

MUHAMMAD AL-XORAZMIY  
NOMIDAGI TATU FARG'ONA FILIALI  
FERGANA BRANCH OF TUIT  
NAMED AFTER MUHAMMAD AL-KHORAZMI

# “AL-FARG‘ONIIY AVLODLARI”

ELEKTRON ILMIY JURNALI | ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL

## TA'LIMDAGI ILMIY, OMMABOP VA ILMIY TADQIQOT ISHLARI



1-SON 1(5)  
2024-YIL

TATU, FARG'ONA  
O'ZBEKISTON



## O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI  
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI  
FARG'ONA FILIALI

**Muassis:** Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Farg'ona filiali.

**Chop etish tili:** O'zbek, ingliz, rus. Jurnal texnika fanlariga ixtisoslashgan bo'lib, barcha shu sohadagi matematika, fizika, axborot texnologiyalari yo'nalishida maqolalar chop etib boradi.

**Учредитель:** Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразми.

**Язык издания:** узбекский, английский, русский.

Журнал специализируется на технических науках и публикует статьи в области математики, физики и информационных технологий.

**Founder:** Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorazmi.

**Language of publication:** Uzbek, English, Russian.

The magazine specializes in technical sciences and publishes articles in the field of mathematics, physics, and information technology.

2024 yil, Tom 1, №1  
Vol.1, Iss.1, 2024 y

ELEKTRON ILMIY JURNALI

ELECTRONIC SCIENTIFIC JOURNAL

«Al-Farg'oniyl avlodlari» («The descendants of al-Fargani», «Potomki al-Fargani») O'zbekiston Respublikasi Prezidenti administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligida 2022-yil 21 dekabrda 054493-son bilan ro'yxatdan o'tgan.

Jurnal OAK Rayosatining 2023-yil 30 sentabrdagi 343-sonli qarori bilan Texnika fanlari yo'nalishida milliy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Tahririyat manzili:  
151100, Farg'ona sh.,  
Aeroport ko'chasi 17-uy,  
202A-xona  
Tel: (+99899) 998-01-42  
e-mail: info@al-fargoniy.uz

Qo'lyozmalar taqrizlanmaydi va qaytarilmaydi.

FARG'ONA - 2024 YIL

## TAHRIR HAY'ATI

### **Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti rektori, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

### **Muxtarov Farrux Muhammadovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Farg'ona filiali direktori, texnika fanlari doktori

### **Arjannikov Andrey Vasilevich,**

Rossiya Federatsiyasi Sibir davlat universiteti professori, fizika-matematika fanlari doktori

### **Satibayev Abdugani Djunosovich,**

Qirg'iziston Respublikasi, Osh texnologiyalari universiteti, fizika-matematika fanlari doktori, professor

### **Rasulov Akbarali Maxamatovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Axborot texnologiyalari kafedrasida professori, fizika-matematika fanlari doktori

### **Yakubov Maksadxon Sultaniyazovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU «Axborot texnologiyalari» kafedrasida professori, t.f.d., professor, xalqaro axborotlashtirish fanlari Akademiyasi akademigi

### **G'ulomov Sherzod Rajaboyevich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kiberxavfsizlik fakulteti dekani, Ph.D., dotsent

### **G'aniyev Abdualil Abdualioyevich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kiberxavfsizlik fakulteti, Axborot xavfsizligi kafedrasida t.f.n., dotsent

### **Zaynidinov Hakimjon Nasritdinovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Kompyuter injiniringi fakulteti, Sun'iy intellekt kafedrasida texnika fanlari doktori, professor

### **Bo'taboyev Muhammadjon To'ychiyevich,**

Farg'ona politexnika instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

### **Abdullayev Abduljabbor,**

Andijon mashinosozlik instituti, Iqtisod fanlari doktori, professor

### **Qo'ldashev Abbosjon Hakimovich,**

O'zbekiston milliy universiteti huzuridagi Yarimo'tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti, texnika fanlari doktori, professor

### **Ergashev Sirojiddin Fayazovich,**

Farg'ona politexnika instituti, elektronika va asbobsozlik kafedrasida professori, texnika fanlari doktori, professor

### **Polvonov Baxtiyor Zaylobiddinovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha direktor o'rinbosari

### **Zulunov Ravshanbek Mamatovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Dasturiy injiniring kafedrasida dotsenti, fizika-matematika fanlari nomzodi

