

Թաղևոսյան Արթուր Սպարտակի

ՍԻՆԹԵՏԻԿ ԱՊԵՐՏՈՒՐՈՎ ՌԱԴԱՐՈՒՄ ՄՇԱԿՎՈՂ ԱԶԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ
ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ԵՎ ԻՄԻՏԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ

Ե.13.04 – «Հաշվողական մեքենաների, համալիրների, համակարգերի և ցանցերի մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման

Ատենախոսություն

Գիտական ղեկավար՝

տ.գ.դ., պրոֆեսոր Մ.Վ.Մարկոսյան

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ	2
ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ.....	Ошибка! Закладка не определена.
ԳԼՈՒԽ 1	
ՍԱՌ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՅՈՒՐԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ՀԻՄՆԱՀԱՐՑԵՐԸ	9
1.1. ՍԱՌ պատկերման մեթոդների համեմատական ուսումնասիրություն	9
1.2. ՍԱՌ համակարգերի նախագծման հիմնահարցերը.....	13
1.3. Նմանակիչների դերը ՍԱՌ համակարգեր մշակելիս.....	15
1.4. ՍԱՌ նմանակիչների համեմատական վերլուծությունը և առաջարկվող խնդիրները...	16
ԳԼՈՒԽ 2	
ՍԱՌ ՆՄԱՆԱԿՉԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱՁՈՏՈՒՄԸ	19
2.1. Նմանակչի նկարագրող մոդելը	19
2.2. Առաջարկվող ֆորմալ մոդելի կառուցման հիմնական սկզբունքները	20
2.3. Ազիմուտային կողավորում	22
2.3.1. Պարամետրական թիրախների անդրադարձային ազդանշանի գեներացումը	24
2.3.2. Անդրադարձային ազդանշանի գեներացումը մուտքային պատկերի հիման վրա	28
2.4. Իմպուլսային կողավորում	35
2.4.1. Զոնդավորող ազդանշանի ձևավորումը.....	38
2.5. Խանգարումների, աղմուկների և կրողի տատանումների մոդելավորումը	40
2.5.1. Խանգարումների և աղմուկների առաջարկվող դասակարգումը.....	40
2.5.2. Խանգարումների և աղմուկների մոդելավորումը	44
2.5.3. Կրողի տատանումների մոդելավորումը.....	50
2.6. Եզրակացություն.....	51
ԳԼՈՒԽ 3	
ՍԱՌ ՆՄԱՆԱԿՉԻ ԱՊԱՐԱՏԱ-ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՀԱՄԱԼԻՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ԵՎ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄԸ ..	53
3.1. ՍԱՌ նմանակչի ապարատա-ծրագրային համալիրի նախագծումը.....	53
3.1.1. Ապարատային և ծրագրային միջոցների ընտրությունը.....	53
3.1.2. Առաջարկվող նմանակչի աշխատանքային ռեժիմները	55
3.1.3. Նմանակչի աշխատանքի փուլերը.....	56
3.1.4. Տվյալների փոխանցման մեխանիզմի նախագծումը	61
3.2. ՍԱՌ պատկերի ձևավորման կազմակերպումը.....	63
3.2.1. ՍԱՌ պատկերի ձևավորման եղանակները.....	64
3.2.2. Փորձարարական ՍՄՄ-ի նախագծումը	64
3.2.3. Պատկերի ձևավորման ներպարբերական կողավորման փուլը	65

3.2.4. Պատկերի ձևավորումը միջպարբերական կողավորման փուլը	66
3.3. Նմանակչի թեստավորումը փորձարարական ՍՄՄ-ի հետ.....	68
3.3.1. Նմանակչի փորձարկումը առանց փուլային շեղումների ազդանշանի մշակմամբ	68
3.3.2. Նմանակչի փորձարկումը աղմուկների առկայությամբ ազդանշանի մշակմամբ .	70
3.3.3. Նմանակչի փորձարկումը կրողի տատանումներով շարժման դեպքում.....	72
3.4. Նմանակչի փորձարկումը գործող ՍԱՌ-ի հետ	74
3.4.1. Իրական փորձի կատարման նկարագրությունը.....	74
3.4.2. Իրական տվյալների փոխարինումը նմանակչի ազդանշանով	78
3.4.3. Գեներացված ազդանշանի մշակման արդյունքները.....	79
3.5. Եզրակացություն.....	81
ԳԼՈՒԽ 4	
ՍԱՌ-Ի ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԱՊԱՀՈՎՄԱՆ ԱՌԱՋԱՐԿՎԱԾ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ ԱԿՏԻՎ	
ԽԱՆԳԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՆԴԵՊ.....	83
4.1. Խանգարումներից պաշտպանվածությունը ՌԷՊ-ի պայմաններում	83
4.1.1. ՍԱՌ-ի խանգարումապաշտպանվածությունը	84
4.2. Դիագրամում անկումների ձևավորման մեթոդները.....	85
4.2.1. Դիագրամում անկման ձևավորման ներկայացված մեթոդը.....	86
4.3. Մեկ կարգավորվող գործակցով անկումների ձևավորումը.....	92
4.3.1. Մեկ ուղղությամբ զրոյի ձևավորումը	92
4.3.2. Սիմետրիկ ուղղություններով զրոների ձևավորումը.....	95
4.4. Երկու կարգավորվող գործակցով անկումների ձևավորումը.....	97
4.4.1. Մեկ ուղղությամբ ինտերվալի ճնշումը	97
4.4.2. Սիմետրիկ ուղղություններով ինտերվալների ճնշումը.....	100
4.5. Եզրակացություն.....	103
ԵԶՐԱՀԱՆԳՈՒՄ.....	104
ԱՌԱՋԱՐԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ.....	106
ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ.....	107
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1. ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐ.....	114
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2. ՏԵՐՄԻՆՆԵՐԻ ԲԱՌԱՐԱՆ.....	115

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Թեմայի արդիականությունը

Սինթետիկ ապերտուրով ռադարները (ՍԱՌ) կարևոր նշանակություն ունեն հեռազննման, երկրագիտության և օբյեկտների դիտարկման ոլորտներում: ՍԱՌ համակարգերը ազդանշանների մշակումը օգտագործելով՝ սինթեզում են ֆիզիկականից ավելի երկար անտենա: Այն կարող է արդյունավետորեն աշխատել վատ եղանակային պայմաններում և ձևավորել բարձր թույլտվությամբ պատկերներ [1], [2], [3]: ՍԱՌ համակարգերը ի վիճակի են պատկերել տեղանքը անգամ ամպամած պայմաններում, քանի որ ռադարը ունի ավելի մեծ ալիքի երկարություն, քան՝ տեսանելի լույսը: Հետևաբար, դա հնարավորություն է տալիս խուսափել ամպերի ազդեցությունից և տեղանքից անդրադարձերը ստանալ հնարավորինս անվնաս:

ՍԱՌ-ում մշակվող ազդանշանների գեներացումը առանցքային դեր ունի այդ համակարգերի հետազոտման և նախագծման մեջ: Համոզվելու համար, որ մշակված ՍԱՌ համակարգը համապատասխանում է իր առջև դրված պահանջներին, այն նախօրոք պետք է ստուգվի գեներացված ազդանշանների հետ: Այսպիսով, չմշակված տվյալների (raw data, raw signal) գեներացումը հանդիսանում է ՍԱՌ համակարգերի նախագծման և մշակման կարևոր փուլերից մեկը: Այդ գեներացումը իրականացնող գործիքը կոչվում է ՍԱՌ նմանակիչ (SAR simulator):

ՍԱՌ նմանակիչները հիմնականում օգտագործվում են արդյունավետության չափման, նոր ալգորիթմների նախագծման, համակարգի ապարատային ու կառուցվածքային ստուգման, փորձերի պլանավորման ու պատկերի ձևավորման մեթոդների մշակման համար: Հիմնվելով այս նպատակների վրա՝ 1995թ. Ֆրանչեսկետին առանձնացրեց [4] երկու տեսակի ՍԱՌ նմանակիչներ՝ ՍԱՌ պատկեր կամ ՍԱՌ չմշակված ազդանշաններ գեներացնելու համար: Պատկեր գեներացնող նմանակիչները նախատեսված են պլանավորման, թիրախների ավտոմատ ճանաչման կամ երկրաբանական հետազոտման համար [5], [6], [7], [8]: Ազդանշան գեներացնող նմանակիչները [9], [10], [11], [12] նպատակաուղղված են ՍԱՌ պատկերի ձևավորման ալգորիթմների մշակմանը կամ ստուգմանը:

1951թ. Ուայլին (Carl Wiley) առաջին անգամ առաջարկեց [13] ռադարը օգտագործել, որպես թիրախների կամ տեղանքների երկչափ պատկերներ ստանալու միջոց՝ դրանով իսկ հիմք դնելով ՍԱՌ-երին: Համակարգերի զարգացման համար կարևոր էր 1970թ. Հարգերի (Harger) ներկայացրած ՍԱՌ ազդանշանների օպտիկական մշակման եղանակը [14]: 1978թ. MacDonald Dettwiler-ը (MDA) և Jet Propulsion Lab-ը (JPL) համատեղ ստեղծեցին [15] ազդանշանների թվային մշակում իրականացման համար Range Doppler Algorithm-ը (RDA): Հաշվողական տեխնիկայի արագ զարգացումը նպաստեց ՍԱՌ համակարգերի զարգացմանը, որտեղ կար մեծ քանակությամբ արագ հաշվարկներ կատարելու պահանջ: 1999թ. Սումեխը (Mehrdad Soumekh) և 2005թ. Քամինգսն ու Վոնգը (Cumming and Wong) իրենց աշխատություններում [16], [1] ներկայացրեցին թվային մշակման տարբեր ալգորիթմներ, որտեղ ներառված էին նաև ազդանշանների գեներացման մեթոդներ՝ իրենց կողերով:

Ֆրանչեսկետին իր ներկայացրած չմշակված ազդանշանների նմանակչում [4] տեղանքը նկարագրելու համար օգտագործել է անդրադարձային ֆունկցիա (reflectivity function): Նույն հեղինակի կողմից ներկայացվել է ընդլայնված տեսարանների նմանակիչ [17], որտեղ պատկերվող տիրույթը նկարագրվում է անդրադարձելիության գնահատականներով (reflectivity evaluation): 2009թ. Շլուցը (Schlutz) ներկայացրել է [18] մուտքային պատկերի հիման վրա թիրախների ցրման արդյունավետ մակերեսի (ՑԱՄ) արժեքի ստացման եղանակ: 2013թ. Ադեվոյեն (Akintunde Adewoye) շարունակել է նրա կատարած աշխատանքը՝ մեթոդը ընդհանրացնելով [19] նաև ձգված (ֆիզիկապես ավելի մեծ) թիրախների համար:

Ատենախոսության առաջին մասում նախագծվել է ՍԱՌ-ում մշակվող ազդանշանների նմանակման մոդել և մշակվել ապարատա-ծրագրային համալիր: Նմանակիչը ունի մոդուլային կառուցվածք, ինչը թույլ է տալիս այն համապատասխան կոնֆիգուրացմամբ օգտագործելով՝ տարբեր փորձարկումներ կատարել: Այն մուտքային թվային պատկերի ֆայլի հիման տվյալների գեներացման հնարավորություն, ինչը թույլ է տալիս նմանակիչը օգտագործել ինչպես ալգորիթմների նախնական մշակման, այնպես էլ իրական տվյալները ընդունելուց հետո:

Աշխատանքի երկրորդ մասում կատարվել է ՍԱՌ համակարգում ազդանշանների մշակմանը խոչընդոտող երևույթներից մեկի՝ խանգարումների դեմ պայքարի կազմակերպում: Խանգարումների հանդեպ պաշտպանությունը իրականացվել է ՍԱՌ անտենայի ուղղվածության դիագրամի (ՈւԴ) տեսքի մոտարկման խնդիրը լուծելով, որը բավարարում է տվյալ ուղղությամբ խանգարումների չեզոքացման պահանջին: 2015թ. Կոշեվոյի և Շերշևայի կողմից ներկայացված ալգորիթմի [20] օգտագործմամբ՝ ներկայացվել է մեթոդների խումբ, որոնք թույլ են տալիս ձևավորել խանգարումային պայմանների համար նախատեսված հատուկ տեսքի ուղղվածության դիագրամներ:

Ատենախոսության առաջին գլխում ներկայացված է ՍԱՌ համակարգերում ազդանշանների մշակման հիմնական եղանակները, նրանցում առկա խնդիրները, գոյություն ունեցող ՍԱՌ նմանակիչների համեմատական վերլուծությունը: Երկրորդ գլխում բերված են նմանակչի նկարագրող և մաթեմատիկական մոդելները: Երրորդ գլխում ներկայացված են նմանակչի ապարատա-ծրագրային համալիրի նախագծման հիմնադրույթները և գեներացված տվյալների փորձարկման կազմակերպումն ու ստացված արդյունքները: Ատենախոսության չորրորդ գլխում ներկայացված է խանգարումների հանդեպ կայունության ապահովման առաջարկվող մեխանիզմը:

Վերը նշված ուղղություններով կատարվող աշխատանքները ցույց են տալիս դրանց պահանջվածությունը և այդ ուղղությամբ մշակումների արդիականությունը:

Ատենախոսության նպատակը

Ատենախոսության նպատակն է ստեղծել սինթետիկ ապերտուրով ռադարում մշակվող ազդանշաններ գեներացնող նմանակիչ, որը թույլ կտա առավել փոքր ռեսուրսներով մշակել ՍԱՌ պատկեր ձևավորող համակարգ կամ ստուգել արդեն գոյություն ունեցող համակարգի աշխատանքը: Բացի դրանից այդ նմանակիչը հնարավոր կլինի օգտագործել որպես գործող այլ ՍԱՌ համակարգերի աշխատանքը դժվարացնող կամ անհնարին դարձնող միջոց:

Աշխատանքի խնդիրներից է նաև ակտիվ խանգարումների կիրառմամբ ռադիոէլեկտրոնային պայքարի (ՌԷՊ) պայմաններում ՍԱՌ համակարգի էֆեկտիվ աշխատելուն նպաստող միջոցների մշակումը, մասնավորապես, ուղղվածության դիագրամի փոփոխմամբ խանգարումների դեմ պայքարին ուղղված մեթոդի մշակումը:

Հետազոտման մեթոդները

Հետազոտությունները հիմնվել են ռադիոտեղորոշման, ազդանշանների թվային մշակման դասական հասկացությունների, մաթեմատիկական հաշվարկների մոտարկումների վրա: Բացի այդ, մշակված համալիրի արագագործության ապահովման համար օգտագործվել են օբյեկտ կողմնորոշված ծրագրավորման մոտեցումները, C++ ծրագրավորման լեզուն, CUDA տեխնոլոգիայի [21] կիրառմամբ գրաֆիկական պրոցեսորի հետ աշխատանքի մեթոդներ: Անալոգային ազդանշանների ստացման համար կիրառվել է Deasy Tools [22] ծրագրային փաթեթը:

Գիտական նորույթը

1. Նախագծվել է ՍԱՌ-ում մշակվող ազդանշաններ գեներացնող նմանակչի մոդել:
2. Մշակվել է ՍԱՌ նմանակչի ապարատա-ծրագրային համալիր, որը կարող է իրական ժամանակում գեներացնել և տարբեր ռեժիմներում թվային կամ անալոգային ազդանշաններ փոխանցել ՍԱՌ մշակման մոդուլին:
3. Մշակվել է ակտիվ խանգարումների առկայության պայմաններում ՍԱՌ համակարգի կայունությունը ապահովող մեթոդների խումբ:

Արդյունքների կիրառման նշանակությունը

Ստացված արդյունքները կարևոր նշանակություն ունեն սահմանների հետախուզման և անվտանգության ապահովման գործում: ՍԱՌ նմանակիչը կարող է կիրառվել ինչպես ՍԱՌ մշակման համակարգեր նախագծելու ժամանակ, այնպես էլ օգտագործվել որպես գործող այլ ՍԱՌ համակարգերի աշխատանքը դժվարացնող կամ անհնարին դարձնող միջոց:

Պաշտպանության ներկայացվող դրույթները

1. ՍԱՌ-ում մշակվող ազդանշաններ գեներացնող նմանակչի մոդելը:
2. ՍԱՌ նմանակչի ապարատա-ծրագրային համալիրը:
3. Ակտիվ խանգարումների առկայության պայմաններում ՍԱՌ համակարգի կայունությունը ապահովող մեթոդները:

Գիտական հիմնադրույթների հավաստիությունը

Հիմնադրույթների հավաստիությունը պայմանավորված է մշակված մաթեմատիկական մոդելների և իրական փորձերի ընթացքում ձեռք բերված արդյունքների համեմատությամբ: Ստացված արդյունքները ներ են դրվել ԵրԿՄԳՀԻ-ում՝ այնտեղ իրականացվող ՍԱՌ համակարգի մշակման գործընթացում:

Աշխատանքի փորձահավանությունը

Ատենախոսության մեջ ստացված հիմնական գիտական և կիրառական արդյունքները զեկուցվել են 10-րդ «Computer Science and Information Technologies-2015» միջազգային գիտաժողովում, Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտի և Երևանի կապի միջոցների գիտահետազոտական ինստիտուտի գիտական սեմինարներում:

Հրապարակումները

Ատենախոսության հիմնական դրույթները հրապարակվել են հինգ գիտական հոդվածներում [23], [24], [25], [26] և [27]:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը

Աշխատանքը բաղկացած է ներածությունից, 4 գլխից, եզրահանգումից, առաջարկություններից, 95 օգտագործված գրականության ցանկից և 2 հավելվածներից: Աշխատանքը ներառում է 48 նկար և 7 աղյուսակ: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 116 էջ է:

ԳԼՈՒԽ 1

ՍԱՌ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՅՈՒՐԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ՀԻՄՆԱՀԱՐՑԵՐԸ

Սինթետիկ ապերտուրով ռադարը (ՍԱՌ) ռադարի հատուկ տեսակ է, որը նախատեսված է տեղանքների կամ օբյեկտների երկչափ կամ եռաչափ պատկերներ ստանալու համար: Այն հիմնականում տեղադրված է լինում այնպիսի շարժվող կրողի վրա, ինչպիսիք են օդանավն ու տիեզերանավը: ՍԱՌ-ը օգտագործելով տեղանքի վրայով կրողի շարժումը՝ սինթեզում է իրականից երկար անտենա և հնարավորություն տալիս ստանալ բարձր թույլտվությամբ պատկերներ:

1.1. ՍԱՌ պատկերման մեթոդների համեմատական ուսումնասիրություն

Գոյություն ունեն ռադարային պատկերման մի քանի տարբերակներ: Նրանցից ամենատարածվածները համարվում են Stripmap [28], Spotlight [29], ISAR [30], InSAR [31], Polarimetric [32] և Tomographic [33] տարբերակները:

Stripmap: Stripmap ՍԱՌ-ի դեպքում ռադարի ճառագայթը ուղղահայաց է օդանավի թռիչքի ուղղությանը: Ենթադրվում է, որ օդանավի վրա տեղադրված ռադարը կատարում է ուղղագիծ, հավասարաչափ շարժում՝ գտնվելով հաստատուն բարձրության վրա: Թռիչքի ընթացքում ընդունիչում ստացվում են գետնից ստացված անդրադարձերը: Քանի որ իրական ճառագայթը շարժվում է գետնի երկայնքով, գետնի շերտը նույնպես համաչափ փոխվում է օդանավի թռիչքին համընթաց: Ինչը նշանակում է, որ հերթով պատկերվում են գետնի իրար գուգահեռ շերտեր՝ թռիչքի ուղղությանը համապատասխան:

Spotlight: Spotlight ՍԱՌ-ը օգտագործվում է պատկերի ավելի բարձր թույլտվություն ստանալու համար, քան՝ Stripmap-ում: Դա կատարվում է սահմանափակ տեղանք պատկերելու միջոցով: Այս դեպքում ճառագայթը ամբողջ թռիչքի ընթացքում ուղղված է դեպի սահմանված տարածքը: Դա իր հերթին նշանակում է, որ կատարելով ավելի երկար թռիչք՝ կստացվի ավելի երկար սինթետիկ ապերտուր: Ինչը իր հերթին բերում է ըստ անկյան ավելի բարձր թույլտվություն ստացման: Այնուամենայնիվ,

պատկերումը տեղի է ունենում կրճատված տեղանքի համար, որը սահմանափակված է իրական ճառագայթի չափով:

ISAR: Stripmap և Spotlight եղանակները պատկերը ձևավորելու համար հիմնվում են կրողի շարժման և տեղանքի անշարժ լինելու փաստերի վրա: Հետևաբար, դրանք չեն համապատասխանում շարժվող թիրախներ հայտնաբերելուն: Դրանց թվին են դասվում նավերը, ինքնաթիռները և այլ փոխադրամիջոցներ: Թիրախի շարժվելու հետևանքով առաջացող փուլային փոփոխությունը հաշվի չառնելու դեպքում տեղի է ունենում սինթետիկ ապերտուրի ապակիզակետում (defocus), որը հանգեցնում է պատկերի որակի վատթարացման:

Հիմա դիտարկենք դեպք, երբ ռադարը անշարժ է և ճառագայթում է ֆիքսված ուղղությամբ, իսկ թիրախը շարժվում է ճառագայթին ուղղահայաց: Այս դեպքում ՍԱՌ մեթոդը կարելի է «շրջել», որը թույլ կտա ձևավորել պատկեր: Նկարագրված մեթոդը հանդիսանում է Stripmap-ի ճիշտ հակադարձը: Այն կոչվում է հակադարձ ՍԱՌ (Inverse SAR, ISAR): Ինչպես Stripmap-ում, այնպես էլ այստեղ ըստ հեռավորություն թույլտվությունը կախված է շերտի լայնությունից: Ըստ անկյան թույլտվությունը որոշվում է ելնելով այն անկյունից, որը պտտվել է թիրախը՝ ազդանշանների կուտակման ժամանակի ընթացքում:

Այսպիսով, ISAR եղանակի դեպքում ռադարային համակարգը չպետք է տեղաշարժվի: Պատկերը կարող է ձևավորվել, եթե ռադարի և թիրախի միջև գոյություն ունի տեսանելիության անկյան փոփոխություն:

InSAR: Interferometric SAR (InSAR) եղանակը թույլ է տալիս շատ բարձր թույլտվությամբ չափել տեղանքի բարձրության փոփոխությունները: Այն ավանդական ՍԱՌ համակարգերի հետ միասնական օգտագործելով կարելի է ստանալ եռաչափ տոպոգրաֆիկ քարտեզներ: Արբանյակներից կիրառվող InSAR-ները [34], [35] լայն կիրառություն են գտել և թույլ են տալիս ստանալ ճշգրիտ, բարձր թույլտվությամբ, գլոբալ տոպոգրաֆիկ քարտեզներ:

InSAR պատկեր կարելի է ստանալ օդանավի վրա երկու անտենա տեղադրելով: Մյուս տարբերակը մի քանի անցումների կատարելն է նույն տեղանքի վրայով, բայց

տարբեր բարձրությամբ թռչելով: Վերջինը սակայն պրակտիկ իրականացնելը այնքան էլ դյուրին չէ:

Այս դեպքում ունենում ենք նույն տեղանքից ստացված երկու ՍԱՌ պատկեր: Երկրորդ թռիչքը կատարվել է նույն հետազոծով, սակայն մի փոքր տարբերվող բարձրությամբ: Ենթադրելով, որ գետնի վրա ոչինչ չի փոխվել՝ երկու պատկերները կստացվեն գրեթե նույնական: Այնուամենայնիվ, սրանց մեջ գոյություն ունի էական տարբերություն: Վերջինս չի երևում պատկերի մեջ, քանի որ վիզուալ ցուցադրվում է կոմպլեքս պատկերի ամպլիտուդը: Որը երկու վիզուալ պատկերների մոտ գրեթե նույնական է: Իրականում պատկերը երկու բաղադրիչ ունի՝ ամպլիտուդը և փուլը: Ստացված պատկերները իրարից տարբերվում են փուլային պատկերով, որը սովորաբար անտեսվում է ՍԱՌ պատկերները ցուցադրելիս: Սակայն այն առանցքային դեր է խաղում տեղանքի բարձրությունը չափելու համար:

Կոմպլեքս արժեքային ՍԱՌ պատկերի յուրաքանչյուր պիքսելի հարաբերական փուլը կախված է ռադարի և դիտարկվող ցրող օբյեկտի հեռավորությունից: Ավելի բարձր դիրքում գտնվող թիրախները ռադարին ավելի մոտ կգտնվեն, քան՝ ցածրերը: Հետևաբար ՍԱՌ պատկերի պիքսելի արժեքը կախված է օբյեկտի բարձրությունից:

InSAR-ի ժամանակ կրողը իր վրա ունի երկու ընդունիչ, որոնք գտնվում են որոշակի հեռավորության վրա: Այստեղ պետք է նշել, որ նրանցից միայն մեկն է կատարում հաղորդչի դեր:

Polarimetric SAR: Տիպիկ ՍԱՌ պատկերը տրամադրում է ցրող (scattering) օբյեկտների քարտեզը, որտեղ այդ ցրման ամպլիտուդը ցույց է տալիս մոխրագույնի արժեքը: Սևը նկարագրում է բացարձակ զրոյական ցրումը, իսկ սպիտակը՝ ամենամեծ արժեքին համապատասխան արժեքը: Օգտագործվում է նաև կապույտ-կարմիր գունային սպեկտրը: Այդ ամպլիտուդը կախված է այդ վանդակի պարունակությունից, չափից, կառուցվածքից և նյութի տեսակից: Այդ ամպլիտուդից ելնելով դժվար է ինչ-որ գնահատական տալ այդ պիքսելին համապատասխանող տեղանքի ֆիզիկական կազմության մասին:

Այնուամենայնիվ, օբյեկտից ցրման ուժգնությունը կախված է նաև ճառագայթվող էլեկտրամագնիսական ալիքի բնութագրերից, օրինակ՝ հաճախությունից և

բևեռացումից: Տեղանքը, որը տվյալ հաճախության ու բևեռացման ժամանակ տալիս է մեծ ցրում, կարող է այլ արժեքների դեպքում կարող է տալ բացարձակ այլ ցրման ամպլիտուդ: Վերջինս իր հերթին նշանակում է, որ հաճախությունը և բևեռացումը կարևոր տեղեկատվություն են տրամադրում տեղանքի տեսակի մասին:

ՍԱՌ համակարգերը կարող են նախագծվել այնպես, որ ունենան տարբեր հաղորդման և ընդունման բևեռացումներ: Օրինակ՝ կարող է ճառագայթվել ուղղահայաց բևեռացմամբ ավիք, իսկ ընդունվել՝ հորիզոնականով: Հնարավոր են բևեռացման զույգերի չորս տեսակներ՝

- ՈւՈւ – ուղղահայաց - ուղղահայաց,
- ՀՈւ – հորիզոնական - ուղղահայաց,
- ՀՀ – հորիզոնական - հորիզոնական,
- ՈւՀ – ուղղահայաց - հորիզոնական,

Վերոնշյալ տարբերակներից յուրաքանչյուրը նույն տեղանքի համար կտրամադրի տարբեր ՍԱՌ պատկեր: ՈւՈւ-ն, ՀՀ-ն ու ՀՈւ-ն (կամ ՈւՀ) օգտագործվում են կեղծ-գունային պատկեր ստանալու համար: Դրա համար պատկերների ամպլիտուդները նկարագրվում են համապատասխանաբար կարմիր, կապույտ և կանաչ գույներով: Այնուհետև այդ երեք պատկերները միավորում են կեղծ-գունային պատկեր ստանալու համար:

Tomographic SAR: Tomographic SAR-ը կարելի է համարել ՍԱՌ-ի ընդլայնում համարել: Այն ավելի քիչ տարածված է, քան ՍԱՌ մշակման մյուս տեսակները, սակայն հնարավորություն է տալիս ստանալ երկչափ, նույնիսկ, եռաչափ պատկերներ: Tomographic-ը օգտագործում է բազմակի թռիչքներ, որոնք կատարվում են տարբեր դիտման անկյուններով: Օրինակ, նույն տեղանքի համար կատարվում են իրար ուղղահայաց երկու թռիչքներ: Այնուհետև նրանք գումարվում են իրար:

Այստեղ օգտագործվում է համակարգչային տոմոգրաֆիային [36] նման եղանակ, որի ժամանակ օգտագործվում են ռենտգենային ճառագայթները: Ազդանշանների մշակման միջոցով տարբեր անկյուններից ստացված տվյալները իրար հետ մշակվում են՝ ստանալով ամբողջական պատկերը:

Tomographic SAR-ի պատկերի որակը կախված է ստացված ապերտուրների քանակից: Ավելի մեծ քանակից բարձր որակի պատկեր է ստացվում: Մյուս կողմից, ժամանակի տարբեր պահերին շրջակա միջավայրում տեղի ունեցող փոքր փոփոխությունները կարող են հանգեցնել պատկերի վատթարացման:

Stripmap-ը ամենատարածված տարբերակն է նրանց շարքում: Spotlight SAR-ը հնարավորություն է տալիս ստանալ պատկերի ավելի բարձր թույլտվություն, սակայն այն փոքրացնում է պատկերվող տարածքը: ISAR-ը պատկերը գեներացնելու համար օգտագործում է թիրախի շարժումը: InSAR-ը թույլ է տալիս ստանալ տեղանքի բարձրությունների քարտեզը: Polarimetric SAR-ը կարող է լրացուցիչ տեսակավորել տեղանքի գոտիներ և օբյեկտներ: Tomographic SAR-ը հնարավորություն է ստեղծում առանց մեծ շերտի բարձրությունների ստանալ բարձր թույլտվության պատկերներ:

Հիմնվելով այն փաստի վրա, որ Stripmap-ը հանդիսանում է ամենատարածված ՍԱՌ պատկերման համակարգը՝ ատենախոսության մեջ դիտարկվել են այդ սկզբունքով աշխատող ՍԱՌ-երը: Համապատասխան օգտագործման դեպքում աշխատանքում ներկայացված նմանակիչը կարող է օգտագործվել նաև InSAR և Tomographic համակարգերը մշակելու և ստուգելու համար:

1.2. ՍԱՌ համակարգերի նախագծման հիմնահարցերը

ՍԱՌ համակարգերի նախագծման ժամանակ կարևոր նշանակություն ունի ռադարային բնութագրերի ընտրությունը: Ստացվող պատկերի թույլտվությունները, պատկերվող տեղանքի չափսերը, պատկերի որակը և այլ նմանատիպ բնորոշիչների արժեքները կախված են բազմաթիվ պարամետրերի ճիշտ և համադրելի ընտրությունից:

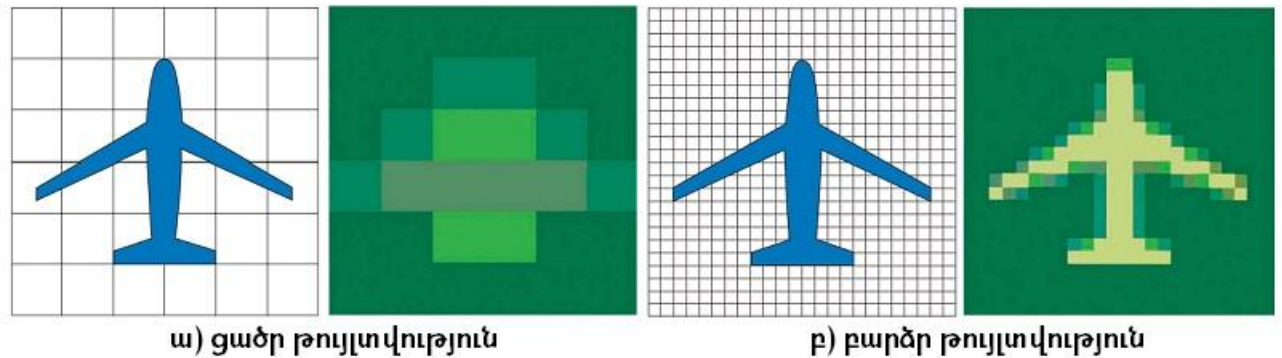
Վերը նշված բնութագրերից պատկերի թույլտվությունը կախված է այնպիսի պարամետրերի ընտրությունից ինչպիսիք են ազդանշանի շերտի լայնությունը, ալիքի երկարությունը, անտենային ֆիզիկական չափը և այլն: Ըստ շարժման ուղղության և շարժմանը ուղղահայաց պատկերի սահմանային թույլտվությունները որոշվում են (1.1) և (1.2)-ով՝ համապատասխանաբար:

$$\delta r = c/(2B), \quad (1.1)$$

$$\delta l = \lambda R/(2L), \quad (1.2)$$

որտեղ՝ δr – շարժմանը ուղղահայաց ուղղությամբ պատկերի թույլտվությունը, c – լույսի արագությունը, B – շերտի լայնությունը (bandwidth), δl – R հեռավորության վրա շարժման ուղղությամբ պատկերի թույլտվությունը, λ – ալիքի երկարությունը, L – սինթետիկ ապերտուրի երկարությունը:

Այս պարամետրերի օպտիմալ ընտրությունը կարևոր նշանակություն ունի ստացված պատկերում օբյեկտների հայտնաբերման ժամանակ: Ինչպես երևում է նկար 1.1-ում ցածր թույլտվությունը կարող է անլուծելի դարձնել օբյեկտների ճանաչումը, իսկ շատ բարձր թույլտվությունը այն կարող է տեխնիկապես անլուծելի խնդիր դարձնել:



Նկար 1.1. ՍԱՌ պատկերի թույլտվության ազդեցությունը օբյեկտների ճանաչելիության վրա

Պատկերվող տեղանքի չափերի և հեռավորությունը նույնպես հանդիսանում են ՍԱՌ համակարգերի հիմնական բնութագրերից: Դրանք իրենց հերթին կախված են այնպիսի պարամետրերի ընտրությունից ինչպիսիք են ազդանշանի տևողությունը, կրկնման պարբերության տևողությունը և այլն:

Ստացված պատկերի որակի, նրանում առկա աղմուկների մակարդակը մեծամասամբ որոշվում է մշակման ալգորիթմներից, ռադարի ապարատային սարքավորումներից, շրջակա միջավայրից և կրողի շարժման հետագծից: Նրանցից յուրաքանչյուրը ունի ինքնատիպ ազդեցություն ստացվող պատկերի որակի վրա:

Այս բոլոր բնութագրիչների օպտիմալ ընտրությունը և դրանց ստուգումը հանդիսանում են ՍԱՌ համակարգերի նախագծման հիմնական բարդություններից մեկը: Դրանց ճիշտ գնահատման և ընտրության հետ են կապված համակարգի տրամադրած պատկերի որակը, գինը և այլն:

1.3. Նմանակիչների դերը ՍԱՌ համակարգեր մշակելիս

Սինթետիկ ապերտուրային ռադարը իմպուլսային ռեժիմում ճառագայթում է զոնդավորող ազդանշաններ և կրողի շարժման հաշվին իրականացնում է մակերևույթի դիտարկում: Նմանատիպ համակարգերի մշակումը և փորձարկումը բավականին թանկ է, քանի որ այն կապված է իրական թռիչքների հետ: Այդ փաստից ելնելով՝ ՍԱՌ համակարգեր նախագծելիս լայն կիրառում են ստանում նմանակիչները, որոնց միջոցով ստացվում են իրական անդրադարձերին համապատասխանող անդրադարձային ազդանշաններ [37], [38]:

Նմանակիչը օգտագործելով՝ մշակվում է ՍԱՌ-ի մշակման մոդուլը (ՍՄՄ), կատարվում են նրա փորձարկման նախնական փուլերը: ՍՄՄ-ն դա ապարատա-ծրագրային մոդուլ է, որը մշակում է անդրադարձային ազդանշանները և ձևավորում տեղանքի պատկերը: Համապատասխան կիրառության դեպքում նմանակիչները կարող են օգտագործվել, որպես ՍԱՌ-ի ռադիոէլեկտրոնային ճնշման (ՌԷՃ) համակարգեր: Դրանց նպատակը այլ ՍԱՌ համակարգերին մոլորության մեջ գցել է, որը կատարվում է նրանց վրա կեղծ ազդանշաններ ուղարկելով [39], [40]:

Պատկերի ստացման համար ՍՄՄ-ն տեղեկատվություն է կուտակում մեծ քանակի կրկնման պարբերությունների ընթացքում: Իրական աշխատանքային պայմաններում յուրաքանչյուր կրկնման պարբերություն բաղկացած է երկու հաջորդական փուլերից՝ հաղորդման և ընդունման:

Հաղորդման ընթացքում ճառագայթվում է նախօրոք ընտրված զոնդավորող ազդանշանը: Այդ ընթացքում ընդունում տեղի չի ունենում: Այնուհետև, հաջորդում է ընդունման փուլը, որի ընթացքում սպասվում է ստանալ թիրախային ազդանշանը: Թիրախային համարվում է այն ազդանշանը, որը ստացվում է մեր կողմից որպես թիրախներ դիտարկվող օբյեկտներից՝ ճառագայթված զոնդավորող ազդանշանը անդրադառնալուց: ՍԱՌ-ում թիրախային օբյեկտ համարվում է այն տարածքը, որի պատկերը պետք է ստացվի: Նմանակման ժամանակ, այդ տեղանքը դիտարկվում է, որպես կետային թիրախների բազմություն [41]:

ՍԱՌ նմանակչի հիմնական խնդիրը առավել հստակ սահմաններ, որպես ընդունման փուլում սպասվող ազդանշանների գեներացում: Այս խնդիրը լուծելով՝

նմանակիչը դառնում է ՍՄՄ-ի գործիք, որը կարող է օգտագործվել վերջինիս մշակումն ու փորձարկումը արագացնելու և էժանացվելու համար:

1.4. ՍԱՌ նմանակիչների համեմատական վերլուծությունը և առաջարկվող խնդիրները

Դիտարկվել են ՍԱՌ համակարգերում մշակվող ազդանշանների գեներացման համար նախատեսված հետևյալ ՍԱՌ նմանակիչները՝ SAR Simulation Toolbox [42], Sarsim - Synthetic Aperture Radar Simulator [43] և OpenSource SAR Simulator [44], [45]: Ստորև բերված են այդ համակարգերի հակիրճ նկարագրությունները և հնարավորությունները:

SAR Simulation Toolbox

Կանադական Array Systems Computing Inc.-ի SAR Simulation Toolbox-ը գիտնականների և ինժեներների համար նախատեսված Matlab-ի գրադարան է, որը տրամադրում է ՍԱՌ պատկերման համակարգերի նախագծման վերլուծության գործիքներ: Նրա կազմի մեջ է մտնում է Data Generation Tool գործիքը, որը նմանակում է ազդանշանի հաղորդման և ընդունման փուլերը:

Այս գործիքը թույլ է տալիս գեներացնել ՍԱՌ չմշակված տվյալներ և ունի հետևյալ հնարավորությունները՝

- Կրողի շարժման ժամանակ հաշվի է առնում կրողի տուրբուլենտությունը,
- Ունի գեներացված տվյալներին աղմուկներ ավելացնելու հնարավորություն,
- Կարող է տվյալներ գեներացնել Stripmap և Spotlight տեսակի ՍԱՌ-երի համար:

Այն ունի հետևյալ թերությունները՝

- Համակարգը ստեղծված լինելով Matlab միջավայրում՝ դանդաղեցնում է նրա աշխատանքի արագությունը և իրական ժամանակում նրա կիրառությունը դարձնում անհնարին,
- Հնարավոր չէ ավելացնել խանգարումներ,
- Չունի մուտքային պատկերի հիման վրա տվյալների գեներացման հնարավորություն,

- Մաքսիմում 2000 ներպարբերական դիսկրետների գեներացման հնարավորություն,
- Փակ կոդով համակարգ, որը հասանելի է միայն գնումների դեպքում:

SARSIM - (Space & Defence Technologies Inc.)

