

Zəif Keyfiyyətli Təsvirlərin Analizi üçün Adaptiv Filtrasiya və Seqmentasiya Metodlarının Müqayisəli Təhlili və Onların Rəqəmsal Kriminalistikada Tətbiqləri

Ülkər Əlizadə

Dövlət Təhlükəsizliyi Xidmətinin Heydər Əliyev adına Akademiyası, Bakı, Azərbaycan
ulkeralizadeh@gmail.com

Xülasə - Məqalədə zəif keyfiyyətli təsvirlərin emalı üçün filtrasiya və seqmentasiya metodlarının müqayisəli təhlili təqdim olunur. Tədqiqat çərçivəsində qeyri-bərabər işıqlandırma və müxtəlif səs-küy növlərinə malik təsvirlər üzərində eksperimental sınaqlar aparılmışdır. Filtrasiya nəticələri həm vizual, həm də PSNR və SSIM kimi obyektiv metrikalar əsasında qiymətləndirilmişdir. Əldə olunan nəticələr göstərmişdir ki, bilateral filtrasiya daha yüksək keyfiyyət göstəriciləri təmin edir və struktur xüsusiyyətlərin qorunmasında üstünlük təşkil edir. Ümumilikdə, filtrasiya və seqmentasiya metodlarının uyğun kombinasiyasına əsaslanan adaptiv yanaşma zəif keyfiyyətli təsvirlərin analizi üçün daha effektiv hesab olunmuş və rəqəmsal kriminalistika tətbiqlərində mühüm praktik əhəmiyyətə malik olduğu müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər - *rəqəmsal təsvir emalı; filtrasiya; seqmentasiya; adaptiv metodlar; rəqəmsal kriminalistika.*

I. GİRİŞ

Müasir dövrdə rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı nəticəsində vizual məlumatların, xüsusilə təsvir və video məlumatlarının həcmi əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Bu məlumatlar təhlükəsizlik sistemlərində, müşahidə kameralarında, sənaye nəzarət proseslərində və bir çox digər tətbiq sahələrində geniş istifadə olunur. Belə sistemlərdə əsas vəzifələrdən biri təsvirlərdə mövcud olan informativ elementlərin, obyektlərin, konturların və struktur xüsusiyyətlərin mümkün qədər dəqiq aşkarlanması və təhlil edilməsidir.

Lakin real mühitdə əldə olunan təsvirlər əksər hallarda ideal keyfiyyətə malik olmur. Qeyri-bərabər işıqlandırma, müxtəlif növ səs-küy (impuls, termal və s.), sıxılma nəticəsində yaranan artefaktlar və texniki məhdudiyyətlər təsvirin vizual keyfiyyətinə ciddi təsir göstərir [1]. Nəticədə obyektlərin konturları zəifləyir, fon ilə obyekt arasındakı kontrast azalır və bəzi hallarda mühüm informativ sahələr qismən və ya tam şəkildə itə bilər. Bu kimi amillər təsvirlərin emalı və sonrakı analiz mərhələlərini çətinləşdirir və daha effektiv, adaptiv yanaşmaların tətbiqini zəruri edir [2].

Təsvir emalı prosesində filtrasiya və seqmentasiya mərhələləri bu baxımdan xüsusi rol oynayır [3]. Filtrasiya metodları təsvirin küydən təmizlənməsi və struktur

xüsusiyyətlərin qorunmasına xidmət edir, seqmentasiya isə təsvirin məntiqi hissələrə bölünməsi və obyektlərin fon mühitindən ayrılması üçün istifadə olunur [4]. Ənənəvi yanaşmalar (məsələn, Gauss filtrləri, qlobal sərhəd üsulları) bir sıra hallarda qənaətbəxş nəticələr versə də, mürəkkəb və dəyişkən şəraitdə onların effektivliyi məhdud qalır. Bu səbəbdən kənarları qoruyan və lokal xüsusiyyətlərə uyğunlaşan adaptiv metodlara ehtiyac yaranır. Son illərdə dərin öyrənmə əsaslı yanaşmalar təsvirlərin tanınması sahəsində yüksək nəticələr göstərmişdir [5], lakin aşağı keyfiyyətli təsvirlərdə klassik metodların rolu hələ də aktual olaraq qalır.

Son illərdə təklif olunan struktur qoruyucu filtrasiya üsulları (məsələn, ikitərəfli filtrasiya) və adaptiv seqmentasiya yanaşmaları mürəkkəb strukturlu təsvirlərdə obyektlərin daha dəqiq ayrılmasına imkan verir [2, 4]. Bu metodlar xüsusilə aşağı kontrastlı, səs-küylü və qeyri-bərabər işıqlandırılmış təsvirlərdə daha stabil nəticələr göstərir və sonrakı analiz mərhələlərinin dəqiqliyini artırır.

