոշման վրա[1]: Մեկ այլ եղանակով առաջարկվում էր որոշել ռադիոլուկացիոն պարամետրերը՝ OFDM ռադիոլուկացիոն ազդանշանի մատրիցական ներկայացման միջոցով: Այդպիսի ներկայացումը թույլ էր տալիս տարանջատել ռադիոլուկացիոն պարամետրերի առանձին ազդեցությունները առանձին մատրիցներում և դրանց միջոցով որոշել այդ պարամետրերը[2]: Սակայն, այդպիսի եղանակներով իրականացված ռադիոլուկացիան պահանջում է մեծածավալ հաշվողական ռեսուրսներ, և հետևաբար, կարող է բերել ծախսատարության կտրուկ աճի: Այդ իսկ պատճառով էլ մեր իրականացված ուսումնասիրություններում շեշտը դրվել է OFDM մշակման այնպիսի եղանակների նախագծմանը, որոնց միջոցով իրականացվող ռադիոլուկացիոն պարամետրերի հաշվարկը կլինի ավելի քիչ ծախսատար՝ համեմատած մինչ այդ իրականացված մշակման եղանակների հետ՝ օգտագործելով ինֆորմացիոն բնույթի ազդանշան և պահպանելով երկու խնդիրների միաժամանակյա առկայության պայմանը:

Ատենախոսության նպատակը

Ատենախոսության նպատակն է միաժամանակ և հեռահաղորդակցության մեջ, և ռադիոլուծակցիայում կիրառելի OFDM բարդ ազդանշանների համաստեղության մշակման միջոցով՝ նախագծել ռադիոլուծակցիոն պարամետրերի որոշման այնպիսի եղանակներ, որոնք կպահանջեն քիչ ծավալով հաշվողական ռեսուրսներ: Նշված նպատակին հասնելու համար ատենախոսության մեջ դրվել են հետևյալ խնդիրները՝

1. Ուսումնասիրել և նախագծել OFDM ռադիոլուծակցիոն ազդանշանների մշակման եղանակներ՝ հիմնված OFDM կոմպլեքս ազդանշանի համաստեղության մշակման վրա:
2. OFDM ռադիոլուծակցիոն ազդանշանների մշակման եղանակներից օգտվելով՝ նախագծել այնպիսի ալգորիթմներ, որոնք թույլ կտան իրականացնել ռադիոլուծակցիա և կպահանջեն փոքրածավալ հաշվողական ռեսուրսներ:
3. Մշակված մեթոդներում կիրառել OFDM ինֆորմացիոն բնույթի ազդանշաններ, որը թույլ կտա լուծել միաժամանակ և ռադիոլուծակցիոն և հեռահաղորդակցական բնույթի խնդիրներ:
4. Իրականացնել նախագծված ալգորիթմների համեմատումներ, արդյունավետության, ճշգրտության և աղմկակայունության գնահատումներ:

Գիտական նորություն

1. Ցույց է տրվել, որ OFDM համաստեղության վերլուծության միջոցով կարելի է որոշել նպատակակետի դիրքը և արագությունը:
2. Առաջարկվել է OFDM ինֆորմացիոն-ռադիոլուծակցիոն արձագանք-ազդանշանի համաստեղության ցրվածության միջին քառակուսային շեղման ժամանակային և հաճախականային տիրույթներում իրականացված գնահատման միջոցով համապատասխանաբար որոշել նպատակակետի դիրքը և արագությունը:

3. Առաջարկվել է OFDM ինֆորմացիոն սիմվոլների համաստեղության միջինացման եղանակ, որը թույլ է տալիս միաժամանակ որոշել թիրախի հեռավորությունը և արագությունը՝ մեկ OFDM սիմվոլի տևողությամբ:

Գործնական արժեքը

1. Մշակված եղանակներով իրականացվող ռադիոլուկացիան պահանջում է փոքրածավալ հաշվարկային ռեսուրսներ և այդ պատճառով դրա իրագործումը դառնում է դյուրին և որ շատ կարևոր է՝ քիչ ծախսատար:
2. Մշակված եղանակները իրենց բնույթով համատեղելի են և հնարավորություն են տալիս ներդնել դրանք՝ արդեն մշակված ռադիոլուկացիոն կայանների ծրագրային ապահովման մեջ և իրականացնել ռադիոլուկացիա:
3. Կիրառվող OFDM ռադիոլուկացիոն ազդանշանը իր բնույթով ինֆորմացիոն է, հետևաբար ռադիոլուկացիոն պարամետրերի լուծմանը զուգընթաց հնարավոր է իրականացնել ինֆորմացիայի փոխանցում:

Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. OFDM ռադիոլուկացիոն արձագանք-ազդանշանի համաստեղության մշակումը թույլ է տալիս իրականացնել ռադիոլուկացիոն պարամետրերի որոշում:
2. OFDM արձագանք-ազդանշանի համաստեղության ցրվածության միջին քառակուսային շեղման գնահատման միջոցով հնարավոր է իրականացնել թիրախի և՛ դիրքի, և՛ շարժման արագության որոշում:
3. OFDM արձագանք ազդանշանի համաստեղության վերլուծության միջոցով հնարավոր է հաշվարկել ռադիոլուկացիոն պարամետրերի շնորհիվ ազդանշանի ստացած փուլային փոփոխությունները, դրանց միջոցով էլ հաշվել ռադիոլուկացիոն պարամետրերը:
4. OFDM արձագանք ազդանշանի ինֆորմացիոն բնույթի շնորհիվ ազդանշանի համաստեղության մշակման եղանակները թույլ են տալիս ռադիոլուկացիային զուգահեռ լուծել հեռահաղորդակցական խնդիրներ:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները բազմիցս քննարկվել են Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի Ազդանշանների մշակման ու ԳԲՀ սարքավորումների լաբորատորիաների սեմինարներում և ներկայացվել IRPhE՝2012(16-17 հոկտեմբերի, Երևան, Հայաստան), PIERS 2013 (12-15 օգոստոսի, Ստոկհոլմ, Շվեդիա), YSC 2013 (2-6 դեկտեմբերի, Խարկով, Ուկրաինա), միջազգային գիտաժողովներում:

Տպագրություններ

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 5 աշխատանք, որոնցից 2 հոդված՝ միջազգային և 1 հոդված՝ հայկական գիտական ամսագրերում, և 2 զեկույց՝ ներկայացված միջազգային գիտաժողովում:

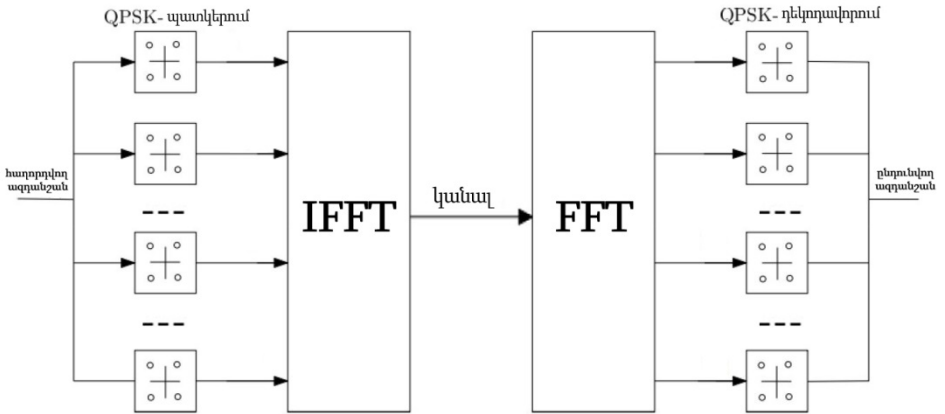
Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 գլուխներից, եզրակացությունից և 102 հղում պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 104 էջ է և պարունակում է 57 նկար:

Ատենախոսության բովանդակությունը

Ներածության մեջ հիմնավորված է ատենախոսության արդիականությունը, հստակ ձևակերպված են աշխատանքի նպատակները, խնդիրներն ու պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները: Նշված է նաև ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և գործնական արժեքը:

Գլուխ 1-ում ներկայացված է թեմային վերաբերվող արդի գրականության հակիրճ ամփոփում: 1.1 պարագրաֆում ներկայացված է բազմակրող հաղորդման գաղափարը և արագ Ֆուրիե ձևափոխության(FFT - Fast Fourier Transform) միջոցով



Նկ. 1. OFDM իրականացումը FFT-ի միջոցով

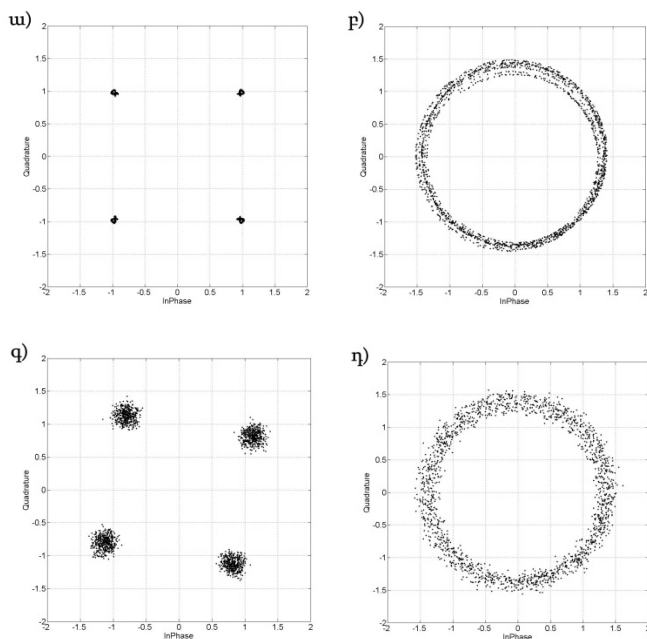
դրա իրականացման մեխանիզմը: Ներկայացված է OFDM հիմնական գաղափարները՝ օրթոգոնալության պայմանը, պաշտպանիչ ինտերվալը և աղավաղման գործոնները: Նկ. 1-ում բերված է FFT-ի միջոցով OFDM իրականացման սխեման:

1.2 պարագրաֆում OFDM ազդանշանը դիտարկված է որպես ռադիոլուկացիոն ազդանշան: Ներկայացված OFDM ռադիոլուկացիոն ազդանշանի անալիտիկ և մատրիցական տեսքերը, որոնցում յուրաքանչյուր ռադիոլուկացիոն պարամետրի ազդեցությունն առանձնացվում է առանձին բաղադրիչի մեջ: Մատրիցական ներկայացումից ցույց է տրվել, որ նման ներկայացմամբ ռադիոլուկացիոն ազդանշանի մշակման համար պահանջվում են հսկայական հաշվարկային ռեսուրսներ, և կարիք կա իրականացնել ավելի պարզ և քիչ ռեսուրսներ պահանջող մեխանիզմների մշակում և նախագծում:

Պարագրաֆ 1.3-ում ներկայացված են մինչ այժմ մշակված և իրականացված մի շարք OFDM ռադիոլուկացիոն համակարգերի նկարագրությունը: Բերված են համեմատականներ տարբեր համակարգերի առավելությունների և թերությունների միջև: Անցկացված են գուգահեռներ OFDM հեռահաղորդակցական խնդիրներում առկա հաճախականային և ժամանակային

համաձայնեցման և ռադիոլուկացիայում առկա ռադիոլուկացիոն հիմնական պարամետրերով՝ նշանակետի դիրքով և արագությամբ պայմանավորված ժամանակային և հաճախականային շեղումների միջև:

Գլուխ 2-ը նվիրված է OFDM ազդանշանների՝ MATLAB համակարգում ձևավորման, հաղորդման, ընդունման պրոցեսների նկարագրմանը և OFDM համաստեղության վրա ռադիոլուկացիոն պարամետրերի ազդեցությունների նկարագրմանը: 2.1 պարագրաֆում ներկայացված է OFDM ռադիոլուկացիոն ազդանշանների ձևավորման սխեման: Ձևավորման տարբեր փուլերում բերված են ազդանշանի ժամանակային և հաճախականային ներկայացումները:

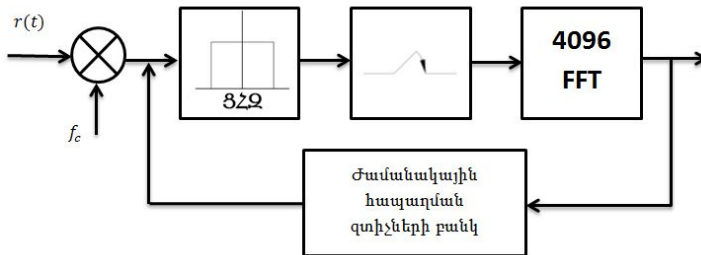


Նկ. 2. OFDM ազդանշանի համաստեղությունը՝ ա) առանց ռադիոլուկացիոն պարամետրերի ազդեցության, բ) ժամանակային հապաղմամբ, գ) դոպլերյան հաճախականային շեղմամբ, դ) ժամակային հապաղմամբ և դոպլերյան շեղմամբ

Այնուհետև ներկայացված է լայնաշերտ OFDM ռադիոլուկացիոն ազդանշանի ընդունման, դեմոդուլավորման և թվայնացման մեխանիզմը, որի հաջող իրականացման դեպքում ստացվում է ազդանշանի համաստեղության ներկայացումը կոմպլեքս հարթության վրա (Նկ. 2.ա):

Պարագրաֆ 2.2-ում, հիմնվելով նախորդ պարագրաֆի OFDM ազդանշանի համաստեղության ներկայացման վրա, ցույց է տրվել, թե ինչպիսի փոփոխությունների է այն ենթարկվում ռադիոլուկացիոն պարամետրերի ազդեցության շնորհիվ: Ցույց է տրվել, որ նշանակետի դիրքով պայմանավորված որոշակի ժամանակային հապաղման շնորհիվ արձագանք ազդանշանի վրա առաջացած փուլային շեղումը կախված է OFDM ենթակրող բաղադրիչի ենթակրողի համարից: Այդ իսկ պատճառով, OFDM ազդանշանի համաստեղության վրա QPSK մոդուլացված՝ չորս բևեռներում գտնվող ենթակրող բաղադրիչները ստանում են իրարից տարբեր փուլային շեղումներ՝ կախված իրենց ենթակրող համարից և կոմպլեքս հարթության մեջ ստացվում է ենթակրող վեկտորների ցրվածություն՝ ամպլիտուդային շառավղով շրջանագծի ողջ երկայնքով (Նկ. 2.բ): Հաջորդիվ ցույց է տրվել, որ նշանակետի արագությամբ պայմանավորված դոպլերյան հաճախականային շեղումը բոլոր OFDM ենթակրող բաղադրիչների վրա տալիս է ընդհանուր առմամբ միևնույն փուլային շեղումը, իսկ առանձին ենթակրողների վրա ենթակրող համարից կախված, չնչին և ֆլուկտուացիոն բնույթի շեղում, այդ պատճառով, OFDM համաստեղության բևեռները պտտվում են սկզբնականի նկատմամբ և ստանում ամպանման ցրվածության տեսք (Նկ. 2.գ):

