ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Սիվոլենկո էդուարդ Ռոբերտի

ԲԻՍՊԵԿՏՐԱԼ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՀԵՌԱՀԱՂՈՐԴԱԿՑԱԿԱՆ և ՌԱԴԻՈԼՈԿԱՑԻՈՆ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

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

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Сиволенко Эдуард Робертович

ПРИМЕНЕНИЕ БИСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

АВТОРЕФЕРАТ

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

ЕРЕВАН - 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում:

Գիտական ղեկավար՝ ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր
Ա. Ա. Հախումյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր
Ա. Առաքելյան
տեխ. գիտ. դոկտոր
Վ. Հ. Ավետիսյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2016 թ. հունիսի 14-ին, ժամը 13:00-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 2016 թ. մայիսի 12-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: доктор физ.-мат. наук
А. А. Ахумян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук,
А. Аракелян
доктор тех. наук
В. Г. Аветисян

Ведущая организация: Национальный Политехнический Университет Армении

Защита диссертации состоится 14 июня 2016 г., в 13:00 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 12 мая 2016 г.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат физ.-мат. наук., доцент В.П. Калантарян

Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Ատենախոսության արդիականությունը

Ատենախոսությունը վերաբերվում է ներկայումս ամենապահանջված և առաջընթաց ապրող գիտության մի բաժնի, որը գտնվում է արդի տեխնոլոգիաների զարգացման առաջնագծում, այն է՝ ազդանշանների թվային մշակման բնագավառին, որն անփոխարինելի հանգույց է հանդիսանում հեռահաղորդակցական տարբեր համակարգերում: Վերջին տարիներին հատկապես մեծ ուշադրության են արժանացել ռազմական և քաղաքացիական նպատակներով օգտագործվող ռադիոլոկացիոն կայանները (ՌԼԿ): Այս կայանները օգտագործվում են հսկման, անվտանգության, հակավթարային և այլ համակարգերում: ՌԼԿ-ները իրենց տեղն են գտել և արագընթաց զարգացում են ապրում բժշկության մեջ որպես ախտորոշիչ սարքավորումներ և փլատակների տակից որպես որոնողական միջոց օգտագործվող համակարգերում: Նման համակարգերում էլ հենց օգտագործվում են ազդանշանների թվային մշակման ալգորիթմներ, որոնք ավելի են մեծացնում համակարգի կայունությունն ու հուսալիությունը:

Ժամանակակից տեխնոլոգիաների արագընթաց զարգացմանը զուգընթաց ավելանում են նաև մշակվող արդյունքների ծավալները և հաշվողական տեխնիկայի էներգասպառումը: Նման խոշոր, էներգատար և թանկարժեք ժամանակակից տեխնոլոգիաներն ապահովում են արդյունավետ և՛ արագ տվայլների մշակում, բայց և՛ սահմանափակում են որոշ ոլորտներում դյուրակիր ռադարների օգտագործման հնարավորությունը, քանի որ շատ դեպքերում այս համակարգերի սնուցումը կատարվում է իր իսկ մարտկոցի հաշվին: Նման հզոր սարքերի պարագայում ուղակի հնարավոր չի լինի ապահովել անհրաժեշտ սնուցում: Ահա այդ նպատակով էլ անհրաժեշտություն է

առաջանում այնպիսի համակարգերի ստեղծման և ալգորիթմների մշակման, որոնք կապահովեն արդյունավետություն՝ առանց հավելյալ էներգետիկ ռեսուրսներ պահաջելու և կլինեն դյուրակիր [1]:

Ինչպես հայտնի է, ռադարային համակարգերում կատարվում է գրանցված ազդանշանի վերլուծություն: Այդ գրանցված ազդանշանն բացի օգտակար ազդանշանից պարունակում է նաև աղմուկներ, խանգարումներ և միջավայրի այլ օբյեկտներից անդրադարձած ազդանշաններ: Միջավայրից անդրադարձած հզորության ճնշումը, աղմուկների ազդեցության նվազեցումն և օգտակար ազդանշանի զտումը հանդիսանում են ռադիոլոկացիոն կայանի թվային մշակման հանգույցի կարևորագույն գործառույթը: Տվյալ աշխատանքն էլ հենց նվիրված է հնարավորինս թեթև և արդյունավետ ալգորիթների մշակման:

<u>Ատենախոսության նպատակը</u>

Ատենախոսության նպատակն է ստեղծել ազդանշանների թվային մշակման նոր եղանակ, որը թույլ կտա ազդանշանների մշակումը դարձնել ավել արդյունավետ և բարձրացնել համակարգի աշխատունակությունը: Նշված արդյունքին հասնելու համար ատենախոսությունում դրվել են հետևյալ խնդիրները՝