Zəif keyfiyyətli təsvirlərin analizi rəqəmsal kriminalistika sahəsində xüsusi aktualıq kəsb edir. Bu tədqiqat hüquq-mühafizə orqanlarında istifadə olunan video müşahidə sistemlərindən əldə edilən aşağı keyfiyyətli təsvirlərin analizinə yönəldilmişdir. Məsələn, müşahidə kameralarından əldə olunan aşağı keyfiyyətli görüntülərdə nömrə nişanlarının oxunması, şəxslərin tanınması və hadisə səhnəsinin təhlili üçün təsvirin ilkin emalı çox vacibdir. Bu kontekstdə filtrasiya və seqmentasiya metodlarının müxtəlif şəraitlərdə davranışının sistemli şəkildə öyrənilməsi praktik baxımdan əhəmiyyətlidir.

Bu işdə klassik yanaşmaların sadə tətbiqindən fərqli olaraq, müxtəlif filtrasiya və seqmentasiya metodlarının zəif keyfiyyətli təsvirlərdə davranışı sistemli şəkildə təhlil olunur. Tədqiqatın əsas məqsədi bu metodların müxtəlif küy və işıqlandırma şəraitlərində effektivliyini müqayisəli şəkildə qiymətləndirməkdir. Eyni zamanda onların üstün və zəif cəhətlərini müəyyənləşdirmək, həmçinin nəticələrin rəqəmsal kriminalistika sahəsində tətbiq imkanlarını əsaslandırmaqdır.

II. PROBLEMİN QOYULUŞU VƏ TƏDQIQAT MƏQSƏDİ

Rəqəmsal mühitdə əldə olunan vizual məlumatların emalı zamanı əsas çətinliklərdən biri bu məlumatların əldə olunma

şəraitinin qeyri-sabit və dəyişkən olması ilə bağlıdır. Praktik təbirlərdə, xüsusilə müşahidə sistemlərindən əldə edilən görüntülərdə işıqlandırmanın qeyri-bərabər paylanması, müxtəlif xarakterli səs-küy təsirləri, sıxılma nəticəsində yaranan təhriflər və təsvirin struktur baxımından qeyri-bircinsliyi informativ sahələrin etibarlı şəkildə ayrılmasını çətinləşdirir. Bu şəraitdə eyni təsvir üzərində tətbiq olunan müxtəlif filtrasiya və seqmentasiya üsulları fərqli nəticələr verə bilər ki, bu da metod seçiminin təsadüfi deyil, konkret təsvir xüsusiyyətlərinə əsaslanan şəkildə aparılmasını zəruri edir. Lakin mövcud yanaşmalarda metod seçimi çox vaxt ümumi qaydalara əsaslanır və konkret küy növü, işıqlandırma şəraiti və struktur xüsusiyyətlər sistemli şəkildə nəzərə alınmır [6].

Mürəkkəb şəraitdə əldə olunan təsvirlərdə informativ sahələrin qismən itməsi və ya örtülməsi problemi xüsusilə nömrə nişanları, insan simaları və hərəkətdə olan obyektlər kimi struktur baxımından həssas elementlərin təhlilində daha qabarıq şəkildə özünü göstərir [6]. Bu tip hallarda obyekt konturunun bütövlüyünün qorunması və lokal struktur xüsusiyyətlərin saxlanması onun düzgün seqmentasiyası və sonrakı interpretasiyası üçün həlledici rol oynayır. Əks halda, struktur deformasiyası və ya kontur itkisi analiz nəticələrinin etibarlılığına mənfi təsir göstərir. Müşahidələr göstərir ki, ənənəvi emal metodları müəyyən şərtlərdə qənaətbəxş nəticələr versə də, dəyişkən mühitlərdə onların tətbiqi zamanı nəticələrin sabitliyi və dəqiqliyi əhəmiyyətli dərəcədə azalır [7].

Problemin digər mühüm tərəfi filtrasiya və seqmentasiya mərhələlərinin çox vaxt ayrı-ayrı və müstəqil proseslər kimi nəzərdən keçirilməsidir [4]. Halbuki real təbirlərdə bu mərhələlər funksional baxımdan bir-biri ilə sıx əlaqəlidir və ilkin filtrasiya mərhələsində əldə olunan nəticələr seqmentasiya prosesinin keyfiyyətini birbaşa müəyyən edir. Məsələn, həddindən artıq hamarlaşdırma kontur məlumatının zəifləməsinə, qeyri-kafi filtrasiya isə seqmentasiya zamanı əlavə səhv sahələrin yaranmasına səbəb ola bilər. Bu baxımdan filtrasiya və seqmentasiya metodlarının qarşılıqlı təsir kontekstində və konkret təsvir xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla öyrənilməsi daha məqsədəuyğun yanaşma hesab olunur [2, 4].

