

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## AZƏRBAYCAN DİLİNDƏ ÇAP ƏLYAZMA SİMVOLLARININ TANINMASINDA TƏTBİQ OLUNAN MÜXTƏLİF ÜSULLARIN MÜQAYİSƏLİ ANALİZİ

İxtisas: 3338.01 – “Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi (sahələr üzrə)”

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Elviz Ənvər oğlu İsmayılov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

### A V T O R E F E R A T I

**Bakı - 2022**

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin  
“Ümumi və tətbiqi riyaziyyat” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Araz Rafiq oğlu Əliyev**

Rəsmi opponentlər:

1. Texnika elmləri doktoru, professor  
**Lətafət Abbas qızı Qardaşova**
2. Texnika elmləri doktoru, professor  
**Məhəmməd Nurməhəmməd oğlu Nuriyev**
3. Texnika üzrə fəlsəfə doktoru,  
**Üzeyir Qurbanqulu oğlu Qurbanlı**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya  
Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin  
nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.02 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

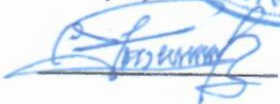
Texnika elmləri doktoru, professor



**Mustafa Baba oğlu Babanlı**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

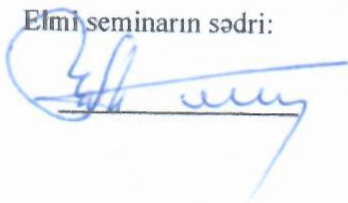
Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent



**Tahir Qaffar oğlu Cabbarov**

Elmi seminarın sədri:

Texnika elmləri doktoru, professor



**Tərən Səməd oğlu Abdullayev**

# İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Ətraf mühitin vizual olaraq interpretasiyası bizim şüuraltı yerinə yetirdiyimiz məsələlərdəndir. Məsələn, insan bir obyektı görərkən onun maşın, ağac və ya digər bir şəxs olduğunu təyin etmədən öncə bu obyektı tədqiq etmir. Lakin, kompüter üçün insanın tanınması (onun hər hansı bir heyvandan, stuldan və ya digər bir insandan fərqləndirilməsi) kifayət qədər kompleks məsələdir. İnsan gözü obyektə baxarkən onun ölçüsü, quruluşu və rəngi haqqında informasiya axtarır. İlk olaraq şəklin analizi səthi yerinə yetirilir, daha sonra xarakteristik detallar öyrənilir.

- Şəkillərin tanınması üçün təklif olunan mövcud alqoritmlərdə oxşar addımlar yerinə yetirilir:
  - Konturların təyin olunması;
  - Daha çox və daha az informasiya kontenti olan hissələrə diqqətin ayrılması;
  - Şəklin detallı analiz olunması;
  - Xüsusi formaların, rənglərin, verilmiş xarakteristikaların aşkarlanması;

1950-ci ilin ən yadda qalan hadisələrdən biri sənəd dövriyyəsində inqilabi dəyişikliklərin baş verməsi idi<sup>1</sup>. Simvolların optik tanınması və yaxud SOT skan edilmiş sənədlərin yalnız şəkil faylları kimi yox, tanınma bilən mətn məzmunlu fayl şəklində saxlamaq və həmin sənədlərin içində axtarış aparıla bilməsinə imkan verir. SOT şəkillərdən müvafiq məlumatları çıxarır və onların adi əl ilə sistemə daxil edilməsinin əvəzinə bu prosesi avtomatlaşdıraraq olaraq verilənlər bazasına daxil edir.

SOT ümumi olaraq çoxsaylı istiqamətlərdə hesab çeşklərinin tanınması, hüquqi sahədə, bank işi, səhiyyə<sup>2</sup> və s. kimi sahələrdə

---

<sup>1</sup> Bachuwar K., Singh A., Bansa G., Tiwari S., "An Experimental Evaluation of Preprocessing Parameters for GA Based OCR Segmentation" // 3rd International Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications (PACIIA 2010), 2010, proceedings, Vol. 2, p. 417-420.

<sup>2</sup> M.D. Ganis, C.L. Wilson, J.L. Blue, Neural network-based systems for handprint OCR applications // IEEE Transactions on Image Processing, 1998, Vol: 7, Issue: 8, p. 1097 – 1112.

sənədlərin tanınmasında tətbiq olunur. SOT eyni zamanda başqa istiqamətlərdə məsələn ekran şəkillərinin oxunması - Captcha, kitabxanaların rəqəmsallaşdırılması, musiqilərin optik tanınması, maşın nömrələrinin<sup>3</sup> və yaxud çap əlyazma mətnlərinin tanınması kimi sahələrdə insanların işlərinin avtomatlaşdırılmasına xidmət edir.

SOT-da əsas problemlərdən biri şəkillərin ilkin emalı (küylərin aradan qaldırılması, seqmentləşdirmə, sekeletləşdirmə və s.) əməliyyatlarıdır. Ədəbiyyatlarda bu məqsədlə çoxlu sayda alqoritmlər təklif olunmuşdur<sup>4, 5</sup>. Dissertasiya işində bu alqoritmlər tədqiq olunmuş, Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınmasına tətbiq edilmişdir.

Obrazların tanınması istiqamətində aparılan araşdırmalar keçən əsrin ortalarında başlasa da, hələ də nəticələr arzuolunan səviyyədə deyil və nəticələrin keyfiyyətinin artırılması istiqamətində aparılan hər bir cəhd təqdirəlayiqdir. Çap əlyazma simvollarının tanınmasında tətbiq olunan yanaşmalar əsasən süni neyron şəbəkələr, qeyri-səlis məntiq, sünu intellektin klasifikasiya üsulları və s. əsasında işlənilib hazırlanmışdır.

Çap əlyazma simvollarının tanınması üçün təklif olunan müasir innovativ nəzəri və praktik yanaşmalar müxtəlif yerli dillərdə mətnlərin, qədim əlifbaların, artefaktların və nömrə nişanlarının tanınması sistemlərində uğurla istifadə olunur.

Mövcud tanıma sistemlərinin yaradılması və inkişafı üzərində aparılan araşdırmaların əksəriyyəti ingilis dilində və ya digər ən çox istifadə olunan əlifbalarda yazılmış simvollara və mətnlərə yönəlmişdir. Lakin ərəb, yapon, çin kimi bir sıra dillərdə istifadə olunan müxtəlif simvolların tanınması hələ də çox aktual problemlərdəndir. Azərbaycan, Bolqar dili kimi bir sıra lokal dillərin

---

<sup>3</sup> Chang S.L., Taiwan T., Chen L.S., Chung Y.C., Chen S.W., “ Automatic license plate recognition” // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2004, Vol: 5 , Issue: 1, p. 42 – 53.

<sup>4</sup> Fu K. S., Mui J.K., “A Survey on Image segmentation” // Pattern Recognition, 1981, 13, p. 3–16.

<sup>5</sup> Storn R., Price K., “Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces” // Journal of Global Optimization, 1997, p. 341–359

əlifbalarında daha çox latın simvolları üstünlük təşkil etsə də, istifadə olunan xüsusi simvollar, həmçinin dilin morfoloji quruluşu xüsusi yanaşma tələb edir. Bu baxımdan, ən informativ əlamətlərin seçilməsi və tətbiqi müəyyən bir simvolun tanınma dəqiqliyinə birbaşa təsir edir.

Obrazların tanınması problemlərinin ən vacib xüsusiyyətlərindən biri elə əlamətlərin seçilməsi prosesidir. Məsələn, obrazın tanınması üçün istifadə olunan naxışlar, həndəsi və qrafik elementlər, şəhər mənzərələrindən, peyk görüntülərindən, xəritələrdən və ətraf mühətdən müxtəlif səthləri təsnif etmək üçün uğurla tətbiq oluna bilər<sup>6</sup>.

Respublikada da obrazların tanınması sahəsində çoxlu işlər görülmüşdür. Akademik T. Əliyevin rəhbərliyi ilə G. Abdullayeva və N. Qurbanova tərəfindən 80-ci illərdə elektron qələm vasitəsilə ərəb əlifbasında yazılmış yazını tanıma sistemi yaradılmışdır<sup>7</sup>. prof. R. Əliyevin rəhbərliyi ilə qeyri-səlis məntiqdən istifadə edərək təsvirlərin tanınması sahəsində tədqiqatlar aparılmışdır<sup>8</sup>. Prof. Ə. Kərimov tərəfindən dinamik sistemlərin optimal klassifikatorlarının yaradılması üçün işlər görülmüş, t.e.d. R. Məmmədov tərəfindən texniki görmə sistemlərinə baxılmışdır<sup>9</sup>. Prof. O. Nüsrətovun rəhbərliyi ilə əllə yazılmış çap hərflərini tanıma sistemi işlənmişdir<sup>10</sup>. Prof. K. Ayda-zadənin rəhbərliyi ilə əllə yazılmış çap hərflərini və nitqi tanıma sistemləri işlənmişdir<sup>11</sup>. Azərbaycan dilinin çap əlyazma

---

<sup>6</sup> Kurtzberg J. M., Feature analysis for symbol recognition by elastic matching // IBM J Res Dev, 1987, 31(1). p. 91–95.

<sup>7</sup> Aliyev T. A., Abdullayeva G.G., Gurbanova N. G. Intellectual system of identification of Arabic graphics // SPIE 15th Annual International Symposium, Orlando, Florida, USA, 2001.

<sup>8</sup> Alyev R. A., Guirimov B.G. Handwritten Image Recognition by Using Neural and Fuzzy Approaches // Intelligent Control and Decision Making Systems. Thematic selected articles. Publishing House of Azerb. SOA, 1997, № 1, p. 3-7.

