

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԳՈՒՐԳԵՆ ՀՈՎՀԱՆՆԵՍԻ ՀԱԿՈՐՅԱՆ

**ԹՎԱՅՆԱՑՎԱԾ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՍՏԵՂԾՈՒՄԸ ՃԱՆԱՊԱՐՀԱՅԻՆ ԾԱԾԿՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ե. 13.02 «Ավտոմատացման համակարգեր» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ., պրոֆեսոր

Դ.Գ. ԱՍԱՏՐՅԱՆ

ԵՐԵՎԱՆ 2016

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Ներածություն	4
Գլուխ 1. Խնդրի արդի վիճակը	
1.1 Ճանապարհային ծածկույթներում հանդիպող	8
արատների տեսակները	8
1.2 Ճանապարհային ծածկույթի որակի գնահատման եղանակները.....	12
1.3 Ճանապարհային ծածկույթի հսկման և կառավարման համակարգերին	14
ներկայացվող պահանջները	14
1.4 Տվյալների հավաքագրման ավտոմատացված համակարգեր.....	15
1.5 Պատկերների մշակման վրա հիմնված ՃԾ որակի	23
գնահատման մեթոդների վերլուծություն	23
Գլուխ 2. ՃԾ արատների բնութագրերի հետազոտման	30
մեթոդներ և մաթեմատիկական մոդելներ	30
2.1 Պատկերի կառուցվածքային վերլուծություն.....	31
2.2 Պատկերի հիերարխիկ կոհերենտ հատվածավորման մեթոդ	42
2.3 Բինարացման մեթոդներ	46
2.4 Պատկերի գրադիենտային դաշտի վերլուծություն	52
Գլուխ 3. ՃԾ մակերևույթի որակի գնահատման	55
ընթացակարգը	55
3.1 ՃԾ մակերևույթի որակի գնահատման չափանիշը և մեթոդը	56
3.2 Հատվածների դասակարգման շեմի որոշման ալգորիթմը	63
Գլուխ 4. Ավտոմատացված համակարգի և շարժական մոդելի մշակումը	68
4.1 Ավտոմատացված համակարգը	68
4.2 Ավտոմատացված համակարգի շարժական մոդելը	73
4.3 Արդյունքների արտապատկերման ծրագիրը.....	83
Գլուխ 5. Ավտոմատացված համակարգի կիրառական և	90
փորձարարական արդյունքները	90
5.1 Տեսապատկերների դասակարգումը ըստ ճեղքերի առկայության	91

5.2 ՃԾ հատվածի որակի գնահատումը	93
5.3 Տեսանկարահանման տվյալների մշակման արդյունքները	96
ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ.....	99
ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԹԵՄԱՅՈՎ ՏՊԱԳՐՎԱԾ ՀՈԴՎԱԾՆԵՐԻ ՑԱՆԿ	100
ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ	101
ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐԻ ՑԱՆԿ.....	109
ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ	112

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ատենախոսությունը նվիրված է թվայնացված պատկերների մշակման մեթոդների կիրառմամբ ավտոմատացված համակարգի ստեղծմանը, որը հնարավորություն է տալիս իրական ժամանակում նկարահանումների միջոցով հայտնաբերել ճանապարհային ծածկույթի (ՃԾ) արատները, գնահատել դրանց պարամետրերը և ՃԾ ընդհանուր որակը:

Ատենախոսության արդիականությունը: Ճանապարհաշինության ասպարեզում ճանապարհային ծածկույթների որակի գնահատումը անհրաժեշտ գործողություն է, որն իրականացվում է համապատասխան մասնագետների կողմից, ավտոճանապարհների որակը, ինչպես նաև անվտանգությունն ապահովելու նպատակով: Ճանապարհային ցանցի կառավարման համար անհրաժեշտ է ունենալ արատների վերաբերյալ ճշգրիտ, գործուն և թարմացված ինֆորմացիա, որպեսզի արդյունավետորեն իրականացվեն անհրաժեշտ աշխատանքները և դրանց պլանավորման գործընթացները: ՃԾ վիճակի մասին տվյալների պարբերական հավաքագրումը թույլ է տալիս ժամանակին իրականացնել կանխարգելիչ և վերականգնողական աշխատանքներ, ինչպես նաև ՃԾ որակի հետագա ապահովման համար մշակել ռազմավարություն [1, 2]:

ՃԾ որակի անկումը բնութագրվում է տարբեր գործոններով, օրինակ՝ համապատասխան նորմերից շեղում, բազմապիսի արատների առկայություն (ճեղքեր, փոսեր, անհարթություններ և այլն), որոնք անխուսափելիորեն ի հայտ են գալիս ճանապարհների շահագործման ընթացքում: Կախված ճանապարհի տեսակից և հետազոտվող մակերևույթի որակի մակարդակից, կիրառվում են տարբեր մոտեցումներ՝ սկսած մարդու տեսողական համակարգի (ՄՏՀ) օգնությամբ վերլուծությունից և տվյալների ձեռքով մշակումից, մինչև համապատասխան տվիչներով և սարքավորումներով համալրված ավտոմատացված համակարգերի օգտագործում:

Որակի գնահատման ընթացքում անհրաժեշտ է իրականացնել բավարար քանակությամբ և որակի տվյալների հավաքագրում: Ուլտրաձայնային, ինֆրակարմիր, լազերային տվիչների և արագագործ քոմպյութերային համակարգերի կիրառությունները կարևոր դեր են խաղում ՃԾ վիճակը բնութագրող մեծ ծավալներով

տվյալների հավաքագրումն արդյունավետ իրականացնելու համար [2, 3]: Սակայն, ամենաէժան, ամենաքիչ աշխատատար և մատչելի մեթոդը տեսանկարահանման միջոցով իրականացվող հավաքագրումն է [4], որին հաջորդում են ստացված տվյալների համապատասխան վերլուծություններ՝ կիրառելով թվային պատկերների մշակման ժամանակակից ալգորիթմներ: Տվյալների ավտոմատացված հավաքագրումը և մշակումը հնարավորություն են տալիս խնայել ժամանակ, ֆինանսներ, ինչպես նաև ստանալ ավելի օբյեկտիվ արդյունքներ և հավաքագրումն իրականացնել ավելի անվտանգ պայմաններում [5]:

Հայաստանի Հանրապետության համար նույնպես կարևոր նշանակություն ունի ՃԾ որակի գնահատումը, որի ճանապարհային ցանցի երկարությունը կազմում է 7568 կմ, ինչը ներառում է 1803 կմ միջպետական, 1964 կմ հանրապետական և 3801 կմ տեղական նշանակության ճանապարհներ [6]: Ըստ վիճակագրական տվյալների [7], միջպետական ճանապարհների մոտ երկու երրորդը լավ կամ բավարար վիճակում է, իսկ տեղական ճանապարհների մոտ 60%-ն ունի վերանորոգման կարիք: Կան բազմաթիվ պատճառներ (այդ թվում ֆինանսական), թե ինչու ճանապարհային ցանցի բազմաթիվ հատվածներ գտնվում են վատ վիճակում, որոնց մեջ կարելի է ընդգծել ճանապարհների պահպանման համար վերականգնողական աշխատանքների ուշացումը, ինչը բացատրվում է ՃԾ որակի պարբերական ստուգումների և որակի գնահատման աշխատանքների ցածր ակտիվությամբ: Ավտոմատացված համակարգի կիրառումը թույլ կտա հեշտացնել որակի գնահատման ընթացակարգերը, ինչը կօգնի արագացնել ՃԾ որակի վերականգնողական, ինչպես նաև կանխարգելիչ գործողությունների իրականացումը:

Գիտական գրականության մեջ նկարագրված ՃԾ որակի գնահատման համար օգտագործվող պատկերների ավտոմատացված մշակման մեթոդներն ունեն լրկալ նշանակություն և դրանց կիրառման համար լրացուցիչ հետազոտություններ են հարկավոր: Մինչդեռ, պատկերների թվային մշակման բնագավառում հայտնի են մի շարք մեթոդներ, որոնց օգտագործումը կարող է էապես բարձրացնել ՃԾ մակերևույթի մշակման և որակի գնահատման արդյունավետությունը: Բացի դրանից, գոյություն ունեցող ավտոմատացված համակարգերում կիրառվող գիտական մոտեցումներն ու

մաթեմատիկական մեթոդներն անհասանելի են գիտական հանրությանը, քանի որ ունեն կոմերցիոն բնույթ և, որպես կանոն, չեն հրապարակվում [8] :

Այսպիսով, պատկերների թվային մշակման ժամանակակից մեթոդների կիրառմամբ ՃԾ մակերևույթի որակի վերլուծության և գնահատման ավտոմատացված համակարգի ստեղծման խնդիրը պահանջված է և արդիական:

Ատենախոսության նպատակն է մշակել ճանապարհային ծածկույթի որակի վերլուծության և գնահատման ավտոմատացված համակարգ՝ հիմնված քոմփյուտերային տեսողության և թվային պատկերների մշակման ժամանակակից մեթոդների օգտագործման վրա:

Նշված նպատակին հասնելու համար ատենախոսության մեջ լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

1. Մշակել ՃԾ արատների հայտնաբերման և դրանց պարամետրերի որոշման ալգորիթմներ և ծրագրային միջոցներ, օգտագործելով քոմփյուտերային տեսողության և պատկերների մշակման ժամանակակից մեթոդներ:
2. Ստեղծել ՃԾ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգ՝ տվյալների ստացման, նախնական մշակման, պահպանման, արդյունքների արտածման և ցուցադրման համար:
3. Ստեղծել ավտոմատացված համակարգի գործող շարժական մոդել՝ մշակված մեթոդները փորձարկելու և online ռեժիմում արդյունքները ցուցադրելու համար:

Գիտական նորույթը:

1. Մշակվել է ՃԾ մակերևույթի որակի ավտոմատացված գնահատման մեթոդաբանություն՝ հիմնված ՃԾ մակերևույթի պատկերների կառուցվածքային վերլուծության վրա:
2. Կատարելագործվել են պատկերի կառուցվածքային վերլուծության մի շարք ալգորիթմների և ընթացակարգերի կիրառման մոտեցումներ, որոնք օգտագործվում են ՃԾ որակի գնահատման խնդրում:
3. Մշակվել է ՃԾ-ի տեսապատկերների կադրերի՝ ըստ որակի ավտոմատացված վերլուծության և դասակարգման մեթոդ:

4. Առաջարկվել է ՃԾ-ի որակի գնահատման ինժեներական չափանիշ և համապատասխան էմպիրիկ բանաձև:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը

1. Ստեղծվել է որակի վերլուծության և գնահատման ավտոմատացված համակարգ, որը կիրառելի է ՃԾ որակի հսկման ինչպես offline, այնպես էլ online ռեժիմներում:
2. Ստեղծվել է ՃԾ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգի գործող շարժական մոդել՝ ռոբոտի և սմարթֆոնի կիրառմամբ:
3. Մշակվել են ՃԾ որակի գնահատման մոտեցում և տեխնիկական լուծում, որոնք թույլ են տալիս որոշել ծածկույթի համապատասխանեցումը սահմանված նորմերին:

Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները:

1. ՃԾ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգը և այն ներկայացնող գործող շարժական մոդելը:
2. ՃԾ որակի գնահատման խնդրում թվայնացված պատկերների կառուցվածքային վերլուծության համակցված մեթոդները:
3. Ըստ որակի ՃԾ պատկերների ավտոմատացված վերլուծության և դասակարգման ընթացակարգը:

Աշխատանքի ապրոբացիա: Աշխատանքի հիմնական տեսական և գործնական արդյունքները զեկուցվել են՝

- Հայաստանի Ազգային Պոլիտեխնիկական Համալսարանի «Տեղեկատվական Տեխնոլոգիաներ և Ավտոմատացում» ամբիոնի գիտական սեմինարներում (2015-2016թ.),
- Հայ-Ռուսական (Սլավոնական) Համալսարանի Տասներորդ տարեկան գիտակաժողովում (2015թ.):

Տպագրություններ: Ատենախոսության հիմնական դրույթները, տեսական և գործնական արդյունքները ներկայացված են երեք գիտական հոդվածներում:

Արդյունքների ներդրումը: Մշակված ավտոմատացված համակարգը ներդրվել է «Վայքի ՃՇՇ» ՓԲԸ-ում:

ԳԼՈՒԽ ԱՌԱՋԻՆ

ԽՆԴՐԻ ԱՐԴԻ ՎԻՃԱԿԸ

Ճանապարհային ծածկույթների որակի գնահատման խնդիրը հանգամանորեն ներկայացված է գիտական գրականության մեջ: Ինչպես նշվել է ատենախոսության ներածությունում, հայտնի է այդ խնդրի լուծման հիմնական ճանապարհը, այն է՝ կատարել ՃԾ մակերևույթի տեսանկարահանումներ և դրանք մշակել քոմպյուտերային և մաթեմատիկական մեթոդների օգնությամբ: Ոստի հասանելի գրականության վերլուծությունը անհրաժեշտ է կատարել ըստ խնդրի տարբեր բաղադրիչների, որոնք ներառում են ինֆորմացիայի ստացման համար կիրառվող տեխնիկական միջոցներ, ստացված ինֆորմացիայի մշակման ալգորիթմներ, որակի գնահատման, հսկման և կառավարման մեթոդներ:

1.1 Ճանապարհային ծածկույթներում հանդիպող արատների տեսակները

ՃԾ-ներում արատները կարող են ի հայտ գալ բազմաթիվ արտաքին գործոնների ազդեցության արդյունքում: Ժամանակի ընթացքում օդի, ջրի, այլ հեղուկների և արևի ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների ազդեցությամբ տեղի է ունենում ծածկույթի կապակցող նյութերի օքսիդացում և առաջանում են արատներ: Արատների առաջացման պատճառ կարող են հանդիսանալ նաև ճանապարհների շահագործման ընթացքում ճանապարհատրանսպորտային միջոցների պարբերական ներգործությունը, վթարները, ծածկույթի հնեցումը, իսկ ծածկույթի նյութերի ոչ ճիշտ օգտագործումը կարող է բերել վաղաժամ դեֆորմացիաների և քայքայումների: Հետևաբար արատների տեսակները բազմազան են, և տարբեր են դրանց ազդեցությունները ՃԾ-ի որակի գնահատման տեսանկյունից:

Ստորև բերված են արատների հիմնական տեսակներն ըստ ԱՄՆ տրանսպորտային վարչության հրատարակած արատների հայտնաբերման ձեռնարկի [9], իսկ դրանց տեսքերը պատկերված են Նկ. 1.1-ում:



ա



բ



գ



դ



ե



զ



է



ը



թ

Նկ. 1.1 ՃԾ արատներ, դեֆորմացիաներ և շեղումներ.

ա) ակոս , բ) բլրակ , գ) հոսք, դ) հղկվածք, ե) քերծվածք, զ) մակարդակների փարբերություն, է) ջրի հոսք և ներծծում, ը) նորոգում, թ) խանդակ:

Մակերեսի դեֆորմացիաներ

- ակոսներ. մակերեսի երկայնական անկում՝ ավտոմեքենաների անիվների շարժմանը զուգահեռ (Նկ. 1.1 ա),
- բլրակներ. մակերեսի վերտիկալ դեֆորմացիաներ, որոնք հիմնականում առաջանում են շոգ եղանակային պայմաններում (Նկ. 1.1 բ):

Մակերեսի արատներ

- հոսքեր. ասֆալտի մակերեսին ձյութային կապակցուցիչի ավելցուկի առաջացում (Նկ. 1.1 գ),

- հղկվածքներ. հատվածներ, որտեղ մակերեսի վերին շերտը ժամանակի ընթացքում, ավտոմեքենաների շարժման արդյունքում ենթարկվել է հղկման, ինչի արդյունքում տվյալ հատվածի տեքստուրան տարբերվում է մյուս հատվածներից (Նկ. 1.1 դ),
- քերծվածքներ. ասֆալտի մակերևույթի մասնիկների և ձյութային կապակցուցիչի կորուստ (Նկ. 1.1 ե):

Այլ քայքայումներ

- ճանապարհի և կողնակի մակարդակների տարբերություն. ճանապարհի երթևեկելի հատվածի և կողնակի բարձրությունների տարբերություն (Նկ. 1.1 գ),
- ջրի հոսք և ներծծում. փոքր ճեղքերի միջոցով ջրի ներթափանցում ասֆալտի վերին շերտ (Նկ. 1.1 է):

Նորոգումներ և խանդակներ

- նորոգումներ. 0.1 մ²-ից մեծ մակերեսով հատված, որը, քայքայման ենթարկվելուց հետո հեռացվել է և փոխարինվել նոր՝ նախնական կառուցվածքից տարբերվող շինարարական նյութերով (Նկ. 1.1 ը),
- խանդակներ. տարբեր տրամաչափի գնդաձև փոսեր (Նկ. 1.1 թ):

Ճեղքեր

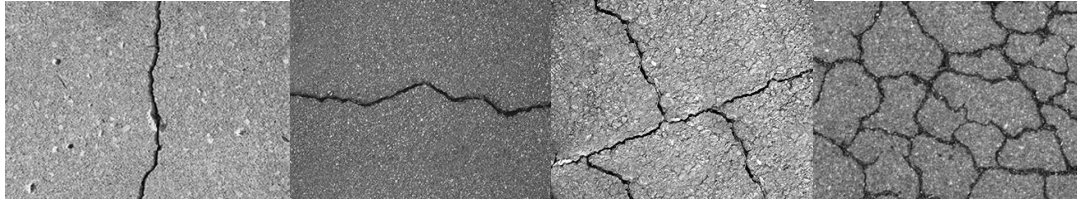
Ճեղքերը ճՄ-ներում հանդիպող ամենատարածված արատներից են: Դրանք հիմնականում բնութագրվում են հետևյալ հատկանիշներով՝

- շրջապատող մակերևույթից առանձնանում են մուգ գույնով (քանի որ լուսային ճառագայթները ամբողջությամբ չեն անդրադառնում ճեղքի զբաղեցրած մակերեսից),
- շարունակական են,
- ունեն դոմինացված ուղղվածություն [9, 10]:

Գոյություն ունեն ճեղքերի բազմաթիվ տեսակներ, որոնք դասակարգվում են 4 հիմնական խմբի. լայնական, երկայնական, բլոկային, ալիգատորային (Նկ. 1.2) [9, 11]:

- երկայնական. ճեղքերը ուղղված են ճՄ ուղղվածությանը զուգահեռ (Նկ. 1.2 ա),
- լայնական. ճեղքերը ուղղված են ճՄ ուղղվածությանն ուղղահայաց (Նկ. 1.2 բ),

- բլրկային. ճեղքերի միավորում, որը ճԾ տվյալ հատվածը բաժանում է 0.1 - 10 մ² մակերեսով ուղղանկյունաձև մասերի (Նկ. 1.2 գ),
- ալիգատորային. առավել մեծ մակերեսով ճեղքերի համախումբ (Նկ. 1.2 դ):



ա

բ

գ

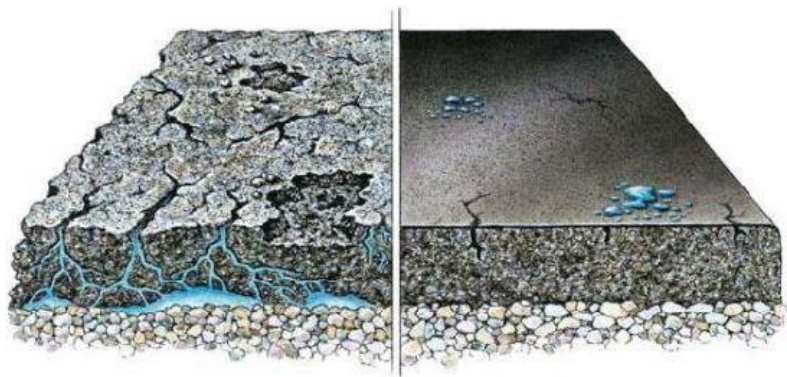
դ

Նկ. 1.2 ճԾ ճեղքերի հիմնական տեսակները.

ա) երկայնական, բ) լայնական, գ) բլրկային, դ) ալիգատորային:

Ինչպես երևում է Նկ. 1.1-ում և Նկ. 1.2-ում բերված պատկերներից, ճԾ գոյություն ունեցող արատները հեշտությամբ հայտնաբերվում են տեսողական վերլուծության միջոցով: Սակայն, երևում է նաև, որ հատուկ մոտեցումներ են պահանջվում դրանց հայտնաբերման ավտոմատացված միջոցների մշակման համար:

Վերանորոգման և կանխարգելիչ աշխատանքներ իրականացնող ճարտարագետների աշխատանքի գլխավոր մասը կազմում է ճեղքերի վերացումը: Ցանկացած ճեղքի վերանորոգման հիմնական նպատակն է թույլ չտալ ջրի ներհոսք դեպի ասֆալտի ներքին շերտեր, ինչը կարող է հանգեցնել ճԾ կառուցվածքային քայքայման [12] (Նկ. 1.3):



Նկ. 1.3 Ջրի ներթափանցմամբ ասֆալտի քայքայում:

ինչպես երևում է Նկ.1.3-ից, ի տարբերություն լավ որակով ՃԾ հատվածի, բազմաթիվ ճեղքերով հատվածում ջրի պարբերական ներհոսքն առաջացնում է նյութական և կառուցվածքային քայքայումներ, ինչի հետևանքով ասֆալտային մակերևույթի տվյալ հատվածը օգտագործման համար դառնում է անպիտան և վտանգավոր: Հետևաբար, ճեղքերի հայտնաբերումը և դրանց բնութագրերի որոշումը թույլ կտան իրականացնել որակի ապահովման կանխարգելիչ աշխատանքները, խուսափել արատների բարդացումից և նշված աշխատանքներն իրականացնել ավելի արդյունավետ՝ խնայելով ֆինանսական ծախսերն ու ժամանակը:

Նշենք, որ թեև ատենախոսական աշխատանքում մշակված մեթոդները նպատակաուղղված են արատների այս տեսակի, այսինքն՝ ճեղքերի ուսումնասիրությանը, դրանք զգալի չափով կիրառելի են նաև այլ տեսակի արատների դեպքում: Սակայն ունիվերսալ ավտոմատացված համակարգի մշակումը պահանջում է մեծ ծավալի լրացուցիչ հետազոտությունների իրականացում, ինչպես նաև թանկարժեք սարքավորումների առկայություն, ինչը տվյալ ատենախոսության շրջանակներում հնարավոր չէ կատարել: Ուստի ատենախոսության թեմայի սահմանափակումը ՃԾ-ի մակերեսի ճեղքերի հատկությունների ուսումնասիրությամբ արդարացված է:

1.2 Ծանապարհային ծածկույթի որակի գնահատման եղանակները

ՃԾ որակի գնահատումը կարող է իրականացվել տարբեր եղանակներով, որոնք դասվում են երկու հիմնական խմբի՝ ձեռքով և ավտոմատացված [2]:

- **Ձեռքով ուսումնասիրություններն** անցկացվում են քայլելով, կամ երթևեկելով ցածր արագությամբ՝ կատարելով նշումներ ծածկույթի վրա առկա արատների վերաբերյալ: Ուսումնասիրության այս եղանակը կարող է իրականացվել ինչպես ճանապարհային հատվածի, այնպես էլ ամբողջ ճանապարհի երկայնքով: Հայտնաբերված արատները գրանցվում են թղթի վրա կամ մուտքագրվում քոմփյուտերներ կամ այլ շարժական սարքավորումներ [2, 13]:
- **Ավտոմատացված ուսումնասիրությունների** ժամանակ հիմնականում օգտագործվում են հատուկ մեքենաներ, որոնք կահավորված են հատուկ

սարքավորումներով (օրինակ՝ լազերներ, լուսավորության սարքեր, բարձր նկարահանման արագությամբ օժտված տեսախցիկներ, քոմփյուտերներ և այլն), որոնք հատկապես մշակված են ՃԾ բնութագրերի հայտնաբերման և հավաքագրման համար: Թվայնացված պատկերներն արվում են բարձր արագությամբ շարժման ժամանակ՝ ծածկույթի վիճակը գնահատելու նպատակով: Ավտոմատացված ուսումնասիրությունների արդյունքում ստացված տվյալները և պատկերները մշակվում են կիսավտոմատացված կամ ավտոմատացված եղանակներով [14, 15]:

- ▶ **Կիսավտոմատացված եղանակ.** մշակման այս եղանակի դեպքում ստացված պատկերները հետազոտվում են աշխատանքային սենյակներում, հատուկ պատրաստված աշխատակազմի կողմից՝ տեսանելի ճեղքերի և այլ արատների գնահատման նպատակով: Մշակված պատկերների ցուցադրման և արատների գրանցման համար օգտագործվում են համապատասխան ծրագրային համակարգեր: Տվիչների օգտագործման դեպքում, դրանց միջոցով ստացված տվյալները օգտագործվում են արատների խորության հաշվարկների համար:
- ▶ **Ամբողջությամբ ավտոմատացված եղանակը** օգտագործելով հավաքագրված պատկերները և դրանց մշակման համապատասխան տեխնոլոգիաները, թույլ է տալիս հայտնաբերել արատները առանց մարդու միջամտության: Մեծ թվով սպասարկման կամ սարքավորումների ապահովման մատակարարներ մշակել են և շարունակում են մշակել համակարգեր, որոնք օգտագործելով տեսանկարահանման կամ (և) լազերային տեխնոլոգիաներ իրականացնում են ՃԾ արատների հայտնաբերում, գնահատում և դասակարգում՝ արագընթաց ճանապարհներով շարժմանը համընթաց:

Մինչև 1980-ականները, ՃԾ որակի գնահատման համար անհրաժեշտ գործողությունները կատարվում էին ձեռքով [5]: Գնահատման այդ մեթոդը արդյունավետ չէ. պահանջում է շատ ժամանակ, ունի օբյեկտիվության խնդիր, կարող է վտանգավոր լինել ինչպես չափումներ կատարող աշխատակիցների համար, այնպես էլ

ճանապարհային երթևեկության մասնակիցների համար, ինչպես նաև, պահանջում է մեծ ծախսեր [2]: Հետևաբար, վերջին տասնամյակներում մեծացել է թվայնացված պատկերների մշակմամբ ճԾ որակի գնահատման համար նախատեսված ավտոմատացված համակարգերի պահանջարկը: Ակնհայտ է, որ այդ համակարգերը ավելի արդյունավետ են, անվտանգ և որակի գնահատումն ու տվյալների մշակումը կարող է իրականացվել առավել ճշգրիտ և օբյեկտիվ:

Ձեռքով և ավտոմատացված հետազոտությունների տարբերությունները բերված են աղյուսակում 1.1-ում:

Աղյուսակ 1.1 *Տվյալների հավաքագրման ձեռքով և ավտոմատացված եղանակների տարբերությունները:*

Ձեռքով	Ավտոմատացված
վտանգավոր	անվտանգ
սուբյեկտիվ	օբյեկտիվ
ժամանակատար	արագ
դժվար կառավարելի	ինտեգրվում է ավտոմատացված համակարգերում
աշխատատար	պահանջում է քիչ աշխատանք

1.3. Ճանապարհային ծածկույթի հսկման և կառավարման համակարգերին ներկայացվող պահանջները

ՃԾ որակի կառավարումը ճանապարհային ցանցերի (կամ այլ ասֆալտային (բետոնային) երթևեկելի տարածքների) պահպանման և վերանորոգման աշխատանքների պլանավորման պրոցես է, որն իրականացվում է ամբողջ ճանապարհային ցանցի մակերևույթի օպտիմիզացման նպատակով [16]: ՃԾ կառավարումն իրականացվում է ոչ միայն ավտոճանապարհներին, այլև օդանավակայաններում, ծովափնյա բեռնատար տերմինալներում և այլն [17]:

ՃԾ կառավարման համակարգերի (ՃԾԿՀ) հիմնական խնդիրները հետևյալն են՝

- հավաքագրել ՃԾ վիճակի վերաբերյալ տվյալներ՝ լավ, բավարար և վատ որակի ծածկույթների հայտնաբերման համար;
- գնահատել ճանապարհների հատվածներում վերանորոգման աշխատանքների իրականացման կարևորության աստիճանը՝ կախված երթևեկության ինտենսիվությունից, ճանապարհի նշանակությունից և հասարակության պահանջներից;
- պլանավորել լավ որակով ճանապարհների սպասարկումը՝ դրանց որակի անկումը կանխարգելելու նպատակով;
- պլանավորել բավարար և վատ որակով ճանապարհների վերանորոգման աշխատանքները:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ ֆինանսական ծախսերը շատ ավելի քիչ են լինում այն դեպքում, երբ ճանապարհների սպասարկումն իրականացվում է դրանց դեռ լավ վիճակում գտնվելու ընթացքում՝ ճեղքերի առաջացման պայմաններում: Այդ պատճառով ՃԾԿՀ-երը առաջնահերթությունը տալիս են լավ որակի ծածկույթների կանխարգելիչ աշխատանքներին, քան վատթարացված ճանապարհների վերականգնմանը [18, 19]:

Իսկ ինչ վերաբերում է վատ (կամ շատ վատ) որակի ծածկույթներին, ապա դրանց որակի գնահատման համար հաճախ բավարար է լինում աչքով գնահատումը, ուստի թանկարժեք և բարդ ավտոմատացված համակարգերի կիրառման անհրաժեշտություն չի լինում:

1.4 Տվյալների հավաքագրման ավտոմատացված համակարգեր (համառոտ ակնարկ)

Ինչպես արդեն նշվեց, ՃԾԿՀ-երում ավելի նպատակահարմար է կիրառել պատկերների հավաքագրման ավտոմատացված համակարգեր (ՊՀԱՀ), որոնք համալրված են տարբեր տեսակի սարքավորումներով (տեսախցիկներ, տվիչներ և այլն), ինչը հեշտացնում է տվյալների հավաքագրումը: ՊՀԱՀ-երում օգտագործվող

սարքավորումները բաժանվում են հինգ խմբի՝ լուսանկարահանում, տեսանկարահանում, թվայնացում տարածական ճառագայթային տեսաձրմամբ տեսախցիկով, թվայնացում գծային ճառագայթման տեսաձրմամբ տեսախցիկով, թվայնացում գծային լազերային տեսաձրմամբ տեսախցիկով [1]: Ստորև ներկայացված են տարբեր տեսակի սարքավորումներով հագեցած կոմերցիոն ՊՀԱՀ-երը:

Fugro Roadware Corporation ընկերության կողմից մշակվել է ՊՀԱՀ, որն անվանվել է ARAN (Automatic Road Analyzer - Ճանապարհների ավտոմատացված վերլուծիչ) [20]: ARAN-ն իրականացնում է ՃԾ տվյալների հավաքագրում, ինչը հնարավորություն է տալիս ընդունել կառավարման ավելի արդյունավետ որոշումներ: Այս տվյալները կարող են շարունակաբար հավաքագրվել մինչև 100 կմ/ժ արագությամբ շարժման դեպքում՝ պահպանելով ճշգրտության բարձր մակարդակ: Նկ. 1.4-ում պատկերված է ARAN ավտոմատացված համակարգի տեսքը:



ա

բ

գ

Նկ. 1.4 ARAN ՊՀԱՀ-ի մոդելների արտաքին տեսքերը.