Թուրքական Synthetic Aperture Radar Development Project նախագծի շրջանակներում Space & Defence Technologies ընկերության նախագծած SARSIM նմանակման գործիքը կարող է օգտագործվել ինժեներական նպատակներով կամ որպես ուսուցման միջոց:

SARSIM ծրագրային ապահովումը ունի հետևյալ կարևոր հնարավորությունները՝

- Իրական ժամանակում աշխատող, արագ մշակման համակարգ,
- Կրողի շարժման տատանումների ներդրման հնարավորություն,
- Ընդունման սարքերի աղմուկների գեներացման հնարավորություն:
- Stripmap և Spotlight տեսակի ՍԱՌ-երի համար չմշակված տվյալների գեներացման հնարավորություն,
- DTED և DEM քարտեզների օգտագործում, որպես տեղանքը նկարագրող մոտքային տվյալներ:

Այս համակարգը իր հերթին հետևյալ թերությունները՝

- Փակ կոդով համակարգ, որը հասանելի է միայն գնումների դեպքում,
- Չկան ներկայացված բնորոշիչների պրակտիկ ապացույցներ կամ տեսական բնույթի հիմնավորումներ,
- Աղմուկների ու խանգարումների ավելացման հնարավորության բացակայություն:

OpenSource SAR Simulator

OpenSource SAR Simulator ծրագրային փաթեթը ստեղծվել է շվեդական Բլեկինգեի Տեխնոլոգիայի Ինստիտուտում՝ Ալեքսանդր Ռայուլայի (Alexander Rajula) "SAR imaging with a hand-held UWB radar system" գիտական աշխատանքի [44] շրջանակներում: Դրա հիմնական նպատակն է ստուգել մշակվող ՍԱՌ պատկերների ձևավորման ալգորիթմները:

Այս ծրագրային փաթեթը ունի հետևյալ կարևոր բնութագրիչները՝

- Այն իրենից ներկայացնում է բաց կոդով ծրագրային ապահովում, որը հնարավորություն է տալիս այն կիրառել կամ ձևափոխել այլ անձանց կամ խմբերի,
- Գեներացնում է երկչափ տարածությունից անդրադարձած ՍԱՌ չմշակված տվյալներ,
- Ունի մշակված պատկերների մշակման ֆիլտրեր,
- Ունի տարբեր օպերացիոն համակարգերի վրա աշխատելու հնարավորություն:

Ծրագրային փաթեթը ունի հետևյալ թերությունները՝

- Հաշվարկների կատարում CPU-ի վրա,
- Խանգարումների ավելացման հնարավորության բացակայություն,
- Օդանավի տատանումների ներդրման անհնարինություն,
- Միայն թվային տեսքով ազդանշանների տրամադրման եղանակ:

Ուսումնասիրելով և վերլուծելով վերը նշված համակարգերը կարելի է գալ այն եզրահանգման, որ չկան ՍԱՌ չմշակված տվյալների գեներացման համար նախատեսված այնպիսի նմանակիչներ, որոնք կարող են՝

- համակարգի ելքում տրամադրել անալոգային ազդանշաններ,
- գեներացնել տվյալներ՝ հիմնվելով թվային պատկերի վրա,
- գեներացված իդեալական ՍԱՌ ազդանշանին ավելացնել խանգարումներ:

Բացի դրանից տարբեր նմանակիչների մոտ հանդիպում են որոշ օգտակար հնարավորություններ, որոնք բացակայում են մյուսների մոտ: Դրանից ելնելով մշակվող ՍԱՌ նմանակչի առաջ նաև խնդիր է դրվում մեկտեղել այդ հնարավորությունները մեկ նմանակչի մեջ: Այդ հնարավորությունների թվին են դասվում՝

- նախագծել իրական ժամանակում աշխատող, արագ մշակում իրականացնող համակարգ,
- ներդնել շարժման ժամանակ տատանումները հաշվի առնող կրողի հետագծեր,
- տեղանքը նկարագրելու համար ունենալ թվային պատկերի և պարամետրական օբյեկտների հիման վրա հիմնված մոդելներ:

ԳԼՈՒԽ 2

ՍԱՌ ՆՄԱՆԱԿԶԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Տվյալ գլխում ներկայացված է ՍԱՌ-ում մշակվող ազդանշաններ գեներացնող նմանակչի նկարագրող և մաթեմատիկական մոդելները: Նմանակիչը օպերատորի կողմից տրվող մուտքային տվյալների հիման վրա գեներացնում է ՍԱՌ ազդանշան, որը հետագայում պիտի մշակվի ՍԱՌ մշակման մոդուլի կողմից:

2.1. Նմանակչի նկարագրող մոդելը

ՍԱՌ նմանակիչը օգտագործողի կողմից տրված մուտքային տվյալների հիման վրա պետք է գեներացնի ազդանշան կամ ազդանշանների խումբ: Վերջիններս մշակվելով՝ պետք է հնարավորություն տան ստուգել ՍՄՄ-ում օգտագործվող ալգորիթմների կամ սարքավորումների արդյունավետությունն ու ստույգությունը:

Մուտքային տվյալները լինում են երկու տեսակի՝ տեղանքը և շրջակա միջավայրն ու ռադարը նկարագրող: Տեղանքը նկարագրելու համար կա երկու եղանակ՝ պարամետրական նկարագրություն ունեցող առանջին թիրախների կամ մուտքային պատկերի տեսքով: Վերջինս նկարագրում է դիտարկվող ամբողջ տեղանքը:

Գեներացվող ազդանշանները կարող են լինել իդեալական պայմաններին համապատասխան կամ փոլային սխալանքներով: Փոլային սխալանքները առաջանում են աղմուկների ու խանգարումների կամ կրողի տատանումների հետևանքով:

Ելքային տվյալները լինում են երկու տեսակի՝ մի կամ մի քանի կրկնման պարբերություններին համապատասխանող տվյալներ: Տարբեր կրկնման պարբերությունների ազդանշանների գեներացումները անկախ են միմյանցից: Իսկ մի կրկնման պարբերության ազդանշանի գեներացումը՝ առանց աղմուկներն ու տատանումները հաշվի առնելու իրենից ներկայացնում է գծային ժամանակից ինվարիանտ (linear-time invariant) համակարգ:

ՍԱՌ նմանակչի մոդելի հիմնական բնութագրիչները բերված են աղյուսակ 2.1-ում:

Մուտքային տվյալները	Տեղանքը նկարագրող	Պարամետրական օբյեկտներ
		Մուտքային պատկեր
	Շրջակա միջավայրն ու ռադարը նկարագրող	
Ելքային տվյալներ	Մի կրկնման պարբերությանը համապատասխանող	
	Մի քանի կրկնման պարբերություններին համապատասխանող	
Գեներացվող ազդանշանները	Առանց աղավաղումների (իդեալական)	
	Աղմուկների ու խանգարումների պայմաններում	
	Կրողների տատանումների պայմաններում	
	Աղմուկների, խանգարումների, կրողի տատանումների պարագայում	
Զոնդավորող ազդանշանը	Գծային հաճախականային մոդուլացված ազդանշան	
	Օգտագործողի կողմից տրված ազդանշան	

Աղյուսակ 2.1. Նմանակչի նկարագրող մոդելի հիմնական բնութագրիչները

2.2. Առաջարկվող ֆորմալ մոդելի կառուցման հիմնական սկզբունքները

Նմանակչի գեներացրած տվյալները բաղկացած են ժամանակային դիսկրետներից (հետագայում՝ դիսկրետ), որոնցից յուրաքանչյուրը նկարագրում է ժամանակի համապատասխան պահին ստացված ազդանշանը: Այդ տվյալները կարելի է խմբավորել ըստ պարբերությունների: Հետևաբար, գեներացված տվյալները կարելի է ներկայացնել մատրիցի տեսքով, որտեղ սյուները կրկնման պարբերություններ են, տողերը՝ պարբերության ներսում դիսկրետների ինդեքսները:

Կրկնման պարբերությունների քանակը նշանակենք M_{rp} -ով: Այն հանդիսանում է մուտքային պարամետր, որը տրվում է օպերատորի կողմից: Դրանով որոշվում է տեղեկատվության կուտակման ժամանակը:

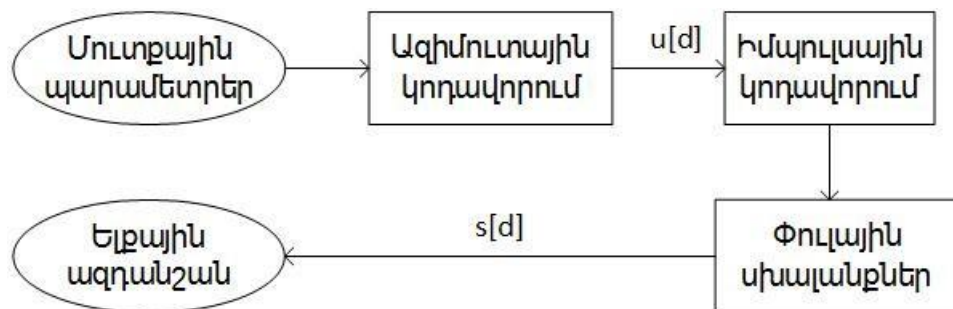
Սահմանենք կրկնման պարբերության մեջ եղած դիսկրետների քանակը՝ այն նշանակելով N_d -ով: Այն կախված է պարբերության ընթացքում դիտարկվող ժամանակից և f_s դիսկրետացման հաճախությունից (2.1): Դիսկրետացման հաճախության ընտրությունը կատարվում է ելնելով ՍԱՌ-ի առջև դրված

նպատակներից: Նմանակչի համար այն հանդիսանում է մուտքային պարամետր: Իրական աշխատանքային պայմաններում թիրախային ազդանշանի ստացումը հաղորդման ժամանակ տեսականորեն բացառվում է: Ազդանշանի ընդունումը այդ ընթացքում ՍՄՄ-ում սովորաբար անջատվում է: Հետևաբար, իրականին մոտ տվյալներ ստանալու համար՝ օպերատորի կողմից տրվում են անդրադարձային ազդանշանների գեներացման սկզբի և վերջի պարամետրերը:

$$N_d = f_s(T_{end} - T_{st}) \quad (2.1)$$

$T_{st} \geq 0$ գեներացման սկզբի պարամետրը ցույց է տալիս գեներացված առաջին դիսկրետի ժամանակային շեղումը կրկնման պարբերության սկզբից: Պարբերության սկիզբը համարվում է հաղորդումը սկսելու պահը: Գեներացման սկզբի 0-ական արժեքը նշանակում է, որ ընդունումը միացված է նույնիսկ հաղորդման ժամանակ:

T_{end} գեներացման վերջի պարամետրը ցույց է տալիս գեներացման վերջին համապատասխան ժամանակը՝ կրկնման պարբերության սկզբից: Նկատենք, որ $T_{end} \geq T_{st}$: ($T_{end} = T_{st}$) դեպքում գեներացված դիսկրետների քանակը հավասար է զրոյի, այսինքն՝ տվյալներ չեն գեներացվում՝ անկախ կրկնման պարբերությունների քանակից:



Նկար 2.1. Տվյալների գեներացման հիմնական փուլերը

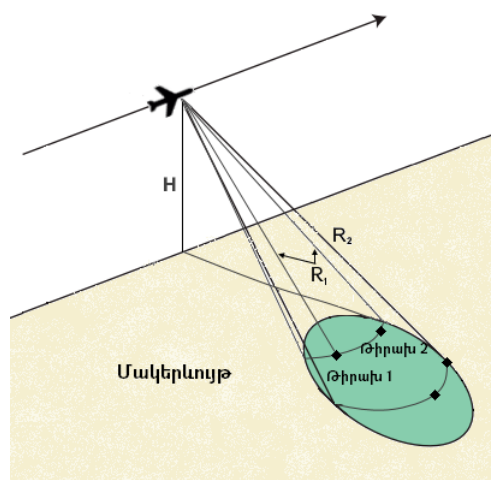
Անդրադարձային ազդանշանի գեներացումը կարելի է վերաձևակերպել, որպես N_d երկարությամբ $s[d]$ զանգվածի արժեքների հաշվարկ: Երբ գեներացվող կրկնման պարբերությունների քանակը տարբերվում է մեկից՝ $M_{rp} > 1$, կատարվում է $[M_{rp} \times N_d]$ չափանի մատրիցի հաշվարկ: Մատրիցի ամեն էլեմենտ կոմպլեքս թիվ է, որը նկարագրում է ժամանակի որոշակի պահին ստացված անդրադարձային ազդանշանը:

Մատրիցի սյուների միջի էլեմենտների (մի կրկնման պարբերության մեջ գտնվող դիսկրետների) արժեքների հաշվարկը նույնական է բոլոր սյուների համար: Տարբեր սյուների դեպքում փոխվում է միայն ՍԱՌ-ի կրողի դիրքը տարածության մեջ: Դիտարկենք պարբերության դիսկրետների գեներացումը (նկար 2.1): Այն բաղկացած է երկու փուլերից՝ ազիմուտային կողավորում և իմպուլսային կողավորում: Հնարավոր է ներառել փուլային սխալանքների ավելացման ոչ պարտադիր փուլը:

Ազիմուտային կողավորման ընթացքում ենթադրվում է, որ յուրաքանչյուր թիրախներից ստացվում է միավոր-ազդանշան (delta function) [46] անդրադարձ, իսկ իմպուլսային կողավորման ժամանակ՝ այդ անդրադարձերը բերվում են զոնդավորող ազդանշանի տեսքի:

2.3. Ազիմուտային կողավորում

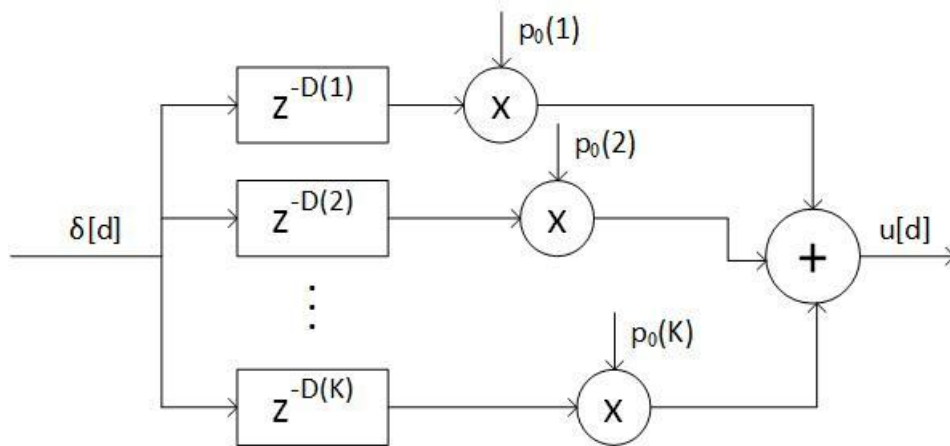
Ենթադրենք զոնդավորող ազդանշանի T_p տևողությունը համընկնում է մեկ դիսկրետին համապատասխանող ժամանակի ($1/f_s$) հետ: Դա նշանակում է, որ յուրաքանչյուր թիրախի անդրադարձը ստացվում է մեկ դիսկրետից բաղկացած ազդանշանի տեսքով: Սրանից հետևում է, որ յուրաքանչյուր դիսկրետին համապատասխանության մեջ է դրվում որոշակի հեռավորության վրա գտնվող թիրախի հետ: Քանի որ ուղղվածության դիագրամը (հիմնական թերթիկը) ունի որոշակի լայնության, ապա տարածության մեջ հնարավոր է լինեն մի քանի թիրախներ, որոնք կունենան նույն հեռավորությունը ՍԱՌ-ի հանդեպ (նկար 2.2): Դրանից հետևում է, որ որոշակի դիսկրետում կստացվեն անդրադարձեր մի քանի թիրախներից:



Նկար 2.2. Թիրախների դիրքը ՍԱՌ-ի հանդեպ

Գեներացման այն փուլը, երբ միացվում են ՍԱՌ-ի անտենայից նույն հեռավորության վրա գտնվող, բայց տարբեր ազիմուտներով թիրախներից ստացված ազդանշանները, կոչվում է ազիմուտային կողավորում: Ազիմուտային կողավորման ընթացքում գեներացված տվյալները հանդիսանում են մուտքային տվյալներ իմպուլսային կողավորման համար:

Այս փուլում յուրաքանչյուր պարբերության համար հաշվվում են բոլոր $\forall k \in [1, K]$ թիրախներից ստացված $\delta[d]$ միավոր-անդրադարձների $u[d]$ գումարը (նկար 2.3):



Նկար 2.3. Թիրախներից ստացված միավոր անդրադարձերը

$D(k)$ ֆունկցիան որոշում է միավոր ֆունկցիայի շեղումը, որը կախված է k -րդ թիրախի հեռավորությունից: k -րդ թիրախից ստացված $p_0(k)$ ազդանշանը նկարագրվում է ազդանշանի ամպլիտուդով ու փուլով (2.2)-ի՝

$$p_0(k) = a(k) \cdot e^{i\varphi(k)} \quad (2.2)$$

որտեղ՝ $p_0(k)$ -ն k -րդ թիրախից ստացված միավոր անդրադարձն է, $a(k)$ -ն՝ ազդանշանի ամպլիտուդը, $\varphi(k)$ -ն՝ ազդանշանի փուլը:

$a(k)$ արժեքի հաշվարկը կախված է թիրախների նկարագրման եղանակից, որոնք կքննարկվեն հետագայում, իսկ $\varphi(k)$ -ն՝ ուղիղ համեմատական է տվյալ կրկնման պարբերության ժամանակ թիրախի և ռադարի միջև եղած հեռավորությունը (2.3): Պետք է նշել, որ այդ հեռավորությունը յուրաքանչյուր պարբերության համար տարբեր է:

$$\varphi(k) = 2\pi \frac{2R(k)}{\lambda} \quad (2.3)$$

որտեղ $R(k)$ -ն k -րդ թիրախի հեռավորությունն է ռադարից, λ – ազդանշանի ալիքի երկարությունը:

(2.2)-ից և (2.3)-ից ստանում ենք, որ տվյալ կրկնման պարբերությունում k -րդ թիրախից ստացված ազդանշանը հավասար է՝

$$p_0(k) = a(k) \cdot \exp\left(4\pi \frac{R(k)}{\lambda}\right) \quad (2.4)$$

Յուրաքանչյուր թիրախի համար ամեն սյան մեջ որոշվում է համապատասխան դիսկրետի համարը: Այն կախված է տվյալ կրկնման պարբերության ժամանակ թիրախի և ռադարի միջև եղած հեռավորությունից: Հնարավոր է լինեն այնպիսի դեպքեր, որ որոշակի սյան մեջ տվյալ թիրախից ազդանշանը չընդգրկվի:

Ըստ բոլոր կրկնման պարբերությունների և թիրախների գումար կատարելուց հետո ազիմուտային կոդավորման փուլը ավարտվում է: Այս փուլի կատարման ավգորիթմի բարդությունը ստացվում է $O(M_{rp}K)$, որտեղ K -ն թիրախների քանակն է:

Կախված տեղանքը նկարագրելու ընտրված մեթոդից մշակված է ազիմուտային կոդավորման ընթացքում թիրախներից ստացված անդրադարձերի գեներացման երկու եղանակ՝ պարամետրական թիրախների և մուտքային նկարի վրա հիմնված:

2.3.1. Պարամետրական թիրախների անդրադարձային ազդանշանի գեներացումը

Պարամետրական օբյեկտների հիման վրա աշխատող նմանակչի աշխատանքի ժամանակ պատկերվող տարածքը նկարագրվում է կետային թիրախների տեսքով: Յուրաքանչյուր թիրախ բնութագրվում է որոշակի պարամետրերով, ինչը հնարավորություն է տալիս հաշվարկել նրանցից ստացվող ազդանշանը: Մշակված են նկարագրման երկու եղանակներ՝ պարզ և բարդ: Նրանց տարբերությունը կայանում է թիրախից ստացված ազդանշանի ամպլիտուդի հաշվարկի մեջ, իսկ ազդանշանի փուլի հաշվարկը երկու եղանակների դեպքում էլ նույնն է: Դիտարկենք ամպլիտուդների ստացման մեթոդները երկու եղանակների համար:

Պարզ նկարագրման ժամանակ թիրախի ամպլիտուդի հաշվարկը պահանջում է ավելի քիչ քանակությամբ պարամետրերի օգտագործում: Դա հեշտացնում է հաշվարկի բարդությունը, ինչպես նաև նմանակիչը դարձնում է կիրառման համար ավելի հարմար: Այս դեպքում օպերատորը հնարավորություն է ստանում խուսափել մի խումբ

պարամետրերի մուտքագրումից: Պարզ նկարագրման դեպքում թիրախը նկարագրվում է հետևյալ երկու պարամետրերով՝

- թիրախի դիրքը տարածության մեջ,
- թիրախի ամպլիտուդը (a):

Այս դեպքում համարվում է, որ ստացված ազդանշանի ամպլիտուդը կախված չէ ռադարի և թիրախի հեռավորությունից: Անկախ դրանից այն միշտ ունի a արժեքը, որը կարելի է կիրառել (2.4)-ում:

Բարդ նկարագրման ժամանակ թիրախը նկարագրող պարամետրերն են՝

- թիրախի դիրքը տարածության մեջ,
- թիրախի ցրման արդյունավետ մակերեսը (ՑԱՄ):

Թիրախի համար գեներացվում է ազդանշան, որի ամպլիտուդը հավասար է ռադարի հավասարման (2.5) միջոցով ստացվող P_r հզորությանը:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 R^4} \quad (2.5)$$

որտեղ P_t – հաղորդման հզորությունն է, G_t – հաղորդող անտենայի ուժեղացումը, A_r – ընդունող անտենայի էֆեկտիվ ապերտուրը, σ – թիրախի ՑԱՄ-ը, F – ազդանշանի տարածման ժամանակ կորուստների գործակիցը, R – ռադարի և թիրախի միջև ընկած հեռավորությունը:

Վերը նշված բոլոր պարամետրերը, բացի ՑԱՄ-ից և հեռավորությունից ընդհանուր են բոլոր թիրախների համար և նախօրոք տրվում են օպերատորի կողմից:

Ինչպես պարզ է դառնում (2.5)-ից, ի տարբերություն պարզ եղանակի, այս դեպքում ամպլիտուդի արժեքը կախված է ռադարի և թիրախի միջև հեռավորությունից: Դա նշանակում է, որ տարբեր կրկնման պարբերություններում, երբ փոխվում է ռադարի դիրքը կփոխվի նաև ազդանշանի ամպլիտուդը:

Այժմ քննարկենք հեռավորության հաշվարկը: Թե պարզ, թե բարդ հաշվարկի ժամանակ թիրախի դիրքը տարածության մեջ կարող է տրվել երեք եղանակներով՝

- դեկարտյան կոորդինատական համակարգում,
- սֆերիկ կոորդինատական համակարգում,
- աշխարհագրական կոորդինատական համակարգում:

Դեկարտյան կոորդինատներով դիրքի տրման ժամանակ թիրախի դիրքը հարթության մեջ նկարագրվում է (x, y) կոորդինատների զույգով: Համարվում է, որ այն գտնվում է զրոյական բարձրության վրա: Համարվում է, որ ռադարը շարժման սկզբում գտնվում է կոորդինատական առանցքի $O(0,0)$ կենտրոնում: Սակայն ռադարը գտնվում է որոշ բարձրության վրա, որի H արժեքը տրվում է օպերատորի կողմից: Հետևաբար ռադարի և թիրախի միջև հեռավորությունը հաշվելու համար անհրաժեշտ է գտնել $(x, y, 0)$ և $(0, 0, H)$ կետերի միջև հեռավորությունը:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + H^2} \quad (2.6)$$

Չմոռանանք սակայն, որ ռադարի կրողը շարժվում է և (2.6)-ը ճիշտ միայն առաջին կրկնման պարբերության համար: Բոլոր հաջորդ կրկնման պարբերություններում պետք է հաշվի առնել, որ հարթակը տեղաշարժվում է: Դեկարտյան կոորդինատական համակարգով տվյալների տրման դեպքում համարվում է, որ կրողը շարժվում է արագիսների առանցքով, v հաստատուն արագությամբ:

Մի կրկնման պարբերության ժամանակ կրողը տեղաշարժվում է $\Delta R = vT_{rp}$ չափով: Որտեղ T_{rp} -ն կրկնման պարբերության տևողությունն է, որը հավասար է հաղորդման և ընդունման ժամանակների գումարին, այսինքն՝ երկու հաջորդական ճառագայթումների միջև ընկած ժամանակն է: Սրանից հետևում է, որ m -րդ կրկնման պարբերության ժամանակ կրողը կգտնվի $(m\Delta R, 0, H)$ կետում: Սա հաշվի առնելով՝ շարժական ռադարի համար (2.6)-ը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$R_m = \sqrt{(x - m\Delta R)^2 + (y - 0)^2 + (0 - H)^2}$$

$$R_m = \sqrt{(x - mvT_{rp})^2 + y^2 + H^2} \quad (2.7)$$

(2.7)-ով կարելի է որոշել m -րդ պարբերության ժամանակ ռադարի և թիրախի միջև ընկած հեռավորությունը: Հետևաբար (2.7)-ը տեղադրելով (2.4)-ում կարող ենք հաշվել պարզ նկարագրում ունեցող թիրախից m -րդ կրկնման պարբերության ժամանակ ստացված $p_{0(m)}$ ազդանշանը (2.8):

$$p_{0(m)} = a \cdot \exp \left(4\pi \frac{\sqrt{(x - mvT_{rp})^2 + y^2 + H^2}}{\lambda} \right) \quad (2.8)$$

Իսկ բարդ նկարագրում ունեցող կետերի համար նախ պետք է (2.7)-ը տեղադրել (2.5)-ում և հաշվի առնելով, որ $a_{(m)} = P_{r(m)}$ ստանալ ազդանշանի ամպլիտուդը (2.9): Այնուհետև (2.9)-ը և (2.7)-ը տեղադրել (2.4)-ում ու ստանալ m -րդ պարբերության ժամանակ բարդ նկարագրում թիրախից ստացված ազդանշանը (2.10):

$$a_{(m)} = \frac{P_t G_t A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 \left[(x - mvT_{rp})^2 + y^2 + H^2 \right]^2} \quad (2.9)$$

$$p_{0(m)} = a_{(m)} \cdot \exp \left(4\pi \frac{\sqrt{(x - mvT_{rp})^2 + y^2 + H^2}}{\lambda} \right) \quad (2.10)$$

Սֆերիկ կոորդինատներով [47] թիրախի դիրքի տրման ժամանակ օբյեկտները նկարագրվում են (հեռավորություն, ազիմուտ, տեղի անկյուն) եռյակի միջոցով: Համարվում է, որ ռադարը շարժման սկզբում գտնվում է կոորդինատական առանցքի կենտրոնի հանդեպ $(H, 0, 90^\circ)$ կետում: Թիրախի դիրքը տրվում է $(R, \theta, \alpha = 0^\circ)$ տեսքով: Ընդունվում է, որ թիրախը գտնվում է աբսցիսներով ու օրդինատներով կազմված հարթության վրա: Հաշվարկների կատարման պարզեցման համար սկզբում անցում է կատարվում է դեկարտյան կոորդինատական համակարգի, այնուհետև մշակվում դեկարտյան համակարգում բերված եղանակով: Անցումը կատարվում է հետևյալ բանաձևերի [48] կիրառմամբ՝

$$x = R \cos \alpha \cos \theta \quad (2.11)$$

$$y = R \cos \alpha \sin \theta \quad (2.12)$$

$$z = R \sin \alpha \quad (2.13)$$

(2.11), (2.12), (2.13)-ից հետևում է, որ դեկարտյան համակարգում ռադարը կունենա $(0, 0, H)$ նախնական դիրք, իսկ թիրախը՝ $(R \cos \theta, R \sin \theta, 0)$ կոորդինատներ: Երկու կոորդինատներն էլ համապատասխանում են մուտքային դեկարտյան կոորդինատների վրա դրված պահանջներին: Սա նշանակում է, որ ստանալով մուտքային սֆերիկ կոորդինատներ, միայն սկզբում անցում է կատարվում դեկարտյան համակարգի, այնուհետև տվյալները գեներացվում են դեկարտյան համակարգում բերված մեթոդով:

Աշխարհագրական կոորդինատներով [49] դիրքի տրման ժամանակ օբյեկտները նկարագրվում են կետին համապատասխան λ լայնությամբ ու φ երկայնությամբ: Այս դեպքում անցում է կատարվում սֆերիկ կոորդինատական համակարգի: Անցման ժամանակ ռադարի դիրքը համարվում է կոորդինատական համակարգի կենտրոնը: Դրա համար որոշվում է ռադարի և մնացածի կետերի միջև ընկած հեռավորությունը և անկյունը: Դիտարկենք այն մեկ թիրախի համար, որտեղ ռադարը ունի (φ_1, λ_1) կոորդինատներ, թիրախը՝ (φ_2, λ_2) : (2.14) և (2.15)-ով որոշվում են թիրախի հեռավորությունը ռադարից և կազմած անկյունը [50]:

$$a = \sin^2(\Delta\varphi/2) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2)$$

$$c = 2 \operatorname{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$R = R_E \cdot c \quad (2.14)$$

որտեղ՝ $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, $R_E = 6371$ կմ – Երկրի շառավիղը:

$$y = \sin \Delta\lambda \cdot \cos \varphi_2$$

$$x = \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \Delta\lambda$$

$$\theta = 2 \operatorname{atan2}(y, x) \quad (2.15)$$

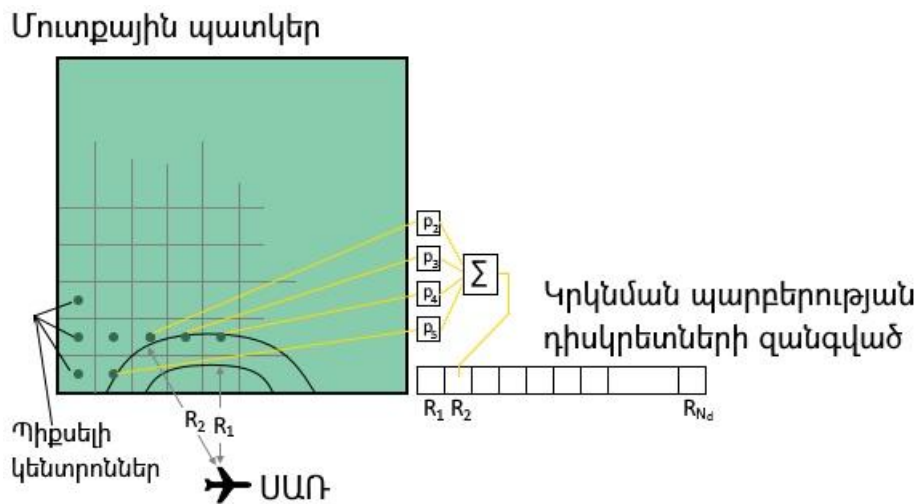
որտեղ՝ $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$:

Սֆերիկ կոորդինատական համակարգում ռադարին վերագրվում է $(0,0,H)$ դիրք, իսկ թիրախին՝ $(R, \theta, 0^\circ)$: Այնուհետև մշակումը կարող է շարունակվել սֆերիկ կոորդինատական համակարգում նկարագրված եղանակով:

2.3.2. Անդրադարձային ազդանշանի գեներացումը մուտքային պատկերի հիման վրա

Մուտքային պատկերի հիման վրա աշխատող նմանակչի աշխատանքի համար անհրաժեշտ են երկու տիպի մուտքային տվյալներ՝ տեղանքը նկարագրող պատկեր և շրջակա միջավայրն ու ռադարը նկարագրող պարամետրեր:

Քանի որ այս դեպքում տվյալների աղբյուր է հանդիսանում թվային պատկերը, ապա որպես տարբեր ազիմուտներով թիրախներ կարող են դիտարկվել տարբեր սյուներում գտնվող պիքսելների կենտրոնները (նկար 2.4):



Նկար 2.4. Մուտքային պատկերի վրա հիմնված ազիմուտային կոդավորումը

Ազիմուտային կոդավորման ընթացքում գեներացված տվյալները ստանալու համար կատարվում է ցիկլ՝ ըստ կրկնման պարբերության մեջ եղած բոլոր դիսկրետների: Տարբեր կրկնման պարբերությունների ազդանշանների գեներացումը նույնական է: Դիտարկենք այն մեկի օրինակով: Յուրաքանչյուր d -րդ էլեմենտի համար հաշվարկվում են տվյալ դիսկրետի $t(d)$ ժամանակը (2.16) և նրան համապատասխանող $R(d)$ հեռավորությունը (2.17): Այդ դիսկրետում պետք է ստացվեն $R(d)$ հեռավորության վրա գտնվող թիրախներից ստացված ազդանշանները (նկար 2.4):

$$t(d) = T_{st} + \frac{d}{f_s}, \quad (2.16)$$

$$R(d) = \frac{t_d c}{2},$$

$$R(d) = \frac{c}{2} \left(T_{st} + \frac{d}{f_s} \right), \quad (2.17)$$

որտեղ՝ c -ն լույսի արագությունն է:

Այն դեպքում, երբ ընթացիկ $R(d)$ հեռավորությունը ավելի փոքր է, քան ամենամոտ թիրախից եղած R_{min} հեռավորությունը (2.18), տվյալ դիսկրետին վերագրվում է զրոյական արժեք: Դա նշանակում է, որ տվյալ դիսկրետում ազդանշանը բացակայում է: Նույնը վերաբերվում է նաև այն իրավիճակին, երբ այն ավելի մեծ է, քան ամենահեռու գտնվող թիրախից եղած R_{max} հեռավորությունը (2.19): Մնացած բոլոր դիսկրետների համար՝

1. դիտարկվում են մուտքային պատկերի բոլոր W_p քանակությամբ սյուները,

2. յուրաքանչյուր $\forall w_p \in [1:W_p]$ համարով սյան համար գտնվում է $R(d)$ հեռավորությանը համապատասխանող տեղանքը նկարագրող պիքսելի տողի h_p համարը:

Բնականաբար պետք է հաշվի առնել, որ հնարավոր է լինեն սյուներ, որոնցում տվյալ հեռավորությունը կբացակայի, այսինքն՝ կլինի ավելի մեծ կամ փոքր: Նման դեպք կարող է լինել օրինակ, երբ դիտարկվում են առաջին դիսկրետները վերջին սյուներում: Տվյալ սյան ամենափոքր հեռավորությունը կարող է լինել ավելի մեծ, քան այդ դիսկրետին համապատասխանող հեռավորությունը (նկար 2.4, R_1): Նման դեպքում, այդ քայլը բաց է թողնվում:

$$R_{min} = \frac{H}{\cos \alpha} \quad (2.18)$$

$$R'_{max} = \sqrt{\left(\frac{H}{\sin \alpha} + L_y\right)^2 + L_x^2}$$

$$R''_{max} = \sqrt{\left(\frac{H}{\sin \alpha} + L_y\right)^2 + (vT_{rp}M_{rp})^2}$$

$$R_{max} = \max(R'_{max}, R''_{max}) \quad (2.19)$$

Այն բանից հետո, երբ գտնված են $R(d)$ հեռավորությանը համապատասխան բոլոր պիքսելների ինդեքսները, հաշվվում են այդ պիքսելների կենտրոններից ստացված ազդանշանները և դրանք գումարվում են (2.20): Ստացված արդյունքը վերագրվում է տվյալ դիսկրետին: Հաշվարկվում են պիքսելների կենտրոններից եղած հեռավորությունները, քանի որ որպես թիրախներ դիտարկվում են պիքսելների կենտրոնները: Մուտքային պատկերի սյան մեջ պիքսելի տողի ինդեքսի հաշվարկի և պիքսելի կենտրոնից եղած հեռավորության հաշվարկը բերված է հաջորդիվ:

Դիտարկենք մի կրկնման պարբերության համար ազիմուտային կողավորման փուլում գեներացված տվյալները՝

$$u[d] = \begin{cases} \sum_{w_p=1}^{W_p} A[w_p, h_p] \cdot e^{i\left(2\pi \frac{2R(w_p, h_p)}{\lambda}\right)}, & d \in [d_{min}, d_{max}] \\ 0 + i \cdot 0, & d \in [1, d_{min} - 1] \text{ և } d \in [d_{max} + 1, N_d] \end{cases} \quad (2.20)$$

որտեղ՝

$u[d]$ – ազիմուտային կողավորման փուլի ելքային տվյալներն են,

W_p – մուտքային պատկերի լայնությունը՝ պիքսելներով,

A – տեղանքը նկարագրող հարաբերական ամպլիտուդների $[W_p \times H_p]$ չափանի զանգված, որը ստացվում է պատկերի պիքսելների գույներից,

$R(w_p, h_p) - (w_p, h_p)$ ինդեքսներով պիքսելի կենտրոնի հեռավորությունը ՍԱՌ-ից,

λ – ազդանշանի ավիքի երկարությունը,

$d_{min} = 2R_{min}f_s/c$ – մինիմալ հեռավորությանը համապատասխանող դիսկրետի համարը, $d_{max} = 2R_{max}f_s/c$ – մաքսիմալ հեռավորությանը համապատասխանող դիսկրետի համարը,

w_p – պիքսելի սյան համարը,

i – կոմպլեքս թվի կեղծ միավորը:

(w_p, h_p) պիքսելի տողի h_p համարի ստացման $h_p = \mathcal{P}(m, d)$ ֆունկցիան կբերվի հաջորդիվ, որտեղ m -ը կրկնման պարբերության համարն է:

Ամպլիտուդի ստացումը: Պիքսելի կենտրոնին համապատասխանող թիրախը ունի $A[w_p, h_p]$ ամպլիտուդ, որը կախված է այդ պիքսելի գույնից: Այն ստանալու համար կա երկու տարբերակ: Մի դեպքում որոշվում է պիքսելի գույնի RGB բաղադրիչների միջին արժեքը (2.21), մյուս դեպքում հաշվվում է պիքսելի արդյունավետ պայծառությունը (effective luminance): Այս դեպքում գունային բաղադրիչները մոտեցված են մարդու ընկալմանը: Մարդկային աչքը առավել զգայուն է կանաչի հանդեպ: Այդ պատճառով կանաչը standard NTSC conversion formula-ում [51] ունի ավելի մեծ գործակից (2.22):

$$A[w_p, h_p] = \frac{1}{3}(R[w_p, h_p] + G[w_p, h_p] + B[w_p, h_p]) \quad (2.21)$$

$$A[w_p, h_p] = 0.2989 \cdot R[w_p, h_p] + 0.5870 \cdot G[w_p, h_p] + 0.1140 \cdot B[w_p, h_p] \quad (2.22)$$