<sup>9</sup> Мамедов Р.Г., Акберов И.А., Аббасзаде А.А. Использование систем технического зрения для оперативного управления информационными комплексами // Известия АНАКА, 2006, т. 9, № 2, с. 82-88.

<sup>10</sup> Нусратов О.К., Гейдаров П.Ш. Метод распознавания рукопечатных символов и текстов // PCI 2006. The International conference “problems of cybernetics and informatics”. Volume III, October 2006, p. 81-85.

<sup>11</sup> Мустафаев Э.Э. Разработка систем распознавания рукопечатных форм с использованием искусственных нейронных сетей: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Баку, 2005.

formalarının tanınma sistemlərinin hazırlanmasını E. Mustafayev<sup>12</sup> və Azərbaycan dilində latın əlifbası ilə yazılmış əlyazmanı tanıma sistemi C. Həsənov<sup>13</sup> işləmişdir.

Obyektlərin tanınması sistemlərinin qurulmasında əsas problemlərdən biri informativ əlamətlər sinfinin seçilməsidir. Nəinki şəkillərin tanınması, həmçinin xəstəliklərin diaqnozu, maliyyə proqnozu, hesablama üçün ekspert sistemlərində müxtəlif dəyərlərin proqnozlaşdırılması üçün uyğun parametrlərin seçilməsinə həsr olunmuş bir çox tədqiqat işləri mövcuddur.

Əlamətlərin alt çoxluqlarının seçilməsi ayrıca olaraq bir ekspert sistemi olmasa da, tanıma və təsnifat sistemlərinin dizaynının və təkmilləşdirilməsinin ən vacib hissələrindən biridir. Demək olar ki, tibbi ekspert sistemləri, biznesin proqnozlaşdırılması, sənaye sahələrində qərarların qəbul edilməsi, robototexnika, məlumatların təhlili kimi süni intellektin tətbiq olunduğu bir çox sahələrdə bu yanaşmadan uğurlu istifadə oluna bilər.

Mövcud parametrlər aralığından ən uyğun əlamətlərin altçoxluqlarının seçilməsi məsələsi tanımanın keyfiyyətinə birbaşa təsir edir. Qeyd edilən parametrlər çoxluğunun gücü çox böyük olduğundan analitik optimallaşdırma metodlarından istifadə etmək mümkün deyil. Bu məqsədlə dissertasiya işində binar optimallaşdırma məsələsi qoyulmuş və həll edilmişdir. Binar optimallaşdırma məsələsini həll etmək üçün evristik optimallaşdırma alqoritmlərinə əsaslanan təsadüfi seçim metodları tətbiq olunmuşdur.

Dissertasiya işində Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün çıxarılan genişmiqyaslı əlamətlər bazasından ən yaxşı əlamətlərin alt qrupunu seçmək üçün paralel genetik alqoritmlər tətbiq olunmuş, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin HPC

---

<sup>12</sup> Мустафаев Э.Э. Разработка систем распознавания рукопечатных форм с использованием искусственных нейронных сетей: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Баку, 2005.

<sup>13</sup> Ayda-zadə K.R., Həsənov C.Z. Azərbaycan dilində latın əlifbası ilə yazılmış əlyazmanı tanıma sistemi // "Elm və təsildə informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının tətbiqi" II Beynəlxalq Konfransın materialları. 2-ci kitab. Qafqaz Universiteti. Bakı, 2007. s. 662-670.

mərkəzin imkanlarından istifadə etməklə bu alqoritm icra olunmuş, nəticələr şərh olunmuşdur.

**Tədqiqat işinin obyektı:** Müxtəlif xarakterli obrazların tanınması sistemləri, ekspert sistemlərində istifadə olunan əlamətlər çoxluğu.

**Tədqiqat işinin predmeti:** Azərbaycan dilində çap əlyazma simvolları, bəzi xüsusi simvollar və rəqəmlərdən ibarətdir.

**Tədqiqat metodları:** Tədqiqat işində süni neyron şəbəkələr, şəklin emalı, çoxsəviyəli təsnifatlandırma, təkamül alqoritmləri, dayaq vektorlar üsulu, qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsinin imkanlarından istifadə olunmuşdur.

**Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:** Müdafiəyə aşağıdakı əsas müddəalar çıxarılır:

1. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının emalı, seqmentləşdirmə və skeletləşdirmə alqoritmlərinin tətbiqi;

2. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınmasında istifadə olunan müxtəlif əlamətlər siniflərinin və müxtəlif klassifikasiya üsullarının nəticələrinin təhlili və təklif olunan üsulların üstünlüyünün əsaslandırılması;

3. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün simvolların vizual xarakteristikaları əsasında “soft” əlamətlərin çıxarılması üçün üsul və alqoritmlərin işlənməsi;

4. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınmasında istifadə olunan çoxlu sayda əlamətlər bazasından ən informativ əlamətlər çoxluğunun seçilməsi üçün müxtəlif alqoritmlərin tətbiqi, onların yüksək sürətli hesablama sistemlərində (Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin HPC mərkəzində) icrası.

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi.**

1. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının emalı üçün müxtəlif seqmentləşdirmə, skeletləşdirmə alqoritmləri təhlil və tətbiq olunmuşdur;

2. Tanıma sistemlərində obyektlərin vizual xarakteristikaları əsasında “soft” əlamətlərin əldə edilməsi üçün alqoritmlər təklif və tətbiq edilmişdir;

3. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün mövcud klasifikasiya üsullarına tətbiq olunmuş və dayaq vektorlar üsulunun üstünlüyü əsaslandırılmışdır;

4. Tanıma sistemlərində, həmçinin müxtəlif xarakterli ekspert sistemlərində çoxsaylı parameterlərin içərisindən optimal altçoxluğun seçilməsi üçün genetik alqoritmlər təklif edilmiş, paralelləşdirilərək Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin HPC mərkəzində icra olunmuşdur.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Dissertasiya işində Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün təklif olunan “soft” əlamətlərin çıxarılması yanaşması obrazların tanınmasının müxtəlif istiqamətlər uğurla tətbiq oluna bilər. Həmçinin çoxsaylı əlamətlərin içərisində ən informativ əlamətlərin seçilməsi üçün təkamül alqoritmlərinin istifadə olunması və onların paralelləşdirilərək yüksək sürətli hesablama sistemlərində həllinin biznesin proqnozlaşdırılması, tibbi ekspert sistemləri, təbii dilin emalı kimi sahələrdə tətbiqi yüksək nəticələr almaq imkanı verir.

**Aprobasiya və tətbiqi.** Dissertasiya işində alınmış nəticələr aşağıdakı beynəlxalq konfrans və simpoziumlarda məruzə edilmişdir.

1. Proceedings Of the International Scientifically and Practical Conference “Information Innovation Technologies: Integration of Business, Education and Science” Almaty, Kazakhstan, November, 27-28, 2008.

2. 24th Mini EURO Conference on Continuous Optimization and Information-based technologies in the financial sector, Izmir, Turkey, June 23-26, 2010

3. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, Kayseri, Turkey, 2010, June 21-24

4. 11th International Conference “Pattern Recognition and Information Processing” , 18-20 may, 2011, Minsk, Belarus.

5. Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on, Trabzon, Turkey, 2-4 July, 2012.



6. IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent Systems and Applications, 2014, Italy, Alberobello

7. In: 11th World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation - WCIS-2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020

8. İşdə təklif olunan üsul və alqoritmlər obrazların tanınması sahəsində “Arter MMC”, “ATL Tech” və “Destech Group” şirkətlərində uğurla sınaqdan keçirilmişdir.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin “Ümumi və tətbiqi riyaziyyat” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiya işinin tərkibi.** Dissertasiya işinin ümumi həcmi – 164499 işarədir (titul səhifəsi – 532 işarə, mündəricat – 1880 işarə, giriş – 15412 işarə, birinci fəsil – 63852 işarə, ikinci fəsil – 45862 işarə, üçüncü fəsil – 35384, nəticə – 1577 işarə, 43 şəkil, 7 cədvəl). İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı 91 adda ədəbiyyatdan ibarətdir.

**Nəşrlər.** Tədqiqat üzrə 24 elmi əsər, o cümlədən 7 məqalə (onlardan 2-si xaricdə) və 17 tezis (onlardan 6-sı xaricdə) müəllifidir.

## İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə mövzu sahəsinin aktuallığı, qarşıya qoyulan məqsədlər, tədqiqat metodları, tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti əks olunmuşdur.

**Birinci fəsildə** SOT sistemləri ümumilikdə obyektlərin tanınması məsələsinin alt sistemi olduğundan, əsas konsept və metodologiyası da elə obyektlərin tanınması və şəkillərin emalı ilə bağlıdır. Əsrlər boyu məlumatların toplanması, saxlanması və ötürülməsinin ibtidai üsulu olan yazı, indi insanlar ilə ünsiyyət üçün deyil, həm də insanlar və maşınlarla ünsiyyətin təmin olunmasına xidmət edir. SOT sahəsində intensiv tədqiqat cəhdləri təkcə oxumanın simulyasiyası problemi ilə deyil, həm də kağızların kütləvi miqdarda avtomatik işlənməsi, məlumatların maşınlarla və veb-arayışlara, o cümlədən kağız sənədlərinə ötürülməsi kimi məsələlərin həlli üçün

həyata keçirilmişdir. İnsanların funksiyalarının avtomatlaşdırılması və maşın oxuması kimi ümumi vəzifələri yerinə yetirmək üçün üsulların axtarılması həmişə aktual bir məsələ olub. SOT sistemlərini təyinatına və funksiyalarına görə müstəlif siniflərə ayırmaq olar.