ա) ARAN 7000, բ) ARAN 8000, գ) ARAN 9000:

Համակարգն օժտված է բազմաթիվ տվիչներով և այլ սարքավորումներով, որոնք թույլ են տալիս հայտնաբերել տարբեր տեսակի արատներ: Նկ. 1.5-ում պատկերված է ARAN համակարգի կառուցվածքը:

Նույն ընկերության կողմից մշակվել է նաև պատկերների վերլուծության ավտոմատացված համակարգ (ՊՀԱՀ)՝ «WiseCrax» անվանմամբ [21]: WiseCrax-ի օգնությամբ ՃԾ տվյալներից հայտնաբերվում են մինչև 1մմ լայնությամբ ճեղքեր: Այն կարող է աշխատել և՛ տարածական տեսաձրմամբ, և՛ գծային տեսաձրմամբ նկարահանված պատկերների հետ: WiseCrax-ն ունի ալգորիթմների երեք առանձին դաս՝ ճեղքերի հայտնաբերում, դասակարգում և գնահատում: Այս համակարգում պատկերները մշակվում են ոչ իրական ժամանակում (offline): Վերջնական

հաշվետվությունները բնութագրում են ճեղքերի տեսակները, հաճախականությունները, չափսերը և գտնվելու վայրերը [22]:



Նկ. 1.5 ARAN համակարգի կառուցվածքը:

Սակայն նշենք, որ համակարգում **պատկերների մշակման ավգորիթմները չեն հրապարակվում**, ուստի համակարգի արդյունավետության հարցը մնում է չբացահատված: Այս հանգամանքը խոչընդոտում է կիրառվող մեթոդների կատարելագործմանը և պատկերների մշակման բնագավառում վերջին տարիներին առաջարկված նոր մեթոդների կիրառմանը:

Քանի որ պատկերների հավաքագրման և մշակման ավտոմատացված համակարգերը հիմնականում ունեն նմանատիպ կառուցվածք և նշված սահմանափակումը բնորոշ է դրանցից յուրաքանչյուրին, դիտարկված մյուս համակարգերը կներկայացնենք համառոտ:

RoadCrack (բառացի թարգմ.՝ ճանապարհային ճեղք), մշակվել է CSIRO-ի կողմից: Համակարգը պարունակում է տեսախցիկներ և պատկերների մշակման գործիքներ, որոնք հայտնաբերում, դասակարգում, գնահատում են ճՄ ճեղքերը և

ներկայացնում համապատասխան հաշվետվություններ [23]: Ի տարբերություն այլ համակարգերի, թվային պատկերների հավաքագրման համար նախատեսված գերարագ տեսախցիկները տեղադրված են մեքենայի թափքի տակ՝ հատուկ անդրադարձնող համակարգի հետ միասին, որը ֆոկուսացնում է ճԾ հատվածի վրա ընկնող լույսը, որպեսզի մեքենայի՝ բարձր արագությամբ շարժման ընթացքում ընդգծվեն փոքր ճեղքերը (Նկ. 1.6):



Նկ. 1.6 CSIRO RoadCrack համակարգ:

RoadCrack համակարգը կարող է հայտնաբերել մինչև 1մմ լայնությամբ փոքր ճեղքեր՝ շարժվելով մինչև 105կմ/ժ արագությամբ: Այն կարող է աշխատել նաև գիշերային ժամերին, քանի որ համալրված է սեփական լուսավորության համակարգով:

RAV (Road Assessment Vehicle - Ճանապարհի գնահատման մեքենա), մշակվել է W.D.M. Limited ընկերության կողմից [24] (Նկ. 1.7): Նախագծված է 100 կմ/ժ արագությամբ շարժման ընթացքում տեսանկարահանումներ և չափումներ իրականացնելու համար: Ճեղքերի ավտոմատացված հայտնաբերումը թույլ է տալիս RAV-ին ամբողջությամբ փոխարինել ձեռքով և ՄՏՀ-ով չափումները՝ ավելի օբյեկտիվ և պարբերական չափումներով, որոնք իրականացվում են անհամեմատ ավելի անվտանգ պայմաններում և երթևեկության շարժմանը զուգընթաց: Համակարգն իրականացնում է հետևյալ չափումներն ու ծայնագրությունները՝

- անհարթությունների հայտնաբերում,
- ճԾ տարբեր գոտիներում մակերևույթի տեքստուրայի հետազոտություն,

- ակոսների խորության չափում,
- երկայնական գրադիենտի հաշվարկ:



Նկ. 1.7 RAV համակարգ

ՃԾ մակերեսի ճեղքերի՝ այս համակարգով իրականացվող չափումներն ու ձայնագրությունները համապատասխանում են Միացյալ Թագավորության ազգային ցուցանիշներին (UK National Indicators), գլխավոր և դասակարգված ճանապարհների համար: Համակարգը հիմնականում նախատեսված է ցածր մակարդակի ճանապարհների համար, որտեղ ոչ թե ձևավորված են հասարակ ակոսներ, այլ ճանապարհային մակերևույթը գտնվում է դեֆորմացված վիճակում:

PASCO Roadrecon-ն առաջին ՊՀԱՀ-երից է, որն օգտագործվել է ՃԾ պատկերների հավաքագրման համար (Նկ. 1.8): Համակարգը կազմված է ավտոբուսից, դրա վերևում ամրացված 35մմ տեսախցիկից, որն իրականացնում է ՃԾ մակերևույթի շարունակական նկարահանում: Պատկերները հավաքագրվում են գիշերային ժամերին՝ արհեստական լուսավորության կիրառմամբ, ինչը թույլ է տալիս կառավարել լուսավորության պայծառությունը: Համակարգը կարող է աշխատել մինչև 80 կմ/ժ արագությամբ շարժման պայմաններում, իսկ նկարահանված յուրաքանչյուր պատկեր ընդգրկում է 5մ լայնությամբ և 15մ երկարությամբ ՃԾ հատված [25]:



Նկ. 1.8 PASC Roadrecon համակարգ:

Այս համակարգի կիրառմամբ ՃԾ որակի գնահատման համար անհրաժեշտ է իրականացնել ձեռքով հաշվարկներ:

PCES (Pavement condition evaluation services - Ճանապարհային ծածկույթի վիճակի գնահատման ծառայություններ), մշակվել է Earth Technology Corporation ընկերության կողմից 1980-ականների վերջին [26]: Առաջին PCES ավտոմատացված համակարգը 512 փիքսել կետայնությամբ գծային տեսաձրմամբ տեսախցիկներով: Այս պատկերներն ընդգրկել են 2.5 մ լայնությամբ և երկարությամբ ՃԾ հատվածներ: Չնայած նրան, որ PCES համակարգերը նույնպես օժտված էին արհեստական լուսավորության համակարգերով, սակայն հավաքագրումը հնարավոր էր իրականացնել միայն ցերեկային ժամերին: Պատկերները հավաքագրվում էին 50-60 կմ/ժ արագությամբ շարժման ընթացքում: Համակարգում օգտագործվում էր թվային ազդանշանների մշակման մոդուլ, որի օգնությամբ տվյալները մշակվում էին իրական ժամանակում: Համակարգի ստեղծման տարիներին, պատկերների նկարահանման անհրաժեշտ տեխնոլոգիաները դեռ կատարելագործված չէին, ինչը բարդացնում էր հետազոտող խմբի գործը: Հետազոտությունները դադարեցվել են 1990-ականների սկզբին:

1980-ականների վերջին, ճապոնական Komatsu կոնսորցիումի կողմից մշակվել է ՃԾ արատների հավաքագրման համակարգ, որն իր մեջ ներառում էր հավաքագրման մեքենա և տվյալների մշակման մոդուլ՝ ճեղքերի, ակոսների և այլ արատների զուգահեռաբար հայտնաբերման և չափման համար: Համակարգի կողմից նկարահանվող պատկերների առավելագույն կետայնությունը կազմում էր 2048x2048 փիքսել՝ 10 կմ/ժ արագությամբ շարժման պայմաններում: Komatsu համակարգն

աշխատում էր գիշերային ժամերին՝ կիրառելով սեփական արհեստական լուսավորությունը: Համակարգը պահանջում է բարդ տեխնոլոգիաներով սարքավորումներ, սակայն չի կարող ճանաչել ճեղքի տեսակը [27]:

Շվեդական PAVUE [28] տվյալների հավաքագրման համակարգը իր մեջ ներառում է չորս տեսախցիկ, որոնք ամրացված են մեքենայի ետևի մասում, սեփական լուսավորության համակարգ և չորս S-VHS ձայնագրիչներ: Տեսանկարահանված պատկերների հաջորդականություններն ուսումնասիրվում են ոչ իրական ժամանակում՝ պատկերների վերլուծության համար նախատեսված հատուկ մշակված ծրագրի օգնությամբ: ԾԾ պատկերները պահպանվում են S-VHS տեսաերիզների վրա անալոգային ֆորմատով: Վերլուծության պարամետրերն անհրաժեշտ է մուտքագրել ձեռքով՝ պատկերներից ճեղքերի տվյալներն առանց աղավաղումների ստանալու նպատակով:

2004թ.-ին Լիի [29] կողմից մշակվել է ՊՀԱՀ, որն անվանվել է PicCrack: Այն իր մեջ ներառում է տարածական տեսածրամաբ թվային տեսախցիկ, հեռավորության չափման գործիք և քոմփյութեր: Վիճակագրական վերլուծությունները ցույց են տվել, որ համակարգը տալիս է ԾԾ վիճակի վերաբերյալ պարբերական, կայուն տվյալներ, հաշվի առնելով մեքենայի արագությունը, տեսախցիկի տեղադրման անկյունը և ԾԾ վիճակը: Սակայն պատկերների վերլուծության ծրագիրը կայուն չէ թվային պատկերների աղավաղումների պայմաններում և ունի այլ մշակման սահմանափակումներ:

DHDV (Digital highway data vehicle - մայրուղու թվային տվյալների մեքենա) ՊՀԱՀ-ը մշակվել է Արկանզաս համալսարանի հետազոտողների կողմից: Համակարգը կազմված է տեսախցիկից և 4 թարթող լույսերից, որոնք ամրացված են մեքենայի ետևի մասում: Տեսախցիկները նկարահանում են 1300x1024 չափսերով պատկերներ՝ առավելագույնը 15 կադր/վ արագությամբ, երբ մեքենայի շարժման արագությունը կազմում է 95 կմ/ժ: Տեսախցիկը և թարթող լույսերն աշխատում են սինքրոն, դրանով իսկ ապահովելով շարժման ընթացքում նկարահանման բարձր որակը [30]:

Օսթինում Թեքսասի համալսարանի (University of Texas at Austin) հետազոտողները մշակել են ՊՀԱՀ, որը կոչվում է TxDOT ԾԾ ուսումնասիրության

մեքենա [31]: Այն կազմված է քոմփյուտերից, գծային տեսաձրմամբ թվային տեսախցիկից և պատկերների մշակման ծրագրից, որը կոչվում է VCrack: Համակարգն աշխատում է շարժվելով մինչև 110 կմ/ժ արագությամբ ` նկարահանելով 2048x512 չափսերով պատկերներ, որն ընդգրկում է 3մ լայնությամբ և 1մ երկարությամբ ճԾ հատված: Համակարգը ի սկզբանե օգտագործել է բնական լուսավորություն, իսկ հետագայում կիրառել LED լույսեր՝ չափումները նաև գիշերային ժամերին իրականացնելու համար: VCrack ծրագիրը հնարավորություն է տալիս դասակարգել ասֆալտային ճԾ լայնական, երկայնական, բլրկային և ալիգատորային ճեղքերը:

Կիբերնետիկայի համաշխարհային կորպորացիան (ICC) մշակել է համանուն ՊՀԱՀ: Համակարգի հիմնական մասերն են տեսախցիկը և պատկերների մշակման ենթահամակարգը, որն աշխատում է Windows ՕՀ-ով: Այն ստանում է պատկերների մշակման հրամաններ ICC ղեկավարող MDR տվյալների հավաքագրման քոմփյուտերից և ցուցադրում պատկերների ցանկը LCD էկրանին: Տվյալները մշակվում են ոչ իրական ժամանակում՝ գրասենյակում, օգտագործելով ICC ցուցադրման ծրագիրը [32]:

LRIS (Ճանապարհային պատկերների մշակման լազերային համակարգ), մշակվել է Pavemetrics Corporation ընկերության կողմից: Կազմված է բարձր կետայնությամբ երկու գծային տեսաձրմամբ տեսախցիկներից, որոնց տեսադաշտում ընդգրկվում է 4մ լայնությամբ ճԾ հատված: LRIS օպտիկական կարգավորումները թույլ են տալիս ընդգծել նույնիսկ ամենափոքր ճեղքերը՝ համապատասխան լուսավորությամբ դրանցում առաջացնելով շողքեր: Առաջադեմ օպտիկական սարքերի և բարձր հզորությամբ լազերային գծերի կիրառման արդյունքում LRIS համակարգը բավականին կայուն է ճանապարհներին լուսավորության և շողքերի փոփոխությունների նկատմամբ:

Այսպիսով, պատկերների մշակման վրա հիմնված ճԾ որակի գնահատման գոյություն ունեցող ավտոմատացված համակարգերի հետազոտությունը ցույց տվեց, որ

- դրանց հիմնական բաղկացուցիչ մասերն են տեսախցիկը, տվիչները, լուսավորության համակարգը և տվյալների մշակման սարքը;
- համակարգերն աշխատում են 10-110 կմ/ժ շարժման պայմաններում;

- տվյալների մշակումը և արդյունքների արտապատկերումն իրականացվում են ոչ իրական ժամանակում՝ համապատասխան ծրագրերով, կամ մարդկանց կողմից՝ ձեռքով;
- համակարգերն ունեն կոմերցիոն բնույթ և դրանցում օգտագործվող պատկերների մշակման ծրագրերի ալգորիթմներն անհասանելի են հետազոտման, գնահատման և կատարելագործման համար:

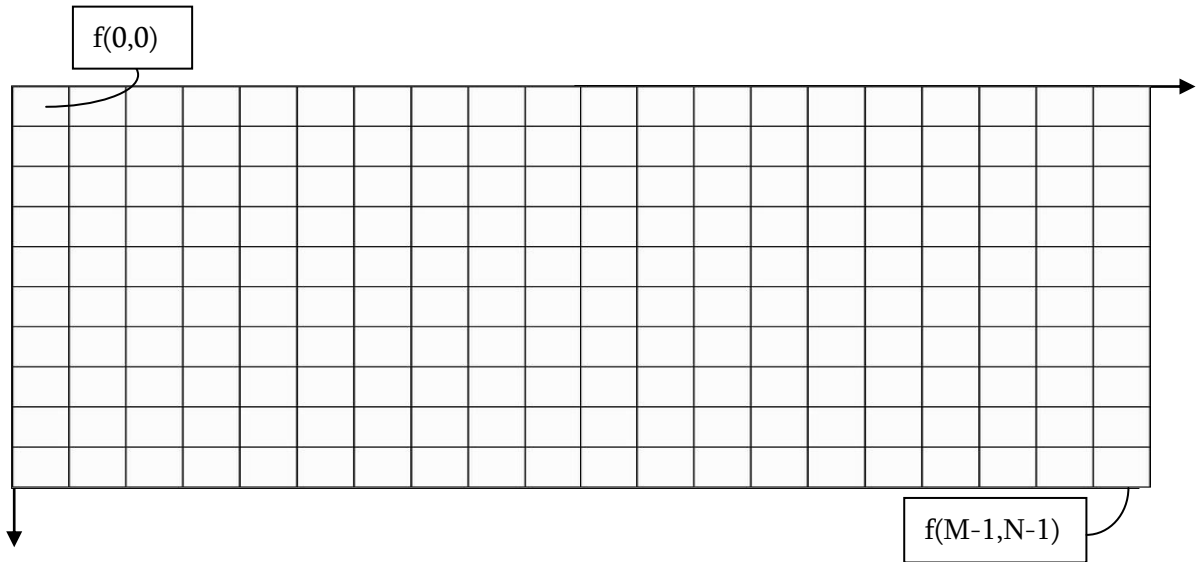
Նշենք, որ նկարագրված համակարգերի արդյունավետության իրական գնահատման հնարավորությունը հասանելի չէ, հետևաբար մենք սահմանափակվում ենք հասանելի տվյալներով:

1.5 Պատկերների մշակման վրա հիմնված ՃԾ որակի գնահատման մեթոդների վերլուծություն

Մինչ որակի գնահատման մեթոդների վերլուծությանն անցնելը, համառոտ ներկայացնենք պատկերների մշակման բնագավառում կիրառվող հիմնական տերմինները և ալգորիթմները:

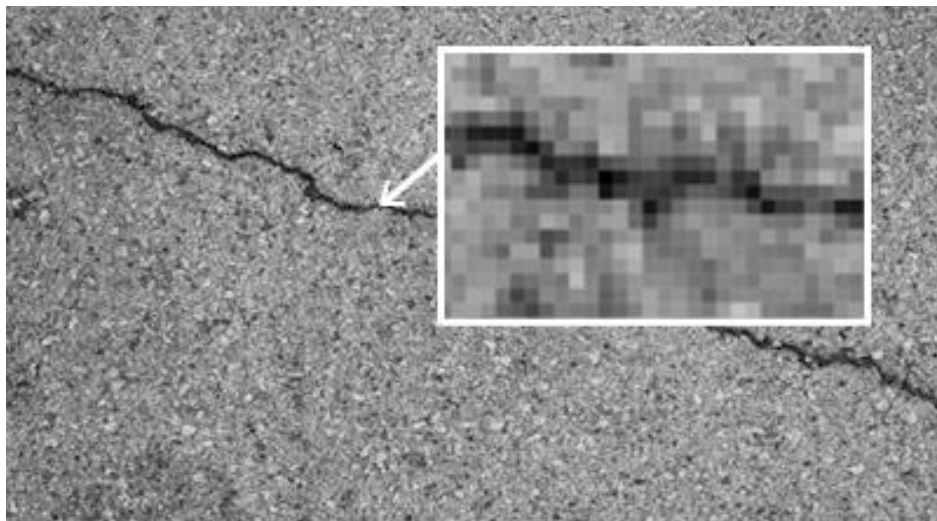
Նշանակենք $f(x,y)$ ֆունկցիան որպես հարթ կիսատոնային պատկերի մաթեմատիկական մոդել, որտեղ (x,y) -ը հարթության վրա փիքսելների կոորդինատներն են: Ցանկացած կետում f ֆունկցիայի արժեքը կոչվում է գույնի մակարդակ, պայծառություն կամ ինտենսիվություն: Թվային պատկերը կազմված է վերջավոր թվով փիքսելներից, որոնցից յուրաքանչյուրը տեղակայված է հարթության սահմանված կետում և ընդունում է որոշակի արժեք $(0, 255)$ տիրույթից: Բոլոր փիքսելները միասին կազմում են թվային պատկեր [33]:

Ի տարբերություն կիսատոնային պատկերների, գունավոր պատկերներում մաթեմատիկական մոդելը ներկայացվում է երեք ֆունկցիաներով՝ $f_R(x,y)$, $f_G(x,y)$, $f_B(x,y)$, որոնցից յուրաքանչյուրն իրենից ներկայացնում է կիսատոնային մոդել՝ համապատասխանաբար կարմիր, կանաչ և կապույտ գույներով [33, 34]:



Նկ. 1.9 20x10 կետայնությամբ թվային պատկեր:

Լայն տարածում գտած 8 բիթային կիսատոնային պատկերներում (Grayscale) օգտագործվում է 256 քվանտացման ինտենսիվության մակարդակ և $f_R(x,y) = f_G(x,y) = f_B(x,y)$: Պատկերը կարող է ներկայացվել որպես ուղղանկյուն մատրից, որը կազմված է M տողից և N սյունակից (Նկ. 1.9): Առաջին կետ է համարվում վերին ձախ կետը (0,0):



Նկ. 1.10 Թվային պատկերում ճեղքի փիքսելները:

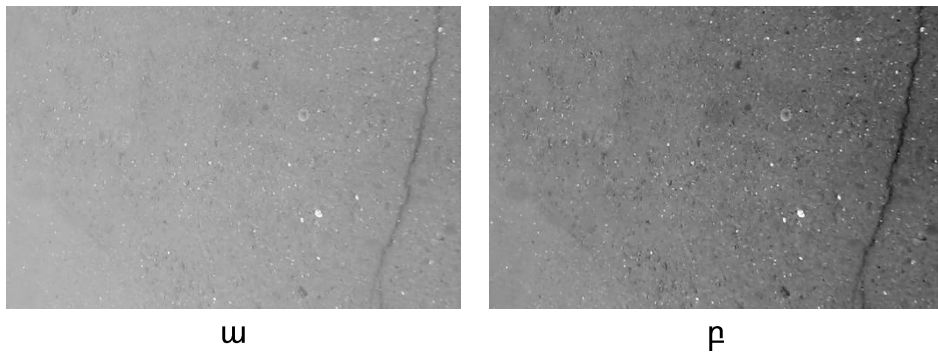
Նկ. 1.10-ում պատկերված են ճԾ ճեղք պարունակող կիսատոնային պատկեր և դրա փիքսելները, որտեղ $M=400$ և $N=220$: ՃԾ հատվածի անշարժ պատկերում որակի գնահատման առաջնային նպատակն է համարվում ճեղքի՝ ընդգծված փիքսելների հաջորդականության կորդինատների հայտնաբերումը:

Նույն պատկերը կարելի է ներկայացնել նաև հետևյալ մատրիցով [33]

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Հաճախ, մինչ պատկերների վերլուծությունը, անհրաժեշտություն է առաջանում բարելավել պատկերների որոշ հատկություններ: Այդ նպատակով, կախված խնդրից, իրականացվում է պատկերի նախամշակում: Նախամշակման եղանակներնից են նորմալացումը (normalization), հավասարեցումը (equalization), հարևան փիքսելների միջինացումը, ֆիլտրերի կիրառումը և այլն:

Նորմալացում: Նորմալացումը ընթացակարգ է, որը սահմանված ձևով փոխում է պատկերի փիքսելների պայծառությունը (Նկ. 1.11): Այն նաև անվանում են կոնտրաստի կամ հիստոգրամի ձգում: Այս ընթացակարգով n չափանի կիսատոնային պատկերի՝ I ինտենսիվության (a, b) միջակայքով արժեքները կերպափոխվում են նոր (A, B) ինտենսիվությունների միջակայքով պատկերի [33]:



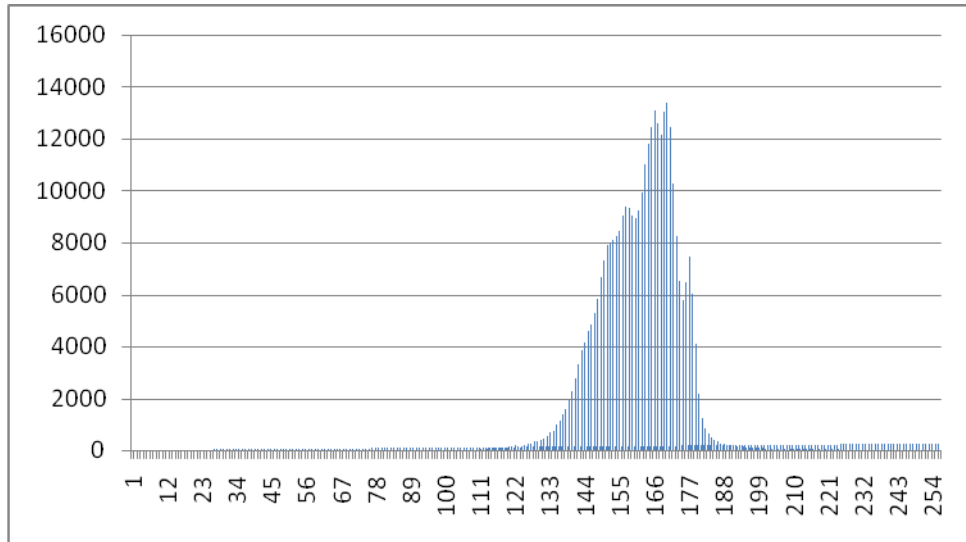
Նկ. 1.11 ՃԾ պատկերի նորմալացում
 ա) նախնական պատկեր, բ) նորմալացված պատկեր:

Նկ. 1.11-ում պատկերված է ՃԾ ճեղք պարունակող պատկեր (ա) և նորմալացման գործողության արդյունքում ստացված պատկեր (բ): Երևում է, որ նորմալացված պատկերում ճեղքը ստանում առավել ընդգծված տեսք, ինչը բարձրացնում է դրա հայտնաբերման և գնահատման արդյունավետությունը:

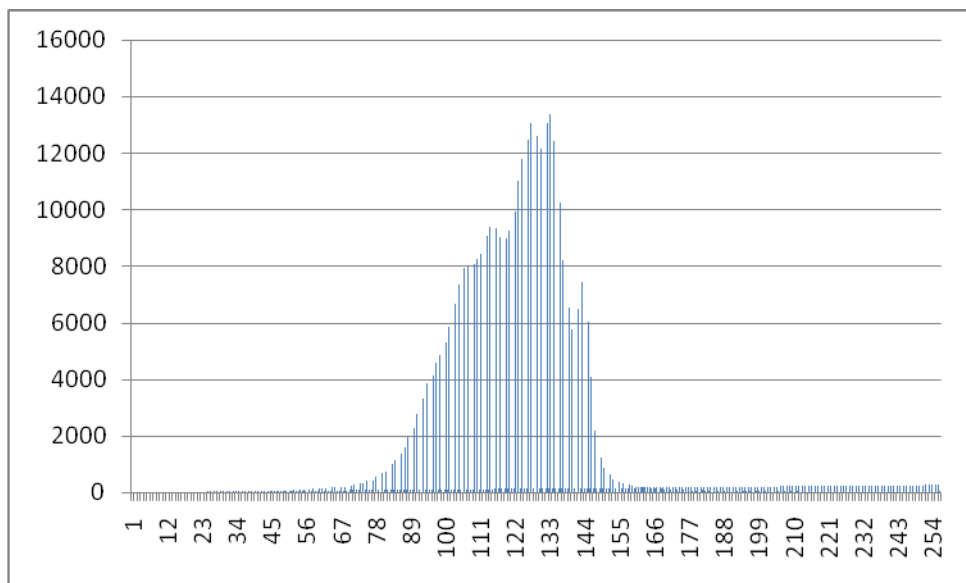
Կիսատոնային պատկերի գծային նորմալացումը կատարվում է հետևյալ ձևով՝

$$I_n = (I - a) \frac{B-A}{b-a} + A, \quad (1.2)$$

որտեղ I_n -ը պատկերի n -րդ ինտենսիվության մակարդակն է:



ω



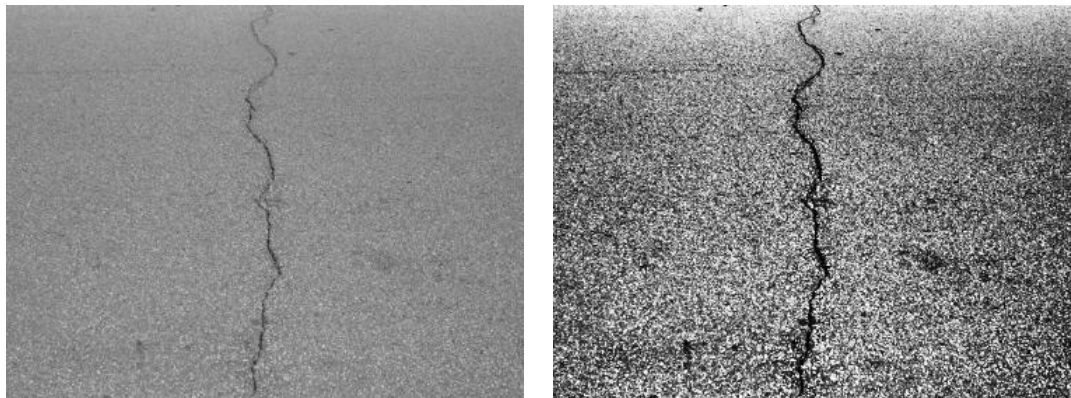
ρ

Նկ. 1.12 Նախնական (ω) և նորմալացված (ρ) պատկերների հիստոգրամները:

Նկ. 1.12-ում պատկերված են Նկ.1.11-ի ճԾ նախնական և նորմալացված պատկերների հիստոգրամները: Նորմալացված պատկերի հիստոգրամից (Նկ.1.12 ρ) հաստատվում է այն փաստը, որ նորմալացման ընթացակարգի արդյունքում

պատկերում ավելանում է մուգ գույները բնութագրող, ցածր ինտենսիվությամբ (տվյալ պարագայում նաև ճեղքի մաս կազմող) փիքսելների քանակը:

Հավասարեցում: Այս մեթոդն ավելացնում է պատկերի ընդհանուր կոնտրաստը, հատկապես այն դեպքերում, երբ պատկերում օբյեկտները ներկայացված են քիչ տարբերությամբ կոնտրաստային արժեքներով: Դա թույլ է տալիս պատկերում ավելի ցածր լույս կոնտրաստով հատվածներին ներկայացնել բարձր կոնտրաստային արժեքով: Հիստոգրամի հավասարեցումը իրականացվում է տարածելով պատկերում ամենաշատ քանակով առկա ինտենսիվության արժեքները [33]: Այս մեթոդն օգտակար է այն դեպքերում, երբ պատկերի ֆոնը և օբյեկտները միևնույն ժամանակ կա՛մ բաց են, կա՛մ մուգ և քիչ են տարբերվում միմյանցից: Այդպիսի դեպքեր են լինում, երբ պատկերներն աղավաղված են, դրանցում առկա են անհամասեռ լուսավորությամբ հատվածներ, շողքեր և այլն, ինչը հատկապես բնորոշ է դիտարկվող խնդրին:



ա

բ

Նկ. 1.13 Հիստոգրամի հավասարեցում
ա) նախնական, բ) հավասարեցված:

Նկ. 1.13-ում պատկերված հավասարեցված ճԾ պատկերում նույնպես նկատվում է ճեղքի փիքսելների ընդգծվածության աճ, հետևաբար տվյալ գործողությունը նույնպես կիրառելի է թվայնացված պատկերներով ճԾ որակի գնահատման խնդիրներում:

Պատկերներից ճԾ ճեղքերի հայտնաբերման և գնահատման մեթոդներ: Վերջին տարիներին մշակվել են ճԾ պատկերներից ճեղքերի հայտնաբերման և գնահատման բազմաթիվ մեթոդներ: Տեքստուրային մակերևույթներում արատների հայտնաբերման հիմնական մոտեցումներում փորձ է արվում պատկերում գտնել ճեղք չպարունակող հատվածների համասեռության առանձնահատկությունները և գտնել այն տարբերու-

թյունները, որոնք առաջանում են արատների առկայության դեպքում [35]: Օգտագործվում են նաև մեթոդներ, որոնք փորձում են պատկերում գտնել բարակ օբյեկտներ: Նմանատիպ ալգորիթմներ են օգտագործվում բժշկությունում՝ արյան անոթների հայտնաբերման [36], ինչպես նաև արբանյակային պատկերների մշակման ընթացքում՝ ճանապարհային ցանցերի հայտնաբերման նպատակով [37]:

Գիտական գրականության վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ճԾ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգերում կիրառվող պատկերների մշակման ալգորիթմները բաժանվում են հինգ հիմնական խմբի՝

- Պատկերի հիստոգրամի վերլուծության վրա հիմնված մեթոդներ, որոնք ամենահինն ու ամենատարածվածն են: Դրանք հիմնված են հիստոգրամների վերլուծությամբ շեմերի [38-40], ադապտիվ և լոկալ շեմերի հայտնաբերման վրա [41]: Այս մեթոդները պարզ են և ոչ ժամանակատար, բայց որոշ դեպքերում տալիս են սխալ արդյունքներ, հետևաբար դրանց կիրառման արդյունավետությունը կախված է դիտարկվող կոնկրետ խնդրից:
- Մաթեմատիկական մորֆոլոգիական գործիքների կիրառման վրա հիմնված մեթոդներ [42-45], որոնց միջոցով ստացված արդյունքները պարունակում են ավելի քիչ սխալներ, քան հիստոգրամի վերլուծությամբ մեթոդներում: Այս դեպքում, ստացված արդյունքների որակը կախված է լինում ընտրված պարամետրերից:
- Սովորեցնելու վրա հիմնված մեթոդներ [46], որոնց մոտեցումները հիմնված են նեյրոնային ցանցերի կիրառման վրա [47-48]: Թերությունը սովորեցնելու քայլն է, որը թույլ չի տալիս իրականացնել արագ և ամբողջական ավտոմատացված վերլուծություն:
- Զտման մեթոդներ: Ճանապարհային ճեղքերի հայտնաբերման խնդրում զտման միջոցով, ֆիքսված մասշտաբով եզրագծերի հայտնաբերումը չի կիրառվում, քանի որ ճեղքերի լայնությունները հաստատուն չեն: Այդ պատճառով բազմաթիվ մեթոդներ հիմնված են ադապտիվ զտմամբ ալիքային (wavelet) հայտնաբերման [49, 50], «Գաբորի» գտիչների [51], վերջավոր իմպուլսային պատասխանի ֆիլտրի [52] կիրառման վրա:

- Մոդելի վերլուծության մեթոդներ: Այս մոտեցումների մեծ մասը հիմնված են լոկալ վերլուծության և գլոբալ վերլուծության համեմատման վրա, որպեսզի գնահատվեն ճեղքերի լոկալ և գլոբալ հատկությունները: Կիրառվում են տեքստուրայի բազմամասշտաբ վերլուծություններ [10] կամ լոկալ կետերի կոնտուրների հայտնաբերում [53]:

Բազմաթիվ մեթոդներ են առաջարկվել, բայց խնդիրը դեռ վերջնականապես լուծված չէ: Արդյունքներն ունեն բազմաթիվ թերություններ, սխալներ և ճեղքերի հայտնաբերուման գործընթացը թերի է: Այն մեթոդները, որոնք հիմնված են հիստոգրամի վերլուծության վրա, հաշվի չեն առնում ճեղքի երկրաչափական և լուսաչափական բնութագրերը: Սովորեցնող մեթոդները էֆեկտիվ են, բայց պահանջում են շատ ռեսուրսներ:

Եզրակացություններ առաջին գլխի վերաբերյալ

1. Գրականության վերլուծության հիման վրա համակարգվեցին ճԾ-ներում հանդիպող արատների և ճեղքերի հիմնական տեսակները:
2. Ցույց տրվեց ճԾ որակի գնահատման մեթոդներում թվայնացված պատկերների մշակման հայտնի մեթոդների կատարելագործման և նոր մեթոդների մշակման անհրաժեշտությունը:
3. Հիմնավորվեց ճԾ որակի գնահատման խնդրում ճեղքերի ուսումնասիրության ընտրությունը:

ԳԼՈՒԽ ԵՐԿՐՈՐԴ

ՃԾ ԱՐԱՏՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ և ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼՆԵՐ

Ատենախոսության առաջին գլխում համառոտ նկարագրվեցին ՃԾ արատների ուսումնասիրության ուղիները և նշվեցին այդ խնդրում առաջացած դժվարությունները: Դրանք վերաբերվում են, մասնավորապես, տեխնիկական միջոցներով ստացվող պատկերների մշակման մեթոդներին, որոնք հիմնականում օգտագործում են պարզունակ, երբեմն էլ, անհայտ կամ չհիմնավորված ալգորիթմներ: Բացի դրանից, կիրառվող մեթոդները հաճախ սերտորեն կապված են ինֆորմացիայի ստացման կիրառվող միջոցի հնարավորությունների հետ, ուստի դրանց կատարելագործումը և ընդհանրացումը արատների այլ դասերի համար հնարավոր չէ:

Ատենախոսության սույն գլխում քննարկվում են թվայնացված պատկերների մշակման այն մեթոդները և մաթեմատիկական մոդելները, որոնք առավել մեծ արդյունավետությամբ կարող են իրագործվել ավտոմատացված համակարգերում:

Վերջին տարիներին մեծ ուշադրություն է դարձվում պատկերների մշակման այն մեթոդներին, որոնք հիմնված են դրանց կառուցվածքային վերլուծության վրա: Պատկերի կառուցվածք ասելով հասկանում ենք պատկերում առկա տարրերի բազմությունը և դրանց միջև կապը, որոնք թույլ են տալիս տվյալ կադրի պարունակության մասին կարծիք կազմել: Ընդ որում, որպես կառուցվածքային կամ մորֆոլոգիական տարրեր են համարվում պատկերի հոմոգեն հատվածները, ինչպես նաև դրանց եզրագծերը, կոնտուրները, անկյունները և այլն: Կառուցվածքային տարրերի հայտնաբերման նպատակով կիրառվում են մորֆոլոգիական գործողություններ, որոնք հիմնված են պատկերի տարբեր ձևափոխությունների վրա [33]:

Ատենախոսությունում ՃԾ պատկերներից ճեղքերի հայտնաբերման, դրանց պարամետրերի որոշման և գնահատման նպատակով կիրառվում են

հատվածավորման, բինարացման, գրադիենտային դաշտի վերլուծության և այլ ժամանակակից մեթոդներ, որոնց հակիրճ նկարագրությունը և կիրառման առանձնահատկությունները բերված են ստորև:

2.1 Պատկերի կառուցվածքային վերլուծություն

Հատվածավորումը (սեգմենտացիա) պատկերների մշակման ընթացակարգ է, որը կիրառվում է պատկերի կառուցվածքային վերլուծության իրականացման նպատակով: Այն պատկերը բաժանում է դրանում պատկերված օբյեկտներին համապատասխան հատվածների (սեգմենտների), որոնք ունեն ընդհանուր հատկություններ: Այդպիսի հատկություններից են փիքսելների ինտենսիվությունները, գույները, տեքստուրան և այլն: Հատվածները չեն կարող հատվել միմյանց հետ, իսկ հարևան հատվածները պետք է հետերոգեն լինեն [33, 54, 55]: Կախված խնդրի դրվածքից և պատկերի դիտարկվող հատկություններից, նույն պատկերը կարող է բաժանվել տարբեր հատվածների՝ կիրառելով հատվածավորման տարբեր մեթոդներ: Պատկերի հատվածավորման նպատակներից են նաև դրանում առկա եզրագծերի (ուղիղ գծեր, կորեր, կոնտուրներ, անկյուններ և այլն) հայտնաբերումը և որոշ դեպքերում պատկերի բնութագրերի հաշվարկումը:

Վերջին տասնամյակներում մշակվել են բազմաթիվ արագագործ, էֆեկտիվ և ճշգրիտ հատվածավորման ալգորիթմներ (ինչպես ազատ, այնպես էլ կոմերցիոն), որոնք թույլ են տալիս ավտոմատացված եղանակով պատկերից առանձնացնել դրանում առկա օբյեկտները: Այս տեսակի ալգորիթմներն օգտագործվում են մեքենայական տեսողության կիրառման տարբեր ոլորտներում, ինչպիսիք են արդյունաբերությունը, կենսաբժշկությունը, շրջակա միջավայրի հետազոտությունը, ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաները և այլն: Գրականության վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ հատվածավորման ալգորիթմներ են օգտագործվում նաև ՃԾ-երի՝ պատկերների մշակման վրա հիմնված որակի գնահատման ընթացակարգերում [56-62]:

Ըստ մասշտաբի, տարբերում են հատվածավորման լոկալ և գլոբալ եղանակներ [63]: Լոկալ հատվածավորումն իրականացվում է պատկերի մաս կազմող տեղամասերի վրա՝ այդ տեղամասի համար նախատեսված պարամետրերով: Գլոբալ (ամբողջական) հատվածավորումն իրականացվում է ամբողջ պատկերի վրա՝ կիրառելով հատվածավորման նույն պարամետրերը:

Լոկալ հատվածավորման դեպքում, երբ դիտարկվում է պատկերի փոքր տեղամաս, մեծ է հավանականությունը, որ ստացված հատվածները կլինեն միատիպ: Ցանկալի արդյունքների ստացման համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել պատկերում առկա օբյեկտների միջև կապերի առկայությունը: Հետևաբար, պատկերի հատվածավորման յուրաքանչյուր մեթոդ պետք է ունենա իր հիմնավորումը, իսկ դրա արդյունքի գնահատումն իրականացնում է ինքը հետազոտողը՝ ելնելով դիտարկվող խնդրի պահանջներից:

Հատվածավորման ալգորիթմները սովորաբար հիմնված են լինում պայծառության ազդանշանի երկու հիմնական բնութագրերից որևէ մեկի վրա, դրանք են խզվածությունը և համասեռությունը: Առաջին դեպքում պատկերը տրոհվում է ելնելով ազդանշանի կտրուկ փոփոխություններից, ինչպիսիք են պատկերի հետազոտվող տեղամասում պայծառության փոփոխությունը: Պատկերի համասեռության վրա հիմնված ալգորիթմներում պատկերը բաժանվում է այնպիսի տեղամասերի, որոնք համասեռ են՝ ելնելով նախապես սահմանված չափանիշներից:

Հատվածավորման մեթոդները կարելի է բաժանել հետևյալ հիմնական խմբերի՝

- Եզրագծերի հայտնաբերման վրա հիմնված մեթոդներ (edge detection) [55, 64 - 66]
- Շեմային մշակման մեթոդներ (thresholding) [33, 55, 67, 68]
- Տեղամասային հատվածավորում (region-based)) [33, 55, 67, 69]
- Հատուկ (հիբրիդային) մեթոդներ [33, 55]

Դիտարկենք դրանք առանձին-առանձին:

2.1.1 Եզրագծերի հայտնաբերման վրա հիմնված մեթոդներ

Պայծառության խզվածության հայտնաբերում: Թվային պատկերներում հանդիպող պայծառության խզվածությունները հիմնականում հանդես են գալիս կետի, գծի

կամ տատանման տեսքով: Խզվածության հայտնաբերման հիմնական մեթոդներն իրականացվում են սողացող դիմակների կիրառմամբ (Նկ. 2.1):

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Նկ. 2.1 3x3 սողացող դիմակ:

Նկ. 2.1-ում պատկերված դիմակի համար այս ընթացակարգը հիմնված է պատկերի օբյեկտների պայծառության ցուցանիշներով գծային կոմբինացիաների հաշվարկման վրա, որտեղ յուրաքանչյուր կետում ստացված արդյունքը կլինի՝

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i , \quad (2.1)$$

իսկ z_i -ն փիքսելի պայծառության արժեքն է՝ դիմակի w_i գործակցին համապատասխան [33]:

Կետերի հայտնաբերում: Կետերի հայտնաբերման համար կարելի է օգտվել Նկ.2.2-ում պատկերված դիմակից [33], որտեղ, կընդունենք, որ այն փիքսելը, որի վրա ընկնում է դիմակի կենտրոնը հայտնաբերված է կետ այն դեպքում, եթե $|R| \geq T$, որտեղ T -ն ոչ բացասական սահման է, իսկ R -ը հաշվարկվում է (2.1)-ին համապատասխան:

Այս դիմակի իմաստը կայանում է նրանում, որ տվյալ կետում հաշվարկվում է փիքսելի տարբերությունը իրեն շրջապատող բոլոր հարևան փիքսելներից: Այս արժեքի մեծ լինելու դեպքում ընդունվում է, որ տվյալ կետում առկա է պայծառության խզվածություն: Նկատենք, որ դիմակում գործակցիցների գումարը հավասար է զրոյի, հետևաբար համասեռ պայծառությամբ տեղամասերում այն կտա զրոյական արդյունք: Այլ կերպ ասած, համասեռ պայծառությամբ տեղամասում գտնվող կետը չի հայտնաբերվի տվյալ դիմակի կիրառման դեպքում:

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Նկ. 2.2 Կետերի հայտնաբերման դիմակ:

Գոյություն ունեն նաև կետերի հայտնաբերման այլ բազմաթիվ մեթոդներ, որոնք նկարագրված են [33]-ում:

Պայծառության խզման գծերի հայտնաբերում: Նկ. 2.3-ում պատկերված են խզվածության գծերի հայտնաբերման համար նախատեսված հորիզոնական և ուղղահիգ դիմակները:

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

ա

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

բ

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

գ

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

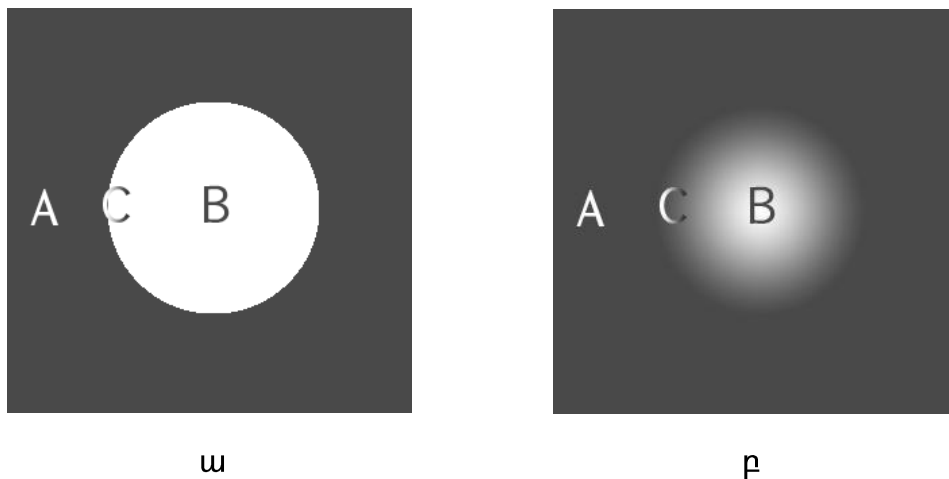
դ

Նկ. 2.3 Գծերի հայտնաբերման դիմակներ.

ա) հորիզոնական, բ) $+45^\circ$, գ) հորիզոնական, դ) -45° :

Առաջին դիմակի (Նկ. 2.3ա) սահման ընթացքում կընդգծվեն մեկ փիքսել հաստությամբ հորիզոնական գծերը, ընդ որում, եթե ֆոնի պայծառությունը համասեռ է, մաքսիմալ արդյունքը կլինի գծի՝ դիմակի կենտրոնով հորիզոնական անցման դեպքում: Նմանապես, երկրորդ դիմակը (Նկ. 2.3բ) հայտնաբերում է այն գծերը, որոնք պատկերում անցնում են $+45^\circ$ անկյամբ, երրորդ դիմակի (Նկ. 2.3գ) դեպքում՝ ուղղահիգ գծերը, չորրորդ դիմակի (Նկ. 2.3դ) դեպքում՝ -45° անկյամբ գծերը:

Պայծառության փոփոխության հայտնաբերում: Ի տարբերություն կետերի և գծերի հայտնաբերմամբ մեթոդների, պայծառության փոփոխության հայտնաբերման մոտեցմամբ մեթոդները ավելի լայն տարածում ունեն պատկերների հատվածավորման խնդիրների լուծման համար: Պայծառության փոփոխությունը պատկերի երկու տարբերվող տեղամասերի միջև փիքսելների բազմության համախումբն է: Պայծառության իդեալական շրջագծային փոփոխությունը այն կապված փիքսելների բազմությունն է, որոնցից յուրաքանչյուրը դասավորված է պայծառության թռիչքի հարևանությամբ [33, 64, 66]: Իդեալական դեպքում այն ունի Նկ. 2.4ա-ում պատկերված տեսքը: Գործնականում պատկերներում առկա են լինում պայծառության փոփոխություն աղոտ հատվածներ (Նկ. 2.4բ), որոնք պայմանավորված են բազմաթիվ գործոններով, ինչպիսիք են, օրինակ, լուսանկարահանող սարքերի ոչ կատարյալ լինելը, օպտիկական սահմանափակումները, պատկերում ինֆորմացիայի տեսակը և այլն: Նկ. 2.4-ում բերված պատկերներում մուգ պայծառությամբ տեղամասը նշանակված է A-ով, բաց պայծառությամբ տեղամասը՝ B-ով, իսկ դրանց միջև անցման տեղամասը՝ C-ով:



Նկ. 2.4 Պատկերներում պայծառությունների փոփոխություններ
 ա) իդեալական, բ) աղրտված:

Այդ դեպքում պատկերի ձախ կողմից դեպի շրջանի կենտրոն շարժման ընթացքում առաջին կարգի ածանցյալն ունի խզվածություն՝ A և B տեղամասերում, դրական արժեք՝ պայծառության C տեղամասում և հավասար է զրոյի համասեռ պայծառությամբ տեղամասերում: Երկրորդ կարգի ածանցյալը AC հատվածում դրական է, CB

հատվածում՝ բացասական և հավասար է զրոյի A և B տեղամասերում: Պայծառության հակառակ փոփոխության դեպքում (բացից մուգ) ածանցյալները կունենան հակառակ նշաններ: Կարելի է եզրակացնել, որ առաջին կարգի ածանցյալի արժեքը թույլ է տալիս հայտնաբերել պատկերի յուրաքանչյուր կետում պայծառության փոփոխությունը, իսկ երկրորդ կարգի ածանցյալի արժեքը՝ որոշել, թե C տեղամասում գտնվող փիքսելը պատկանում է դրա մուգ թե բաց տեղամասին:

Անհրաժեշտ է հաշվի առնել, որ պայծառության փոփոխությունների հայտնաբերման ընթացքում նույնիսկ ամենափոքր աղմուկը կարող է ազդեցություն ունենալ առաջին և երկրորդ կարգի ածանցյալների վրա: Գործնականում, պատկերներում աղմուկների առաջացման հավանականության դեպքում, ածանցյալների հաշվարկից առաջ կարելի է իրականացնել պատկերի հարթեցման գործողություններ [70]:

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

ա

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

բ

Նկ. 2.5 Սորելի և Պրեվիտի օպերատորների դիմակները

ա) Սորելի , բ) Պրեվիտի :

Պատկերի կետը համարվում է *խզման կետ*, եթե դրա երկրորդ կարգի ածանցյալը գերազանցում է նախօրոք որոշված շեմը: Այդպիսի կետերի համախումբը իրենից ներկայացնում է *պայծառությունների փոփոխություն*: Պայծառությունների տարածական փոփոխությունն անվանում են *շրջագիծ*:

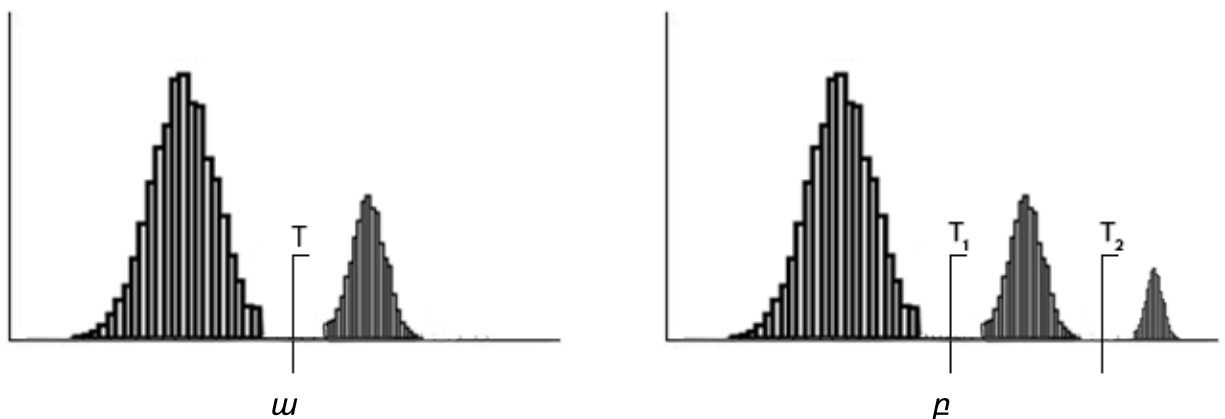
Պատկերում առաջին կարգի ածանցյալները հաշվարկվում են գրադիենտի օգնությամբ, իսկ երկրորդ կարգի ածանցյալները՝ Լապլասի օպերատորի:

Գործնականում դիսկրետ գրադիենտների հաշվարկի համար օգտագործում են Սոբելի և Պրեվիտի օպերատորները [33] (Նկ. 2.5): Նշենք, որ վերջին տարիներին առաջարկվել են դիսկրետ պատկերների ածանցյալների հաշվարկման նոր մեթոդներ, որոնք հիմնված են Ֆուրյեի անընդհատ դիսկրետ ընդլայնումների և կոսինուսային ձևափոխությունների վրա:

2.1.2 Շեմային մշակման մեթոդներ

Շեմային մշակումը նույնպես համարվում է պատկերների հատվածավորման գլխավոր մոտեցումներից մեկը և կիրառվում է վաղուց ի վեր: Այն առավելապես օգտագործվում է խնդիրներում, որտեղ արագագործությունն առաջնային է [33]:

Դիտարկենք պատկեր, որում առկա է մուգ գույներով ֆոնի վրա բաց գույներով օբյեկտ: Դրա հիստոգրամը կունենա Նկ. 2.6-ում պատկերված տեսքը: Պատկերում օբյեկտը ֆոնից անջատելու համար անհրաժեշտ է ճիշտ որոշել այն շեմը, որը կբաժանի հիստոգրամի պայծառության մոդերը:



Նկ. 2.6 Պայծառությունների հիստոգրամներ տրոհման շեմերով
 ա) մեկ շեմով, բ) երկու շեմով:

Նշանակենք պատկերի բնութագրիչ ֆունկցիան $f(x,y)$ -ով, իսկ օբյեկտը ֆոնից բաժանող շեմը T -ով: Ցանկացած (x,y) կետ, որի համար $f(x,y) > T$ համարվում է օբյեկտին պատկանող, իսկ հակառակ դեպքում՝ ֆոնին պատկանող:

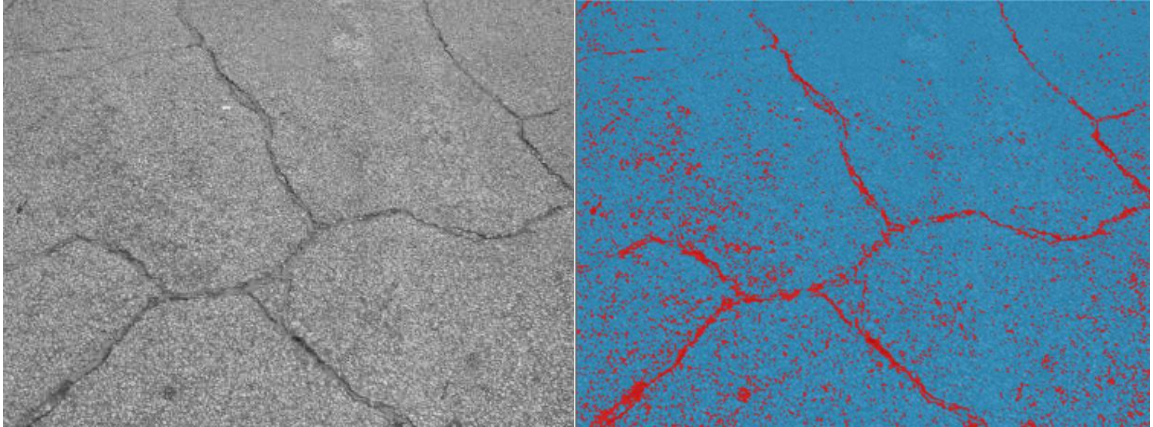
Հիստոգրամում կարող են առկա լինել նաև երկուսից ավել մոդեր (Նկ. 2.6բ): Դա կարող է լինել, օրինակ, այն դեպքում, երբ պատկերում մուգ ֆոնին առկա են տարբեր պայծառությամբ բաց գույներով երկու տիպի օբյեկտներ: Այս դեպքում,

բազմամակարդակ շեմային ձևափոխությունների կիրառմամբ (x,y) կետը դասակարգվում է որպես ֆոնին պատկանող, եթե $f(x,y) \leq T_1$, առաջին օբյեկտին պատկանող՝ եթե $T_1 < f(x,y) < T_2$, երկրորդ օբյեկտին պատկանող՝ եթե $f(x,y) > T_2$: Շեմային ձևափոխությունը կարելի է դիտարկել որպես գործողություն, որի ընթացքում իրականացվում է T ֆունկցիայի հետ համեմատում: T -ն կարող է ներկայացվել հետևյալ տեսքով՝

$$T = T(x, y, p(x, y), f), \quad (2.2)$$

որտեղ f -ը պատկերն է, $p(x,y)$ -ը բնութագրում է պատկերի (x,y) կետի որոշ հատկություններ(օրինակ՝ այդ կետի շրջակայքում պայծառության միջինը): Եթե T շեմի արժեքը կախված է միայն f -ից, այնպիսին նույնն է պատկերի բոլոր փիքսելների համար, ապա շեմը կոչվում է գլոբալ: Եթե T -ի արժեքը կախված է x և y կոորդինատներից, ապա այդ շեմը կոչվում է *լոկալ* կամ *դինամիկ*, իսկ $f(x,y)$ -ից կախվածության դեպքում՝ ադապտիվ: Պետք է նշել, որ նույնիսկ «լավ» հիստոգրամների հետազոտման դեպքում բազմամակարդակ շեմային մշակումը բարդ խնդիր է, քանի որ շեմերի որոշումը միանշանակ չէ: Այսպիսի խնդիրների լուծման ընթացքում կարևոր դեր է խաղում նաև կետերի կապվածությունը, հետևաբար մեկից ավելի շեմերի կիրառմամբ հատվածավորման խնդիրները ավելի նպատակահարմար է լուծել տեղամասերի աճեցման եղանակով:

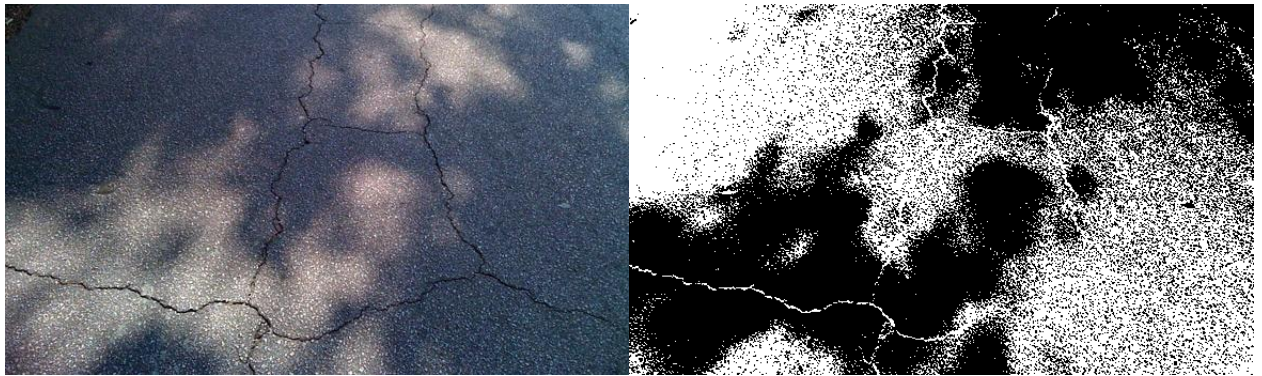
Գլոբալ շեմով մշակում: Շեմային մշակման պարզագույն եղանակը հիստոգրամի բաժանումն է երկու մասի՝ T շեմով: Դրանից հետո հատվածավորումն իրականացվում է պատկերի յուրաքանչյուր էլեմենտի տեսաձրման միջոցով, որի ընթացքում պատկերի յուրաքանչյուր փիքսել դասակարգվում է, որպես ֆոնին կամ օբյեկտին պատկանող՝ կախված թե դրա պայծառությունը մեծ է T արժեքից թե ոչ [33, 64, 66]: Այս մեթոդի կիրառման արդյունավետությունը կախված է նրանից, թե ինչքանով է պատկերի հիստոգրամը «լավ» բաժանելի: Տեխնիկական խնդիրներ լուծելիս, երբ տեսանկարահանման պայմանները կառավարելի են, այս մեթոդը բավական արդյունավետ է, քանի որ կա հնարավորություն փոփոխել նկարահանման պարամետրերը խնդրի պահանջներին համապատասխանեցնելու նպատակով (օրինակ՝ լուսավորվածությունը):



Նկ. 2.7 ՃԾ հատվածավորված պատկեր:

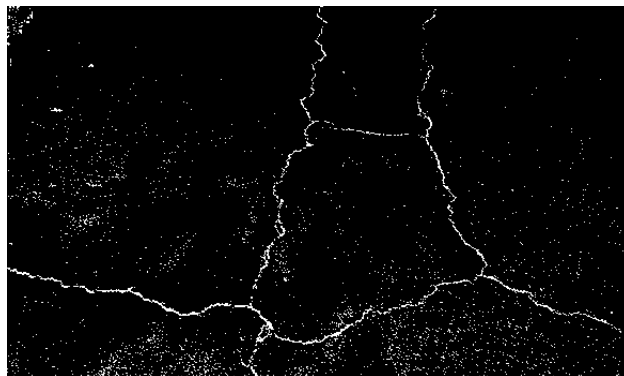
Նկ. 2.7-ում պատկերված է գլոբալ շեմով հատվածավորված ՃԾ պատկեր: Այս պատկերի՝ նման եղանակով հատվածավորման արդյունքում ստացվում են ընդունելի արդյունքներ, սակայն, որոշ տեղամասերում առկա են ճեղքի հատվածների տրոհումներ, իսկ հատվածավորման շեմի բարձրացման դեպքում ճեղքին հարակից փոքր հատվածները կձգտեն միանալ ճեղքին: Հետևաբար, գլոբալ շեմով հատվածավորման դեպքում անհրաժեշտ է ընտրել գլոբալ շեմի օպտիմալ արժեք:

Ադապտիվ շեմով մշակում: Երբ պատկերում առկա է, օրինակ, ոչ համաչափ լուսավորություն, պատկերի հիստոգրամի բաժանումը մեկ ընդհանուր (գլոբալ) շեմով դառնում է անհնար: Նման դեպքերում պատկերը բաժանում են ենթատեղամասերի, որոնցից յուրաքանչյուրի հատվածավորման համար օգտագործվում է սեփական շեմի արժեքը [63, 66, 67]: Նման մոտեցման հիմնական խնդիրներն են նախնական պատկերի բաժանման եղանակի որոշումը և բաժանված յուրաքանչյուր տեղամասի համար հաշվարկված շեմի գնահատումը: Քանի որ յուրաքանչյուր փիքսելի համար կիրառվող շեմը կախված է տվյալ փիքսելն ընդգրկող ենթատեղամասի բնութագրերից, այսպիսի շեմային ձևափոխությունն անվանվում է ադապտիվ: Ոչ համաչափ լուսավորությամբ պատկերներ մշակման դեպքում նման եղանակով պատկերը բաժանվում է առանձին տեղամասերի, որոնց սահմաններում լուսավորությունը կլինի գրեթե համաչափ: Արդյունքում, ի տարբերություն գլոբալ շեմով մշակման եղանակի, ստացվում է հատվածավորման ավելի ճշգրիտ արդյունք:



ա

բ



գ

Նկ. 2.8 Ոչ համասեռ լուսավորությամբ պատկերի հատվածավորում.

ա) նախնական պատկեր, բ) գլոբալ շեմով հատվածավորում, գ) ադապտիվ շեմով հատվածավորում:

Նկ. 2.8-ում պատկերված է ոչ համասեռ լուսավորությամբ ճԾ պատկերի հատվածավորման գլոբալ (ա) և ադապտիվ (բ) շեմով հատվածավորված պատկերներ: Ինչպես երևում է պատկերներից, ի տարբերություն գլոբալ շեմով հատվածավորման եղանակի, ադապտիվ շեմով հատվածավորման արդյունքում ճեղքի հատվածները գրեթե չեն տրոհվել, հետևաբար, տվյալ դեպքում հատվածավորման այս մեթոդն ունի առավելություններ:

2.1.3 Տեղամասային հատվածավորում

Եթե պատկերի զբաղեցրած ամբողջ տեղամասը նշանակենք R -ով, ապա հատվածավորումը կարելի է դիտարկել, որպես R -ի բաժանում n

ենթատեղամասերի՝ R_1, R_2, \dots, R_n , այնպես, որ բավարարվեն հետևյալ նախապայմանները [33]

$$1) \bigcup_{i=1}^n R_i = R;$$

$$2) R_i \text{-ն համարվում է կապակցող տեղամաս, } i = 1, 2, \dots, n;$$

$$3) R_i \cap R_j = \emptyset, \text{ բոլոր } i, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$4) P(R_i) = TRUE, \text{ եթե } i, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$5) P(R_i \cup R_j) = FALSE, \text{ եթե } i \neq j,$$

որտեղ $P(R_i)$ -ն R_i կետերի բազմության համար սահմանված պայման է:

(1) նախապայմանը ցույց է տալիս, որ հատվածավորումը պետք է լինի ամբողջական, այսինքն, յուրաքանչյուր փիքսել պետք է ընդգրկված լինի հատվածներից որևէ մեկում:
(2) նախապայմանը պահանջում է, որ տեղամասի կետերը պետք է կապված լինեն նախապես տրված որոշակի ձևով:
(3) նախապայմանը ցույց է տալիս, որ հատվածները չպետք է հատվեն միմյանց հետ:
(4) նախապայմանը վերաբերվում է միևնույն հատվածին պատկանող փիքսելներին: Օրինակ, $P(R_i) = TRUE$, եթե R_i հատվածում բոլոր փիքսելներն ունեն պայծառության միևնույն արժեքը:
(5) նախապայմանը ցույց է տալիս, որ ցանկացած R_i և R_j տեղամասեր պետք է տարբեր լինեն: Հատվածների բաժանման տվյալ եղանակը և առաջադրված նախապայմանները ունեն ընդհանուր բնույթ և կարող են կիրառվել նաև հատվածավորման այլ եղանակներում:

Տեղամասերի աճեցում: Տեղամասերի աճեցումն (region-growing) իրենից ներկայացնում է ընթացակարգ, որը նախապես սահմանված չափանիշներով իրականացնում է փիքսելների և ենթատեղամասերի խմբավորում՝ դրանք վերածելով ավելի մեծ տեղամասերի [33, 54]: Նախապես ընգծվում է այն փիքսելների բազմությունը, որոնք կատարում են կապակցող դեր, այնուհետև, դրանց վրա աճեցվում են դրանց բնութագրերին համապատասխանող (օրինակ՝ ունեն գույնի կամ պայծառության համապատասխան սպեկտրին պատկանող արժեք) փիքսելներով հարևան տեղամասերը: Տեղամասերի աճեցման հիմնական խնդիրը կայանում է տվյալ ընթացակարգի կանգնեցման որոշման մեջ: Ընթացակարգը պետք է կանգնեցվի, եթե պատկերում այլևս չեն մնում տվյալ տեղամասի չափանիշներին համապատասխանող

«ազատ» փիքսելներ: Լոկալ չափանիշները, ինչպիսիք են պայծառությունը, գույնը կամ տեքստուրան, հաշվի չեն առնում աճեցման «պատմությունը»: Ալգորիթմը կարելի է բարդացնել, ավելացնելով այլ չափանիշներ, օրինակ՝ սահմանել աճեցվող տեղամասի չափսերի և ձևերի տեսակները:

2.2 Պատկերի հիերարխիկ կոհերենտ հատվածավորման մեթոդը

Ինչպես նշվեց նախորդ ենթագլխում, հատվածավորման էֆֆեկտիվ արդյունքը կախված է լուծվող խնդրի պայմաններից: Ատենախոսությունում կիրառվում է հիերարխիկ կոհերենտ հատվածավորման մեթոդը [71], որն իրենից ներկայացնում է հիերարխիկ հատվածավորման [72] կատարելագործված տարբերակ: Այս մեթոդի կիրառմամբ պատկերը տրոհվում է միմյանց հետ չհատվող հատվածների, որոնց փիքսելներն ունեն նույն միջակայքին պատկանող ինտենսիվության արժեքներ, և ներմուծվում է չափանիշ, որը թույլ է տալիս գնահատել հատվածավորման որակը: «Կոհերենտ» տերմինը վերցված է ֆիզիկայից: Օրինակ, կոհերենտ են անվանում այն ալիքները, որոնց փուլերի տարբերությունը չի փոխվում ժամանակի ընթացքում: Պատկերների մշակման տեսության մեջ «կոհերենտությունն» ունի մի քանի նշանակություն: Եթե դիտարկվում է մեկ պատկեր, ապա «կոհերենտ մշակումը» ենթադրում է ֆիքսված եղանակով կամ ֆիքսված նախնական պարամետրերով մշակում, ինչպես նաև դիտարկվող տեղամասում մի քանի գործողությունների համաժամանակյա կիրառում: Օրինակ, տեղամասերի աճեցմամբ հատվածավորման ընթացքում հատվածների միաժամանակ ստացում ամբողջ պատկերում: Իսկ մեկից ավելի պատկերների հաջորդականության դիտարկման դեպքում կոհերենտությունը տարածվում է ամբողջ հաջորդականության վրա:

Հատվածավորման տվյալ եղանակն անվանվել է «կոհերենտ», քանի որ պատկերների վերլուծության ընթացքում հատվածավորման սկզբունքը և դրա պարամետրերը չեն փոփոխվում: Այդ դեպքում ստացվող հատվածները ստացվում են «փոխկապակցված» կամ «կոհերենտ»:

Ստորև բերված է ալգորիթմի նկարագրությունը, որտեղ նշանակումները փոխառնված են [71]-ից:

Դիտարկենք GrayScale(8 bit) ֆորմատով կիսատոնային պատկեր: Դա նշանակում է, որ $N \times M$ չափերով S պատկերը կազմված է $s(x, y) \in \{0, 1, \dots, 255\}$ ինտենսիվություններով փիքսելներից, որտեղ $x = 0, 1, \dots, N; y = 0, 1, \dots, M : S_c$ Փիքսելների տեղամասը համարվում է կապակցված, եթե ցանկացած երկու $A \in S_c$ և $B \in S_c$ փիքսելները կարող են կապակցվել հետևյալ հաջորդականությամբ՝

$$(x_A, x_B), (x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i), (x_{i+1}, y_{i+1}), \dots, (x_B, y_B), \quad (2.3)$$

որոնք նույնպես պատկանում են S_c տեղամասին, ընդ որում, յուրաքանչյուր (x_i, y_i) փիքսել հարևան է նախորդ (x_{i-1}, y_{i-1}) և հաջորդ փիքսելների հետ (x_{i+1}, y_{i+1}) : Եթե S պատկերը հատվածավորվել է ξ ալգորիթմով և դրա արդյունքում ստացվել են S_1, S_2, \dots, S_K հատվածները, ապա

$$1) S = \bigcup_{i=1}^K S_i, \quad i = 1, 2, \dots, K,$$

$$2) S_i \cap S_j = 0, \quad \text{եթե } i \neq j, \quad i, j = 1, 2, \dots, K:$$