1. Ուսումնասիրել շարժվող թիրախից անդրադարձած ազդանշանի սպեկտրը՝ օգտագործելով անընդհատ գործողության ռադիոլոկացիոն կայան (ԱԳ ՌԼԿ):
2. Գնահատել գրանցված ազդանշանում առկա աղմուկները: Օգտագործելով նախապես մշակված ալգորիթմները՝ ճնշելու այդ աղմուկները:
3. Գրանցված ազդանշանում առկա հաճախականային բաղադրիչների հայտնաբերում՝ հիմնված վերջիններիս մեջ առկա փուլային կապի վրա:

4. Հիմնվելով փուլային կապի առկայության վրա՝ առանձնացնել օգտակար ազդանշանը մնացաց ազդանշաններից, որոնց միջև նույնպես հնարավոր է առկա լինել օգտակար ազդանշանից անկախ փուլային կապ:
5. Առաջարկվող եղանակները կիրառել ռադիոլոկացիոն ազդանշանների թվային մշակման մեջ: Իրականացնել փորձարկումներ առաջարկվող մեթոդների հավաստիությունը ստուգելու համար:

Գիտական նորույթը

1. Ուսումնասիրվել է տատանողական բնույթի շարժում կատարող թիրախից անդրադարձած ազդանշանը դյուրակիր ռադարներում՝ օգտագործելով բարձր կարգի սպեկտրալ վերլուծություն:
2. Փորձնականորեն ցույց է տրված միևնույն սպեկտրն ունեցող երկու տարբեր ազդանշանների միջև թիրախին պատկանող ազդանշանի տարանջատումը բիսպեկտրալ եղանակով:
3. Փորձարկումների շրջանում առաջին անգամ առաջարկվել է մոդուլացված ազդանշանների իրարից տարանջատելու մեթոդ՝ հիմնված բարձր կարգի սպեկտրալ վերլուծության ու փուլային կապվածության վրա:
4. Փորձնականորեն ցույց է տրվել որ, երկկապուղի՝ համափուլ (I) և քվադրատուր (Q) բաղադրիչներով աշխատող ռադիլոկացիոն կայանի գրանցած ազդանշանի բիսպեկտրալ վերլուծության արդյունքներում ազդանշան աղմուկ հարաբերությունն ավելի լավն է, քան նույն ազդանշանի ԱՖՁ-ը:
5. Փորձնականորեն ցույց է տրվել նաև գծային հաճախամոդուլված ազդանշաններով աշխատող անընդհատ գործողության ռադարներում հնարավոր է գրանցած ազդանշանի բիսպեկտրալ վերլուծության

արդյունքներում գտնել ազդանշանի բաղադրիչների միջև փուլային կապ և դուրս բերել այդ կապը:

Գործնական արժեքը

Ատենախոսական աշխատանքի շրջանակներում մշակված ալգորիթմը կիրառվում է անընդհատ գործողության ՌԼԿ-ներում՝ որպես հայտնաբերման և նույնականացման մեթոդ: Ալգորիթմը կարելի է օգտագործել օպտիկայում, պլազմային ֆիզիկայում, ռազմական արդյունաբերությունում և այլն: Շատ կարևոր է ալգորիթմի կիրառությունը բժկական նպատակներով, հատկապես էլեկտրաէնցաֆալոգիայի՝ ուղեղային կաթվածի և էպիլեպսիայի օջախների հայտնաբերման հարցերում:

Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Թիրախից անդրադարձած ազդանշանի սպեկտրալ վերլուծությունից առաջացած պիկերը հաճախ կարող են համընկնել միջավայրից անդրադարձած ազդանշանի սպեկտրալ վերլությունից առաջացած պիկերի հետ: Թիրախից անդրադարձած ազդանշանը տարանջատելու համար օգտագործվում է բարձր կարգի սպեկտրներ: Վերջիններս հնարավորություն են տալիս փուլայի կապվածությամբ տարանջատել թիրախից անդրադարձած ազդանշանը:
2. Միևնույն կրողն ունեցող երկու տարբեր մոդուլյացիաներ, որոնք միախառնված են միմյանց հետ, տարանջատելու համար կիրառվող բարձր կարգի սպեկտրները հնարավորություն են տալիս իրարից զատելու մոդուլյացիայի տեսակները՝ առանձնացնելով համապատասխան մոդուլյացիային պատկանող պիկերը:
3. Անընդհատ գործողության ռադիոլոկացիոն կայաններում բիսպեկտրալ վերլուծությունը հնարավորություն է տալիս գրանցված ազդանշանից

տարանջատելու այն պիկերը, որոնք պատկանում են թիրախին: Թիրախի իրանից, ձեռքերից և ոտքերից անդրադարձած ազդանշանները կոհերենտ են, քանի որ ծնված են միևնույն աղբյուրից: Փուլի մասին ինֆորմացիայի պահպանման շնորհիվ հնարավոր է դառնում դուրս բերելու թիրախին պատկանող բաղադրիչները: Համեմատած ՖԱՁ՝ բիսպեկտրալ վերլուծության դեպքում լավանում է նաև ազդանշան աղմուկ հարաբերությունը:

4. Առաջարկվել է ազդանշանի մշակման «պատուհանային» մեթոդ, որը թույլ է տալիս նվազեցնել հաշվողական ռեսուրսները՝ մեծացնելով համակարգի արագագործությունը:
5. Գծային հաճախամոդուլված (ԳՀՄ) ՌԼԿ-ներում բիսպեկտրալ վերլուծության ներդրումն նույնպես շատ մեծ դեր է կատարում օգտակար ազդանշանի հայտնաբերման համար՝ ճնշվում են աղմուկները, իսկ փուլի մասին ինֆորմացիայի պահպանման շնորհիվ հնարավոր է դառնում դուրս բերելու թիրախին պատկանող բաղադրիչները:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները բազմիցս քննարկվել են Ռադիոֆիզիկայի և Էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի Ազդանշանների մշակման ու ԳԲՀ սարքավորումների լաբորատորիաների սեմինարներում և ներկայացվել IRPhE’2014 (2-3 հոկտեմբերի, Աղվերան, Հայաստան) և IRPhE’2016 (4-6 մայիսի, Երևան, Հայաստան):

Տպագրություններ

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 5 աշխատանք, որոնցից 3 հոդված՝ հայկական գիտական ամսագրերում, և 2 զեկույց՝ ներկայացված միջազգային գիտաժողովում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 4 գլուխներից, եզրակացությունից և 116 հղում պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 107 էջ է և պարունակում է 57 նկար:

Ատենախոսության բովանդակությունը

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

Գլուխ 1-ում ներկայացված է ատենախոսության թեմային առնչվող գրականության վերլուծությունը [2]: Այն բաղկացած է 2 պարագրաֆից, որոնք իրենց մեջ ներառում են ենթավերնագրեր:

§1.1-ը բաղկացած է 5 ենթվերնագրից, որտեղ ներկայացված են բարձր կարգի սպեկտրալ վերլուծության մաթեմատիկական բնութագրերը:

§1.1.1-ում ներկայացված է բարձր կարգի սպեկտրալ վերլուծության նշանակությունը ռադիոլոկացիոն համակարգերում:

§1.1.2-ում ցույց է տրված կապը կումուլյանտային ֆունկցիաների և մոմենտների միջև:

§1.1.3-ում բերված են կումուլյանտային ֆունկցիաների հատկությունները:

§1.1.4-ում ներկայացված են երրորդ կարգի կոռելյացիոն ֆունկցիան և բիսպեկտրումը:

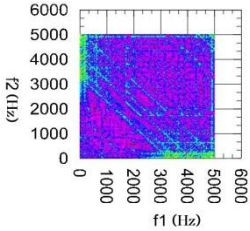
§1.1.5-ում թվարկված են բիսպեկտրալ վերլուծության հատկությունները, որոնք օգտագործվում են աշխատանքում:

§1.2-ը բաղկացած է 2 ենթավերնագրերից, որոնցում բերված են բարձր կարգի սպեկտրալ վերլուծության՝ բիսպեկտրումի և կումուլյանտային ֆունկցիաների հիմնական կիրառությունները [1,2]:

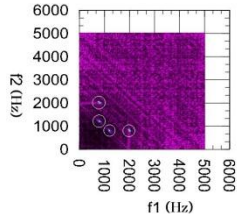
§1.2.1-ում ներկայացված է ազդանշանում առկա բաղադրիչների միջև եղած փուլի մասին տեղեկության դուրս բերման մեթոդ, որի միջոցով հնարավոր է լրացուցիչ տեղեկություններ ստանալ: Հենց փուլի մասին տեղեկության պահապանումն էլ հանդիսանում է բիսպեկտրալ վերլուծության հիմնական հատկություններից մեկը, որից զուրկ է սպեկտրալ վերլուծությունն ու կոռելյացիոն ֆունկցիան: Եթե փուլային կապ առկա չէ, ապա բիսպեկտրալ վերլուծությունը ցույց է տալիս աղմկային ֆոն, իսկ փուլային կապի առկայության դեպքում բիսպեկտրալ վերլուծությունից հետո փուլային կապը արտահայտվում է համապատասխան հաճախությունների գումարի վրա պիկի հայտնվելով: Փուլային կապ առաջանալու պայմանը՝

$$\omega_3 = \omega_1 + \omega_2 , \qquad \varphi_3 = \varphi_1 + \varphi_2 , \qquad (1)$$

Նկար 1-ում պատկերված է փուլային կապի բացակայության (ա) և առկայության (բ) դեպքերի բիսպեկտրալ վերլուծությունը:



ա)



բ)