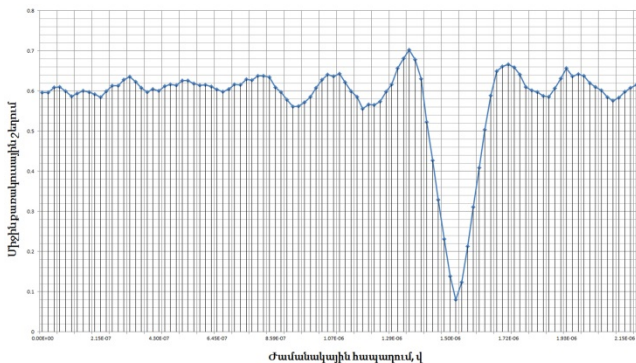
Արդյունքում, երկու ռադիոլուկացիոն պարամետրերի ազդեցությունը բերում է համաստեղության բևեռների ցրվածության և պտույտի՝ ողջ ամպլիտուդային շառավղով շրջանագծի երկայնքով (Նկ. 2.դ), որից էլ ակնհայտ է դառնում, որ ռադիոլուկացիոն պարամետրերի որոշման ժամանակ առաջին հերթին պետք է իրականացնել ժամանակային հապաղմամբ պայմանավորված նշանակետի դիրքի, այնուհետև միայն, դոպլերյան հաճախականային շեղմամբ պայմանավորված՝ արագության որոշում:



Նկ. 3. Ժամանակային հապաղման որոշման գտման եղանակի իրականացման սխեման

Գլուխ 3-ը ամբողջովին նվիրված է ռադիոլուկացիոն պարամետրերի որոշման մշակված և նախագծված եղանակների նկարագրմանը և արդյունավետության գնահատմանը: Պարագրաֆ 3.1-ում նկարագրված է դիրքի որոշման ժամանակային հապաղման որոշման գտման եղանակը:

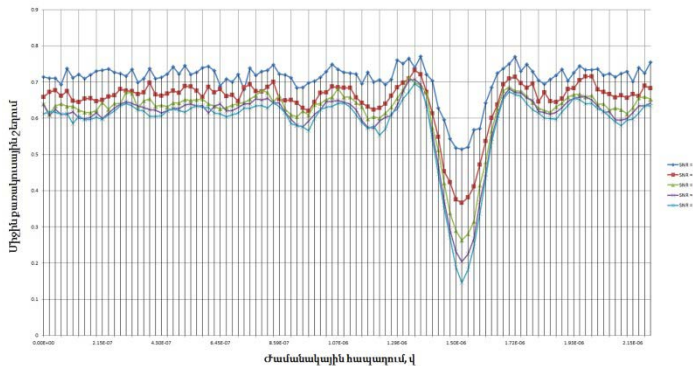
Արձագանք-ազդանշանի ընդունման և մշակման արդյունքում իրականացվել է համաստեղության ցրվածության միջին քառակուսային շեղման գնահատում և ժամանակային հապաղման գոտիչների բանկով նեղշերտ ազդանշանին տրվել է որոշակի քայլով ժամանակային հապաղում (Նկ. 3): Զտման ամեն քայլում իրականացված միջին քառակուսային շեղման գնահատման



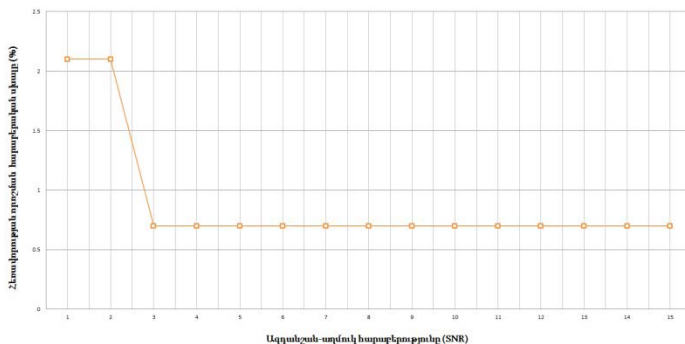
Նկ. 4. Միջին քառակուսային շեղման կախվածությունը ժամանակային հապաղման գտման քայլից

նվազագյուն արժեքի գրանցման համապատասխան ժամանակային շեղման քայլի արժեքով էլ որոշվել է նշանակետի դիրքը (Նկ. 4):