Շեմերի համակարգը ներմուծվում է հետևյալ եղանակով: Դիցուք, $0 \leq \theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_{L-1} \leq 255$, որտեղ $\theta_l \in \{0, \dots, 255\}, l = 1, 2, \dots, L-1$: Այդ դեպքում $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{L-1}$ սահմանում են $I_1 = [0, \theta_1], I_2 = [\theta_1 + 1, \theta_2], \dots, I_L = [\theta_{L-1} + 1, 255]$ փիքսելների ինտենսիվությունների փոփոխության ամբողջ դիսյունկտիվ ընդգրկող միջակայքերը: S_c կապակցված տեղամասը անվանվում է ինտենսիվության առաջին մակարդակով լրկալ հատված, եթե S_c տեղամասի բոլոր փիքսելներն ունեն I_1 միջակայքում գտնվող ինտենսիվության արժեք: Շեմային հատվածավորման խնդիրն է տրված շեմերի $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{L-1}$ բազմության համար պատկերում գտնել բոլոր լրկալ հատվածները, որոնցից յուրաքանչյուրը պարունակում է միայն տրված շեմերով սահմանափակված նույն մակարդակի ինտենսիվությամբ փիքսելներ: L շեմերի տարբեր արժեքների դեպքում կարող են ստացվել ոչ միայն հատվածների տարբեր քանակներ, այլև զգալիորեն տարբերվող հատվածներ: Այլ կերպ ասած, շեմային հատվածավորման

դեպքում նույն փիքսելը կարող է հայտնվել տարբեր հատվածներում, որոնք տարբերվում են իրենց պարունակությամբ:

Դիցուք, $S_1, S_2, \dots, S_{K_\xi}$ հատվածները համապատասխանում են ξ հատվածավորման ալգորիթմին, ընդ որում k -րդ հատվածում փիքսելների քանակը կլինի n_k^ξ , $\sum_{k=1}^{K_\xi} n_k^\xi = N \times M$:

$$\overline{W}_k^\xi = \frac{1}{n_k^\xi} \sum_{A \in S_k} W_A^\xi; R_k^\xi = \sum_{A \in S_k} (W_A^\xi - \overline{W}_k^\xi)^2, R^\xi = \sum_{k=1}^{K_\xi} R_k^\xi, \quad (2.4)$$

որտեղ W_A^ξ -ն A փիքսելի ինտենսիվությունն է:

R^ξ մեծությունը ξ հատվածավորման ալգորիթմով ստացված հատվածների միօրինակության ցուցանիշն է: Ինչքան փոքր է դրա արժեքը, այնքան հատվածները միօրինակ են: Այս արժեքը հավասարվում է զրոյի, երբ հատվածների քանակը հավասար է պատկերում բոլոր փիքսելների քանակին: Հետևաբար, այս չափանիշի կիրառումը նպատակահարմար է միայն շեմերի քանակների փոփոխման որոշակի սահմաններում:

Կոհերենտ հիերարխիկ հատվածավորման ալգորիթմը բաղկացած է հետևյալ քայլերի հաջորդականությունից [71]`

- 1) Անհրաժեշտության դեպքում իրականացվում է նախնական գտում, որի ընթացքում իրականացվում է պատկերի հարթեցում: Դրա նպատակն է նվազագույնի հասցնել պատկերում առկա փիքսելների փոքր քանակով հատվածները:
- 2) $[0, 255]$ ինտենսիվությունների միջակայքը տրոհվում է երկու մասի՝ θ_1 շեմով: Այսինքն ընդունվում է, որ $L = 2$:
- 3) Ընտրվում է $i = 0; j = 0$ կոորդինատներով փիքսելը: Դիտարկվում են այդ փիքսելի հետ հարևան բոլոր փիքսելները, որոնք ունեն ինտենսիվության համապատասխան միջակայքին պատկանող արժեքը և գրանցվում են դրանց կոորդինատները, որպես լուկալ հատվածին պատկանող փիքսելի կոորդինատներ: Նույնը իրականացվում է նաև հատվածի մյուս բոլոր փիքսելների հետ (փիքսելների դիտարկման հերթականությունը կարևոր չէ),

այնքան ժամանակ, մինչև հերթական դիտարկվող ոչ մի փիքսել չի պատկանում հատվածի ինտենսիվության միջակայքին: Այդ կերպ ձևավորվում է S_1 լոկալ կապակցված հատվածը:

- 4) Ընտրվում է պատկերի հերթական փիքսելը, որը չի պատկանում առաջին հատվածին և դրա համար իրականացվում են երրորդ կետում նշված գործողությունները: Ընդ որում, արդեն առաջին հատվածում դասակարգված փիքսելները չեն դիտարկվում: Այդ կերպ ձևավորվում է S_2 լոկալ հատվածը:
- 5) Չորրորդ կետում նշված գործողություններն իրականացվում են պատկերի մյուս բոլոր փիքսելների համար (բացի արդեն դասակարգվածներից), դրանով իսկ ձևավորելով պատկերի մյուս բոլոր հատվածները:
- 6) (2.4) բանաձևերին համապատասխան հաշվարկվում և գրանցվում է հատվածավորման որակի չափանիշը:
- 7) Ընդունվում է $L=3$ և որոշվում ինտենսիվության երեք գրեթե հավասար ինտերվալ, որոնք տրվում են θ_1, θ_2 շեմերով:
- 8) Նոր ստացված շեմերի համար իրականացվում է 1-6 քայլերի հաջորդականությունը:
- 9) 7-րդ քայլի գործողությունները հաջորդաբար իրականացվում է արժեքների $L=4, 5, \dots, L_{\max}$ համար և նոր ստացված $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{L-1}$ շեմերի համար կրկնվում է 8-րդ քայլը: L_{\max} ընտրությունը կատարվում է կախված խնդրից և պատկերի նախնական մշակումից:

Այսպիսով, նկարագրված ալգորիթմի կիրառման արդյունքում ձևավորվում են K քանակությամբ լոկալ հատվածներ: Ալգորիթմի աշխատանքի ավարտից հետո անհրաժեշտ է հետազոտել $L=2, 3, 4, \dots, L_{\max}$ ինտենսիվությունների միջակայքերի հաջորդական արժեքների R^ξ որակի գործակցի ստացված արժեքները: Վերը նշված հատվածավորման ընթացակարգով ստացված հատվածների քանակը L միջակայքի աճմանը զուգընթաց մեծանում է բավական արագ, հետևաբար կարող է ընդունել շատ մեծ արժեքներ: Անհրաժեշտ է մեթոդ, որը կկանգնեցնի հատվածների քանակի անվերջ աճը: Որպես այդպիսի մեթոդ կարող է հանդիսանալ միջակայքերի այնպիսի քանակի

որոշումը, որի հետագա մեծացումը չի բերի հատվածների միօրինակության զգալի մեծացման:

Այստեղ անհրաժեշտ է նշել հետևյալը: Վերը նկարագրված հատվածավորման ալգորիթմը կիրառելի է նաև գունավոր պատկերների համար: Առաջ անցնելով նշենք, որ ատենախոսության շրջանակներում մշակված ավտոմատացված համակարգում իրականացված է հենց այս ալգորիթմը, ի նկատի ունենալով հետագայում համակարգը կիրառել ճԾ գունավոր պատկերների համար:

2.3 Բինարացման մեթոդներ

Բինարացումը դա պայծառության 256 մոխրագույն մակարդակ պարունակող կիսատոնային պատկերի կերպափոխումն է սև և սպիտակ փիքսելներով պատկերի: Բինարացման նպատակն է՝ պատկերում առկա օբյեկտները զատել պատկերի ֆոնից:

Տվյալ աշխատանքում, որպես օբյեկտ դիտարկվում են ճԾ-ի արատները, իսկ որպես ֆոն՝ ճԾ տեքստուրան: Բինարացման լավ արդյունք ստանալու համար անհրաժեշտ է ճիշտ ընտրել բինարացման շեմը, որից բարձր արժեքների դեպքում փիքսելը կստանա սպիտակ (255), իսկ ցածրի դեպքում՝ սև (0) գույնին համապատասխան ինտենսիվության արժեք:

Եթե $g(x, y)$ -ը $f(x, y)$ -ի բինարացված տարբերակն է, ապա՝

$$g(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{եթե } f(x, y) \geq T \\ 0, & \text{հակառակ դեպքում} \end{cases} \quad (2.5)$$

Բինարացման իրականացման հիմնական խնդիրը կայանում է նրանում, որ դիտարկվում է միայն ինտենսիվությունը և ոչ մի այլ հատկությունների նմանություն փիքսելների միջև: Դա չի երաշխավորում, որ բինարացման արդյունքում ստացված սև փիքսելները սահմանակից կլինեն: Պատկերում կարող են մնալ մեծ թվով փիքսելներ, որոնք չեն պատկանի մեզ հետաքրքրող հատվածին: Փոփոխելով բինարացման շեմը, մենք կարող ենք ինչպես կորցնել հետազոտվող օբյեկտից փիքսելներ, այնպես էլ ստանալ ավելորդ՝ օբյեկտից դուրս փիքսելներ:

Հաջորդ խնդիրը կայանում է նրանում, որ լուսավորությունը պատկերում կարող է համասեռ չլինել, ինչը կարող է հանգեցնել մուգ հատվածների բարձր ինտենսիվության, և՛ հակառակը: Այդ դեպքերում կարող են կիրառվել բինարացման շեմի որոշման լոկալ մեթոդներ:

Կախված նրանից, թե պատկերում ինչպիսի ինֆորմացիա է մշակվում, բինարացման շեմի որոշման մեթոդները դասակարգվում են վեց դասի[4]: Դրանք են.

1. Հիստոգրամի տեսքի վրա հիմնված մեթոդներ, որտեղ, օրինակ, դիտարկվում են հարթեցված հիստոգրամի գագաթները, հովիտները և կորուսյունները;
2. Խմբավորման վրա հիմնված մեթոդներ, որտեղ մոխրագույն մակարդակները խմբավորվում են երկու դասի՝ ֆոնի և օբյեկտի;
3. Էնտրոպիայի վրա հիմնված մեթոդներ, որոնց ալգորիթմներն օգտագործվում են պատկերում ֆոնի և օբյեկտների զբաղեցրած հատվածների էնտրոպիան, նախնական և բինարացված պատկերների միջև էնտրոպիան և այլն;
4. Օբյեկտների հատկությունների վրա հիմնված մեթոդները, որոնք փնտրում են բինարացված պատկերի և մոխրագույն մակարդակների միջև նմանության չափանիշ, ինչպիսիք են ոչ հստակ ձևի նմանությունները, սահմանների համընկնումը և այլն;
5. Տարածական մեթոդներ, որոնք օգտագործում են փիքսելների միջև բարձր կարգի հավանականության բաշխվածություն կամ (և) կորելյացիա;
6. Լոկալ մեթոդներ, որոնք շեմի արժեքը հարմարեցնում են պատկերի լոկալ բնութագրերին:

Դիտարկենք բինարացման շեմի որոշման ամենատարածված եղանակներից մեկը:

Օթսուի մեթոդը.

Կիսատոնային պատկերի կերպափոխումը սև-սպիտակի լայն տարածված խնդիր է պատկերների մշակման ոլորտում: Օթսուի մեթոդը, որն անվանվել է դրա մշակող Նաբոյուկի Օթսուի պատվին, բինարացման բազմաթիվ ալգորիթմներից մեկն է: Այս մեթոդը հաջորդաբար դիտարկում է բոլոր հնարավոր շեմի արժեքները և հաշվարկում շեմի երկու կողմերում փիքսելների մակարդակների ցրվածքի աստիճանը: Այլ կերպ ասած, այն փիքսելների, որոնք ընկնում են դիտարկվող օբյեկտի, կամ՝ ֆոնի

փիքսելների բազմության մեջ: Դրա նպատակն է գտնել այնպիսի շեմի արժեք, որի դեպքում ֆոնի և օբյեկտի ցրվածքների գումարը մինիմալ կլինի [73]:

Դիցուք, հետազոտվող պատկերի պարունակում է L մոխրագույն մակարդակ՝ $[1, 2, \dots, L]$: Եթե i մակարդակում փիքսելների քանակը նշանակենք n_i , հետևաբար, փիքսելների ընդհանուր քանակը կլինի $N = n_1 + n_2 + \dots + n_i$: Օթսուի մեթոդի կիրառման ժամանակ խնդիրը հեշտացնելու նպատակով մոխրագույն մակարդակների հիստոգրամը նորմալիզացվում է և դիտարկվում է, որպես հավանականությունների բաշխում.

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^L p_i = 1 \quad (2.6)$$

Փիքսելները բաժանվում են երկու դասի՝ C_0 և C_1 (օբյեկտներ և ֆոն, կամ հակառակը), որոնք բաժանված են k շեմով, C_0 -ն արտահայտում է $[1, \dots, k]$ մակարդակներով փիքսելների բազմությունը, իսկ C_1 -ը՝ $[k+1, \dots, L]$: Դասերի պատահարների հավանականությունները և միջինները կլինեն համապատասխանաբար՝

$$\omega_0 = \Pr(C_0) = \sum_{i=1}^k p_i = \omega(k) \quad (2.7)$$

$$\omega_1 = \Pr(C_1) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - \omega(k) \quad (2.8)$$

և

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k i \Pr(i | C_0) = \sum_{i=1}^k i p_i / \omega_0 = \mu(k) / \omega(k) \quad (2.9)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^L i \Pr(i | C_1) = \sum_{i=k+1}^L i p_i / \omega_1 = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)}, \quad (2.10)$$

որտեղ

$$\omega(k) = \sum_{i=1}^k p_i, \quad (2.11)$$

$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i p_i, \quad (2.12)$$

համապատասխանաբար հիստոգրամի զրոյական և առաջին կարգի ընդհանուր մոմենտներն են մինչև k մակարդակ, և

$$\mu_T = \mu(L) = \sum_{i=1}^L i p_i \quad (2.13)$$

նախնական պատկերի միջին մակարդակն է: k -ի ցանկացած արժեքի դեպքում կարելի է հեշտությամբ ստուգել հետևյալ արտահայտությունը.

$$\omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \mu_T, \quad \omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (2.14):$$

Զանգվածների դիսպերսիաները կլինեն՝

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 \Pr(i | C_0) = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 p_i / \omega_0 \quad (2.15)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 \Pr(i | C_1) = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 p_i / \omega_1 \quad (2.16)$$

Սրանք պահանջում են երկրորդ կարգի ընդհանուր մոմենտներ

Ընտրված շեմի «լավ» կամ «վատ» լինելը որոշելու համար (k մակարդակում) պետք է ներմուծել դիսկրիմինանտի հետևյալ չափանիշները.

$$\lambda = \sigma_B^2 / \sigma_W^2, \quad \kappa = \sigma_T^2 / \sigma_W^2, \quad \eta = \sigma_B^2 / \sigma_T^2 \quad (2.17)$$

որտեղ

$$\sigma_W^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \quad (2.13)$$

$$\sigma_B^2 = \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (2.18)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu_T)^2 p_i \quad (2.19)$$

Համապատասխանաբար ներդասային դիսպերսիան, միջդասային դիսպերսիան և մակարդակաների ընդհանուր դիսպերսիաներն են: Այնուհետև խնդիրը դառնում է օպտիմալացման խնդիր՝ այն k շեմի որոշման համար, որը մաքսիմիզացնում է 2.17-ի օբյեկտային ֆունկցիաներից մեկը: k^* օպտիմալ շեմը, որը մաքսիմիզացնում է η -ն, կամ σ_B^2 -ն, ընտրվում է օգտագործելով 2.11 և 2.12՝

$$\eta(k) = \sigma_B^2(k) / \sigma_T^2 \quad (2.20)$$

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]} \quad (2.21)$$

k^* օպտիմալ շեմը կլինի

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{1 \leq k < L} \sigma_B^2(k) \quad (2.22)$$

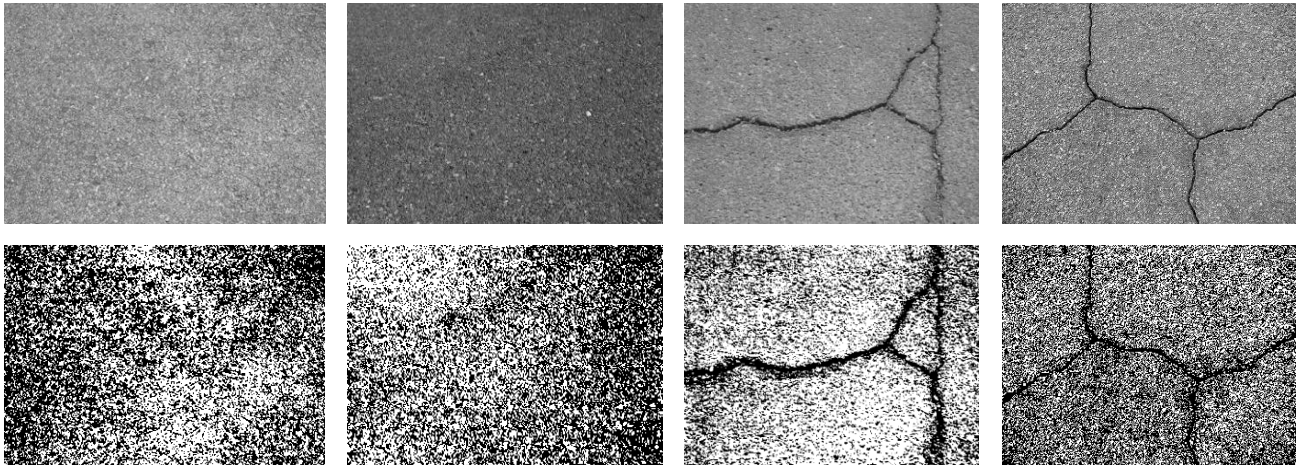
Օթսուի մեթոդով բինարացված պատկերների օրինակները բերված են Նկ. 2.9-ում:



Նկ. 2.9 Օթսուի մեթոդով բինարացված պատկերներ:

Սակայն ճանապարհային ծածկույթների պատկերների դեպքում ճեղքերը չեն բաժանվում պատկերի ֆոնից: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ՃԾ պատկերներում հիստոգրամները միամոդ են, իսկ Օթսույի և շատ այլ հայտնի բինարացման շեմի

որոշման մեթոդներում անհրաժեշտ է, որպեսզի պատկերն ունենա հիստոգրամի մեկից ավել մոդ: Նկ.2.10-ում պատկերված են ճԾ ճեղքեր պարունակող և առանց ճեղքերի պատկերներ և դրանց ՝ Օթսույի մեթոդով հատվածավորված տարբերակները: Ինչպես երևում է ստացված արդյունքից ճեղքերը չեն անջատվում պատկերի ֆոնից, իսկ ճԾ տեքստուրան վերածվում է մեծ չափսերով հատվածների, որոնք անհնար է բաժանել:



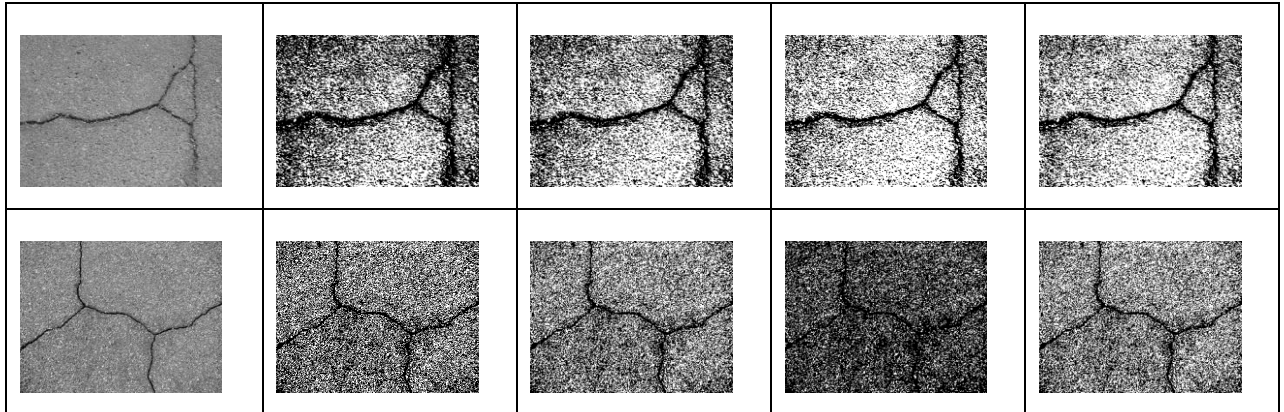
Նկ. 2.10 Օթսույի մեթոդով բինարացված ճԾ պատկերներ:

Աղյուսակ 2.1-ում ներկայացված են այլ, լայն տարածված մեթոդների կիրառմամբ ճԾ բինարացված պատկերներ: Արդյունքները ցույց են տալիս, որ այս մեթոդները նույնպես կիրառելի չեն ճԾ պատկերներից ճեղքերի անջատման և գնահատման խնդրում:

Աղյուսակ. 2.1 ճԾ պատկերների բինարացում այլ հայտնի մեթոդներով:

Նախնական պատկեր	Huang [74]	Mean [75]	MinError [76]	Li [77]

Աղյուսակ. 2.1 *ՃԾ պատկերների բինարացում այլ հայտնի մեթոդներով
(շարունակություն):*



Այսպիսով, ինչպես տեսնում ենք բինարացման տարբեր մեթոդները կարող են բերել միանգամայն տարբերվող արդյունքների: Բազմաթիվ փորձարարական հաշվարկները ցույց են տալիս, որ Օթսուի մեթոդը, թերևս, լավագույնն է մյուսների համեմատ, սակայն, այն լավ է աշխատում, երբ պատկերի հիստոգրամը երկմոդանի է (կամ բազմամոդանի), իսկ ՃԾ թե՛ ճեղքերով, թե՛ առանց ճեղքերի պատկերները հիմնականում միամոդ են: Ուստի այս և մնացած դեպքերում Օթսուի մեթոդը ևս կիրառելի չէ, հետևաբար անհրաժեշտ է կատարել լրացուցիչ հաշվարկներ: Ատենախոսությունում առաջարկվել է բինարացման շեմի որոշման եղանակ, որը կներկայացվի հաջորդ գլխում:

2.4 Պատկերի գրադիենտային դաշտի վերլուծություն

ՃԾ ճեղքերի հայտնաբերման և գնահատման համար կարևոր խնդիր է հանդիսանում նաև վիդեոպատկերների կադրերի հաջորդական վերլուծությունը և ըստ որակի դրանց դասակարգումը: Հաջորդական տեսանկարահանում իրականացնող որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգերում յուրաքանչյուր կադրում

անհրաժեշտ է որոշել, արդյո՞ք այն պարունակում է արատ, թե՛ ոչ: Ատենախոսությունում, ըստ որակի պատկերների դասակարգման նպատակով իրականացվել է պատկերի գրադիենտային դաշտի վերլուծություն: Փորձարկվել և կիրառվել է Վեյբուլի բաշխման պարամետրերի համեմատության վրա հիմնված պատկերների դասակարգման եղանակը [78], այն տարբերությամբ, որ դասակարգման այս եղանակը կիրառվել է բինարացված պատկերների վրա:

Այս մեթոդի կիրառումը հիմնավորվում է նրանով, որ $\Delta\sigma$ ճեղքեր պարունակող և չպարունակող պատկերները կարող ենք դիտարկել որպես տեքստուրաներ: Ինչպես հայտնի է, տեքստուրաների դասակարգումը պատկերների մշակման ոլորտի կարևոր ճյուղերից մեկն է: Դասակարգման նպատակն է անհայտ նմուշի դասակարգումը նախօրոք տրված դասերից որևէ մեկին: Հիմնականում օբյեկտների դասը ներկայացվում է որպես պատկերների բազմություն, որոնք ընտրվել են որոշակի կառուցվածքային կամ ֆորմալ հատկություններով: Այս տեսակի կառուցվածքով պատկերների մշակման հիմնական ընթացակարգերը օգտագործում են դեսկրիպտորներ, որոնք օգտագործվում են պատկերի գրադիենտային դաշտը բնորոշող բնութագրեր: Առաջարկվող դասակարգման մեթոդը ներառում է հետևյալ քայլերի հաջորդականությունը՝

1. Սովորեցնող և փորձարկվող յուրաքանչյուր նմուշի համար հաշվարկվում են Վեյբուլի բաշխման η և σ պարամետրերը: Նշանակենք η_{ij} -ով σ_{ij} -ով սովորեցնող դասերի նմուշների պարամետրերի արժեքները, որտեղ $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2$, ընդ որում, $j = 1$ -ը համապատասխանում է ճեղք չպարունակող, իսկ $j = 2$ -ը ճեղք պարունակող դասերին: Նշանակենք $\bar{\eta}_j$, $\bar{\sigma}_j$ -ով j -րդ դասի նմուշների պարամետրերի համապատասխանաբար միջին և միջին քառակուսային շեղման արժեքները:
2. Փորձարկվող նմուշները դասակարգելու համար կիրառվում է էտալոնների հետ համեմատման մեթոդը, նշված $\bar{\eta}_j$ և $\bar{\sigma}_j$ արժեքները ընդունելով, որպես էտալոնային:

3. Փորձարկվող նմուշի (η, σ) և էտալոնային $(\bar{\eta}_j, \bar{\sigma}_j)$ արժեքները համեմատելու համար հաշվարկվում է նմանության W^2 չափանիշը, ըստ հետևյալ բանաձևի՝

$$W_j^2 = \frac{\min(\eta, \eta_j) \min(\sigma, \sigma_j)}{\max(\eta, \eta_j) \max(\sigma, \sigma_j)}, \quad (2.23)$$

որտեղ η -ն և σ -ն $f(x; \eta, \sigma)$ Վեյբուլի բաշխման պարամետրերն են, որոնք բնութագրում են հետազոտվող պատկերի գրադիենտային մագնիտուդը, իսկ նմուշի պատկանելիությունը որոշվում է j -ի այն արժեքով, որի համար W_j^2 -ն առավելագույնն է, այսինքն՝

$$j_0 = \arg \max_{j=1,2} (W_j^2) \quad (2.24)$$

Յուրաքանչյուր դասի սովորեցնող նմուշների բազմությունների համար հաշվարկվում են $\hat{\eta}_i$ և $\hat{\sigma}_i$ պարամետրերի գնահատականների $\bar{\eta}_i$ և $\bar{\sigma}_i$ միջին արժեքները: Այդ արժեքները պահվում են, որպես էտալոնային՝ փորձարկվող նմուշների հետ հետագա համեմատման համար: Հաշվարկվում են նաև դիտարկվող դասերի յուրաքանչյուր յուրաքանչյուր զույգի միջև W^2 նմանության չափանիշի \bar{W}^2 միջին արժեքը և s_i միջին քառակուսային շեղումը: Այս արժեքները օգտագործվում են նույն սովորեցնող դասին պատկանող պատկերների նմանության աստիճանի գնահատման համար:

ԳԼՈՒԽ ԵՐՐՈՐԴ

ՃԾ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԸՆԹԱՑԱԿԱՐԳԸ

ՃԾ որակի գնահատման համար նախատեսված ավտոմատացված համակարգերում, որոնք կիրառում են թվայնացված պատկերների մշակման ավգորիթմներ, առաջնային գործառույթը պետք է լինի տեսանկարահանման արդյունքում ստացված յուրաքանչյուր կադրից ՃԾ մակերևույթի արատների հայտնաբերումը և գնահատումը: Տվյալ աշխատանքում, ՃԾ արատների հայտնաբերումը, դասակարգումը և որակի գնահատումը իրականացվում է պատկերների մշակման՝ նախորդ գլուխներում նկարագրված մեթոդների կիրառմամբ, որոնք հիմնված են երկակիացման, հատվածավորման ավգորիթմների, պատկերի գրադիենտային դաշտի, ինչպես նաև տվյալների վիճակագրական վերլուծության վրա:

Նախորդ գլուխներում դիտարկված մեթոդների և ավգորիթմների վերլուծությունը բացահայտել է քննարկվող խնդրի լուծման նոր ընթացակարգի մշակման անհրաժեշտությունը: Հիմնական պահանջները, որոնց պետք է բավարարի այդ ընթացակարգը, կարելի է ձևակերպել այսպես.

1. սահմանել ՃԾ որակի գնահատման չափանիշ և դրա որոշման մեթոդ;
2. վերլուծել ՃԾ մակերևույթի պատկերը՝ հաշվի առնելով ոչ միայն փիքսելային ինֆորմացիան, այլև դրա ձևաչափային և կառուցվածքային հատկությունները;
3. մշակել կամ օգտագործել պատկերի կառուցվածքային տարրերի երկրաչափական պարամետրերի գնահատման առավել ճշգրիտ մեթոդներ;
4. կատարել գնահատված պարամետրերի դինամիկ վերլուծություն:

Կան նաև այլ պահանջներ, կապված մշակվող ընթացակարգի կիրառական հարցերի հետ: Օրինակ, կարևոր նշանակություն ունեն կիրառվող տեխնիկական միջոցների աշխատանքային պարամետրերի և ծրագրային համակարգի արագագործության համատեղելիությունը, տեսապատկերների նախնական մշակման մեթոդների արդյունավետությունը, ստացված արդյունքների արտածման և

ցուցադրման հարմարավետությունը և այլն: Սակայն սույն ատենախոսության սահմաններում բոլոր նշված պահանջների լիակատար իրագործումը բարդ և ծավալուն խնդիր է, ուստի մենք հարկադրված ենք հաշտվել որոշ սահմանափակումների հետ և մանրամասնորեն անդրադառնալ միայն այն հարցերին, որոնց գիտական բաղադրիչն առավել մեծ է:

Այս գլխում մշակվել է ՃԾ որակի գնահատման ընթացակարգը, որի բաղադրիչ մասերի մի մասը նկարագրված է նախորդ գլխում, իսկ մյուս մասը նկարագրված է ստորև:

3.1 ՃԾ մակերևույթի որակի գնահատման չափանիշը և մեթոդը

Ինչպես նշվել է առաջին գլխում, ՃԾ մակերևույթի որակի ուսումնասիրություններն ու գնահատման խնդիրները բավականին արդիական են: Տարբեր երկրներում գոյություն ունեն պետական ստանդարտներ, նորմեր և մեթոդական ձեռնարկներ, որոնք օգտագործվում են ճանապարհաշինարարական աշխատանքներ իրականացնող կազմակերպությունների և անձանց կողմից: Ընդ որում, դրանցում ներկայացված որակի չափանիշները բազմաթիվ են և իրենց բնույթով չափազանց տարբեր: Սակայն ՃԾ մակերևույթի որակը բնորոշող պարամետրերը բավականին համաբնույթ են և հանգում են արատների երկրաչափական չափսերին, որոնք բարեբախտաբար, հնարավոր է որոշել մակերևույթի նկարահանման օգնությամբ:

Աղյուսակ 3.1-ում բերված են ճեղքերի ցածր, միջին և բարձր մակարդակների նորմերը [85]: Ինչպես տեսնում ենք, ՃԾ մակերևույթի որակը հիմնականում որոշվում է որպես միավոր մակերևույթին ընկնող զբաղեցրած մակերես: Այդ մեծությունը, արտահատված տոկոսներով, նշանակենք D%:

Այսպիսով, ՃԾ մակերևույթի որակը գնահատելու համար անհրաժեշտ է հնարավորինս մեծ ճշտությամբ որոշել արատների (տվյալ դեպքում՝ ճեղքերի) զբաղեցրած մակերեսը: Հետևաբար, անհրաժեշտ է պատկերում գտնել և անջատել

ճեղքին համապատասխանող փիքսելների տիրույթը: Այն պետք է լինի հատվածի տեսքով, այսինքն դրա փիքսելները ներկայացնեն կապակցված բազմություն:

Աղյուսակ 3.1 1000մ² ծածկույթի արարների թույլատրելի մակարդակներ:

Մակարդակ	Բնութագիր
Ցածր	0,3 - 1,5 մ ²
Միջին	1,5 - 4,5 մ ²
Բարձր	4,5 - 7 մ ²

Պետք է նկատել, որ այս խնդիրը լուծելու համար անհրաժեշտ է կատարել նախ՝ բինարացում, հետո միայն հատվածների որոնում և անջատում: Սակայն արդյունքը էապես կախված կլինի բինարացման շեմից, ինչպես նաև այն բանից, թե պատկերի ո՞ր հատվածներն են իրենցից ներկայացնում ճեղքեր, և որոնք՝ արտեֆակտներ: Գլուխ 2-ում իրականացված բինարացման շեմի որոշման գոյություն ունեցող մեթոդների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ չկա համընդհանուր մեթոդ, որը թույլ կտա որոշել մի շեմ, որի կիրառման դեպքում բինարացված պատկերում կանջատվեն դրանում առկա ճեղքերը: Հետևաբար, ճԾ պատկերներից ճեղքերի արդյունավետ հայտնաբերման խնդիրը պահանջում է երկակիացման ավելի բարդ ընթացակարգ, որը հիմնված կլինի ճԾ տեղային հատկությունների օգտագործման և երկակիացման ու հատվածավորման համապատասխան ալգորիթմների կիրառման վրա: Գրականության մեջ ներկայացված, ինչպես նաև սեփական նկարահանումների արդյունքում ստացված բազմաթիվ պատկերների վրա իրականացված նախնական հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ ճեղքերի՝ պատկերում առկա արտեֆակտներից անջատման համար մեծ նշանակություն ունի դրանց չափսերի հնարավոր հարաբերակցության մասին տեղեկատվությունը: Մասնավորապես, նկատվել է, որ նույնիսկ չափազանց որակյալ ճանապարհային ծածկույթի պատկերների ավտոմատացված բինարացման դեպքում անջատվում են հատվածներ, որոնք բավականին նման են ճեղքերի: Հետևաբար, նման դեպքերում անհրաժեշտություն է առաջանում պատկերը զտել նման հատվածներից:

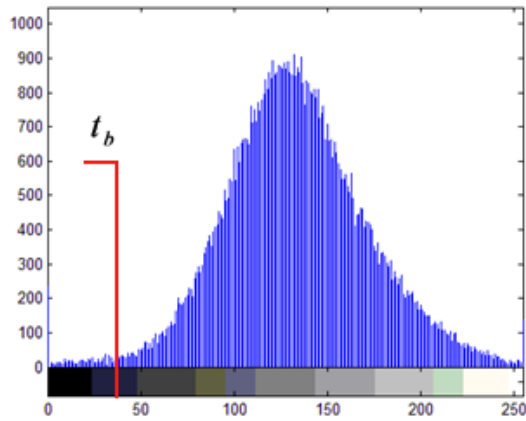
Ատենախոսությունում առաջարկվում է բարդ ընթացակարգ, որը թույլ է տալիս միաժամանակ որոշել բինարացման անհրաժեշտ շեմը, ինչպես նաև որոշել ճեղքերի և արտեֆակտների չափսերի հարաբերակցությունը: Առաջարկվող ընթացակարգը հիմնված է բինարացված պատկերի ամբողջական հատվածավորման վրա, որից ստացվող հատվածների բնութագրերը ենթարկվում են վիճակագրական վերլուծության:

Այսպիսով, ՃԾ պատկերներից ճեղքերի հայտնաբերման և գնահատման նպատակով, առաջարկվում է կատարել քայլերի հետևյալ հաջորդականությունը.