### **Saliyev Nabijon,**

O'zbekiston jismoniy tarbiya va sport universiteti Farg'ona filiali dotsenti

### **Abdullaev Temurbek Marufovich,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Axborot texnologiyalari kafedra mudiri, texnika fanlar bo'yicha falsafa doktori

### **Zokirov Sanjar Ikromjon o'g'li,**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo'limi boshlig'i, fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori

Jurnal quyidagi bazalarda indekslanadi:



*Eslatma! Jurnal materiallari to'plamiga kiritilgan ilmiy maqolalardagi raqamlar, ma'lumotlar haqqoniyligiga va keltirilgan iqtiboslar to'g'riligiga mualliflar shaxsan javobgardirlar.*

**MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS**

Umarov Shuxratjon Azizjonovich, Abduqodirov Abdulhay, AXBOROT XAVFSIZLIGI TIZIMLARINI INTELLEKTUALLASHTIRISH MASALALARI	4-10
Ахунджанов Умиджон Юнус угли, ЛОКАЛЬНАЯ КРИВИЗНА КАК СТРУКТУРНЫЙ ПРИЗНАК ВЕРИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКОЙ ПОДПИСИ	11-16
Liu Lingyun, Linear cryptanalysis of the SM4 block cipher algorithm	17-22
Shaxzoda Amanboyevna Anarova, Jamoliddin Sindorovich Jabbarov, Doston Naim o'g'li Muxtorov, FRAKTAL XUSUSIYATLI ORGANLARNING O'LCHOVLARINI ANIQLASH SXEMASINI ISHLAB CHIQUISH	23-28
E.M.Urinov, M.A.Umarov, O'zbek ishora tili harflarini tanib olish algoritmi	29-33
Kengboev Sirojiddin Abray ugli, MATHEMATICAL MODEL OF CALCULATION OF THE TEMPERATURE IN THE CONTACT ZONE OF INTERACTION BETWEEN THE SHUTTLE SOCKET AND THE BOBBIN OF SEWING MACHINES	34-38
Anarova Sh.A., Saidkulov E.A., Haqberdiyev S.N, ZARAFSHON DARYO TARMOG'INI GEOMETIRIK MODELLASHTIRISH	39-43
Xamrakulov Umidjon Sharabidinovich, Ashuraliyev Alisherjon Abdumalikovich, REAL VAQT REJIMIDA NOQAT'IY MA'LUMOTLARNI QAYTA ISHLASHNING ANALITIK MODELLARINI ISHLAB CHIQUISH	44-56
Sharibayev Nosirjon Yusubjanovich, Kayumov Ahror Muminjonovich, TRIKOTAJ TO'QIMALARINING SHAKL SAQLASH XUSUSIYATLARINI RAQAMLI BAHOLASH USULLARI	57-61
Xasanova Maxinur Yuldashbayevna, Yo'ldosheva Dilfuza Shokir qizi, Burxonova Malohat Mamirovna, BAHOLASH NAZARIYASI USULI ASOSIDA AVTOMATIK TIZIMLARNI DIAGNOSTIKALASH ALGORITMLARI	62-68
Улжаев Эркин, Убайдуллаев Уткиржон, Абдулхамидов Азизжон, Нейронные технологии распознавания и классификация степени раскрытия хлопковых коробочек	69-79
Узаков Б.М., Хошимов Б. М, ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ	80-84
Rahmatullayev Ilhom Rahmatullayevich, Umurzakov Oybek, SHA oilasiga mansub xesh funksiyalar tahlili	85-92
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Samatova Zarnigor Nematovna, BULUTLI TEXNOLOGIYALARDA KIBERXAVFSIZLIK TAMINLASHDA CASB YECHIMLARI	93-98
Эргашев Отабек Мирзапулатович, ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ИХ РОЛЬ В ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	99-105
Ёркулов Руслан Махаммади угли, СОСТАВ И СТРУКТУРА МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ Si /Al(111) И Si/Cu(111)	106-109
Muxtarov Farrux Muhammadovich, KIBERHUQUQ VA KIBERETIKA MADANIYATINING SHAKILLANTIRISHDA "KIBERXAVFSIZLIK ASOSLARI" FANINI O'QITISHNING DOLZARBLIGI	110-115
Asrayev Muhammadmullo Abdullajon o'g'li, Kurbanov Abduraxmon Alishboyevich, Fayziyev Voxid Orzumurod o'g'li, YUZ IFODASINI ANIQLASH MODELLARINI OPTIMALLASHTIRISH: GRADIENTNI OSHIRISH VA UNING GIPERPARAMETRLARNI SOZLASH VA MUNTAZAMLASHTIRISH (REGULARIZATSIYA)DAGI AHAMIYATI	116-122
Polvonov Baxtiyor Zaylobidinovich, Xudoyberdieva Muhayyohon Zoirjon qizi, Abdubannobov Muydinjon Iqboljon o'g'li, G'ulomqodirov Xumoyun O'tkirjon o'g'li, Zaylobiddinov Bekhzod Bakhtiyarjon o'g'li, Ergasheva Gulruxsor Qobiljon qizi, DEVELOPMENT OF PRACTICAL COMPETENCES OF STUDENTS IN NANOTECHNOLOGY AND SEMICONDUCTOR PHYSICS IN HIGHER EDUCATION	123-128
Xudoyqulov Zarifjon Turakulovich, Rahmatullayev Ilhom Rahmatullayevich, Mavjud oqimli shifrlash algoritmlarining qiyosiy tahlili	129-134
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Akhmadjonov Ikhtiyorjon Rovshanjonovich, Ergashev Otabek Mirzapulatovich, THE METHODS OF AUTOMATIC LICENSE PLATE RECOGNITION	135-141
Asrayev Muhammadmullo Abdullajon o'g'li, Fayziyev Voxid Orzumurod o'g'li, Turakulova Shaxnoza Abdurshidovna, Ermatova Zarina Qaxramonovna, Tibbiy tasvirlar ichida alohida qiziqish hududlarini (Region of interest-ROI) avtomatik aniqlash va izolyatsiya qilish	142-146
Rasulov Akbarali Makhamatovich, Ibrokhimov Nodirbek Ikromjonovich, Minamatov Yusupali Esonali ugli, Mukhtarov Farrukh Muhammadovich, BIMETALLIC CLUSTERS AND AREAS OF THEIR APPLICATION	147-150
Uzakov Barxayotjon Muxammadiyevich, Xoshimov Baxodirjon Muminjonovich, O'ZBEKISTON NEFT-GAZ KORXONALARIDA INVESTISIYA LOYIHALARINI MOLİYALASHTIRISH BO'YICHA XORIJ TAJRIBASINI O'RGANISH	151-156
Xalilov Durbek Aminovich, Abduqodirova Mohizoda Ilhomidin qizi, MASOFAVIY TA'LIM TIZIMINI TASHKIL ETISHNING TEXNIK USULLARI	157-160