Simvolların tanınması üçün mövcud sistemlər sənədlərin avtomatlaşdırılması, avtomobil nömrə maşınlarının tanınması, şəkillərin və videoların emalı kimi müstəlif sahələrdə uğurla tətbiq olunur. Hal-hazırda mövcud sistemlərdə və yanaşmalarda istifadə olunan alqoritmlər, tanıma sistemlərinin qurulması mərhələləri, eyni zamanda tədqiqatlarda bəzi lokal dillərin xüsusiyyətlərinin nəzərə alınmaması, əlamətlərin sayının həddindən artıq çox olması, tələb olunan öyrədici bazanın həcmnin çox yüksək olması kimi problemlərdə şərh edilmişdir.

**İkinci fəsildə** tanıma sistemlərində istifadə olunan üsul və alqoritmlər göstərilmişdir.

Hal-hazırda kağız sənədlərin elektronlaşdırılmasını qismən həll edə bilən proqram təminatları mövcuddur, ancaq onların istismarı zamanı çoxlu sayda problemlər meydana çıxır. İlk olaraq bu proqram təminatları Azərbaycan dilinin tanınmasını tam təmin edə bilmir. Dildə əsasən latın əlifbasının simvollarının istifadə olunmasına baxmayaraq Azərbaycan dilinin morfoloji strukturu, özünəməxsus yazı qaydaları xüsusi yanaşma tələb edir<sup>14,15</sup>.

Robototexnikada axtarılan şəklin sərhəddinin tapılması zamanı ilk olaraq kamera vasitəsi ilə əldə edilən şəklin modeli qurulur. Ondan sonra modelin renderinqi (vizuallaşdırılması, təsviri) həyata keçirildikdən sonra obyektlərin koordinatları tapılır. Obyektin ilk sərhədlərinin təyin edilməsi üçün dissertasiyada Sobel operatorundan istifadə olunmuşdur.

---

<sup>14</sup> Alieva N.T., Ismayilov E. A., About fuzzy recognition system of Azerbaijani hand-printed texts // Abstracts of the IV Congress of the Turkic World Mathematical Society. 1-3 July, 2011. p. 299.

<sup>15</sup> Alieva N.T., Ismayilov E. A., The analysis of how the choice of membership functions influences the quality of recognition system // Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on, Trabzon, Turkey, 2-4 July, 2012.

Sobel operatoru şəklin parlaqlığının qradientinin yaxınlaşmasının hesablanması üçün istifadə olunur. Beləliklə, parlaqlığın ən böyük dəyişikliyinə dərəcəsini və bu istiqamətdə dəyişmənin dərəcəsini əldə etmək mümkündür. Buna görə də hər bir pikseldə görüntünün parlaqlığının necə dəyişdiyini bilmək üçün obyektin sərhədində bir nöqtə tapma ehtimalı və onun istiqamətləndirilməsi imkanı mövcuddur. Beləliklə, Sobel operatorunu tətbiq etməklə müxtəlif parlaqlıq bölgələrinin sərhədi ilə artım istiqamətinin kəsişməsinin vektorunu əldə edə bilərik. Sobel operatoru şaquli və üfüqi istiqamətlər üzrə kiçik tamsayılı filterlər əsasında bir şəklin çıxarılmasına əsaslanır. Operator vasitəsi ilə şəklin hər bir pikselinin üzərinə iki fırlanma maskası qoyulur. Bu maskaları iki ortoqonal 3x3 ölçülü matris təmsil edir.

Misal olaraq tutaq ki, bizə aşağıdakı 3x3 ölçülü matris verilib, burada  $z_1, \dots, z_9$  — maskada uyğun olan piksellərin şəffaflığını göstərir (şəkil 1, 2).

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_3$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

Şəkil 1. İlkin verilmiş şəklin piksellərinin şəffaflıq dərəcəsi

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

Şəkil 2. Sobel operatorunun tətbiqi

Şəkildə görüldüyü kimi hər maskada əmsalların cəmi qradient operatorunda olduğu kimi 0 bərabərdir.

$$M(x, y) = |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)| \quad (1)$$

Şəkil 3-də göstərilən hər iki maskaya Sobel operatoru deyilir. Mərkəzi çəkilərin əmsalının 2 olması daha yüksək hamarlıq əldə etmək üçün edilib.

Sobel maskaları şəkil üzərində şaquli və üfüqi sərhədləri təyin edir. Bu maskaları fərqli şəkildə obyektin üzərinə qoyduqda hər bir istiqamət üzrə, daha dəqiq desək isə  $G_x$ ,  $G_y$  üzrə qradient qiymətlər almaq olar. Qradientin son qiymətini isə aşağıdakı düsturla hesablamaq olar.

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

Aşağıdakı şəkildə yazılmış proqramın iş prinsipini əyani görmək mümkündür. Proqram Sobel maskalarından istifadə edərək reallaşdırılıb (şəkil 3).



Şəkil 3. Proqram vasitəsilə obyektlərin sərhədinin tapılması prosesi

Şəkildən görünür ki, alqoritm tam qəliz obyektlərin sərhədlərini rahatlıqla tapır. Proqram Java və Delphi proqramlaşdırma dillərində yazılıb.

Şəkillərin emalı ilə əlaqədar ən önəmli proseslərdən biri də şəklın binarlaşdırılmasıdır. Binarlaşdırma prosesi rəngli şəkilləri, daha dəqiq desək boz şəkilləri ağ və qaraya (0 və 1) çevirmə prosesidir.

Binarlaşdırmanın əsas məqsədi şəkildə mövcud olan məlumatların sayının radikal olaraq azaldılmasıdır. Ancaq qeyd etmək lazımdır ki, bu proses uğursuz həyata keçirilərsə xətlərin kəsilməsi, şəklın təhrifi, informativ hissələrin itirilməsi, obyektin tamlığının itirilməsi, əlavə küylərin əmələ gəlməsi və s. kimi bir çox problemlər yaşanacaq (şəkil 4).



Şəkil 4. Məişət əşyasında göstərilən rəqəm

Şəklə diqqət yetirsək, görürük ki, şəkil işıqlı olmayan zaman çəkilib. Məişət əşyasının ekranını işıqlandıran diodlar stabil işıqla təmin olunmadığı üçün üçün şəkil fərqli şəffaflıqda olub. Bu şəkli tanınmadan öncə emal etmək lazımdır və binarlaşdırma zamanı lokal binarlaşdırmadan istifadə edilməsi düzgündür. Ona görə lokal binarlaşdırma alqoritmi istifadə etməklə aşağıdakı şəkli almaq mümkündür (şəkil 5).



Şəkil 5. Kristina üsulu ilə binarlaşdırmanın nəticəsi.

Dissertasiya işində Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarında binarlaşdırma prosesi bir çox fərqli alqoritmlərin köməyi ilə həyata keçirilib. Onların hər biri haqqında aşağıda geniş yazılıb.

**Aşağı sərhəd binarlaşdırma prosesi:** Aşağı sərhəd vasitəsi ilə binarlaşdırma prosesi asan əməliyyat sayılır, burada sərhəddin bir qiyməti istifadə olunur:

$$f'(m, n) = \begin{cases} 0, & f(m, n) \geq t; \\ 1, & f(m, n) < t, \end{cases}$$

piksəllərin rənginin qiyməti  $t$  sərhəddindən böyük olduqda 0 (qara), kiçik olduqda isə 1 (ağ) ilə əvəz olunur.

**Yuxarı sərhəd binarlaşdırma prosesi:** Binarlaşdırma prosesində birinci halda mənfi nəticə aldıqda alternativ olaraq yuxarı sərhəd binarlaşdırma prosesindən istifadə etmək olar:

$$f'(m, n) = \begin{cases} 0, & f(m, n) \leq t; \\ 1, & f(m, n) > t, \end{cases}$$

**İkili məhdudlaşdırma binarlaşdırma prosesi:** Piksəllərin parlaqlıq qiymətlərinin məlum intervalda dəyişə biləcəyi məlum olarsa bu zaman ikili məhdudlaşdırma üsulu tətbiq olunur ( $t_1 < t_2$ ):

$$f'(m, n) = \begin{cases} 0, & f(m, n) \geq t_1; \\ 1, & t_1 < f(m, n) \leq t_2; \\ 0, & f(m, n) > t_2. \end{cases}$$

Əlavə olaraq sərhəd yavaşmalarının başqa variasiyaları mövcuddur.

**Tamamlanmamış sərhəd emalı:** Bu tip çevrilmə zamanı alınan şəkil sonrakı təhlil üçün sadələşir, çünki şəkil əlavə fon və obyektərdən azad olunur.

$$f'(m, n) = \begin{cases} f(m, n), & f(m, n) > t; \\ 0, & f(m, n) \leq t, \end{cases}$$

**Çoxsəviyyəli sərhəd çevrilmələri:** Bu əməliyyat binar olmayan ancaq seqmentlərdən ibarət olan fərqli parlaqlığa sahib olan şəkli çevirir.

$$f'(m, n) = \begin{cases} 1, & f(m, n) \in D_1; \\ 2, & f(m, n) \in D_2; \\ \dots & \dots \\ n, & f(m, n) \in D_n; \\ 0, & \text{digər hallarda} \end{cases}$$

Yuxarıda qeyd olunan üsullardan əlavə olaraq lokal binarlaşdırmadan da istifadə edilir<sup>16</sup>. Bu binarlaşdırma üsullarından da dissertasiyada istifadə edilib.