Քայլ 1. Ելնելով ՃԾ կոնկրետ տեսակից, ընտրել համապատասխան նորմը, որն անհրաժեշտ է հսկել: Նշանակենք այդ նորմի մեծությունը α -ով: Քանի որ պատկերում ճեղքերը բնութագրվում են փիքսելների ավելի ցածր ինտենսիվությամբ, առաջարկում ենք ներմուծել α_b ընդհանրացված պարամետր, որը ցույց է տալիս բինարացման արդյունքում՝ դիտարկվող պատկերում մնացող բոլոր «սև» փիքսելների մասը փիքսելների ընդհանուր քանակի մեջ: α_b պարամետրի ներմուծման նպատակն է նախօրոք ֆիքսել այն փիքսելների բազմությունը, որոնք միմյանց հետ կապված լինելով կազմում են պատկերի «սև» հատվածները: Կախված ՃԾ կառուցվածքից, այդ հատվածները հետագայում կդասակարգվեն, որպես ճեղքեր կամ արտեֆակտներ:

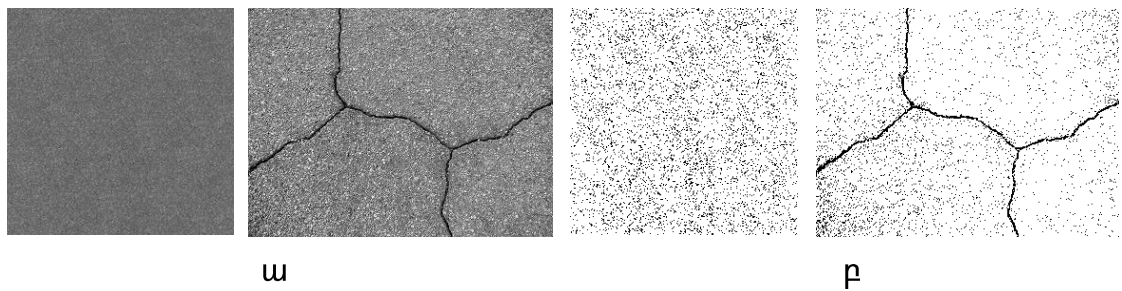
Քայլ 2. Կատարենք բինարացում այնպես, որ «սև» փիքսելների քանակի և պատկերի փիքսելների ընդհանուր քանակի հարաբերությունը հնարավորինս մոտ լինի α_b -ին: Բինարացման այն շեմը, որն ապահովում է α_b -ի տվյալ արժեքը, նշանակենք t_b -ով:

Նշված α_b -ին համապատասխան հաշվարկվում է t_b բինարացման շեմը և իրականացվում է պատկերի բինարացում: Արդյունքում, պատկերում մնում են միայն այն փիքսելները, որոնց ինտենսիվությունների արժեքները փոքր են Նկ. 3.1-ում նշված շեմից: Նկ. 3.1-ում պատկերված է ՃԾ պատկերի ինտենսիվությունների հիստոգրամ և t_b բինարացման շեմը:



Նկ. 3.1 Պատկերի հիստոգրամը և t_b շեմը:

Նկ. 3.2-ում բերված են ճեղք պարունակող և չպարունակող ՃԾ պատկերներ և միևնույն α -ին համապատասխանող բինարացման արդյունքները:



Նկ. 3.2 ՃԾ ճեղք պարունակող և չպարունակող պատկերներ

ա) նախնական պատկերներ, բ) բինարացված պատկերներ:

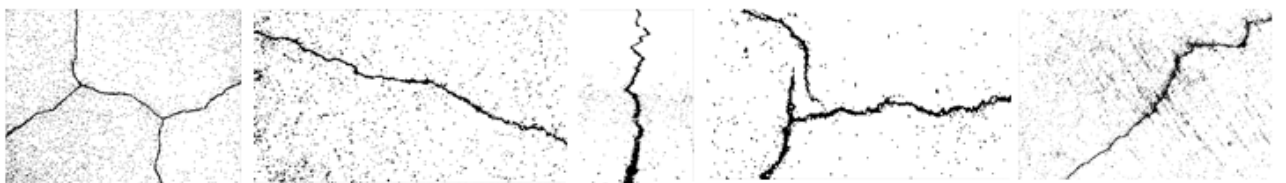
Ինչպես տեսնում ենք, երկու դեպքերում էլ առկա են բազմաթիվ «սև» կետեր, որոնք ճեղքի առկայության պարագայում, նույնիսկ տեսողական վերլուծությամբ, զգալի մաս են կազմում, ուստի ճեղքի իրական հարաբերական մակերեսը (եթե նույնիսկ այն ճշգրտորեն որոշվի) զգալիորեն ավելի փոքր է α -ից:

Քայլ 3. Անհրաժեշտ է կատարել պատկերների դասակարգում, այսինքն որոշել դրանում առկա է ճեղք թե՛ ոչ: Տեսանկարահանման միջոցով ստացված ՃԾ պատկերներում առկա են և՛ ճեղք պարունակող, և՛ չպարունակող կադրեր: Պատկերներում առկա ճեղքերի բնութագրերի գնահատման համար կատարվելիք հետագա քայլերի իրականացման համար անհրաժեշտ է դասակարգել հերթական

կադրը, ինչը թույլ կտա խուսափել ճեղք չպարունակող պատկերների հետագա մշակումից և խնայել մշակվող ավտոմատացված համակարգի ռեսուրսները: Սույն աշխատանքում, առաջարկվում է դասակարգման մեթոդ, որը հիմնված է պատկերի կառուցվածքային բնութագրերի օգտագործման վրա, կապված դիտարկվող երկու տեսակի պատկերների գրադիենտային դաշտերի տարբեր վարքագծերի հետ [78]: Դասակարգումը իրականացվում է բինարացված պատկերներով:

Այս խնդրի լուծման համար նպատակահարմար է հետևել [78]-ում առաջարկված դասակարգման մեթոդին, որը կիրառվում է տեքստուրային պատկերների դասակարգման ժամանակ: Դասակարգումն իրականացվում է (2.23)-ին համապատասխան, այն տարբերությամբ, որ սույն աշխատանքում առաջարկվում է դասակարգումն իրականացնել բինարացված պատկերներով:

Նշված եղանակով դասակարգման փորձնական արդյունքները բերված են հինգերորդ գլխում: Ըստ ստացված արդյունքների, դասակարգման սխալի չափը կազմում է ~ 26%, ինչը թույլ է տալիս դասակարգման տվյալ եղանակը համարել ընդունելի:



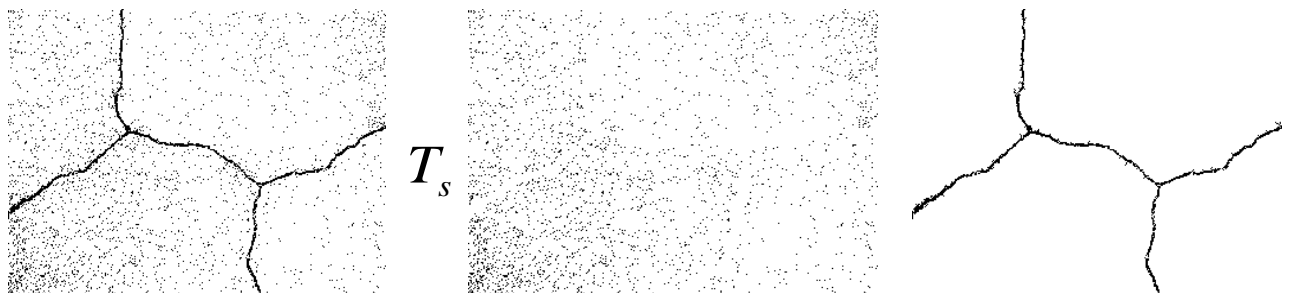
Նկ.3.3 ՃԾ ճեղք պարունակող հատվածավորված պատկերներ:

Քալլ 4. Կատարել պատկերի հատվածավորում և զտում: Պատկերի դասակարգում իրականացնելուց հետո ճեղք պարունակող պատկերներից պետք է իրականացնել ճեղքերի անջատում և որակի համապատասխան բնութագրերի գնահատում: Ճեղք պարունակող բինարացված պատկերներում առկա են ոչ միայն ճեղքերը, այլև ճանապարհային ծածկույթի տեքստուրան բնութագրող հատվածներ (Նկ.3.3): Հետագա հաշվարկների իրականացման համար անհրաժեշտ է պատկերը զտել նշված հատվածներից և պատկերում թողնել միայն ճեղքի հատվածների փիքսելները:

Փորձնական տվյալները ցույց են տալիս, որ ճեղք պարունակող բինարացված պատկերներում, ճեղքերը բնութագրող հատվածների չափսերը զգալիորեն տարբերվում են պատկերում առկա մյուս փոքր հատվածների (արտեֆակտների) չափսերից: Առաջանում է այն T_s շեմի որոշման անհրաժեշտություն, որը կբաժանի պատկերում առկա ճեղքերը արտեֆակտներից: T_s շեմով հատվածավորում իրականացնելուց հետո պատկերը կզուլի փոքր հատվածներից և արդյունքում կստանանք միայն ճեղք պարունակող պատկեր: Բինարացված պատկերում, հատված համարվում է «սև» փիքսելների ցանկացած բազմություն, որոնցից յուրաքանչյուրն ունի գոնե մեկ հարևան փիքսել՝ նույն բազմությունից: Հատվածավորման ընթացքում պատկերում հայտնաբերվում են դրանցում առկա բոլոր «սև» հատվածները, հաշվարկվում են դրանց չափսերը և քանակները:

T_s շեմը ստացված բոլոր հատվածները կբաժանի երկու խմբի՝ ճեղքեր և արտեֆակտներ ներկայացնող հատվածների: Հատվածավորման արդյունքում ստացված տվյալները հնարավորություն են տալիս հաշվարկել հատվածների չափսերի մեզ հետաքրքրող T_s շեմը: Այն կարող է հաշվարկվել տարբեր եղանակներով, կախված խնդրի տարբեր պայմաններից:

Նկ. 3.4-ում պատկերված են բինարացված պատկերում մնացող հատվածները (որոնք իրենցից ներկայացնում են ճեղքեր և արտեֆակտներ) և T_s շեմով հատվածների զտման արդյունքում ստացվող պատկերը, որում առկա են միայն ճեղքերը:



Նկ. 3.4 Պատկերից ճեղքի անջատումը T_s շեմով:

Ատենախոսությունում առաջարկվում է ընտրել T_s մեծությունը համակարգի աշխատանքի նախնական փուլում՝ կարգավորումներն իրականացնելիս: T_s շեմի որոշման առաջարկվող մեթոդը ներկայացված է հաջորդ ենթազրկում:

Քայլ 5. Հաջորդ քայլում, յուրաքանչյուր մշակված կադրի համար իրականացնում ենք պատկերում առկա ճեղքի զբաղեցրած մակերեսի հաշվարկ, հետևյալ բանաձևով՝

$$D\% = \frac{K_{seg}}{N} * 100, \quad (3.3)$$

և որակի պայմանական գործակիցը՝ $Q\% = 100 - D\%$, որտեղ K_{seg} -ը պատկերում մնացած ճեղքերի հատվածների ընդհանուր քանակն է, իսկ N -ը պատկերի բոլոր փիքսելների ընդհանուր քանակը: Նշենք որ, (3.3)-ը չի բնութագրում ճԾ բոլոր տեսակի արատները, սակայն միայն այն հանգամանքը, որ առաջարկվող ընթացակարգը թույլ է տալիս ուսումնասիրել ստացվող բոլոր հատվածները, հնարավորություն է տալիս մշակել ճԾ որակի գնահատման ամբողջական ընթացակարգ:

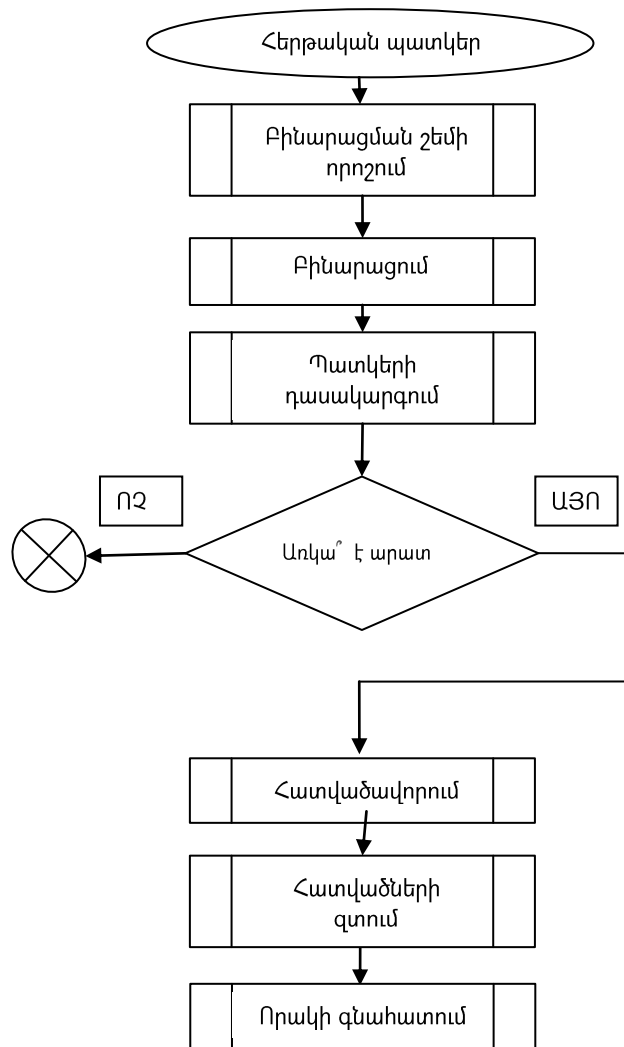
Նկարագրված ընթացակարգը կարելի է ներկայացնել Նկ. 3.5-ում պատկերված բլոկ-սխեմայով:

3.2 Հատվածների դասակարգման T_s շեմի որոշման ալգորիթմը

Նշանակենք $f_1(x)$ -ով արտեֆակտների, իսկ $f_2(x)$ -ով ճեղքերի չափսերի բաշխման խտության ֆունկցիաները: Այդ դեպքում պատկերում նախնական մշակման ենթարկված հատվածի L_s չափսի բաշխման խտության ֆունկցիան կլինի՝

$$f(x) = \beta f_1(x) + (1 - \beta) f_2(x), \quad (3.4)$$

որտեղ β -ն այն բանի հավանականությունն է, որ այդ հատվածը ներկայացնում է արտեֆակտ:



Նկ. 3.5 ՃԾ անշարժ պատկերում արատների հայտնաբերում և գնահատում

Այսպիսով մենք գործ ունենք երկու ազդանշանների տարբերման դասական խնդրի հետ, որի լուծումը արտեֆակտի և ճեղքի դասակարգման համար ունի հետևյալ տեսքը՝

$$S_e - \text{ն ներկայացնում է } \begin{cases} \text{ճեղք, եթե } L_s \geq T_s, \\ \text{արտեֆակտ, եթե } L_s < T_s, \end{cases} \quad (3.5)$$

որտեղ T_s -ը բաժանիչ շեմն է: Պարզ է, որ այս խնդիրը լուծելու համար անհրաժեշտ է ունենալ $f_1(x)$, $f_2(x)$ ֆունկցիաները և β հավանականության արժեքը: Ինչ վերաբերում է $f_j(x)$ խտության ֆունկցիաներին, պետք է նշել հետևյալը: Նախ՝ գրականության մեջ չկան համապատասխան տեղեկություններ այն մասին, թե բաշխման ինչ ֆունկցիաների դասին են դրանք պատկանում: Երկրորդ՝ ճԾ հատկությունները կախված են կիրառվող նյութերից, տեխնոլոգիաներից, շահագործման պայմաններից և այլ գործոններից, որոնք այնքան բազմազան են, որ միասնական մոտեցում այս հարցին առայժմ գոյություն չունի: Ուստի մեզ մնում է փնտրել խնդրի լուծման այլ՝ այդ թվում էվրիստիկ մոտեցումներ և մեթոդներ, որոնք հեշտությամբ իրագործելի են ավտոմատացված համակարգերում կիրառելու համար:

Մոտեցում 1: Այս մոտեցումը ենթադրում է կատարել մեծածավալ չափումներ և հաշվարկներ, փորձելով գտնել վիճակագրական հարմար մոդել՝ մոտարկելու համար արտեֆակտների բաշխման խտության $f_1(x)$ ֆունկցիան: Այդ նպատակով սահմանափակվենք էքսպոնենցիալ ընտանիքին պատկանող որոշ ֆունկցիաներով, որոնք իրագործված են STATISTICA ծրագրային փաթեթում: Դրանք են բազմանդամային, լոգարիթմական, էքսպոնենցիալ և այլն:

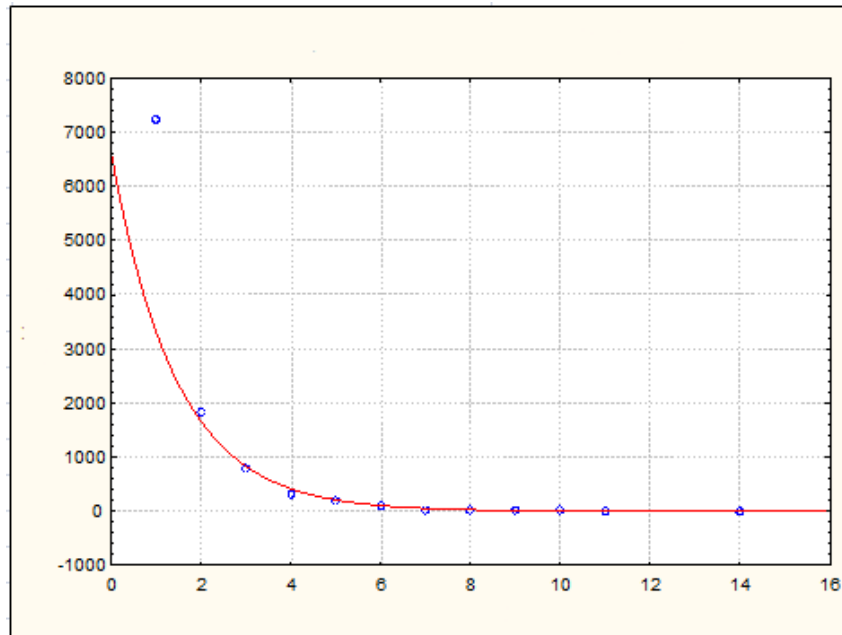
Փորձարարական տվյալները ստանալու համար ընտրվել են տարբեր ճԾ պատկերներ, որոնց օրինակները բերված են Նկ. 3.6-ում:



Նկ. 3.6 ճԾ ճեղք չպարունակող պատկերներ:

Բոլոր ընտրված պատկերները մշակվել են Գլուխ 2-ում նկարագրված մեթոդներով, այսինքն բինարացվել են և հատվածավորվել: Այնուհետև ստացված հատվածների չափսերի էմպիրիկ բաշխման ֆունկցիաները մոտարկվել են STATISTICA ծրագրային փաթեթով՝ վերը նշված ֆունկցիաների օգնությամբ: Պարզվել է, որ բոլոր ֆունկցիաներից շատ թե քիչ բավարար որակով մոտարկում է միայն էքսպոնենցիալ

Ֆունկցիան, ընդ որում, լավ է մոտարկվում միայն բաշխման «պոչը», այսինքն որքան մեծ է հատվածի չափսը, այնքան լավ է մոտարկվում էքսպոնենտայով:



Նկ. 3.7 Հատվածների բաշխվածությունը:

Այս հանգամանքը հնարավորություն է ընձեռում հաշվարկել T_s -ի արժեքը հետևյալ ալգորիթմով:

Դիցուք, ունենք էքսպոնենցիալ կախվածությունը՝

$$f_1(x) = ce^{-\gamma x} \quad (3.6)$$

տեսքով: Ընտրենք T_s շեմը հետևյալ հավասարությամբ՝

$$\int_{T_s}^{\infty} f_1(x) dx = \delta, \quad (3.7)$$

որտեղ δ -ն առաջին սեռի սխալի հավանականությունն է: Լուծելով (3.7) հավասարումը T_s -ի համար ստանում ենք հետևյալ բանաձևը՝

$$T_s = -\frac{1}{\gamma} \ln \frac{\gamma \delta}{c} \quad (3.8)$$

որտեղ δ -ի համար ընդունում ենք փոքր արժեք, օրինակ $\delta = 0.05$, իսկ γ և c պարամետրերը գնահատվում են փոքրագույն քառակուսիների մեթոդով:

Նշենք, որ այս մոտեցումը պահանջում է զգալի մեքենայական ժամանակ, ուստի դրա կիրառումը ավտոմատացված համակարգերում կարող է նպատակահարմար չլինել:

Մոտեցում 2: Այս դեպքում T_s շեմի որոշման գործընթացն անմիջականորեն օգտագործում է էմպիրիկ բաշխման ֆունկցիան:

Դիցուք, ունենք արտեֆակտների չափսերի էմպիրիկ բաշխման ֆունկցիան, այսինքն՝

$$p_1, p_2, \dots, p_n \quad (3.9)$$

հաճախությունների հաջորդականությունը, որտեղ $p_i = h_i/n$, h_i -ն i չափսի հատվածների քանակն է: Աղյուսակում 3.2-ում բերված են Նկ. 3.6-ի առաջին պատկերի հատվածավորման արդյունքները:

Աղյուսակ 3.2 Պատկերի հատվածների չափսերը և դրանց քանակը պատկերում

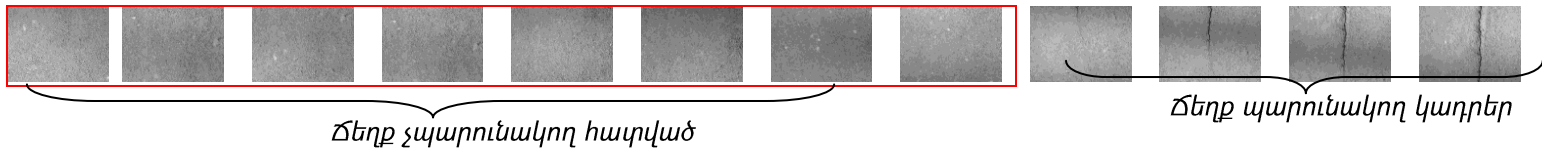
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
h_i	7222	1832	790	321	187	93	28	28	10	7	2	1

T_s շեմը որոշվում է հետևյալ անհավասարությունների համակարգից՝

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{T_s} p_i \leq 1 - \delta \\ \sum_{i=1}^{T_s+1} p_i > 1 - \delta \end{cases} \quad (3.10)$$

Արտեֆակտների և ճեղքերի դասակարգման ալգորիթմը: Վերը նկարագրված մոտեցումներն ապահովում են T_s շեմի ընտրությունը և դրա հիման վրա արտեֆակտների և ճեղքերի դասակարգումը: Եթե տեսահաջորդականության հերթական կադրում ճեղքեր չկան, ապա հայտնաբերված «կեղծ» ճեղքերի չափսերը

փոքր կլինեն և կգտնվեն δ հավանականության սահմանած տիրույթում: Եթե ճեղքեր կան, ապա դրանք կունենան մեծ չափսեր և կարող են համարվել հայտնաբերված: Ուստի մշակվող ավտոմատացված համակարգի աշխատանքի սկիզբ կարող է համարվել տեսահաջորդականության այն հատվածի ընտրությունը, որն ակնհայտորեն ճեղք չի պարունակում: Ասվածը ցուցադրված է Նկ. 3.9-ում, որը պարունակում է տեսահաջորդականության նման հատված:



Նկ. 3.9 Տեսահաջորդականության սկզբնական հատվածի ընտրությունը:

Բերված հաջորդականության նշված կադրերը ճեղքեր չեն պարունակում, ուստի կարող են օգտագործվել T_s շեմը որոշելու նպատակով:

Եզրակացություններ 3-րդ գլխի վերաբերյալ

1. Առաջարկվել է ճեղքերի հայտնաբերման և գնահատման մեթոդաբանություն:
2. Առաջարկվել պատկերի բինարացման շեմի որոշման մեթոդ:
3. Առաջարկվել է պատկերների դասակարգման մեթոդ, որը հիմնված է պատկերների կառուցվածքային հատկությունների և գրադիենտային դաշտի վերլուծության վրա:
4. Առաջարկվել է հատվածավորման և հատվածների չափսերի վերլուծության արդյունքում երկակիացված պատկերում ճեղքի մաս չկազմող արտեֆակտների զտման ընթացակարգ:
5. Առաջարկվել է ՃԾ որակի գնահատման չափանիշ:
6. Ցույց է տրվել նկարագրված մեթոդաբանության կիրառելիությունը համապատասխան ավտոմատացված համակարգերում:

ԳԼՈՒԽ ԶՈՐՐՈՐԴ

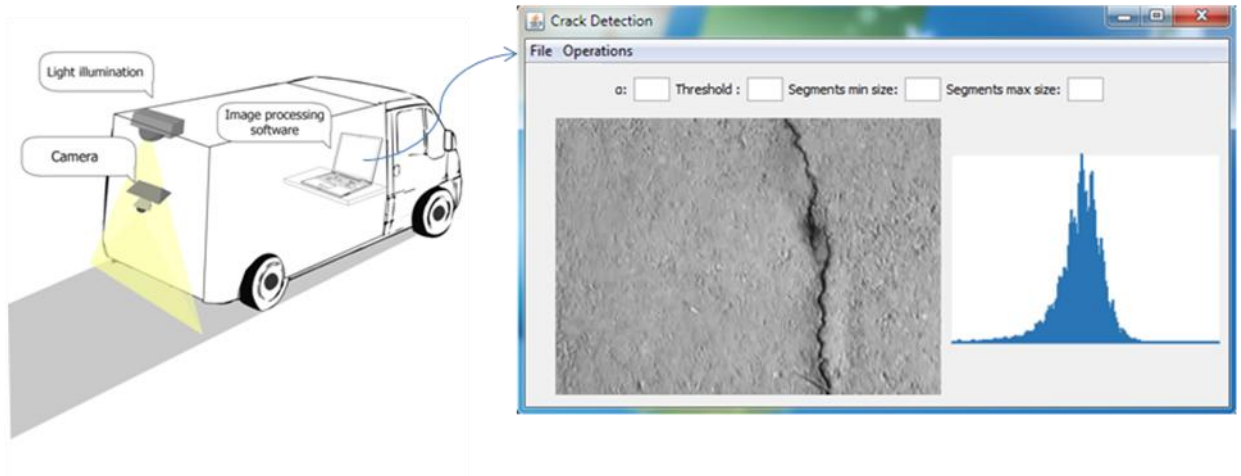
ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԵՎ ՇԱՐԺԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Սույն գլխում նկարագրվում է առաջարկվող թվայնացված պատկերների մշակման կիրառմամբ ավտոմատացված համակարգը և դրա շարժական մոդելը: Առաջարկվող ավտոմատացված համակարգում տվյալների հավաքագրումն իրականացվում է տեսախցիկի միջոցով: Արատների հայտնաբերման ընթացքում չեն կիրառվում հատուկ տվիչներ և ՃԾ որակի գնահատման գործող ավտոմատացված համակարգերում կիրառվող այլ թանկարժեք սարքավորումներ, քանի որ դա չի տեղավորվում ատենախոսական աշխատանքի թեմայում, ինչպես նաև այդպիսի սարքավորումների փորձարկման և կիրառման համար անհրաժեշտ է ձեռք բերել դրանք: Առաջարկվող ավտոմատացված համակարգում արատների հայտնաբերման, դասակարգման և գնահատման նպատակով կիրառվում են նախորդ գլխում առաջարկված թվային մեթոդները և ալգորիթմները: Փորձարարական արդյունքների վրա ցույց է տրված, որ առաջարկվող ավտոմատացված համակարգի կիրառությամբ հնարավոր է իրականացնել ՃԾ-ի որակի հսկում, իսկ ստացված արդյունքները թույլ կտան մշակել համապատասխան հանձնարարականներ ՃԾ որակի հետագա պահպանման նպատակով:

4.1 Ավտոմատացված համակարգը

Առաջարկվող ավտոմատացված համակարգը բաղկացած է երկու հիմնական մասից՝ տվյալների հավաքագրման ու մշակման մեքենայից և արդյունքների պահպանման ու արտապատկերման ծրագրից: Առաջինն իրենից ներկայացնում է հատուկ մեքենա, որի թափքին ամրացված է գերարագ տեսախցիկ և արհեստական լուսավորության համակարգ: Տեսախցիկը միացված է մեքենայում գտնվող

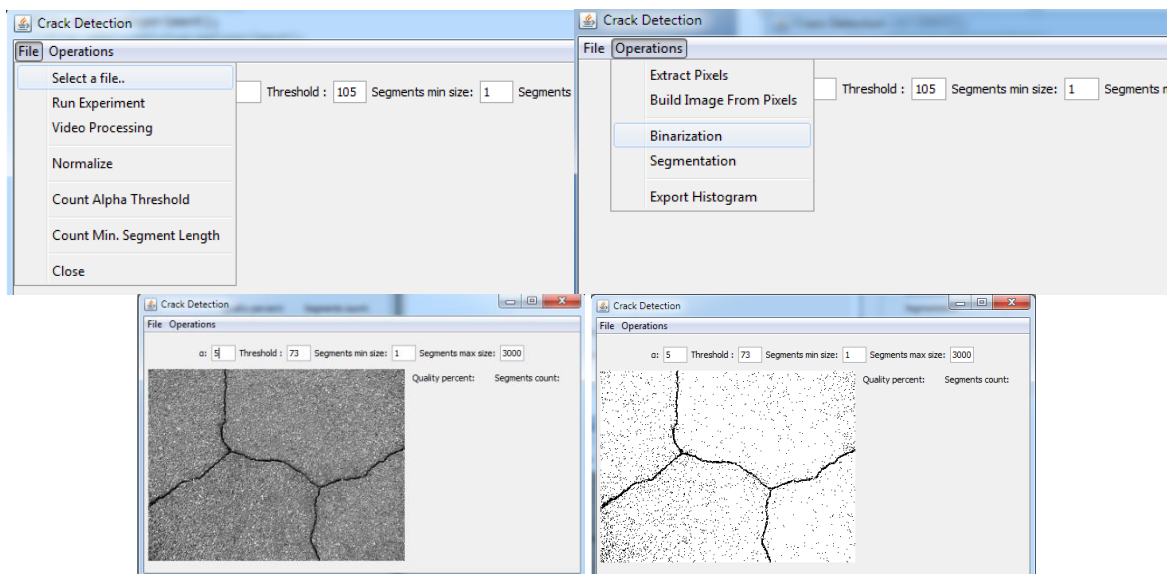
քոմպիյութերի մուտքին, որտեղ մշակված ծրագրային համակարգի միջոցով իրականացվում է ճԾ որակի գնահատում իրական ժամանակում:



Նկ. 4.1 Առաջարկվող ավտոմատացված համակարգը:

Մեր կողմից մշակվել է ավտոմատացված համակարգում աշխատանքի համար նախատեսված ծրագիր (Crack Detection): Մշակված ծրագրային համակարգն աշխատում է տվյալների մշակման հետևյալ ռեժիմներով՝

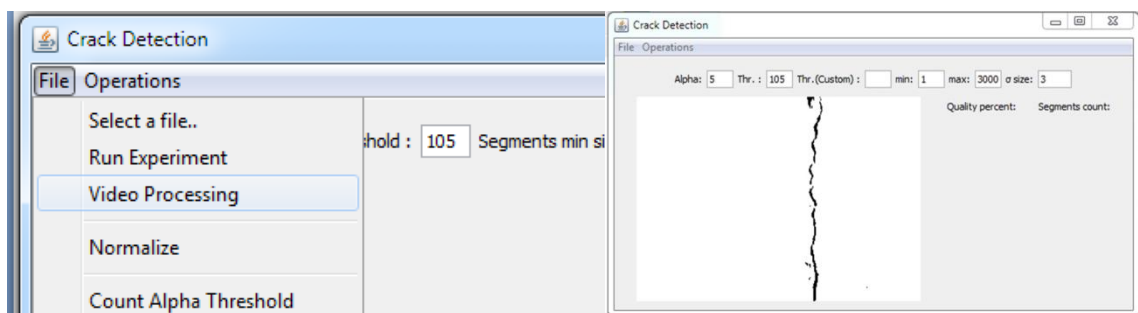
- Անշարժ պատկերների մշակում: Իրականացվում է ճԾ հատվածի լուսանկարահանում (կամ ընտրվում է կոշտ սկավառակից) և իրականացվում են նախատեսված գործողությունները (հրամանները կներկայացվեն հաջորդիվ):