Այնուհետև, իրականացվել է դիրքի որոշման հարաբերական սխալի հաշվարկ: Ալգորիթմի արդյունավետությունն ու ճշգրտությունը գնահատվել է



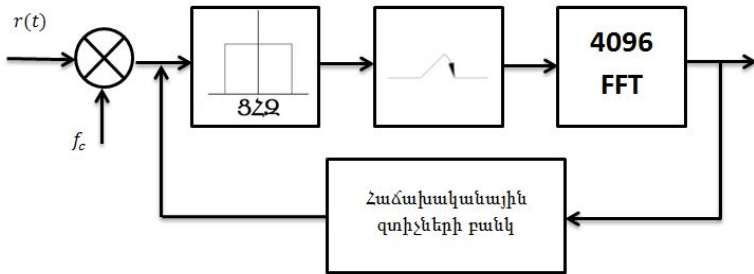
Նկ. 5. Միջին քառաձուսային շեղման կախվածությունը ժամանակային հապաղման գտման քայլից, տարբեր մակարդակի գաուսյան աղմուկների դեպքում



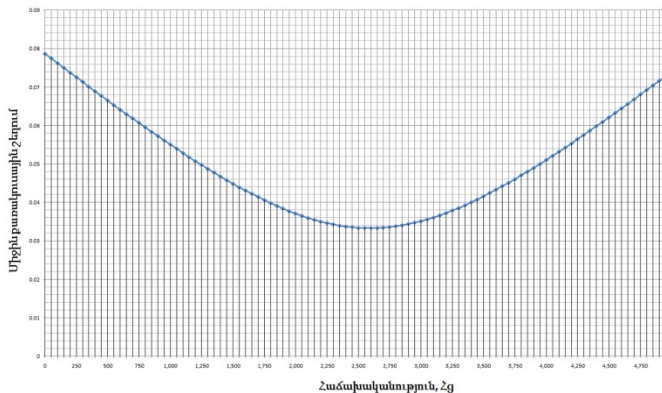
Նկ. 6. Դիրքի որոշման հարաբերական սխալի կախվածությունը ազդանշան-աղմուկ հարաբերությունից

տարբեր մակարդակների ադիտիվ գառույան սպիտակ աղմուկների առկայության դեպքում և ցույց է տրվել, որ համակարգը բավականաչափ աղմկակայուն է՝ միաժամանակ ապահովելով չափման մեծ ճշտություն (Նկ. 5, Նկ. 6):

3.2 պարագրաֆում ներկայացված է նշանակետի արագության որոշման գտման եղանակը: Ալգորիթմի աշխատանքի սկզբունքը նման է նախորդ՝ դիրքի որոշման գտման եղանակին, և տարբերվում է նրանով, որ ժամանակային հապաղման գոտիների բանկին փոխարինում է հաճախականային գոտիների

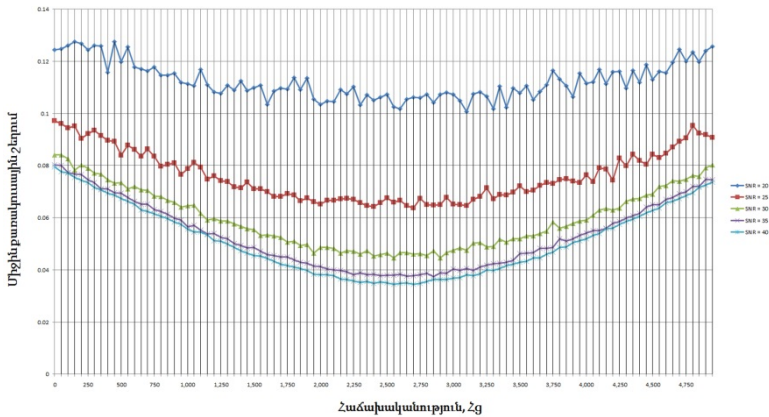


Նկ. 7. Դոպլերյան հաճախականային շեղման որոշման գտման եղանակի իրականացման սխեման

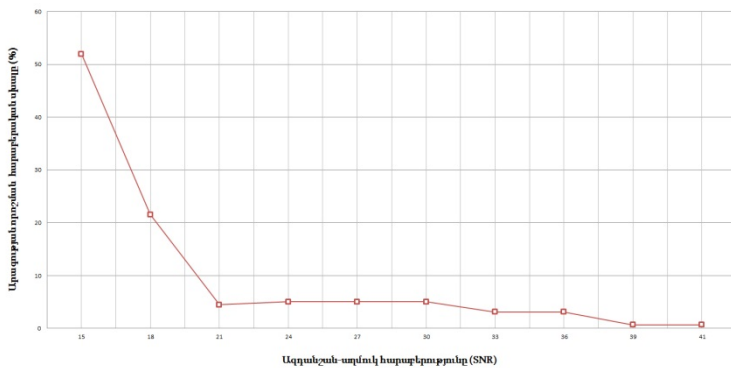


Նկ. 8. Միջին քառակուսային շեղման կախվածությունը դոպլերյան հաճախականային շեղման գտման քայլից