Otsa üsulu: bu üsul şəklin piksəllərinin paylanmış parlaqlıq histoqram alqoritmindən istifadə edir. Histoqram  $p_i = n_i/N$  qiymətləri əsasında qurulur, burada  $N$  – şəkildə mövcud olan bütün parlaqlıq

---

<sup>16</sup> Chutani G., Patnaik T. and Diwedi V., “An Improved Approach for automatic denoising and Binarization of Degraded Document Images Based on Region Localization” // IEEE, 2015, p. 2272–2278.

səviyyəsi  $k$  olan piksellərin sayı,  $n_i - i$  parlaqlığında olan piksellərin sayıdır. Sərhədlərin qiymətlərindən asılı olaraq parlaqlıq diapozonu iki sinfə bölünür, (burada  $k$  0-dan  $L$ -ə qədər tam ədədlərdir). Hər bir sinfə  $\omega_0$ ,  $\omega_1$  nisbət tezliyi uyğun gəlir:

$$\omega_0(k) = \sum_{i=1}^k p_i;$$

$$\omega_1(k) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - \omega_0(k);$$

$$\mu_0(k) = \sum_{i=1}^k \frac{ip_i}{\omega_0};$$

$$\mu_1(k) = \sum_{i=k+1}^L \frac{ip_i}{1};$$

Daha sonra, təsvirin iki hissəyə bölünməsinin maksimum dəyəri hesablanır:

$$\eta(k) = \max_{k=1} \left( \frac{\sigma_{\text{sinif}}^2}{\sigma_{\text{ümumi}}^2} \right)$$

Burada  $(\sigma_{\text{sinif}})^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2$ , – siniflər arasındakı dispersiya,  $(\sigma_{\text{ümumi}})^2$  – bütün şəklın tam olaraq dispersiyasıdır.

Son mərhələyə gəldikdə bütün şəkillər üzərində əməliyyatlar aparıldıqdan sonra onların əlamətlərinin seçilməsi üçün standart ölçüyə gətirmək məqsəduyğundur. Buna fərqli miqyaslandırma alqoritmlərindən istifadə etməklə nail olmaq olar. Ən geniş istifadə olunan miqyaslandırma alqoritmləri bixətti və bikubik üsullardır.

Bixətti alqoritm aşağıdakı şəkildədir. (Şəkil 6, a):

$$\begin{aligned} \tilde{G}(\tilde{i}, \tilde{j}) = & (1 - a)(1 - b)G(i, j) + (1 - a)bG(i, j + 1) + \\ & + a(1 - b)G(i + 1, j) + abG(i + 1, j + 1) \end{aligned}$$

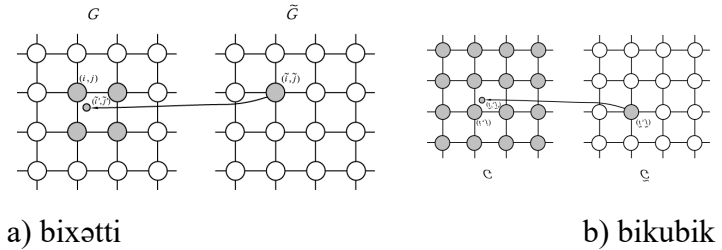
,

burada  $\tilde{G}(\tilde{i}, \tilde{j})$  - şəklin miqyaslandırılmasıdır;  $G(i, j)$  - giriş şəklinin ölçüsüdür;  $a$  və  $b$  -  $(\tilde{i}', \tilde{j}')$  nöqtələri arasında olan məsafə, və  $(\tilde{i}, \tilde{j})$  nöqtələrinin əks proyeksiyasıdır.  $G$  şəklinin ən yaxın  $(i, j)$  nöqtələri aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$a = \tilde{i}' - [\tilde{i}'], \tilde{i}' = \tilde{i} \cdot k_h^{-1}, b = \tilde{j}' - [\tilde{j}'], \tilde{j}' = \tilde{j} \cdot k_w^{-1},$$

burada  $k_h$  və  $k_w$  -  $i$  və  $j$  görə miqyaslandırma əmsalıdır;  $[x]$  - isə  $x$ -dan kiçik və ya bərabər olan ən böyük tam ədəddir.

Bikubik alqoritmə gəldikdə isə o, aşağıdakı şəkildə hesablanır (Şəkil 6, b):



Şəkil 6 miqyaslandırma alqoritmləri

$$\tilde{G}(\tilde{i}, \tilde{j}) = \sum_{m=-1}^2 \sum_{n=-1}^2 G(i+m, j+n) \cdot R_c(m-a) \cdot R_c(-(n-b))$$

$$R_c(x) = \frac{1}{6} \left( (x+2)_+^3 - 4(x+1)_+^3 + 6(x)_+^3 - 4(x-2)_+^3 \right)$$

$$\text{burada } (z)_+^m = \begin{cases} z^m, & z > 0 \\ 0, & z \leq 0 \end{cases}$$



Qeyd edək ki, dissertasiya işində miqyaslandırma ölçüləri 42x63 şəklində götürülüb, daha dəqiq desək, en ilə uzunluq arasında 1.5 nisbətində ölçü götürülüb. Buna qədər isə ölçülər en və uzunun 1-in 1-ə nisbətində götürülmüşdü. Eksperimentlərin nəticəsində bu ölçünün daha məqsədəuyğun olması aşkar edilmişdir.

### ***Skeletləşdirmə Alqoritmləri***

Obyektlərin skeletləşdirmə problemi üçün çoxlu üsullar təklif olunmuşdur. Skeletləşdirmə özü isə 2 sinfə bölünür: distant xəritələr üsulu (misal olaraq Blyuma) və topoloji skeletləşdirmə (Rozenfeld, Zonqa-Sunya və s.) Distant xəritələr üsulu ilə skeletləşdirmə məsələsinə geniş baxılmışdır. Onların içərisində ən geniş istifadə edilən Zonqa-Sunya skeletləşdirmə alqoritmı ağ-qara şəkillərin skeletləşdirilməsi üçün çox effektiv alqoritmdir (şəkil 7).



Şəkil 7. Zonqa – Sunya skeletləşdirmə alqoritmının istifadəsindən sonra alınan şəkil.

Ümumiyyətlə binar şəkil P matrisi kimi qəbul edilir, əgər piksel qara rəngdədirsə onun qiyməti 1, ağdırsa 0 olur. Beləliklə, şəkildə mövcud olan obyekt qara piksellərlə təyin olunur. Hər bir p pikseli 8 qonşu piksellə təyin edilir ( $p_0, p_1, \dots, p_7$ ). Onlar  $N_8(p)$  şəklində yazılır (şəkil 9).  $N_4(p) = (p_0, p_2, p_4, p_6)$  çoxluğu p pikselinin 4 qonşu çoxluğu adlanır. İki 8 qonşu piksellərin arasında məsafə  $D_8(p, q) = \max(|x_p - x_q|, |y_p - y_q|)$  və 4 qonşu piksellər üçün  $d_4(p, q) = (|x_p - x_q| + |y_p - y_q|)$  şəklində tapılır, burada  $(x_p, y_p)$ ,  $(x_q, y_q)$  p və q piksellərin koordinatlarıdır.

P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>
P <sub>4</sub>	p	P <sub>0</sub>
P <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>

Şəkil 8. N<sub>8</sub>(P) piksellər çoxluğu.

Dissertasiyada istifadə edilən skeletləşdirilmə alqoritmi skeletə aid olmayan qara piksellərin silinməsi ilə həyata keçirilir. Piksellər arasında qonşuluq əlaqəsini saxlamaq üçün hər əməliyyatı iki alt iterasiyalara bölürük. İlk alt iterasiyalarda P<sub>1</sub> nöqtəsinin sərhədini aşağıdakı şərtlər ödəndikdə silirik.

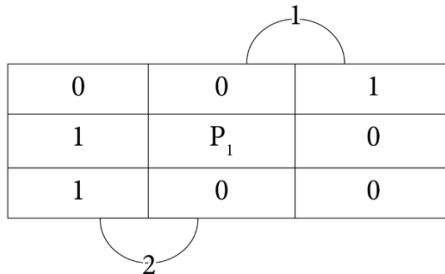
- (a)  $2 \leq B(P_1) \leq 6$
- (b)  $A(P_1) = 1$
- (c)  $P_2 * P_4 * P_6 = 0$
- (d)  $P_4 * P_6 * P_8 = 0$

burada A(P<sub>1</sub>) 1-ci nümunədir digərləri isə P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, ..., P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub> P<sub>1</sub>-in 8 mövcud qonşularıdır və B(P<sub>1</sub>) P<sub>1</sub>-in sıfır olmayan qonşusudur bu  $B(P_1) = P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_8 + P_9$  şəklində təyin edilir (şəkil 9).

P <sub>9</sub> (i-1, j-1)	P <sub>2</sub> (i-1, j)	P <sub>3</sub> (i-1, j+1)
P <sub>8</sub> (i, j-1)	P <sub>1</sub> (i, j)	P <sub>4</sub> (i, j+1)
P <sub>7</sub> (i+1, j-1)	P <sub>6</sub> (i+1, j)	P <sub>5</sub> (i+1, j+1)

Şəkil 9. 3x3 ölçülü pəncərədə piksellərin düzülüş qaydası

Əgər bu şərtlərdən hər hansı biri ödənilmirsə P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, ..., P<sub>9</sub> dəyəri şəkil 10-da göstəriləyi halda olur, A(P<sub>1</sub>)=2 olduqda P<sub>1</sub> şəkildən silinmir.



Şəkil 10.  $P_2, P_3, P_4, \dots, P_8, P_9$  ardıcılılığında 0 və 1 lərin hesablanması

İkinci alt iterasiyaya gəldikdə yalnız (c) və (d) şərtlərinə əsasən aşağıdakı şəkildə (şəkil 11) dəyişikliklər aparılır.