Bu yanaşma xüsusilə rəqəmsal kriminalistika sahəsində praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, aşağı keyfiyyətli müşahidə görüntülərində obyektlərin düzgün ayrılması və informativ sahələrin bərpası son nəticələrin etibarlılığı üçün kritikdir. Bu tip məsələlərdə istifadə olunan emal metodlarının effektivliyinin yalnız vizual deyil, həm də obyektiv meyarlar əsasında qiymətləndirilməsi (məsələn, kontur dəqiqliyi, küyün azaldılma səviyyəsi və struktur məlumatın qorunması göstəriciləri üzrə) zəruri hesab olunur.

Bu baxımdan təqdim olunan tədqiqatın əsas məqsədi mürəkkəb şəraitdə əldə olunmuş təsvirlərin emalı üçün müxtəlif filtrasiya və seqmentasiya metodlarının tətbiq imkanlarını sistemli şəkildə araşdırmaq, onların effektivliyini müxtəlif küy növləri (Gauss və impuls tipli küy) qeyri-bərabər işıqlandırma şəraitləri və struktur mürəkkəbliyi fərqli olan təsvirlər üzrə müqayisəli şəkildə qiymətləndirmək və əldə olunan nəticələrin vizual məlumatların analizi tələb olunan sahələrdə, o cümlədən rəqəmsal kriminalistika kontekstində istifadəsini əsaslandırmaqdan ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə uyğun olaraq aşağıdakı vəzifələr müəyyən edilmişdir:

- müxtəlif filtrasiya metodlarının (median, Gauss, bilateral) fərqli küy növləri şəraitində təsirinin araşdırılması və PSNR/SSIM metrikaları əsasında qiymətləndirilməsi;
- seqmentasiya üsullarının (qlobal və adaptiv thresholding, Canny, watershed) obyektlərin fon mühitindən ayrılması baxımından müqayisəli qiymətləndirilməsi;
- filtrasiya və seqmentasiya mərhələlərinin qarşılıqlı təsirinin təhlili;
- müxtəlif şəraitlərdə metodların üstün və məhdud tərəflərinin müəyyən edilməsi;
- əldə olunan nəticələr əsasında praktiki təbirlər üçün uyğun emal strategiyalarının ümumiləşdirilməsi.

III. METODOLOJİ ƏSASLAR: ADAPTİV FİLTRASIYA VƏ SEQMENTASIYA YANAŞMALARI

Bu tədqiqatda zəif keyfiyyətli təsvirlərin analizi üçün adaptiv filtrasiya və seqmentasiya metodlarının müqayisəli şəkildə öyrənilməsinə əsaslanan kompleks metodoloji yanaşma tətbiq edilmişdir. Bu yanaşmanın məqsədi tək bir universal alqoritm seçmək deyil, müxtəlif metodların fərqli şəraitlərdə necə işlədiyini araşdırmaq və konkret təsvirə ən uyğun emal üsulunu müəyyən etməkdir. Bu baxımdan təsvir keyfiyyətinin dəyişkənliyi, filtrasiya və seqmentasiya mərhələlərinin qarşılıqlı təsiri və nəticələrin həm keyfiyyət, həm də ölçülə bilən meyarlar üzrə qiymətləndirilməsi tədqiqatın əsas prinsipləri kimi qəbul edilmişdir.

Tədqiqat çərçivəsində müxtəlif keyfiyyət səviyyələrinə malik təsvirlərdən istifadə olunmuşdur. Eksperimental sınaqlar zamanı ilkin olaraq baza təsvirlər üzərində süni şəkildə müxtəlif növ küylər əlavə edilmiş, daha sonra filtrasiya metodları tətbiq olunaraq nəticələr orijinal təsvirlə müqayisə edilmişdir. Seçilmiş təsvirlər real təbirlərə uyğun olaraq aşağıdakı xüsusiyyətləri əhatə edir: qeyri-bərabər işıqlandırma, impuls və Gauss tipli səs-küy, konturların zəifləməsi və ya qismən itirilməsi, həmçinin sıxılma nəticəsində yaranan artefaktlar. Analizin sistemli aparılması məqsədilə təsvirlər küy səviyyəsinə, işıqlandırma şəraitinə və struktur mürəkkəbliyinə görə qruplaşdırılmışdır. Bu qruplaşdırma müxtəlif metodların konkret şəraitlərdə məhsuldarlığını daha obyektiv müqayisə etməyə imkan verir və metod seçiminin təsadüfi deyil, şəraitə əsaslanan şəkildə aparılmasını təmin edir [6, 7].