Նկար 1: ա) փուլային կապի բացակայություն, բ)փուլային կապի առկայություն

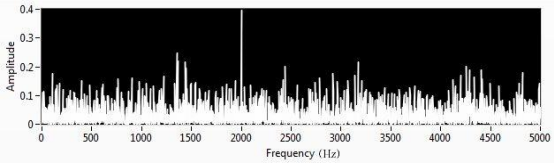
§1.2.2-ում ցույց է տրված կումուլյանտային ֆունկցիաների գլխավոր հատկություններից մեկը՝ վերջիններիս կայունությունը Գաուսյան աղմուկի նկատմամբ: Գաուսյան աղմուկը կարող է ունենալ ամենաշատը երկրորդ կարգի կումուլյանտ: Քանի որ բիսպեկտրալ վրլուծությունում օգտագործվում են երրորդ կարգի կումուլյանտային առնչություններ, ապա բիսպեկտրումը ամբողջությամբ ճնշվում է այն:

Գլուխ 2-ում ներկայացված է ռադիոլոկացիոն ազդանշանների թվային մշակման բիսպեկտրալ եղանակներ: Այս գլուխը նույնպես իր մեջ ներառում է 2 պարագրաֆ:

§2.1-ում ներկայացված է աղմուկների և խանգարումների ճնշման եղանակներ: Պարագրաֆը իր մեջ ներառում է 3 ենթավերնագիր:

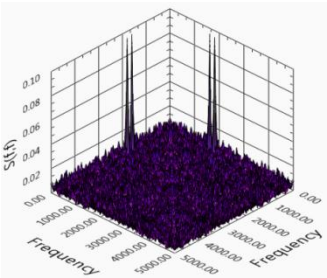
§2.1.1-ում տրված են տեղեկություններ կլատերի մասին, էֆեկտիվ սպեկտրալ խտության և ամբողջական մուտքային հզորության վերաբերյալ:

§2.1.2-ում ներկայացված է աղմուկներից ազդանշանի դուրս բերման եղանակ՝ հիմնված բիսպեկտրալ վերլուծության վրա: Ցույց է տրված այն դեպքը, երբ գաուսյան աղմուկի ստանդարտ դևիացիան՝ $\sigma = 10$: Նկար 2-ում բերված է այդ ազդանշանի սպեկտրալ վերլուծությունը:

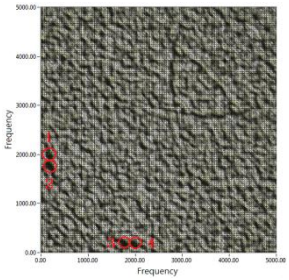


Նկար 2: Թիրախից անդրադարձած ազդանշանի սպեկտրը $\sigma = 10$ դեպքում

Դատելով նկար 2-ից հնարավոր չէ ասել, թե որտեղ են գտնվում օգտակար ազդանշանի պիկերը: Քանի որ փնտրվող օգտակար ազդանշանի բաղադրիչների մեջ առկա է փուլային կապվածություն, ապա բիսպեկտրալ եղանակի միջոցով հնարավոր է հայտնաբերել այդ կապը: Վերլուծության արդյունքները բերված են նկար 3-ում:



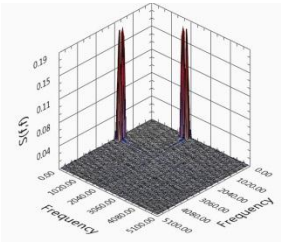
ա)



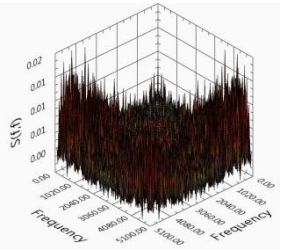
բ)

Նկար 3: Թիրախից անդրադարձած ազդանշանի բիսպեկտրումը $\sigma = 10$ դեպքում ա) եռաչափ տեսքը, բ) XOY հարթությունը:

§2.1.3-ում ներկայացված է ճնշված կրողով ամպլիտուդային մոդուլյացիայի (ՃԿԱՄ) և ազատ վազքի ռեժիմում աշխատող գեներատորներից ստացված ազդանշանների տարանջատումն այն դեպքում, երբ սպեկտրալ վերլուծությունից հետո վերջիններիս պիկերը ամբողջովին համընկնում են: Այդ ազդանշանների բիսպեկտրալ վերլուծության արդյունքներից տարբերությունն արդեն ակնհայտ երևում է: Բիսպեկտրալ վերլուծության արդյունքներն ներկայացված են նկար 4-ում:



ա)



բ)

Նկար 4: Բիսպեկտրալ վերլուծության եռաչափ տեսքը՝ ա) ՃԿԱՄ, բ) վազքի ռեժիմում աշխատող գեներատորներից ստացված ազդանշանի համար:

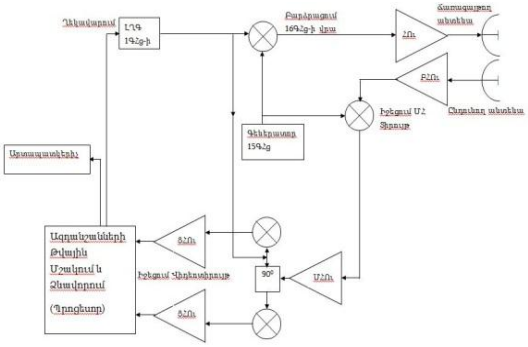
§2.2-ում ներկայացված է միևնույն կրող ունեցող երկու մոդուլյացիաների՝ ՃԿԱՄ և հաճախամոդուլված ազդանշանների տարանջատման բիսպեկտրալ մեթոդ՝ հիմնվելով փուլային կապի հայտնաբերման վրա:

<u>Գլուխ 3-ում</u> ներկայացված է անընդհատ գործողության ռադարով կատարված հետազոտությունների արդյունքները [1,3]:

§3.1-ում համառոտ ներկայացված է անընդհատ գործողության (ԱԳ) ռադարի մասին ընդհանուր տեղեկություններ: Ներկայացված է ռադարի բլոկ-սխեման (նկար 5):

§3.2-ում ներկայացված են ուսումնասիրությունների ժամանակ ստացված որոշարդյունքներ:

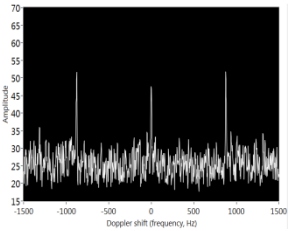
§3.2.1-ում ներկայացված է կլատերի ուսումնասիրություն: Բացի կլատերից ավելացված են նաև ոչ կոհերենտ ազդանշաններ f=900 Հց հաճախությամբ:



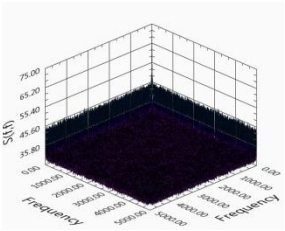
Նկար 5: Ռադարի բլոկ-սխեման:

Բիսպեկտրալ վերլուծությունից հետո ոչ կոհերենտ ազդանշանները ճնշվում են ու քանի որ օգտակար ազդանշան չկա, ապա ունենում ենք միայն աղմկային ֆոն, մինչդեռ սպեկտրալ վերլուծությունում ոչ կոհերենտ ազդանշանի պիկերն վառ արտահայտված են:

§3.2.2-ում համանման ուսումնասիրություն կատարվել է նաև հեռացող մեքենայի համար: Կլատերի սպեկտրալ և բիսպեկտրալ ներկայացումներն բերված են նկար 6-ում: Շարժվող մեքենայից անդրադարձած ազդանշանի բիսպեկտրալ վերլուծությունն ոչինչով չի տարբերվում կլատերի բիսպեկտրալ վերլուծության արդյունքներից:



ա)



բ)

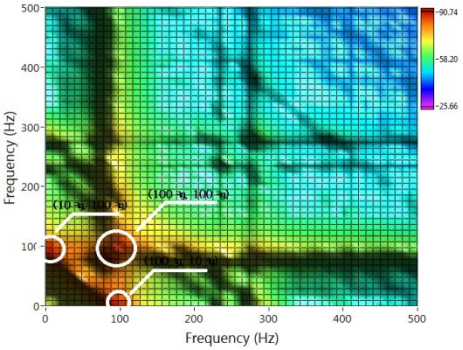
Նկար 6: Կլատերից ստացված ազդանշանի վերլուծություն՝ ա) սպեկտրալ, բ) բիսպեկտրալ տեսքերը:

§3.3-ում ներկայացված են արդյունքներ, որոնք ստացվալ են ԱԳ ռադարի միջոցով շարժվող թիրախի ուսումնասիրությունների ժամանակ [4, 5]:

§3.3.1-ում համառոտ ներկայացված է մարդու շարժման նկարագրությունը: Այն իրենից բավականին բարդ շարժում է ներկայացնում՝ պայմանավորված մարդու մարմնի և վերջույթների բարդ պտտական-տատանողական շարժումներով:

§3.3.2-ում ներկայացված է միկրոդոպլերի երևույթը: Մարդու մարմնի տարբեր մասերից անդրադարձած ազդանշաններն իրենց առանձին ներդրումն են ունենում վերջնական ազդանշանի ձևավորման մեջ, որն էլ հենց գրանցվում է ԱԳ ռադարի կողմից որպես մարդուց անդրադարձած վերջնական ազդանշան: Միկրոդոպլերյան շեղումը շարժվող թիրախի մարմնի առանձին մասերի առաջացրած շեղումներն են և ոչինչով չեն տարբերվում դոպլերյան շեղումից:

§3.3.3-ում ամբողջովին ներկայացված է մարդուց անդրադարձած ազդանշանի սպեկտրալ և բիսպեկտրալ վերլուծությունների արդյունքները: Արդյունքներից պարզ է դառնում, որ բիսպեկտրալ վերլուծության միջոցով հնարավոր է 11 դԲ շահում ստանալ ազդանշան աղմուկ հարաբերությունում և միաժամանակ դուրս բերել ազդանշանում առկա փուլային կապ ունեցող բաղադրիչները (նկար 7):



Նկար 7: Շարժվող թիրախից անդրադարձած միկրոդոպլերյան ազդանշանների փուլային կապի պատկերում բիսպեկտրալ վերլուծության միջոցով: Փուլային կապ առկա է՝ (100 Հց, 100 Հց), (10 Հց, 100 Հց) և (100 Հց, 10 Հց) համապատասխանաբար իրանի և ձեռքերի միկրոդոպլերյան շեղումներն են:

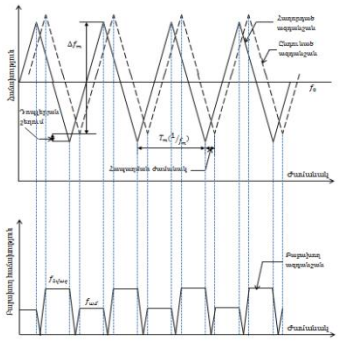
<u>Գլուխ 4-ում</u> նրկայացված է հաճախային մոդուլյացիայով (ՀՄ) աշխատող ԱԳ ռադարով կատարված հետզոտությունների արդյունքները [1, 6]:

§4.1-ում մանրամասն ներկայացվում է ՀՄԱԳ ռադարների առավելություններն ու թերությունները:

§4.2-ում հիմնավորվում է ռադարի որոշ բաղադրիչների ընտրությունը: Քանի որ բիսպեկտրալ վերլուծության համար խիստ կարևոր է փուլային ինֆորմացիան, ապա շատ կարևոր է փուլային աղմուկներից ազատվելը: Ահա այդ նպատակով ընտրվել և օգտագործվել են կայունացված դիէլեկտրիկ ռեզոնատորներ և որսված շղթայով PLL գեներատոր Lucix LO-149-XB է 15 ԳՀց հաճախության վրա ներքին հիմքային գեներատորով, նկարագրվող -96 դԲԿ/Հց փուլային աղմուկի մակարդակով 1ԿՀց շեղման դեպքում, և Minicircuits ZX95-1000C VCO -96 դԲկ/Հց փուլային աղմուկի մակարդակով 1 կՀց շեղման դեպքում: Նման կառուցվածքը, շնորհիվ ընդհանուր ուժեղացման բաշխման տարբեր հաճախությունների վրա ուժեղացուցիչների մեջ, թույլ է տալիս միաժամանակ հասնել ինչպես գծայնության ավելի բարձր մակարդակի լայն դինամիկ տիրույթում, այնպես էլ ստանալ անհրաժեշտ ընդհանուր ուժեղացում:

§4.3-ում ներկայացվում է գծային հաճախամոդուլված ազդանշաններով աշխատող ՀՄԱԳ ռադարների աշխատանքի սկզբունքը: Չափումների

համար կառուցված ռադարը աշխատում է եռանկյունային հաճախային մոդուլյացիայով, այսինքն հաճախությունը փոփոխվում է նախապես հայտնի օրենքով: Այս եղանակը թույլ է տալիս որոշել և՛ թիրախի հեռավորությունը, և՛ արագությունը: ԳՀՄ ԱԳ ռադարի աշխատանքը պատկերված է 8 նկարում:



Նկար 8: Ճառագայթված ազդանշանն ունի եռանկյան տեսք, որը նկարում պատկերված է հոծ գծի տեսքով: Ազդանշանի ամպլիտուդը մնում է հաստատուն մինչդեռ հաճախությունը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է: Անդրադարձած ազդանշանը նկարում պատկերված է կետագծերով:

§4.4-ում բերված են որոշ արդյունքներ ՖԱՁ-ի միջոցով թիրախի հայտնաբերման վերաբերյալ՝ այդ արդյունքները բիսպեկտրալ վերլուծության հետ համեմատելու համար:

§4.5-ում կատարված է գրանցված ԳՀՄ ազդանշանի բիսպեկտրալ վերլուծություն:

§4.6-ում Ներկայացված է ԳՀՄ ԱԳ ռադարներում բիսպեկտրալ վերլուծության արդյունքների բարելավման ալգորիթմ:

<u>Եզրակացություն</u>

1. Մշակվել են ալգորիթմներ, որոնք թույլ են տալիս մեծացնել դոպլերյան ռադարի աշխատունակությունը: Ալգորիթմները հիմնված են գրանցված ազդանշանից լրացուցիչ ինֆորմացիայի՝ ինչպիսին հանդիսանում է փուլային ինֆորմացիան, կորզման վրա: Մշակված ալգորիթմների միջոցով հնարավոր է ճնշել գաուսյան և միջավայրից անդրադարձած աղմուկները:

2. Հնարավոր եղավ անդրադարձած ազդանշանում առկա բաղադրիչները տարանջատել միջավայրում առկա այլ ազդանշաններից, որոնց սպեկտրալ վերլուծության պատկերն նույնն էր, ինչ օգտակար ազդանշանինը:
3. Հիմնվելով կումուլյանտների և բիսպեկտրումի հատկությունների վրա՝ հնարավոր եղավ տարանջատելու նույն կրողն ունեցող երկու մոդուլյացիաների տեսակները իրարից:
4. Դաշտային պայմաններում ԱԳ ռադարների միջոցով կատարված հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ բիսպեկտրալ վերլուծության պարագայում ստացված ազդանշան աղմուկ հարաբերությունն ավելի լավ է (մինչև 16դԲ), քան դասական սպեկտրալ վերլուծության դեպքում:
5. ԱԳ ռադարների միջոցով հնարավոր դարձավ նաև գրանցված ազդանշանի բաղադրիչների միջև եղած փուլային կապի միջոցով ստանալ սպեկտրի նուրբ կառուցվածքը: Բիսպեկտրալ վերլուծության միջոցով հնարավոր եղավ պատկերացում կազմել շարժվող թիրախի մարմնի տարբեր մասերից անդրադարձած ազդանշանների վերաբերյալ՝ շնորհիվ վերջիններիս առաջացրած միկրոդոպլերյան շեղումների:
6. Կատարվել են նաև չափումներ ՀՄԱԳ ռադարնեերի միջոցով: Ստացված արդյունքների ուսումնասիրությունից երևում է, որ ՀՄԱԳ ռադարների դեպքում ուժեղարարի ԱՀԲ-ն կարող է որոշակի դժվարություններ առաջացնել օգտակար ազդանշանի դուրս բերման համար: Սակայն անկախ այդ դժվարությունների՝ բիսպեկտրալ վերլուծությունը հնարավորություն է տալիս գրանցված ազդանշանում հայտնաբերել փուլային կապվածություն և դուրս բերել շարժվող թիրախին պատկանող միկրոդոպլերյան շեղումները:

7. Առաջարկվել և կիրառվել է ալգորիթմ, որը հնարավորություն է տալիս ճնշելու ուժեղարարի ԱՀԲ-ի բարձր մակարդակ ունեցող գիծը՝ բիսպեկտրալ վերլուծությունում մի փոքր իջեցնելով այն:

Օգտագործված գրականության ցանկ

[1]. S. Komarov, S. M. Smolskiy, “Fundamentals of Short-Range FM Radar”, Artech House, August 30, 2003.

[2]. Totsky A.V., Lukin V.V., Zelensky A.A., Astola J.T., Egiazarian K.O., Khlopov G.I., Morozov V.Ye., Kurbatov I.V., Molchanov P.A., Roenko A.A., Fevralev D.V., “Bispectrum-based methods and algorithms for radar, telecommunication signal processing and digital image reconstruction”, Ukraine, 2006.

[3]. P. Molchanov, “Radar target classification by micro-doppler contribution”, Tampere, 2014

[4]. A. Swami, J. M. Mendel, C. L. (Max) Nikias, “Higher-Order Spectral Analysis Toolbox User’s Guide,” The MathWorks, Inc.

[5]. J. M. Mendel, C. L. (Max) Nikias, “Signal processing with higher-order spectra” IEEE signal processing magazine, 1993.

[6]. I. Jouny, E. K. Walton, R. L. Moses and F. D. Garber, “Bispectral analysis of radar signal with application to target identification” USA, 1990.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. 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.
2. A.A. Hakhoumian and E.R. Sivolenko “Pedestrian detection using higher order statistics (HOS) or polyspectral analyses”, *Proceedings of the International*

Conference on "Microwave and THz Technologies and Applications, pp. 68-71, October 2-3, 2014, Aghveran, Armenia.

3. A.A. Hakhoumian and E.R. Sivolenko,"Pedestrian Micro-Doppler Signature Disclosure as a Carrier Suppressed Amplitude Modulated Signal Detection", *Armenian Journal of Physics*,Vol 8, issue 4, pp. 180-184, Armenia.
4. E. Sivolenko, "Determination Of Received Unknown Signal Modulation Type Using Higher Order Statistics Or Spectral Correlation Method", *Transactions of IIAP of the NAS RA, Mathematical Problems of Computer Science*, vol. 45, pp. 27-34, 2016., Armenia.
5. A. Hakhoumian, T. Zakaryan and E. Sivolenko, "Pedestrian Caused Doppler Signal Detection By Bispectrum Processing In Ku-band Coherent CW Radar" *Armenian Journal of Physics*, vol. 9, issue 2, pp. 110-116, 2016, Armenia.