Şimal

	$P_2$	
Qərb	$P_1$	$P_4$
	$P_6$	

Cənub

Şəkil 11. Nəzərdən keçirilən nöqtələr və onların yerləşdiyi yerlər.

$$(c') P_2 * P_4 * P_8 = 0$$

$$(d') P_2 * P_6 * P_8 = 0$$

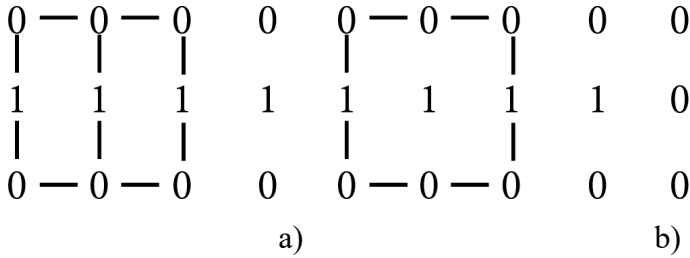
(c) və (d) şərtləri daxilində ilk iterasiya yalnız cənub-şərq sərhəd nöqtələrində və şimal-qərb künc nöqtələrində mükəmməl bir pikselin saxlanmasına gətirib çıxarır.

Silinən nöqtələr aşağıdakı şərtləri təmin edir:

$$(c) P_2 * P_4 * P_6 = 0 \quad (1)$$

$$(d) P_4 * P_6 * P_8 = 0 \quad (2)$$

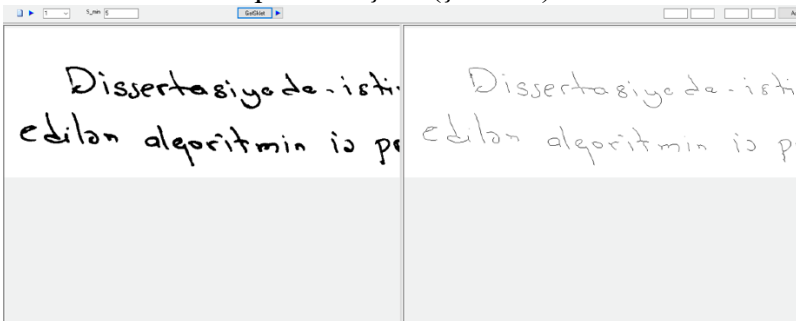
(1) və (2) nömrəli düsturların həllinə əsasən  $P_4 = 0$  və  $P_6 = 0$  və ya ( $P_2 = 0$  və  $P_6 = 0$ ) olacaqdır. Beləliklə, silinən  $P_1$  nöqtəsi bir şərq və ya cənub sərhəd nöqtəsi və ya şimal-qərb künc nöqtəsi ola bilər. Oxşar olaraq, ikinci alt iterasiyada silinmiş  $P_1$  nöqtəsi şimal-qərb sərhəd nöqtəsi və ya cənub-şərq künc nöqtəsi ola bilər. Məsələn, hər iki alt iterasiya ilə "H" simvollarının skeletləşdirilməsi nəticəsində aşağıdakı şəkil alınır (şəkil 12, a). Yuxarıda göstərilən şərtlərə əsasən xəttin sonunda olan karkas qorunub saxlanılır. Bundan əlavə olaraq (b) şərtinə əsasən şəkil 12, b-də göstərilən kimi son nöqtələr arasından keçən nöqtələr qorunub saxlanılır. Bu iterasiya heç bir nöqtə silinməyə qədər davam edir.



Şəkil 12. Son nöqtələrin aradan qaldırılması prosesi

Zonqa-Sunya algoritmi sürətli və asan hesablanma bilən olduğundan skeletləşdirmədə çox geniş istifadə olunur<sup>17</sup>. Bu üsul hər hansı pikselin yeni qiymətinin yalnız bir addım öncəki iterasiyasındakı qiymətlərdən istifadə olunaraq hesablanmasını tələb edən paralel üsuldur. Bu alqoritm səkkiz əlaqəli skeletdə yalnız bir piksel qalınılığında ştrix qalana qədər iterativ olaraq pikselləri silir. Hər bir element 8 qonşu pikseli ilə əlaqəsinin göstərildiyi 3x3 ölçüsünə gətirilir. Cədvəldəki piksellər uyğun olaraq binar A matrisi şəklində göstərilə bilər, bu zaman  $A(i, j)$  ya 1, ya da 0 olur. Struktur 1, qiymətli piksellərdən ibarət olur.  $(i, j)$  nöqtəsinin qonşuları  $(i - 1, j)$   $(i - 1, j + 1)$   $(i, j + 1)$   $(i + 1, j + 1)$   $(i + 1, j)$   $(i + 1, j - 1)$   $(i, j - 1)$   $(i - 1, j - 1)$  olar.

Yuxarıda təsvir edilən skeletləşdirmə alqoritm təkmilləşdirilərək proqram təminatı hazırlanıb və Azərbaycan dilində çap əlyazma və əlyazma mətnlərinin tətbiq olunmuşdur (şəkil 13).



<sup>17</sup> Zhang T., Suen C., A fast parallel algorithm for thinning digital patterns // Communications of the ACM, 1984, no. 3, Vol. 27, p. 236–239.

### Şəkil 13. Skeletləşdirmə alqoritminin nəticəsi

Beləliklə, bu nəticəyə gəlirik ki, simvolların tanınması zamanı şəkillərin ilkin emalı skeletləşdirmə və seqmentləşdirmə alqoritmlərinin düzgün seçilməsi tanınmanın keyfiyyətinə çox mühüm təsir göstərir. Həmçinin tanımada istifadə olunan əlamətlərin hamısının informativ olmaması və ya yüksək korrelyasiyaya malik olması problemləri əlamətlərin optimal altçoxluqların seçilməsi üçün müxtəlif yanaşmaların tətbiqini labud edir. Bu fəsildə simvolların ilkin emalı, əlamətlərin hesablanması, tanınmanın həyata keçirilməsi, əlamətlərin optimal altçoxluğunun seçilməsi üçün mövcud yanaşmaları, onların üstünlükləri və çatışmazlıqları təsvir edilmişdir.

**Üçüncü fəsildə** Azərbaycan çap əlyazma simvollarının tanınma sistemi üzərində işlərin aparılması istiqamətində işlər aparılıb. Baxmayaraq ki, Azərbaycan əlifbasının əksər hərfləri latın əlifbasında istifadə olunur, bəzi xüsusi simvollar mövcuddur ki, misal olaraq “ğ”, “ə” və s. mövcud tanıma sistemlərinin tətbiqi zamanı problemlər yaradır. Azərbaycan dilinin morfoloji strukturu da, öz növbəsində simvolların tanınması üçün individual yanaşma tələb edir.

Təəssüf ki, müxtəlif obyektlərin təsnifatı üçün istifadə olunan xüsusiyyətlər, insan ağı üçün başa düşülməyən və insan məntiqi və zəkası üçün aşkar olmayan təsadüfi parametrlər kimi təfsir edilə bilən kompüter hesablamaları əsasında çıxarılır. Beləliklə, tanıma üçün daha çox funksiyanın hesablanması tələb olunur və funksiyaların effektivliyinin qiymətləndirilməsi çətinləşir<sup>18</sup>.

Buna görə də baxılan işdə “soft” əlamətlərin hesablanmasına baxılır bu zaman insanın başa düşəcəyi şəkildə əlamətlərin təyin edilməsi həyata keçirilir. Dissertasiya işinin əsas məqsədi az əlamətdən istifadə edərək zamana qənaət etmək və tanınmanın keyfiyyətinə xələl gətirməməkdir. İşdə bu məsələ iki yanaşma ilə həll edilib - obyektlərin tanınması üçün “soft” əlamətlərin seçilməsi və daha

---

<sup>18</sup> Исмаилов Э. А., “Система распознавания текстов с применением нечетких множеств” // Professor Yəhya Məmmədovun anadan olmasının 80 illik yubileyinə həsr olunmuş “Riyaziyyat və Mexikanın aktual problemləri” adlı Beynəlxalq konfrans. Bakı, Azərbaycan, 27 dekabr, 2010, p. 217-218.

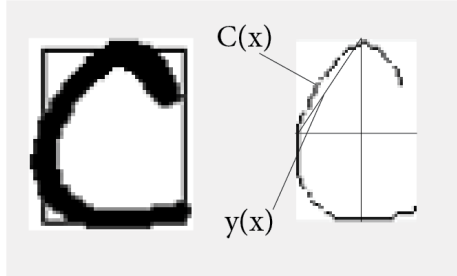
informativ əlamətlərin seçilməsi üçün yüksək məhsuldar kompüterlərdə paralel genetik alqoritmlərin tətbiqi.

Bu bölmədə Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün təklif olunan əlamətlər və onların hesablanması alqoritmləri təsvir olunmuşdur. İlk olaraq sistemə verilən simvolların hər biri ayrı-ayrılıqda (42x63) ölçülü dördbucaqlı içərisinə yerləşdirilir və skeletləşdirmə alqoritmə həyata keçirilir.

### Əyrilik dərəcəsi

“Soft” əlamətlərdən biri əyrilik dərəcəsi istifadədir. Bu əlamətdən istifadə edərək “O” və “H” hərflərini müqayisə etmək mümkündür, bundan əlavə qapalı oblast əlamətindən də istifadə olunub, burada qapalı oblastın sayı və yerləşdiyi ərazi də önəmlidir, bu əlamətlər vasitəsilə “P”, “B”, “Ə” simvollarını bir birindən fərqləndirmək mümkündür.<sup>19</sup>

Simvolun əyrilik dərəcəsinin təyin olunması 2 mərhələdə baş verir: ilk olaraq simvolun yerləşdiyi düzbucaqlı 9 yerə bölünür. Hər bir hissədə əyrilik dərəcəsi iqtisadiyyatdan məlum olan Gini indeksinin hesablanması düsturuna uyğun olaraq hesablanır.