Filtrasiya mərhələsində əsas məqsəd küyün effektiv azaldılması ilə yanaşı təsvirin struktur informativliyinin, xüsusilə obyekt konturlarının qorunması olmuşdur. Bu məqsədlə müxtəlif xüsusiyyətlərə malik üç əsas filtrasiya üsulu tətbiq edilmişdir:

- Gauss filtrasiyası təsadüfi (ağ) səs-küyün azaldılması üçün istifadə olunan klassik hamarlaşdırma üsulu;
- Median filtrasiyası impuls tipli səs-küyün (salt-and-pepper) aradan qaldırılmasında effektiv olan qeyri-xətti yanaşma;

- İkitərəfli filtrasiyası həm məkan, həm də intensivlik fərqlərini nəzərə alaraq kənarların qorunmasını təmin edən adaptiv filtrasiya üsulu [3, 4].

Bu metodların seçimi onların müxtəlif küy modellərinə qarşı fərqli davranış nümayiş etdirməsi ilə əsaslandırılmışdır. Filtrasiya nəticələri əsasən vizual keyfiyyət, obyekt konturlarının qorunması və küyün azaldılması səviyyəsi əsasında qiymətləndirilmişdir. Bu yanaşma filtrasiya prosesinin obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan verir.

Filtrasiya mərhələsindən sonra təsvirlərin struktur analizinin həyata keçirilməsi üçün müxtəlif seqmentasiya metodlarından istifadə olunmuşdur. Bu mərhələdə aşağıdakı yanaşmalar tətbiq edilmişdir:

- Qlobal hədləmə üsulu – sabit işıqlandırma şəraitində obyekt-fon ayrılması üçün;
- Adaptiv hədləmə üsulu – qeyri-bərabər işıqlandırma şəraitində lokal hədlərin təyin edilməsi üçün;
- Canny kənar aşkarlama üsulu – obyekt konturlarının dəqiq müəyyən edilməsi üçün;
- Watershed seqmentasiyası – mürəkkəb və bir-birinə yaxın yerləşən obyektlərin ayrılması üçün region əsaslı yanaşma kimi [3, 5].

Bu metodlar müxtəlif təsvir qrupları üzərində tətbiq edilmiş və onların effektivliyi obyektlərin fon mühitindən ayrılması, kontur bütövlüyünün qorunması və əlavə küy sahələrinin yaranması baxımından müqayisə edilmişdir. Seqmentasiya nəticələrinin qiymətləndirilməsində həm vizual analiz, həm də kontur dəqiqliyi və sahə uyğunluğu kimi meyarlar nəzərə alınmışdır.

Tədqiqatın əsas xüsusiyyətlərindən biri filtrasiya və seqmentasiya mərhələlərinin qarşılıqlı əlaqədə təhlil edilməsidir. Bu məqsədlə müxtəlif filtrasiya üsulları ilə əvvəlcədən emal olunmuş təsvirlər üzərində eyni seqmentasiya metodları tətbiq edilmiş və nəticələr müqayisə edilmişdir. Bu yanaşma filtrasiya keyfiyyətinin seqmentasiya nəticələrinə təsirini aydın şəkildə göstərməyə imkan vermişdir. Aparılan təhlillər göstərir ki, filtrasiya mərhələsində əldə olunan nəticələrin keyfiyyəti seqmentasiya prosesinin dəqiqliyinə birbaşa təsir göstərir və bu mərhələlərin ayrı-ayrılıqda deyil, kompleks şəkildə nəzərdən keçirilməsi daha effektivdir [4].