որտեղ՝

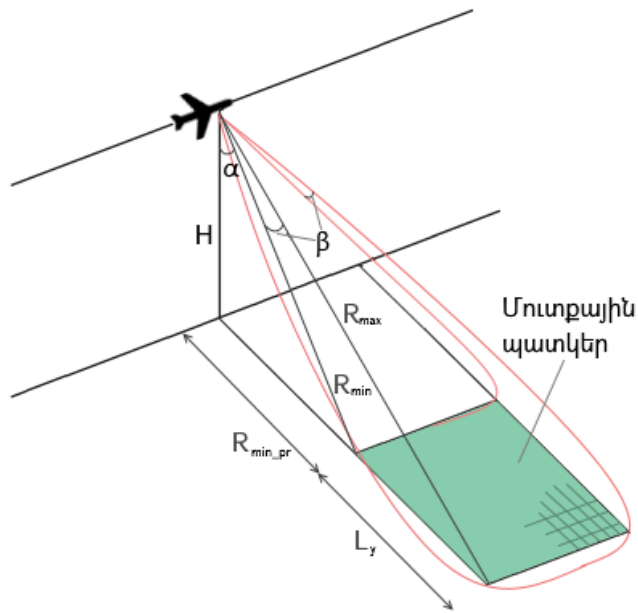
$R[w_p, h_p] \in [0, 255]$ - պիքսելի գույնի կարմիր բաղադրիչը,

$G[w_p, h_p] \in [0, 255]$ - պիքսելի գույնի կանաչ բաղադրիչը,

$B[w_p, h_p] \in [0, 255]$ - պիքսելի գույնի կապույտ բաղադրիչը:

Պիքսելի որոշումը

Վերադառնանք տրված m կրկնման պարբերության ժամանակ d դիսկրետին համապատասխանող թիրախային պիքսելի տողի ինդեքսի հաշվարկին՝ $\mathcal{P}(m, d)$ ֆունկցիայի գտնելուն: Թվարկենք ռադարի ֆիզիկական բնութագրերը նկարագրող մուտքային պարամետրերը: ՍԱՌ-ը գտնվում է H բարձրության վրա, ճառագայթում է ազդանշաններ α անկյան տակ, ուղղվածության դիագրամը ըստ տեղի անկյան կազմում է β (նկար 2.5):



Նկար 2.5. Եռաչափ տարածության մեջ ՍԱՌ-ի դիրքը գետնի մակերևույթի հանդեպ

Դիտարկենք d համարի դիսկրետը, որին ըստ (2.17)-ի համապատասխանում է $R(d)$ հեռավորությունը: Մյուս կողմից, եռաչափ տարածության մեջ կետի և ռադարի հեռավորությունը կորոշվի (2.23)-ով:

$$R(d) = \sqrt{R_{pr}^2 + H^2}, \quad (2.23)$$

որտեղ՝ R_{pr} - $R(d)$ -ի պրոյեկցիան է գետնի վրա,

Օգտագործելով (2.17) և (2.23), ստացվում է.

$$R_{pr} = \sqrt{\frac{c^2}{4} \left(T_{st} + \frac{d}{f_s} \right)^2 - H^2} \quad (2.24)$$

$$R_{pr} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \quad (2.25)$$

$$\Delta x_p = \frac{L_x}{W_p}, \quad (2.27)$$

$$R_y = \sqrt{R_{pr}^2 - \left(mvT_{rp} - w_p \frac{L_x}{W_p} \right)^2}, \quad (2.29)$$

33

w_p – պատկերի դիտարկվող սյան համարը,

R_{x0} – m -րդ պարբերության ժամանակ կրողի հեռավորությունը պատկերի սկզբից ըստ արցցիսի (ենթադրվում է, որ կրողը շարժվում է ուղղագիծ, հավասարաչափ),

v – կրողի արագությունը,

m – դիտարկվող կրկնման պարբերության համարը,

T_{rp} – կրկնման պարբերության տևողությունը:

$$R_y = R_{\min_pr} + h_p \Delta y_p, \quad (2.30)$$

$$\Delta y_p = \frac{L_y}{H_p}, \quad (2.31)$$

$$R_{\min_pr} = H \tan \alpha, \quad (2.32)$$

որտեղ՝

$R_{\min_pr}$ – մինիմալ հեռավորության պրոյեկցիան գետնի վրա,

h_p – թիրախային պիքսելի տողի համարը,

Δy_p – ըստ օրդինատի առաջին պիքսելին համապատասխանող հեռավորությունը,

H_p – մուտքային պատկերի բարձրությունը՝ ըստ պիքսելների,

L_y – մուտքային պատկերին համապատասխանող տեղանքի երկարությունը ըստ օրդինատի (մուտքային պարամետր):

(2.30), (2.31) և (2.32)-ից հետևում է, որ տողի ինդեքսը հավասար է.

$$h_p = H_p \frac{R_y - H \tan \alpha}{L_y}; \quad (2.33)$$

Օգտագործելով (2.29)-ը և (2.33)-ը ստացվում է h_p ինդեքսը: Եթե այն գտնվում է $[0, H_p - 1]$ միջակայքում, ապա հաշվարկվում է մինչև (w_p, h_p) ինդեքսով պիքսելի կենտրոնը եղած հեռավորությունը ((2.34), (2.35), (2.36)): Դրանից հետո հաշվարկվում է դրա ազդանշանը և կատարվում է նույնը մյուս սյան համար (2.20): Հակառակ դեպքում, երբ h_p -ը ունի այլ արժեք ($h_p \notin [0, H_p - 1]$), դա նշանակում է, որ այդ սյան մեջ տվյալ հեռավորությունը բացակայում է և այդ սյունից ազդանշան չի հաշվարկվում:

$$R_x = |R_{x0} - \Delta x_p (w_p - 0.5)|, \quad (2.34)$$

$$R_y = R_{\min_pr} + \Delta y_p \cdot (h_p - 0.5), \quad (2.35)$$

$$R(w_p, h_p) = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + H^2}; \quad (2.36)$$

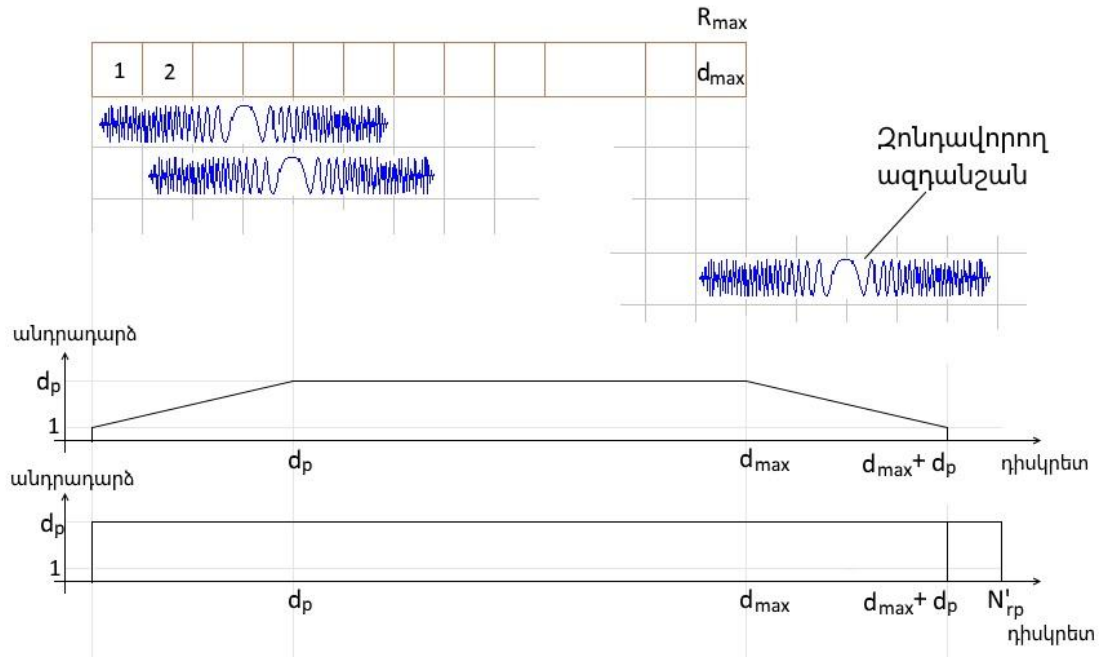
Բոլոր սյունների համար ինդեքսները ստացվում են համանմանորեն և հաշվվում է համապատասխան պիքսելներից (թիրախներից) ազդանշանների գումարը: Այդ պրոցեսը կրկնվում է կրկնման պարբերության բոլոր դիսկրետների համար: Այսքանով ազիմուտային կողավորումը վերջանում է, որից հետո սկսվում է իմպուլսային կողավորման փուլը:

2.4. Իմպուլսային կողավորում

Իմպուլսային կողավորման փուլում թիրախի մեկ դիսկրետից բաղկացած անդրադարձը ձևափոխվում է իմպուլսային ազդանշանի: Յուրաքանչյուր թիրախից անդրադարձը կստացվի հաջորդական d_p դիսկրետներում (2.37): Անդրադարձը ստացվում է մի քանի դիսկրետներում, քանի որ զոնդավորող ազդանշանի T_p տևողությունը ավելի երկար է, քան մեկ դիսկրետին համապատասխանող ժամանակը:

$$d_p = T_p f_s \quad (2.37)$$

Առաջին դիսկրետին համապատասխանող հեռավորության վրա գտնվող թիրախներից անդրադարձը կստացվի առաջին d_p դիսկրետներում: Երկրորդ դիսկրետի թիրախներից ազդանշանը ստացվում է $[2, d_p + 1]$ համարներով դիսկրետներում: Սրանից հետևում է, որ առաջին դիսկրետում կստացվի միայն մի թիրախից, երկրորդում՝ երկուսից, երրորդում՝ երեքից (եթե d_p -ն 2-ից կամ 3-ից համապատասխանաբար փոքր չէ) և այլն: Ստացված անդրադարձերի քանակը գծային կաճի մինչև d_p : Հաջորդող $[d_p, d_{max}]$ միջակայքում ընդունված ազդանշանների քանակը կլինի հաստատուն d_p (նկար 2.7, ա): Դա պայմանավորված է նրանով, որ $(d_p + 1)$ համարով դիսկրետում առաջին խմբի թիրախների ազդանշանները այլևս չեն ստացվում, $(d_p + 2)$ համարով դիսկրետում չեն ստացվում առաջին և երկրորդ խմբի թիրախներից ազդանշանները և այդպես շարունակ: d_{max} համարով դիսկրետից սկսած ընդունված անդրադարձերի քանակը սկսում է նվազել, իսկ $(d_{max} + d_p - 1)$ համարով դիսկրետում կստացվի ամենահեռու՝ R_{max} հեռավորության վրա գտնվող թիրախներից անդրադարձի վերջին դիսկրետը:



Նկար 2.7. Իմպուլսային կոդավորում, ընդունված անդրադարձերի քանակը
ա) ուղիղ գումարում, բ) արագ փաթույթ

Այսպիսով, իմպուլսային կոդավորման փուլում կոնկրետ դիսկրետի արժեքը ստանալու համար անհրաժեշտ է կատարել այնքան գործողություն, քանի անդրադարձ ստացվում են (2.38): Մշակվող էլեմենտների քանակից ելնելով՝ արժեքների բազմությունը կարելի է բաժանել երեք մասի՝ հետևյալ սահմաններով՝ $[1, d_p - 1]$, $[d_p, d_{max}]$ և $[d_{max} + 1, d_{max} + d_p - 1]$:

$$s[d] = \begin{cases} \sum_{i=1}^d u[i] \cdot p[d - i + 1], & 1 \leq d \leq d_p - 1, \\ \sum_{i=1}^{d_p} u[d + i - d_p] \cdot p[d_p - i + 1], & d_p \leq d \leq d_{max}, \\ \sum_{i=1}^{d_p + d_{max} - d} u[d + i - d_p] \cdot p[d_p - i + 1], & d_{max} + 1 \leq d \leq d_{max} + d_p - 1, \end{cases} \quad (2.38)$$

որտեղ՝ $u[n]$ – մի կրկնման պարբերության համար ազիմուտային կոդավորումից հետո ստացված տվյալներն են, $p[n]$ – զոնդավորող ազդանշանը:

Այս մեթոդով տվյալների ստացումը կոչվում է ուղիղ գումարում: Հաշվենք տվյալ մեթոդի ալգորիթմական բարդությունը: $[1, d_p - 1]$ միջակայքում հաշվվում է $(d_p - 1)$ քանակի դիսկրետների արժեք: Առաջին դիսկրետի արժեքը ստացվում է մեկ

գործողությունից, երկրորդը՝ երկու և այդպես գծային աճում է: Գործողությունների քանակը կարելի է հաշվել թվաբանական պրոգրեսիայի գումարի միջոցով (2.39)՝

$$N_{c1} = \frac{1 + (d_p - 1)}{2} (d_p - 1),$$

$$N_{c1} = \frac{d_p(d_p - 1)}{2}; \quad (2.39)$$

$[d_{max} + 1, d_{max} + d_p - 1]$ միջակայքի էլեմենտների արժեքների հաշվարկի բարդությունը հավասար է $[1, d_p - 1]$ միջակայքի բարդությանը (2.41):

$$N_{c3} = N_{c1}; \quad (2.40)$$

$[d_p, d_{max}]$ միջակայքում հաշվվում է $(d_{max} - d_p + 1)$ քանակությամբ էլեմենտների հաշվարկ, որտեղ յուրաքանչյուրի ստացման համար կատարվում է d_p քանակությամբ գործողություն (2.41)՝

$$N_{c2} = d_p(d_{max} - d_p + 1); \quad (2.41)$$

Բոլոր երեք միջակայքերի գումարային գործողությունների N_c քանակը կլինի՝

$$N_c = N_{c1} + N_{c2} + N_{c3},$$

$$N_c = d_{max}d_p; \quad (2.42)$$

Ուղիղ գումարման ալգորիթմի բարդությունը կլինի $O(d_{max}d_p)$:

Վերը նշված խնդրի լուծումը համարժեք է երկու վերջավոր u և p հաջորդականությունների արագ գծային փաթույթի արդյունքին [52]: Այդ մեթոդը կիրառում է Ֆուրյեի արագ ձևափոխությունը (ՖԱՁ)՝ դրանով ապահովելով խնդրի քվադրատային ($O(N \log N)$) բարդությամբ լուծում [53]:

$$s = u * p$$

Եթե տվյալների զանգվածի չափը $(d_{max} + d_p - 1)$ չի հանդիսանում 2-ի աստիճան, ապա փաթույթի ժամանակ մշակվող դիսկրետների քանակը ավելացվում է մինչև 2-հաջորդ աստիճան (2.43) (նկար 2.7, բ):

$$N'_{rp} = 2^{\lceil \log_2(d_p + d_{max} - 1) \rceil} \quad (2.43)$$

d_{max} -ի ու d_p -ի բավականաչափ փոքր արժեքների դեպքում, ուղիղ գումարումը ավելի էֆեկտիվ կլինի, սակայն ՍԱՌ-ում տվյալների քանակը անհամեմատելի շատ է և

առավել նախընտրելի է օգտագործել արագ գծային փաթույթը: Օրինակ, այն դեպքում երբ յուրաքանչյուր թիրախ նկարագրում է 1 մ^2 մակերեսով տարածք, մինիմալ հեռավորությունը կազմում է 100 մ , իսկ մաքսիմալ՝ 1 կմ , կստանանք:

$$f_s = 1 / \frac{2 \cdot 1 \text{ մ}}{3 \cdot 10^8 \text{ մ/վ}} = 150 \cdot 10^6 \text{ Հց}$$

$$T_p = \frac{2 \cdot 100 \text{ մ}}{3 \cdot 10^8 \text{ մ/վ}} = 0.66 \cdot 10^{-6} \text{ վ}$$

$$d_p = 150 \cdot 10^6 \text{ Հց} \cdot 0.66 \cdot 10^{-6} \text{ վ} = 100$$

$$d_{\max} = \frac{2 \cdot 1100 \text{ մ}}{3 \cdot 10^8 \text{ մ/վ}} \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ Հց} = 1100$$

Այս պայմաններում ուղիղ գումարումը պահանջում է $1.1 \cdot 10^5$ բազմապատկման գործողություն, իսկ ուղիղ փաթույթը՝ 11264: Նկատի ունենալով, որ իրական պայմաններում տվյալների քանակը անհամեմատ մեծ է՝ այդ տարբերությունը կաճի և ավելի էֆեկտիվ է օգտագործել երկրորդ մեթոդը:

2.4.1. Զոնդավորող ազդանշանի ձևավորումը

ՍԱՌ համակարգում օգտագործվում է գծային հաճախականային մոդուլացված ազդանշան [54]: Այն ազդանշանի սկզբում ունի f_0 հաճախականություն, որը ժամանակի ընթացքում գծային աճում է (2.44): Ազդանշանը կստացվի ըստ (2.45)-ի՝

$$f(t) = f_0 + kt \quad (2.44)$$

$$x(t) = \sin\left(2\pi \int_0^t f(t') dt'\right) = \sin\left(2\pi \int_0^t (f_0 + kt') dt'\right) \quad (2.45)$$

ՍԱՌ-ը աշխատում է որոշակի f_c հաճախականությունում և ունի $B = 2\Delta f$ շերտի լայնություն: Սրանից հետևում է, որ իմպուլսի սկզբում և վերջում ազդանշանի հաճախությունը կլինի՝

$$f(0) = f_0 = f_c - \Delta f \quad (2.46)$$

$$f(T_p) = f_0 + kT_p = f_c + \Delta f \quad (2.47)$$

(2.47)-ից հանելով (2.46)-ը կստանանք՝

$$kT_p = 2\Delta f$$

$$\Delta f = \frac{kT_p}{2} \quad (2.48)$$

(2.48)-ը տեղադրելով (2.46)-ում կստանանք (2.49)-ը, որը տեղադրելով (2.44)-ում՝ (2.50)-ը.

$$f_0 = f_c - \frac{kT_p}{2} \quad (2.49)$$

$$f(t) = f_c - \frac{kT_p}{2} + kt \quad (2.50)$$

Տեղադրենք (2.50)-ը (2.45)-ում՝

$$x(t) = \sin\left(2\pi \int_0^t \left(f_c - \frac{kT_p}{2} + kt'\right) dt'\right)$$

$$x(t) = \sin\left(2\pi \left(f_c t + \frac{kt^2}{2} - \frac{kT_p t}{2}\right)\right) \quad (2.51)$$

ՍՄՄ-ը ազդանշանները ընդունելուց հետո անցում է կատարում զրոյական հաճախության (baseband), այսինքն՝ շերտի լայնության կենտրոնը f_c -ից տեղափոխվում է 0: Դա նշանակում է, որ գծային հաճախականային ազդանշանի հաճախությունը փոխվում է $(-Δf)$ -ից մինչև $Δf$: Դրանից ելնելով (2.51)-ի մեջ համարելով, որ $f_c = 0$ $f_c t$ անդամը կարելի է անտեսել:

$$x(t) = \sin\left(2\pi \frac{kt}{2}(t - T_p)\right) \quad (2.52)$$

(2.48)-ից կստանանք, որ

$$k = \frac{2Δf}{T_p} = \frac{B}{T_p} \quad (2.53)$$

Տեղադրելով (2.53)-ը (2.52)-ում կստանանք՝

$$x(t) = \sin\left(\pi B t \left(\frac{t}{T_p} - 1\right)\right) \quad (2.54)$$

Հիմնվելով (2.54)-ի վրա ստանում ենք զոնդավորող ազդանշանի տեսքը՝

$$p[d] = A_p \cdot \sin\left(\pi B \cdot t(d) \cdot \left(\frac{t(d)}{T_p} - 1\right)\right), \quad d \in [1, d_p] \quad (2.55)$$

որտեղ՝ A_p -ն զոնդավորող ազդանշանի ամպլիտուդն է, որը մուտքային պարամետր է, և տրվում է օպերատորի կողմից, իսկ $t(d) = d/f_s$:

Կոմպլեքս ազդանշանը կլինի հետևյալ տեսքի (2.56)՝

$$p[d] = A_p \cdot \exp(i \cdot \varphi(d)), \quad d \in [1, d_p], \quad (2.56)$$

$$\varphi(d) = \pi B \cdot t(d) \cdot \left(\frac{t(d)}{T_p} - 1\right):$$

2.5. Խանգարումների, աղմուկների և կրողի տատանումների մոդելավորումը

Ռադիոտեղորոշման հիմնական խնդիրն է հանդիսանում թիրախային օբյեկտի ազդանշանի հայտնաբերումն ու մշակումը: Դրան խոչընդոտող հիմնական գործոնը խանգարումներն ու աղմուկներն են: Դրանք խառնվելով օգտակար ազդանշանների հետ՝ դժվարացնում են հայտնաբերման խնդրի լուծումը: Որոշ դեպքերում դա կարող է խնդիրը անլուծելի դարձնել: ՍԱՌ համակարգերում խոչընդոտող խնդիր է հանդիսանում նաև կրողի տատանումներով շարժումը:

Նմանակչում աղմուկներ, խանգարումներ գեներացնելը և կրողի տատանումները հաշվի առնելը հնարավորություն է տալիս ստուգել ՍՄՄ-ի աշխատանքի կայունությունը:

2.5.1. Խանգարումների և աղմուկների առաջարկվող դասակարգումը

Դասակարգենք խանգարումների հիմնական տեսակները ու աղբյուրները: Խանգարումների դասակարգումը դիտարկելիս պետք է ընդգծել, որ տարբեր աղբյուրներում և հեղինակների մոտ [55], [56] այն տարբեր կերպ է կատարվում:

Ըստ հատկությունների	Ֆլուկտուացիոն, կենտրոնացված, իմպուլսային		
Ըստ առաջացման տեղի	արտաքին, ներքին		
Ըստ հաճախա-ժամանակային հատկությունների	կենտրոնացված, նեղշերտային, իմպուլսային, կառուցվածքային		
Ըստ ժամանակի	երկարատև, հարվածային		
Ըստ ազդեցության արդյունքի	ադիտիվ, մուլտիպլիկատիվ		
Ըստ ծագման	ակտիվ	ըստ ազդեցության արդյունքի	քողարկող, նմանականային
		ըստ ծագման	բնական, փոխադարձ, արհեստական
	պասիվ		

Աղյուսակ 2.2. Խանգարումների դասակարգումը

Խանգարում ասելով հասկանում ենք կողմնակի ազդեցություն, որն աղբյուրից դեպի ընդունիչ ճանապարհին ազդելով թիրախային ազդանշանի վրա՝ պատճառ է դառնում ընդունման ժամանակ խառնուրդ ազդանշանի ստացմանը: Խանգարումն ու աղմուկը տարբերակելու համար, աղմուկ կանվանենք ֆիզիկական տարբեր բնույթի անկանոն տատանումները, որոնք տարբերվում են ժամանակային և սպեկտրային կառուցվածքների բարդությամբ:

Խանգարումները կարելի է դասակարգել ըստ տարբեր չափանիշների [23]: աղյուսակ 2.2-ում բերված է խանգարումների դասակարգման առաջարկվող տարբերակը:

Ըստ հիմնական հատկությունների խանգարումները բաժանվում են երեք տեսակի՝ ֆլուկտուացիոն, կենտրոնացված, իմպուլսային:

Ֆլուկտուացիոն խանգարումներն իրենցից ներկայացնում են ազդանշանի ժամանակային փոփոխություն, որը ունի քառսային, անկանոն բնույթ: Այդպիսի խանգարումները հաճախ անվանում են աղմուկներ [57]: Ֆլուկտուացիոն խանգարումների ազդեցությունը նվազում է չափվող ազդանշանի և խանգարման գումարի միջինացման դեպքում: Ֆլուկտուացիոն խանգարումների ազդեցությունը չափվող արդյունքի վրա հնարավոր է առավելագույնը նվազեցնել այն դեպքում, երբ ընդունող սարքի թողունակության շերտի սահմաններում խանգարման սպեկտրային խտությունը հաստատուն է, այսինքն՝ խանգարումն ունի սպիտակ աղմուկի [58] բնույթ:

Կենտրոնացված են անվանում այն խանգարումները, որոնց հզորության հիմնական մասը կենտրոնացված է հաճախությունների ընդգրկույթի առանձին հատվածներում, որոնք փոքր են չափող միջոցների թողունակության շերտերից [57]:

Իմպուլսային խանգարումներ են անվանում իմպուլսային ազդանշանների կանոնավոր կամ քառսային հաջորդականությունը, որը համասեռ է չափվող ազդանշանին [57]: Այդպիսի խանգարումների աղբյուր հանդիսանում են չափող միջոցների թվային և կոմուտացնող տարրերը կամ նրանց կից աշխատող սարքերը: Իմպուլսային խանգարումների տիպիկ օրինակ են ներքին այրման շարժիչի այրումից առաջացող խանգարումները: Իմպուլսային և կենտրոնացված խանգարումները հաճախ անվանում են մակաձումներ:

Ըստ առաջացման տեղի խանգարումները բաժանվում են երկու խմբի՝ ներքին և արտաքին: *Ներքին* խանգարումները առաջանում են աշխատող սարքավորման ներսում: Այդպիսի խանգարումների աղբյուրի օրինակ են սնուցման բլոկը, ռելեները, էլեկտրական շարժիչները և այլն:

Արտաքին խանգարումների թվին են դասվում էլեկտրասնուցման ցանցերի, ռադիոէլեկտրոնային հաղորդող սարքավորումների, մթնոլորտային երևույթներից առաջացած խանգարումները և այլն: Սարքավորումների վրա արտաքին խանգարումների ազդեցությունը նման է ներքին խանգարումների ազդեցությանը:

Ըստ հաճախա-ժամանակային հատկությունների խանգարումները կարելի է բաժանել հետևյալ խմբերի՝ կենտրոնացված, նեղշերտային, իմպուլսային, կառուցվածքային: *Կենտրոնացված* անվանում են այն խանգարումները, որոնց սպեկտրի լայնությունը համընկնում է ազդանշանի սպեկտրի լայնության հետ, այսինքն՝ խանգարումը ամբողջությամբ ծածկում է ազդանշանը: Ազդանշանի սպեկտրից փոքր սպեկտրով խանգարումները անվանում են *նեղշերտային*: *Իմպուլսային* խանգարումների տևողությունը ավելի կարճ է, քան ազդանշանինը: *Կառուցվածքային* անվանում են այն խանգարումները, որոնց կառուցվածքը նման է ազդանշանի կառուցվածքին [59]:

Ըստ ծագման տարբերում են ակտիվ և պասիվ խանգարումներ: Ակտիվ խանգարումներն ստեղծվում են հատուկ ընդունող-հաղորդող ռադիոսարքերով, ռադիոկայաններով կամ ռադիոխանգարումների հաղորդիչներով: Ակտիվ խանգարումները կարելի է դասակարգել ըստ հետևյալ չափանիշների.

- ըստ ազդեցության բնույթի,
- ըստ ծագման:

Ըստ ազդեցության բնույթի ակտիվ խանգարումները բաժանվում են երկու խմբի՝ քողարկող և նմանակող: *Քողարկող* խանգարումները ստեղծվում են քառսային, աղմկային ազդանշաններով, որոնց մեջ դժվար է տարանջատել օբյեկտներից ստացվող ազդանշանները: *Նմանակող* խանգարումներն ստեղծվում են օբյեկտներից անդրադարձող ազդանշանների նման, սակայն դրանք պարունակում են կեղծ տեղեկատվություն: Նմանակող խանգարումը կարող է ունենալ զոնդավորող

ազդանշանի տեսք, որը սակայն այն լինում է մոդուլացված ըստ ամպլիտուդի, հաճախության, փուլի և այլն:

Ակտիվ խանգարումները, ըստ ծագման կարող են լինել բնական, փոխադարձ և արհեստական [60]:

Բնական խանգարումները բնությունից առաջացող խանգարումներն են: Բնական պասիվ խանգարումներ են առաջանում թռչունների, բլուրների, սարերի, ամպերի անդրադարձերից: Բնական ակտիվ խանգարումներն առաջանում են արևի և այլ ոչ երկրային աղբյուրների ճառագայթումներից: Այդ խանգարումները կարող են էապես խախտել ռազմական նշանակության ռադիոտեղորոշիչների աշխատանքը, որոնք օգտագործվում են հատկապես փոքր բարձրությունների վրա գտնվող օբյեկտների հայտնաբերման համար:

Ակտիվ խանգարումները, որոնք առաջացել են տարբեր ռադիոէլեկտրոնային միջոցների միմյանց ճառագայթումների ազդեցությամբ, անվանում են փոխադարձ խանգարումներ [60]: Փոխադարձ ակտիվ խանգարումների հետ մեկտեղ երբեմն դիտվում են նաև փոխադարձ պասիվ խանգարումներ: Այդպիսի օրինակ է, երբ ռադիոտեղորոշիչում առաջանում են խանգարումներ լեռնային տեղանքից, որը ստացվել է այլ ռադիոտեղորոշիչի ճառագայթված ազդանշանի անդրադարձումից: Օգտագործվող ռադիոէլեկտրոնային միջոցների թվի սրընթաց աճը հանգեցնում է դրանց փոխադարձ ազդեցության վտանգի կտրուկ աճին: Որպեսզի վերացնեն այդ ազդեցությունը՝ կիրառվում է տարբեր ռադիոէլեկտրոնային սարքերի աշխատանքային հաճախությունների պլանային բաշխում՝ հիմնվելով ինչպես միջազգային համաձայնությունների, այնպես էլ ներքին կարգավորումների վրա:

Արհեստական ակտիվ և պասիվ խանգարումները տեղադրվում էին ռազմական նշանակություն ունեցող ռադիոտեղորոշիչներում երկրորդ համաշխարհային պատերազմում ռազմական գործողությունների ընթացքում [61], [62]: Պասիվ խանգարումները այն խանգարումներ են, որոնք ստեղծվում են ռադիոտեղորոշիչ կայանների (ՌՏԿ) ռադիոալիքների տարբեր օբյեկտներից անդրադարձերից [63]: Պասիվ խանգարումներին են վերագրվում նաև տեղական առարկաներից և բնության գոյացումներից անդրադարձած այն ռադիոալիքները, որոնք խանգարում են ՌՏԿ-ների

աշխատանքին: Պասիվ խանգարումները կարող են 30-80 դԲ-ով գերազանցել ընդունիչի ներքին աղմուկները և քողարկել օգտակար ազդանշանը:

Բերված դասակարգումը կրում է ընդհանուր բնույթ: Ավելի մանրամասն հետազոտումը թույլ է տալիս բաժանել խանգարումները երեք տեսակի.

- համակարգային, որոնք գոյություն ունեն բոլոր ռադիոտեղորոշիչ ընդունիչներում,
- ակտիվ, որոնք ստեղծում են հատուկ ընդունող-հաղորդող կամ հաղորդող ռադիոսարքավորումներով,
- պասիվ, որոնք առաջանում են տարբեր օբյեկտներից ռադիոտեղորոշիչ կայանների ռադիոալիքների անդրադարձերից:

2.5.2. Խանգարումների և աղմուկների մոդելավորումը

Հիմնվելով նախորդ բաժնում բերված խանգարումների դասակարգման վրա՝ ատենախոսության շրջանակներում՝ օգտագործելով MATLAB ծրագրավորման փաթեթը, [23]-ում ու [64]-ում իրականացվել է չորս տիպի խանգարումների մոդելավորում: Այդ խանգարումներն են.

- համակարգային,
- լայնշերտային,
- կենտրոնացված,
- պասիվ:

Համակարգային խանգարումները ձևավորվում են երկու տեսակի աղմուկներից՝ ջերմային և սարքավորումների սեփական աղմուկներից: Ելնելով այն փաստից, որ այդ աղմուկները միշտ առկա են և դրանք հնարավոր չէ տարբերել, ապա ավելի հարմար կլինի մոդելավորել ազդանշանը՝ չանջատելով միմյանցից: Այդ դեպքում ստացվում է, որ համակարգային խանգարումը (ջերմային և անտենայի սեփական աղմուկների գումարը) կախված է երկու պարամետրերից՝ շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանից և համակարգային աղմուկի գործակցից: Այդ պարամետրերից առաջինը գրեթե հաստատուն է տվյալ տեղանքի համար: Լռելայն կարելի է օգտագործել 300 Կ(Կելվին) [65]: Երկրորդ պարամետրը, սեփական աղմուկների հզորությունների լոգարիթմական հարաբերությունն է ջերմայինին (լռելայն՝ 4 դԲ):

Ջերմային աղմուկների A_T ամպլիտուդը կախված է աղմուկի U միջին լարումից և A_r ընդունիչի ուժեղացուցից՝

$$A_T = UA_r:$$

Միջին լարումը ստացվում է Նայքվիստի բանաձևից՝

$$U = \sqrt{4k_B T R_r},$$

որտեղ՝ k_B -ն Բոլցմանի հաստատունն է, T -ն՝ միջավայրի ջերմաստիճանը, R_r -ն՝ դիմադրությունը ընդունիչի մուտքում:

Ունենալով ջերմային աղմուկների ամպլիտուդը և համակարգային աղմուկի գործակիցը, ստանում են սեփական աղմուկների ամպլիտուդը (A_{SLF})՝

$$K = 10 \log_{10} \frac{A_S}{A_T},$$

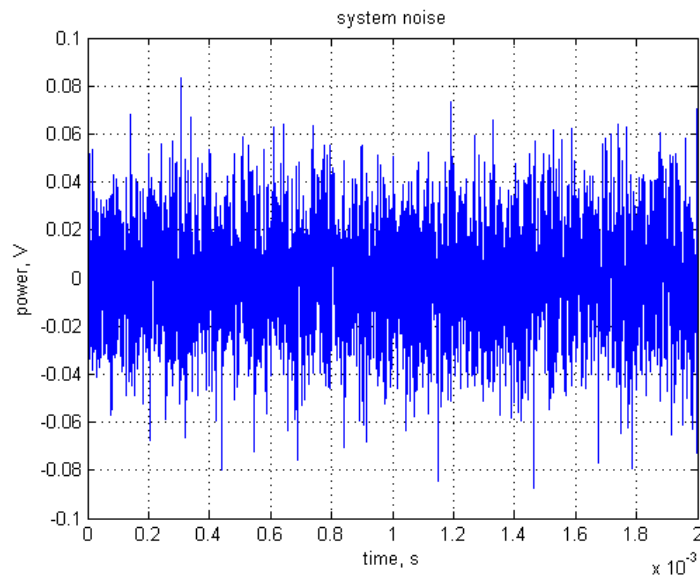
$$A_{SLF} = A_T * 10^{(K/10)},$$

որտեղ՝ K -ն համակարգային աղմուկի գործակիցն է:

Համակարգային աղմուկի գումարային ամպլիտուդը որոշվում է որպես

$$A_S = A_{SLF} + A_T$$

$$A_S = A_r \sqrt{4k_B T R_r} (1 + 10^{(K/10)})$$



Նկար 2.8. Համակարգային աղմուկների տեսքը

Համակարգային աղմուկից ձևավորվող P_s ազդանշանն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$P_s[n] = A_S \cdot (I[n] + i \cdot Q[n]), \quad n \in \{1, N\} \quad (2.57)$$

որտեղ՝ I, Q – պատահական մեծությունների զանգված է, որոնք բաշխված են ըստ Գաուսի օրենքի՝ 0 մաթեմատիկական սպասումով և 1 դիսպերսիայով, i – կոմպլեքս

թվի կեղծ միավորն է, N – ազգանշանում էլեմենտների քանակը: Համակարգային աղմուկների գեներացման արդյունքները ներկայացված են նկար 2.8–ում:

Լայնշերտային կոչվում է այն խանգարումը, որը ճառագայթում է հաճախությունների այնպիսի շերտում, որն էապես ավելի լայն է ճնշող կայանի աշխատանքային հաճախությունների շերտից: Լայնշերտային խանգարումը ծածկում է հաճախությունների ամբողջ աշխատանքային ընդգրկույթը և բավարար հզորության դեպքում կարող է ճնշել այնտեղ աշխատող բոլոր կապի միջոցները: Մոդելավորման ընթացքում այն կարող է ներկայացվել պատահական թվերի գեներատորով: Լայնշերտային և համակարգային աղմուկների տարբերությունը կայանում է նրանում, որ լայնշերտային խանգարումը ունի ուղղորդվածություն: Դա նշանակում է, որ ազդանշանի ամպլիտուդը պետք է բազմապատկվի ՈւԴ-ի արժեքով: Ազդանշանի հզորությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$U = \sqrt{\frac{R_r A_r P_t}{4\pi R^2}}, \quad (2.58)$$

որտեղ՝ R_r -ը դիմադրությունն է ընդունիչի մուտքում, A_r -ը՝ ընդունող անտենայի արդյունավետ մակերեսը (բացվածք), P_t -ն՝ աղմուկի հզորությունը, R -ը՝ աղմուկից մինչև անտենա հեռավորությունը:

Լայնշերտային խանգարման A_W ամպլիտուդը որոշվում է որպես՝

$$A_W = G_p U,$$

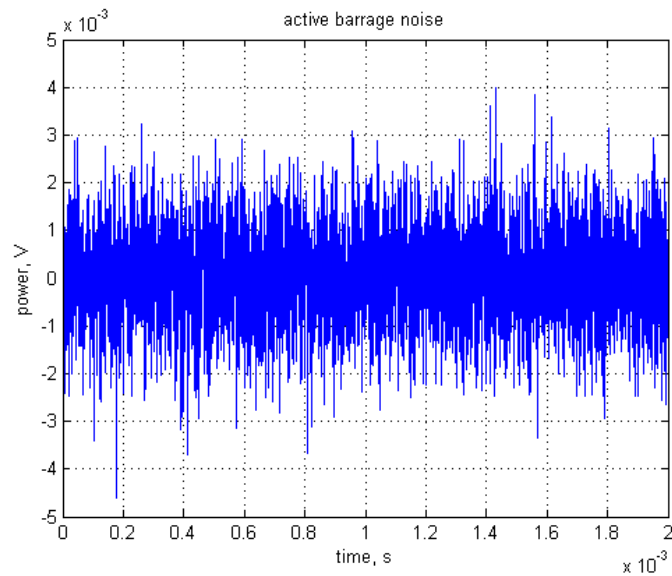
որտեղ՝ G_p - ն ուղղվածության դիագրամի արժեքն է:

Լայնշերտային խանգարումից P_W ազդանշանը կորոշվի ըստ (2.59)-ի՝

$$P_W[n] = A_W \cdot (I[n] + i \cdot Q[n]), \quad n \in \{1, N\}, \quad (2.59)$$

որտեղ՝ I, Q -ն ստանդարտ (Գաուսի բաշխումն է՝ 0 մաթեմատիկական սպասմամբ, 1 դիսպերսիայով) նորմալ բաշխում ունեցող պատահական մեծությունների արժեքների զանգված, i - ն կեղծ միավորը, N – զանգվածի չափը:

Ակտիվ լայնշերտային խանգարման մոդելավորումը բերված է նկար 2.9–ում:



Նկար 2.9. Լայնշերտ ակտիվ խանգարման տեսքը

Կենտրոնացված (կետային) խանգարումը ամբողջ հզորությունը ֆիքսում է մեկ հաճախության վրա: Կետային խանգարման մոդելավորման համար կարելի է օգտագործել փոքր փոփոխություններով կենտրոնացված խանգարման մոդելավորման ժամանակ օգտագործված ալգորիթմը: Տարբերությունը նրանում է, որ կետային խանգարման համար հարկավոր է գեներացնել ավելի փոքր քանակով պատահական մեծություններ:

Կետային խանգարման ամպլիտուդը (A_{SP}) կորոշվի՝

$$A_{SP} = G_p U,$$

որտեղ՝ G_p -ն ՈւԴ արժեքն է, U -ն որոշվում է ըստ (2.63)-ի:

Կենտրոնացված խանգարումից ստացվող P_{SP} ազդանշանը կորոշվի ըստ (2.62)-ի՝

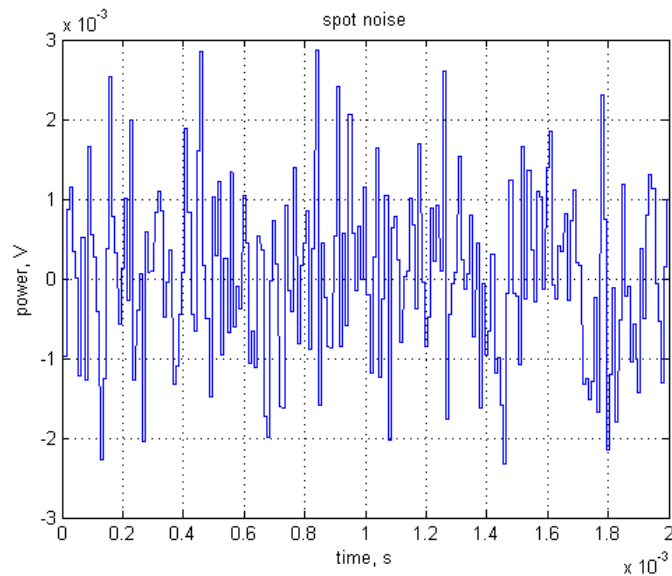
$$P_{SP}[n] = P'_{SP}[s], \quad n \in \{1, N\}, \quad (2.60)$$

որտեղ՝ $s = \left\lceil \frac{n}{k} \right\rceil$, ամբողջ մասն է, $k = \frac{\Delta f_{signal}}{\Delta f_{jam}}$; P'_{SP} – միջանկյալ ազդանշանն է՝

$$P'_{SP}[s] = A_{SP} \cdot (I[s] + i \cdot Q[s]), \quad s \in \{1, N/k\},$$

որտեղ՝ I, Q – ստանդարտ նորմալ բաշխում ունեցող պատահական թվերի զանգված է (Գաուսի բաշխում՝ 0 մաթ. սպասմամբ և 1 դիսպերսիայով), i -ն կեղծ միավորն է:

Ակտիվ կենտրոնացված խանգարման գեներացման տեսքը ներկայացված է նկար 2.10-ում:



Նկար 2.10. Ակտիվ կենտրոնացված խանգարման տեսքը

Փոփոխվող խանգարում: Ակտիվ փոփոխվող (sweep noise) համարվում է այն խանգարումը, որը փոփոխում է իր հաճախությունը աշխատանքի ընթացքում: Այն նկարագրվում է հետևյալ պարամետրերով՝ տիրույթի սկիզբ և փոփոխման արագություն:

Փոփոխվող խանգարումը քիչ է ազդում համակարգի վրա, քանի որ նրա աշխատանքային հաճախությունը հազվադեպ է համընկնում ռադարի աշխատանքային հաճախության հետ (նկար 2.11):

Խանգարման հաճախությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$f_i = f_0 + ((f_D + v_f t_i) \bmod \Delta f),$$

$$f_D = \frac{2v_r f_c}{c},$$

որտեղ՝ f_i -ն ընթացիկ հաճախություն է, f_0 -ն՝ փոփոխման տիրույթի սկզբնական հաճախությունը, v_f -ն՝ փոփոխման արագությունը, Δf -ն՝ փոփոխման տիրույթը, t_i -ն՝ ընթացիկ ժամանակը, f_D -ն՝ հաճախության դոպլերյան շեղումը, v_r -ն՝ շառավղային արագությունը, f_c -ն՝ աշխատանքային հաճախությունը, c -ն՝ լույսի արագությունը:

Փոփոխվող խանգարման ամպլիտուդը կլինի՝

$$A_{SW} = G_p U,$$

որտեղ՝ G_p -ն ՈւԴ արժեքն է, U -ն որոշվում է ըստ (2.63)-ի:

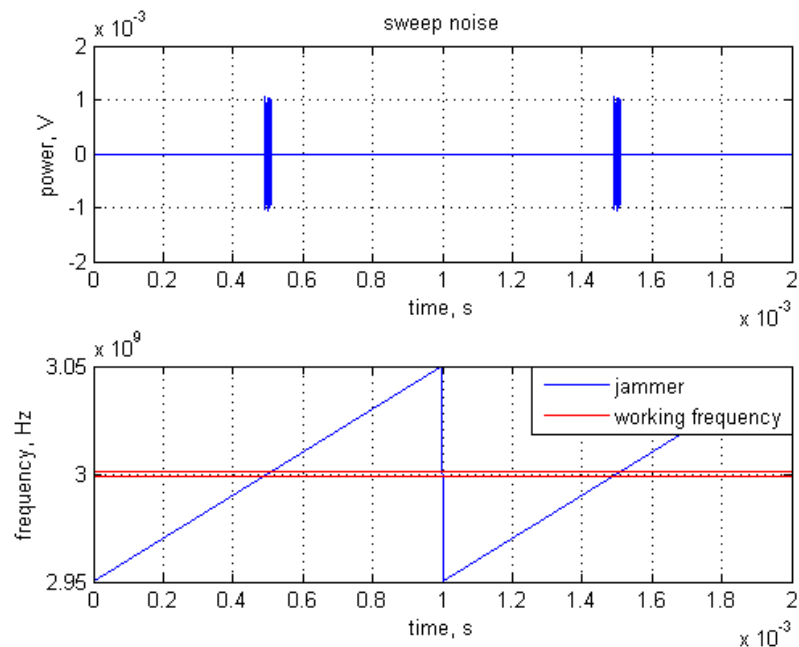
Փոփոխվող խանգարման ազդանշանը կորոշվի ըստ (2.63)-ի՝

$$P_{sw}[d] = \begin{cases} 0, & \text{կթև } f[d] < f_l \text{ կամ } f[d] > f_u, \\ A_{sw} \cdot e^{i\varphi(d)}, & \text{կթև } f_l \leq f[d] \leq f_u, \end{cases} \quad (2.61)$$

$$\varphi(d) = f_{dev}t(d),$$

որտեղ՝ f_l -ն մինիմալ աշխատանքային հաճախություն է, f_u -ն՝ մաքսիմալ աշխատանքային հաճախությունը, φ -ն՝ փուլը, f_{dev} -ն՝ դեփազման (deviation) հաճախությունը:

Փոփոխվող ակտիվ խանգարման տեսքը բերված է նկար 2.11-ում:

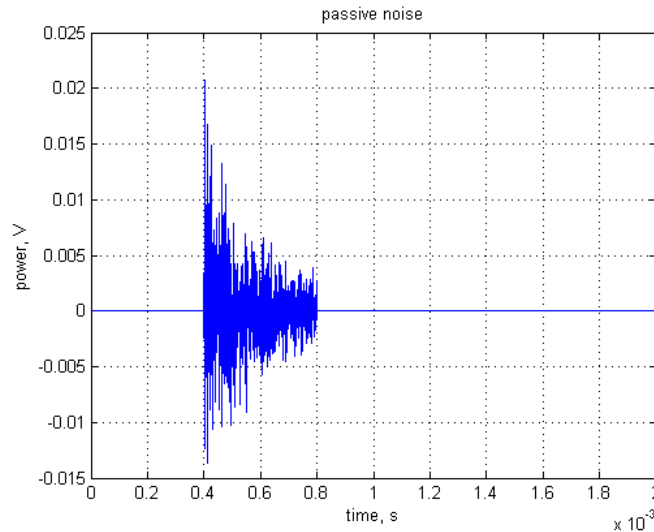


Նկար 2.11. Փոփոխվող խանգարման տեսքը

Պասիվ խանգարում: Արհեստականորեն ստեղծված պասիվ խանգարման (chaff) ազդեցությունը սկզբունքորեն չի տարբերվում եղանակային խանգարումից, չնայած արհեստական խանգարման ուժգնությունը կարող է էապես գերազանցել բնականին:

Պասիվ խանգարման մոդելավորման համար անհրաժեշտ է սահմանել խանգարումը ծածկող հեռավորությունը: Յուրաքանչյուր թվային դիսկրետի համար անհրաժեշտ է հաշվել ազդանշանը, որն ստացվում է պասիվ խանգարման յուրաքանչյուր տարրից: Յուրաքանչյուր տարր ունի ցրման արդյունավետ մակերես:

Գններացման արդյունքները բերված են նկար 2.12-ում:



Նկար 2.12. Պասիվ խանգարման տեսքը

2.5.3. Կրողի տատանումների մոդելավորումը

ՍԱՌ համակարգերում տվյալների մշակման ժամանակ ամենամեծ խնդիրներից մեկը ՍԱՌ կրողի շեղումն է ուղղագիծ հետագծից: Դրանք պայմանավորված են մթնոլորտային տուրբուլենտությամբ և ընդունված ազդանշանի վրա ազդում են փուլային սխալանքների ձևով: Մոդելավորված են երկու տեսակի տատանումներ՝ եռանկյունաչափական կամ պատահական:

Առանց տատանումների շարժման ժամանակ m -րդ կրկնման պարբերության սկզբում կրողը գտնվում է $P_0(m)$ դիրքում (2.62)՝

$$P_0(m) = (P_{0x}(m), 0, H), \quad (2.62)$$

$$P_{0x}(m) = m \cdot v \cdot T_{rp}:$$

Պատահական տատանումներ ունենալու ժամանակ կրողի $P_R(m)$ դիրքը որոշվում է ըստ (2.63)-ի՝

$$P_R(m) = (P_{Rx}(m), P_{Ry}(m), P_{Rz}(m)) \quad (2.63)$$

որտեղ՝ $P_{Rx}(m)$, $P_{Ry}(m)$, $P_{Rz}(m)$ -ը կրողի դիրքի կոորդինատներն են ըստ x, y, z առանցքների

$$P_{Rx}(m) = P_{0x}(m) + \mathcal{N}(\mu_x, \sigma_x^2),$$

$$P_{Ry}(m) = \mathcal{N}(\mu_y, \sigma_y^2),$$

$$P_{Rz}(m) = H + \mathcal{N}(\mu_z, \sigma_z^2),$$

որտեղ՝ $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ – նորմալ (գաուսյան) բաշխում [66] ունեցող պատահական թիվ է, μ_x, μ_y, μ_z և $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ – համապատասխանաբար ըստ x, y, z առանցքների գեներացվող պատահական թվերի մաթեմատիկական սպասումն ու դիսպերսիան:

Տատանումների եռանկյունաչափական մոդելավորման ժամանակ առանցքներից յուրաքանչյուրի համար տրվում են տատանման ամպլիտուդը և պարբերությունը: Այդ դեպքում կրողի դիրքը որոշվում է ըստ (2.64)-ի՝

$$P_T(m) = (P_{Tx}(m), P_{Ty}(m), P_{Tz}(m)), \quad (2.64)$$

որտեղ՝ $P_{Tx}(m), P_{Ty}(m), P_{Tz}(m)$ -ը m -րդ կրկնման պարբերության ժամանակ եռանկյունաչափական տատանումներով շարժվող կրողի դիրքի կոորդինատներն են ըստ x, y, z առանցքների:

$$P_{Tx}(m) = P_{0x}(m) + A_x \sin T_x,$$

$$P_{Ty}(m) = A_y \sin T_y,$$

$$P_{Tz}(m) = H + A_z \sin T_z,$$

որտեղ՝

A_x – թռիչքի ուղղությամբ տատանումների ամպլիտուդը,

T_x – թռիչքի ուղղությամբ տատանումների պարբերությունը,

A_y – թռիչքի ուղղությանը ուղղահայաց տատանումների ամպլիտուդը,

T_y – թռիչքի ուղղությանը ուղղահայաց պարբերությունը,

A_z – ըստ բարձրության տատանումների ամպլիտուդը,

T_z – ըստ բարձրության տատանումների պարբերությունը:

2.6. Եզրակացություն

Նմանակի ներկայացված մոդելը հնարավորություն ունի տվյալներ գեներացնել փորձարկվող տարբեր իրավիճակների համար: Դրանք կարող են լինել իդեալական պայմաններին համապատասխան կամ փուլային սխալանքներով: Փուլային սխալանքները առաջանում են աղմուկների ու խանգարումների կամ կրողի տատանումների հետևանքով: Աղմուկների ու խանգարումների առաջարկված դասակարգումն ու մոդելավորումը բերված է [23]-ում:

Մոդելավորման մեջ օգտագործված է թիրախների նկարագրման երկու եղանակ՝ պարամետրական նկարագրություն ունեցող թիրախների խմբի միջոցով և մուտքային պատկերի օգտագործմամբ: Պատկերի հիման վրա ազդանշանների գեներացման առաջարկված մոդելը ներկայացված է [25]-ում:

Մշակված մոդելի կողմից տրվող հնարավորությունների համեմատական վերլուծությունը դիտարկված ՍԱՌ նմանակիչների հետ բերված է աղյուսակ 2.3-ում:

	SAR Simulation Toolbox	SARSIM by STD Inc.	OpenSource SAR Simulator	Առաջարկված մոդելը
Խանգարումների և աղմուկներ	չկա / կա	չկա / չկա	չկա / չկա	կա / կա
Կրողի տատանումներ	կա	կա	չկա	կա
Տարածության նկարագրություն	եռաչափ	եռաչափ	երկչափ	երկչափ և եռաչափ
Գեներացվող ազդանշանը	Spritmap, Spotlight	Spritmap, Spotlight	Spritmap	Spritmap
Տեղանքը նկարագրող մուտքային տվյալներ	օբյեկտների ցուցակ	DTED, DEM քարտեզներ	օբյեկտների ցուցակ	օբյեկտների ցուցակ, պատկեր

Աղյուսակ 2.3. Գոյություն ունեցող ՍԱՌ նմանակիչների համեմատությունը մշակված մոդելի հնարավորություններ հետ

ԳԼՈՒԽ 3

ՍԱՌ ՆՄԱՆԱԿՉԻ ԱՊԱՐԱՏԱ-ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՀԱՄԱԼԻՐԻ

ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ ԵՎ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄԸ

Նախորդ գլխում բերված մաթեմատիկական մոդելի վրա մշակվել է ՍԱՌ նմանակչի ապարատա-ծրագրային համալիր: Այս գլխում բերված են նմանակչի նախագծման հիմնադրույթները, հնարավորություններն ու փորձարկումները:

ՍԱՌ նմանակչի աշխատանքը ստուգելու համար նախագծվել է ՍԱՌ ազդանշանների մշակում իրականացնող մոդել և մշակվել նրա ծրագրային ապահովումը, որը հանդիսանում է ՍԱՌ մշակման մոդուլի (ՍՄՄ) փորձարարական օրինակ:

3.1. ՍԱՌ նմանակչի ապարատա-ծրագրային համալիրի նախագծումը

Նմանակչի մշակված ապարատա-ծրագրային համալիրի համար, որպես ալգորիթմական հենք է ծառայել առաջարկվող մաթեմատիկական մոդելը: Համալիրի համար մշակվել են մի քանի աշխատանքային ռեժիմներ, որոնք հնարավորություն են տալիս տարբեր քանակի տեղեկատվություն փոխանցել մշակման մոդուլին: Ներդրված են տվյալների փոխանցման տարբեր եղանակներ, որոնք հնարավորություն են տալիս ստուգել ՍՄՄ-ի աշխատանքի առանձին մասերը կամ ամբողջը միասին:

3.1.1. Ապարատային և ծրագրային միջոցների ընտրությունը

Ապարատային ու ծրագրային միջոցների ընտրությունը կատարելիս հաշվի են առնվել համակարգի առջև դրված հետևյալ դրույթները՝ արագագործությունը, անալոգային ազդանշաններ տրամադրելու հնարավորությունը և տարբեր օպերացիոն համակարգերում աշխատելու ունակությունը:

Արագագործությունը

Չմշակված ՍԱՌ ազդանշանի գեներացման ժամանակ անհրաժեշտ է լինում աշխատել մեծ ծավալի ինֆորմացիայի հետ: Մշակվող էլեմենտների քանակի մեծ լինելու

փաստից ելնելով առավել նպատակահարմար է օգտվել այնպիսի սարքավորումներից, որոնք հնարավորություն են տալիս կատարել բազում զուգահեռ գործողություններ: Հաշվի առնելով ներկա համակարգիչների կառուցվածքը՝ որպես օպտիմալ տարբերակ է ընտրվել արդի սերնդի NVIDIA վիդեոքարտերը, որոնք ծրագրավորման հնարավորություն ունեն: Այսպիսով CUDA զուգահեռ մշակման պլատֆորմի [21] միջոցով հնարավոր է իրականացնել մեծ քանակությամբ ոչ բարդ զուգահեռ գործողություններ:

Վիդեոքարտի ընտրությունը կատարելիս պետք է ուշադրություն դարձնել նրա հիշողությանը (dedicated video memory): Այն ուղղակիոչեն կախված է փորձարկվող ՍԱՌ-ի պարամետրերից, որոնք որոշում են մշակվող տվյալների քանակը: Ելնելով արդի ՍԱՌ-երի առջև դրված խնդիրներից նպատակահարմար է օգտագործել 2 ԳԲ-ից ոչ պակաս հիշողությամբ սարք: Համալիրի համար ընտրված է 4 ԳԲ հիշողությամբ NVIDIA GeForce GTX 1080 սարքը [67]:

Անալոգային ազդանշանները

Առաջարկված նմանակիչը ունի տարբեր եղանակներով ազդանշանների փոխանցման հնարավորություն: Նրա կարևոր առանձնահատկություններից մեկն է հանդիսանում անալոգային ազդանշանների տեսքով գեներացված տվյալների փոխանցումը:

Գեներացված թվային ազդանշանները անալոգայինի վերածելու համար ընտրված է Insys FM216x250MDA թվա-անալոգային ձևափոխիչը [68]: Այն ունի երկու ելքի հնարավորություն և կախված կատարվող փորձի նպատակներից կարող են օգտագործվել նրանցից մեկը կամ երկուսը միասին:

Տարբեր օպերացիոն համակարգերում աշխատելը

ՍԱՌ-երի կիրառությունը ռազմական ոլորտում համալիրի առջև դնում է նոր պահանջներ: Դրանց մեջ կարևոր դեր ունի տարբեր օպերացիոն համակարգերում աշխատելու հնարավորությունը:

Վերը նշված խնդիրը լուծելու համար ծրագրային ապահովման համար ընտրվել է Qt cross-platform application framework-ը [69], որը հնարավորություն է տալիս նույն կոդը կոմպիլյացիա անել տարբեր օպերացիոն համակարգերի համար:

3.1.2. Առաջարկվող նմանակչի աշխատանքային ռեժիմները

ՍՄՄ-ում տվյալները մշակվում են կոհերենտ՝ կուտակումից հետո [70]: Կուտակումը դա որոշակի քանակի հաջորդաբար ստացված անդրադարձերից ստացված ազդանշանների պահպանումն է: Յուրաքանչյուր անդրադարձ ստացվում է մեկ զոնդավորող ազդանշանի ճառագայթումից:

Սահմանում: Մեկ կուտակման արդյունքում պահպանված տվյալները կոչվում է փաթեթ:

Տեղանքի պատկերը ստացվում է մի փաթեթի մշակումից: Մշակումը սկսվում է փաթեթի բոլոր անդրադարձերը պահպանելուց հետո: Նշանակում է, որ պրոցեսը կարելի է բաժանել երկու հաջորդական փուլերի՝ պահպանում և մշակում: Վերջինից հետևում է, որ իրական ժամանակում աշխատող նմանակիչը կարող է աշխատել երկու ռեժիմում.

- Անդրադարձ տրամադրող ռեժիմ,
- Փաթեթ տրամադրող ռեժիմ:

Անդրադարձ տրամադրող ռեժիմում յուրաքանչյուր ելքային տվյալը համապատասխանում է մի անդրադարձի: Այս դեպքը առավել մոտ է իրական պայմաններին: Այս ռեժիմում ՍՄՄ-ն պետք է յուրաքանչյուր անդրադարձ առանձին ընդունի, պահպանի և միայն կուտակումը ավարտելուց հետո սկսի մշակումը: T տևողությամբ անդրադարձին համապատասխանում են N_T քանակությամբ թվային արժեքներ (3.1): Օրինակ, երբ համակարգը օգտագործում է $250 \text{ } U\text{<}g$ դիսկրետացման հաճախություն և 70 մկր իմպուլսի կրկնման ինտերվալ (ԻԿԻ), անդրադարձը կպարունակի 17500 արժեքներ: Այնուամենայնիվ, ստացված արժեքների քանակը չի համընկնում ԻԿԻ-ի հետ: Դիսկրետների քանակը ավելի փոքր է: Դա պայմանավորված է հաղորդման ժամանակ ընդունիչը անջատելով [70], անալոգա-թվային ձևափոխիչի (ԱԹՁ) հնարավորություններով և թիրախային տարածքի չափերով: Իրական համակարգին համապատասխան տվյալներ տրամադրելու համար նմանակիչը պիտի հնարավորություն ունենա տրամադրել ավելի փոքր քանակով $N(N \leq N_T)$ արժեքներ:

$$N_T = f_s T, \quad (3.1)$$

Փաթեթ տրամադրող ռեժիմում նմանակիչը գեներացնում է մի փաթեթին համապատասխան տվյալներ: Այս դեպքում ՍՄՄ-ը մշակումը կարող է սկսել տվյալները կարդալուց անմիջապես հետո՝ բաց թողնելով կուտակման փուլը: Թվային արժեքների քանակը (N_{arr}) կախված է մի փաթեթում պարունակվող անդրադարձերի (M) և յուրաքանչյուր անդրադարձում եղած դիսկրետների քանակներից (3.2): Օրինակ, երբ համակարգը օգտագործում է 250 $U\angle g$ դիսկրետացման հաճախություն, 70 մկվ ԻԿԻ, 16834 դիսկրետ մի անդրադարձում և 1.05 μ կուտակման ժամանակ, ելքում կստացվեն 245.76 մլն արժեքներ (3.3):

$$N_{arr} = NM, \quad (3.2)$$

$$N_{arr} = N(T_{arr}/T), \quad (3.3)$$

որտեղ՝ T_{arr} – կուտակման ժամանակն է:

3.1.3. Նմանակչի աշխատանքի փուլերը

Նմանակման աշխատանքի հոսքը կարելի է բաժանել հետևյալ երեք փուլերի.

1. Նախահաշվարկ,
2. Հաշվարկ,
3. Օգտագործում:

Նախահաշվարկի և հաշվարկի փուլերը միասին կազմում են գեներացման փուլը: Փաթեթ տրամադրող ռեժիմի սկզբում կատարվում է նախահաշվարկ, որին հետևում է M քանակությամբ հաշվարկների ցիկլ, այնուհետև՝ օգտագործումը: Անդրադարձ տրամադրող ռեժիմում նախահաշվարկից հետո երկրորդ և երրորդ քայլերը կատարվում են ցիկլիկ M անգամ:

Նախահաշվարկ: Ազդանշանի գեներացման ընթացքում գոյություն ունի ունեն որոշակի տվյալներ, որոնք ընդհանուր են տարբեր պահերին ստացվող ելքային տվյալների համար: Այս տվյալները մշակելով միայն մեկ անգամ հնարավոր կլինի խուսափել հաշվարկային ռեսուրսների ավելորդ օգտագործումից: Այդ պատճառով գեներացման

ժամանակ առանձնացված է նախահաշվարկի փուլը: Այս քայլում մշակվող տվյալները բաժանվում են երկու մասի՝ անդրադարձի կամ փաթեթի ընդհանուր տվյալներ:

Անդրադարձի ընդհանուր կոչվում են այն տվյալները, որոնք նույնն են բոլոր անդրադարձերի համար: Դրանց մեջ են մտնում զոնդավորող ազդանշանը, մուտքային պատկերից ստացված ամպլիտուդները և այլն:

Փաթեթի ընդհանուր տվյալը համապատասխան բաշխման ֆունկցիայով [23] պասիվ խանգարումներն են [71]: Այս տվյալները ունիկալ են մի փաթեթի միջի տարբեր անդրադարձերի համար, սակայն կարող են օգտագործվել բազմակի անգամ՝ տարբեր փաթեթներում: Այս տվյալների ծավալը M անգամ մեծ է անդրադարձերի ընդհանուր տվյալների ծավալից:

Հաշվարկ: Ելքային տվյալները վերջնականապես ձևավորվում են հաշվարկի փուլում: Այս քայլում օգտագործվում են նախահաշվարկի փուլում ստացված տվյալները: Հաշվարկի ամբողջ փուլը բաժանվում է հետևյալ ենթափուլերի.

1. Հարթակի ընթացիկ դիրքի հաշվարկ,
 - 1.1. Հիմնական դիրքի հաշվարկ,
 - 1.2. Հարթակի տատանումների հաշվարկ*,
2. Անդրադարձի գեներացում,
3. Լրացուցիչ ազդանշանների ավելացում,
 - 3.1. Աղմուկների ավելացում*,
 - 3.2. Խանգարումների ավելացում*:

* - այս ենթափուլերը պարտադիր չեն և կարող են չներառվել հաշվարկի մեջ:

1. Ռադարի կրողի թռիչքի նմանակումը բաղկացած է երկու փուլից՝ հիմնական դիրքի հաշվարկ և տատանումների հաշվարկ (նկար 3.1, ա): Տատանումների հաշվարկը պարտադիր չէ, և կարելի է անջատել: Այդ դեպքում կրողը կկատարի ուղղագիծ, հավասարաչափ շարժում:

1.1. Առաջինը հիմնական դիրքի հաշվարկն է, որը ստացվում է ըստ (2.62)-ի: Այս դեպքում նրա դիրքը կախված է կրողի արագությունից, բարձրությունից, ռադարի ԻԿԻ-ից և տվյալ պարբերության համարից:

Կրողի շարժումը նկարագրելու համար ընտրվում է համապատասխան կոորդինատական համակարգը՝ դեկարտյան, սֆերիկ կամ աշխարհագրական (նկար 3.1, բ):

1.2. Հաջորդ փուլում ուղղագիծ հավասարաչափ շարժմանը կարելի է ավելացնել թռիչքի տատանումներ: Ներդրված են տատանումների երկու տարբերակներ՝ նորմալ բաշխում ունեցող պատահական տատանումներ և եռանկյունաչափական ֆունկցիաներով ստացվող տատանումներ (նկար 3.1, գ): Տատանումների ստացումը բերված է (2.63)-ում և (2.64)-ում:

ա)

բ)

գ)

Նկար 3.1. SarSim ծրագրում կրողի թռիչքը նկարագրող պարամետրերը
 ա) ընդհանուր տեսքը, բ) կոորդինատական համակարգի ընտրությունը,
 գ) տատանումների տեսակի ընտրությունը

2. Այս փուլում տեղի է ունենում ինֆորմատիվ ազդանշանի գեներացումը: Թիրախային տեղանքը նկարագրող մուտքային տվյալը կարող է տրված լինել թիրախների խմբով (նկար 3.2) կամ մուտքային նկարով (նկար 3.3): Նկարագրման տեսակների հիմնական տարբերությունը կայանում է նրանում, որ մուտքային պատկերը տրված ճշտությամբ տվյալներ է տրամադրում ամբողջ տեղանքի մասին, իսկ թիրախների բազմությունը՝ միայն որոշակի կետեր: Առավել հաճախ օգտագործվող

մուտքային տվյալը պատկերն է: Մուտքային պատկերի հիման վրա նմանական ալգորիթմի մաթեմատիկական մոդելը բերված է [25]-ում:

Targets				Coordinate System:	Cartesian
	X	Y	RCS	Amplitude mode:	RCS
1	150.00 m	500.00 m	0.5		
2	0.00 m	1300.00 m	1		
3	3000.00 m	820.50 m	20		

Նկար 3.2. SarSim ծրագրում թիրախների խմբով տեղանքի նկարագրում



Նկար 3.3. SarSim ծրագրում մուտքային պատկերով տեղանքի նկարագրում

3. Ընդունիչում ստացված ազդանշանը իրենից ներկայացնում է ինֆորմատիվ (թիրախային) անդրադարձի և խանգարումների խառնուրդ: Խանգարումները կարող են ստացվել ծովից, թռչուններից, եղանակային պայմանների պատճառով և այլն: Դրանք իրենցից հետաքրքրություն չեն ներկայացնում, այնուամենայնիվ նրանք կարող են խանգարել մշակման պրոցեսին: Դա նշանակում է, որ մշակման ժամանակ ՍՄՄ-ը պիտի հնարավորություն ունենա աշխատել նույնիսկ խանգարումների պայմաններում:

Նմանակիչը հնարավորություն է տալիս ավելացնել նաև ակտիվ խանգարումներ (3.4): Ակտիվ և պասիվ խանգարումների ավելացումները ոչ պարտադիր են: Օգտագործողը կարող է դրանց գեներացումը միացնել կամ անջատել: Սա հնարավորություն է տալիս ՍՄՄ-ն մշակողին համակարգը փորձարկել տարբեր պայմաններում:

Ակտիվ և պասիվ խանգարումները գեներացվում են նախահաշվարկի փուլում: Ընդունված գումարային ազդանշանը կլինի.

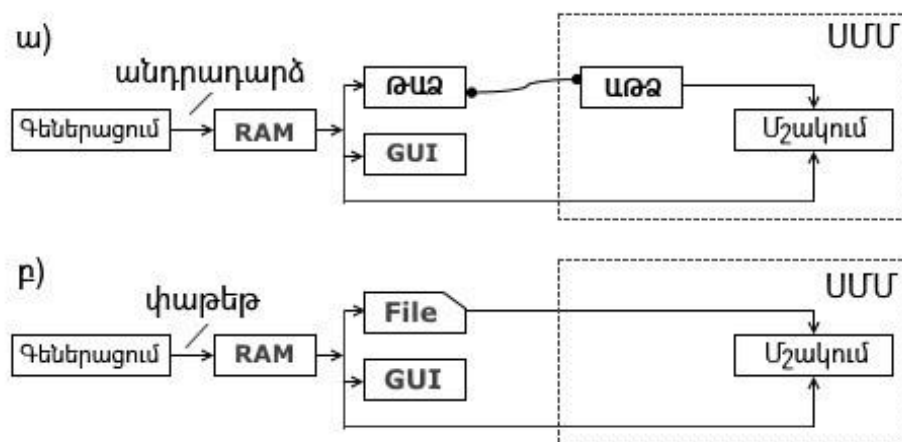
$$p_{rcv(m)}[d] = s_{(m)}[d] + c_{(m)}[d] + \sum_{j=1}^J P_{j(m)}[d] \quad (3.4)$$

որտեղ՝ $p_{rcv(m)}$ - m -րդ պարբերության ընթացքում ընդունված ազդանշանը, c - պասիվ խանգարումներից ստացված ազդանշանը, $P\{P_s, P_W, P_s, P_W, P_{SP}, P_{SW}\}$ -ն մոդելավորված ակտիվ խանգարումների բազմությունը, J -ն ակտիվ խանգարումների քանակը,

$m = \overline{1, M_{rp}}$ - փաթեթում անդրադարձի համարը, $d = \overline{1, N_d}$ - դիսկրետի համարը, j - խանգարման համարը:

Օգտագործում: Գեներացման փուլում ստացված տվյալները կարող են օգտագործվել մի քանի ձևերով (նկար 3.4).

- պահպանում հիշողության մեջ,
- փոխանցում ԹԱԶ-ին,
- ցուցադրում էկրանին:



Նկար 3.4. SarSim ծրագրի ելքային տվյալների օգտագործման ձևերը.

ա) անդրադարձի ռեժիմ, բ) փաթեթի ռեժիմ

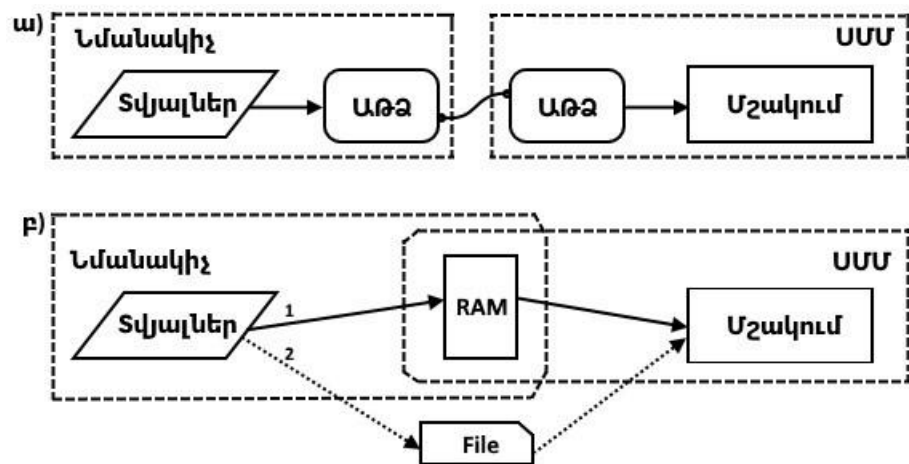
Անդրադարձ տրամադրող ռեժիմում նախահաշվարկի և հաշվարկի գումարային ժամանակը կարող է գերազանցել ԻԿԻ-ն: Սա կարող է պատահել մշակվող տվյալների քանակը մեծանալու դեպքում: Այն կախված է որոշ մուտքային պարամետրերից՝ դիսկրետացման հաճախությունից, մի անդրադարձի մեջ պարունակվող դիսկրետների քանակից, մուտքային պատկերի թույլտվությունից և այլն: Այս դեպքում իրական ժամանակում աշխատող նմանակիչը կունենա նախնական ուշացում: Դա նշանակում է, որ օգտագործման փուլին անցնելուց (ՍՄՄ-ի հետ աշխատել սկսելուց) առաջ ՍԱՌ նմանակիչը պետք է նախօրոք գեներացնի տվյալները, որպեսզի կարողանա օգտագործման փուլում ապահովել իրական ժամանակում տվյալների տրամադրումը: Այս փուլը կոչվում է նախագեներացում: Նախագեներացման ժամանակ համակարգի աշխատանքը նման է փաթեթ տրամադրող ռեժիմի աշխատանքին: Նախահաշվարկին հետևում են M քանակությամբ հաշվարկի ցիկլիկ փուլեր: Տարբերությունը կայանում է նրանում, որ նախագեներացումով անդրադարձ տրամադրող ռեժիմում համակարգը կարող է աշխատել ԹԱԶ-ի հետ՝ անալոգային ազդանշան տրամադրելով ՍՄՄ-ին:

Նախնական ուշացման խնդիրը կարող է լինել նաև փաթեթ տրամադրող ռեժիմում, սակայն նախագեներացման փուլ, որպես այդպիսին առանձնացված չէ: Կատարվում է փաթեթ տրամադրող ռեժիմին հատուկ ընթացքը, միայն տրվում է զգուշացում, որ գեներացման համար կպահանջվի ավելի շատ ժամանակ:

3.1.4. Տվյալների փոխանցման մեխանիզմի նախագծումը

Նմանակչի գեներացված տվյալները նախատեսված են ՍՄՄ-ում մշակման համար: Հետևաբար, կարևոր է նրանց միջև ստեղծել կիրառման տեսանկյունից հարմար միջերես (interface): Նմանակչից ՍՄՄ տվյալների փոխանցման համար մշակված են մի քանի տարբերակներ՝

- անալոգային՝ մալուխի միջոցով,
- թվային՝ օպերատիվ հիշողության միջոցով,
- թվային՝ ֆայլով:



Նկար 3.5. Նմանակիչ-ՍՄՄ տվյալների փոխանցում,
ա) անալոգային, բ) թվային

Տվյալների անալոգային փոխանցումը ամենամոտոն է իրական պայմաններին (նկար 3.5, ա): Օգտագործվում են անալոգային միջոցներ՝ տվյալների փոխանցման համար: Տվյալները գեներացնելուց հետո, նմանակիչը դրանք ԹԱԶ-ի միջոցով վերածում է անալոգային ազդանշանի: ԹԱԶ-ի ելքը միացված է ՍՄՄ կազմի մեջ մտնող անալոգա-թվային ձևափոխիչի (ԱԹՁ) մուտքին: ՍՄՄ-ն սկսում է տվյալների մշակումը ԱԹՁ-ից թվային արժեքներ ստանալուց հետո: Փոխանցման այս եղանակի առավելությունը կայանում է նրանում, որ այն հնարավորություն է տալիս ստուգել ՍՄՄ-ի ամբողջ ֆունկցիոնալությունը: Միաժամանակ կարող են ստուգվել ալգորիթմները, կապուղիները, մալուխները և ձևափոխությունները:

Թվային տվյալները ստանալով ՍՄՄ-ն աշխատում է ավելի պարզ ռեժիմում՝ առանց ընդունման սարքերը օգտագործելու և առանց անալոգային ազդանշանի ձևափոխություններ կատարելու: Սա հնարավորություն է տալիս կարգաբերել ՍՄՄ-ն՝ խուսափելով ԱԹՁ-ի հետ կապված անճշտություններից և մալուխների հետ կապված խնդիրներից:

Նկար 3.5, բ-ում բերված 1-ին օրինակում, նմանակիչը և ՍՄՄ-ն ունեն ընդհանուր օպերատիվ հիշողություն: Դիմելու համար երկկողմանի հասանելի հիշողությունը հնարավորություն է տալիս ՍՄՄ-ին աշխատել տվյալների առանց դրանք պատճենելու: Այս եղանակի առավելությունը տվյալների արագ փոխանցումն է:

Նկար 3.5, բ-ում ներկայացված 2-րդ օրինակում ՍՄՄ-ն կարդում է նախօրոք պահպանված տվյալները: Այս տարբերակի առավելությունը նախկինում գեներացված

տվյալների հետ աշխատելու հնարավորությունն է, նույն մուտքային տվյալների հիման վրա գեներացված տվյալների հետ պարբերական աշխատանքը, տվյալների փոխանցումը տարածության վրա:

Եղանակներից յուրաքանչյուրն ունի իր առավելություններն ու թերությունները: Կախված այդ պահին լուծվող խնդրից կարող է օգտագործվել նրանցից յուրաքանչյուրը: Եղանակների համեմատական վերլուծությունը բերված է աղյուսակ 3.1-ում:

	Իրական պայմաններ	Մուտք/ելք պարզություն	Մուտք/ելք արագություն	Բազմակի օգտագործում
Անալոգային	+	-	+	-
Օպերատիվ հիշող.	-	+	+	-
Ֆայլ	-	+	-	+