բանկը (Նկ. 7): Ընդունված OFDM ազդանշանի համաստեղության ցրվածության միջին քառակուսային շեղման գնահատման միջոցով որոշվել է ազդանշանի վրա առաջացած դրվերյան հաճախականային շեղումը, և, ըստ այդմ՝ նշանակետի արագությունը (Նկ. 8): Արագության որոշումից հետո իրականացվել է



Նկ. 9. Միջին քառակուսային շեղման կախվածությունը դրվերյան հաճախականային շեղման գտման քայլից, տարբեր մակարդակի գաուսյան աղմուկների դեպքում



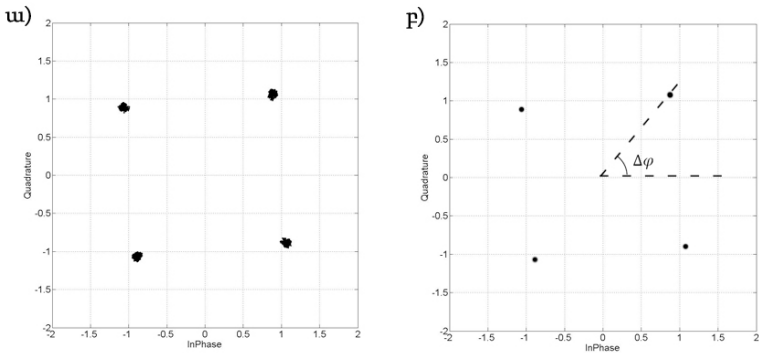
Նկ. 10. Արագության որոշման հարաբերական սխալի կախվածությունը ազդանշան-աղմուկ հարաբերությունից

ալգորիթմի հարաբերական սխալի գնահատում, որից հետո կատարվել է աղմկակայունության գնահատում (Նկ. 9-10):

Պարագրաֆ 3.3-ում նկարագրված է նշանակետի դիրքի որոշման երկրորդ՝ միջինացման եղանակը: Քանի որ ժամանակային հապաղման առաջացրած փուլային շեղումը կախված էր OFDM ենթակրող համարից, հետևաբար յուրաքանչյուր ենթակրողի վրա տարբեր էր, առաջարկվել է ստեղծել նոր ինֆորմացիոն սիմվոլների հաջորդականություն, որը իրենից ներկայացնում է OFDM ընդունված ազդանշանի բոլոր հարևան ենթակրողների հարաբերությամբ ձևավորված նոր հաջորդականություն՝ բանաձև (1)

$$Q_k = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{S_{n+1}}{S_n} \exp(-j2\pi f_{n+1}\tau + j2\pi f_n\tau) \quad (1)$$

որտեղ $k = 1, 2, \dots, N - 1$: Ստացված հաջորդականության բոլոր բաղադրիչները ունենում են միևնույն փուլային շեղումը՝ չնչին ֆլուկտուացիոն տարբերությամբ (Նկ. 11.ա), որը վերացվել է՝ միջինացնելով ստացված համաստեղության մեջ սիմվոլների փուլային շեղումները՝ ստանալով հիմնական փուլային շեղումը՝ $\Delta\varphi$ -ն (Նկ. 11.բ): Դրա միջոցով էլ որոշվել է ժամանակային հապաղումը, և համապատասխանաբար՝ նշանակետի դիրքը՝ բանաձև (2):



Նկ. 11. OFDM ենթակրողների հարաբերությամբ ստացված նոր հաջորդականության համաստեղությունը՝ ա) ֆլուկտուացիոն փուլային շեղմամբ, բ) միջինացված, առանց ֆլուկտուացիոն փուլային շեղման

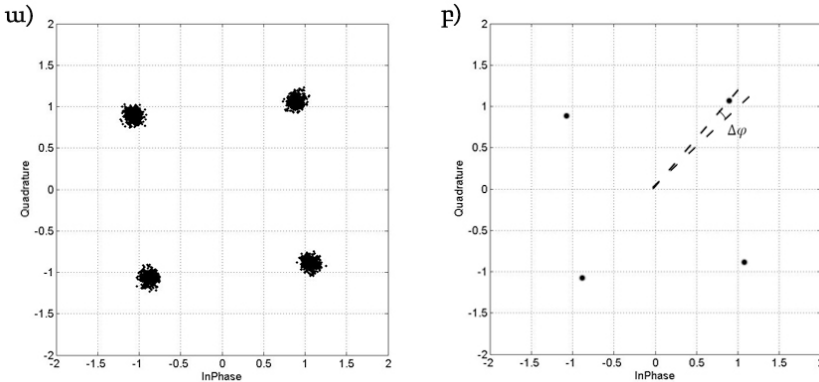
$$\Delta\varphi = 2\pi(f_{n+1} - f_n) \tau \quad (2)$$

Այնուհետև, իրականացվել է դիրքի որոշման հարաբերական սխալի և աղմկակայունության գնահատում:

Պարագրաֆ 3.4-ում ներկայացված է նշանակետի արագության որոշման միջինացման եղանակը: Քանի որ համակարգի թողարկման շերտը շատ անգամ զիջում է կրող հաճախականությանը, ապա դոպլերյան հաճախականությամբ պայմանավորված փուլային շեղումը բոլոր ենթակրողների վրա կարելի է համարել միևնույնը՝ բանաձև (3)

$$f_{d_n} = (f_c + n\Delta f) \frac{2v_r}{c} \approx f_c \frac{2v_r}{c} = f_d \quad (3)$$

Հաճախականային հապաղված OFDM ազդանշանի համաստեղության բևեռների պտտման անկյունը որոշելու համար իրականացվել է OFDM սիմվոլների փուլային շեղման միջինացում, որի շնորհիվ վերացվել են առկա ֆլուկտուացիաները (Նկ. 12): (3) մոտարկմամբ դոպլերյան հաճախականային



Նկ. 12. Ընդունված OFDM կոմպլեքս ազդանշանի համաստեղությունը՝ ա) ֆլուկտուացիոն փուլային շեղմամբ, բ) միջինացված, առանց ֆլուկտուացիոն փուլային շեղման

շեղման և ազդանշանի փուլային շեղման անկյան միջև կապ արտահայտող, ստացված առնչության մեջ տեղադրելով համաստեղության պտույտով հաշվված $\Delta\varphi$ -ի արժեքը՝ որոշվել է դուպլեքյան հաճախականային շեղումը՝ բանաձև (4):

$$\Delta\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\sin 2\pi f_d T - \cos 2\pi f_d T - 1}{\sin 2\pi f_d T + \cos 2\pi f_d T - 1} \right) \quad (4)$$

Հաջորդիվ իրականացվել է արագության որոշման հարաբերական սխալի և աղմկակայունության գնահատում: Տարվել են համեմատականներ մինչ այժմ իրականացված հայտնի եղանակների և սույն ատենախոսության մեջ ներկայացված նոր եղանակների միջև:

Եզրակացություն

1. OFDM ռադիոլուկացիոն կոմպլեքս արձագանք-ազդանշանի համաստեղության մշակումը թույլ է տալիս իրականացնել ռադիոլուկացիոն հիմնական պարամետրերի՝ նշանակետի դիրքի և արագության որոշում՝ օգտագործելով փոքրածավալ հաշվողական ռեսուրսներ:
2. OFDM ռադիոլուկացիոն ազդանշանի համաստեղության՝ ռադիոլուկացիոն պարամետրերից կրած փոփոխությունները ցույց են տալիս, որ առաջնահերթ անհրաժեշտ է որոշել նշանակետի դիրքը, որից հետո միայն, հնարավոր կլինի իրականացնել արագության որոշում:
3. Մշակվել և իրականացվել է նշանակետի դիրքի և արագության որոշման նոր եղանակ, որը հիմնված է OFDM արձագանք-ազդանշանի սիմվոլների համաստեղության ցրվածության միջին քառակուսային շեղման գնահատման վրա:
4. Մշակվել և իրականացվել է նշանակետի դիրքի որոշման նոր եղանակ, որի հիմքում ընկած է ընդունված OFDM արձագանք-ազդանշանի՝ հարևան իմֆորմացիոն սիմվոլների հարաբերությամբ ստացվող նոր սիմվոլների փուլային շեղման արտաքստումը:

5. Հիմնվելով OFDM ազդանշանի միջինացման և արդյունաբար փուլային շեղման հաշվարկի վրա՝ մշակվել է արագության որոշման նոր եղանակ, որի առանձնահատկությունն է արագության որոշումը մեկ OFDM սիմվոլի տևողության ընթացքում:

Օգտագործված գրականության ցանկ

- [1] C. Sturm, T. Zwick, “Doppler estimation in an OFDM joint radar and communication system”, 2011 German Microwave Conference (GeMIC), 14-16 March 2011, pp 1 – 4.
- [2] R. F. Tigrek, “A Processing Technique For OFDM-Modulated Wideband Radar Signals”, Thesis Delft University of Technology, 2008.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. Kh. Tovmasyan, “OFDM signal constellation processing on Radar applications”, *Armenian Journal of Physics*, Vol. 6, no. 4, pp. 204-208, 2013.
2. A. Hakhoumian, Kh. Tovmasyan and E. Gabrielyan, “Doppler Shift Extraction from QPSK Mapped OFDM Signal Constellation”, *Global Journal of Science Frontier Research*, Vol. 14-A, Issue 1, Version 1.0, pp. 39-42, 2014.
3. A. Hakhoumian, H. Avagyan and Kh. Tovmasyan, “QAM mapped OFDM signal processing on Radar applications”, *Telecommunications and Radio Engineering*, Vol. 73, Issue 6, pp. 529-535, 2014
4. Kh. Tovmasyan, “QPSK mapped OFDM signal processing on Radar applications”, *Proceedings of International Conference on Microwave and THz Technologies and Wireless Communications (IRPhE’2012)*, October 16-17, 2012, Yerevan, Armenia, pp. 214-218.