Նկ. 4.2 Անշարժ պատկերների մշակման ռեժիմ

Այս ռեժիմը կարող է օգտագործվել նախօրոք նկարահանված պատկերներից ճԾ տվյալ հատվածի որակի գնահատման նպատակով:

- Տեսանկարահանման պատկերների մշակում: Ծրագրի մուտքին տրվում է իրական ժամանակում տեսանկարահանվող ճԾ հատվածի վիդեո-հաջորդականություն: Կախված տրված հրամաններից, համապատասխան ընթացակարգերը գործադրվում են վիդեո-հաջորդականության յուրաքանչյուր կադրի համար:



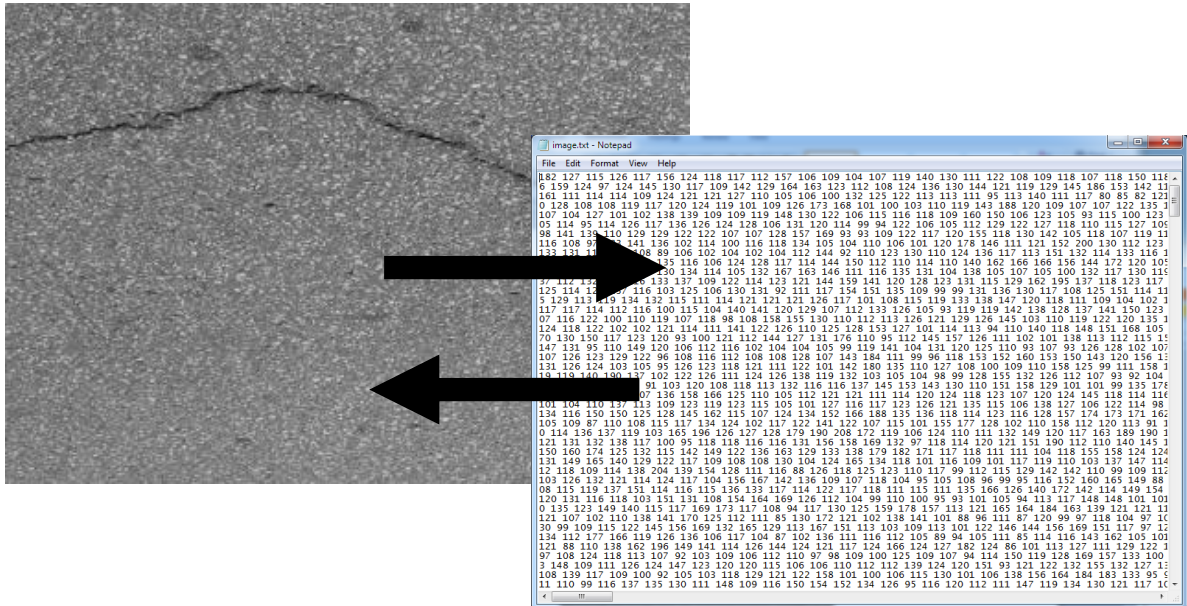
Նկ. 4.3 Տեսանկարահանման պատկերների մշակման ռեժիմ

Ստացված արդյունքների արտապատկերման և իրականացվող ուսումնասիրությունների համակարգման համար վեբ միջավայրում ստեղծվել է ծրագիր: Դա հնարավորություն է տալիս ոչ միայն ունենալ օպերացիոն համակարգից անկախ հարթակ, այլև գտնվելով այլ վայրում, իրական ժամանակում ստանալ որակի գնահատման արդյունքները՝ ինտերնետ կապի միջոցով: Արդյունքների արտապատկերման ծրագիրը հնարավորություն է տալիս բազմաթիվ օգտատերերին միաժամանակ օգտվել դրանից (կներկայացվի հաջորդ ենթագլխերում):

Բացի ճԾ անշարժ և տեսապատկերների մշակման ռեժիմներից ծրագրային համակարգում հնարավորություն է տրվում իրականացնել մի շարք գործողություններ, որոնք ներկայացված են ստորև:

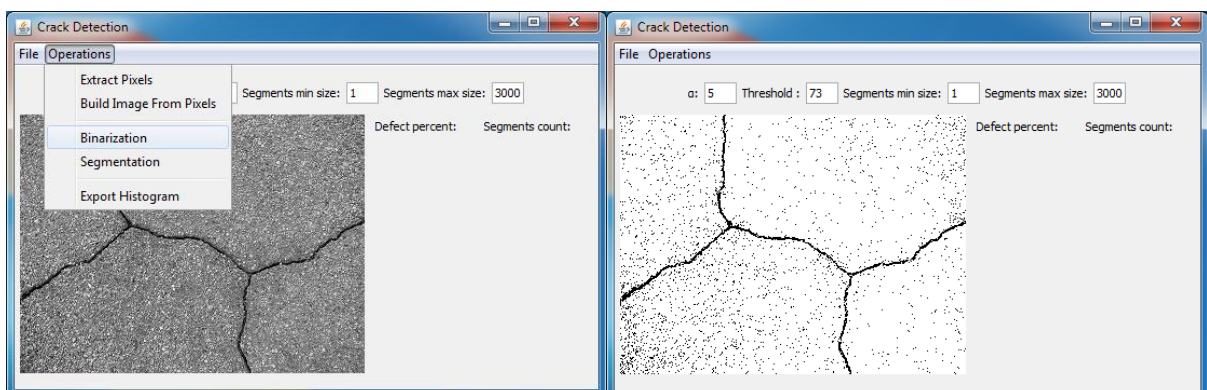
Փիքսելների մատրից: Այս գործողության արդյունքում 256 պայծառության մակարդակ պարունակող 8 բիթանոց մոխրագույն պատկերից անջատվում է փիքսելների մատրից և պահվում ".txt" ֆայլում: Նշենք, որ յուրաքանչյուր փիքսել

ընդունում է 0-255 պայծառության մակարդակի արժեք: Գործողությունը կարելի է հրականացնել "Operations -> Extract pixels" հրամանի միջոցով, իսկ "Build image from pixels" հրամանը կատարում է հակառակ գործողությունը, այն է փիքսելների մատրիցից պատկերի ստացում (Նկ. 4.4):



Նկ. 4.4 Պատկերից փիքսելների անջատման և հակառակ գործողությունները:

Բինարացում: Կոշտ սկավառակից ընտրվում է ճծ պատկեր, որին հաջորդում է բինարացման շեմի ավտոմատացված հաշվարկ՝ α դաշտի արժեքին համապատասխան (ծրագրում α պարամետրի լռելյայն արժեքն է 5):



Նկ. 4.5 Պատկերի բինարացում մշակված ծրագրի միջոցով:

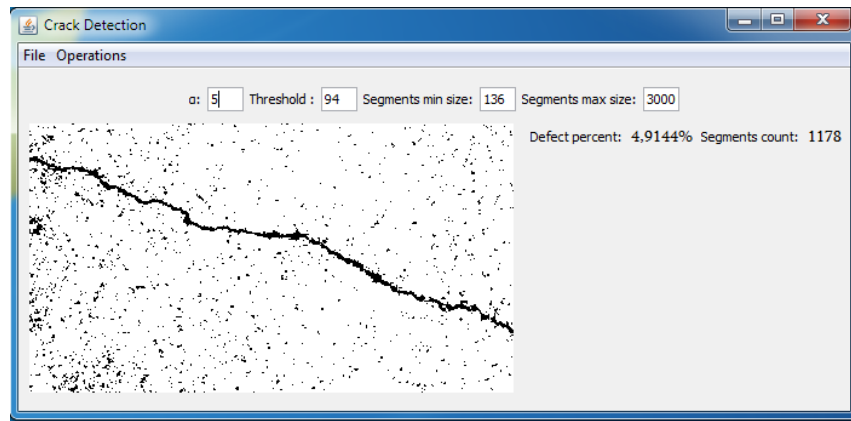
Բացի բինարացման շեմի ավտոմատացված հաշվարկից հնարավորություն է տրվում նաև ձեռքով փոփոխել դրա արժեքը Threshold դաշտի միջոցով: Operations -> Binarization կոճակին սեղմելու արդյունքում ծրագրում արտապատկերվում է պատկերի բինարացված տարբերակը, ինչպես նաև պահպանվում է որպես ֆայլ՝ .bmp ֆորմատով:

Հատվածավորում: Ծրագրային համակարգում հատվածավորումն իրականացվում է բինարացված պատկերում օբյեկտները բաժանելով հատվածների: Գործողության արդյունքում ստեղծվում է segments.xlsx ֆայլը, որը պարունակում է ստացված հատվածների բաշխվածությունը պատկերում, հատվածների միջին չափսը, միջին քառակուսային շեղումը, հատվածների և փիքսելների ընդհանուր քանակը (Նկ. 4.6): "Segments min size" և "Segments max size" դաշտերի արժեքները ցույց են տալիս հատվածավորման արդյունքում պատկերում մնացող հատվածների թույլատրվող համապատասխանաբար մինիմալ և մաքսիմալ փիքսելների քանակով հատվածները: Նշված դաշտերի արժեքները կիրառվում են հատվածների գտման նպատակով

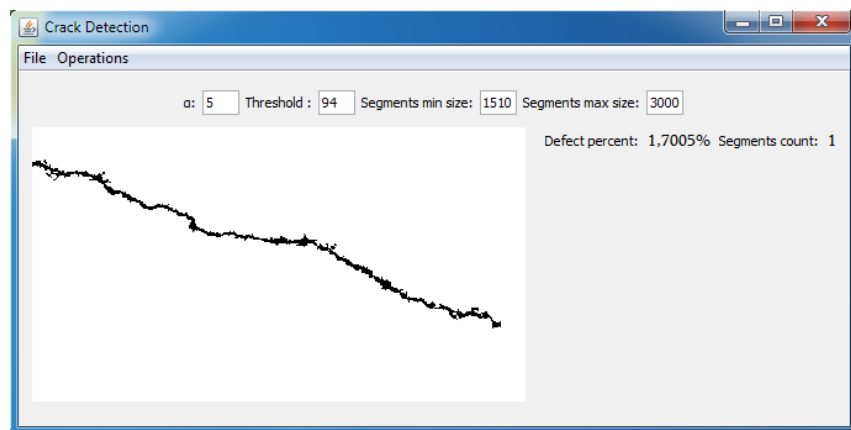
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Segment Size	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	51	87	226	406	818
2	Count	1095	271	109	45	31	16	12	11	4	6	2	1	1	1	1	1	1	1	1
3																				
4																				
5																				
6	Mean	2.678																		
7	Std. Dev.	23.54																		
8	Segm. Count	1610																		
9	Pixel count	97092																		

Նկ. 4.6 Հատվածավորման արդյունքների պահպանումը excel ֆայլում:

Փոքր հատվածների գտում: Իրականացվում է հատվածավորում, որի ընթացքում կիրառվում է ծրագրի միջոցով հաշվարկված T_s հատվածավորման շեմը: Արդյունքում արտապատկերվում է միայն արատներ պարունակող պատկերը, որը զտված է բինարացված պատկերի այն հատվածներից, որոնք չեն պատկանում հայտնաբերված արատներին (Նկ. 4.7):



ա

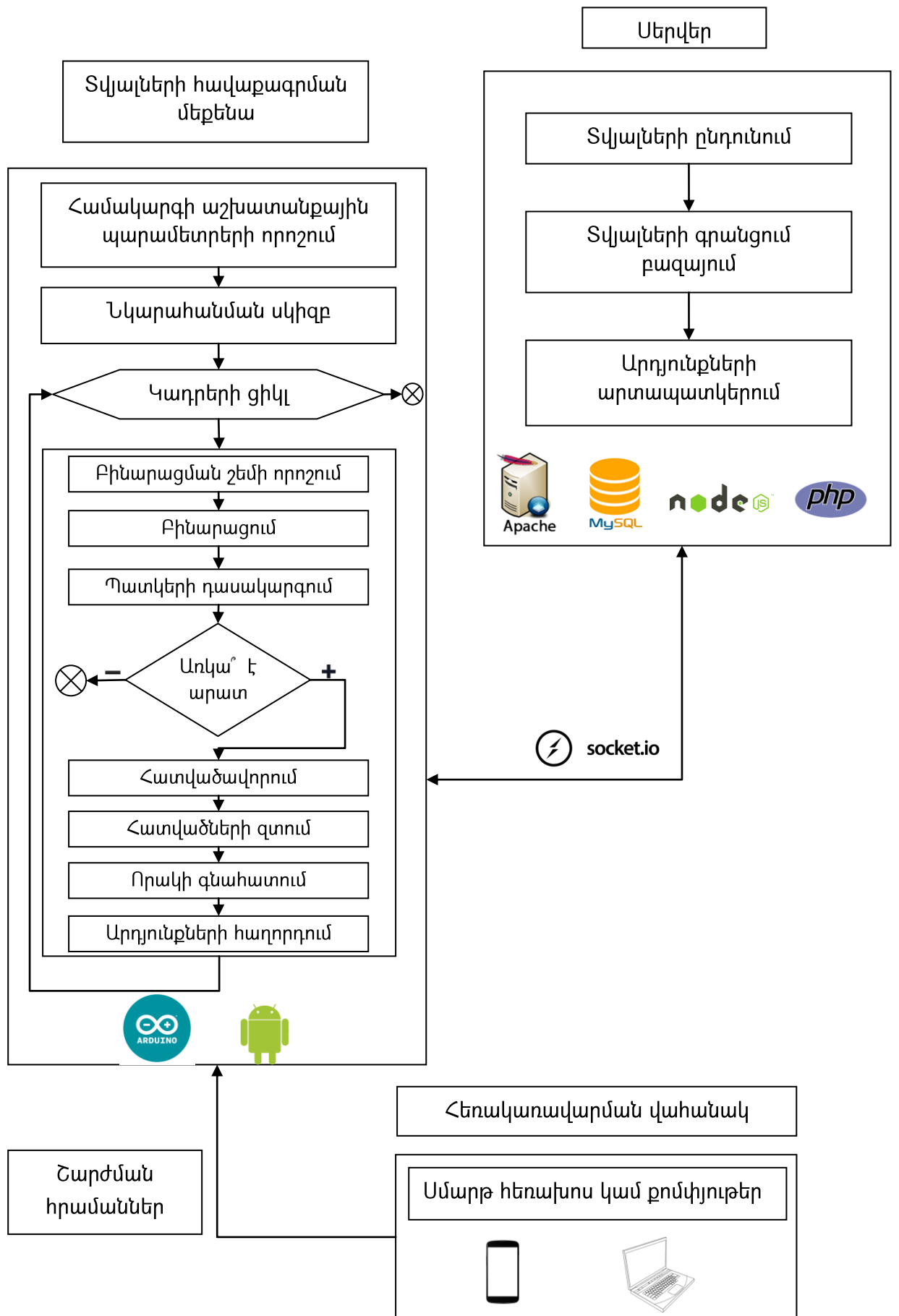


բ

Նկ. 4.7 Պատկերի զտումը փոքր հատվածներից
 ա) բինարացված պատկեր, բ) զտված պատկեր:

4.2 Ավտոմատացված համակարգի շարժական մոդելը

Քանի որ դեռ չունենք հատուկ մեքենա և գերարագ տեսախցիկ, ատենախոսական աշխատանքում մշակվել է ավտոմատացված համակարգի շարժական մոդել, որի աշխատանքի բլոկ-սխեման պատկերված է Նկ. 4.8-ում: Մինչ տվյալների հավաքագրման մեքենայի աշխատանքի սկզիբը իրականացվում են համապատասխան կարգավորումներ՝ ընտրվում է α պարամետրը և արատներ չպարունակող պատկերներից հաշվարկվում հատվածավորման T_s շեմը, որը կիրառվելու է տեսանկարահանման ընթացքում արատներ չպարունակող հատվածների գտման նպատակով:



Նկ. 4.8 Մոդելի աշխատանքի բլոկ-սխեմա:

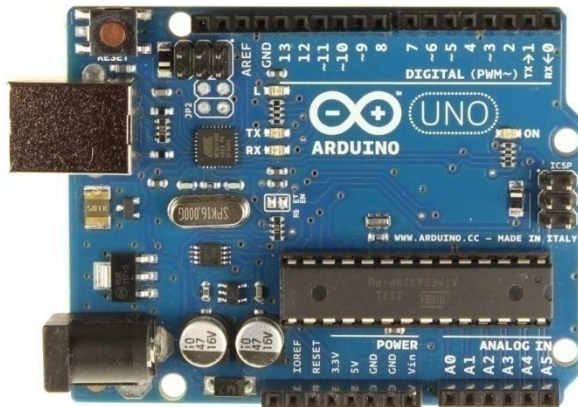
Տվյալների հավաքագրման մեքենան (անվանենք՝ ոռբոտ) իրականացնում է պատկերների նկարահանում և մշակում՝ ատենախոսության երրորդ գլխում առաջարկված մեթոդաբանությամբ: Այն կառավարվում է հեռակառավարման վահանակով, որը կարող է լինել սմարթ հեռախոս կամ քոմպիյութեր: Ինտերնետ կապի միջոցով ստացված արդյունքները փոխանցվում են ամպային սերվեր, որտեղ, արդյունքներն ընդունվելով, գրանցվում են տվյալների բազայում և ցուցադրվում մշակված համապատասխան վեբ-ինտերֆեյսի միջոցով:

4.2.1 Համակարգի բաղկացուցիչ մասերի և օգտագործված ծրագրային համակարգերի նկարագրություն

Մոդելում, ինչպես նաև իրական ավտոմատացված համակարգում կիրառման համար նախատեսված ծրագրային համակարգում օգտագործվել են քոմպիյութերային ժամանակակից ծրագրավորման լեզուներ և ծրագրային միջավայրեր: Ներկայացնենք մշակված շարժական մոդելի և տվյալների արտապատկերման համակարգի հիմնական տերմինները:

1. *Arduino Uno* - Arduino-ն էլեկտրոնային սարքավորումների նախագծման և իրականացման բաց ելման կոդով (open-source) միջավայր է, ինչը թույլ է տալիս հեշտությամբ մշակել սեփական էլեկտրոնային համակարգերը [79]: Arduino Uno-ն ATmega328P միկրոկոնտրոլլերի հիման վրա մշակված տպասալ է: Այն իր մեջ ներառում է 14 մուտքային և ելքային կցասեղ (որոնցից 6-ը կարող է օգտագործվել որպես լայնահիմպուլսային մոդուլացմամբ ելք), 6 անալոգային մուտք, ICSP գլխամաս, 16ՄՀց քվարցային բյուրեղ, USB միացում և այլն: Այն բավական մատչելի է ձեռք բերման համար և հնարավորություն է տալիս միկրոկոնտրոլլերի աշխատանքը համակցել բազմաթիվ սենսորների և այլ ենթահամակարգերի հետ, ինչը բացում է լայն հնարավորություններ տարբեր հետազոտությունների իրականացման և տեխնիկական խնդիրներ լուծման համար: Uno-ի ծրագրավորումն իրականացվում է սեփական ծրագրավորման միջավայրի (IDE) օգնությամբ՝ հեշտությամբ բեռնելով ծրագրերը ICSP գլխամասային սարք:

Ատենախոսությունում օգտագործվել է Arduino Uno-ի հիման վրա կառուցված ոռոգոտ-մեքենան (ներկայացված է հաջորդ ենթագլխում):



Նկ. 4.9 Arduino Uno միկրոկոնտրոլլեր:

2. *Android* - *Android* միջավայրը մոբայլ ՕՀ է, որը մշակվել և սպասարկվում է Google ընկերության կողմից: Այն կարող է աշխատել տարբեր սարքավորումներում, ինչպիսիք են բջջային հեռախոսներ, թաբլետներ, հեռուստացույցներ և այլ էլեկտրոնային տեխնիկական սարքեր: ՕՀ-ը բաց ելման կոդով է և մշակված է Linux միջուկի հիման վրա [80]: Ծրագրերի մշակումը տվյալ համակարգում նույնպես ազատ է և իրականացվում է Android SDK-ի միջոցով: Այս միջավայրն ունի բազում նորարարական հատկություններ, որոնց կիրառումը հզոր տեխնիկական բնութագրերով ապարատային միջոցների հետ թույլ է տալիս լուծել գրեթե ցանկացած տեխնիկական խնդիր: Անդրոիդ ՕՀ-ում աշխատող ծրագրային համակարգերը մշակվում են Java ծրագրավորման լեզվի միջոցով:

3. VPS սերվեր - Virtual Private Server (թարգմ. վիրտուալ մասնավոր սերվեր) վիրտուալ մեքենա է, որում կարող է աշխատել ցանկացած ՕՀ: Օգտատերը հնարավորություն ունի մուտք գործել համակարգ և կատարել ցանկացած տեսակի փոփոխություններ (տեղադրել ծրագրեր, կատարել պարամետրերի փոփոխություններ և այլ)՝ ինչպես անձնական քոմպիյութերի դեպքում: Ֆիզիկական քոմպիյութերը, որում տեղադրված է VPS-ը, կարող է պարունակել նաև այլ VPS-ներ՝ իրենց սեփական ՕՀ-երով:

4. Ubuntu - անձնական քումփյութերների, մոբայլ սարքավորումների և ցանցային սերվերների համար նախատեսված Linux ՕՍ է: Այն մշակվել է Debian ճարտարապետության և ենթակառուցվածքի հիման վրա, ունի ապահով կառուցվածք տվյալների պաշտպանության համար և տեղադրվող ծրագրերն ազատ են օգտագործման համար:

5. Apache - վեբ սերվեր, որի օգտագործումը նույնպես անվճար է: Այն աշխատում է UNIX-ային ՕՍ-երի (Solaris, AIX, Linux, և այլն) մեծ մասի վրա: Ինտերնետային կայքերի 60%-ն աշխատում է Apache սերվերներով [81], ինչի շնորհիվ ներկայումս այն համարվում է ամենալայն տարածված վեբ սերվերը:

6. MySQL - լայն տարածում գտած տվյալների բազաների կառավարման համակարգ (ՏԲԿ): Այն աշխատում է բազմաթիվ միջավայրերում՝ AIX, BSDi, FreeBSD, Linux, OS X, Microsoft Windows, Symbian և այլն: MySQL-ը հնարավորություն է տալիս աշխատել ռեյացիոն բազաների հետ: Առավելություններից են հեշտ կիրառելիությունը, արագագործությունը, հիշողության լավ կառավարումը և այլն: Ինչպես բազմաթիվ այլ ՏԲԿ-ներում, այստեղ ևս օգտագործվում է տվյալների բազաների հարցման ընդհանուր SQL լեզուն [82]:

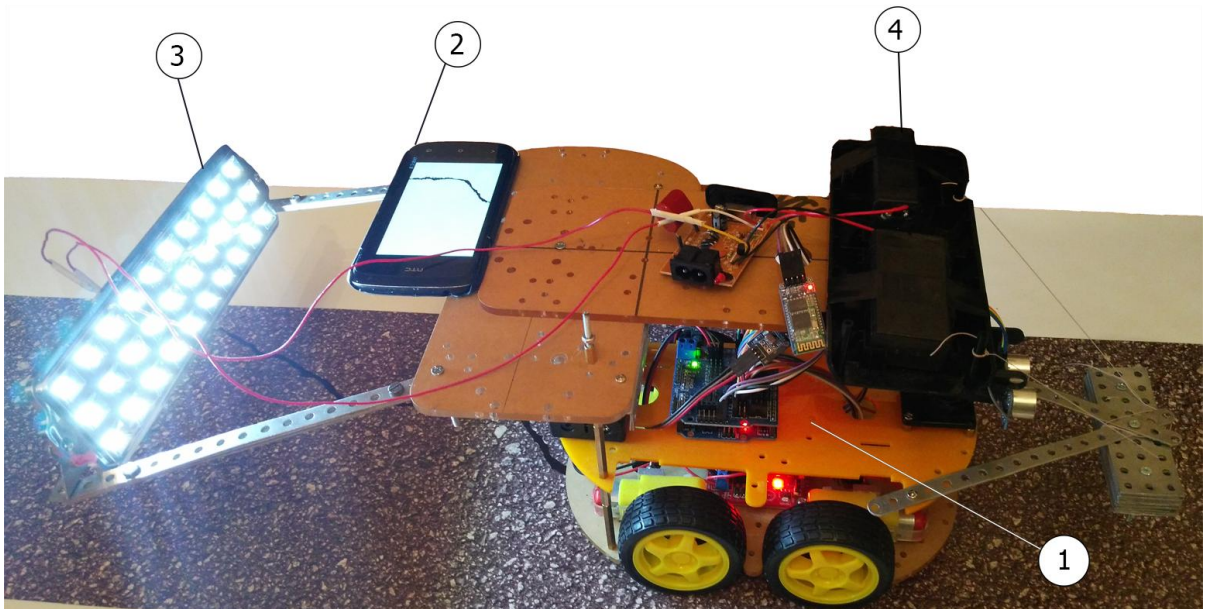
7. PHP - լայն տարածված ինտերպրետացիոն ծրագրավորման լեզու, որը հիմնականում օգտագործվում է վեբ համակարգերի մշակման համար [83]: Ատենախոսությունում մշակված ավտոմատացված համակարգում կիրառվել է PHP գրադարան (framework) հանդիսացող `Symfony 2 միջավայրը: PHP-ն, MySQL-ի և Apache-ի հետ միասին կազմում է բաց ելման կոդով, այսպես կոչված, LAMP փաթեթը, որը լայն կիրառում ունի դինամիկ վեբ համակարգեր մշակելիս:

8. openCV - ծրագրավորման ֆունկցիաների և գործիքների գրադարան, որը հեշտացնում է պատկերների մշակման ալգորիթմների ստեղծումը: Օգտագործման համար հասանելի է C++, Python, Perl, Ruby, Java և այլ ծրագրավորման լեզուներում [84]:

4.2.2 Ավտոմատացված համակարգի մոդելի կառուցվածքը և ֆունկցիաները

Համակարգը բաղկացած է երկու հիմնական մասերից՝ տվյալների հավաքագրման և մշակման համակարգից և արդյունքների արտապատկերման ծրագրից:

Տվյալների հավաքագրման և մշակման համակարգ: Այս մոդուլը, շարժվելով ճանապարհի երկայնքով, իրականացնում է տեսանկարահանում և պատկերների մշակում: Նկ. 4.10-ում պատկերված է շարժական մոդելի արտաքին տեսքը: Arduino Uno-ի հիման վրա կառուցված ռոբոտի (1) աշխատանքը համակցված է դրա վրա ամրացված Android ՕՍ-ով աշխատող սմարթֆոնի (2) աշխատանքի հետ:



Նկ.4.10 Տվյալների հավաքագրման և մշակման մեքենա

- 1) Arduino ռոբոտ, 2) Android սմարթֆոն, 3) արհեստական լուսավորության համակարգ, 4) լուսավորության համակարգի մարտկոցներ:

Համասեռ լուսավորության ապահովման համար մեքենայի վրա ամրացված է LED լամպերով արհեստական լուսավորության համակարգ: Լուսավորության համակարգը ամրացված է այնպես, որ հնարավոր լինի անհրաժեշտության դեպքում փոփոխել լուսավորության անկյունը: Համասեռ լուսավորության առկայությունը թույլ է

տալիս հեշտացնել պատկերների նախնական մշակման գործողությունները, ինչպիսիք են նորմալացումը, հավասարեցումը և այլն:

Ներկայացնենք տվյալների հավաքագրման և մշակման համակարգի երկու հիմնական բաղադրիչներն ավելի մանրամասն:

1. Arduino ոռոպ

Մեքենայի շասին (Նկ. 4.11ա) բաղկացած է հետևյալ մասերից.

- չորս անիվներ, որոնք պտտվում են 6Վ լարմամբ աշխատող և կառավարելի արագությամբ շարժիչներով (Նկ. 4.11բ);
- հոսանքի սնուցման բլոկ՝ իր 4800 մԱ/ժ լիցքով 2 լիթիում իոնային մարտկոցներով (Նկ. 4.11գ);
- ամրացումների համար նախատեսված տարբեր տեսակի հեղույսներ, մանեկներ և հոսանքի միացումների համար նախատեսված մետաղական հաղորդալարեր (Նկ. 4.11դ):



ա



բ



գ



դ

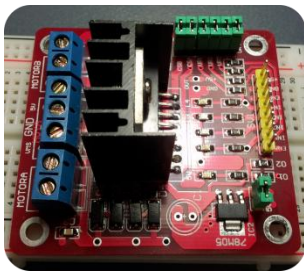
Նկ. 4.11 Մեքենայի շասիի բաղկացուցիչ մասեր

ա) ստորին հարթակը հավաքված վիճակում, բ) անիվի շարժիչ, գ) մարտկոցներ և հոսանքի սնուցման բլոկ, դ) պլաստմասե հարթակներ, պղնձյա հեղույսներ, մանեկներ, մետաղալարեր:

Նկ. 4.12-ում պատկերված են մեքենայի գործողություններն ապահովող մոդուլները: Դրանք են՝

- L298N կրկնակի H-կամրջակային ղեկավարող մոդուլ, որի օգնությամբ կառավարվում են մեքենայի անիվների շարժիչները (Նկ. 4.12 ա);

- սենսորային ընդլայնման վահանակ, որն ամրացվում է Uno տպասալի կցասեղներին (տվյալ դեպքում վահանակը կապում է L298N մոդուլը Uno տպասալի հետ) (Նկ. 4.12 ա);
- ուլտրաձայնային սենսոր, որի օգնությամբ հայտնաբերվում են մոտակայքում գտնվող օբյեկտները և կիրառման դեպքում հնարավորություն է ստեղծվում խուսափել դրանց հետ բախումից (Նկ. 4.12 գ);
- HC-06 Bluetooth մոդուլ, որը նախատեսված է ռոբոտի հեռակառավարման համար՝ սմարթֆոնի հավելվածի կամ Bluetooth կապի հնարավորություն ունեցող քոմպիյութերի օգնությամբ (Նկ. 4.12 դ);
- IR ինֆրակարմիր ընդունիչ, որը նույնպես նախատեսված է ռոբոտի հեռակառավարման համար՝ համապատասխան ինֆրակարմիր հաղորդիչ պարունակող վահանակի կիրառմամբ (Նկ. 4.12 ե):



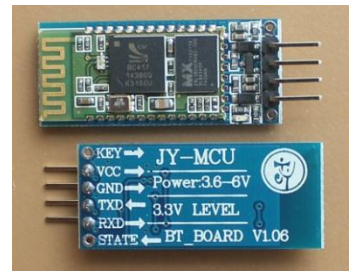
ա



բ



գ



դ



ե

Նկ. 4.12 Տպասալեր և սենսորներ

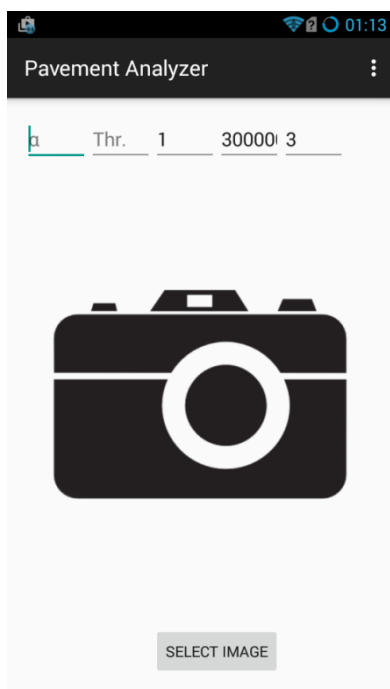
ա) L298N մոդուլ, բ) սենսորային վահանակ V5 գ) ուլտրաձայնային սենսոր, դ) HC-06 Bluetooth մոդուլ, ե) IR ընդունիչ:

2. Android սմարթֆոն և մշակված ծրագրային հավելված

Նկ. 4.10-ում պատկերված է մեքենայի վրա ամրացված սմարթֆոնը: Տվյալ դեպքում օգտագործվել է HTC One S մոդելը (1 ԳԲ ՕՀՍ, 1.5 գՀց ՊՏՀ, 8 ՄՓ 1080p

տեսախցիկ), սակայն, դրա փոխարեն կարող է օգտագործվել ցանկացած այլ ` Android 2.3 տարբերակից ոչ ցածր օպերացիոն համակարգով աշխատող սմարթֆոն, բնականաբար եթե դրա վրա տեղադրված է մեր կողմից մշակված ծրագրային հավելվածը: Նկ. 4.10-ում պատկերված դիրքով սմարթֆոնի տեսախցիկը նկարահանում է 20x12սմ մակերեսով ճծ հատված: Մեքենայի կառուցվածքը թույլ է տալիս անհրաժեշտության դեպքում փոփոխել սմարթֆոնի տեղադրման բարձրությունը, ինչը կմեծացնի կամ կփոքրացնի տեսախցիկի տեսադաշտը:

Մշակված ծրագրային հավելվածը կոչվում է Pavement Analyzer (ճծ վերլուծիչ): Ինչպես արդեն նշվեց, ծրագիրը պահանջում է Android 2.3 կամ ավելի բարձր տարբերակով ՕՀ, տեսախցիկի առկայություն և ինտերնետի հասանելիություն: Հավելվածի արտաքին տեսքը բերված է Նկ. 4.13-ում:



ա



բ

Նկ. 4.13 Pavement Analyzer հավելվածի արտաքին տեսքը:

Հավելվածը, ինչպես և իրական ավտոմատացված համակարգի համար մշակված ծրագիրը, թույլ է տալիս նկարահանել մեկ անշարժ պատկեր (կամ ընտրել կոշտ սկավառակից) (Նկ. 4.13 ա) և կատարել համապատասխան մշակումները, ինչպես նաև մշակել իրական ժամանակում նկարահանվող տեսահաջորդականության