**MUNDARIJA | ОГЛАВЛЕНИЕ | TABLE OF CONTENTS**

Аллярова Гулмира Холмуратовна, Буронов Нурлибек Рустам угли, Зарипов Шухрат Собиржон угли, Исследование ионно-электронной эмиссии пленок Cs на гранях (110) и (111) монокристаллов молибдена	161-165
Jo'rayev Mansurbek Mirkomilovich, Simsiz sensor tarmoq asosida nozik sug'orish tizimlarini modeli va innovatsion loyihalar	166-172
Zulunov Ravshanbek Mamatovich, Akhmadjonov Ikhtiyorjon Rovshanjonovich, Ergashev Otabek Mirzapulatovich, METHODOLOGY FOR BUILDING LICENSE PLATE RECOGNITION SYSTEMS	173-179
Abduhafizov Tohirjon Ubaydulla o'g'li, Abdurasulova Dilnoza Botirali qizi, IQTISODIY JINOYATLAR VA ULARNING OLDINI OLISH UCHUN DASTURIY MAHSULOTLAR ALGORITMLARINI ISHLAB CHIQUISH	180-185
Djurayev Sherzod Sobirjonovich, Ermatova Zarina Qaxramonovna, Linter qurilmasini ishchi qismlarini masofadan boshqarish va nazorat qilish orqali uning samaradorligini oshirish	186-190
Xusanova Moxira Qurbonaliyevna, Sotvoldiyeva Dildora Botirjon qizi, SIGNALLARNI STATISTIK QAYTA ISHLASH	191-195
Xalilov Durbek Aminovich, Qurbonova Gulruxsor Murodjon qizi, Axborotlashgan ta'lim muhitida talabalar mustaqil ishini tadqiqoti va metodikasini takomillashtirish	196-200