Աղյուսակ 3.1. Նմանակիչ-ՍՄՄ տվյալների
փոխանցման եղանակների համեմատություն

ՍՄՄ-ի մշակման նախնական փուլերում խորհուրդ է տրվում օգտագործել թվային ազդանշանները: Գեներացված նույն ազդանշանը բազմակի անգամներ օգտագործելու դեպքում, առավել նախընտրելի է պահպանել տվյալները ֆայլում: Դա հնարավորություն կընձեռի հաջորդ անգամ օգտագործելուց խուսափել տվյալների գեներացումից: Տարբեր մուտքային տվյալների դեպքում համակարգը ստուգելու դեպքում ցանկալի է օգտվել օպերատիվ հիշողության միջոցով տվյալների փոխանցման եղանակից: ՍՄՄ-ի մշակման վերջնական փուլերում համակարգը պետք է աշխատացնել տվյալների անալոգային փոխանցման եղանակով: Սա հնարավորություն կտա պարզել տվյալների փոխանցման սխալանքները ու խնդիրները:

3.2. ՍԱՌ պատկերի ձևավորման կազմակերպումը

ՍԱՌ պատկերի ձևավորման կազմակերպման միջոցով մշակվել է ՍՄՄ-ի փորձնական տարբերակ: ՍՄՄ-ի նախագծումը կատարվել է ելնելով մինչ այդ հայտնի բաց համակարգերի և գրականության մեջ նկարագրված մշակման եղանակների հիման վրա: Այս ենթագլխում քննարկված են պատկերի ձևավորման գոյություն ունեցող եղանակները, փորձնական ՍՄՄ-ի նախագծման հիմնադրույթները:

3.2.1. ՍԱՌ պատկերի ձևավորման եղանակները

Տվյալ ենթագլխում ներկայացված են ՍԱՌ պատկերի ձևավորման տարբեր եղանակներ և քննարկված են նրանց հնարավորություններն ու օգտագործման նպատակները տարբեր իրավիճակներում:

ՍԱՌ պատկերի ձևավորման համար կարելի առանձնացնել մշակման երեք եղանակ՝ չկիզակետված (unfocused) [72], կիզակետված (focused) [73] և ինքնակիզակետված (autofocused) [74]:

Բարձր թույլտվությամբ պատկեր ստանալու համար անհրաժեշտ է որոշակի բարդության ազդանշանների մշակում իրականացնել: Երբեմն ընդունելի տարբերակ է լինում այդ մշակման ռեսուրսները խնայելով՝ ավելի պարզ մշակում իրականացնել: Նմանատիպ դեպքերում չկիզակետված ՍԱՌ մշակում է իրականացվում, երբ պատկերի ձևավորման ժամանակ մի հեռավորության համար տարբեր ազիմուտների դիսկրետների արժեքները ուղղակի գումարվում են իրար:

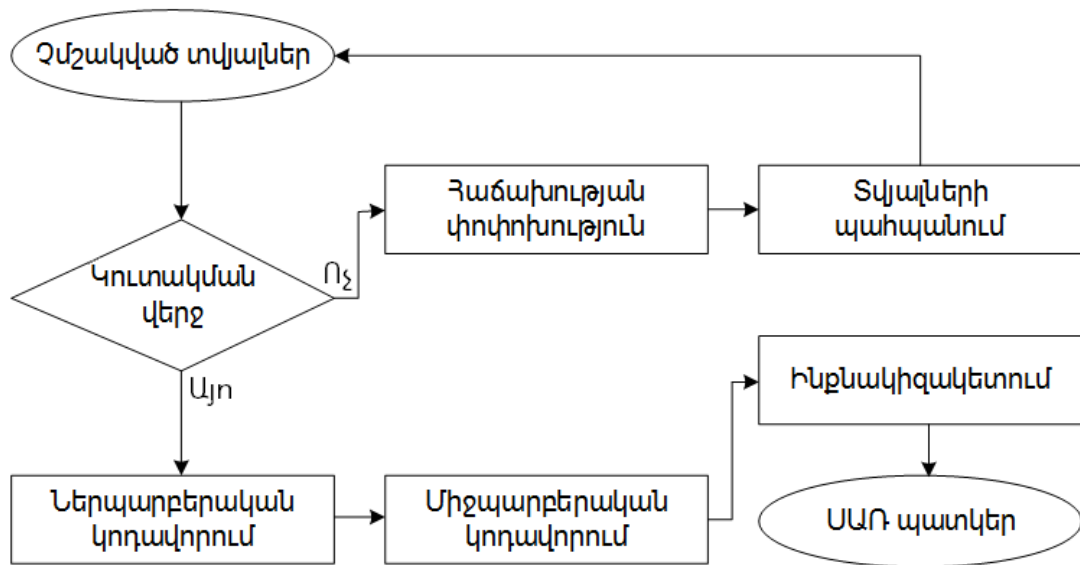
ՍԱՌ-ի պատկերի ամբողջ թույլտվությունը ստանալու համար տարբեր ազիմուտների դիսկրետների գումարման ժամանակ անհրաժեշտ է հաշվի առնել նրանց միջև եղած փուլային շեղումը: Այս դեպքը ի տարբերություն չկիզակետված մշակման, ավելի բարդ է մշակման տեսանկյունից, սակայն տրամադրում է ավելի բարձր թույլտվությամբ պատկեր:

Կիզակետված մշակումը կարող է բավական չլինել բարձր որակով ու թույլտվությամբ պատկեր ստանալու համար, երբ ռադարի կրողը շարժվում է տատանումներով: Այդ տատանումները պատճառ են դառնում արհեստական փուլային շեղումների, որոնք աղավաղում են պատկերը: Այդ ժամանակ օգտագործվում են ինքնակիզակետման ալգորիթմներ, որոնք որոշակի տիպի տատանումների դեպքում հնարավորություն են տալիս կոմպենսացնել այդ փուլային սխալանքները:

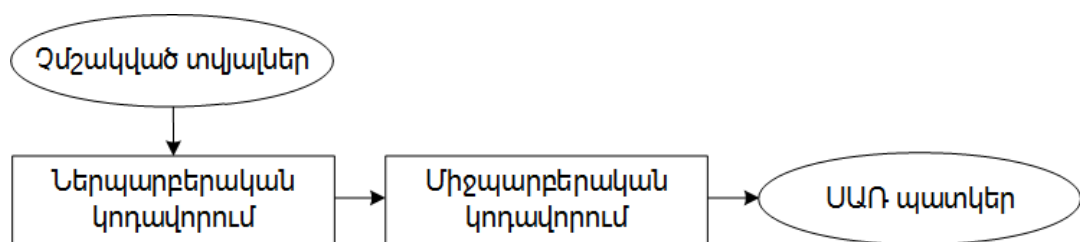
3.2.2. Փորձարարական ՍՄՄ-ի նախագծումը

Չմշակված տվյալները ստանալուց հետո ՍԱՌ-ի մշակման մոդուլների (ՍՄՄ) կատարած մշակման ընդհանուր բլոկ սխեման բերված է նկար 3.6-ում: Ստեղծված նմանակչի աշխատանքը ստուգելու համար մշակվել է կիզակետված մշակում

իրականացնող ավելի պարզ ՍՄՄ (այսուհետ՝ փորձնական ՍՄՄ), որի բլոկ սխեման բերված է նկար 3.7-ում: Այստեղ բաց են թողնված իրական աշխատանքային պայմաններին հատուկ այնպիսի մշակման փուլեր ինչպիսիք են տվյալների կուտակումը, հաճախության փոփոխությունը, ազդանշանի փուլային սխալանքների կոմպենսացիան և այլն: Պատկերի ձևավորումը բաժանված է երկու հաջորդական փուլերի՝ ներպարբերական և միջպարբերական կոդավորման փուլերի:



Նկար 3.6. ՍԱՌ պատկերի ձևավորման ամբողջական բլոկ սխեման



Նկար 3.7. Փորձնական ՍՄՄ-ում պատկերի ձևավորման բլոկ սխեման

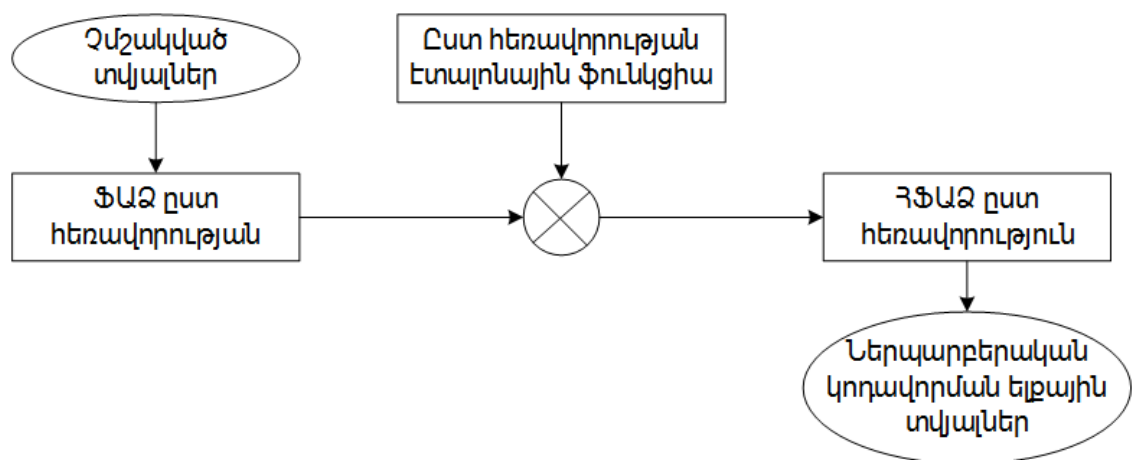
3.2.3. Պատկերի ձևավորման ներպարբերական կոդավորման փուլը

Ներպարբերական կոդավորման բլոկը, որպես մուտքային տվյալ ստանում է նմանակչի կողմից փաթեթ տրամադրող ռեժիմում գեներացված ազդանշանները:

Վերջիններս տրամադրվում են թվային տեսքով: Այսպիսով, ստացված տվյալները կուտակելու ու թվայնացնելու կարիք չկա և կարելի է միանգամից մշակում կատարել:

Ներպարբերական կոդավորման ժամանակ տարբեր կրկնման պարբերությունների ժամանակ ստացված տվյալները կարող են մշակվել իրարից անկախ: Դա իր հերթին նշանակում է, որ դրանց մշակումը կարելի է իրականացնել զուգահեռ՝ արագացնելով ներպարբերական կոդավորումը: Դիտարկենք այն մեկ կրկնման պարբերության համար: Մյուսների համար այն կկատարվի նույն կերպ:

Մշակման առաջին քայլում ստացված մի կրկնման պարբերության տվյալները ենթարկվում են Ֆուրյեի արագ ձևափոխության (ՖԱՁ): Այնուհետև այդ տվյալները դիսկրետ-առ-դիսկրետ բազմապատկվում են ըստ հեռավորության էտալոնային ֆունկցիայի հետ: Որից հետո, ստացված տվյալների հետ կատարվում են հակադարձ ՖԱՁ (նկար 3.8): Վերջին քայլից հետո ստացված տվյալները իրենցից ներկայացնում են ներպարբերական կոդավորման փուլի ելքային տվյալները:



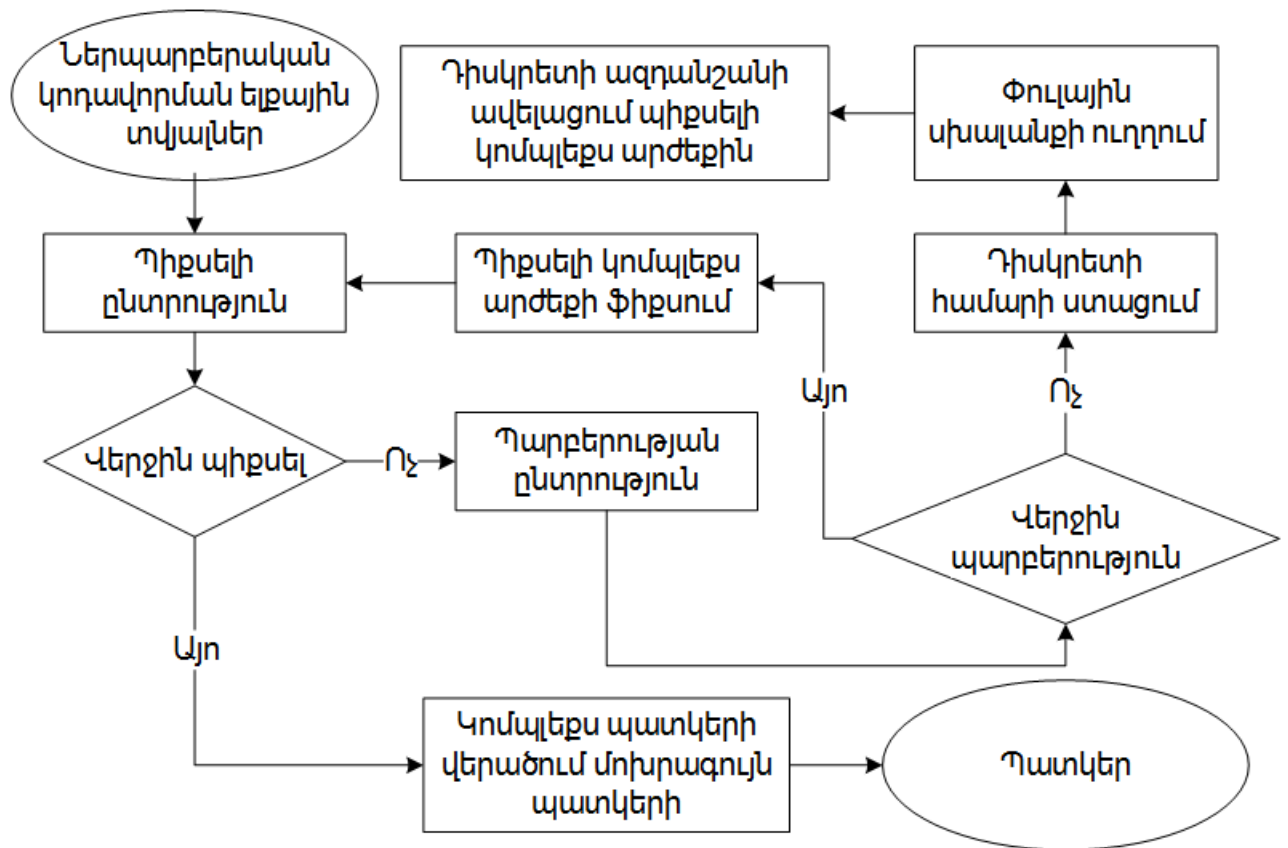
Նկար 3.8. Փորձնական ՍՄՄ-ի ներպարբերական կոդավորման փուլը

Ըստ հեռավորության էտալոնային ֆունկցիան իրենից ներկայացնում է զոնդավորող ազդանշանի կոմպլեքս համալուծը:

3.2.4. Պատկերի ձևավորումը միջպարբերական կոդավորման փուլը

Ներպարբերական կոդավորմանը արդյունքում ստացված տվյալները մշակվում են միջպարբերական կոդավորման փուլում: Այս փուլում տարբեր կրկնման

պարբերության տվյալները մշակվում են իրար հետ: Միջպարբերական փուլի վերջում ստացվում է կիզակետված ՍԱՌ պատկեր (նկար 3.9):



Նկար 3.9. Փորձնական ՍՄՄ-ի միջպարբերական կողավորման փուլը

Միջպարբերական կողավորման ընթացքում յուրաքանչյուր պիքսելի արժեքի ստացման համար կատարվում է ցիկլ ըստ բոլոր կրկնման պարբերությունների, որտեղ յուրաքանչյուր պարբերությունից ընտրվում է տվյալ պիքսելին համապատասխան դիսկրետը: Այդ դիսկրետի արժեքի փուլը ուղղվում է՝ կոմպենսացնելով ըստ հեռավորության միգրացիան [75]: Այնուհետև այդ արժեքը գումարվում է դիտարկվող պիքսելի ընթացիկ արժեքին, որը սկզբում ունի զրոյական արժեք: Բոլոր պիքսելների համար հաշվարկները կատարելուց ստացված կոմպլեքս պատկերը վերածվում է մոխրագույն պատկերի, որտեղ պիքսելի գույնը որոշվում է կոմպլեքս թվի բացարձակ արժեքով:

3.3. Նմանակչի թեստավորումը փորձարարական ՍՄՄ-ի հետ

Նախորդ ենթագլխում քննարկված սկզբունքներից ելնելով մշակվել է փորձնական ՍՄՄ, որը թույլ է տալիս նմանակչի կողմից գեներացված ազդանշանի հիման վրա պատկեր ձևավորել: Կատարվել են փորձարկումներ, որոնցում ձևավորվել են պատկերների առանց աղավաղումների ազդանշանի դեպքում, աղմուկների առկայության պարագայում, ինչպես նաև կրողի տատանումները հաշվի առնելու դեպքում:

Ազդանշանների գեներացման համար որպես մուտքային պատկեր է ընտրվել General Atomics Aeronautical Systems ընկերության [76] Lynx Multi-mode Radar-ի [77] ՍԱՌ-ի կողմից ստացված պատկերը (նկար 3.10):



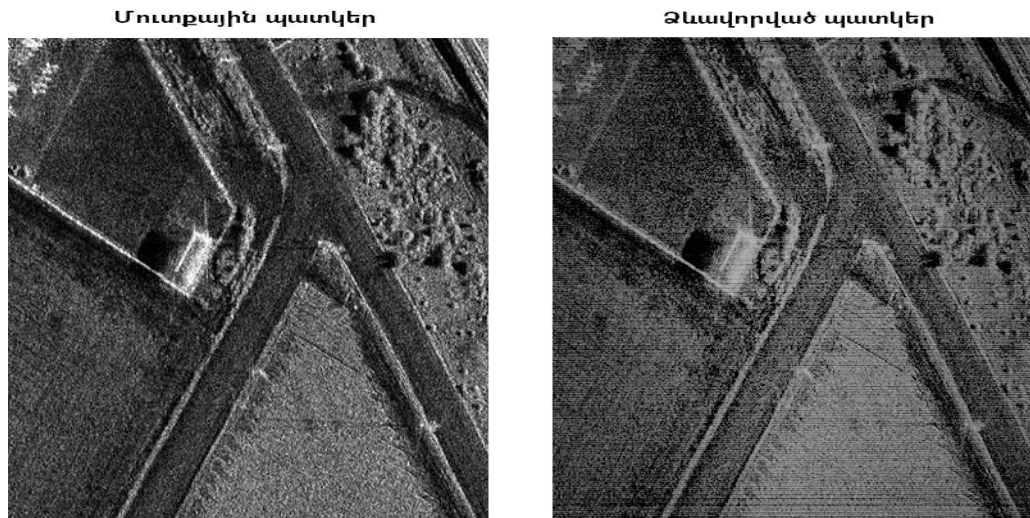
Նկար 3.10. Փորձարկման համար վերցված մուտքային պատկերը

3.3.1. Նմանակչի փորձարկումը առանց փուլային շեղումների ազդանշանի մշակմամբ

Առանց աղավաղումների ազդանշանի գեներացման ժամանակ նմանակչում տրվում են հետևյալ կարգավորումները՝

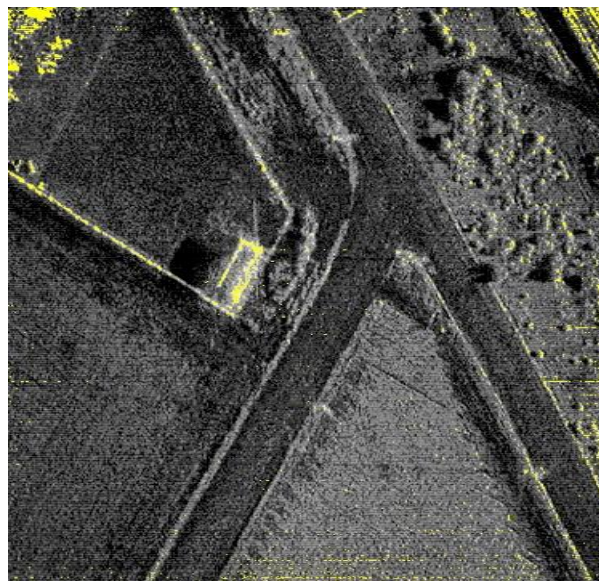
- կրողի ուղղագիծ, հավասարաչափ շարժման հետագծին համապատասխան պարամետրեր,
- անջատված աղմուկներ,
- նմանակչի գեներացման պատկերով ռեժիմ՝ նկար 3.10-ում բերված մուտքային պատկերով:

Գեներացվում է մի կուտակմանը համապատասխանող ազդանշանների փաթեթ, որը այնուհետև մշակվում է փորձնական ՍՄՄ-ով: Ձևավորված և մուտքային պատկերները բերված են նկար 3.11-ում:



Նկար 3.11. Առանց աղավաղումների գեներացված ազդանշանից փորձնական ՍՄՄ-ով ձևավորված պատկերը

Մուտքային ու ելքային պատկերների տարբերությունը կազմում է 1.31%: Տարբերությունները բերված են նկար 3.12-ում և առանձնացված են դեղին գույնով: Համեմատությունները կատարվել են Resemble.js [78] բաց կոդով ծրագրային ապահովման միջոցով:



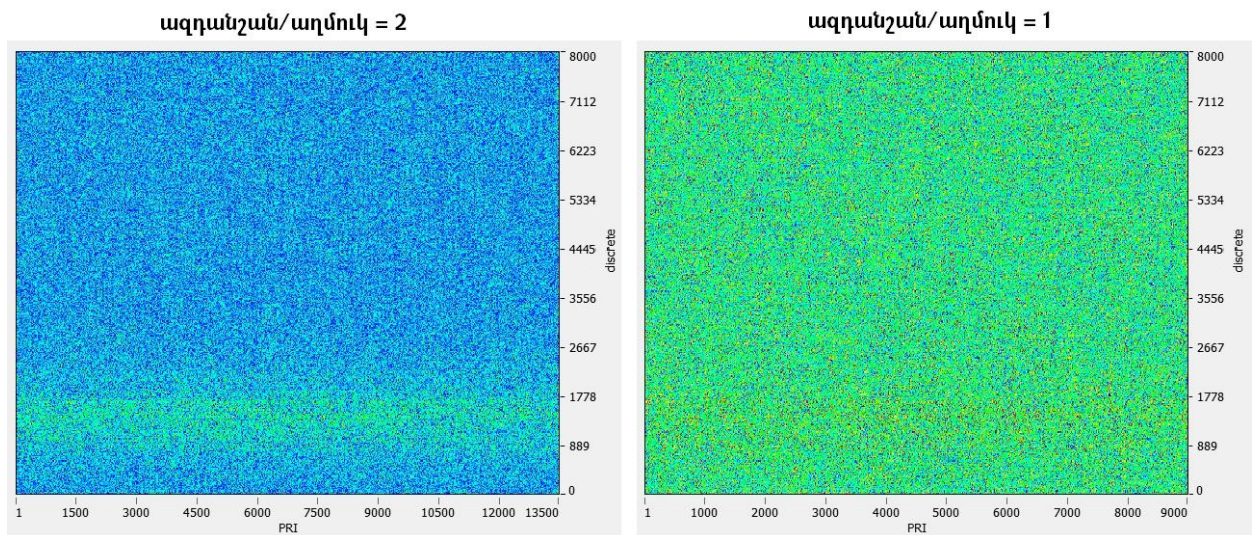
Նկար 3.12. Առանց աղավաղումների փորձարկման ժամանակ մուտքային ու ելքային պատկերների տարբերություններ

Վերլուծելով ձևավորված ու տարբերությունների պատկերները պարզ է դառնում, որ մշակումից հետո պատկերը պահպանել է հիմնական կառուցվածքը, չափերը, նկարում առկա եզրերի ուղղությունները: Մուտքային ու ելքային պատկերների հիմնական տարբերությունը կայանում է պիքսելների գույների պայծառությունների փոփոխության մեջ, որը կարելի է վերացնել ձևավորված պատկերի համապատասխան թվային մշակմամբ:

3.3.2. Նմանակչի փորձարկումը աղմուկների առկայությամբ ազդանշանի մշակմամբ

Աղմուկների առկայությամբ ազդանշանի գեներացման ժամանակ նմանակչում տրվում են հետևյալ կարգավորումները՝

- կրողի ուղղագիծ, հավասարաչափ շարժման հետագծին համապատասխան պարամետրեր,
- միացված համակարգային աղմուկներ,
- նմանակչի գեներացման պատկերով ռեժիմ՝ նկար 3.10-ում բերված մուտքային պատկերով:



Նկար 3.13. Փորձնական պատկերի հիման վրա նմանակչի գեներացրած ազդանշանները

Կատարվել է երկու փորձ, որոնցից առաջինում թիրախային ազդանշանի ամպլիտուդը երկու անգամ մեծ է աղմուկի մակարդակից, իսկ երկրորդում՝ նրանք ունեն

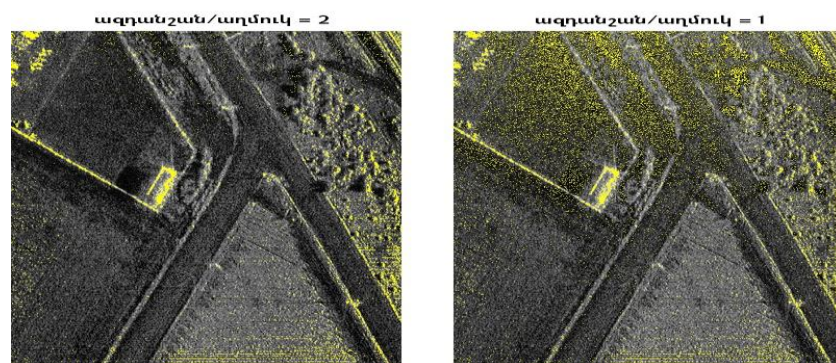
հավասար մակարդակներ: Ինչպես երևում է նկար 3.13-ում, ի տարբերություն առաջին գեներացումից ստացված տվյալների, երկրորդում թիրախային ազդանշանը գրեթե տարբերակելի չէ:

Պարզեցված ՍՄՄ-ով ձևավորված պատկերները բերված են նկար 3.14-ում: Նմանակի կողմից գեներացված չմշակված տվյալներից առաջինում թիրախային ազդանշանը դեռևս տարբերվում է, իսկ երկրորդում՝ ոչ: Ի տարբերություն չմշակված տվյալների, մշակումից հետո երկու դեպքում էլ վերականգնվում է մուտքային պատկերը: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ի տարբերություն գաուսյան պատահական բաշխում աղմուկների, թիրախային ազդանշանը գոյություն ունի բոլոր պարբերություններում և կոհերենտ կուտակման շնորհիվ հնարավոր է դառնում վերականգնել նկարը:



Նկար 3.14. Աղմուկների առկայությամբ գեներացված ազդանշաններից փորձնական ՍՄՄ-ով ձևավորված պատկերները

Մուտքային պատկերի համեմատ ելքային պատկերների տարբերությունը բերված է նկար 3.15-ում: Ազդանշան-աղմուկ հարաբերության 2 արժեքի դեպքում տարբերությունը կազմում է 3.12%, իսկ հավասար մակարդակների դեպքում՝ 7.89%:



Նկար 3.15. Աղմուկների առկայությամբ փորձարկման ժամանակ մուտքային ու ելքային պատկերների տարբերությունները

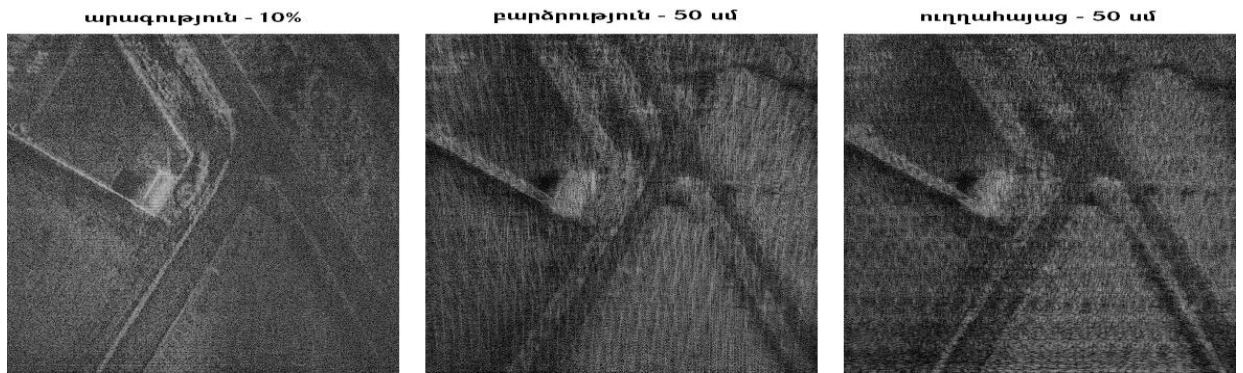
Տարբերությունները բնութագրող նկարներից պարզ է դառնում, որ ազդանշանի մակարդակից ցածր աղմուկները գրեթե չեն ազդում մշակման վրա, իսկ նույն ամպլիտուդը ունեցող աղմուկների դեպքում ձևավորված պատկերի հեռավոր տարածություններին համապատասխան դիսկրետներում առաջանում են աղմուկի մակարդակի բարձրացում, ինչը բերում է պատկերի այս մասերում որոշակի լողզման: Այնուամենայնիվ, այդ դեպքում ևս պատկերը հստակ ճանաչելի է մնում, նրանում եղած օբյեկտները՝ տարբերակելի:

3.3.3. Նմանակչի փորձարկումը կրողի տատանումներով շարժման դեպքում

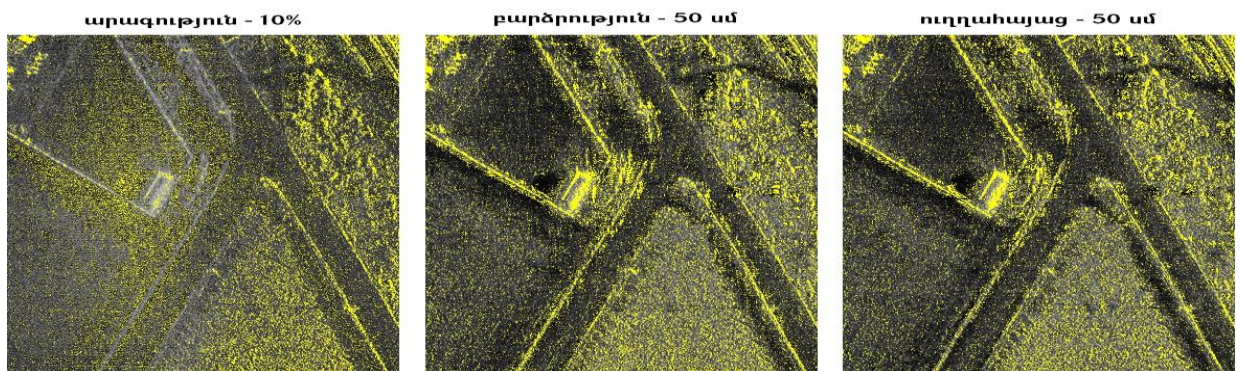
ՍԱԴ կրողի տատանումներով շարժման ժամանակ նմանակչի գեներացված տվյալները փորձարկելու համար կատարվել են մի քանի իրավիճակների նմանակում: Դրանք են՝

1. կրողի արագությունը փոխվում է պատահական սկզբունքով՝ իր ունեցած հիմնական արագությունից շեղվելով $\pm 10\%$,
2. կրողի արագությունը փոխվում է պատահական սկզբունքով՝ իր ունեցած հիմնական արագությունից շեղվելով $\pm 30\%$,
3. կրողը թռիչքի բարձրությունը փոխվում է սինուսոիդալ ձևով՝ հիմնական բարձրությունից մաքսիմալ շեղվելով 50 սմ,
4. կրողը թռիչքի բարձրությունը փոխվում է սինուսոիդալ ձևով՝ հիմնական բարձրությունից մաքսիմալ շեղվելով 1 մ,
5. կրողը թռիչքի ուղղության ուղղահայաց սինուսոիդալ տատանվում է՝ 50 սմ շեղումով,
6. կրողը թռիչքի ուղղության ուղղահայաց սինուսոիդալ տատանվում է՝ 1 մ շեղումով,
7. 2, 4, և 6 կետերում նկարագրված տատանումները միասին:

1, 3 և 5 համարի փորձերում ստացվում են համակարգի համար դեռևս ընդունելի ելքային պատկերներ (նկար 3.16)՝ համապատասխանաբար 14.60%, 15.84% և 15.21% տարբերություններով (նկար 3.17):

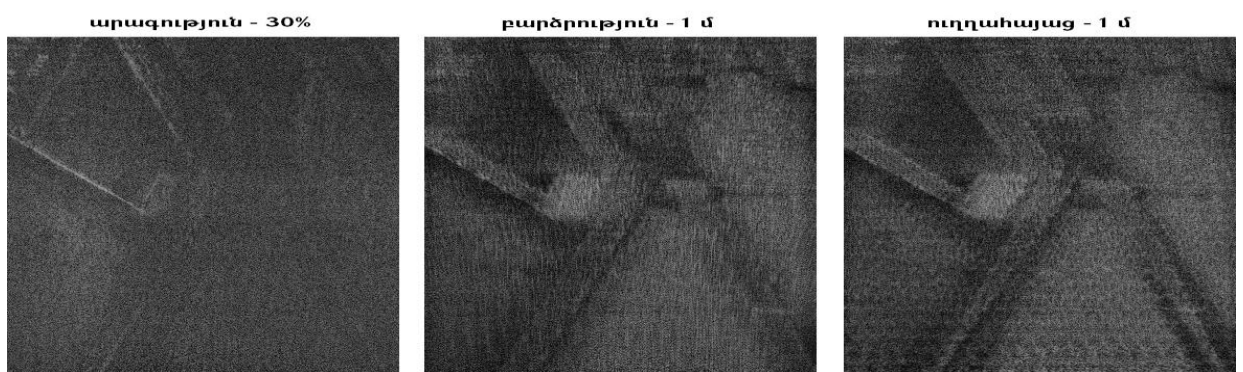


Նկար 3.16. Կրողի 1, 3, 5 դեպքերի տատանումներով հետագծի դեպքում ձևավորված պատկերները

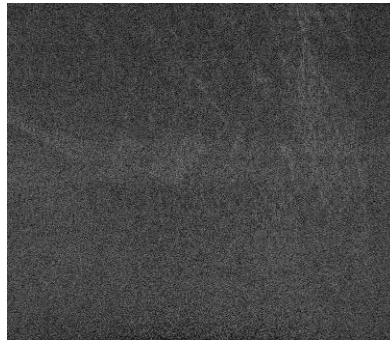


Նկար 3.17. Կրողի 1, 3, 5 դեպքերի տատանումներով հետագծի դեպքում մուտքային ու ձևավորված պատկերների տարբերությունները

2, 4 կամ 6 դեպքերում նկարագրված տատանումներով շարժվելու դեպքում գեներացված ազդանշաններից ձևավորված պատկերները դառնում են դժվար ճանաչելի (նկար 3.18), իսկ բոլորը միասին տեղի ունենալու դեպքում (7-րդ փորձը) ձևավորվող պատկերը բացարձակ աղավաղվում է (նկար 3.19):



Նկար 3.18. Կրողի 2, 4, 6 դեպքերի տատանումներով հետագծի դեպքում ձևավորված պատկերները



Նկար 3.19. Կրողի 7 դեպքի տատանումով հետագծի դեպքում ձևավորված պատկերը

Նմանատիպ տատանումներով շարժման դեպքում, երբ պատկերի ձևավորումը դառնում է անհնարին օգտագործվում են տատանումների կոմպենսացման տարբեր մեխանիզմներ, ինչպես օրինակ՝ լոկալ կամ գլոբալ նավիգացիոն համակարգերի օգտագործումը, ինքնակիզակետման ալգորիթմների ներդրումը: Առանց աղավաղումների տվյալների փոխարեն տատանումների դեպքում գեներացված ազդանշանները հնարավորություն են տալիս ստուգել տվյալ մեխանիզմների աշխատանքը:

3.4. Նմանակչի փորձարկումը գործող ՍԱՌ-ի հետ

Մշակված նմանակիչը ստուգելու համար այն փորձարկվել է արդեն գոյություն ունեցող ՍԱՌ համակարգի հետ: Իրական թռիչքներից ստացված ազդանշանները փոխարինվել են նմանակչի կողմից գեներացված տվյալներով: Դրանից հետո իրական և նմանակչով գեներացված ազդանշանները համեմատության մեջ են դրվել՝ օգտագործելով գործող ՍԱՌ-ի մշակման համակարգը:

3.4.1. Իրական փորձի կատարման նկարագրությունը

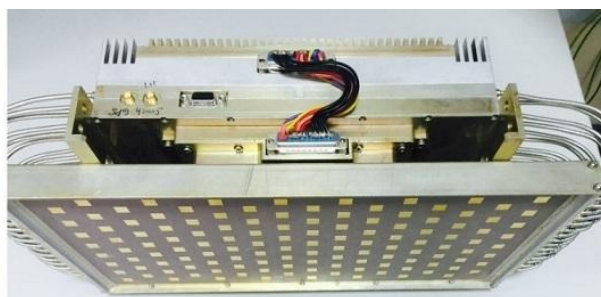
Փորձարկված ՍԱՌ համակարգը տեղադրված է գործող անօդաչու թռչող սարքի (ԱԹՍ) վրա (նկար 3.20): ԱԹՍ-ն իր վրա կրում է ՍԱՌ համակարգի անտենան (նկար 3.20, բ, գ), հաղորդիչները, ընդունիչները, մշակում իրականացնող համակարգը (ՍՄՄ): Դա հնարավորություն է տալիս միանգամից թռիչքի ընթացքում ձևավորել տեղանքի պատկերը:



Նկար 3.20. Փորձի ժամանակ օգտագործված ԱԹՍ-ն

ա) ինքնաթիռը, բ) ՍԱՌ անտենայի մասը, գ) ՍԱՌ անտենան՝ առանց կափարիչի

ՍՄՄ համակարգը տեղադրված է ԱԹՍ-ի ներսում, իսկ անտենան մասնակիորեն դուրս է բերված սարքի ընդհանուր պատյանից: Այն իրենից ներկայացնում է փուլային անտենային ցանց [79], բաղկացած է 128 էլեմենտներից և ունի 50×25 սմ չափեր (նկար 3.21): Անտենային ցանցը հաղորդող/ընդունող էլեմենտների հավաքածու է, որոնք տեղադրված են որոշակի կարգով և նպատակաուղղված են որոշակի ուղղվածության դիագրամ ստանալու համար:



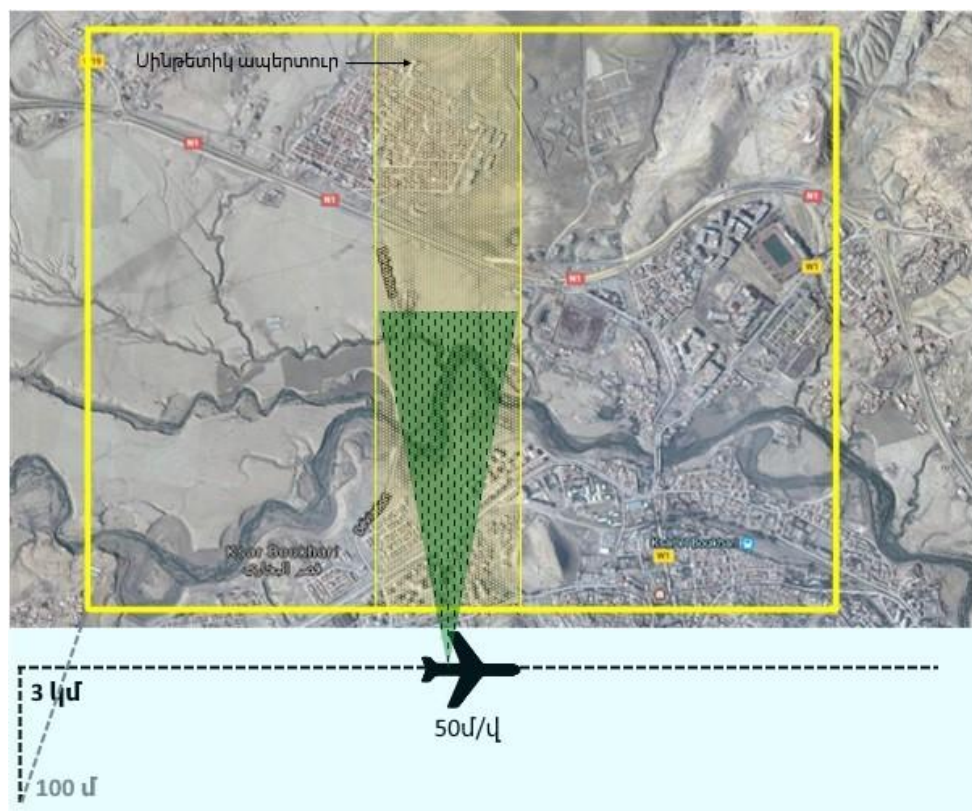
Նկար 3.21. ԱԹՍ-ի ՍԱՌ անտենան

Իրական ՍԱՌ-ը ունի հետևյալ տեխնիկական բնութագրերը՝

Հաճախություն		X-band (9.3 – 9.6 ԳՀց)
Թույլտվություն	ըստ հեռավորության	0.7 մ
	ըստ անկյան	1 մ
Զոնդավորող ազդանշանի մոդուլացում		գծային հաճախականային մոդուլացում
Ըստ ազիմուտի ուղղվածության դիագրամ		4°
Բևեռացում	հաղորդման	հորիզոնական
	ընդունման	հորիզոնական

Աղյուսակ 3.2. Իրական ՍԱՌ-ի տեխնիկական բնութագրերը

Գեներացված տվյալները ստուգելու համար ընտրվել է իրական թռիչքի (նկար 3.22) արդյունքում ստացված տվյալները: Թռիչքի ընթացքում համակարգը ունեցել է աղյուսակ 3.3-ում բերված պարամետրերը:

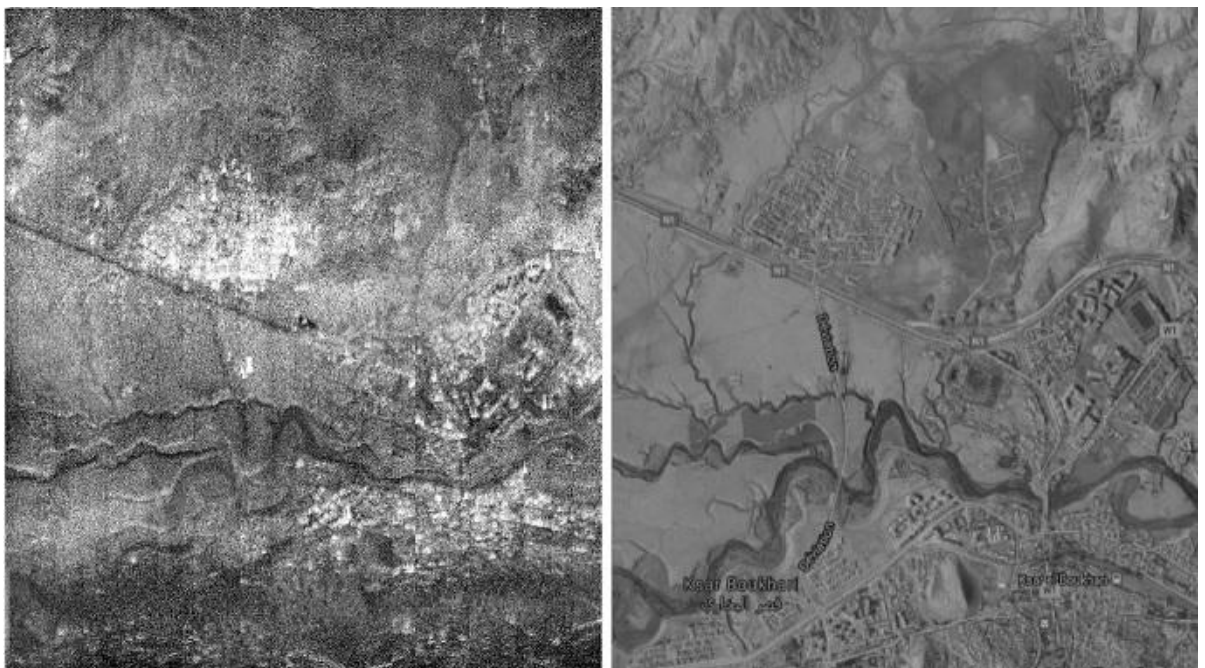


Նկար 3.22. ՍԱՌ պատկերը ստանալու համար ԱԹՍ-ի թռիչքը

Ֆիզիկական	
Թռիչքի բարձրություն	3 կմ
Կրողի արագություն	50 մ/վ
Թռիչքի ուղղություն	0°, դեպի հյուսիս
Ռադարային	
Ճառագայթի ուղղությունը	7°
Ազդանշանի տևողություն	100 մկվ
Կրկնման պարբերության տևողություն	10 մկվ
Կրկնման պարբերությունների քանակ	8196
Պատկերվող տեղանքի լայնություն	540 մ
Պատկերվող տեղանքի բարձրություն	2250 մ

Աղյուսակ 3.3. Փորձի ժամանակ ԱԹՄ-ի ունեցած պարամետրերը

Կատարված թռիչքի ժամանակ ստացված անդրադարձերի մշակման արդյունքում ձևավորվել են տեղանքը նկարագրող պատկերների խումբ: Այդպիսի մի քանի պատկերների միացումից ստացված պատկերը բերված է նկար 3.23, ա-ում, իսկ դրան համապատասխան Google Maps [80] արբանյակային քարտեզը՝ նկար 3.23, բ-ում:



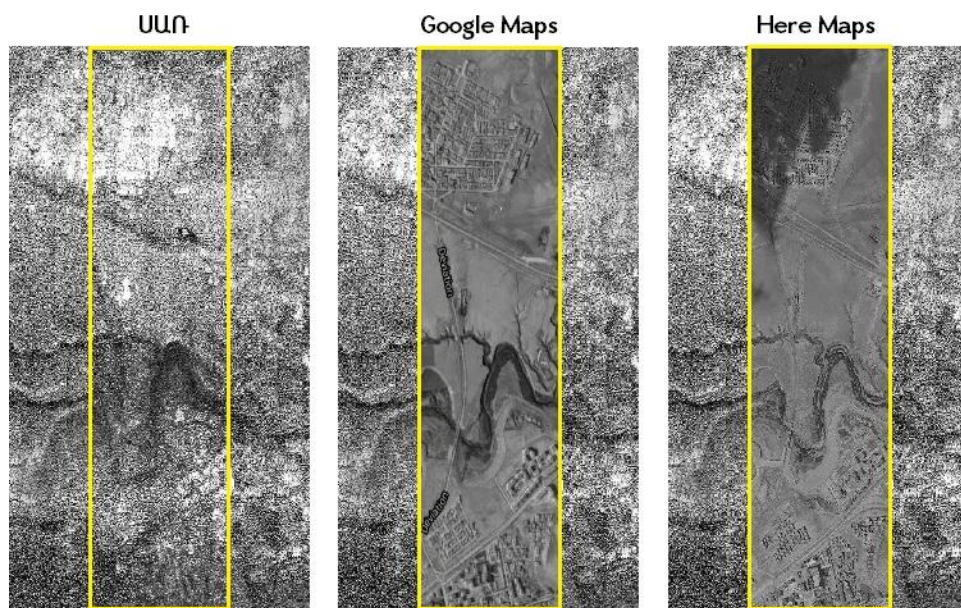
Նկար 3.23. Տեղանքից ստացված պատկեր,
ա) ՍԱՌ-ի պատկերը, բ) Google Maps պատկերը

3.4.2. Իրական տվյալների փոխարինումը նմանակչի ազդանշանով

Նմանակչի աշխատանքը ստուգելու համար իրական թռիչքի ընթացքում ընդունված ազդանշանները փոխարինվել են նմանակչի կողմից գեներացված տվյալներով: Դրա համար անհրաժեշտ է նմանակչում մուտքագրել իրական թռիչքը նկարագրող պարամետրերը և ներմուծել տեղանքը նկարագրող մուտքային պատկերը: Կատարվել են 3 փորձեր, որոնք տարբերվում են մուտքային պատկերի ընտրությամբ: Որպես մուտքային պատկեր են ծառայել՝

1. Իրական ՍԱՌ պատկերը,
2. Google Maps արբանյակային քարտեզից վերցված պատկերը,
3. Maps Here [81] արբանյակային քարտեզից վերցված պատկերը:

Մի կուտակումից հետո ՍԱՌ-ի ձևավորած պատկերը և տվյալ տեղանքին համապատասխան Google Maps և Maps Here քարտեզներից վերցված պատկերները բերված են նկար 3.24-ում: Ընդգծված մասերը փորձերում կծառայեն, որպես մուտքային պատկերներ:



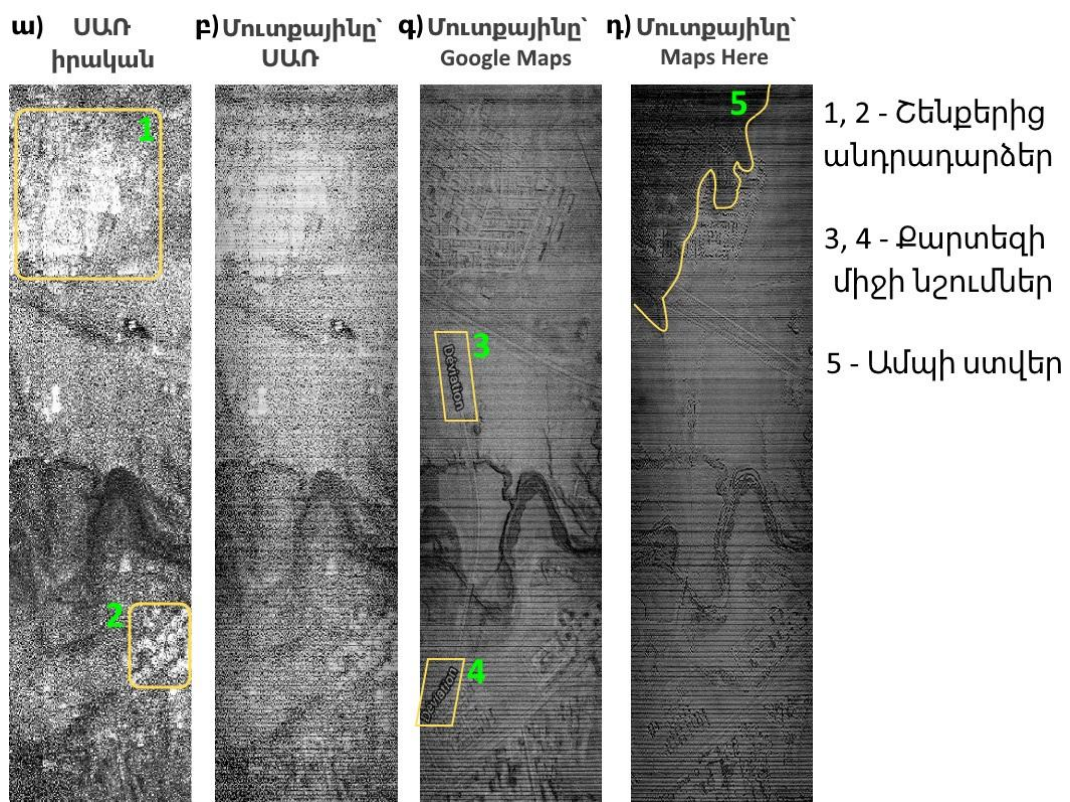
Նկար 3.24. Մի կուտակումից ստացվող պատկերը և այդ տեղանքի պատկերը այլ քարտեզներից

Բոլոր երեք փորձերի ժամանակ նմանակչում մուտքագրվել են նույն ֆիզիկական ու ռադարային պարամետրերը: Տարբերվել է միայն մուտքային պատկերը: Սակայն

բոլոր երեք պատկերները նկարագրել են տարածության միևնույն տեղանքը: Տվյալների գեներացման ընթացքում օդանավի հետագիծը համարվել է ուղղագիծ, հավասարաչափ: Ամեն փորձի համար գեներացվել է ազդանշանների մեկ փաթեթ (8196 կրկնման պարբերություն), որոնք այնուհետև մշակել գործող ՍԱՌ-ի ՍՄՄ-ով:

3.4.3. Գեներացված ազդանշանի մշակման արդյունքները

Կատարված առաջին փորձում ՍԱՌ իրական պատկերի (նկար 3.25, ա) հիման գեներացված ազդանշանները մշակվել են ՍՄՄ-ի կողմից: Ձևավորված պատկերը բերված է նկար 3.25, բ-ում, որը մուտքային հետ ունի 7.04% տարբերություն: Սա նշանակում է, որ իրական թռիչքի ժամանակ ստացված ազդանշանից ու նմանակչի գեներացված տվյալներից ստացվում են բավականաչափ նման պատկերներ: Սրանից բխում է, որ նմանակչի կողմից գեներացված ազդանշանը կարող է որոշակիորեն փոխարինել իրական թռիչքի ժամանակ ստացված տվյալներին և համակարգի որոշակի փորձարկումներ իրականացնել՝ օգտագործելով նմանակիչը:



Նկար 3.25. Իրական ՍԱՌ պատկերը և նմանակչի կողմից գեներացված տվյալներից ստացված պատկերները

Նմանակչի կարևոր խնդիրներից է նաև նպաստել ՍՄՄ-երի մշակմանը մինչև առաջին թռիչքը կատարելը: Սա նշանակում է, որ այդ ժամանակ դեռևս չկա իրական ՍԱՌ պատկեր, որը կարող է նմանակչի համար օգտագործվել, որպես մուտքային պատկեր: Այս իրավիճակը փորձարկելու համար կատարվել են 2-րդ և 3-րդ փորձերը:

Երկրորդ փորձարկման համար, որպես մուտքային պատկեր է վերցվել իրական ՍԱՌ պատկերին համապատասխանող տեղանքի Google Maps արբանյակային քարտեզի պատկերը: ձևավորված պատկերը բերված է նկար 3.25, գ-ում: Այն իրական ՍԱՌ պատկերի հետ ունի 29.78% տարբերություն:

Երրորդ փորձի ժամանակ, որպես մուտքային տրվել է Maps Here արբանյակային քարտեզից վերցված պատկերը: Մշակման արդյունքում ձևավորված պատկերը բերված է նկար 3.25, դ-ում: Այն իրական ՍԱՌ պատկերի ունի 34.66% տարբերություն:

Երկրորդ և երրորդ փորձերի ժամանակ տարբերությունը առաջինի համեմատ մեծ է, սակայն ստացված պատկերներից երկուսն է, որ դրանք բավական մոտ են առաջին փորձի արդյունքում ստացված պատկերին: Նման մեծ տարբերությունը պայմանավորված է հիմնականում երկու փաստերով՝ արբանյակային և ՍԱՌ պատկերները ստանալու մեխանիզմների տարբերությամբ և քարտեզներում առկա տեքստերի առկայությամբ:

ՍԱՌ պատկերման ժամանակ շինություններից, մետաղական օբյեկտներից ստացվում է առավել ուժեղ անդրադարձում: Դրա հետևանքով տվյալ տեղանքներում ի տարբերություն արբանյակային պատկերների ստացվում են առավել վառ պիքսելներ: Նման օրինակներ են նկար 3.25-ում 1 և 2 նշումներով տեղանքները: Որոնք ՍԱՌ պատկերում շատ վառ գույն ունեն, իսկ արբանյակային պատկերներում՝ ոչ այնքան:

Մյուս տարբերությունը լուսանկարչության հետ արտահայտում է 5-րդ նշումը, որտեղ ընդգծված է ամպի ստվերը: Այն հատուկ է համապատասխան մշակում չանցած արբանյակային պատկերներին և բացակայում է ՍԱՌ պատկերներում: Սակայն մուտքային պատկերում ստվերի առկայությունը, որպես կողմնակի հետևանք նշմարվում է նաև այն ՍԱՌ պատկերներում, որոնք ձևավորվել են նմանակչի ազդանշանի հիման վրա:

Նմանակչում հնարավոր է օգտագործվեն այնպիսի արբանյակային քարտեզներ, որոնցում առկա են տեղանունների կամ այլ տեքստային նշումներ: Այդպիսի օրինակներ են նկար 3.25-ում 3 և 4 նշումները: Նման քարտեզների հիման վրա գեներացված տվյալների մշակման արդյունքում ստացված պատկերում ևս առկա են այդ տեքստերը, որոնք մեծացնում են իրական ՍԱՌ պատկերի ետ եղած տարբերությունները:

3.5. Եզրակացություն

Մաթեմատիկական մոդելի հիման վրա մշակվել է ՍԱՌ նմանակչի ապարատա-ծրագրային համալիր, որի աշխատանքային հիմնադրույթները բերված են [26]-ում: Այն մշակելիս հաշվի են առնվել հետևյալ դրույթների կատարումը՝ իրական ժամանակում աշխատելու պայմանին բավարարող արագագործությունը, անալոգային ազդանշաններ տրամադրելու հնարավորությունը և տարբեր օպերացիոն համակարգերում աշխատելու ունակությունը: Նրա հնարավորությունների համեմատությունը դիտարկված ՍԱՌ նմանակիչների հետ բերված է աղյուսակ 3.4-ում:

	SAR Simulation Toolbox	SARSIM by STD Inc.	OpenSource SAR Simulator	Առաջարկված մոդելը
Արագագործություն	դանդաղ, Matlab	արագ, GPU	միջին, CPU	արագ, GPU
Խանգարումների և աղմուկների առկայություն	չկա / կա	չկա / չկա	չկա / չկա	կա / կա
Անալոգային ազդանշանների տրամադրում	չկա	չկա	չկա	կա

Աղյուսակ 3.4. Գոյություն ունեցող ՍԱՌ նմանակիչների
համեմատությունը մշակված նմանակչի հետ

Կատարվել է փորձնական ՍՄՄ-ի մշակում, որի օգտագործմամբ ստուգվել է նմանակչի աշխատանքը: Առանց աղավաղումների ազդանշանի մշակումից ստացվել է պատկեր, որը իրականից տարբերվել է 1.31%-ով: Աղմուկների առկայության դեպքում տարբերությունը կազմել է 3.12% և 7.89%՝ ազդանշան-աղմուկ հարաբերության համապատասխանաբար 2 և 1 արժեքների դեպքում: Կրողի տատանումների առկայության դեպքում մուտքային պատկերի վերականգնման սահմանային դեպք կարելի է համարել 50սմ ամպլիտուդով տատանումներով շարժումը, երբ տարբերությունը կազմել է 15.84% և 15.21%՝ ըստ բարձրության և թռիչքի ուղղությանը ուղղահայաց ուղղություններով համապատասխանաբար: Ավելի մեծ տատանումների դեպքում անհրաժեշտ է կիրառել ինքնակիզակետման (autofocus) ալգորիթմներ և ստուգել դրանց արդյունավետությունը:

Կատարվել է փորձ իրական ՍԱՌ համակարգի հետ: Իրական ՍԱՌ պատկերի հիման վրա նմանակչով գեներացվել են ազդանշաններ, որոնք այնուհետև մշակվել են գործող ՍՄՄ-ով: Իրական և նմանակչի ազդանշանի հիման վրա ստացված պատկերների տարբերությունը կազմել է 7.04%: Ինչը նշանակում է, որ նմանակչի գեներացված ազդանշանները բավականին մոտ են իրականում ստացված ազդանշաններին: Դրանից հետևում է, որ այն կարող է օգտագործվել մշակման ժամանակ ՍՄՄ-ի աշխատանքը տարբեր իրավիճակներում ստուգելու համար:

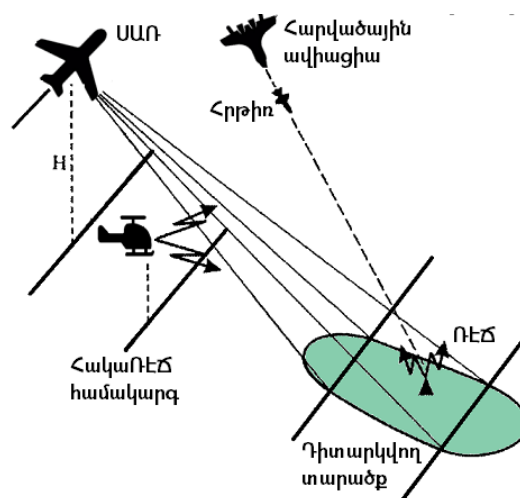
ԳԼՈՒԽ 4

ՍԱՌ-Ի ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԱՊԱՀՈՎՄԱՆ ԱՌԱՋԱՐԿՎԱԾ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ ԱԿՏԻՎ ԽԱՆԳԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՆԴԵՊ

ՍԱՌ-երը ավանդական ռադարների համեմատ ունեն իրենց յուրահատկությունները, որոնցից է ընդունվող ազդանշանների ավելի բարձր մակարդակը [82]: Դա դժվարացնում է խանգարումների միջոցով ՍԱՌ-երի աշխատանքի ճնշումը, ինչի պատճառով օգտագործվում են հատուկ ակտիվ խանգարումներ, որոնցից ազդանշանը ստացվում է ընդունիչի ուղղվածության դիագրամի կողային թերթիկներից: Տվյալ գլխում քննարկված է տվյալ տիպի խանգարումների հանդեպ պաշտպանությունը՝ ուղղվածության դիագրամում տվյալ ուղղություններում անկում առաջացնելով:

4.1. Խանգարումներից պաշտպանվածությունը ՌԷՊ-ի պայմաններում

Խանգարումից պաշտպանվածությունը հանդիսանում է ՍԱՌ-ի հիմնական բնութագրերից մեկը: Նրանով է պայմանավորված ռադիոէլեկտրոնային պայքարի (ՌԷՊ) պայմաններում համակարգի էֆեկտիվ աշխատանքը [83]: ՌԷՊ-ը սահմանվում է, որպես հակամարտող կողմերի միջև միջոցառումների և գործողությունների համակարգ, որոնք ուղղված են հակառակորդի ռադիոէլեկտրոնային միջոցների հայտնաբերմանը և ռադիոէլեկտրոնային ճնշմանը (ՌԷՃ): Ինչպես նաև, այն իր մեջ ընդգրկում է սեփական միջոցների պաշտպանությունը հակառակորդի խանգարումներից:



Նկար 4.1. ՍԱՌ համակարգը խանգարումային միջավայրում

Խանգարումներից պաշտպանվածությունը իրականացվում է պաշտպանական և հարձակողական գործողությունների միջոցով: Հարձակողական գործողությունների թվին է դասվում հակառակորդի խանգարումների աղբյուրների ոչնչացումը (օրինակ՝ հարվածային ավիացիայի միջոցով), ՌԷՃ-ը և հակառակորդի ակտիվ խանգարումների կայանների կառավարումը (նկար 4.1): Պաշտպանական գործողությունները իրենց մեջ ընդգրկում են կայանի պաշտպանությունը կոնկրետ տեսակի խանգարումներից և տեխնիկական հետախուզման միջոցներից: Այն իրականացվում է սարքավորումների և ալգորիթմների միասնական աշխատանքի շնորհիվ:

4.1.1. ՍԱՌ-ի խանգարումապաշտպանվածությունը

ՍԱՌ-ի աշխատանքի դեպքում խանգարումապաշտպանվածությունը որոշվում է համակարգի գաղտնիությամբ և խանգարումակայունությամբ [24]:

Գաղտնիությունը բնութագրում է հակառակորդի կողմից ճառագայթվող ազդանշանների բացահայտման աստիճանը: Խանգարումակայունությամբ բնութագրվում է տրված խանգարումների դեպքում համակարգի աշխատանքի էֆեկտիվությունը: Համակարգի գաղտնիության բարձրացման հիմնական միջոցներն են համարվում՝

- ճառագայթման հզորության պակասեցումը,
- ՍԱՌ-ի անկանխատեսելի պարամետրերի ընտրությունը,
- ճառագայթվող ազդանշանի բնութագրերի պատահական փոփոխությունը,
- խանգարումների ներկայության պայմաններում ազդանշանի բնութագրերի ադապտիվ փոփոխությունը,
- ուղղվածության դիագրամի կողային թերթիկների կարգավորմամբ՝ հակառակորդի հետախուզման սարքերի ուղղությամբ ճառագայթման հզորության պակասեցումը:

Ուղղվածության դիագրամի որոշակի մասերում փոխանցման կամ ընդունման գործակցի փոքրացումը հնարավորություն կտա բարձրացնել համակարգի գաղտնիությունը և խանգարումակայունությունը: Դա կատարվում է դիագրամում անկումների ձևավորմամբ:

4.2. Դիագրամում անկումների ձևավորման մեթոդները

Ժամանակակից անտենային համակարգերը ունեն անտենային ցանցերի (antenna array) տեսք և թույլ են տալիս հետազոտել տրված անկյունային տիրույթը միաժամանակ լուծելով երկու խնդիր [84]՝ տարածության մեջ թույլտվության և խանգարումապաշտպանվածության համապատասխան մակարդակի ապահովումը: Առաջինը կախված է ուղղվածության դիագրամի (ՈւԴ) հիմնական թերթիկի լայնությամբ, երկրորդը՝ կողային թերթիկների համեմատ հիմնական թերթիկով ընդունված ազդանշանի մակարդակով:

Հատուկ դեպքերում, օրինակ՝ ռադիոտեղորոշիչ կայանի մոտակայքում ուժեղ անդրադարձիչների գոյության դեպքում, անհրաժեշտ է տրված ուղղությամբ ապահովել անտենայի ընդունման ավելի ցածր գործակից: Այդ դեպքում անհրաժեշտ է լուծել ուղղվածության դիագրամում տրված անկյունային ուղղություններում անկումների ձևավորման խնդիրը [85]:

Հայտնի են անկումներ պարունակող ուղղվածության դիագրամների ձևավորման օպտիմալ մեթոդներ [86], [87], [88], [89]: Նրանց լուծումը պահանջում է բավականին բարդ ալգորիթներով անտենային ցանցի բոլոր էլեմենտների վերակազմավորում [90]: Մյուս մեթոդը անտենային ցանցի ճառագայթիչներում հոսանքների ամպլիտուդային բաշխումը սահմանելիս քաշային ֆունկցիաների կիրառումն է: Մասնավորապես, [91]-ում դիտարկված է տրված անկյունային հատվածներում հաղորդման ցածր մակարդակով ուղղվածության դիագրամի ձևավորման եղանակ, որը ստացվել է Հեմինգի պատուհանային քաշային ֆունկցիայի [92] միջոցով: [93]-ում զրոների սինթեզի խնդիրը լուծված է ատոմային ֆունկցիաների մոտարկման միջոցով: [94]-ում մշակված է զրոների ձևավորման մեթոդ, որտեղ որպես կառավարող օգտագործվում են ցանցի առաջին և վերջին էլեմենտները:

[94]-ում բերված ալգորիթմի օգտագործմամբ մշակվել է մեթոդների խումբ, որոնք թույլ են տալիս ձևավորել խանգարումային պայմանների համար նախատեսված հատուկ տեսքի ուղղվածության դիագրամներ: Համապատասխան անկման ստացման համար օգտագործվում են մեկ կամ երկու կարգավորվող քաշային գործակիցներ: Մշակված մեթոդները տպագրվել են [27]-ում:

4.2.1. Դիագրամում անկման ձևավորման ներկայացված մեթոդը

N քանակությամբ նույնական, հավասարահեռ ճառագայթիչներից բաղկացած անտենային ցանցի ուղղվածության դիագրամը ունի հետևյալ տեսքը՝

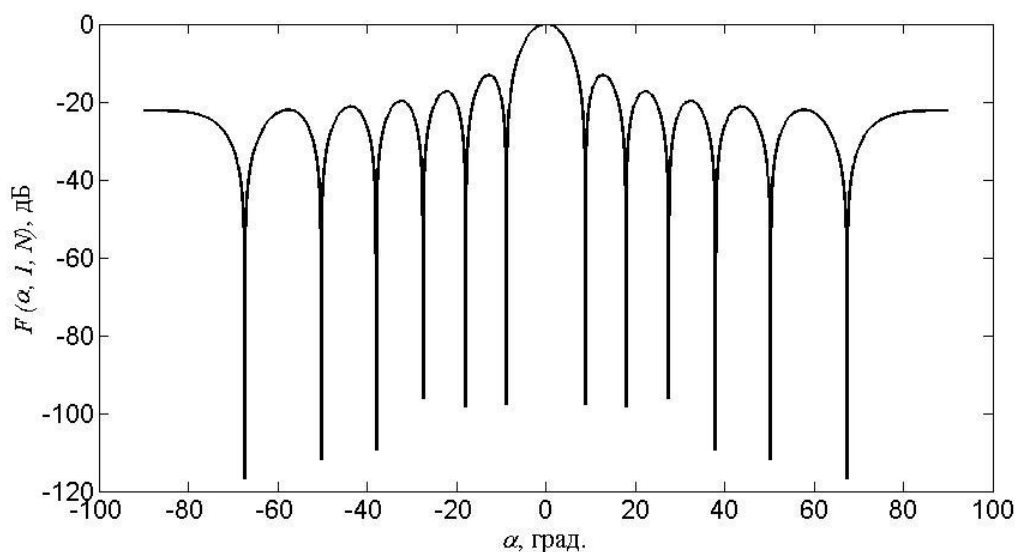
$$F(\alpha) = \sum_{n=1}^N I_n \cdot e^{ikd(n-1-(N-1)/2)\sin\alpha}, \quad (4.1)$$

որտեղ՝ $I_1, \dots, I_N$ - հոսանքների բաշխումը (քառային գործակիցներ), $k = 2\pi/\lambda$ - ալիքային թիվը, λ - ալիքի երկարությունը, d - հարևան ճառագայթիչների միջև հեռավորությունը, α - առանցքի հանդեպ անկյունը:

Նշանակենք՝

$$\varphi(n, \alpha) = kd(n-1-(N-1)/2)\sin\alpha :$$

Հաջորդիվ բերված հաշվարկներում ընտրված են օգտագործվող պարամետրերի հետևյալ արժեքները $N=13$, $d=\lambda/2$ և $I_1=\dots=I_N=1$: Պայմանավորվենք, որ գործակցի բացարձակ մաքսիմալ արժեքը հավասար է մեկի: Այդ պարամետրերով ուղղվածության դիագրամը կունենա հետևյալ տեսքը (նկար 4.2):



Նկար 4.2. Գծային անտենային ցանցի ուղղվածության դիագրամի նախնական տեսքը

Դիցուք, պետք է α_0 ուղղությամբ ստեղծել զրո (antenna null, խորը անկում): Ուղղվածության դիագրամում α_0 անկյան ուղղությամբ զրո սինթեզելու խնդիրը ձևակերպվում է հետևյալ կերպ. անտենային ցանցում անհրաժեշտ է գտնել այնպիսի ամպլիտուդային ($I'_1, \dots, I'_N$) բաշխում, որպեսզի ստեղծված ուղղվածության դիագրամը

(4.2) բոլոր ուղղություններում հնարավորինս քիչ տարբերվի նախնականից (4.1), իսկ α_0 ուղղությամբ՝ հավասարվի զրոյի, այսինքն՝ տեղի ունենա (4.3) և (4.4):

$$F'(\alpha) = \sum_{n=1}^N I'_n \cdot e^{i\varphi(n,\alpha)}, \quad (4.2)$$

$$F'(\alpha_0) = 0, \quad (4.3)$$

$$|F'(\alpha) - F(\alpha)| < \varepsilon, \quad (4.4)$$

որտեղ՝ ε - նախօրոք տրված փոքր թիվ է:

Ձրոների սինթեզի բերված մեթոդը կայանում է նրանում, որ բացի կարգավորվող քառային գործակիցներից մնացած բոլորը ֆիքսվում են: Կարգավորվող գործակիցների արժեքները ընտրվում են՝ ուղղվածության դիագրամում տրված ուղղությամբ զրոյական արժեք ապահովելու պայմանից ելնելով:

Նշենք, որ ուղղվածության դիագրամում կարելի է բավականաչափ պարզ եղանակով զրո ձևավորել, եթե սահմանենք՝

$$F'(\alpha) = F(\alpha) - F(\alpha_0).$$

Գնահատելով սինթեզված և նախնական ուղղվածության դիագրամների տարբերությունների բացարձակ արժեքը, կստանանք՝

$$|F'(\alpha) - F(\alpha)| = |F(\alpha) - F(\alpha_0) - F(\alpha)| = |F(\alpha_0)|.$$

Նշենք, որ տարբերությունը խիստ կախված է նախնական ՈւԴ-ի α_0 ուղղությամբ ունեցած արժեքից, ինչը գլխավոր պիկին մոտենալուց մեծանում է: Սինթեզվող ՈւԴ-ի նախնականին մոտարկման գնահատականի լավացման համար նախընտրելի է որոշել $F'(\alpha)$ -ը հետևյալ կերպ՝

$$F'(\alpha) = F(\alpha) - g(\alpha) \cdot F(\alpha_0),$$

որտեղ՝ $g(\alpha)$ բավարարում է հետևյալ պայմաններին. $g(\alpha_0) = 1$, և $g(\alpha) < \varepsilon$, եթե $\alpha \neq \alpha_0$, ε - նախօրոք տրված փոքր թիվ է:

Այսպիսով, այս մոտեցմամբ զրոների սինթեզի խնդիրը բերվում է $g(\alpha)$ -ն գտնելու խնդրին:

Կարգավորվող գործակիցների ընտրությունը (նրանց քանակի և համարների) կախված է $g(\alpha)$ ֆունկցիայից: Մասնավորապես, (4.5)-ի օգտագործման ժամանակ ստացվում է մեկ ղեկավարվող էլեմենտ: Մնացածի արժեքները չեն փոխվում:

$$g(\alpha, n_1) = \frac{e^{i\varphi(n_1, \alpha)}}{e^{i\varphi(n_1, \alpha_0)}}, \quad (4.5)$$

որտեղ՝ $n_1 \in \{1, \dots, N\}$ - ղեկավարվող քառային գործակցի համարն է (ցանցի ճառագայթի համարը):

Երկու կառավարվող քառային գործակցի օգտագործման դեպքում, որպես $g(\alpha)$ կարելի է օգտագործել (4.6)-ը:

$$g(\alpha, n_1, n_2) = \frac{e^{i\varphi(n_1, \alpha)} - e^{i\varphi(n_2, \alpha)}}{e^{i\varphi(n_1, \alpha_0)} - e^{i\varphi(n_2, \alpha_0)}}, \quad (4.6)$$

որտեղ՝ $n_1, n_2 \in \{1, \dots, N\}$ - ղեկավարվող քառային գործակիցների համարները:

Ուղղվածության դիագրամում համեմատաբար փոքր (α_1, α_2) ինտերվալի ճնշման խնդիրը կայանում է անտենային ցանցում հոսանքների այնպիսի $(I'_1, \dots, I'_N)$ ամպլիտուդային բաշխում գտնելու մեջ, որ առաջացող $F'(\alpha)$ դիագրամը բոլոր անկյուններում հնարավորինս քիչ տարբերվի նախնականից, իսկ (α_1, α_2) միջակայքում՝ չգերազանցի նախօրոք տրված ϵ փոքր թիվը: Վերջինը համարժեք է (4.4)-ի տեղի ունենալուն և $F'(\alpha) < \epsilon$, $\alpha \in (\alpha_1, \alpha_2)$:

(α_1, α_2) ինտերվալի ճնշումը կատարվում է α_1 և α_2 ուղղություններով զրոներ ձևավորելով: Ելնելով այն փաստից, որ այդ անկյունները իրար մոտ են, զրոների ձևավորումը այդ ուղղություններում բերում է ամբողջ միջակայքի մակարդակի անկմանը: Դրա համար $F'(\alpha)$ -ը սահմանենք հետևյալ ձևով՝

$$F'(\alpha) = F(\alpha) - g_1(\alpha) \cdot F(\alpha_1) - g_2(\alpha) \cdot F(\alpha_2),$$

որտեղ՝ $g_1(\alpha)$ -ը և $g_2(\alpha)$ -ը բավարարում են հետևյալ պայմաններին $g_1(\alpha_1) = g_2(\alpha_2) = 1$, $g_1(\alpha_2) = g_2(\alpha_1) = 0$, և $g_1(\alpha) < \epsilon$, $g_2(\alpha) < \epsilon$, եթե $\alpha \neq \alpha_1, \alpha_2$, ϵ - նախօրոք տրված փոքր թիվ է:

Այդ դեպքում, սինթեզվող ՈւԴ-ի մոտարկումը նախնականին (4.1) կլինի՝

$$|F'(\alpha) - F(\alpha)| = |F(\alpha) - g_1(\alpha) \cdot F(\alpha_1) - g_2(\alpha) \cdot F(\alpha_2) - F(\alpha)| = |g_1(\alpha) \cdot F(\alpha_1) + g_2(\alpha) \cdot F(\alpha_2)|:$$

Քանի որ ենթադրվում է, որ ճնշվող ինտերվալը համեմատաբար փոքր է, ապա կարելի է համարել, որ $F(\alpha_1) \approx F(\alpha_2)$: Այստեղից հետևում է, որ նախնականին մոտ

սինթեզվող ՈւԴ ձևավորման համար պիտի տեղի ունենա $g_1(\alpha) \approx -g_2(\alpha)$:
Մասնավորապես՝

$$g_1(\alpha, n_1) = \frac{e^{i\phi(n_1, \alpha_2, \alpha)} - e^{i\phi(n_1, \alpha)} }{e^{i\phi(n_1, \alpha_2, \alpha_1)} - e^{i\phi(n_1, \alpha_1)}}, \quad (4.7)$$

$$g_2(\alpha, n_1) = \frac{e^{i\phi(n_1, \alpha)} - e^{i\phi(n_1, \alpha_1, \alpha)} }{e^{i\phi(n_1, \alpha_2)} - e^{i\phi(n_1, \alpha_1, \alpha_2)}}, \quad (4.8)$$