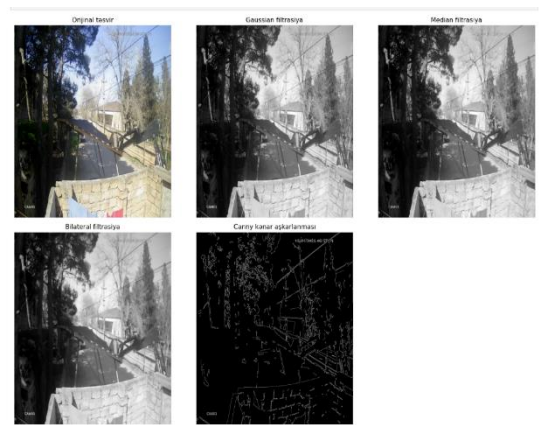
Təklif olunan metodoloji yanaşma rəqəmsal kriminalistika sahəsinə uyğunlaşdırılmışdır [1, 2]. Bu çərçivədə müşahidə kameralarından əldə olunmuş aşağı keyfiyyətli görüntülərdə obyektlərin aşkarlanması, səs-küylə örtülmüş və ya qismən zədələnmiş təsvirlərdə informativ sahələrin bərpası və analiz nəticələrinin etibarlılığının artırılması kimi praktiki məsələlər nəzərdən keçirilmişdir. Aparılan təhlillər göstərir ki, təsvirin xüsusiyyətlərinə uyğun olaraq filtrasiya və seqmentasiya metodlarının adaptiv seçimi rəqəmsal sübutların interpretasiyası zamanı daha stabil və etibarlı nəticələrin əldə olunmasına imkan verir.

IV. EKSPERİMENTAL SINAQLAR VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Təklif olunan metodoloji yanaşmanın effektivliyini qiymətləndirmək məqsədilə müxtəlif keyfiyyət xüsusiyyətlərinə

malik təsvirlər üzərində eksperimental sınaqlar həyata keçirilmişdir. Tədqiqat çərçivəsində istifadə olunan təsvirlər real tətbiq mühitinə uyğun olaraq seçilmiş və rəqəmsal kriminalistika baxımından əhəmiyyət kəsb edən ssenariləri əhatə etmişdir. Eksperimental sınaqlar OpenCV kitabxanası əsasında Python mühitində həyata keçirilmişdir. Təhlildə müşahidə kameralarından əldə olunmuş aşağı keyfiyyətli təsvir nümunələrindən istifadə edilmişdir. Bu təsvirlərə müşahidə kameralarından əldə olunmuş insan fiqurları və sima görüntüləri, nəqliyyat vasitələrinin nömrə nişanları, eləcə də küy və işıqlandırma problemləri ilə xarakterizə olunan aşağı keyfiyyətli obyekt təsvirləri daxildir. Seçilmiş nümunələrdə qeyri-bərabər işıqlandırma, impuls və Gauss tipli küy, kontur zəifləməsi və sıxılma artefaktları müşahidə olunduğundan, müxtəlif metodların fərqli şəraitlərdə davranışını müqayisə etmək mümkün olmuşdur [6, 7].

Eksperimental mərhələdə təsvirlər əvvəlcə filtrasiya üsulları ilə emal olunmuş, daha sonra isə eyni təsvirlər üzərində müxtəlif seqmentasiya metodları tətbiq edilərək nəticələr müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir.



Şəkil 1. Zəif keyfiyyətli müşahidə görüntüsü üzərində müxtəlif filtrasiya və Canny əsaslı kənar aşkarlama üsullarının müqayisəli nəticələri

Aparılan vizual müqayisə göstərir ki, Gaussian filtrasiyası ümumi küyün azaldılması baxımından effektiv olsa da, bəzi struktur detalların zəifləməsinə səbəb olur. Median filtrasiyası impuls xarakterli pozuntuların aradan qaldırılmasında daha stabil nəticə göstərir. Bilateral filtrasiya isə həm küyün azaldılması, həm də obyekt konturlarının qorunması baxımından daha balanslı nəticə təqdim edir. Bilateral filtrasiya sonrası tətbiq olunan Canny operatoru obyekt sərhədlərinin daha aydın aşkarlanmasına imkan vermişdir.

Qiymətləndirmə əsasən vizual analizə əsaslanaraq aparılmış və nəticələr küyün azaldılması səviyyəsi, obyekt konturlarının qorunması və fon ilə obyektin ayrılma dəqiqliyi baxımından müqayisə edilmişdir.

Müqayisəli təhlil əsasən qiymətləndirmə metrikaları (PSNR və SSIM) və vizual qiymətləndirmə əsasında aparılmışdır [3]. PSNR və SSIM göstəriciləri orijinal və filtrasiya olunmuş təsvirlərin müqayisəsi əsasında hesablanmışdır.

Təklif olunan metodların effektivliyini yalnız vizual analizlə deyil, həm də qiymətləndirmə metrikaları əsasında təhlil etmək məqsədilə PSNR və SSIM göstəricilərindən istifadə olunmuşdur [3, 8]. PSNR təsvirin səs-küy səviyyəsini və bərpə

keyfiyyətini qiymətləndirən metrika olub, yüksək qiymətlər daha yaxşı bərpa nəticəsini göstərir. SSIM isə təsvirlərin struktur oxşarlığını qiymətləndirir və 0 ilə 1 intervalında dəyişir, 1-ə yaxın qiymətlər daha yüksək struktur uyğunluğunu ifadə edir.