## ЛОКАЛЬНАЯ КРИВИЗНА КАК СТРУКТУРНЫЙ ПРИЗНАК ВЕРИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКОЙ ПОДПИСИ

Ахунджанов Умиджон Юнус угли,  
Канд. техн. наук, зав. кафедрой Ферганского  
филиала ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий  
e-mail: axundjanov\_90@mail.ru

**Аннотация:** В исследовании предложен новый метод описания цифрового изображения рукописной подписи, основанный на анализе частотного распределения значений локальной кривизны контуров. Описано вычисление этого признака на бинарном изображении подписи, где формируется нормализованная гистограмма значений локальной кривизны для 40 интервалов. Частотные значения представлены в виде 40-мерного вектора, который назван кодом локальной кривизны подписи. Эксперименты были проведены на цифровых изображениях исходных и поддельных подписей из общедоступной базы CEDAR. Результаты показали, что точность автоматической верификации подписей на базе данных CEDAR составила 99,77.

**Ключевые слова:** кривизна, рукописная подпись, корреляция, гистограмма.

**Введение.** Кривизна широко используется для классификации образов, в частности, в категориях [1-5]. В качестве примера можно привести сопоставление контуров, сегментацию контуров, регистрацию изображений, распознавание предметов, обнаружение признаков и т.д. Кривизна определяется функцией производных более высокого порядка от заданной кривой. Существует несколько подходов к извлечению кривизны из изображений, таких как производная от касательного угла и тензор кривизны [6-11].

Исследования публикаций оценивают кривизну на основе дискретных значений точек кривой. Флинн и Джейн [12] провели исследование, в котором сравнили пять методов оценки кривизны и пришли к выводу, что они чрезвычайно чувствительны к шуму и требуют многократного сглаживания для стабильных результатов. Уорринг и Смолдерс [10] исследовали пять различных методов измерения кривизны цифровых кривых и пришли к выводу, что ни один из них не является универсальным.

**Метод.** Касательная окружность кривой в точке  $(x, y)$  характеризуется кривизной этой точки, которая равна  $1/R$ , где  $R$  - радиус окружности, касающейся кривой в этой точке. Известно, что центр и радиус такой окружности можно определить, зная координаты трех точек, лежащих на ней. Уравнение окружности, проходящей через точки  $(x_i, y_i)$ , задается формулой:

$$\begin{aligned}(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 &= R^2, \\ x_i^2 - 2x_ix_c + x_c^2 + y_i^2 - 2y_iy_c + y_c^2 - R^2 &= 0, \\ (x_i^2 + y_c^2) - 2(x_ix_c + y_iy_c) + x_c^2 + y_c^2 - R^2 &= 0, \\ (x_i^2 + y_i^2) + p_1x_i + p_2y_i + p_3 &= 0. \quad (1)\end{aligned}$$

Существует линейное уравнение, которое имеет три неизвестных  $P_i$ . Так как целочисленные координаты кривых  $(x_i, y_i)$ , представленных на растре, описывают точки на окружности с небольшой погрешностью, вычисление параметров окружности  $(x_c, y_c, R)$  возможно только с погрешностью.

На рисунке 1 показаны три последовательных 8-связных пикселя контура,

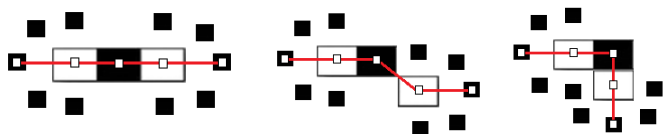


которые имеют всего лишь три комбинации. Поворот любого из них на  $90^\circ$  не влияет на кривизну и радиус касательной окружности, а также не приводит к изменению значения кривизны.



**Рисунок 1. Возможные комбинации расположения пикселей, которые могут создавать различные значения кривизны.**

На рисунке 1 показано, что в пикселе, где окружность касается кривой (выделено темным цветом), вычисляется кривизна. Однако ограниченное количество вариантов касающихся окружностей ограничивает использование кривизны как признака и не передает истинную локальную кривизну линий на растре. Добавление по одному связному пикселю с каждого конца увеличивает количество вариантов, как показано на рисунке 2. Выбрав пять последовательных 8-связных пикселей контура, можно получить 30 различных значений локальной кривизны. Важно отметить, что повороты конфигурации пикселей на  $90^\circ$  на рисунке 2 не изменяют значения кривизны кривой.