պատկերները (Նկ. 4.13 բ): Քանի որ ծրագիրն աշխատում է սմարթֆոնի վրա, այն կարելի է օգտագործել ոչ միայն ռոբոտի հետ համակցությամբ, այլև դրանից առանձին, քայլելով լոկալ չափումներ իրականացնելիս: Նշենք նաև, որ մեր կողմից մշակված քոմփյուտերային ՕՀ-երում աշխատանքի համար նախատեսված ծրագրային համակարգը (Նկ. 4.2) և ներկայացված բջջային հավելվածը մշակվել են Java ծրագրավորման լեզվի կիրառմամբ:

Մեքենայի շարժման և նկարահանման ընթացքում, յուրաքանչյուր կադրի համար իրականացվում են Գլուխ 3-ում նշված ընթացակարգերը: Համակարգում օգտագործվող հեռախոսի հնարավորությունները թույլ են տալիս մշակել բոլոր ընթացակարգերը կիրառելով մշակել 20 կադր վայրկյանում: Պատկերների մշակման ալգորիթմները կազմվել են openCV գրադարանի ֆունկցիաների օգնությամբ:

Յուրաքանչյուր կադրի մշակումից ստացված տվյալները (ճեղքի զբաղեցրած մակերես, հատվածների քանակ, և այլն) իրական ժամանակում հաղորդվում են սերվեր, որը ինտերնետային կապի միջոցով socket.io գրադարանի օգնությամբ ուղիղ կապի մեջ է հավելվածի հետ: Դրա շնորհիվ սերվերում ստացվող արդյունքներին հետևող օգտատերն անմիջապես ստանում է նկարահանվող ՃԾ մակենույթի պատկերների մշակման արդյունքները:

Անշարժ պատկերների մշակման ռեժիմում, ծրագիրը հնարավորություն է տալիս փոփոխել հետևյալ պարամետրերը՝

- α_b -ի արժեք,
- բինարացման t_b շեմի արժեք,
- հատվածավորման ընթացքում պատկերում հատվածների փիքսելների քանակի թույլատրելի մինիմալ և մաքսիմալ արժեքները

Նշենք, որ ճեղքի հայտնաբերման և գնահատման համար անհրաժեշտ է միայն ներմուծել α_b -ի որժեքը, իսկ մյուս բոլոր փոփոխականները հաշվարկվում են վերը նշված ընթացակարգերի աշխատանքի ընթացքում:

Տեսանկարահանման ռեժիմում ծրագիրը հնարավորություն է տալիս փոփոխել α_b -ի արժեքը, ինչի շնորհիվ տվյալ ՃԾ-ի համար որոշվում է օպտիմալ բինարացման շեմը: Կիրառելով Գլուխ 3-ում նկարագրված պատկերների դասակարգման ալգորիթմը,

ծրագիրը ճշ ճեղքեր հայտնաբերելու ընթացքում սերվեր ուղարկվող տվյալներում ընդգրկում է այդ, ինչպես նաև ճեղքերի ուղղվածության վերաբերյալ ինֆորմացիան: Այսպիսով յուրաքանչյուր կադի մշակման արդյունքում սերվեր ուղարկվող տվյալները հետևյալն են՝

- կադրի հերթական համար,
- տվյալ հատվածի GPS տվյալներ (լայնություն, երկայնություն),
- ճեղք հայտնաբերվել է թե ոչ (True / False),
- ճեղքի զբաղեցրած մակերես,
- ճեղքի հատվածների քանակ,
- ճեղքի փիքսելների քանակ:

Սերվեր ուղարկվող տվյալները հաղորդվում են JSON ֆորմատով:

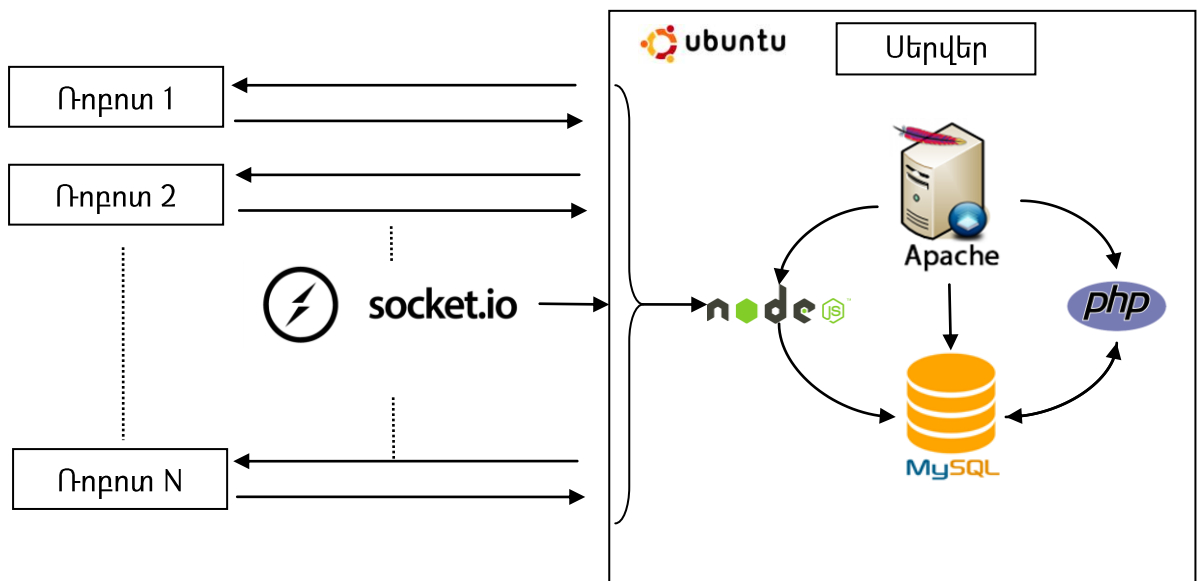
4.3. Արդյունքների արտապատկերման ծրագիրը

Տվյալների հավաքագրման մեքենայի հաշվարկած արդյունքների արտապատկերման և պահպանման համար մշակվել է վեբ ծրագիր, որը հնարավորություն է տալիս իրական ժամանակում հետևել որակի գնահատման ընթացակարգին: Ծրագիրը տեղադրված է օնլայն սերվերում, որն իրենից ներկայացնում է VPS: Սերվերի կառուցվածքը, օգտագործվող համակարգերն ու տվյալների համաքագրման մեքենայի միջև կապը բերված է Նկ. 4.14-ում: Այն աշխատում է Ubuntu 14.04 LTS օպերացիոն համակարգով, որպես HTTP վեբ սերվեր օգտագործվում է Apache, իսկ տվյալների պահպանման համար՝ MySQL ՏԲԿՀ:

Արտապատկերման ծրագիրը բաղկացած է երկու մասից՝ սերվերային (back-end) և այն ինչ տեսնում է համակարգ մուտք գործած օգտատերը իր դիտարկչով (front-end): Սերվերային մասը մշակվել է PHP ծրագրավորման լեզվով՝ Symfony 2 գրադարանի, իսկ ինտերֆեյսը՝ HTML, CSS, JavaScript կիրառմամբ:

Ռոբոտի և սերվերի միջև ուղիղ կապն իրականացվում է socket.io գրադարանի օգնությամբ, ինչը համակարգին հնարավորություն է տալիս միաժամանակ իրականացնել մի քանի հետազոտություններ: Այլ կերպ ասած, եթե ունենք մեկից ավելի տվյալների հավաքագրման մեքենաներ և դրանք միաժամանակ աշխատում են

տարբեր վայրերում, ապա համակարգը կարող է պահպանել և արտապատկերել դրանցից յուրաքանչյուրի արձանագրած արդյունքները (դա ընձեռում է համակարգից միաժամանակ մի քանի օգտատերերի (կամ շինարարական կազմակերպությունների) օգտագործման հնարավորություն): Socket.io-ի միջոցով հանգույցների միջև կապը սերվերի մուտքում ղեկավարվում է node.js-ի օգնությամբ և արդյունքներն անմիջապես գրանցվում են տվյալների բազայում: Նկ.4.15-ում բերված են տվյալների բազայի կառուցվածքը և աղյուսակների սյունյակները:

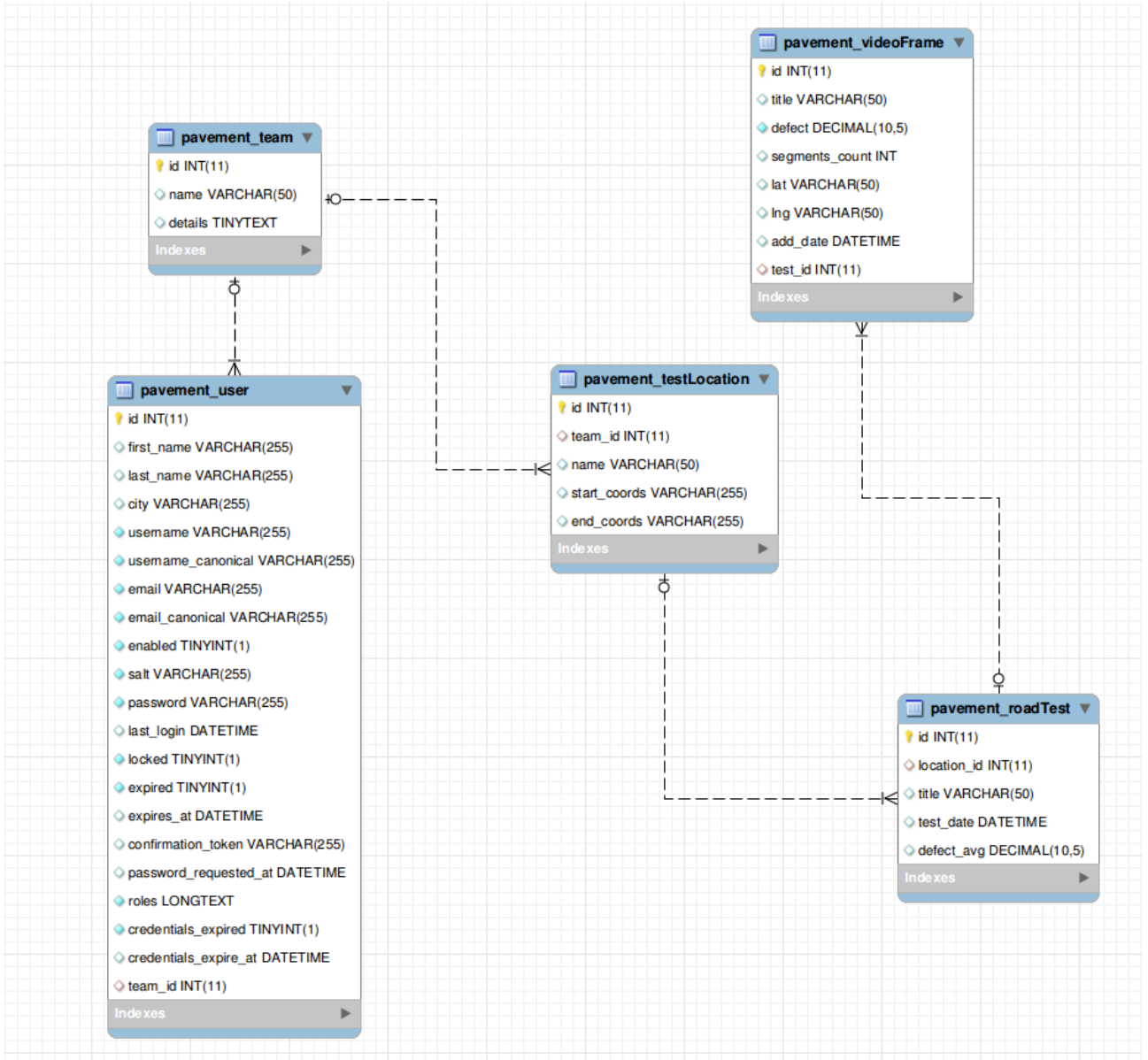


Նկ. 4.14 Սերվերի կառուցվածքը և կապը ռոբոտների հետ

Տվյալների բազան բաղկացած է 5 աղյուսակից.

- pavement_user - համակարգի օգտատերերի տվյալների պահպանման համար նախատեսված աղյուսակ:
- pavement_team - յուրաքանչյուր օգտատեր պատկանում է հատուկ խմբի (դա թույլ կտա համակարգը կիրառել մի քանի ճանապարհաշինարարական կազմակերպությունների համար միաժամանակ):
- pavement_testLocation - պահվում են խմբերի կողմից վերահսկվող ճանապարհային տեղամասերը և դրանց կոորդինատները:

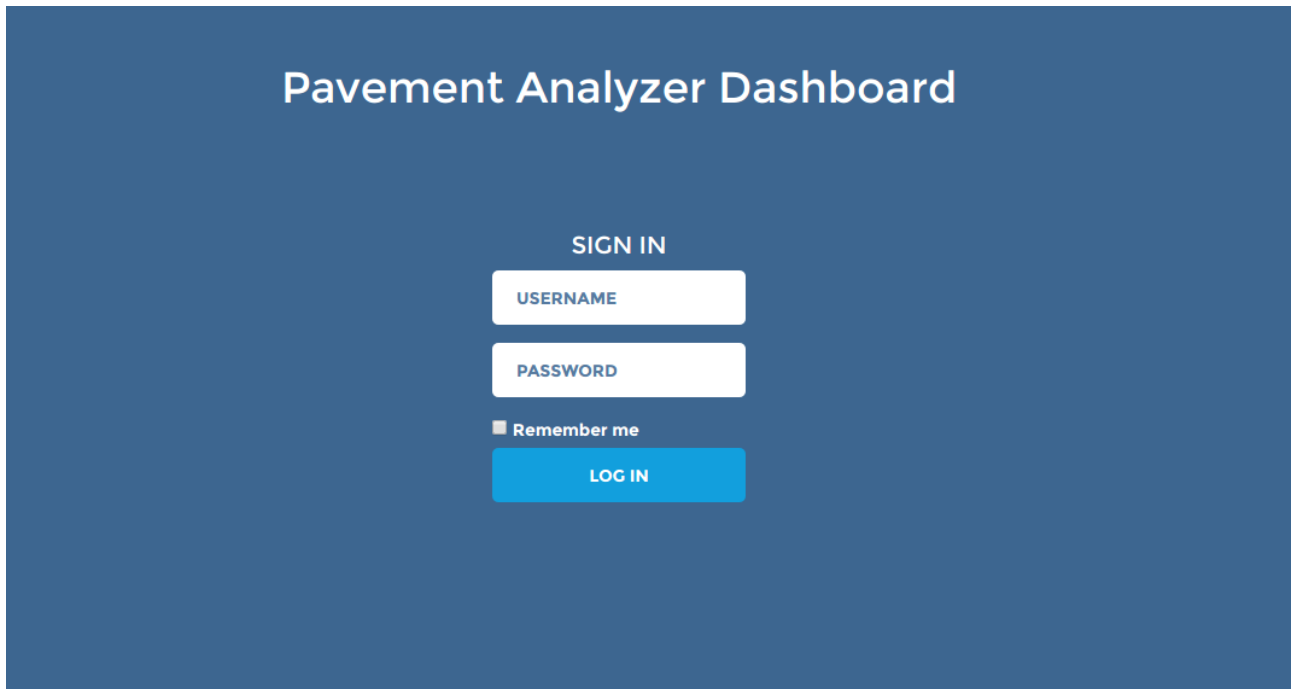
- pavement_roadTest - պահվում են իրականացված բոլոր հսկման գործողությունները և փորձարկումները:
- pavement_videoFrame - պահվում են տեսանկարահանված յուրաքանչյուր կադրից ստացված արդյունքները:



Նկ. 4.15 Տվյալների բազայի կառուցվածքը:

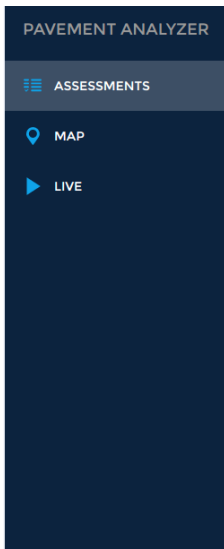
Pavement_user աղյուսակը պարունակում է համակարգում գրանցված օգտագրերի տվյալները (անուն, ազգանուն, էլ. փոստ, գաղտնաբառ և այլն): Այս աղյուսակում գաղտնաբառերը պահպանվում են sha1 կոդավորմամբ: Օգտատիրոջ մուտքը համակարգ իրականացվում է մուտքանունի և գաղտնաբառի ստուգմամբ (Նկ.4.16),

ինչպես նաև կիրառվում է կրիպտոգրաֆիայում հայտնի «աղ» (salt), որը պահպանվում է users աղյուսակի սյունակում և ապահովում գաղտնաբառի ավելի բարձր պաշտպանվածություն: Համակարգում մշակված է օգտատերերի հիերարխիկ համակարգ, որտեղ գլխավոր ադմինիստրատորի արտոնություններով օժտված օգտատերը կարող է ավելացնել նոր օգտատերեր և անհրաժեշտության դեպքում խմբագրել որոշ տվյալներ կամ հեռացնել օգտատերերին:



Նկ. 4.16 Արտապատկերման վեբ-ծրագրի մուտքային էջ:

Մուտքագրելով համապատասխան տվյալները, օգտատերը հայտնվում է մշակված վեբ-ծրագրի Նկ. 4.17-ում պատկերված էջը (Assessments): Ծրագրի այս հատվածում բերված է համակարգում իրականացված փորձերի պատմությունը: Ցուցակում բերված են տվյալների բազայի pavement_roadTest աղյուսակում պահվող տվյալները, իսկ սեղմելով ցուցակի տողին օգտատերը տեղափոխվում է տողին համապատասխանող արդյունքների էջ, որտեղ արտապատկերվում են pavement_roadTest, pavement_videoFrame, pavement_testLocation աղյուսակներում պահվող համապատասխան արդյունքները:



Assessments History

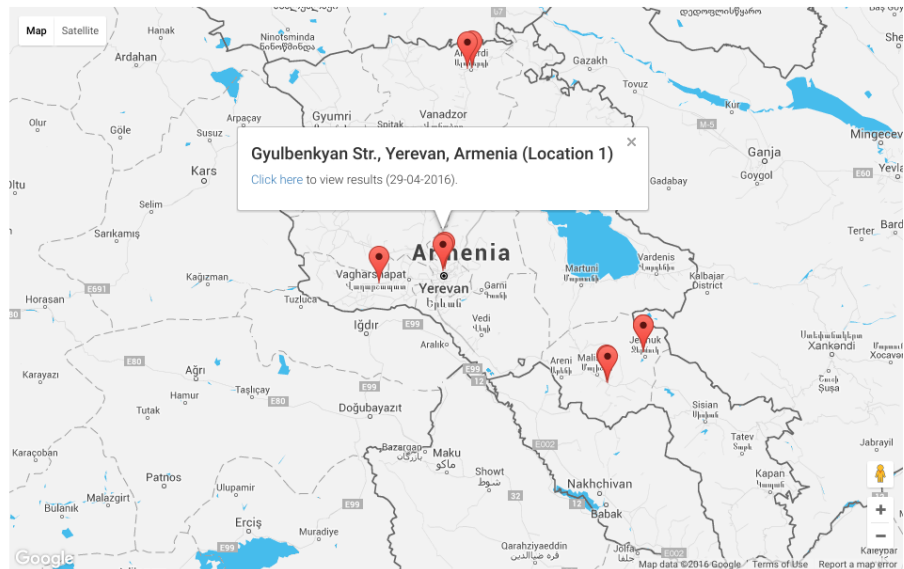
id	Location	Remark	Date	GPS data	Defect average
1	Shinararneri Str., Vayk, Vayoc Dzor (Location 1)	04-05-16 Vayq Assessment 1	05-04-2016	39.697639, 45.453646	3.253
2	Shinararneri Str., Vayk, Vayoc Dzor (Location 2)	04-06-16 Vayq Assessment 2	06-04-2016	39.702633, 45.449912	3.020
3	Myasnikyan Str., Jermuk, Vayoc Dzor (Location 1)	04-12-16 Jermuk Assessment 1	12-04-2016	39.838849, 45.665524	2.500
4	Myasnikyan Str., Jermuk, Vayoc Dzor (Location 2)	04-12-16 Jermuk Assessment 2	12-04-2016	39.837762, 45.666082	2.033
5	Tumanyan Str., Alaverdi, Lori (Location 1)	04-30-16 Alaverdi Assessment 1	30-04-2016	41.098584, 44.664637	3.650
6	Gyulbenkyan Str., Yerevan, Armenia (Location 1)	04-29-16 Yerevan Assessment 1	29-04-2016	40.200298, 44.495855	3.041
7	2nd distinct, Metsamor, Armavir (Location 1)	05-05-16 Armavir Assessment 1	02-05-2016	40.344204, 44.121997	1.920
8	Jravazani Str., Alaverdi, Lori, (Location 1)	04-30-16 Alaverdi Assessment 2	30-04-2016	41.096595, 44.637969	2.050
9	Aram Khachatryan Str., Yerevan, (Location 1)	04-30-16 Yerevan Assessment 2	02-05-2016	40.207798, 44.504374	1.050

Նկ. 4.17 Վեր-ծրագրում փորձերի արդյունքների էջ:

Վեր ծրագրի Map (Նկ. 4.18) էջում քարտեզի վրա արտապատկերված են իրականացված փորձերի գտնվելու վայրերը: Կորդինատները վերցված են pavement_roadTest աղյուսակի start_coords սյունյակից, որում տվյալները ստացվում են շարժական ծրագրի միջոցով՝ օգտագործելով սմարթֆոնի ներքին GPS սարքավորումը:

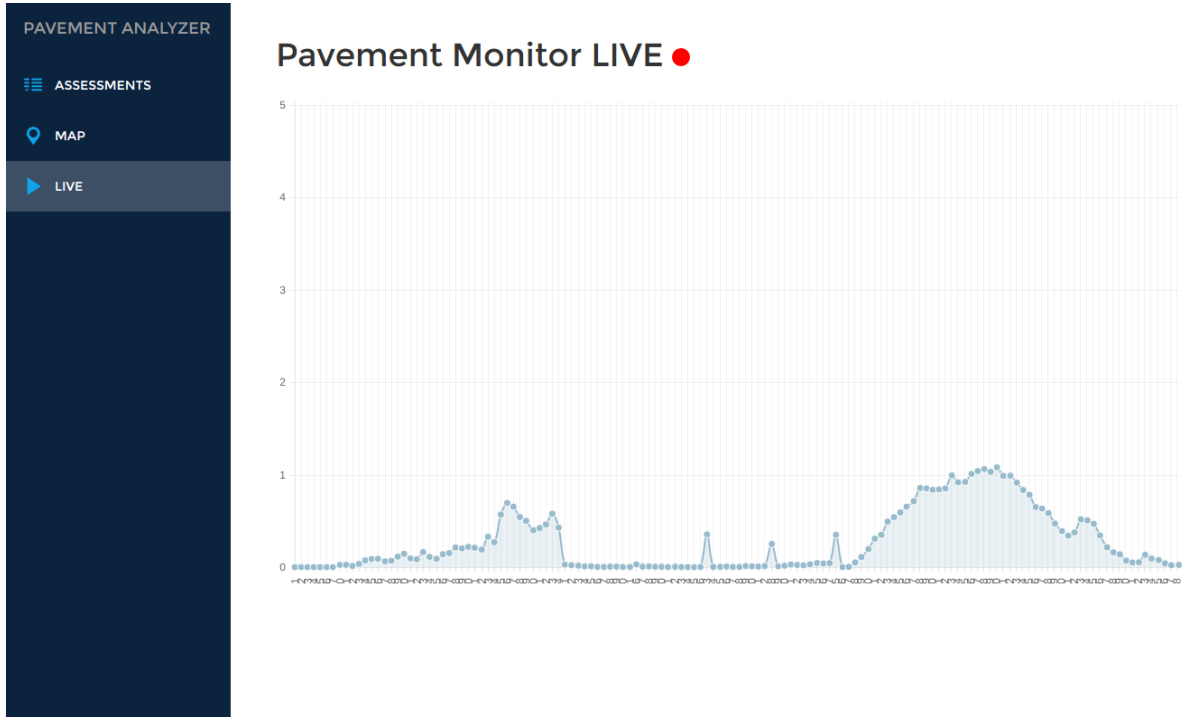


Map



Նկ. 4.18 Փորձերի իրականացման տեղամասերը քարտեզում:

Քարտեզի կիրառությունը թույլ է տալիս հեշտացնել արդյունքների որոնումն ըստ տեղամասերի: Նշենք, որ ծրագրի այս հատվածի մշակումն իրականացվել է Google Maps քարտեզի օգնությամբ:



Նկ. 4.19 Օնլայն-ռեժիմում արդյունքների ակնթարթային արտապատկերում:

Հաջորդ՝ Live էջում օնլայն ռեժիմում արտապատկերվում է տվյալ պահին իրականացվող փորձը (Նկ. 4.19): Նկարում պատկերված իրական ժամանակում կառուցվող գրաֆիկում հորիզոնական առանցքը ցույց է տալիս տվյալ փորձի կադրի համարը, իսկ ուղղահայաց առանցքը՝ հայտնաբերված արատի զբաղեցրած մակերեսը պատկերում՝ արտահայտված տոկոսներով: Կուրսորը գրաֆիկի ցանկացած կետում պահելով, էջում ցույց են տրվում տվյալ կետի կորոդինատները քարտեզի վրա: Հետևաբար, մշակված վեբ-ծրագրի միջոցով ավտոմատացված եղանակով հայտնաբերվում են արատներ պարունակող տեղամասերը, և այս արդյունքների կիրառումը թույլ կտա պլանավորել կանխարգելիչ և վերականգնողական աշխատանքների իրականացումը:

Նշենք որ, ներկայումս վեբ-ծրագիրն աշխատում է միայն մեկ տվյալների հավաքագրման մեքենայի հետ, սակայն, մշակված ծրագրի՝ մեկից ավելի մեքենաների

հետ աշխատանքի հնարավորությունը ստեղծում է նախադրյալներ համակարգի հետագա զարգացման համար:

Եզրակացություններ 4-րդ գլխի վերաբերյալ

1. Համակարգվել են ՃԾ որակի գնահատման մշակված ավտոմատացված համակարգում կիրառվող տերմինների և ծրագրային համակարգերի ընդհանուր բնութագրերը:
2. Մշակվել է ՃԾ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգի և դրա մոդելի ընդհանուր կառուցվածքը, որը բաղկացած է տվյալների հավաքագրման և մշակման ենթահամակարգից և արդյունքների արտապատկերման ծրագրից:
3. Մշակվել է ՃԾ արատների հայտնաբերման և գնահատման համար նախատեսված «Crack Detection» ծրագրային համակարգը:
4. Մշակվել է «Pavement Analyzer» ծրագրային հավելված, որի աշխատանքը համակցվում է Arduino UNO միկրոկարգավորիչի հիման վրա կառուցված շարժական ռոբոտի աշխատանքի հետ:
5. Մշակվել է արդյունքների արտապատկերման վեբ ծրագիր:
6. Ցույց են տրվել մշակված ավտոմատացված համակարգի իրական ժամանակում տվյալների հավաքագրման, մշակման և արտապատկերման առավելությունները:

ԳԼՈՒԽ ՀԻՆԳԵՐՈՐԴ

ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ԵՎ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Այս գլուխը նվիրված է մշակված ավտոմատացված համակարգի օգնությամբ կիրառական և փորձարարական արդյունքների ստացմանը: Ատենախոսության նախորդ գլուխներում արդեն իսկ կատարված են մի շարք փորձեր առաջարկված կամ կիրառված որոշ ալգորիթմների աշխատանքը ստուգելու կամ ցուցադրելու նպատակով: Այս գլխում, իրական տվյալների վրա և մշակված շարժական մոդելի օգնությամբ իրագործվել են փորձեր, որոնք ցուցադրում են ՃԾ որակի գնահատման գործընթացն ամբողջությամբ և մշակված համակարգի արդյունավետությունը:

ՃԾ մակերևույթի նկարահանման գործընթացը նկարագրվել է նախորդ գլխում, սակայն անհրաժեշտ է լուսաբանել որոշ կարևոր հանգամանքներ:

1. Ստեղծված շարժական մոդելը հնարավորություն է տալիս նկարահանել ՃԾ-ի միայն մի շերտ, ուստի գործնական կիրառության համար անհրաժեշտ է կատարել լրացուցիչ չափումներ ՃԾ այլ շերտերի համար ևս: Սակայն դա չի խանգարում որոշակի եզրակացության հանգել մակերևույթի որակի վերաբերյալ:
2. Մշակված համակարգի և շարժական մոդելի հետագա ընդհանրացման և հատուկ ավտոմեքենայի վրա տեղակայման դեպքում պետք է հաշվի առնվեն մի շարք լրացուցիչ տեխնիկական սահմանափակումներ և մշակվեն համակարգի պարամետրերի համաձայնեցման և կատարելագործման միջոցներ: Դրանք վերաբերում են, մասնավորապես, շարժվող ավտոմեքենայի տեսանկարահանման և ինֆորմացիայի ստացման արագություններին, որոնք էապես կախված են կիրառվելիք տեխնիկական միջոցների պարամետրերից: Նման աշխատանքներ իրագործելու համար անհրաժեշտ է կատարել մեծ ծավալի գիտատեխնիկական

հետազոտություններ, ինչը սույն ատենախոսության սահմաններում հնարավոր չէ կատարել:

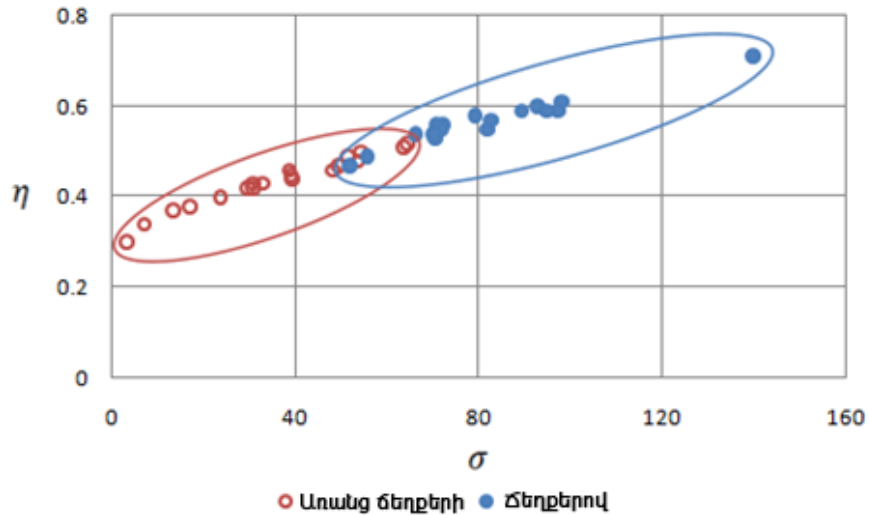
Ելնելով վերոհիշյալից, սույն գլխում կատարվել են նախորդ գլուխներում առաջարկված մեթոդների փորձարկումներ, առանց հիշատակելու դրանց առնչությունը նշված հանգամանքներին:

5.1 Տեսապատկերների դասակարգումը ըստ ճեղքերի առկայության

Գլուխ 3-ում նկարագրված դասակարգման մեթոդի էֆեկտիվության ստուգման նպատակով փորձարկումներ են իրականացվել ՃԾ երկու տեսակի պատկերների համար՝ ճեղքերով և առանց ճեղքերի: Դասակարգումն իրականացվել է նախապես խմբավորված ՃԾ պատկերների այն դասերի համար, որոնցում առկա են կա՛մ միայն ճեղքերով պատկերներ, կա՛մ միայն առանց ճեղքերի պատկերներ: Այդ պատկերներն ընտրվել են ձեռքով՝ տեսանկարահանման կադրերից, որոնք հավաքագրվել են իրական ճանապարհներից: Յուրաքանչյուր դասում ընդգրկվել են 40 օբյեկտներ, որոնցից պատահականության սկզբունքով ընտրվել են 21 օբյեկտ և օգտագործվել սովորեցնող դասում, իսկ մնացածը՝ փորձարկող: Ճեղք պարունակող դասում ընդգրկվել են տարբեր տեսակի ՃԾ ճեղքեր պարունակող պատկերներ (լայնական, երկայնական, բլրկային, ալիգատորային և այլն), իսկ ճեղք չպարունակող դասում՝ միայն առանց նկատելի արատների պատկերներ:

Գլուխ 3-ում նկարագրված դասակարգման մեթոդը կիրառվել է ՃԾ բինարացված պատկերների վրա: Վեյբուլի բաշխման η և σ պարամետրերը հաշվարկվել են մոմենտների եղանակով՝ յուրաքանչյուր նմուշի գրադիենտային մագնիտուդի արժեքներով, որոնք իրենց հերթին, հաշվարկվել են Սորելի օպերատորի կիրառմամբ:

Նկ. 5.1-ում ներկայացված են սովորեցնող դասերի Վեյբուլի η և σ պարամետրերի բաշխումները: Նկարից երևում է, որ ճեղք պարունակող և չպարունակող դասերը նկատելիորեն տարբերվում են միմյանցից:



Նկ. 5.1 Սովորեցնող նմուշների բաշխվածության հաշվարկված պարամետրերը:

Աղյուսակ 5.1-ում բերված են յուրաքանչյուր սովորեցնող դասի (ճեղքերով և առանց ճեղքերի) համար հաշվարկված Վեյբուլի պարամետրերի էտալոնային $\bar{\eta}_i$ և $\bar{\sigma}_i$ արժեքները, ինչպես նաև \bar{W}^2 և յուրաքանչյուր դասում նմանության գործակցի s_i միջին քառակուսային շեղումը:

Աղյուսակ 5.1 Սովորեցնող նմուշների պարամետրերը:

Դասեր	N	$\bar{\eta}_i$	$\bar{\sigma}_i$	\bar{W}^2	s_i
Առանց ճեղքերի	21	80,40	0,56	0,50	0,284
Ճեղքերով	21	37,75	0,44	0,52	0,268