Eksperimental nəticələr əsasında müxtəlif filtrasiya metodlarının performansı aşağıdakı Cədvəl I-də təqdim edilmişdir.

CƏDVƏL I. FİLTRASIYA METODLARININ PSNR VƏ SSIM ÜZRƏ MÜQAYİSƏSİ

Metod	Küy tipi	PSNR (dB)	SSIM	Kontur qorunması
Gauss	Qauss küyü	28.7	0.82	Orta
Median	İmpuls küyü (Salt-and-Pepper)	30.9	0.86	Yaxşı
Bilateral	Qarışıq küy	33.2	0.91	Çox yaxşı

Aparılan müşahidələr göstərmişdir ki, filtrasiya metodlarının effektivliyi birbaşa küyün xarakterindən və intensivliyindən asılıdır. İmpuls tipli küyün üstünlük təşkil etdiyi təsvirlərdə median filtrasiyası daha stabil nəticələr vermiş və nöqtəvari pozuntuları effektiv şəkildə aradan qaldırmışdır. Gauss əsaslı hamarlaşdırma ümumi küyün azaldılmasında faydalı olmuş, lakin bəzi hallarda təsvirin incə struktur detallarının zəifləməsinə səbəb olmuşdur. Bilateral filtrasiya isə həm küyün azaldılması, həm də kontur məlumatının qorunması baxımından daha balanslı nəticə göstərmiş və xüsusilə obyekt sərhədlərinin saxlanması baxımından üstünlük təşkil etmişdir [3, 4].

Nəticələr göstərir ki, bilateral filtrasiya həm PSNR, həm də SSIM göstəriciləri üzrə digər metodlarla müqayisədə daha yüksək nəticə vermişdir. Bu isə onun həm küyün azaldılması, həm də struktur xüsusiyyətlərin qorunması baxımından daha effektiv olduğunu təsdiqləyir.

Seqmentasiya mərhələsində əldə olunan nəticələr təsvirin xüsusiyyətlərindən, xüsusilə işıqlandırma şəraitindən və ilkin filtrasiya keyfiyyətindən asılı olaraq dəyişmişdir.

Cədvəl 2-də təqdim olunan nəticələr seqmentasiya metodlarının müxtəlif işıqlandırma şəraitlərində fərqli davranış nümayiş etdirdiyini aydın şəkildə göstərir. Qlobal hədləmə üsulları işıqlandırmanın nisbətən sabit olduğu hallarda qənaətbəxş nəticələr versə də, qeyri-bərabər işıqlandırma şəraitində obyekt və fonun ayrılması qeyri-dəqiq olmuşdur. Bu kimi hallarda adaptiv hədləmə üsulları daha stabil nəticələr göstərmiş və lokal xüsusiyyətləri nəzərə alaraq obyekt sərhədlərinin daha dəqiq müəyyən edilməsinə imkan vermişdir.

CƏDVƏL II. SEQMENTASIYA METODLARININ KEYFİYYƏT GÖSTƏRİCİLƏRİ ÜZRƏ MÜQAYİSƏSİ

Metod	İşıqlandırma şəraiti	Dəqiqlik	Səs-küyə həssaslıq
Qlobal hədləmə	Sabit	Orta	Yüksək
Adaptiv hədləmə	Qeyri-bərabər	Yüksək	Aşağı
Canny	Orta	Yaxşı	Orta
Watershed	Mürəkkəb	Yüksək	Orta

Canny operatoruna əsaslanan kənar aşkarlama üsulu kontur strukturlarının müəyyən olunmasında effektiv olmuş, lakin yüksək küy səviyyəsində tətbiq edildikdə əlavə filtrasiya mərhələsinin zəruri olduğu müşahidə edilmişdir. Watershed tipli region əsaslı seqmentasiya isə mürəkkəb strukturlu və bir-birinə

yaxın yerləşən obyektlərin ayrılması baxımından daha yüksək effektivlik nümayiş etdirmişdir.

Aparılan müqayisə göstərir ki, qeyri-bərabər işıqlandırma şəraitində adaptiv hədləmə üsulu daha stabil nəticələr təqdim edir. Filtrasiya mərhələsində isə bilateral filtrasiya ilə əldə olunmuş təsvirlər üzərində tətbiq edilən seqmentasiya metodları daha yüksək dəqiqliklə obyektlərin ayrılmasına imkan verir. Bu nəticələr filtrasiya və seqmentasiya mərhələlərinin uyğun kombinasiyasının seçilməsinin vacibliyini bir daha təsdiqləyir.