**Рисунок 2. Варианты размещения пяти соседних пикселей контура, который проходит через темный пиксел.**

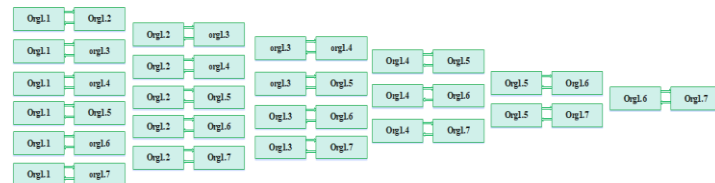
Для оценки кривизны окружности, касающейся темных пикселей на рисунке 2, необходимо точно вычислить параметры касательной окружности.

Выбирая пять последовательных 8-связных точек контура, возможны 30 различных значений локальной кривизны. Повороты конфигураций пикселей на  $45^\circ$  не влияют на значения кривизны. Минимальное значение кривизны равно 0, что соответствует случаю, когда пиксели лежат на

одной прямой. Максимальное значение локальной кривизны для четырех пикселей равно 1, а для пяти - 1,0007 (определено экспериментально). Нормализация гистограмм значений локальной кривизны путем деления на число точек контура необходима для сравнения результатов.

Коды локальной кривизны подписи представляют собой массив или вектор-признака, описывающие индивидуальные особенности подписи человека. Эти коды могут быть использованы для сравнения и оценки подписей на подлинность. В эксперименте был проведен анализ корреляции между кодами кривизны пар рукописных подписей для проверки их использования в качестве признака [15],[16]. В результате было показано, что корреляция между кодами для подлинных подписей одного человека выше, чем между кодами для подлинных и поддельных подписей.

Для эксперимента было использовано 100 подлинных и поддельных рукописных подписей из базы данных CEDAR. Для проверки подписи выбирались случайным образом. По имени файла определялось, какому человеку он принадлежит. Отбиралось  $N$  подлинных подписей этого человека. В эксперименте использовалось нечетное количество подлинных подписей,  $N = 7$ . Гистограммы локальных кодов кривизны реальных подписей каждого человека в указанной базе данных сравнивались между собой. Коэффициенты корреляции между локальными кодами кривизны были рассчитаны для 1000 пар подписей. Рисунок 3 иллюстрирует принцип сравнения пар реальных подписей одного человека.



**Рисунок 3. Принцип сравнения оригинальных подписей друг с другом.**

Имена файлов с подлинными подписями начинаются с букв org. Кривизна  $N$  выбранных



подписей сравнивалась попарно между собой, как показано на рисунке 4. Общее количество сравнений составляет  $N(N-1)/2$ .

На рисунке 4 показано сравнение верифицируемой подписи с каждой из  $N$  подлинных. Общее количество сравнений составляет  $N$ -сравнений.



**Рисунок 4. Принципы сравнения проверяемых подписей с подписями реальных людей.**

В таблице 1 представлены коэффициенты корреляции локальной кривизны между парами подлинных подписей с разным числом интервалов. Жирным шрифтом показаны наиболее низкие значения коэффициента корреляции по сравнению с другими парами.

Сравнение подписей		Число интервалов			
		255	80	60	40
org1.1	org1.2	0,8954	0,9680	0,9509	0,9831
org1.1	org1.3	0,8894	0,9880	0,9429	0,9922
<b>org1.1</b>	<b>org1.4</b>	<b>0,5224</b>	<b>0,5335</b>	<b>0,6307</b>	<b>0,8322</b>
org1.1	org1.5	0,8120	0,9721	0,9272	0,9735
org1.1	org1.6	0,7707	0,8412	0,8609	0,9311
org1.1	org1.7	0,7044	0,7613	0,8199	0,9125
org1.2	org1.3	0,9517	0,9790	0,9910	0,9893
<b>org1.2</b>	<b>org1.4</b>	<b>0,6281</b>	<b>0,6175</b>	<b>0,6962</b>	<b>0,8637</b>
org1.2	org1.5	0,9158	0,9788	0,9945	0,9905
org1.2	org1.6	0,9158	0,9788	0,9945	0,9905
org1.2	org1.7	0,7858	0,9788	0,9945	0,9905
org1.3	org1.4	0,8737	0,9836	0,9901	0,9915
org1.3	org1.5	0,9257	0,9840	0,9870	0,9894
org1.3	org1.6	0,7888	0,8436	0,9292	0,9845
org1.3	org1.7	0,8959	0,9444	0,9918	0,9980
<b>org1.4</b>	<b>org1.5</b>	<b>0,6169</b>	<b>0,6462</b>	<b>0,7060</b>	<b>0,7913</b>
<b>org1.4</b>	<b>org1.6</b>	<b>0,5755</b>	<b>0,6301</b>	<b>0,6597</b>	<b>0,7107</b>
<b>org1.4</b>	<b>org1.7</b>	<b>0,5450</b>	<b>0,5980</b>	<b>0,6352</b>	<b>0,6691</b>
org1.5	org1.6	0,8266	0,9121	0,9867	0,9921
<b>org1.5</b>	<b>org1.7</b>	<b>0,6748</b>	<b>0,7301</b>	<b>0,7581</b>	<b>0,8142</b>
org1.6	org1.7	0,7469	0,8884	0,9450	0,9787