5. A. Hakhoumian, T. Zakaryan, N. Poghosyan, H. Avagyan, E. Sivolenko, and Kh. Tovmasyan, “Reduction of the Clutter in Non-Coherent LFM CW Radars”, *Proceedings of International Conference on Microwave and THz Technologies and Wireless Communications (IRPhE’2012)*, October 16-17, 2012, Yerevan, Armenia, pp. 90-95.

ПРИМЕНЕНИЕ OFDM СИГНАЛОВ В РАДИОЛОКАЦИИ

АННОТАЦИЯ

Применение OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) сигналов в активной и пассивной радиолокации является актуальным направлением в области цифрового синтеза и обработки радиолокационных сигналов. Большая база OFDM сигнала, обусловленная значительной шириной суммарного спектра большого числа поднесущих частот и большой длительностью OFDM символа определяет его перспективность как радиолокационного сигнала.

Основной проблемой в этой области является разработка эффективных методов обработки отраженных радиолокационных OFDM сигналов с целью выделения движущихся целей и определение их дальностных и скоростных характеристик.

Целью данной работы является исследование влияния радиолокационных характеристик на сигнальное созвездие OFDM символов и разработка методов выделения радиолокационных параметров только на основе оценки искажения сигнальной решетки. Для достижения указанной цели в диссертации поставлены следующие задачи:

1. Исследовать и разработать методы обработки OFDM радиолокационных сигналов, на основе анализа сигнального созвездия OFDM символа.
2. Используя эти методы, разработать алгоритмы обработки OFDM радиолокационных сигналов, не требующих многообъемных вычислительных ресурсов.

3. В разработанных методах применить информационные OFDM сигналы, что даст возможность решить одновременно и радиолокационные, и телекоммуникационные задачи.
4. Провести сравнение и оценку эффективности и точности измерения, и помехоустойчивости разработанных алгоритмов.

В диссертации получены следующие основные результаты:

1. Обработка радиолокационного комплексного OFDM эхо-сигнального созвездия дает возможность рассчитать основные радиолокационные параметры - скорость и дальность цели, используя малообъемные вычислительные ресурсы.
2. Изменения созвездия радиолокационных сигналов OFDM под воздействием радиолокационных характеристик показывают, что сначала необходимо провести обработку по дальности цели, и только потом, провести обработку по скорости.
3. Разработан и выполнен новый метод расчета дальности и скорости цели, основанный на оценке среднеквадратического отклонения разброса созвездия OFDM символов эхо-сигнала.
4. Разработан и выполнен новый метод расчета дальности цели, в основе которого лежит извлечение фазового сдвига сигнального созвездия новых символов, полученных разделением всех последующих соседних информационных символов OFDM эхо-сигнала.
5. Основываясь на усреднении OFDM сигнала и расчета общего фазового сдвига, разработан новый метод решения скорости цели, особенностью которого является расчет скорости в течение одного символа OFDM сигнала.

OFDM SIGNALS IN RADAR APPLICATIONS

SUMMARY

Utilization of OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) signals in radar systems is trending higher on the year over year basis, so does the number of publications and investigations. Several methods and proposals has been designed and developed to solve various OFDM radar applications.

OFDM signals have two significant characteristics that make them usable in radar applications: their symbol long duration and wide spectrum. Long duration helps to measure the Doppler shift with high accuracy. Its wide spectrum, from the other side, allows finding the time delay of the received echo signal. These two values will lead us to get both velocity and distance of the target from the radar station.

The dissertation is devoted to OFDM signal constellation processing. Proposal of new methods lead to achieve better performance and resolution of the system and detection accuracy of target distance and velocity. To reach the stated aim the following steps have been made:

1. Explore and design OFDM radar signal processing methods, based on OFDM signal all-constellation analysis.
2. Utilizing the methods of OFDM radar signal processing, design algorithms, which will give an opportunity to solve radar applications requiring low-capacity computing resources.
3. Use OFDM information signals in proposed methods, which will let us solve both radar and communication applications.

4. Compare and make an estimation of effectiveness, measurement accuracy and noise stability.

During research work the following main results have been achieved:

1. OFDM complex radar echo-signal constellation processing gives an opportunity to calculate main radar applications - target velocity and distance from radar station, using low-capacity computing resources.
2. OFDM signal constellation impact because of radar characteristics show that first of all it is necessary to calculate the target distance, only after that, the radial velocity.
3. It is processed and implemented a new method of solving target distance and velocity, based on estimation of OFDM echo-signal constellation symbols standard deviation.
4. It is processed and implemented a new method of solving target distance, based on phase shift extraction of new symbols constellation resulted from division of each consecutive OFDM echo-signal neighbor symbols.
5. Based on averaging and calculation of main phase shift, it is designed a new method of target velocity solving, particularity of which is that velocity calculation could be done during one OFDM symbol.