Filtrasiya və seqmentasiya mərhələlərinin qarşılıqlı təhlili göstərmişdir ki, bu proseslər bir-biri ilə sıx bağlıdır və onların ayrı-ayrılıqda deyil, kompleks şəkildə nəzərdən keçirilməsi daha effektiv nəticələr verir. Güclü filtrasiya bəzi hallarda küyü effektiv şəkildə azaltsa da, kontur informasiyasının zəifləməsinə səbəb olmuşdur. Əksinə, zəif filtrasiya seqmentasiya mərhələsində əlavə yanlış sahələrin yaranmasına səbəb olmuşdur. Bu baxımdan optimal nəticə filtrasiya və seqmentasiya metodlarının uyğun kombinasiyasının seçilməsi ilə əldə olunur.

Müxtəlif tip təsvirlər üzrə aparılan müqayisə göstərmişdir ki, metodların effektivliyi konkret şəraitdən asılı olaraq dəyişir və vahid yanaşma bütün hallarda eyni nəticəni vermir.

Eksperimental nəticələr rəqəmsal kriminalistika baxımından da mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Aşağı keyfiyyətli müşahidə görüntülərində obyektlərin seçilməsi, konturların bərpası və informativ sahələrin müəyyənəşdirilməsi kimi məsələlərdə uyğun filtrasiya və seqmentasiya üsullarının seçilməsi analiz nəticələrinin etibarlılığına birbaşa təsir göstərir. Bu isə real təbirlərdə məsələn, nömrə nişanlarının oxunması və ya obyektlərin identifikasiyası kimi hallarda daha əsaslandırılmış və dəqiq qərarların qəbuluna imkan yaradır.

NƏTİCƏ

Bu tədqiqatda zəif keyfiyyətli təsvirlərin emalı üçün müxtəlif filtrasiya və seqmentasiya metodlarının mürəkkəb və dəyişkən şəraitlərdə davranışı müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. Aparılan eksperimental sınaqlar göstərmişdir ki, istifadə olunan metodların effektivliyi təsvirin xüsusiyyətlərindən, xüsusilə səs-küyün növü və intensivliyindən, eləcə də işıqlandırma şəraitindən birbaşa asılıdır. Bu nəticə əvvəlki bölmələrdə irəli sürülmüş yanaşmanı təsdiqləyir ki, təsvir emalı prosesində metod seçimi universal deyil, konkret vəziyyətə uyğun şəkildə aparılmalıdır.

Filtrasiya mərhələsi üzrə əldə olunan nəticələr göstərmişdir ki, impuls tipli küyün üstünlük təşkil etdiyi hallarda median filtrasiyası daha effektivdir və lokal pozuntuların aradan qaldırılmasında üstünlük təşkil edir. Gauss əsaslı hamarlaşdırma ümumi səs-küyün azaldılması baxımından faydalı olsa da, bəzi hallarda təsvirin incə struktur xüsusiyyətlərini zəiflədir. Bilateral filtrasiya isə həm küyün azaldılması, həm də obyekt konturlarının qorunması baxımından daha balanslı nəticə göstərmiş və struktur baxımından həssas təsvirlər üçün daha məqsəduyğun yanaşma kimi çıxış etmişdir.

Aparılan eksperimental qiymətləndirmə nəticəsində PSNR və SSIM metrikaları da filtrasiya metodlarının effektivliyini təsdiqləmişdir. Xüsusilə bilateral filtrasiya digər metodlarla

müqayisədə daha yüksək PSNR və SSIM qiymətləri göstərmişdir ki, bu da həm küyün effektiv azaldıldığını, həm də təsvirin struktur xüsusiyyətlərinin daha yaxşı qorunduğunu göstərir.

Seqmentasiya mərhələsində aparılan təhlillər göstərmişdir ki, qlobal hədləmə üsulları yalnız nisbətən sabit işıqlandırma şəraitində qənaətbəxş nəticələr verir. Qeyri-bərabər işıqlandırma şəraitində isə adaptiv hədləmə üsulları lokal xüsusiyyətləri nəzərə alaraq daha stabil və dəqiq obyekt ayrılması təmin edir. Canny əsaslı kənar aşkarlama kontur strukturlarının müəyyənləşdirilməsində effektiv olmuş, lakin küyün yüksək olduğu hallarda əlavə filtrasiya mərhələsi tələb etmişdir. Watershed yanaşması isə mürəkkəb strukturlu və bir-birinə yaxın yerləşən obyektlərin ayrılması baxımından daha yüksək effektivlik nümayiş etdirmişdir.