**Таблица 1. Корреляция между парами семи подлинных подписей из базы CEDAR**

### Алгоритм верификации одной подписи

Исходные данные: верифицируемая подпись  $Y$  человека  $X$ , тип коэффициента корреляции  $T$ , число подлинных подписей  $N$ ,  $P_k$ ,  $k$  от 1 до  $N$ , изображений подписи человека  $X$ .

Выходные данные: результат верификации  $A$ . Если  $A=0$  – подпись поддельная, если  $A=1$  – подпись подлинная.

Шаг 1. Загрузить верифицируемую подпись  $Y$ .

Шаг 2. По названию файла определить идентификатор человек  $X$ , которому она принадлежит.

Шаг 3. В базе данных найти подлинные подписи  $P_k$ ,  $k$  от 1 до  $N$  человека  $X$ . Загрузить их.

Шаг 4. По методике, описанной в разделе 2.8, выполнить предварительную обработку всех подписей  $Y$  и  $P_k$ ,  $k$  от 1 до  $N$ , загруженных на шагах 1 и 3.

Шаг 5. Построить их нормализованные контурные представления  $S_k$ ,  $k$  от 1 до  $N$ .

Шаг 6. Вычислить LBP признаки и LBP-коды  $L_k$  всех подписей по  $S_k$ ,  $k$  от 1 до  $N$ , а также подписи  $Y$ .

Шаг 7. Вычислить коды локальной кривизны  $R_k$  всех подписей по  $S_k$ ,  $k$  от 1 до  $N$ , а также подписи  $Y$ .

Шаг 8. Вычислить коэффициенты корреляции типа  $T$   $corLBP_{ij}$  между парами LBP-кодов и коэффициенты корреляции типа  $T$   $corR_{ij}$  между парами кодов кривизны всех подлинных подписей,  $i, j$  от 1 до  $N$ .

Шаг 9. Обучить модель одноклассовой SVM на коэффициентах корреляции  $corLBP_{ij}$  и  $corR_{ij}$  пар подлинных подписей.

Шаг 10. Вычислить коэффициенты корреляции  $corLBP_{uj}$  между парами LBP-кодов подписи  $Y$  и LBP-кодами подписей  $P_k$ ,  $k$  от 1 до  $N$ .

Шаг 11. Вычислить коэффициенты корреляции  $corR_{uj}$  между парами кодов кривизны подписи  $Y$  и кодов кривизны подписей  $P_k$ ,  $k$  от 1 до  $N$ .

Шаг 12. Поочередно выполнить классификацию  $N$  образов пар подписей





(верифицируемая-подлинная), представленных параметрами  $corLBP_{uj}$  и  $corR_{uj}$  на предмет принадлежности классу подлинных подписей человека X.

Обученная модель SVM определяет является ли выбросом образ пары  $(Y, P_k)$ ,  $k$  от 1 до  $N$  относительно класса, на котором она обучена. Если выброс  $A_k=0$ , если нет  $A_k=1$ .

Шаг 13. Принять решение методом голосования: если сумма  $A_k < N/2$ , то подпись  $Y$  поддельная  $A=0$ , если нет – подлинная  $A=1$ .

Только модели классификатора типа ИМ-1 (индивидуальная модель, обученная на одном классе данных) применимы в реальных практических ситуациях.

Для сравнения диссертационных результатов с результатами других исследователей были верифицированы все 2640 подписей из базы CEDAR согласно ниже описанному алгоритму. Одноклассовая модель SVM переобучалась для каждой подписи, т.е. она обучалась на подлинных подписях одного человека.