որտեղ՝ $\phi(n, \alpha_1, \alpha_2) = kd(n-1-(N-1)/2)(2\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)$, $n_1 \in \{1, \dots, N\}$ - կարգավորվող քառային գործակցի համարը:

(4.7)-ից ու (4.8)-ից հետևում է, որ անկման մակարդակը խիստ կախված է նրա լայնությունից, այսինքն՝ որքան նեղ է, այնքան խորն է անկումը:

Սինթեզվող ու նախնական դիագրամների միջև ուղիղ համեմատությունից (4.4) բացի գործնական նշանակություն ունեն ուղղվածության դիագրամի փոփոխության հետևյալ չափանիշները: Բոլոր չափանիշները բերված են համափուլ գծային հավասարահեռ անտենային ցանց (ԳՀԱՑ) համեմատ՝

1. ρ – ուղղված գործողության գործակցի կորուստ,
2. β – ուղղվածության դիագրամի մաքսիմումի շեղում (համափուլ ԳՀԱՑ-ի մաքսիմումը ստացվում է զրոյական անկյան դեպքում),
3. γ – ուղղվածության դիագրամի հիմնական թերթիկի լայնության փոփոխությունը (լայնացումը կամ նեղացումը) -3 դԲ մակարդակի վրա (համափուլ ԳՀԱՑ-ի հիմնական թերթիկի լայնությունը այդ մակարդակում կազմում է $\approx (51\lambda / Nd)^\circ$):

Նշենք, որ գործակիցների բացարձակ արժեքները կարող են ստացվել մեկից մեծ (նախկինում պայմանավորվել էինք, որ բացարձակ արժեքները պիտի մեկից մեծ չլինեն): Այդպիսի դեպքերում, բոլոր գործակիցների արժեքները բաժանվում են նրանցից ամենամեծի արժեքի վրա: Դա կարող է բերել ուղղված գործողության գործակցի մեծ կորստի: Քանի որ կարգավորվող գործակիցների արժեքները կախված են նաև $F(\alpha_0)$ -ից, ապա առավել օգտակար է $F'(\alpha)$ -ն սահմանել հետևյալ ձևով՝

$$F'(\alpha) = F(\alpha, m_1, m_2) - g(\alpha) \cdot F(\alpha_0, m_1, m_2), \quad (4.9)$$

կամ ինտերվալ ճնշելիս՝

$$F'(\alpha) = F(\alpha, m_1, m_2) - g_1(\alpha) \cdot F(\alpha_1, m_1, m_2) - g_2(\alpha) \cdot F(\alpha_2, m_1, m_2), \quad (4.10)$$

որտեղ $m_1, m_2 \in \{1, \dots, N\}$, $F(\alpha, m_1, m_2)$ - մասնական դիագրամն է [95]:

$$F(\alpha, m_1, m_2) = \sum_{n=m_1}^{m_2} I_n \cdot e^{i\varphi(n, \alpha)},$$

m_1, m_2 - ցանցի առաջին և վերջին էլեմենտների համարները, որոնց քաշային գործակիցները չեն փոխվում:

Ընտրված մասնական դիագրամից ու $g(\alpha)$ ֆունկցիայից կախված ստացվում են հոսանքների տարբեր բաշխումներ: Մասնավորապես, բերված $g(\alpha)$ -ների համար ստացվում են՝

$$I'_1 = \dots = I'_{m_1-1} = 0, \quad I'_{m_1} = I_{m_1}, \dots, I'_{m_2} = I_{m_2}, \quad I'_{m_2+1} = \dots = I'_N = 0,$$

(4.5)-ի համար (փոխվում է միայն n_1 -րդ գործակցի արժեքը)

$$I'_{n_1} := I'_{n_1} - \frac{F(\alpha_0, m_1, m_2)}{e^{i\varphi(n_1, \alpha_0)}},$$

(4.6)-ի համար (փոխվում են n_1 -րդ ու n_2 -րդ գործակիցների արժեքները)

$$I'_{n_1} := I'_{n_1} - \frac{F(\alpha_0, m_1, m_2)}{e^{i\varphi(n_2, \alpha_0)} - e^{i\varphi(n_1, \alpha_0)}},$$

$$I'_{n_2} := I'_{n_2} + \frac{F(\alpha_0, m_1, m_2)}{e^{i\varphi(n_2, \alpha_0)} - e^{i\varphi(n_1, \alpha_0)}},$$

(4.7)-ի ու (4.8)-ի համար (n_1 -րդ ու $(N - n_1 + 1)$ -րդ գործակիցների արժեքները)

$$I'_{n_1} := I'_{n_1} - \frac{F(\alpha_2, m_1, m_2)}{e^{i\varphi(n_1, \alpha_2)} - e^{i\varphi(n_1, \alpha_1, \alpha_2)}} + \frac{F(\alpha_1, m_1, m_2)}{e^{i\varphi(n_1, \alpha_2, \alpha_1)} - e^{i\varphi(n_1, \alpha_1)}},$$

$$I'_{N-n_1+1} := I'_{N-n_1+1} + \frac{F(\alpha_2, m_1, m_2) \cdot e^{i\varphi(n_1, \alpha_1)^2}}{e^{i\varphi(n_1, \alpha_2)} - e^{i\varphi(n_1, \alpha_1, \alpha_2)}} - \frac{F(\alpha_1, m_1, m_2) \cdot e^{i\varphi(n_1, \alpha_2)^2}}{e^{i\varphi(n_1, \alpha_2, \alpha_1)} - e^{i\varphi(n_1, \alpha_1)}}:$$

Այն դեպքում, երբ ուղղվածության դիագրամը ունի սիմետրիկ տեսք, այսինքն՝ $I_n = I_{N-n+1}$, $n = 1, \dots, \lceil (N-1)/2 \rceil$, ($\lceil x \rceil$ -ը x -ի կլորացումն է դեպի մոտակա ամբողջ թիվը՝ մեծի ուղղությամբ), ապա կարելի է հիմնական պիկի հանդեպ սիմետրիկ ձևավորել երկու զրո՝ $-\alpha_0$ և α_0 ուղղություններով: Դրա համար անհրաժեշտ է $g(\alpha)$ -ն սահմանել հետևյալ ձևով՝

մեկ կարգավորվող քաշային գործակցի օգտագործման դեպքում՝

$$g(\alpha, n_1) = \frac{\cos(\varphi(n_1, \alpha))}{\cos(\varphi(n_1, \alpha_0))}, \quad (4.11)$$

որտեղ $n_1 \in \{1, \dots, N\}$ - կարգավորվող քաշային գործակցի համարը:

Երկու կարգավորվող քաշային գործակից օգտագործելու դեպքում, որպես $g(\alpha)$ կարելի է օգտագործել հետևյալ ֆունկցիան՝

$$g(\alpha, n_1, n_2) = \frac{\cos(\varphi(n_1, \alpha)) - \cos(\varphi(n_2, \alpha))}{\cos(\varphi(n_1, \alpha_0)) - \cos(\varphi(n_2, \alpha_0))}, \quad (4.12)$$

որտեղ $n_1, n_2 \in \{1, \dots, N\}$ - կարգավորվող քաշային գործակիցների համարները:

Սիմետրիկ տեսքի ՈւԴ-ում երկու $(-\alpha_2, -\alpha_1)$ և (α_1, α_2) սիմետրիկ ինտերվալներ ճնշելու դեպքում, սահմանենք $g_1(\alpha)$ -ը և $g_2(\alpha)$ -ը հետևյալ ձևերով (ենթադրվում է, որ ճառագայթիչների քանակը կենտ է)՝

$$g_1(\alpha, n_1) = \frac{\cos(\varphi(n_1, \alpha_2)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha))}{\cos(\varphi(n_1, \alpha_2)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha_1))}, \quad (4.13)$$

$$g_2(\alpha, n_1) = \frac{\cos(\varphi(n_1, \alpha)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha_1))}{\cos(\varphi(n_1, \alpha_2)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha_1))}, \quad (4.14)$$

որտեղ $n_1 \in \{1, \dots, N\}$ - կարգավորվող քաշային գործակցի համարը:

Այդ դեպքերում գործակիցները կընդունեն հետևյալ արժեքները՝

$$I'_1 = \dots = I'_{m_1-1} = 0, \quad I'_{m_1} = I_{m_1}, \dots, I'_{m_2} = I_{m_2}, \quad I'_{m_2+1} = \dots = I'_N = 0,$$

(4.11)-ի համար (փոխվում են n_1 -րդ ու $(N - n_1 + 1)$ -րդ գործակիցների արժեքները)

$$I'_{N-n_1+1} = I'_{n_1} := I'_{n_1} - \frac{F(\alpha_0, m_1, m_2)}{2 \cos(\varphi(n_1, \alpha_0))},$$

(4.12)-ի համար (փոխվում են n_1 , n_2 , $(N - n_1 + 1)$ ու $(N - n_2 + 1)$ համարներով գործակիցների արժեքները)

$$I'_{N-n_1+1} = I'_{n_1} := I'_{n_1} - \frac{F(\alpha_0, m_1, m_2)}{\cos(\varphi(n_2, \alpha_0)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha_0))},$$

$$I'_{N-n_2+1} = I'_{n_2} := I'_{n_2} + \frac{F(\alpha_0, m_1, m_2)}{\cos(\varphi(n_2, \alpha_0)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha_0))},$$

(4.13)-ի ու (4.14)-ի համար (փոխվում են n_1 , $(N - n_1 + 1)$, $(N + 1)/2$ համարներով գործակիցների արժեքները, ինչպես նաև ենթադրվում է, որ ճառագայթիչների քանակը կենտ է)՝

$$I'_{(N+1)/2} := I'_{(N+1)/2} + \frac{F(\alpha_2, m_1, m_2) \cdot \cos(\varphi(n_1, \alpha_1))}{\cos(\varphi(n_1, \alpha_2)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha_1))} - \frac{F(\alpha_1, m_1, m_2) \cdot \cos(\varphi(n_1, \alpha_2))}{\cos(\varphi(n_1, \alpha_2)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha_1))},$$

$$I'_{N-n_1+1} = I'_{n_1} := I'_{n_1} + \frac{F(\alpha_1, m_1, m_2) - F(\alpha_2, m_1, m_2)}{2 \cos(\varphi(n_1, \alpha_2)) - \cos(\varphi(n_1, \alpha_1))}:$$

Հաջորդիվ բերված են զրոների ձևավորման օրինակներ, ինչպես նաև ρ , β և γ չափանիշների համեմատական գրաֆիկներ՝ տարբեր մասնական դիագրամների համար:

4.3. Մեկ կարգավորվող գործակցով անկումների ձևավորումը

Մեկ կարգավորող գործակցի օգտագործման ժամանակ հնարավոր են երկու տեսակի անկումների ստացում՝ մեկ ուղղությամբ կամ կենտրոնի հանդեպ սիմետրիկ ուղղություններով:

4.3.1. Մեկ ուղղությամբ զրոյի ձևավորումը

Այստեղ կդիտարկվի $F(\alpha, 1, N)$ մասնական դիագրամի և $g(\alpha, N)$ ֆունկցիայի (4.5) օգտագործմամբ զրոյի ձևավորումը: Ուղղվածության դիագրամի α_0 ուղղությամբ զրո ձևավորելու համար բոլոր $I_1, I_2, \dots, I_{N-1}$ գործակիցների արժեքները ֆիքսվում են բացի վերջինից (I_N): Այդ գործակցի արժեքը ընտրվում է դիագրամի α_0 ուղղությամբ զրո ապահովելու պայմանից ելնելով: (4.9)-ից ու (4.5)-ից ստանում ենք՝

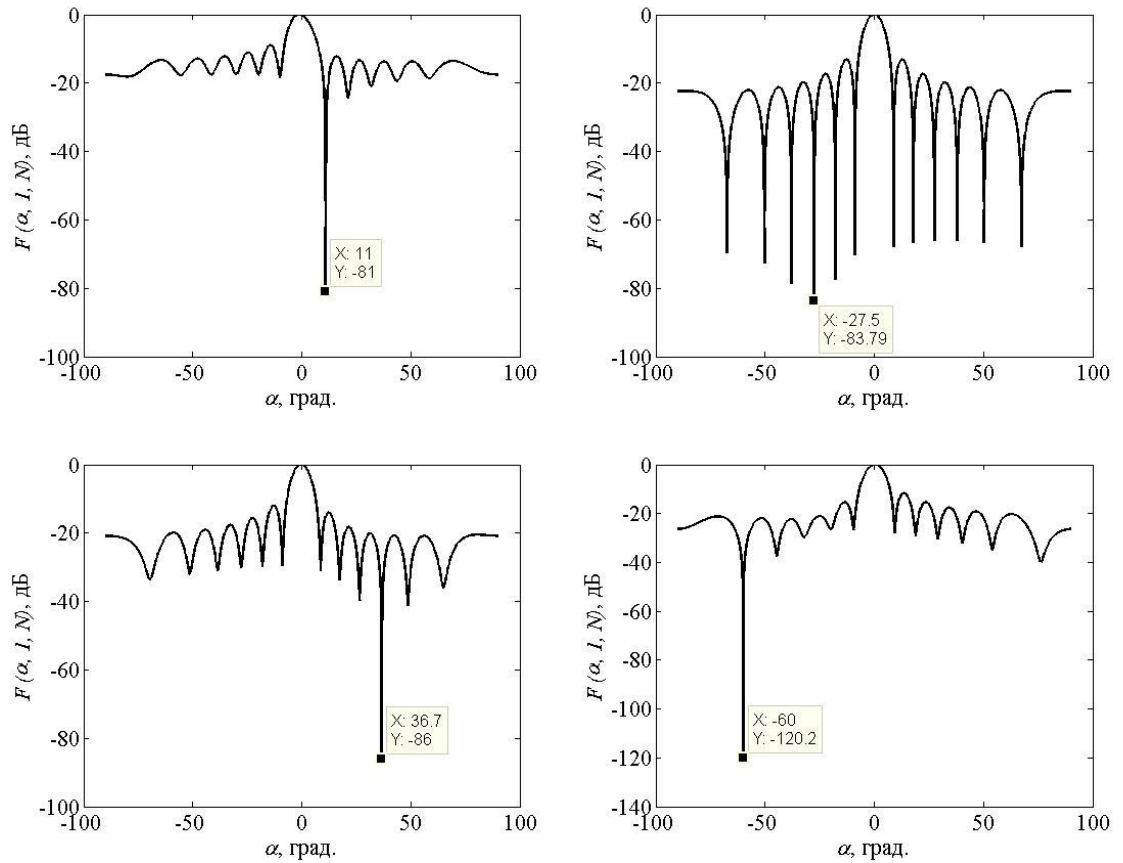
$$F'(\alpha) = F(\alpha) - \frac{\varphi'(\alpha)}{\varphi'(\alpha_0)} \cdot F(\alpha_0),$$

որտեղ՝ $\varphi'(\alpha) = kd(N-1)\sin \alpha / 2$:

Այս դեպքում հոսանքների բաշխումը կլինի - $(I_1, \dots, I_{N-1}, I'_N)$, որտեղ՝

$$I'_N = I_N - e^{-i\varphi'(\alpha_0)} \cdot F(\alpha_0):$$

Այսպիսով, եթե վերցնենք հոսանքների $(I_1, \dots, I_{N-1}, I'_N)$ բաշխումը, ապա կստանանք α_0 ուղղությամբ անկում ունեցող ուղղվածության դիագրամ: Տարբեր անկյունների համար ստացված ուղղվածության դիագրամները բերված են նկար 4.3-ում:



Նկար 4.3. Գծային անտենային ցանցի մեկ ուղղությամբ սինթեզված գրոյով ՈւԴ

Դիտարկենք $F(\alpha, 1, N-1)$, $F(\alpha, 2, N)$, $F(\alpha, 3, N-2)$, $F(\alpha, 1, N)$ և $F(\alpha, 2, N-1)$ մասնական դիագրամները: Բերված մասնական դիագրամների համար ստացվում են հոսանքների հետևյալ բաշխումները՝

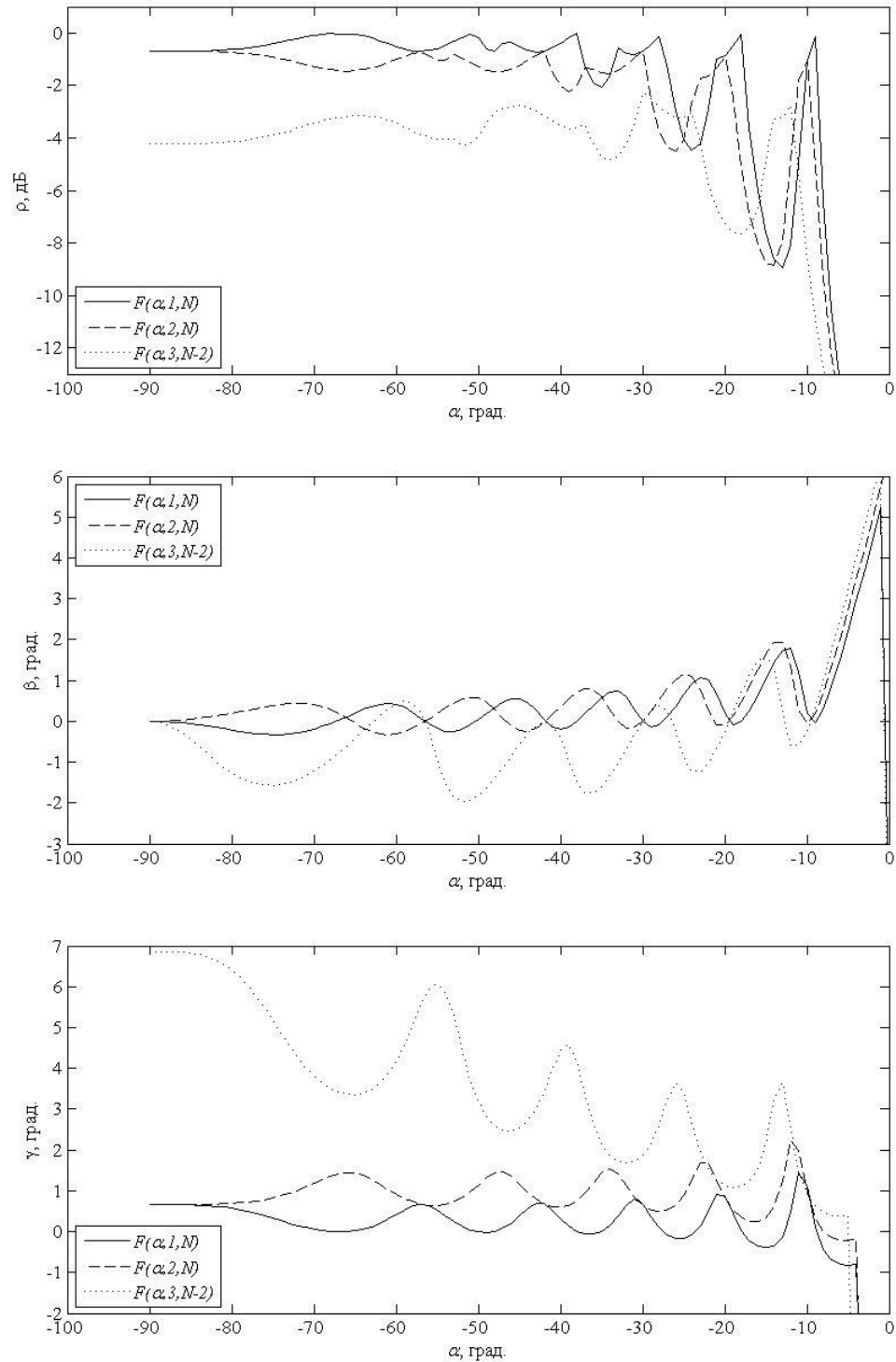
1. $F(\alpha, 1, N-1)$ - $(I_1, \dots, I_{N-1}, \eta(1, N-1))$,
2. $F(\alpha, 2, N)$ - $(0, I_2, \dots, I_{N-1}, I_N + \eta(2, N))$,
3. $F(\alpha, 3, N-2)$ - $(0, 0, I_3, \dots, I_{N-2}, 0, \eta(3, N-2))$,
4. $F(\alpha, 1, N)$ - $(I_1, \dots, I_{N-1}, I_N + \eta(1, N))$,
5. $F(\alpha, 2, N-1)$ - $(0, I_2, \dots, I_{N-1}, \eta(2, N-1))$,

որտեղ՝ $\eta(m_1, m_2) = -e^{-i\varphi'(\alpha_0)} \cdot F(\alpha_0, m_1, m_2)$:

Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ $F(\alpha, 1, N-1)$ և $F(\alpha, 1, N)$ մասնական դիագրամները տալիս են նույն արդյունքը: Նույնը վերաբերվում է նաև $F(\alpha, 2, N-1)$ և $F(\alpha, 2, N)$ դիագրամներին: Ելնելով արված հաշվարկներից կարելի է պնդել, որ

դեպքերից մեծամասնությունում $F(\alpha, 1, N)$ -ը տալիս է լավագույն արդյունքը: Նկար 4.4-ում բերված են ρ , β և γ չափանիշների համեմատական գրաֆիկները:

Ելնելով զրոյական ուղղության հանդեպ դիագրամի սիմետրիկությունից այստեղ և հետագայում բերված կլինեն դիագրամների միայն ձախ մասերը:

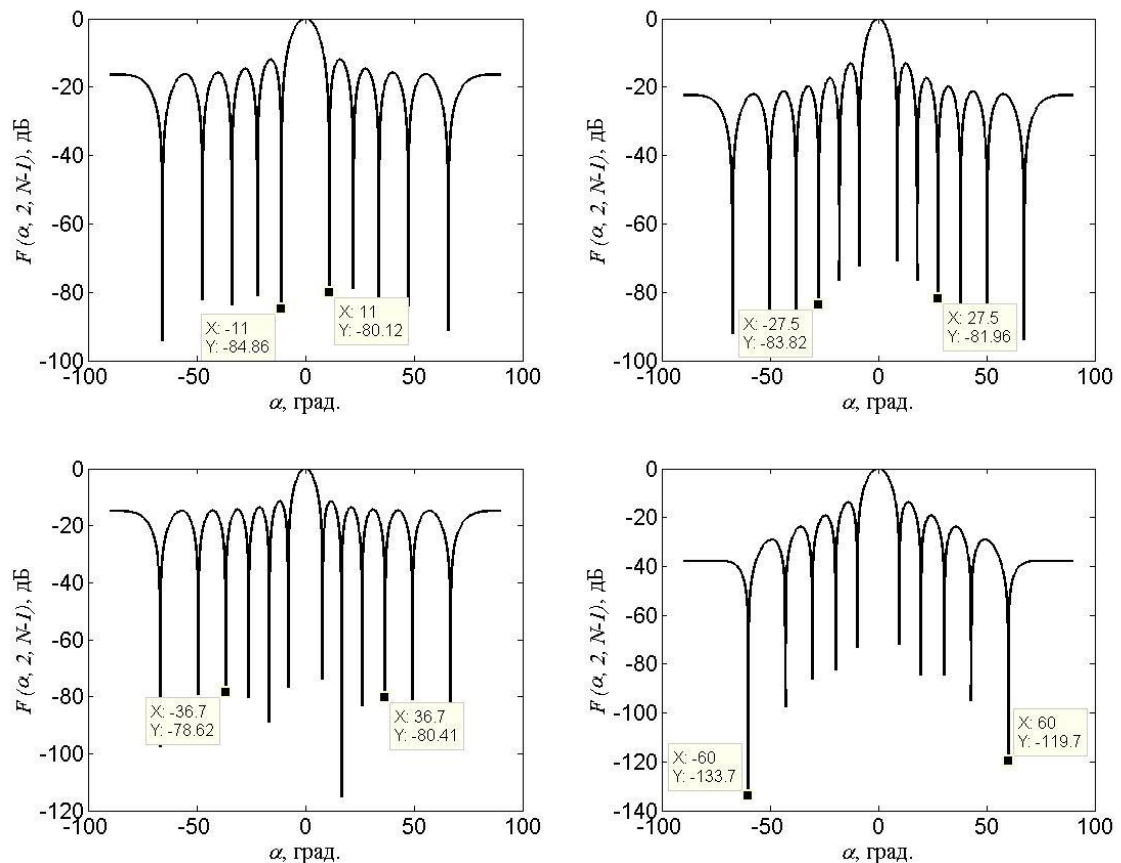


Նկար 4.4. Տարբեր մասնական դիագրամների դեպքում ρ , β և γ չափանիշները՝
մեկ ուղղությամբ զրոյի ձևավորման ժամանակ

4.3.2. Սիմետրիկ ուղղություններով զրոների ձևավորումը

Այստեղ կոդիտարկվի $F(\alpha, 2, N-1)$ դիագրամի ու $g(\alpha, N)$ ֆունկցիայի (4.11) օգտագործմամբ զրոյի ձևավորումը: Փորձերը ցույց են տալիս, որ ընդհանուր դեպքում $F(\alpha, 2, N-1)$ -ը տալիս է լավագույն արդյունքը: (4.9)-ից ու (4.11)-ից ստանում ենք՝

$$F'(\alpha) = F(\alpha, 2, N-1) - \frac{\cos(\varphi'(\alpha))}{\cos(\varphi'(\alpha_0))} \cdot F(\alpha_0, 2, N-1):$$

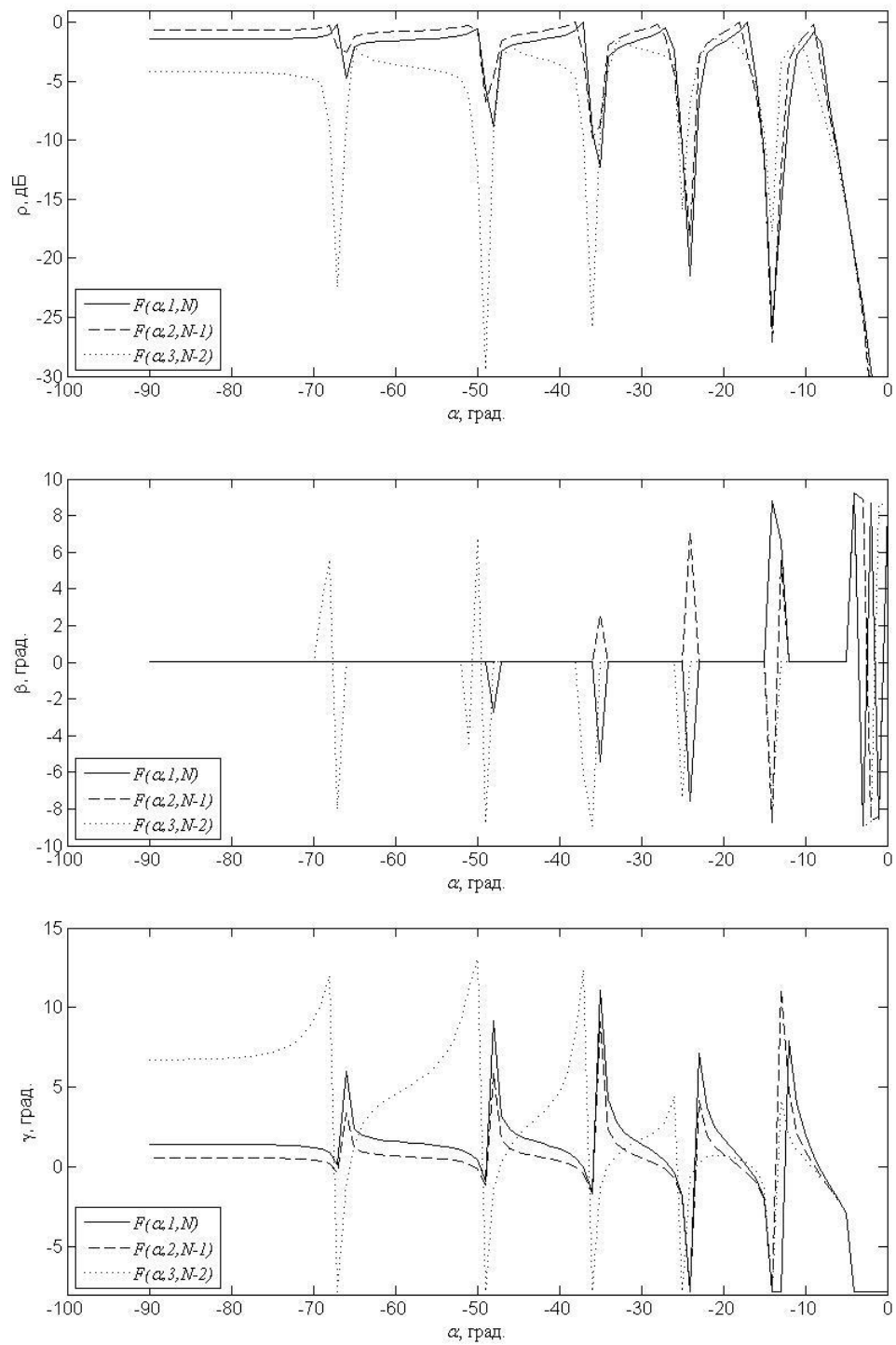


Նկար 4.5. Գծային անտենային ցանցի սիմետրիկ ուղղություններով սինթեզված զրոյով ՈւԴ

Այս դեպքում հոսանքների բաշխումը կլինի - $(I'_1, I'_2, \dots, I'_{N-1}, I'_N)$, որտեղ՝

$$I'_1 = I'_N = -\frac{F(\alpha_0, 2, N-1)}{2 \cos(\varphi'(\alpha_0))}:$$

Տարբեր ուղղությունների համար ստացվող սինթեզվող ուղղվածության դիագրամի գրաֆիկները բերված են նկար 4.5-ում:



Նկար 4.6. Տարբեր մասնական դիագրամների դեպքում ρ , β և γ չափանիշները՝ սիմետրիկ ուղղություններով զրոյի ձևավորման ժամանակ

Դիտարկենք $F(\alpha, 1, N)$, $F(\alpha, 2, N-1)$ և $F(\alpha, 3, N-2)$ մասնական դիագրամները: Բերված մասնական դիագրամների համար ստացվում են հոսանքների հետևյալ բաշխումները՝

1. $F(\alpha, 1, N) - (I_N + \eta(1, N), I_2, \dots, I_{N-1}, I_N + \eta(1, N)),$
2. $F(\alpha, 2, N-1) - (\eta(2, N-1), I_2, \dots, I_{N-1}, \eta(2, N-1)),$
3. $F(\alpha, 3, N-2) - (\eta(3, N-2), 0, I_3, \dots, I_{N-2}, 0, \eta(3, N-2)),$

որտեղ $\eta(m_1, m_2) = -F(\alpha_0, m_1, m_2) / (2 \cos(\phi'(\alpha_0))) :$

Նկար 4.6-ում բերված են տարբեր մասնական դիագրամների համար ρ , β և γ չափանիշների համեմատական գրաֆիկները: Ելնելով արված հաշվարկներից կարելի է պնդել, որ դեպքերից մեծամասնությունում $F(\alpha, 2, N-1)$ -ը տալիս է լավագույն արդյունքը:

4.4. Երկու կարգավորվող գործակցով անկումների ձևավորումը

Երկու կարգավորող գործակցի օգտագործման ժամանակ հնարավոր են երկու տեսակի անկումների ստացում՝ մեկ ուղղությամբ ինտերվալի ճնշում կամ կենտրոնի հանդեպ սիմետրիկ ուղղություններով ինտերվալների ճնշում:

4.4.1. Մեկ ուղղությամբ ինտերվալի ճնշումը

Այստեղ կդիտարկվի $F(\alpha, 1, N)$ մասնական դիագրամի և $g_1(\alpha, N)$ և $g_2(\alpha, N)$ ֆունկցիաների (համապատասխանաբար՝ (4.7) և (4.8)) օգտագործմամբ (α_1, α_2) ինտերվալի ճնշումը: (4.10)-ից, (4.7)-ից ու (4.8)-ից ստացվում է՝

$$F'(\alpha) = F(\alpha, 1, N) - g_1(\alpha, N) \cdot F(\alpha_1, 1, N) - g_2(\alpha, N) \cdot F(\alpha_2, 1, N),$$

որտեղ՝

$$g_1(\alpha, N) = \frac{e^{i\phi'(\alpha_2, \alpha)} - e^{i\phi'(\alpha)}}{e^{i\phi'(\alpha_2, \alpha_1)} - e^{i\phi'(\alpha_1)}},$$

$$g_2(\alpha, N) = \frac{e^{i\phi'(\alpha)} - e^{i\phi'(\alpha_1, \alpha)}}{e^{i\phi'(\alpha_2)} - e^{i\phi'(\alpha_1, \alpha_2)}},$$

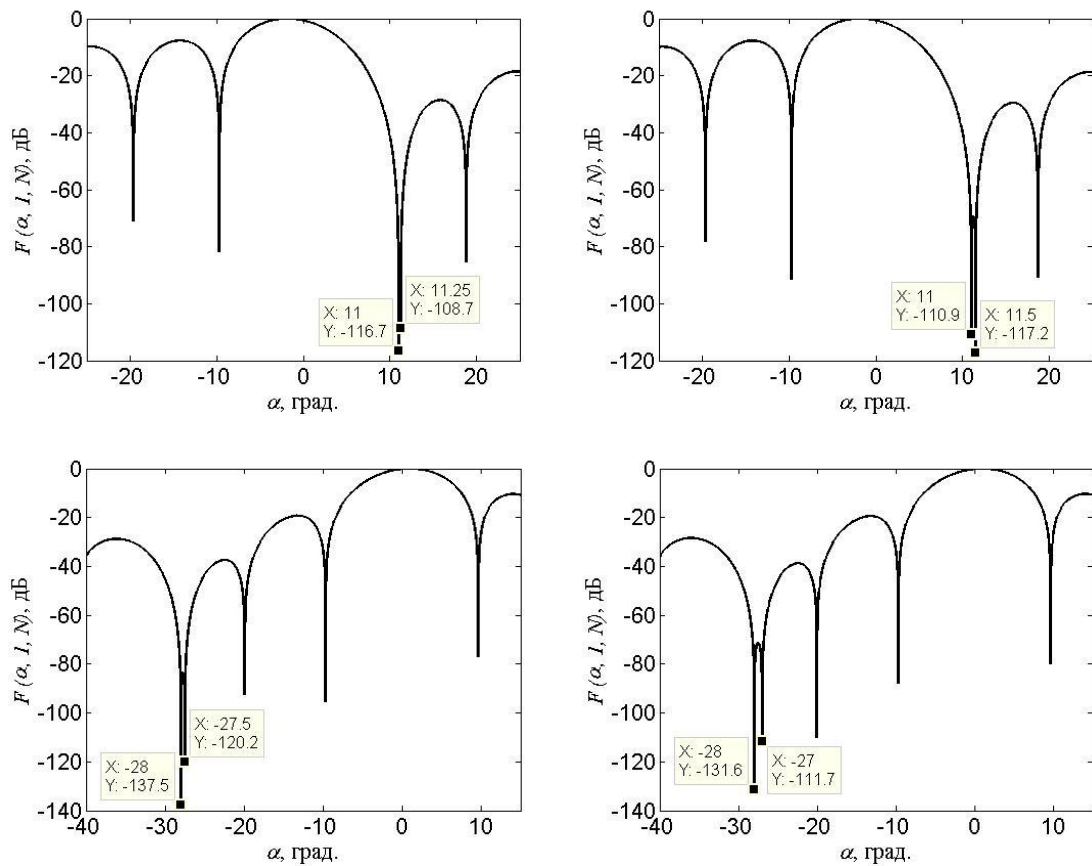
որտեղ $\phi'(\alpha_1, \alpha_2) = kd \cdot (N-1) \cdot (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2 / 2) :$

Այս դեպքում հոսանքների բաշխումը կլինի - $(I'_1, I_2, \dots, I_{N-1}, I'_N)$, որտեղ

$$I'_1 = I_1 + \frac{F(\alpha_2, 1, N) \cdot e^{i2\phi'(\alpha_1)}}{e^{i\phi'(\alpha_2, \alpha_1)} - e^{i\phi'(\alpha_1)}} - \frac{F(\alpha_1, 1, N) \cdot e^{i2\phi'(\alpha_2)}}{e^{i\phi'(\alpha_2)} - e^{i\phi'(\alpha_1, \alpha_2)}},$$

$$I'_N = I_N - \frac{F(\alpha_2, 1, N)}{e^{i\phi'(\alpha_2, \alpha_1)} - e^{i\phi'(\alpha_1)}} + \frac{F(\alpha_1, 1, N)}{e^{i\phi'(\alpha_2)} - e^{i\phi'(\alpha_1, \alpha_2)}} :$$

Տարբեր ուղղությունների համար ստացվող սինթեզվող ուղղվածության դիագրամի գրաֆիկները բերված են նկար 4.7-ում:



Նկար 4.7. Գծային անտենային ցանցի երկու ուղղություններով սինթեզված զրոներով ՈւԴ

Դիտարկենք $F(\alpha, 1, N)$, $F(\alpha, 2, N-2)$ և $F(\alpha, 3, N-2)$ մասնական դիագրամները: Նրանց ρ , β և γ չափանիշների համեմատական գրաֆիկները բերված են