Şəkil 14. Skeletləşdirmə və əyrilik dərəcəsinin təyini

Beləliklə, verilmiş hissədəki simvolun əyrilik dərəcəsinə təyin etmək üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edilir:

---

<sup>19</sup> İsmayilov E. A., Feature selection method for recognition of hand-printed characters // The 5th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, 27-29 August, 2015, Baku, Azerbaijan, p 208-210.

$$CD = \frac{\int_{x_0}^{x_n} C(x) dx}{(x_n - x_0)(y_n - y_0)'}$$

burada  $C(x)$  piksellərin əmələ gətirdiyi əyriliyi ifadə edən funksiyadır. Bu funksiyayı inteqralını ədədi inteqrallamanın trapeslər üsulu ilə təyin etmək olar:

$$CD = \frac{y_0 + y_n + 2 \sum_{i=1}^{n-1} y_i}{2(x_n - x_0)(y_n - y_0)'}$$

Simvolların əyrilik dərəcəsinin hesablanması şəkil 14-də "c" simvolu üçün təsvir olunmuşdur. Bölünmüş hər bir hissədə ayırıcı düz xəttləri Dekart koordinat sisteminin oxları olaraq təsəvvür etsək və baxılan düzbucaqlı hissəsində ilk və son pikselləri birləşdirsək 2 sahənin alınmasını müşahidə etmiş oluruq: birinci sahə  $C(x)$  əyrisinin altında olan  $Ox$  və  $Oy$  oxlar ilə məhdudlaşdıran sahə və təpələri  $(x_0, y_0)$ ,  $(x_n, y_0)$  və  $(x_0, y_n)$  nöqtələrində yerləşdirən düzbucaqlı üçbucaq sahə.

Yuxarıda göstərilən düsturdan istifadə edərək əyrilik dərəcəsinin hesablanması müxtəlif simvolları rahat bir şəkildə təsnif etməyə imkan verir<sup>20</sup>.

Qapalı oblast: "P", "B", "Ö" və s. kimi simvolların klasifikasiyası üçün qapalı oblastların sayı və yerləşdiyi yerlər çox önəmlidir.

İlk rəngsiz piksel bütün qonşu rəngsiz pikselləri ilə birlikdə müəyyən edilir və sabit bir rənglə rənglənir, sonra rənglənən piksellərə qonşu olmayan başqa rəngsiz piksel təyin olunur və eyni zamanda qonşu pikselləri ilə fərqli bir rəngdə rənglənir, bu proses bütün rəngsiz piksellər rənglənənədək davam edirik. Proses bitdikdən sonra obyektin iki rəngi varsa, demək həmin simvolun bir qapalı sahəsi var (ikinci rəng fon hesab olunur); üç rəng istifadə olunarsa, deməli obyektin iki qapalı sahəsi var və s. (şəkil 15).

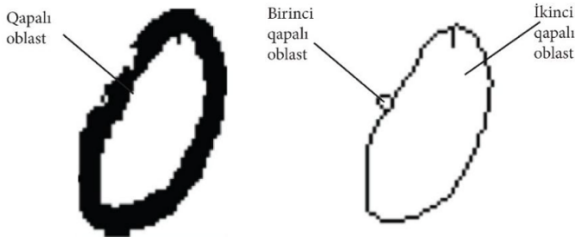
---

<sup>20</sup> Ismayilova N. T., Ismayilov E. A., Fuzzy Features Extraction for Hand-printed character/digit recognition system // IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent Systems and Applications, 2014, Italy, Alberobello, p. 249-252.



Şəkil 15. Qapalı sahənin təyin edilməsi

Bir obyektə qapalı sahələri təyin edən zaman çətin məsələlərdən biri emal zamanı süni şəkildə yaranan qapalı oblastlardır (şəkil 16). Bu problemi həll etmək üçün qapalı sahələrin diametrlərini və obyektəki bütün qapalı sahələrin diametrlərinin nisbətərini təhlil etmək təklif olunmuşdur<sup>21</sup>.



Şəkil 16. Skeletləşdirmədən sonra əmələ gələn süni qapalı oblast

Qapalı sahənin yerləşdiyi hissənin də tanımada vacib olmasını nəzərə alaraq əlamət kimi ağırlıq mərkəzinin təyin edilməsi ilə qapalı sahənin yeri müəyyən olunur. Verilmiş bir obyektəki ən böyük qapalı sahənin ağırlıq mərkəzinin müəyyən edilməsi və bu nöqtə ilə simvolun kənarları arasındakı məsafənin hesablanması ilə "δ" (ən böyük qapalı

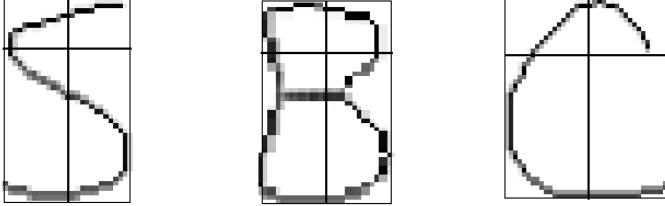
<sup>21</sup> Ismayilov E. A., Feature selection method for recognition of hand-printed characters // The 5th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, 27-29 August, 2015, Baku, Azerbaijan, p 208-210.



sahə aşağıda) və "P" (ən böyük qapalı sahə yuxarıda) kimi simvollar asanlıqla təsnif edilir<sup>22</sup>.

### **Düzbucaqlı hissəyə çəkilmiş xətlər ilə simvolun piksellərinin kəsişmə nöqtələrinin sayı**

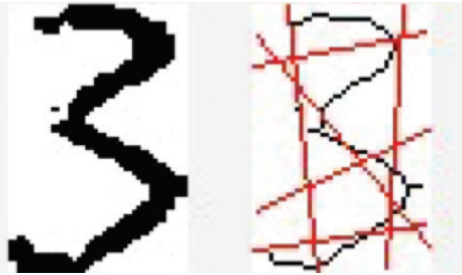
Bu əlamətin hesablanması üçün simvolun yerləşdiyi düzbucaqlının içərisində çoxlu sayda düz xətlər çəkilir. (şəkil 17)



Şəkil 17. Simvolların çəkilmiş xətlərə əsasən təsnifatı

Daha sonra çəkilmiş xətlərlə simvolu təşkil edən piksellərin kəsişmə nöqtələrinin sayı təyin olunur.

Şəkildə görüldüyü kimi üfqi çəkilmiş xətlə "S" simvolunun kəsişdiyi nöqtənin sayı 1, "B" simvolunun kəsişdiyi nöqtələrin sayı 2, "C" simvolunun kəsişdiyi nöqtələrin sayı 1-ə bərabərdir. Şaquli düz xətt üçün "S" simvolunda bu rəqəm 3, "B" simvolunda 3-ə, "C" simvolunda isə 1-ə bərabərdir. Beləliklə, müxtəlif nöqtələrdən və müxtəlif istiqamətlərdə bu cür düz xətlərin çəkilməsi ilə simvolları asanlıqla təsnif etmək mümkün olar.



Şəkil 19. Simvolun yerləşdiyi düzbucaqlıda müxtəlif istiqamətdə çəkilmiş düz xətlər

<sup>22</sup> Ismayilova N. T., Ismayilov E. A., "Soft" features and SVM for hand-printed characters recognition // 6th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, 2018, August, p. 178-180.

Təsvir olunan əlamətin hesablanması zamanı aşağıdakı şəkildə suallar meydana çıxır. Bu xətlərin sayı nə qədər olmalıdır? Çəkilən xətlərin, daha doğrusu parçaların başlanğıc və son nöqtələri necə təyin olunmalıdır?

Əlbətdə ki, bu sualların cavabını eksperimental olaraq tapmaq mümkün deyil. Belə ki, simvolların yerləşdiyi düzbucaqlının ölçülərini nəzərə alsaq çəkilə biləcək müxtəlif düz xətlərin sayı 32634 ədəddir. Şəkil 19-da bu xətlərə bir neçə nümunə göstərilmişdir.

Əlamətlər bazasından optimal əlamətlər altçoxluğunun seçilməsi məsələsi binar optimallaşdırma məsələsinə gətirilir. Burada optimallaşdırılan vektorda verilmiş mövqedə 0 olarsa əlamət tanımada iştirak etmir, 1 olarsa iştirak edir.

Qısa əlamətlərin ardıcıl seçilməsi bir addımda klasifikasiyanın məhsuldarlığından asılı olaraq əlamətləri əlavə edir və yaxud silir. Bu proses  $k$  ölçülü altçoxluq olana qədər davam edir.

Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün istifadə oluna biləcək əlamətlərin sayı kifayət qədər çoxdur. Mövcud əlamətlər çoxluğu içərisində informativ əlamət alt çoxluğunun seçilməsi üçün genetik alqoritmlərdən istifadə olunmuşdur.<sup>23</sup>

İlk öncə bu yanaşma 37 əlamətdən ibarət vektora tətbiq olunmuşdur və vektorun ölçüsünün azaldılması üçün genetik alqoritmlərlə yanaşı burada geriye ardıcıl seçmə üsulu və irəliyə ardıcıl seçmə üsullarından istifadə edilmişdir<sup>24</sup>.

Şəkil 20 ardıcıl irəli seçmə metodunun tətbiqi zamanı minimum səhv dərəcəsinin 16 əlamət üçün, şəkil 20 isə geriye ardıcıl seçmə metodunda isə ən yaxşı nəticənin 24 parametrlərin üçün aşkarlandığını göstərir.