Лучшая точность верификации при  $N = 15$  составила 99,77% корректной верификации. При этом даже при меньшем числе подлинных подписей  $N$ , используемых для обучения модели ни одна поддельная подпись на была опознана как подлинная. Полученный результат является лучшим для базы CEDAR.

Лучший результат верификации полученный в [13] при  $N = 12$ , точность составила 94,4 %.

#### *Алгоритм верификации всех подписей*

Входные параметры: тип коэффициента корреляции  $T$ , число подлинных подписей одного человека  $N$ , изображения подписей всех человек базы CEDAR  $S_i$ ,  $i$  от 1 до 2640.

Выходные: результат верификации  $A_i$ ,  $i$  от 1 до 2640. Если  $A_i = 0$  – подпись поддельная, если  $A_i = 1$  – подлинная.

Шаг 1. Указать путь к базе изображений подписей CEDAR.

Шаг 2. По методике, описанной в разделе 2.8, выполнить предварительную обработку всех подписей  $S_i$ ,  $i$  от 1 до 2640, и записать обработанные изображения в директорию  $K$ .

Шаг 3. Организовать цикл вычисления кодов для всех подписей  $S_i$ .

Шаг 4. Вычислить LBP-код каждой  $L_i$ -й подписи из директории  $K$  и записать в  $M1_i$ -ю строку матрицы  $M1$ .

Шаг 5. Вычислить коды локальной кривизны каждой  $R_i$ -й подписи из директории  $K$  и записать в  $M2_i$ -ю строку матрицы  $M2$ .

Шаг 6. Конец цикла.

Шаг 7. Организовать цикл верификации всех подписей  $S_i$ .

Шаг 7. Вычислить коэффициенты корреляции типа  $T$   $corLBPS_i$  между парами строк матриц  $M1_{i,j}$  всех подписей и базы, а также коэффициенты корреляции типа  $T$   $corRS_i$  между парами строк матриц  $M2_{i,j}$  всех подписей базы,  $i, j$  от 1 до 2640.

Шаг 8. Обучить модель одноклассовой SVM на коэффициентах корреляции  $T$   $corLBPS_i$  и  $T$   $corRS_i$ .

Шаг 9. Поочередно выполнить классификацию  $N$  образов пар подписей (верифицируемая-подлинная), представленных параметрами  $corLBP_{uj}$  и  $corR_{uj}$  на предмет принадлежности классу подлинных подписей человека X.

Обученная модель SVM определяет является ли выбросом образ пары  $(Y, P_k)$ ,  $k$  от 1 до  $N$  относительно класса, на котором она обучена. Если выброс  $A_k=0$ , если нет  $A_k=1$ .

Шаг 10. Принять решение голосованием, если число выбросов больше половины, то подпись поддельная, если же нет – подлинная.

Шаг 11. Провести оценку точности алгоритма верификации.

Шаг 12. Конец цикла.

Шаг 13. Вычислить оценки точности, Accuracy, Sensitivity, Balanced accuracy, FAR, FRR результатов верификации всех подписей по формулам, описанной в разделе 1.6.



Авторы статьи [13] достигли на базе CEDAR средней точности  $AER = (FAR + FRR)/2$  равной 8.70%, 7.83% и 5.60% при использовании для верификации 4, 8 и 12 подлинных подписей.

### Результаты

В таблице 3 представлены результаты верификации подписей базы CEDAR полученные в данной работе.

Число классов при обучении	Число подписей при обучении		Число подписей при верификации	ERR, %	Accuracy, %	FAR, %	FRR, %
	Подл.	Подд.					
ИМ-1	5	0	2640	один класс	92,84	0,12	0
	7	0			96,86	0,05	0
	9	0			98,45	0,03	0
	11	0			98,98	0,02	0
	13	0			99,51	0,009	0
	15	0			99,77	0,004	0

**Таблица 3. Результаты верификации подписей базы CEDAR полученные в данной работе**

Примечание:

ИМ-1 – индивидуальная модель подлинных подписей для X человек;

Подл. – подлинные;

Подд. – поддельные.