Դասակարգումն իրականացվել է այն նմուշների համար, որոնք ընդգրկված են ճեղք պարունակող և չպարունակող պատկերներով դասերի «փորձարկվող» ենթադասերում: Դասակարգման արդյունքները բերված են Աղյուսակ 5.2-ում: Դասի անվամբ առաջին տողում բերված են փորձարկվող պատկերների քանակները, որոնք, նկարագրված եղանակով դասվել են այս կամ այն խմբի: Աղյուսակից երևում է, որ դասակարգումն իրականացվել է բավական հաջող, ինչի մասին վկայում են ստացված սխալանքի արդյունքները, որոնք տվյալ օրինակում միջինում կազմում են 26%:

Աղյուսակ 5.2 Դասակարգման սխալանքի բաշխվածություն:

Դասեր	Առանց ճեղքերի	Ճեղքերով	Սխալանքի տոկոս
Առանց ճեղքերի	15	4	21,0
Ճեղքերով	6	13	31,6

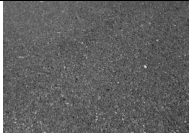
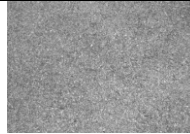
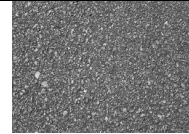
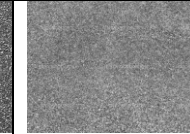
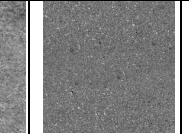

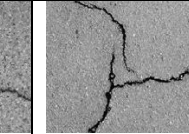
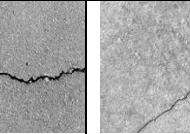
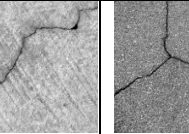
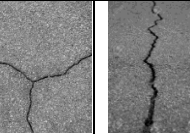
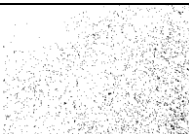
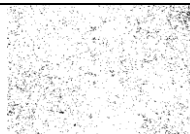
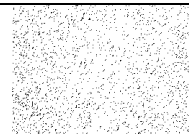
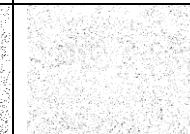

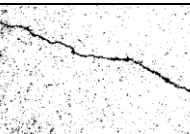

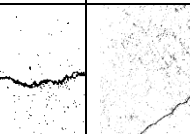
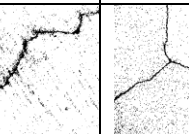
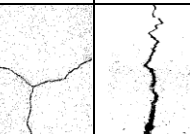

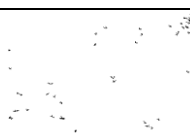


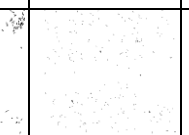
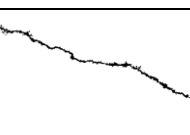
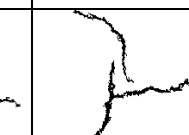
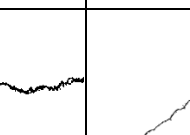
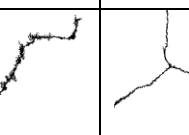

ՃԾ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգում դասակարգման այս եղանակը չափումներ իրականացնելիս թույլ է տալիս տեսանկարահանված կադրերից առանձնացնել ճեղք պարունակող պատկերները, ինչը հնարավորություն է տալիս հաշվարկներ իրականացնելիս անտեսել այն կադրերը, որոնք տեսանելի արատներ չեն պարունակում: Դա կնվազեցնի ավտոմատացված համակարգի աշխատանքի ծանրաբեռնվածությունը:

5.2 ՃԾ հատվածի որակի գնահատում

Աղյուսակ 5.3-ում բերված են փորձարկվող պատկերները և Գլուխ 3-ում նկարագրված բինարացման և հատվածավորման մեթոդներով համապատասխան մշակման արդյունքում ստացված արդյունքները: Ներկայացված օրինակներում հաշվարկներն իրականացվել են $\alpha_b = 0.05$ արժեքի դեպքում, այլ կերպ ասած բինարացման արդյունքում պատկերում սև փիքսելների զբաղեցրած մակերեսի մասը ընդհանուր պատկերում նախապես սահմանվել է 5%: Աղյուսակում ցուցադրված են ինչպես ճեղք պարունակող այնպես էլ չպարունակող պատկերների մշակված արդյունքները:

Աղյուսակի առաջին տողում ներկայացված են ճեղք չպարունակող (առաջին հինգ կադր) և պարունակող (հաջորդ հինգ կադր) պատկերներ: Երկրորդ տողում ներկայացված են t_b շեմային արժեքով բինարացված պատկերները (յուրաքանչյուր կադրի համար հաշվարկված t_b շեմի արդյունքները բերված են համապատասխան տողում):

Աղյուսակ 5.3 ՃԾ անշարժ պատկերների մշակման արդյունքներ:

1										
2										
3										
t_b	64	94	135	76	113	94	113	135	73	76
$\hat{\mu}_b$	1,02	1,97	1,36	1,63	1,6	3,7	7,96	3,75	1,97	10,96
$\hat{\sigma}_b$	0,16	2,27	0,80	1,61	1,35	44,14	83,5	68,1	23,18	105,8
T_s	6	9	4	6	6	136	258	208	72	329
$D\%$	0,24	0,53	0,47	0,54	0,48	1,7	3,95	1,9	1,6	3,7
$\hat{\mu}_{seg}$	8,77	14,18	4,59	9,22	8,15	1510	831	3177	411,3	1291

Ճեղք պարունակող պատկերներում պարզ երևում են ճեղքերի կառուցվածքները, իսկ ճեղք չպարունակող պատկերներում նկատվում է ասֆալտի տեքստուրայի ընդգծված համասեռություն, ինչպես նաև հատվածավորման արդյունքում ստացված հատվածների չափսերի քիչ տարբերություն: Դրան են վկայում նաև հատվածների չափսերի միջինը ($\hat{\mu}_b$) և միջին քառակուսային շեղումը ($\hat{\sigma}_b$), որոնք ներկայացված են Աղյուսակ 5.3-ի համապատասխան տողերում:

Աղյուսակի երրորդ տողում բերված են հատվածների դասակարգման արդյունքները: Տվյալ օրինակում դասակարգումն իրականացվել է երեք սիգմայի օրենքով, այսինքն, եթե հատվածի փիքսելների քանակը գերազանցում է $T_s = \hat{\mu}_b + 3\hat{\sigma}_b$, ապա այդ հատվածը դասակարգվում է որպես ճեղք, հակառակ դեպքում հատվածներն ընդունվում են որպես արտեֆակտներ և հեռացվում պատկերից: Դիտարկված պատկերների հատվածների չափսերի T_s շեմի արժեքները բերված են T_s -ով նշանակված տողում: Հատվածների զտման գործողության արդյունքում պատկերում մնացող հատվածների միջին չափսերը (այսինքն, այն հատվածների, որոնց չափսերը գերազանցում են T_s շեմի արժեքը) բերված են $\hat{\mu}_{seg}$ նշանակումով տողում:

USC-ով համեմատելով աղյուսակի առաջին երեք տողերում բերված պատկերները, նկատելի է պատկերների համաձայնեցում, ինչպես նաև պատկերներում առկա ճեղքերի պարզ հայտնաբերում:

D% տողում բերված են ճեղքերի զբաղեցրած մակերեսների հարաբերական արժեքները: Ինչպես և սպասվում էր, ՃԾ որակը առաջին հինգ պատկերներում (առանց ճեղքերի) զգալիորեն ավելի բարձր է քան հաջորդ հինգ պատկերներում, որոնցում նկատվում են ճեղքեր:

Այսպիսով, ՃԾ պատկերներում ճեղքերի վերլուծության և դասակարգման այս մեթոդը թույլ է տալիս ոչ միայն հայտնաբերել ճեղքերի կառուցվածքներն ու տեղակայման դիրքերը պատկերներում, այլև գնահատել ՃԾ որակը բնութագրող որոշ կարևոր թվային արժեքներ՝ հաշվի առնելով գոյություն ունեցող գնահատման նորմերը: Նշված ընթացակարգերով ենթարկվելով մշակման, հատվածները դասակարգվում են ճեղքերի կամ արտեֆակտների և հաշվարկվում են դրանց բնութագրերը, իսկ

ներմուծված որակի պարամետրը համարժեքորեն բնութագրում է ճԾ մակերևույթին արատների առկայությունը:

5.3 Տեսակարահանման տվյալների մշակման արդյունքները

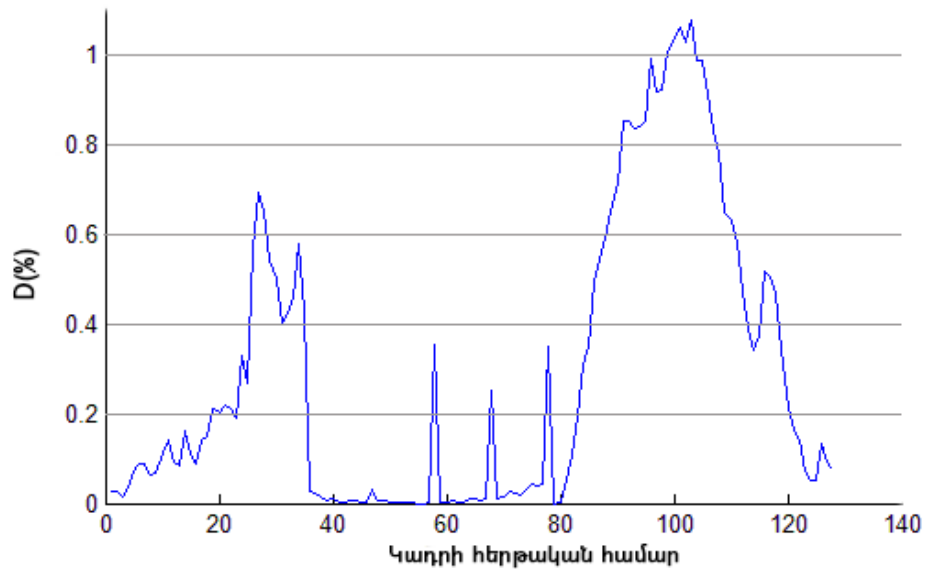
Ճեղքերի գնահատման նշված եղանակը կիրառվել է նաև տեսակարահանման փորձարկումներ իրականացնելիս: Տեսակարահանված յուրաքանչյուր կադր ենթարկվել է վերը նշված բոլոր գործողություններին և արդյունքներն ուղարկվել են տվյալների բազա: Աղյուսակ 5.4-ում ներկայացված են նկարագրված ավտոմատացված համակարգի կիրառմամբ տեսակարահանման տվյալների մշակված արդյունքները: Մասնավորապես, բերված օրինակում դիտարկված է տեսակարահանման արդյունքում ստացված 128 կադր:

Աղյուսակի առաջին տողում բերված է նկարահանված հերթական կադրի համարը: Երկրորդ տողում բերված են փորձի սկբնակետից մինչև տվյալ կադրին համապատասխան ճԾ հատվածը կազմող հեռավորությունները (մետրերով):

Աղյուսակ 5.4 ՃԾ տեսակարահանման տվյալներ:

Կադրի N	1	20	40	60	82	90	100	110	120
Հեռավ. (մ)	0	2.5	5	7.5	10.25	11.25	12.5	13.5	15
Պատկեր									
Մշակում									
D(%)	0.03	0.2	0.02	0.04	0.2	0.9	1	0.7	0.3

Երրորդ և չորրորդ տողերում բերված են համապատասխանաբար ընթացիկ կադրը և նկարագրված ընթացակարգերով մշակման արդյունքում ստացված պատկերները: Հինգերորդ տողում բերված են յուրաքանչյուր կադրի համար հաշվարկված ճեղքերի զբաղեցրած մակերեսների հարաբերական արժեքները տոկոսներով:



Նկ. 5.2 ՃԾ հսկման գրաֆիկ:

Նկ. 5.2-ում պատկերված է բոլոր 128 կադրերի համար հաշվարկված ճեղքերի զբաղեցրած հարաբերական մակերեսի արժեքների (D%) գրաֆիկը: ՃԾ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգում տվյալ գրաֆիկը կազմվում է իրական ժամանակում՝ տվյալների հավաքագրման և մշակման ընթացքում: Ինչպես երևում է գրաֆիկից, D-ն ստանում է համեմատաբար ցածր արժեքներ սկզբնական հատվածում (պատկերների առաջին կեսում) և ավելի մեծ արժեքներ վերջին հատվածներում: Այս գազաթները բնութագրում են ՃԾ նկարահանված տեղամասի համապատասխանաբար փոքր և մեծ ճեղքերը: Կախված որոշ կադրերում ինտենսիվության կամ տեքստուրայի փոփոխությունից, գրաֆիկում կարող են նկատվել թռիչքներ, որոնք կարելի է անտեսել: Իրական ժամանակում գրաֆիկի կառուցման հնարավորությունը թույլ է տալիս հեշտությամբ գտնել այն հատվածները, որոնք ունեն վերանորոգման կարիք և ձևավորել որակի վերականգողական աշխատանքների իրականացման համապատասխան հանձնարարականներ:

Եզրակացություններ 5-րդ գլխի վերաբերյալ

1. Մշակվել են ճեղք պարունակող և չպարունակող պատկերների դասակարգման արդյունքները:
2. Ցույց է տրվել հատվածների գտնատ գործողության արդյունավետությունը:
3. Ցույց է տրվել իրական պատկերների մշակման և արտապատկերման գործողության արդյունքների և իրական ժամանակում որակի հսկման գրաֆիկի պիտանելիությունը:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները

1. Ստեղծվել է ՃԾ որակի վերլուծության և գնահատման ավտոմատացված համակարգ, որը գործում է ինչպես offline, այնպես էլ online ռեժիմներում [II]:
2. Մշակվել է պատկերների ավտոմատացված վերլուծության և ՃԾ որակի գնահատման մեթոդաբանություն, որը հիմնված է պատկերների մշակման ժամանակակից մեթոդների կիրառման վրա [I]:
3. Մշակվել են ՃԾ արատների հայտնաբերման և դրանց պարամետրերի որոշման ավգորիթմներ և ծրագրային միջոցներ [I, II]:
4. Կատարելագործվել են պատկերի կառուցվածքային վերլուծության մեթոդների մի շարք մոտեցումներ, որոնք կիրառվում են ՃԾ որակի գնահատման խնդրում [I]:
5. Մշակվել է ըստ որակի ՃԾ պատկերների ավտոմատացված դասակարգման ավգորիթմ, որը հիմնված է տվյալների վիճակագրական բնութագրերի կիրառման վրա [III]:
6. Առաջարկվել է ՃԾ որակի գնահատման ինժեներական չափանիշ և համապատասխան էմպիրիկ բանաձև [I]:
7. Ստեղծվել է ՃԾ որակի գնահատման ավտոմատացված համակարգի շարժական մոդել՝ ռոբոտի և սնարթֆոնի կիրառմամբ [II]:

Ատենախոսության թեմայով տպագրված հոդվածների ցանկ

- I. Асатрян Д.Г., Акопян Г.О. Методика морфологического анализа изображения и оценивания качества дорожного покрытия // Вестник Российско-Армянского (Славянского) университета. - 2015. - №1. - С. 36-44.
- II. Hakobyan G.H. Video-Based Automated System for Pavement Surface Quality Monitoring // Transactions of IIAP of the NAS RA, Mathematical Problems of Computer Science. - 2015 - Vol. 44. - P. 59-66.
- III. Asatryan D.G., Hakobyan G.H. Method for analysis and classification of pavement based on quality // Transactions of IIAP of the NAS RA, Mathematical Problems of Computer Science. - 2016. - Vol. 45. - P. 53-58.

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **McGhee K. H.**, "Automated Pavement Distress Collection Techniques", Washington, D.C., National Cooperative Highway Research Program, Synthesis 334, 2004.
2. **McQueen J. M., Timm D. H.**, "A Study of Manual vs. Automated Pavement Condition Surveys", Auburn, Alabama, 2004.
3. **Chagen L., Chao Z., Aiguo O.**, "Surface Distresses Detection of Pavement Based on Digital Image Processing", China, Computer and Computing Technologies in Agriculture IV, pp. 368-375, 2011.
4. **Kim J.**, "Development of a Low-Cost Video Imaging System for Pavement Evaluation", Oregon State University, November 12, 1997.
5. **Moliard S. J., Chambon S.**, "Automatic Road Pavement Assessment with Image Processing: Review and Comparison", International Journal of Geophysics, 2011, Article ID 989354, vol. 2011, pp. 2-20.
6. **ՀՀ ազգային վիճակագրական ծառայություն**, «Հայաստանի վիճակագրական տարեգիրք», Երևան, 2015:
7. **Ltd. PADECO Co.**, "Armenia: Preparing the North-South Road Corridor Development Project", Philippines, Asian Development Bank, Mandaluyong City, May 2010.
8. **Smadi O., Wang K. C. P.**, "Automated Imaging Technologies for Pavement Distress Surveys", Washington, D.C, Pavement Monitoring and Evaluation Committee, July 2011.
9. **U.S. Department of Transportation**, "Distress identification manual for the Long-Term Pavement Performance Program", Federal Highway Administration, June 2003.
10. **Avila M., Begot S., Nguyen T. S.**, "Automatic detection and classification of defect on road pavement using anisotropy measure", Scotland, 17th European Signal Processing

Conference (EUSIPCO 2009), Glasgow, August 2009, pp. 617-621.

11. **Oregon Department of Transportation**, "Pavement distress survey manual", June 2010.
12. **Decker D. S.**, "Best Practices for Crack Treatments for Asphalt Pavements", Washington, D.C., National Cooperative Highway Research Program report 784, 2014.
13. **Ling T. C., Puan O. C., Mustaffar M.**, "Automated pavement imaging program (apip) for pavement cracks classification and quantification – a photogrammetric approach", Beijing, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences., 2008, part B4, vol. XXXVII, pp. 367- 372.
14. **Evans L., Stefanski J., Vavrik W.**, "PCR Evaluation – Considering Transition from Manual to Semi-Automated Pavement Distress Collection and Analysis", Ohio Department of Transportation Office of Statewide Planning & Research, July 2013.
15. **Richmond M.**, "A guide to evaluating pavement distress through the use of digital images", Virginia Department of Transportation Maintenance Division, November 2012
16. **Ksaibati K., Saha P.**, "A Risk-based Optimization Methodology for Managing County Paved Roads", 94rd Annual Meeting of the Transportation Research Board and for Publication in Transportation Research Record: the Journal of the Transportation Research Board., August 1 2015.
17. **Shahin M. Y.**, "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots", London, Springer, 2nd edition, 2006.
18. **Blankenship P. B., Anderson R. M.**, "Optimal Timing of Preventive Maintenance for Addressing Environmental Aging in Hot-Mix Asphalt Pavements," Minnesota Department of Transportation Research Services & Library, December 2014.
19. **Amarjeet S., Massey S., Pyle T., Tavares T.**, "2013 State of the pavement report",

California Department of Transportation, Division of Maintenance, Pavement Program, December 2013.

20. http://www.roadware.com/products/survey_equipment/
21. <http://www.roadware.com/products/software/wisecrax/>
22. http://www.roadware.com/related/Auto-Detec-WiseCrax_2014_Final.pdf
23. RoadCrack: Automated Detection of Road Cracks , http://www.cif.org/noms/2010/21_-_Automated_Road_Crack_Detection.pdf
24. <http://www.wdm.co.uk/surveying/4-surveying/5-rav-scanner-surveys>
25. **Elkins G. E., Uddin W., Hudson W. R., Benson K. R.**, "Comparison of Methods and Equipment To Conduct Pavement Distress Surveys", Transportation Research Board, 1988, pp. 40-50.
26. **Wang K. C. P.**, "Automated Pavement Distress Survey through Stereovision", Final Report for Highway IDEA Project 88, Fayetteville, AR, University of Arkansas, , August 2004.
27. **K. Terada, M. Nagao, A. Kasahara, T. Fukuhara, S. Ichihashi**, "Automatic Pavement Distress Survey System", Journal of Transportation Engineering, May 1990, vol. 116, no. 3, pp. 280-286.
28. **Wright A., McRobbie S.**, "TTS Research - Crack detection on local roads - Phase 1", published project report 074, Department for Transport, Traffic Management, September 2005.
29. **Lee H. D., Lee B. J.**, "Position Invariant Neural Network for Digital Pavement Crack Analysis", USA, Blackwell Publishing, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2004, vol. 19, pp. 105-118.

30. **Wang K. C., Gong W.**, "Real-Time Automated Survey System of Pavement Cracking in Parallel Environment", Fayetteville, AR, Journal of Infrastructure Systems, 2005, vol. 11, no. 3, pp. 154-164.
31. **Huang Y., Xu B.**, "Automatic Inspection of Pavement Cracking Distress", Austin, Texas, Texas Department of Transportation, 2006.
32. **Smith K. L., Titus-Glover L., Evans L. D.**, "Pavement Smoothness Index Relationships: Final Report", United States, Turner-Fairbank Highway Research Center, 2002.
33. **Gonzalez R. C., Woods R. E.**, "Digital Image Processing, Third Edition", United States, Pearson Prentice Hall, 2008.
34. **Plataniotis K. N., Venetsanopoulos A. N.**, "Color Image Processing and Applications", Engineering – Monograph (English), February 2000.
35. **Correia P. L., Oliveira H.**, "Identifying and retrieving distress images from road pavement surveys", CA, 2008 15th IEEE International Conference on Image Processing San Diego, 2008, pp. 57-60.
36. **Chatterjee S., Katz N., Nelson M., Goldbaum M., Chaudhuri S.**, "Detection of blood vessels in retinal images using two-dimensional matched filters", IEEE Transactions on Medical Imaging, 1989, vol. 8, no. 3, pp. 263–269.
37. **Jedynak B., Geman D.**, "An active testing model for tracking roads in satellite images," United States, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, vol. 18, no. 1, pp. 1–14.
38. **Acosta J. A., Figueroa J. L., Mullen R. L.**, "Low-cost video image processing system for evaluating pavement surface distress", Washington, D.C., Transportation Research Board, 1992, vol. 1348, pp. 63-72.

39. **Kharoufa Z. B., Wong E. K., Mahler D. S., Shaw L. G.**, "Pavement distress analysis using image processing techniques", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 1991, vol. 6, no. 1, pp. 1-14.
40. **Amin V. R., Ceylan H., Teomete E., Smadi O.**, "Digital image processing for pavement distress analyses", Ames, Iowa, Iowa State University, *Proceedings of the Mid-Continent Transportation Research Symposium*, 2005.
41. **Abou-Zeid M. N., Darwin D., Ketcham K.W.**, "Automated crack identification for cement paste", *Cement and Concrete Research*, 1995, vol. 25, no. 3, pp. 605–616.
42. **Uematsu K., Tanaka N.**, "A crack detection method in road surface images using morphology", Japan, *IAPR Workshop on Machine Vision Application*, Makuhari, Chiba, November 1998, pp. 154-157.
43. **Aoki Y., Ito A., Hashimoto S.**, "Accurate extraction and measurement of fine cracks from concrete block surface image", Japan, *IECON 02 (Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the)*, Tokyo, 2002, vol. 3, pp. 2202-2207.
44. **Skolnick M. M., Bhagvati C., Brivas D. A.**, "Gaussian normalization of morphological size distributions for increasing sensitivity to texture variations and its application to pavement distress classification", United States, *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, June 1994, pp. 700-703.
45. **Oliveira H., Correia P. L.**, "Automatic road crack segmentation using entropy and image dynamic thresholding", Scotland, *Proceedings of the European Signal Processing Conference*, Glasgow, August 2009, pp. 622-626.
46. **Oliveira H., Correia P. L.**, "Supervised strategies for cracks detection in images of road pavement flexible surfaces", Switzerland, *Proceedings of the European Signal Processing Conference*, Lausanne, August 2008.

47. **Chen C. F., C. Lee, C. J. Hsu, Huang S. M.**, "Airport pavement distress image classification using moment invariant neural network", Proceedings of the Asian Conference on Remote Sensing, National University of Singapore, 2001, vol. 1, pp. 216-220.
48. **Chou J., Cheng H. D., O'Neill W. A.** , "Pavement distress classification using neural networks", Texas, Proceedings of the IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, San Antonio, 1994, vol. 1, pp. 397-401.
49. **De Natale F., De Toni G., Boukouvalas C., Kittler J., Marik R., Mirmehdi M., Petrou M., Le Roy P., Salgari R., Vernazza G.** , "ASSIST: automatic system for surface inspection and sorting of tiles", United Kingdom, Journal of Materials Processing Technology, University of Surrey, 1998, vol. 82, no. 1, pp. 179-188.
50. **Huang P., Zhou J., Chiang F. P.**, "Wavelet-based pavement distress classification", United States, Journal of the Transportation Research Board-Transportation Research Record, 2005, no. 1940, pp. 89-98.
51. **Abas F. S., Martinez K.**, "Classification of painting cracks for content-based analysis", United States, Proceedings of the SPIE, Annual Symposium Electronic Imaging: Machine Vision Applications in Industrial Inspection XI, Santa Clara, 2003, vol. 5011, pp. 149-160.
52. **Delagnes P., Barba D.**, "A markov random field for rectilinear structure extraction in pavement distress image analysis", Washington, D.C., Proceedings of the International Conference on Image Processing, October 1995, vol. 1, pp. 446-449.
53. **Chambon S.**, "Detection of points of interest for geodesic contours: application on road images for crack detection", Portugal, Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP '11), Algarve, 2011.
54. **Pratt W. K.**, "Digital Image Processing", 3-rd edition, Wiley J. & Sons Inc., 2001.

55. **Pal S. K. , Pal R. N.**, "A review on image segmentation techniques", Great Britain, Pattern Recognition, 1993, vol. 26, Issue 9, pp. 1277-1294.
56. **Xianglong L., Qingquan L.**, "A model for segmentation and distress statistic of massive pavement images based on multi-scale strategies", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, 2008, vol. XXXVII, part B5., pp. 63-67.
57. **Shameena A., Santhoshi R., Napoleon D.**, "An Efficient Detection and Segmentation of Pavement Cracks in Remote Sensing Images using Grow Cut Algorithm", International Journal of Computational Intelligence and Informatics, September 2013, vol. 3, no. 2, pp. 84-88.
58. **Qin G., Wang X.**, "Pavement Image Segmentation Based on FCM Algorithm Using Neighborhood Information", Telkomnika, November 2012, vol.10, no. 7, pp. 1610-1614.
59. **Wang G., Zuo C., Zuo Y.**, "A Novel Image Segmentation Method of Pavement Surface Cracks Based on Fractal Theory", Computational Intelligence and Security, 2008, vol.2, pp. 485-488.
60. **Liu X., Li Q.**, "Novel Approach to Pavement Image Segmentation Based on Neighboring Difference Histogram Method", Image and Signal Processing, May 2008, vol. 2, pp. 792-796.
61. **Chen Z., Sun L., Wang H.**, "Image Preprocessing Methods to Identify Micro-cracks of Road Pavement", Optics and Photonics Journal, January 2013, vol. 3, pp. 99-102.
62. **Ho T. W., Chou C. C., Chen C. T., Lin, J. D.**, "Pavement Distress Image Recognition Using k-means and Classification Algorithms", United Kingdom, The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering and The XVII Workshop on Intelligent Computing in Engineering, 2010, pp. 13-78.

63. **Kalyankar N.V., Khamitkar S. D., Al-amri S. S.**, "Image Segmentation by Using Thershod Techniques", United States, Journal of computing, 2010, vol. 2, Issue 5, pp. 83-86.
64. **Ritter G. X., Wilson J. N.**, "Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra", Second Edition, Washington, D.C., Boca Raton, CRC Press LLC. 1996.
65. **Patera J., Asatryan D.**, "Edge-Detection Algorithm Based on DCT Continuous Extension Technique", Proc. of XII Int. Conf. on Symmetry Methods in Physics, 2006, vol. 71, no. 5, pp. 795-799.
66. **Amari S., Cichoki A.**, "Adaptive Blind Signal and Image Processing, Learning Algorithms and Applications", England, John Wiley & Sons, LTD, ISBN 0471 60791 6, 2002.
67. **Mui J. K., Fu K. S.**, "A survey of image segmentation", Pattern Recognition, 1981, vol. 13, no. 1, pp. 3-16.
68. **Krim H., Irving W. W., Karl W. C., Wilsky A. S., Fosgate C. H.**, "Multiscale segmentation and anomaly enhancement of SAR Imagery", IEEE Transactions on Image Processing, January 1997, vol. 6, no. 1, pp. 7-20.
69. **Stergiopoulos S.**, "Advanced Signal Processing Handbook, Theory and Implementation for Radar, Solar, and Medical Imagint Real-Time Systems", United States of America, Boca Ration, CRC Press LLC, Boca Raton, 2001.
70. **Kavitha V., Mythili C.**, "Efficient Technique for Color Image Noise Reduction", The Research Bulletin of Jordan ACM, 2011, vol. I I, pp. 41-44.
71. **Sazhumyan G. S, Asatryan D. G.**, "Method of coherent segmentation and its application to restore damaged images", Proceedings of SEUA, series of Modeling, optimization, and control, 2006, vol. 2, Issue 9, pp. 15-21.

72. **Maire M., Fowlkes C., Arbelaez P., Malik J.**, "Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, August 2011, vol. 33, no. 5, pp. 898-916.
73. **Otsu N.**, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, January 1979, pp. 62–66.
74. **Wang M. J. J., Huang L. K.**, "Image Thresholding by Minimizing the Measures of Fuzziness", Great Britain, Pattern Recognition Society, 1995, vol. 28, no. 1, pp. 41-51.
75. **Glasbey C. A.**, "An Analysis of Histogram-Based Thresholding Algorithms", CVGIP: Graphical Models and Image Processing, November 1993, vol. 55, pp. 532-537.
76. **Illingworth J., Kittler J.**, "Minimum error thresholding", USA, Pattern Recognition, New York, 1986, vol. 19, Issue 1, pp. 41-47.
77. **Tam P. K. S, Li C. H.**, "An Iterative Algorithm for Minimum Cross Entropy Thresholding", Pattern Recognition Letters, 1998, vol. 18, Issue 8, pp. 771-776.
78. **Куркчиян В. В., Харатян Л. Р., Асатрян Д.Г.**, "Метод классификации текстур с использованием структурных характеристик изображения", Компьютерная оптика, том 38, 2014, №3, С. 574-579.
79. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/127788/7/D-c-%20Arduino%20uno.pdf>
80. **Octeau D., McDaniel P., Chaudhuri S., Enck W.**, "A Study of Android Application Security", CA, USA, SEC'11 Proceedings of the 20th USENIX conference on Security, 2011, pp. 21-37.
81. http://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html
82. <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.1/en/what-is-mysql.html>
83. <http://php.net/manual/en/preface.php>
84. **Kaehler A., Bradski G.**, "Learning OpenCV, Computer vision with the OpenCV library", United States of America, CA, O'Reilly Media, Inc, 2008
85. <http://docs.cntd.ru/document/1200044969>

ՀԱՊԱՎՈՒՄՆԵՐԻ ՑԱՆԿ

ՃԾ - Ճանապարհային ծածկույթ

ՄՏՀ - մարդու տեսողական համակարգ

ՃԾԿՀ - Ճանապարհային ծածկույթների կառավարման համակարգեր

ՊՀԱՀ - Պատկերների հավաքագրման ավտոմատացված համակարգ

ՊՎԱՀ - Պատկերների վերլուծության ավտոմատացված համակարգ

ՕՀ - Օպերացիոն համակարգ

ԳԲ - Գիգաբայթ

ՕՀՍ - Օպերատիվ հիշողության սարք

ՊՏՀ - Պրոցեսորի տակտային հաճախություն

ՄՓ - ՄեգաՓիքսել

ARAN - Automatic Road Analyzer

CSIRO - Commonwealth Science and Industrial Research Organisation

RAV - Road assessment vehicle

PCES - Pavement condition evaluation services

DHDV - Digital highway data vehicle

ICC - International Cybernetics Corporation

MDR - Memory Data Register

LCD - Liquid crystal display

LRIS - Laser Road Imaging System

USB - *Universal Serial Bus*

ICSP - *in-circuit serial programming*

IDE - Integrated development environment

SDK - Software development kit

VPS - Virtual Private Server

UNIX - UNiplexed Information and Computing Service

AIX - Advanced Interactive eXecutive

SQL - Structured Query Language

BSD - Berkeley Software Distribution

PHP - *Hypertext Preprocessor*

LAMP - Linux Apache MySQL PHP

LED - Light Emitting Diode

IR - Infrared

GPS - Global Positioning System

LTS - Long-Term Support

HTTP - Hypertext Transfer Protocol

HTML - HyperText Markup Language

CSS - Cascading Style Sheet

ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ

«Վայքի ՃՇՇ» ՓԲԸ

Գուրգեն Հովհաննեսի Հակոբյանի «Թվայնացված պատկերների մշակման ավտոմատացված համակարգի ստեղծումը ճանապարհային ծածկույթների որակի գնահատման համար» թեմայով ատենախոսության արդյունքների

ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԱԿՏ

ՀԱՊՀ «Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ և ավտոմատացում» ամբիոնի 3-րդ կուրսի ասպիրանտ Գ.Հ. Հակոբյանի ատենախոսության շրջանակներում մշակված թվայնացված պատկերների մշակման եղանակը, ճանապարհային ծածկույթի որակի գնահատման եղանակը և մշակված ավտոմատացված համակարգը ներդրվել են «Վայքի ՃՇՇ» ՓԲԸ-ում և կիրառվում են ճանապարհային ծածկույթների որակի հսկման աշխատանքներն իրականացնելու ընթացքում:

Մշակված ավտոմատացված համակարգի կիրառությունը թույլ է տալիս բարձրացնել ճանապարհային ծածկույթների որակի գնահատման աշխատանքների արագությունը, ինչպես նաև կազմել արատների հայտնաբերման վիճակագրական վերլուծություններ:



Գ. Հակոբյան
04.05.2016թ.

Հասցե՝ Վայոց Ձորի մարզ, ք. Վայք

Հեռ.՝ 0282-2-25-12