ПРИМЕНЕНИЕ БИСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

АННОТАЦИЯ

Малогабаритные переносные РЛС широко применяются в самых разнообразных военных и гражданских областях. К примеру, в системах охраны и наблюдения, системы предупреждения столкновений, в биомедицине и т.д. Самое главное-это обнаружение движущихся целей. Для обнаружения широко используется метод Фурье и спектральный анализ. Но спектральный анализ безразличен к фазовой информации, а фазовая информация - это дополнительный ресурс.

Целью работы является выявление фазовой информации в радиолокационных и телекоммуникационных сигналах. Для достижения указанной цели в диссертации поставлены следующие задачи:

1. Используя РЛС непрерывного излучения исследовать спектр отраженных сигналов от движущихся целей.
2. Оценить шумы в зарегистрированном сигнале. Подавить эти шумы при помощи заранее разработанных алгоритмов.
3. Выявление частотных компонентов в зарегистрированном сигнале с помощью оценки фазовой связи между компонентами.
4. После обнаружения фазовой связи между компонентами сигнала отделить нужный сигнал от других сигналов, между которыми тоже могут быть фазовые связи.
5. Выше перечисленные методы использовать в блоках цифровой обработки сигналов реальных радаров для проверки достоверности предлагаемого метода.

В диссертации получены следующие результаты:

1. Были разработаны алгоритмы, которые дают возможность повысить производительность допплеровского радара, а так же подавлять гаусовский шум. Алгоритмы основаны на обнаружении фазовой информации зарегестрированого сигнала.
2. С помощью биспектрального анализа был отделен полезный сигнал от сигналов отраженных от местных целей, у которых спектральные анализы совподали.
3. Разные типы модуляций, у которых несущая частота совпадала, были отделены, используя свойства кумулянтных функций и биспектрума.
4. Исследования, которые были проведены в полевых условиях с помощью радара непрерывного излучения, показали, что результаты биспектрального анализа лучше (до 16 дБ), чем спектральный анализ.
5. Биспектральный анализ зарегистрированных сигналов радаром непрерывного излучения показал тонкую структуру спектра сигнала. С помощью фазовой информации были выведены микро доплеровские сдвиги отдельных частей тела движущегося объекта.
6. Были получены похожие результаты, используя РЛС с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Нужные компоненты сигнала были получены после оценки фазовой связи между ними.
7. Был разработан алгоритм, который дает возможность уменьшить время и ресурсы биспектральной обработки ЛЧМ сигналов в РЛС.

THE ESTIMATION OF TELECOMMUNICATION AND RADIOLOCATION SIGNALS USING BISPECTRAL ANALYSIS.

SUMMARY

Compact and portable radars are used in a wide variety of military and civilian applications. For example, insecurity and surveillance systems, in collision avoidance system, emergency, biomedicine and even in everyday life. The main function is moving object detection. For moving object detection FFT and spectral estimation are wildly used. But FFT and spectral estimation are phase blind. Phase information estimating gives opportunity to find additional information about target. Therefore, keeping phase information is very important.

The main goal of the dissertation is estimation of telecommunication and radiolocation signals and disclosure of phase information. Phase information estimation will help to increase the efficiency of Doppler radars. To reach the stated aim the following steps have been made:

1. Investigate the reflected signal spectrum of moving target using CW radar.
2. Assess noises in received signal. Suppress noises using developed algorithms.
3. Finding frequency components in received signal using phase coupled phenomenon.
4. Using phase coupled information to separate useful information from clutter.
5. Apply the proposed methods in digital processing of radar signals. Perform field tests in order to verify the feasibility of desired results.

During research work the following main results have been achieved:

1. The algorithms have been developed, which assume to increase Doppler radar efficiency. The algorithms are based in disclosure of additional information i.e. disclosure of phase information. The developed algorithms give opportunity to suppress Gaussian noise and clutter signals.
2. The useful signal was possible to separate from noise, which power spectrum contains the same picks in same frequencies.
3. Base on cumulants and bispectrum properties was possible to separate two modulation types which carrier frequency was the same.
4. Under field conditions made surveys using CW radars show that bispectrum estimation SNR better in 16 dB then FFT.
5. Phase coupled information disclosure using bispectum gives opportunity to find signal micro-doppler components which were generated from different moving parts of target.
6. The same surveys were done using CW LFM radars. In this case using coupled phase information the useful signal was disclosed. Micro-doppler components were found.
7. The estimated signal contains huge amount information. In this condition the algorithm was developed to decrease the estimating time and recourses.