База данных Database	Accuracy	Recall	Specificity	Balanced accuracy	FAR	FRR
CEDAR	99,77%	100,00%	99,54%	99,77%	0,004%	0,0%
TUIT	88,62%	89,06%	88,19%	88,63%	11,80%	10,93%

**Таблица 3. Результаты верификации рукописных подписей**

### Заключение

Был предложен новый метод описания оцифрованных подписей, который включает в себя код локальной кривизны. Для вычисления кривизны используется информация о пяти последовательных пикселях контура подписи. Верификация подписи осуществляется с использованием модели одно-классовой SVM, построенной на основе  $N=7$  подлинных подписей человека. Двумерное пространство признаков представляет из себя коэффициенты корреляции

между многомерными признаками для всех пар подлинных подписей. Модель SVM анализирует наличие выбросов среди образов пар для верификации подписи относительно класса подлинных подписей человека. Результаты показали, что при использовании 7 подлинных подписей удалось достичь точности верификации на уровне 99,77% на общедоступной базе данных CEDAR, содержащей 2640 подписей.

### Литература

- Lin W. Y. et al. Robust and accurate curvature estimation using adaptive line integrals // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2010. – Vol. 2010. – P. 1–14. doi:10.1155/2010/240309
- Gadermayr M. et al. Shape curvature histogram: A shape feature for celiac disease diagnosis // Medical Computer Vision. Large Data in Medical Imaging: Third International MICCAI Workshop, MCV 2013, Nagoya, Japan, September 26, 2013, Revised Selected Papers 3. – Springer International Publishing, 2014. – P. 175–184.
- Han J. H., Poston T. Chord-to-point distance accumulation and planar curvature: a new approach to discrete curvature // Pattern Recognition Letters. – 2001. – Vol. 22, №. 10. – P. 1133–1144.
- Arca N., Vural F. T. Y. BAS: a perceptual shape descriptor based on the beam angle statistics // Pattern Recognition Letters. – 2003. – Vol. 24, №. 9-10. – P. 1627–1639.
- Coeurjolly D., Miguët S., Tougne L. Discrete curvature based on osculating circle estimation // 4-th International Workshop on Visual Form, IWVF4 Capri, Italy, May 28–30, 2001 Proceedings. – Springer Berlin Heidelberg, 2001. – P. 303–312.
- Cazals F., Pouget M. Estimating differential quantities using polynomial fitting of osculating jets // Computer Aided Geometric Design. – 2005. – Vol. 22, №. 2. – P. 121–146. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2004.09.004>
- Gao D. Integrating 3D seismic curvature and curvature gradient attributes for fracture characterization: Methodologies and interpretational implications // Geophysics. – 2013. – Vol. 78. – №. 2.



– P. O21–O31. <https://doi.org/10.1190/geo2012-0190.1>

8. Chen He X., Yung N. H. C. Corner detector based on global and local curvature properties // *Optical Engineering*. – 2008. – Vol. 47, №. 5. – P. 057008–057008–12.

<https://doi.org/10.1117/1.2931681>

9. Zhang W. et al. Discrete curvature representations for noise robust image corner detection // *IEEE Transactions on Image Processing*. – 2019. – Vol. 28, №. 9. – P. 4444–4459. doi:10.1109/tip.2019.2910655

10. Worring M., Smeulders A. W. M. Digital curvature estimation // *CVGIP: Image Understanding*. – 1993. – Vol. 58, №. 3. – P. 366–382.

<https://doi.org/10.1006/ciun.1993.1048>

11. Tong W. S., Tang C. K. Robust estimation of adaptive tensors of curvature by tensor voting // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2005. – Vol. 27, №. 3. – P. 434–449.

12. Flynn P. J., Jain A. K. On reliable curvature estimation // *Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 1989. Vol. 88. – P. 5–9.

13. Guerbai Y., Chibani Y., Hadjadji B. The effective use of the one SVM classifier for handwritten signature verification based on writer-independent parameters // *Pattern Recognition*. – 2015. – Vol. 48, №. 1. – P 103–113.

14. Alam S. et al. One-class support vector classifiers: A survey // *Knowledge-Based Systems*. – 2020. – Vol. 196. – P. 105754. doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105754>.

15. Ахунджанов У.Ю., Старовойтов В.В. Предварительная обработка изображений рукописных подписей для последующего распознавания // *Системный анализ и прикладная информатика*. – 2022. – № 2. – С. 4–9.

16. Старовойтов В.В., Ахунджанов У.Ю. Новый признак для описания изображений рукописной подписи на базе локальных бинарных шаблонов // *Информатика*. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 62–73. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-3-62-73>