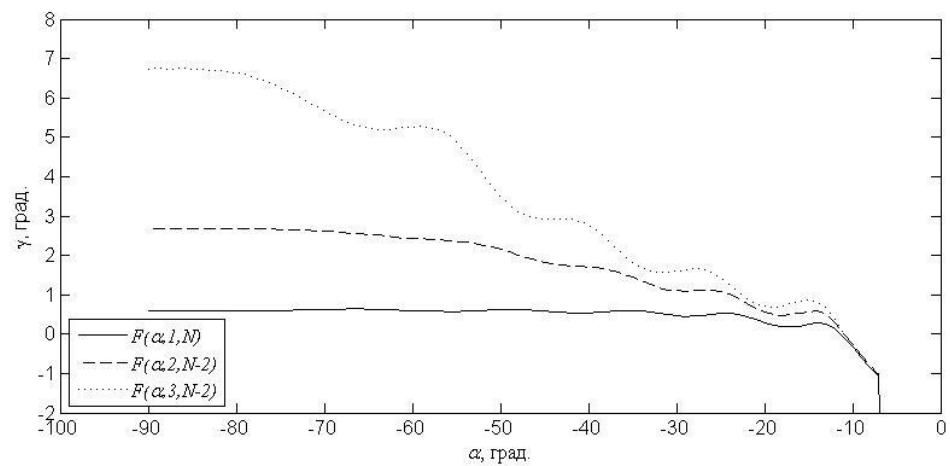
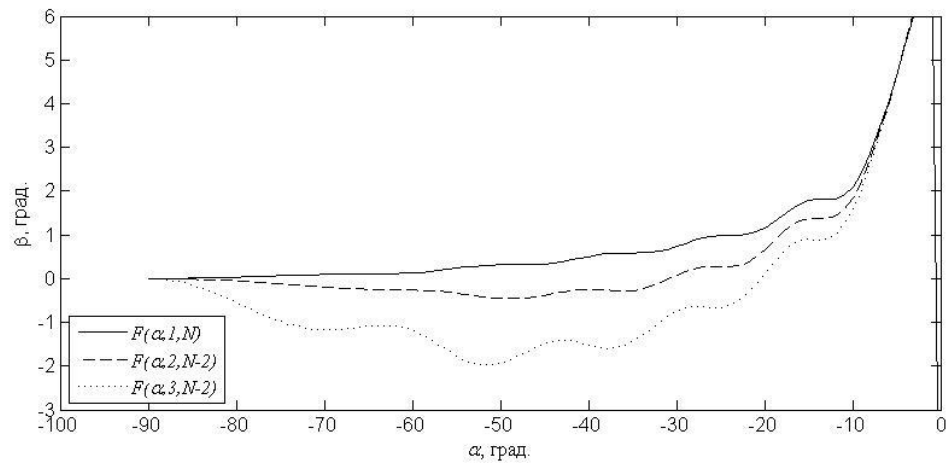
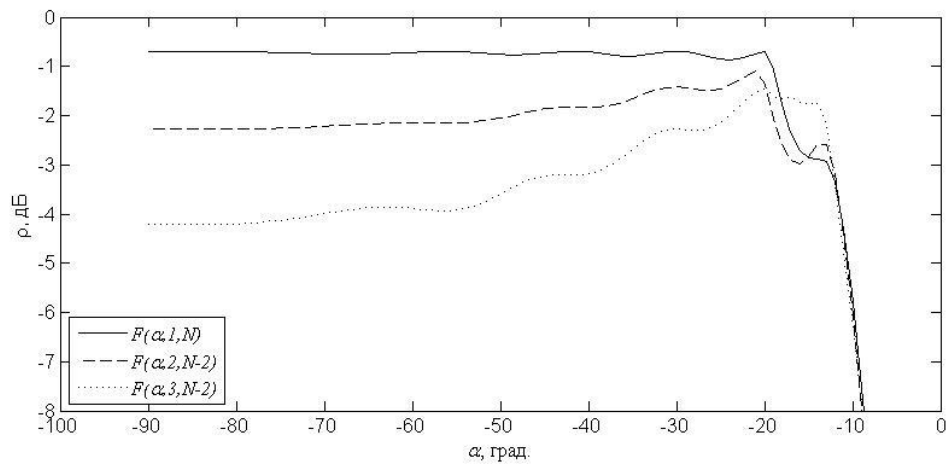
նկար 4.8-ում: Դիագրամների համար ստացվում են հոսանքների հետևյալ բաշխումները՝

1. $F(\alpha, 1, N) - (I_1 + \eta_1(1, N), I_2, \dots, I_{N-1}, I_N + \eta_2(1, N))$,
2. $F(\alpha, 2, N-2) - (\eta_1(2, N-2), I_2, \dots, I_{N-2}, 0, \eta_2(2, N-2))$,
3. $F(\alpha, 3, N-2) - (\eta_1(3, N-2), 0, I_3, \dots, I_{N-2}, 0, \eta_2(3, N-2))$,

որտեղ՝

$$\eta_1(m_1, m_2) = \frac{F(\alpha_2, m_1, m_2) \cdot e^{i2\phi'(\alpha_1)}}{e^{i\phi'(\alpha_2, \alpha_1)} - e^{i\phi'(\alpha_1)}} - \frac{F(\alpha_1, m_1, m_2) \cdot e^{i2\phi'(\alpha_2)}}{e^{i\phi'(\alpha_2)} - e^{i\phi'(\alpha_1, \alpha_2)}},$$

$$\eta_2(m_1, m_2) = \frac{F(\alpha_1, m_1, m_2)}{e^{i\varphi'(\alpha_2)} - e^{i\psi'(\alpha_1, \alpha_2)}} - \frac{F(\alpha_2, m_1, m_2)}{e^{i\psi'(\alpha_2, \alpha_1)} - e^{i\varphi'(\alpha_1)}} :$$



Նկար 4.8. Տարբեր մասնական դիագրամների դեպքում

ρ , β և γ չափանիշները ($\alpha_2 - \alpha_1 = 0.25^\circ$)՝

մեկ ուղղությամբ ինտերվալի ճնշման ժամանակ

4.4.2. Սիմետրիկ ուղղություններով ինտերվալների ճնշումը

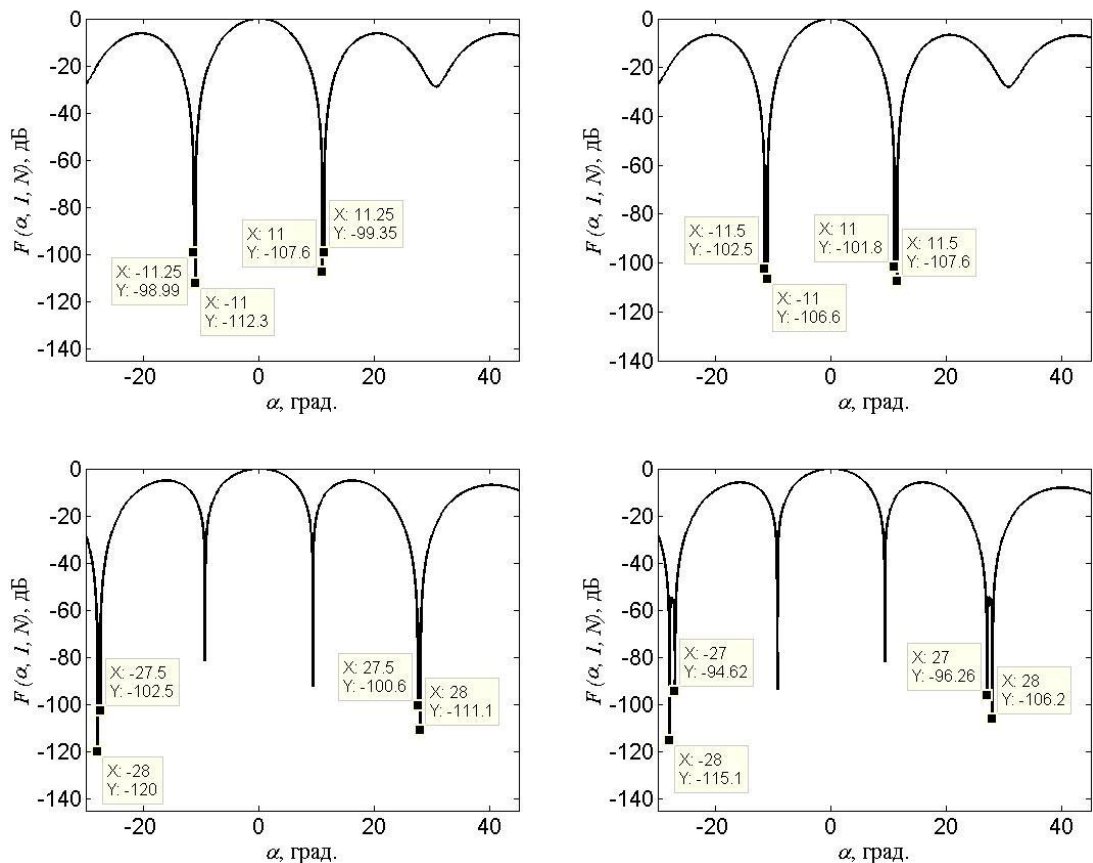
Դիցուք $N = 2M + 1$ և $I_n = I_{N-n+1}$, $n = 1, \dots, M$: $(-\alpha_2, -\alpha_1)$ և (α_1, α_2) սիմետրիկ ինտերվալների ճնշման համար կօգտագործենք $F(\alpha, 1, N)$ մասնական դիագրամը և $g_1(\alpha, N)$ ու $g_2(\alpha, N)$ ֆունկցիաները (համապատասխանաբար՝ (4.13) և (4.14)): (4.10)-ից, (4.13)-ից ու (4.14)-ից կստանանք՝

$$F'(\alpha) = F(\alpha, 1, N) - g_1(\alpha, N) \cdot F(\alpha_1, 1, N) - g_2(\alpha, N) \cdot F(\alpha_2, 1, N),$$

որտեղ՝

$$g_1(\alpha, N) = \frac{\cos(\varphi'(\alpha_2)) - \cos(\varphi'(\alpha))}{\cos(\varphi'(\alpha_2)) - \cos(\varphi'(\alpha_1))},$$

$$g_2(\alpha, N) = \frac{\cos(\varphi'(\alpha)) - \cos(\varphi'(\alpha_1))}{\cos(\varphi'(\alpha_2)) - \cos(\varphi'(\alpha_1))}:$$



Նկար 4.9. Գծային անտենային ցանցի երկու սիմետրիկ ինտերվալների անկումներով սինթեզված զրոյով ՈւԴ

Հոսանքների բաշխումը կլինի - $(I'_1, I_2, \dots, I_M, I'_{M+1}, I_{M+2}, \dots, I_{N-1}, I'_N)$, որտեղ՝

$$I'_{M+1} = I_{M+1} + \frac{F(\alpha_2, 1, N) \cdot \cos(\varphi'(\alpha_1)) - F(\alpha_1, 1, N) \cdot \cos(\varphi'(\alpha_2))}{\cos(\varphi'(\alpha_2)) - \cos(\varphi'(\alpha_1))},$$

$$I'_1 = I'_N = I_N + \frac{F(\alpha_1, 1, N) - F(\alpha_2, 1, N)}{2 \cos(\varphi'(\alpha_2)) - 2 \cos(\varphi'(\alpha_1))}:$$

Սինթեզված ՈւԴ-ի գրաֆիկները, որտեղ ճնշված են սիմետրիկ ինտերվալներ բերված են նկար 4.9-ում:

$F(\alpha, 1, N)$ և $F(\alpha, 3, N-2)$ մասնական դիագրամների դեպքում ρ , β և γ չափանիշների համեմատական գրաֆիկները բերված են

նկար 4.10-ում:

Դիագրամների համար ստացվում են հոսանքների հետևյալ բաշխումները՝

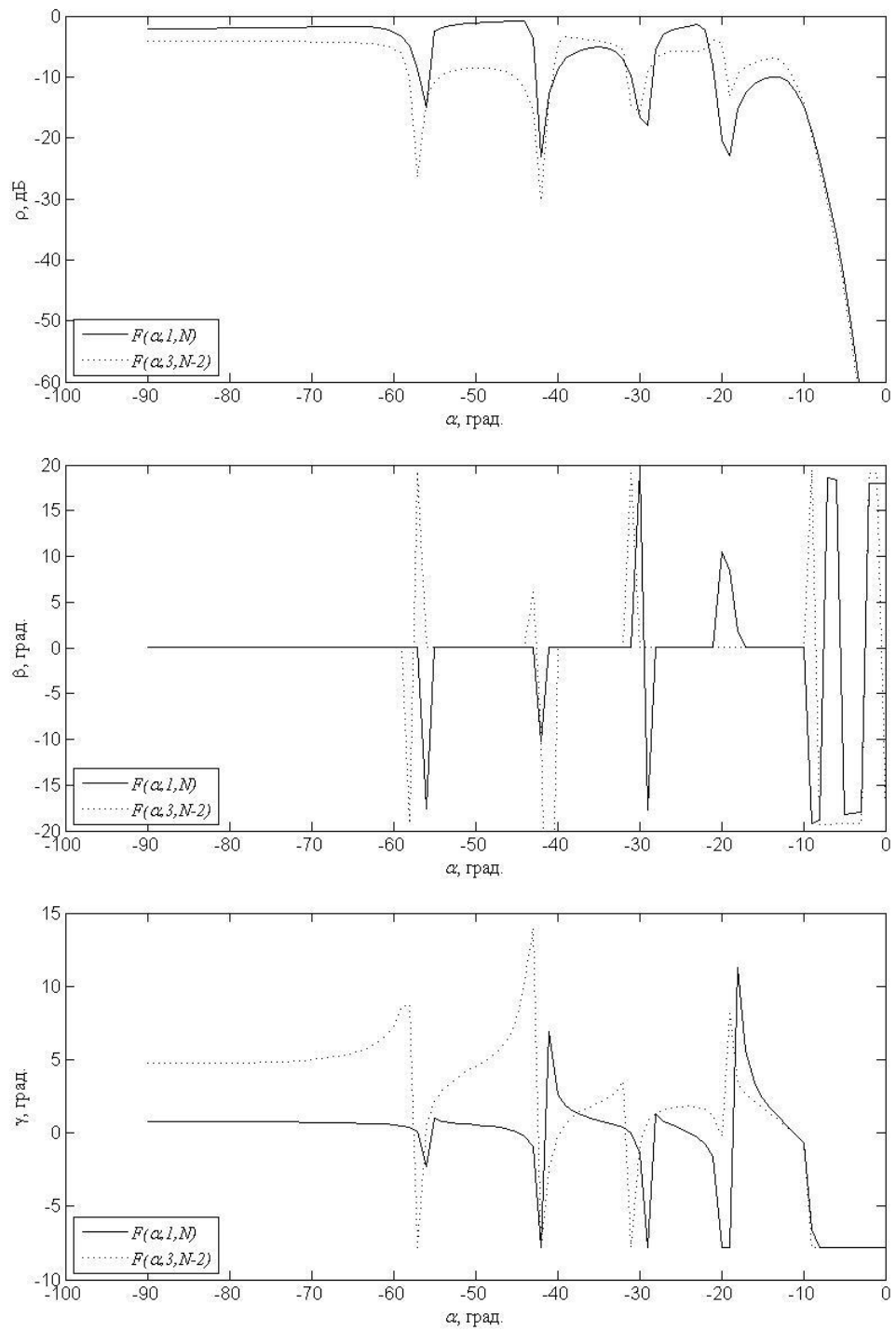
$$1. \quad F(\alpha, 1, N) \quad - \quad (I_N + \eta_2(1, N), I_2, \dots, I_{(N-1)/2}, I_{(N+1)/2} + \eta_1(1, N), I_{(N+3)/2}, \dots, I_{N-1}, I_N + \eta_2(1, N)),$$

$$2. \quad F(\alpha, 3, N-2) \quad - \quad (\eta_2(3, N-2), 0, I_3, \dots, I_{(N-1)/2}, I_{(N+1)/2} + \eta_1(1, N), I_{(N+3)/2}, \dots, I_{N-2}, 0, \eta_2(3, N-2)),$$

որտեղ՝

$$\eta_1(m_1, m_2) = \frac{F(\alpha_2, m_1, m_2) \cdot \cos(\varphi'(\alpha_1)) - F(\alpha_1, m_1, m_2) \cdot \cos(\varphi'(\alpha_2))}{\cos(\varphi'(\alpha_2)) - \cos(\varphi'(\alpha_1))},$$

$$\eta_2(m_1, m_2) = \frac{F(\alpha_1, m_1, m_2) - F(\alpha_2, m_1, m_2)}{2 \cos(\varphi'(\alpha_2)) - 2 \cos(\varphi'(\alpha_1))}:$$



Նկար 4.10. Տարբեր մասնական դիագրամների դեպքում
 ρ , β և γ չափանիշները ($\alpha_2 - \alpha_1 = 0.25^\circ$)՝
 սիմետրիկ ուղղություններով ինտերվալների ճնշման ժամանակ

4.5. Եզրակացություն

Ներկայացված է գծային անտենային ցանցի ուղղվածության դիագրամում զրոների ձևավորման մեթոդ: Մեթոդը օգտագործում է անտենայի մեկ կամ երկու կարգավորվող էլեմենտ: Այն ապահովում է կողային թերթիկների ճնշման բավականաչափ բարձր՝ մինչև -120դԲ մակարդակ: Ցույց է տրված, որ սիմետրիկ տեսքի ուղղվածության դիագրամներում հնարավոր է ճնշվող ուղղությունների կամ ինտերվալների կրկնապատկում: Սա հնարավորություն է ընձեռում ճնշել ռադարային համակարգի վրա գործադրվող ակտիվ խանգարումները՝ փոփոխելով ուղղվածության դիագրամի տեսքը:

ԵԶՐԱՀԱՆԳՈՒՄ

Ատենախոսության մշակման արդյունքում ստացվել են հետևյալ արդյունքները.

- Կատարվել է գոյություն ունեցող ՍԱՌ նմանակիչների համեմատական վերլուծություն, որի արդյունքները ուսումնասիրելով՝ հստակեցվել են այդ համակարգերում բացակայող հնարավորություններն ու թերությունները:
- Մշակվել է ՍԱՌ-ում մշակվող ազդանշանների նմանակչի համապարփակ մաթեմատիկական մոդել, որը գեներացնում է տվյալներ՝ հիմնվելով պարամետրական թիրախների խմբի կամ մուտքային թվային պատկերի վրա:
- Մոդելավորման ընթացքում մշակվել է աղմուկների և խանգարումների հիմնական տեսակների դասակարգման նոր տարբերակ, որը առավել ամբողջական է համապատասխանում ՍԱՌ համակարգերին: Այն օգտագործվել է ՍԱՌ նմանակչի մոդելավորման ժամանակ:
- Մշակվել է մաթեմատիկական մոդելի վրա հիմնված ՍԱՌ նմանակչի ապարատա-ծրագրային համալիր, որը հնարավորություն է տալիս իրական ժամանակում գեներացնել ՍՍՌ ազդանշաններ, անալոգային ու թվային եղանակներով տվյալները փոխանցել մշակման համակարգին կամ պահպանել հիշողությունում՝ հետագայում օգտագործելու նպատակով:
- Կատարվել են փորձնական ՍՄՄ-ի հետ թեստավորումներ, որոնց արդյունքում ստացվել է, որ առանց աղավաղումների ազդանշանի մշակման արդյունքում ձևավորված պատկերը իրականից տարբերում է 1.31%-ով: Աղմուկների առկայության դեպքում տարբերությունը կազմել է 3.12% և 7.89%՝ ազդանշան-աղմուկ հարաբերության համապատասխանաբար 2 և 1 արժեքների դեպքում: Կրողի տատանումների առկայության դեպքում մուտքային պատկերի վերականգնման սահմանային դեպք է ստացվել 50սմ ամպլիտուդով տատանումներով շարժումը, երբ տարբերությունը կազմել է 15.84% և 15.21%՝ կախված տատանումների ուղղությունից:
- Կատարվել է փորձարկում գործող ԱԹՍ-ի վրա տեղակայված իրական ՍԱՌ համակարգի հետ: Իրական ՍԱՌ պատկերի հիման վրա նմանակչով գեներացվել են ազդանշաններ, որոնք այնուհետև մշակվել են գործող ՍՄՄ-ով: Իրական և

նմանակչի ազդանշանի հիման վրա ձևավորված պատկերների տարբերությունը կազմել է 7.04%: Ինչը նշանակում է, որ նմանակչի գեներացված ազդանշանները բավականին մոտ են իրականում ստացված ազդանշաններին: Դրանից հետևում է, որ այն կարող է օգտագործվել մշակման ժամանակ ՍՄՄ-ի աշխատանքը տարբեր իրավիճակներում ստուգելու համար:

- Մշակվել է անտենային ցանցի ուղղվածության դիագրամում անկումների ձևավորման մեթոդների խումբ, որոնք հնարավորություն են ընձեռում ճնշել ռադարային համակարգի դեմ կիրառվող ակտիվ խանգարումները՝ փոփոխելով ուղղվածության դիագրամի տեսքը: Դա հնարավորություն է ընձեռում ապահովել ՍԱԴ համակարգի անխափանությունը խանգարումային պայմաններում:

ԱՌԱՋԱՐԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Առաջարկվում է՝

- Կատարելագործել նմանակիչը՝ ապահովելով շարժվող և եռաչափ պարամետրական թիրախներից անդրադարձերի ստացում,
- Մոդելավորել ՍԱՌ կրողի շարժման իրականին ավելի մոտ տատանումներ,
- Առաջարկել ՀՀ-ում գործող ռադիոտեղորոշման ասպարեզում մշակումներ կատարող ձեռնարկություններին ատենախոսության արդյունքները վերցնել օգտագործման,
- Առաջարկել պատկան մարմիններին ստացված արդյունքները օգտագործել ՌԷՊ համակարգերում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- [1] Cumming I.G., Wong F.H., “Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation. 1st ed”. Norwood: Artech House, 2005.
- [2] Xie H., An D., Huang X., Li X. “Fast factorized backprojection algorithm in elliptical polar coordinate for onestationary bistatic very high freq./ultrahigh freq. ultra WB SAR with arbitrary motion”. IET Radar Sonar Navigation 8, pp. 946-956, 2014.
- [3] Xie H., An D., Huang X., Zhou Z. “Fast time-domain imaging in elliptical polar coordinate for general bistatic VHF/UHF ultra-wideband SAR with arbitrary motion”. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014.
- [4] Franceschetti G., Migliaccio M., Riccio D. “The SAR simulation: an overview”. Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995.
- [5] Xu F, Jin Y-Q. “Imaging simulation of polarimetric SAR for a comprehensive terrain scene using the mapping and projection algorithm”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006.
- [6] Gelautz M, Frick H, Raggam J, Burgstaller J, Leberl F. “SAR image simulation and analysis of alpine terrain”. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998.
- [7] Vachon PW, Raney RK, Emery WJ. "A simulation for spaceborne SAR imagery of a distributed, moving scene". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1989.
- [8] Sheng Y, Alsdorf DE. "Automated georeferencing and orthorectification of amazon basin-wide SAR mosaics using SRTM DEM data". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005.
- [9] Mori A, De Vita F. "A time-domain raw signal simulator for interferometric SAR". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004.
- [10] Franceschetti G, Migliaccio M, Riccio D, Schirinz G: "SARAS: a synthetic aperture radar (SAR) raw signal simulator". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992.
- [11] Vandewal M, Speck R, Süß H. "Efficient SAR raw data generation including low squint angles and platform instabilities". IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2008.

- [12] Qiu X, Hu D, Zhou L, "A bistatic SAR raw data simulator based on inverse ω - k algorithm". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009.
- [13] Wiley C.A. "Synthetic Aperture Radars: A Paradigm for Technology Evolution", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, v. AES-21, n. 3, pp 440–443, May 1985.
- [14] Harger R.O. "Synthetic Aperture Radar Systems, Theory and Design", Academic Press, New York, 1970.
- [15] Benett J.R., Cumming I.G. "A Digital Processor for the Production of SEASAT Synthetic Aperture radar Imagery", ESA-SP-154, 1979.
- [16] Soumekh M. "Synthetic Aperture Radar Signal Processing With MATLAB Algorithms". John Wiley and Sons, 1999.
- [17] Franceschetti G., Iodice A., Riccio D., Ruello G. "A 2-d fourier domain approach for spotlight SAR raw data simulation of extended scenes". IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium and the 24th Canadian Symposium on Remote Sensing, 2002.
- [18] Schlutz M. "Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in Matlab", California Polytechnic State University, 2009.
- [19] Adewoye A. "Synthetic Aperture Radar Simulation for Point and Extended Targets", McMaster University, Canada, 2013.
- [20] Кошевой В. М., Шершнева А. А. "Формирование нулевых уровней боковых лепестков диаграммы направленности линейной антенной решетки с минимальным количеством управляемых весовых коэффициентов". Судовождение. 2015. - Вып. 25. - С. 113-120.
- [21] CUDA Parallel Computing Platform (2011). [Online]. http://www.nvidia.com/object/cuda_home_new.html.
- [22] Deasy Tools (2012). [Online]. <http://www.insys.ru/downloads/dzy/>.
- [23] Тадевосян А.С., Маргарян Д.А., Маркосян М.В. "Один вариант классификации радиолокационных помех и организация их подавления Сообщение 1: Классификация радиолокационных помех и их симуляция". Вестник Инженерной академии Армении, 2013 Т. 10, N4 сс. 732-739.
- [24] Тадевосян А.С., Маргарян Д.А., Маркосян М.В. "Один вариант классификации радиолокационных помех и организация их подавления Сообщение 2: Подавления

- радиолокационных помех". Вестник Инженерной академии Армении, 2014 Т. 11, N2 сс. 334-341.
- [25] Тадевосян А.С., Маркосян М.В. "Имитационная модель эхосигналов для радара с синтезированной апертурой на основе входного изображения", Сборник научных статей, Международный научно-образовательный центр, НАН РА, Зангак, 2015, сс. 175-185.
 - [26] Tadevosyan A.S. "Realtime SAR simulator design". Proceedings of Computer Science and Information Technologies conference, 2015, pp. 312-317.
 - [27] Тадевосян А.С., Саргсян В.Г., Петросян А.И. "Синтез нулей диаграммы направленности линейной антенной решетки", журнал Антенны N1, Радиотехника, Москва, 2017, сс. 3-13.
 - [28] Ramakrishnan S., Demarcus V., Le J.N., "Synthetic Aperture Radar Imaging Using Spectral Estimation Techniques", University of Michigan, 2012.
 - [29] Carrara W.G., Majewski R.M., Goodman R.S. "Spotlight Synthetic Aperture Radar: Signal Processing Algorithms", Artech House, 1995.
 - [30] Chen V.C., Martorella M. "Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging: Principles, Algorithms and Applications", SciTech Publishing, 2014.
 - [31] Ferretti A. "InSAR Principles - Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation", ESA Publications, 2007.
 - [32] Yamaguchi Y., Moriyama T., Ishido M., Yamada H. "Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Year: 2005, Volume: 43, Issue: 8.
 - [33] Fornaro G. "Tomographic Processing of Interferometric SAR Data: Developments, applications, and future research perspectives", IEEE Signal Processing Magazine, Volume: 31, Issue: 4, 2014.
 - [34] Massonnet D., Feigl K. L. "Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface", Rev. Geophys., 36 (4), pp. 441-500, 1998.
 - [35] Burgmann, R.; Rosen P.A., Fielding E.J. "Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation", Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28, pp. 169-209, 2000.
 - [36] Herman G.T. "Fundamentals of computerized tomography: Image reconstruction from projection, 2nd edition", Springer, 2009.

- [37] Тверской Г.Н., Терентьев Г.К., Харченко И.П. Имитаторы эхо-сигналов судовых радиолокационных станций. Л.: Судостроение, 1973.
- [38] Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. "Радиолокационные системы землеобзора космического базирования.", Радиотехника, 2010. с. 675.
- [39] Liu, Q. F., S. Q. Xing, X. S. Wang, and J. Dong, "A stripmap SAR coherent jammer structure utilizing periodic modulation technology," Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 28, 111–128, 2011.
- [40] Dai, D. H., X. F. Wu, X. S. Wang, and S. P. Xiao, "SAR activedecoys jamming based on DRFM," IET International Conference on Radar Systems, 1–4, 2007.
- [41] Антипов В.Н., Горяинов В.Т., Кулин А.В. и др. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны: Радио и Связь, 1988. – 236с.
- [42] SAR Simulation Toolbox (2014). [Online]. <http://www.array.ca/solutions/sar-simulation/>.
- [43] Sarsim Synthetic Aperture Radar Simulator – SDT (2012). [Online]. <http://www.sdt.com.tr/en/products/sarsim-synthetic-aperture-radar-simulator/>.
- [44] Rajula A, "SAR imaging with a hand-held UWB radar system", Blekinge Institute of Technology, Sweden, 2012.
- [45] OpenSource SAR simulator (2012). [Online]. <https://github.com/noobmartin/Open-source-SAR-simulator/>.
- [46] Dirac P. "The Principles of Quantum Mechanics (4th ed.)", Oxford at the Clarendon Press, UK. 1958.
- [47] Arfken G. "Spherical Polar Coordinates". Mathematical Methods for Physicists, 3rd ed. Orlando, FL: Academic Press, pp. 102-111, 1985.
- [48] Stone A.J. "Transformation between cartesian and spherical tensors.", An International Journal at the Interface Between Chemistry and Physics, pp. 1461-1471, 1975.
- [49] Ordnance Survey. "A guide to coordinate systems in Great Britain v2.3". [Online]. <http://www.bnhs.co.uk/focuson/grabagridref/html/OSGB.pdf>.
- [50] van Brummelen G.R. "Heavenly Mathematics: The Forgotten Art of Spherical Trigonometry". Princeton University Press. 2013.
- [51] Rasche K., Geist R., Westall J. "On conversion from color to gray-scale images for face detection", IEEE Computer Graphics and Applications, Volume: 25, Issue: 3, 2005.
- [52] Smith S.W. "13.Convolution". The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal

- Processing (1 ed.). California Technical Publishing, 1997.
- [53] Rabiner L.R., Gold B. Theory and application of digital signal processing. Prentice-Hall, 1975, p. 762.
- [54] von Seggern D. "CRC Standard Curves and Surfaces". Boca Raton, FL: CRC Press, p. 160, 1993.
- [55] Offringa A.R., de Bruyn A.G., Biehl M., Zaroubi S., Bernardi G., Pandey V.N. "Post-correlation radio frequency interference classification methods", Mon Not R Astron Soc, 405 (1): pp. 155-167, Mon Not R Astron Soc 2010; 405 (1): 2010.
- [56] Anastassopoulos V., Lampropoulos G.A. "High resolution radar clutter classification", Radar Conference, Record of the IEEE 1995 International, 1995.
- [57] Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология М.: Логос, 2001, с. 408.
- [58] Diebold F.X. "Elements of Forecasting 2nd Edition", Cengage Learning, 2000.
- [59] Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами М.: Радио и Связь, 1985. -384с..
- [60] Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации М.: Советское Радио, 1970. - 560с.
- [61] Price A. "The history of US electronic warfare", Association of Old Crows, 1984.
- [62] Rosen S.P. "Winning the Next War: Innovation and the Modern Military", Cornell University Press, 1994.
- [63] Крайзмер Л.П. Словарь радиолюбителя Издание 3 М.,П.: Энергия, 1966. -740с.
- [64] Bassem R. Mahafaza Radar Signal Analysis and Processing Using MATLAB: Chapman and Hall/CRC, 2009. p. 504.
- [65] Burroughs H.E., Hansen S. "Managing Indoor Air Quality". Fairmont Press. pp. 149–151, 2011.
- [66] Patel J.K., Read C.B. "Handbook of the Normal Distribution, Second Edition", CRC Press, 1996.
- [67] GeForce GTX 1080 Graphics Cards (2015). [Online]. <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/products/10series/geforce-gtx-1080/>.
- [68] Мезонинный модуль АЦП/ЦАП FM216x250MDA (2012). [Online]. <http://www.insys.ru/mezzanine/fm216x250mda>.

- [69] Qt cross-platform software development for embedded & desktop (2016). [Online]. <https://www.qt.io/>.
- [70] Stimson G.W., "Introduction to airborne radar, 2nd edition", SciTech Publishing, 1998.
- [71] Antipov V.N., Goryainov V.T., Kulin A.N. "Radio Location Stations with Digital Antenna Aperture Synthesizing". Radio and svyaz, 1988, p.236.
- [72] Brown W.M., Porcello L.J. "An introduction to synthetic-aperture radar", IEEE Spectrum, Volume: 6, Issue: 9, 1969.
- [73] Franceschetti G., Lanari R. "Synthetic Aperture Radar Processing", CRC Press, 1999.
- [74] Fienup J.R. "Synthetic-aperture radar autofocus by maximizing sharpness", Optical Society of America, 2000.
- [75] Li F.K., Johnson W.T.K. "Ambiguities in Spaceborne Synthetic Aperture Radar Systems", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. AES-19, no. 3, 1983.
- [76] General Atomics Aeronautical Systems, Inc. (2015), [Online]. <http://www.ga-asi.com/>.
- [77] Lynx Multi-mode Radar (2015), [Online]. <http://www.ga-asi.com/lynx-multi-mode-radar/>.
- [78] Resemble.js: Image analyzing and comparing tool (2016). [Online]. <https://github.com/Huddle/Resemble.js/>.
- [79] Milligan T.A. "Modern Antenna Design, 2nd Ed". John Wiley & Sons, 2005.
- [80] Google Maps (2005). [Online]. <https://maps.google.com/>.
- [81] Here Maps (2016). [Online]. <https://wego.here.com>.
- [82] Shenghua Z, Dazhuan X., Xueming J., Hua H. "A study on active jamming to synthetic aperture radar", Computational Electromagnetics and Its Applications, 2004. Proceedings. ICCEA 2004. 2004 3rd International Conference on, pp. 403 - 406, 2004.
- [83] Вакин С.А., Шустов Л.Н. "Основы радиоэлектронной борьбы." – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1998.
- [84] Вендик О. Г., Парнес М. Д. Антенны с электрическим сканированием (введение в теорию), под ред. Л. Д. Бахраха. 2001. 250 с.
- [85] Balanis C.A., "Antenna Theory Analysis and Design". John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 2005.
- [86] Ibrahim H.M. "Null steering by real-weight control—a method of decoupling the

- weights," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 39, no. 11, pp. 1648–1650, 1991.
- [87] Khodier M.M., Christodoulou C.G. "Linear array geometry synthesis with minimum sidelobe level and null control using particle swarm optimization," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 8, pp. 2674–2679, 2005.
- [88] Baird C., G. Rassweiler G. "Adaptive sidelobe nulling using digitally controlled phase-shifters". IEEE Transactions on Antennas and Propagation. vol. 24, issue: 5, 1976.
- [89] Guney K., Babayigit B., Akdagli A. "Interference suppression of linear antenna arrays by phase-only control using a clonal selection algorithm," Journal of the Franklin Institute, vol. 345, no. 3, pp. 254–266, 2008.
- [90] Ширман В. Д., Манжос В. М. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М: Радио и связь, 1981. – 416 с.
- [91] Тарасов А. А., Федосеева Е. В. Анализ возможности применения оконных функций для получения диаграммы направленности антенной решетки специальной формы. Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2013. – № 2. – С. 9-12.
- [92] Oppenheim A.V., Ronald W.S., John R.B. "Discrete-Time Signal Processing". Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999, p. 468.
- [93] Зелкин Е. Г., Кравченко В. Ф. Синтез антенн на основе атомарных функций: Современные методы аппроксимации в теории антенн. М: Радиотехника, 2003. Т. 2. – 72 с.
- [94] Кошевой В. М., Шершнева А. А. Формирование нулевых уровней боковых лепестков диаграммы направленности линейной антенной решетки с минимальным количеством управляемых весовых коэффициентов. Судовождение. 2015. Вып. 25. сс. 113-120.
- [95] Garmash V.N., Absaliarov N.S. "The method of partial diagrams in nonlinear problems of antenna-array synthesis", Radiotekhnika, 1990.

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1. ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐ

- ԱԹՁ – անալոգա-թվային ձևափոխիչ
- ԱԹՍ – անօդաչու թռչող սարք
- ԹԱՁ – թվա-անալոգային ձևափոխիչ
- ԻԿԻ – իմպուլսի կրկնման ինտերվալ
- ՌԷՃ – ռադիոէլեկտրոնային ճնշում
- ՌԷՊ – ռադիոէլեկտրոնային պայքար
- ՍԱՌ – սինթետիկ ապերտուրով ռադար
- ՍՄՄ – ՍԱՌ մշակման մոդուլ
- ՑԱՄ – ցրման արդյունավետ մակերես
- ՈւԴ – ուղղվածության դիագրամ
- ՖԱՁ – Ֆուրյեի արագ ձևափոխություն

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2. ՏԵՐՄԻՆՆԵՐԻ ԲԱՌԱՐԱՆ

Հայերեն	English	Russian
ազդանշան-աղմուկ հարաբերություն (ԱԱՀ)	signal-noise ratio (SNR)	отношение сигнал/шум (ОСШ)
ալիքային թիվ	wavenumber	волновое число
անդրադարձ	echo	отражение
անդրադարձային ազդանշան	echosignal	эхосигнал
անտենային ցանց	antenna array	антенная решётка
բնութագիր	characteristics	характеристика
գծային հաճախականային մոդուլացում (ԳՀՄ)	linear frequency modulation (LFM)	линейная частотная модуляция (ЛЧМ)
դիսկրետ	sample	отсчет, дискрет
դիսկրետացման հաճախություն	sampling frequency	частота дискретизации
դոպլերյան շեղում	doppler shift	доплеровское смещение
զոնդավորող	probing	зондирующий
զրոների սինթեզ	zero synthesis	синтез нулей
ըստ անկյան թույլտվություն	azimuth resolution	разрешение по углу
ըստ հեռավորության թույլտվություն	range resolution	разрешение по дальности
թիրախ	target	цель
թույլտվություն	resolution	разрешение
իմպուլս	pulse	импульс
իմպուլսների կրկնման ինտերվալ (ԻԿԻ)	pulse repetition interval (PRI)	интервал повторения импульсов
իմպուլսների կրկնման հաճախություն	pulse-repetition frequency (PRF)	частота повторения импульсов
ինքնակիզակետում	autofocus	автофокусирование
խանգարում	jammer	помеха
կարգաբերել	debug	отлаживать
կիզակետում	focus	фокусирование
կողային թերթիկ	sidelobe	основной лепесток
հակադարձ Ֆուրյեի արագ ձևափոխություն (ՀՖԱՁ)	inverse fast Fourier transform (IFFT)	обратное быстрое преобразование Фурье (ОБПФ)
հաղորդիչ	transmitter	передатчик
համափուլ	in-phase	синфазный
հեռազննում	remote sensing	дистанционное зондирование

հիմնական թերթիկ	mainlobe	боковой лепесток
ձևավորում	formation	формирование
ճառագայթի լայնություն	beam width	ширина луча
ճառագայթիչ	radiator	излучатель
մասնական դիագրամ	partial diagram	парциальная диаграмма
միավոր ֆունկցիա	delta function	дельта функция
մշակում	development, processing	разработка, обработка
նմանակիչ	simulator	имитатор
նույնական	identical	идентичный
շերտի լայնություն	bandwidth	ширина полосы
ուժեղացում	gain	усиление
ուղեգծում	tracing	трассировка
ուղղահայաց	vertical	вертикальный
ուղղվածության դիագրամ	radiation pattern	диаграмма направленности
չափանիշ	criterion	критерий
չկիզակետված	unfocused	несфокусированный
չմշակված տվյալներ	raw data	необработанные данные
պատկեր	image	изображение
ռադիոակտիվ տրոհում	radioactive decay	радиоактивный распад
ռադիոէլեկտրոնային ճնշում (ՌԷՃ)	electronic countermeasure (ECM)	радиоэлектронное подавление (РЭП)
ռադիոէլեկտրոնային պայքար (ՌԷՊ)	electronic warfare (EW)	радиоэлектронная борьба (РЭБ)
ռադիոէլեկտրոնային պաշտպանություն	electronic counter-countermeasures (ECCM)	радиоэлектронная защита
ռադիոտեղորոշում	radiolocation	радиолокация
ՍԱՌ կրող	SAR vehicle, platform	носитель PCA
սինթետիկ ապերտուրով ռադար (ՍԱՌ)	synthetic aperture radar (SAR)	радиолокатор с синтезированной апертурой (PCA)
ցրման արդյունավետ մակերես (ՑԱՄ)	radar cross-section (RCS)	эффективная площадь рассеяния (ЭПР)
ցրման կենտրոն	scattering center	центр рассеяния
փաթույթ	convolution	свертка
փուլ	phase	фаза
փուլային շեղում	phase shift	сдвиг фазы
փուլային ուղղում	phase correction	поправка фазы
փուլային սխալանք	phase error	фазовая ошибка
Ֆուրյեի արագ ձևափոխություն (ՖԱՁ)	fast Fourier transform (FFT)	быстрое преобразование Фурье (ОПФ)