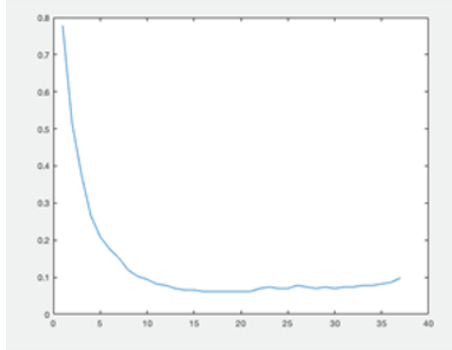
Şəkil 20-də irəliyə ardıcıl seçmə üsulunun tətbiqi zamanı tanınmanın dəqiqliyinin əlamətlər vektorunun uzunluğundan asılılıq

---

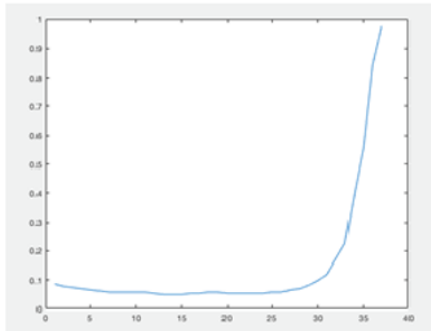
<sup>23</sup> İsmayilov E.A., Mammadov R., Parallel solution of features subset selection process for hand-printed character recognition // Azerbaijan Journal of High Performance Computing, 2019 2(2), p. 170-177.

<sup>24</sup> İsmayilov E. A., Application of SVM and Soft Features to Azerbaijani Text Recognition // ICTACT Journal on Image and Video Processing (Volume: 9, Issue: 2, 2018), p. 1872-1875.

qrafiki göstərilmişdir. Burada ilk öncə boş əlamətlər vektoru göstərilir və digər əlamətlər bir-bir vektora əlavə edilir və tanımının dəqiqliyi ölçülür. Tanımının dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi üçün dayaq vektorlar üsulundan (DVÜ) istifadə olunmuşdur. Qrafikdən görüldüyü kimi müəyyən saydan sonra bəzi əlamətlərin sistemə daxil edilməsi tanıma dəqiqliyini dəyişmir.

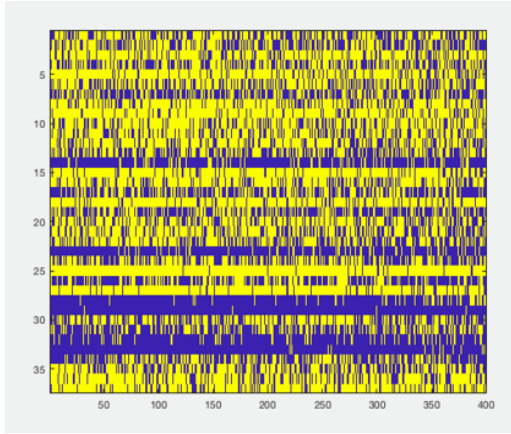


Şəkil 20. Tanıma dəqiqliyinin ardıcıl irəli seçim tətbiq edildikdən sonra əldə edilən əlamətlərdən asılılığı.

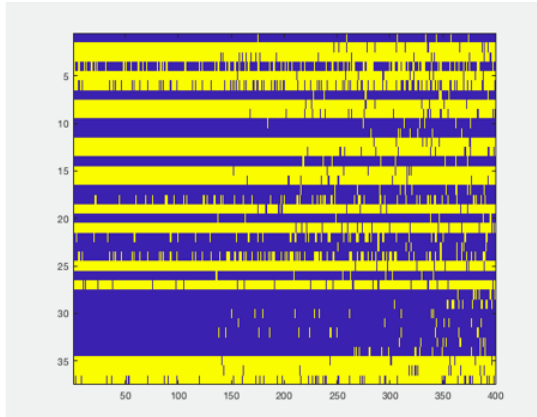


Şəkil 21. Tanıma dəqiqliyinin ardıcıl geriye seçim tətbiq edildikdən sonra əldə edilən əlamətlərdən asılılığı.

Problemin başqa bir həlli yolu, informativ əlamətlərin təyin edilməsi üçün genetik alqoritmlərin istifadəsidir. Bu məqsədlə genetik alqoritmlərdən istifadə etdikdən sonra baxılan çoxluqdan 17 əlamət üçün ən dəqiq tanıma nəticəsi alındı (bax Şəkil 22, 23).



Şəkil 22. Genetik alqoritmlərin tətbiqi nəticəsində optimal əlamətlər, 100 -cü nəsil.



Şəkil 23. Genetik alqoritmlərin tətbiqi nəticəsində optimal əlamətlər, 900 -cü nəsil.

Cədvəl 1-də, təsvir olunan metodların təhlili nəticəsində optimal əlamətlərin çıxarılması, həmçinin Azərbaycan çap əlyazma simvollarının DVÜ üsulu ilə ən dəqiq tanımanın həyata keçirilməsinin təmin edən nəticələr təsvir olunmuşdur.

Cədvəl 1. Binar optimallaşdırma problemi üçün müxtəlif metodların tətbiqi nəticəsində əldə edilən əlamətlər vektorları

Üsul	Seçilmiş əlamətlər (+ seçilib, - seçilməyib)	Xəta
Geriyə ardıcıl seçmə	+ - + - + - - + + + + + - + + - + + + + + - + + + + - - - - + + + -	0.0492
İrəliyə ardıcıl seçmə	- + + - + + - + + - - + + - + - - - + - - + + - + - - - - + + - - - +	0.0615
Genetik alqoritm	- + + - + + - + + - - + + - + + - - - + - + - - - + - + - - - - - - + + + +	0.0410

Baxılan yanaşma sadəcə az sayda əlamətlərin içərisindən optimal əlamətlərin seçilməsi üçün tətbiq olunmuşdur. Daha böyük əlamətlər bazasından optimal əlamətlər altçoxluğunun seçilməsi üçün daha güclü hesablama imkanları olan sistemlərdən istifadəyə ehtiyac var. Buna görə işdə daha öncə təsvir olunan bütün əlamətlərin içərisindən optimallarının seçilməsi üçün paralel genetik alqoritmlərdən istifadə olunmuş, nəticələr Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin HPC mərkəzində klaster hesablama sistemində hesablanmışdır. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin HPC mərkəzinin klaster hesablama mərkəzində 21 düyün nöqtəsi var (bu düyün nöqtələrinin biri server digərləri klient xidməti göstərir). Eksperimentlər zamanı 3 cür çarpazlaşdırma üsulundan (1 nöqtəli çarpazlaşdırma, 3 nöqtəli çarpazlaşdırma və təsadüfi çarpazlaşdırma) və 2 cür mutasiya qiymətindən istifadə olunmuşdur. Eksperimentlərin nəticələri cədvəl 1-4-də geniş şərh olunmuşdur.

Cədvəl 2. Qiymətləndirmə prosesində ən yaxşı əlamətlərin tanınmasının dəqiqliyi

Nəsillərin sayı	İcra müddəti (saniyə)	Əlamətlər alt çoxluğunun	Dəqiqlik səviyyəsi
100	799	7682	93
250	2403	7707	94
500	4002	7650	96
1000	7963	7529	97

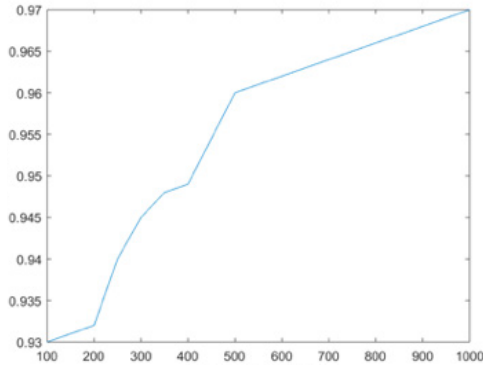
Cədvəl 3. Fərqli sayda hesablama qovşaqlarında aparılan təcrübələrin nəticələri.

Düynələrin sayı	İcra vaxt	Nəsillərin sayı	Əlamətlər alt çoxluğunun uzunluğu	Dəqiqlik səviyyəsi (%)
2	4232	500	7654	92
5	1703	500	7568	94
10	1143	1000	7787	96
15	837	1000	7731	95
20	799	1000	7598	97

Cədvəl 4. Fərqli çarpazlaşdırma üsulları və mutasiya nisbətləri ilə edilən təcrübələrin nəticələri.

Çarpazlaşdırma üsulu	Mutasiya səviyyəsi	İcra müddəti (saniyə)	Nəsillərin sayı	Əlamətlər alt çoxluğunun uzunluğu	Dəqiqlik səviyyəsi (%)
Çarpazlaşdırma 1	<0.5	800	200	7782	91
	<0.4	796	200	7674	90
	<0.3	797	200	7144	94
Çarpazlaşdırma 2	<0.5	801	200	7689	92
	<0.4	803	200	7832	97
	<0.3	798	200	7345	93
Çarpazlaşdırma 3	<0.5	801	200	7980	97
	<0.4	799	200	7759	90
	<0.3	787	200	7564	89

Şəkil 24-də genetik alqoritmlərin tətbiqi zamanı tanınma sisteminin dəqiqliyi ilə nəsillərin sayı arasındakı əlaqəni göstərir. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün 17 əlamət optimal olaraq seçilmiş oldu.