Aparılan təhlillər filtrasiya və seqmentasiya mərhələlərinin qarşılıqlı əlaqədə nəzərdən keçirilməsinin vacibliyini bir daha göstərmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, bu mərhələlərin ayrılıqda tətbiqi ilə müqayisədə onların uyğun kombinasiyası daha yüksək keyfiyyətli nəticələr verir. Xüsusilə filtrasiya mərhələsində əldə olunan nəticələrin keyfiyyəti sonrakı seqmentasiya prosesinin dəqiqliyinə birbaşa təsir göstərir.

Ümumiləşdirilmiş nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, vahid bir metod bütün hallarda optimal nəticə vermir və effektiv emal yalnız təsvirin xüsusiyyətlərinə uyğun metodların seçilməsi ilə mümkündür. Bu baxımdan adaptiv yanaşma zəif keyfiyyətli təsvirlərin analizi üçün daha çevik və praktik həll kimi qiymətləndirilə bilər.

Tədqiqatın nəticələri rəqəmsal kriminalistika sahəsi üçün də praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Aşağı keyfiyyətli müşahidə görüntülərində obyektlərin ayrılması, konturların bərpası və informativ sahələrin müəyyənləşdirilməsi kimi məsələlərdə uyğun emal metodlarının seçilməsi analiz nəticələrinin etibarlılığına birbaşa təsir göstərir. Bu isə real tətbiqlərdə, o cümlədən nömrə nişanlarının oxunması və obyektlərin identifikasiyası kimi problemlərdə daha əsaslandırılmış qərarların qəbuluna imkan verir.

Gələcək tədqiqatlarda bu yanaşmanın daha da inkişaf etdirilməsi məqsədilə metod seçiminin avtomatlaşdırılması, müxtəlif təsvir xüsusiyyətlərinə uyğun adaptiv qərar mexanizmlərinin qurulması və nəticələrin ölçülə bilən göstəricilər əsasında daha geniş şəkildə qiymətləndirilməsi məqsədəuyğun hesab olunur.

ƏDƏBİYYAT

- [1] G. G. Abdullayeva and U. M. Alizada, "The application of artificial intelligence technologies in medical diagnostics," *Problems of Information Society*, vol. 16, no. 1, pp. 26–33, 2025.
- [2] G. G. Abdullayeva and U. M. Alizadeh, "Recognition of complex images on a plane," *Proc. Int. Conf. on Artificial Intelligence and Digital Development: Current Realities and Future Perspectives*, Baku, Azerbaijan, Jul. 17, 2024.
- [3] A. Baskar, M. Rajappa, S. K. Vasudevan, and T. S. Muruges, *Digital Image Processing*, 1st ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2023.
- [4] R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, 2nd ed. Cham, Switzerland: Springer, 2022.
- [5] B. Zoph, V. Vasudevan, J. Shlens, and Q. V. Le, "Learning transferable architectures for scalable image recognition," in *Proc. IEEE/CVF Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2018.
- [6] У. М. Ализаде, "Recognition of complex class images in the plane," in *X Международная научно-практическая конференция актуальные проблемы современного образования симметрии: теоретический и методический аспекты Сборник материалов*, 27–28 сентября 2024 г. Астрахань. С. 104–108.
- [7] Г. Г. Абдуллаева, У. М. Ализаде, "Предиктор распознавания сложных изображений на плоскости (на примере снимков УЗИ)," *Znanstvena misel journal*, № 78, С. 76–82, 2023.
- [8] G. G. Abdullayeva and U. M. Alizada, "Recognition of complex images in the plane," *Scientific Journal 'Achievements and Problems of Modern Science'*, pp. 65–70, 2015.

Comparative Analysis of Adaptive Filtering and Segmentation Methods for Analysis of Poor Quality Images and Their Applications in Digital Forensics

Ulker Alizadeh

Heydar Aliyev Academy of the State Security Service,
Baku, Azerbaijan
ulkeralizadeh@gmail.com

Abstract - The article presents a comparative analysis of filtering and segmentation methods for processing poor quality images. Experimental tests were conducted on images with uneven illumination and various types of noise. The filtration results were evaluated based on both visual and objective metrics such as PSNR and SSIM. The results obtained showed that bilateral filtering provides higher quality indicators and is superior in preserving structural features. In general, the adaptive approach based on a suitable combination of filtering and segmentation methods was found to be more effective for the analysis of poor quality images and was found to have significant practical importance in digital forensics applications.

Keywords - digital image processing; filtering, segmentation; adaptive methods; digital forensics.