Şəkil 24. Dəqiqlik göstəricisinin nəsil sayından asılılığının qrafiki

Təklif olunmuş əlamətlər və əlamətlərin alt qruplarının seçilməsi prosesinin səmərəliliyini əsaslandırmaq üçün qurulmuş tanıma sistemi Azərbaycan əlyazması simvollarının məlumat bazası və NIST əlyazma formaları və simvollar bazasında sınaqdan keçirilmişdir<sup>25</sup>. Nəticədə daha az əlamətlə daha yüksək tanıma keyfiyyəti əldə olunmuşdur (Cədvəl 5).

Cədvəl 5. Tanımanın nəticələrinin müqayisəli təhlili.

Simvollar	Tanımanın nəticəsi (%)	Səhv tanınan (%)	İmtina (%)
Azərbaycan çap əlyazma simvolları	95,43%	2,44%	2,23%
Çapəlyazma rəqəmləri	95,22%	1,68%	3,10%
Xüsusi simvollar	96,07%	3,14%	0,79%
NIST bazasından götürülmüş simvollar	98,60 %	0,2%	1,2%

Bu fəsildə Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün təklif olunan əlamətlərin hesablanması alqoritmləri verilmişdir, müxtəlif klassifikasiya üsulları və müxtəlif əlamət sinifləri

<sup>25</sup> <https://catalog.data.gov/dataset/nist-in-space-better-remote-sensors-for-better-science>

ilə müqayisə edilərək müəllif tərəfindən təklif olunan əlamətlərin və DVÜ-nin üstünlüyü eksperimentlər əsasında göstərilmişdir. Mövcud əlamətlər çoxluğundan informativ əlamətlərin seçilməsi və informativ olmayan əlamətlərin silinməsi ilə yüklənmənin qarşısının alınması üçün binar optimallaşdırma məsələsi ADNSU HPC mərkəzində həll edilmişdir.

## NƏTİCƏ

Dissertasiya işində aşağıdakı **nəticələr** əldə olunub:

1. Simvolların optik tanınması sahəsində mövcud problemlər araşdırılmış, çoxsaylı xalqlar tərəfindən istifadə olunan o cümlədən müxtəlif lokal dillərdə istifadə olunan simvolların tanınması üçün təklif olunan yanaşmalar və üsullar tədqiq olunmuşdur;
2. Obyektlərin tanınması zamanı kompüterlər tərəfindən aşkar olmayan alqoritmlərlə hesablanan əlamətlər əvəzinə insan düşüncəsinə yaxın olan az sayda lakin tanımanın keyfiyyətini artıran “soft” əlamətlərin istifadə olunmasının daha effektiv olması göstərilmişdir;
3. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün simvolların əyrilik dərəcəsi, simvolların qapalı oblastlarının sayı və onların mövqeyi kimi “soft” əlamətlər təklif edilmiş, onların hesablanması üçün alqoritmlər göstərilmişdir;
4. Azərbaycan dilində çap əlyazma simvollarının tanınması üçün müxtəlif tədqiqatçılar tərəfindən təklif olunan əlamətlər müxtəlif üsullarla sınaqdan keçirilmiş və müqayisəli təhlili verilmişdir;
5. Tanıma sistemində böyük həcmli əlamətlər sinfindən optimal əlamətlərin seçilməsi üçün binar optimallaşdırma üsullarından – ardıcıl irəli seçmə, ardıcıl geriye seçmə, paralel genetik alqoritmlərdən istifadə olunmuşdur;
6. Obyektlərin tanınmasında istifadə olan çoxsaylı əlamətlər siniflərindən informativ əlamətlər çoxluğunun seçilməsi üçün genetik alqoritmlər paralelləşdirilərək Azərbaycan Dövlət Neft



və Sənaye Universitetinin HPC mərkəzində klaster hesablama sistemində icra olunmuş, nəticələr müxtəlif parametrlər əsasında müqayisəli şəkildə şərh olunmuşdur.

**Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə çap olunmuşdur:**

1. İsmayilov E. Ə., Azərbaycan Dilində Çap Əlyazma Simvollarının Tanınmasına Yeni Əlamətlər Sınıfı və Dəyər Vektorlar Üsulunun Tətbiqi // İnformasiya texnologiyaları problemləri, 9 (2), 2018, s. 101-107.
2. İsmayilov E. Ə., Azərbaycan Dilində çap əlyazma simvollarının tanınmasına dəyər vektorları üsulunun tətbiqi // Riyaziyyatın nəzəri və tətbiqi problemləri Beynəlxalq Elmi Konfransı, Sumqayıt 2017, may, s. 276-277.
3. Исмаилов Э. А., “О использовании нечетких множеств в системе распознавания рукопечатных текстов Азербайджанского языка” // Материалы международной научной конференции «Нефть-газ, Нефтепереработка и нефтехимия» посвященной 90-летию юбилею АГНА. 327-328 с.
4. Исмаилов Э. А., “Система распознавания текстов с применением нечетких множеств” // Professor Yəhya Məmmədovun anadan olmasının 80 illik yubileyinə həsr olunmuş “Riyaziyyat və Mexanikanın aktual problemləri” adlı Beynəlxalq konfrans. Bakı, Azərbaycan, 27 dekabr, 2010, p. 217-218.
5. Aliev A. R., Ismayilov E.A., Selection of the Optimal Class of Features for Recognition of the Azerbaijani Handprinted Characters // In: 11th World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation - WCIS-2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1323. Springer Nature Switzerland AG, 2021, p.p. 96-102.

6. Alieva N.T., Ismayilov E. A., About fuzzy recognition system of Azerbaijani hand-printed texts // Abstracts of the IV Congress of the Turkic World Mathematical Society. 1-3 July, 2011. p. 299.
7. Alieva N.T., Ismayilov E. A., Analysis of application of fuzzy neuron networks to structured method of recognition of printed and handwritten symbols // Proceedings Of the International Scientifically and Practical Conference “Information Innovation Technologies: Integration of Business, Education and Science” Almaty, Kazakhstan, November, 27-28, 2008. p. 130-133.
8. Alieva N.T., Ismayilov E. A., Analysis of effect of different feature classes in learning systems // Proceedings of 24th Mini EURO Conference on Continuous Optimization and Information-based technologies in the financial sector, Izmir, Turkey, June 23-26, 2010. p. 270-274.
9. Alieva N.T., Ismayilov E. A., Fuzzy approach to the structured method of recognition // Proceedings of The second International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” , Baku, Azerbaijan, September 10-12, 2008. p. 220-223.
10. Alieva N.T., Ismayilov E. A., Hand printed recognition system using a fuzzy neural network // Proceedings of The second International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” , Baku, Azerbaijan, September 6-8, 2010. p. 214-217.
11. Alieva N.T., Ismayilov E. A., Hand-printed recognition system using spline L-R type fuzzy numbers // International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, Kayseri, Turkey, 2010, June 21-24. p. 138-141.
12. Alieva N.T., Ismayilov E. A., Research of a class of smooth membership functions // Proceedings of the 11th International Conference “Pattern Recognition and Information Processing” , 18-20 may, 2011, Minsk, Belarus. p. 204-208.
13. Alieva N.T., Ismayilov E. A., The analysis of how the choice of membership functions influences the quality of recognition system // Innovations in Intelligent Systems and Applications

- (INISTA), 2012 International Symposium on, Trabzon, Turkey, 2-4 July, 2012.
14. Bakishof U., Ismayilov E. A., Hand-printed character/digit recognition by ANFIS system // Journal of Contemporary Applied Mathematics, 3 (2), 2013. p. 17-24.
  15. Ismayilov E. A., “Analysis of the effectiveness of the use features for character recognition Azerbaijani language” // Riyaziyyat və informatikanın aktual problemləri Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illik yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq konfrans, Bakı, 2010, p. 220-222.
  16. Ismayilov E. A., “Comparison of results of recognition system for Azerbaijani texts with various features classes” // Abstracts of the IV Congress of the Turkic World Mathematical Society. 1-3 July, 2011. p. 437.
  17. Ismayilov E. A., Analysis of Influence of Different Feature Classes to The Recognition System For Azerbaijan’ s Hand-Printed Characters Based on Method of Support Vectors // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, 20 (3), 2018, p. 107-112.
  18. Ismayilov E. A., Application of SVM and Soft Features to Azerbaijani Text Recognition // ICTACT Journal on Image and Video Processing (Volume: 9, Issue: 2, 2018), p. 1872-1875.
  19. Ismayilov E. A., Feature selection method for recognition of hand-printed characters // The 5th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, 27-29 August, 2015, Baku, Azerbaijan, p 208-210.
  20. Ismayilov E.A., Mammadov R., Parallel solution of features subset selection process for hand-printed character recognition // Azerbaijan Journal of High Performance Computing, 2019 2(2), p. 170-177.
  21. Ismayilova N. T., Ismayilov E. A., Convergence of HPC and AI: Two Directions of Connection // Azerbaijan Journal of High Performance Computing, 2018 1(2), p. 179-184.

22. Ismayilova N. T., Ismayilov E. A., Fuzzy Features Extraction for Hand-printed character/digit recognition system // IEEE International Symposium on INnovations in Intelligent Systems and Applications, 2014, Italy, Alberobello, p. 249-252.
23. Ismayilova N. T., Ismayilov E. A., Research of a class of smooth membership functions and its application in recognition systems // 2012 4th International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics", Bakı, 2012, p. 223-226.
24. Ismayilova N. T., Ismayilov E. A., "Soft" features and SVM for hand-printed caharcters recognition // 6th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, 2018, August, p. 178-180.

Dissertasiyanın müdafiəsi 04 mart 2022 il tarixində saat 13<sup>00</sup> da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.02 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 02 fevral 2022 il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 28.01.2022

Kağızın format: A5

Həcm: 38 354

Tiraj: 100 nüsxə