

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВАРИАНТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ

¹Ахунджанов У. Ю., ^{1,2}Старовойтов В. В.

¹*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск, Беларусь, umidjan_90@mail.ru,*

²*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, valerystar@mail.ru*

Аннотация. В статье проведено экспериментальное исследование инвариантного представления рукописной подписи. Целью эксперимента было исследование инвариантности нормализованного представления подписи, оцифрованной при разных условиях, имитирующих изменение ее ориентации и размеров.

Две рукописные подписи одного человека всегда имеют небольшие отклонения в ориентации, а их размеры несколько отличаются. Для проверки свойств инвариантности предложенного ранее цифрового представления подписи [1–2] к повороту и размерам исходного изображения подписи был выполнен следующий эксперимент. Подписи нескольких человек, представленные на бумажном носителе, вручную поворачивать на строго определенные углы и сканировались с разным разрешением. Целью эксперимента было исследование инвариантности нормализованного представления подписи, оцифрованной при разных условиях, имитирующих изменение ее ориентации и размеров.

Для формирования набора исходных данных для данного эксперимента 20 человек нанесли каждый по 10 подписей на бумагу. Всего было получено 200 рукописных подписей, представленных на бумаге. Бумажные носители вручную поворачивались на -5° , -10° , -20° , -30° , 0° , $+5^\circ$, $+10^\circ$, $+20^\circ$. Каждая подпись была оцифрована в трех разрешениях: 300 dpi, 600 dpi, 1200 dpi и записана в виде цветных изображений в формате bmp. Всего было сформировано 4800 цифровых представлений исходных подписей. Параметры построения набора экспериментальных данных приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры построения набора экспериментальных данных

Число рукописных подписей	200
Восемь углов поворотов	-5° , -10° , -20° , -30° , 0° , $+5^\circ$, $+10^\circ$, $+20^\circ$
Три варианта разрешения при сканировании	300 dpi, 600 dpi, 1200 dpi
Общее число сформированных цифровых представлений	$4800 \rightarrow (200 \times 8 \times 3 = 4800)$
Количество сравнений нормализованных представлений подписей	$14400 \rightarrow (4800 \times 3 = 14400)$

На рис. 1 приведен пример отсканированных изображений рукописных подписей с разными углами поворота.

Разные цифровые представления одной подписи каждого человека сравнивались между собой.

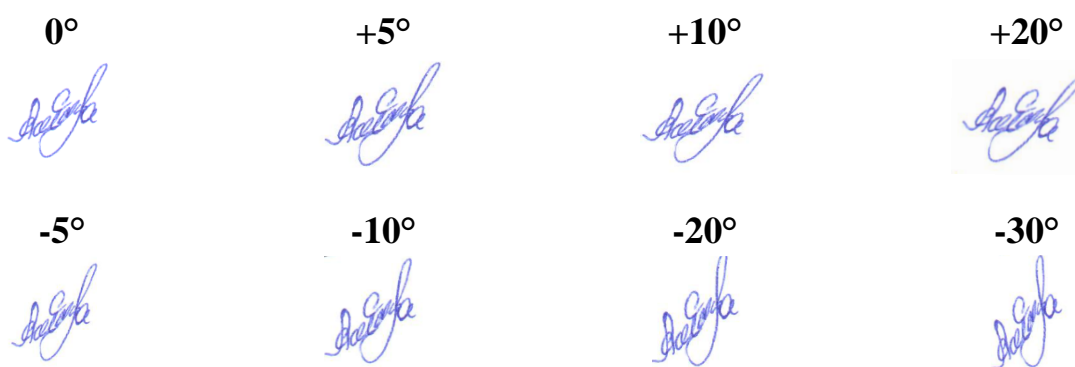


Рисунок 1 – Примеры вырезанных изображений рукописной подписи, отсканированной при разных углах поворотов

Все цифровые изображения подписей подвергались предварительной обработке и нормализации с последующим вычислением LBP признаков согласно процедуре, описанной в статье [1]:

- преобразование исходных цифровых изображений подписей (ИЦП) в бинарное изображение подписи (БИП);
- фильтрация БИП методами математической морфологии для стабилизации толщины линий;
- медианная фильтрация БИП;
- нормализация ориентации БИП;
- вырезание описывающего БИП прямоугольника;
- масштабирование БИП в шаблон заданного размера;
- выделение краев нормализованного бинарного изображения подписи;
- вычисление локальных бинарных шаблонов (localbinarypatterns или LBP) признаков контура изображения подписи [2];

Полученные признаки цифрового представления каждой рукописной подписи попарно сравнивались между собой посредством вычисления коэффициента корреляции Пирсона. Всего вычислено 14 400 коэффициентов корреляции между LBP-признаками цифровых представлений подписей. Коэффициенты корреляции 10 подписей, отсканированных в трех разрешениях, представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Примеры корреляции между парами цифровых представлений рукописных подписей, оцифрованных с разным разрешением

Сравниваемые подписи 300 и 600 dpi		Коэф. corr.	Сравниваемые подписи 300 и 1200 dpi		Коэф. corr.	Сравниваемые подписи 600 и 1200 dpi		Коэф. corr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
org1	org1.1	0,9972	org1	org01	0,9875	org1.1	org01	0,9925
org2	org1.3	0,9980	org2	org02	0,9705	org1.3	org02	0,9811
org3	org1.3	0,9895	org3	org03	0,9921	org1.3	org03	0,9988
org4	org1.4	0,9955	org4	org04	0,9897	org1.4	org04	0,9967
org5	org1.5	0,9676	org5	org05	0,9778	org1.5	org05	0,9744

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
f1	f1.1	0,9702	f1	f0.1	0,9875	f1.1	f0.1	0,9670
f2	f1.2	0,9880	f2	f0.2	0,9705	f1.2	f0.2	0,9722
f3	f1.3	0,9601	f3	f0.3	0,9921	f1.3	f0.3	0,9880
f4	f1.4	0,9814	f4	f0.4	0,9897	f1.4	f0.4	0,9879
f5	f1.5	0,9699	f5	f0.5	0,9778	f1.5	f0.5	0,9877

На рис. 2 приведены цифровые изображения рукописной подписи с разными углами поворота и разрешения (изображения уменьшены в целях экономии бумаги). По выше описанной процедуре подписи подвергались предварительной обработке. На рис. 3 приведены нормализованное представление подписи.

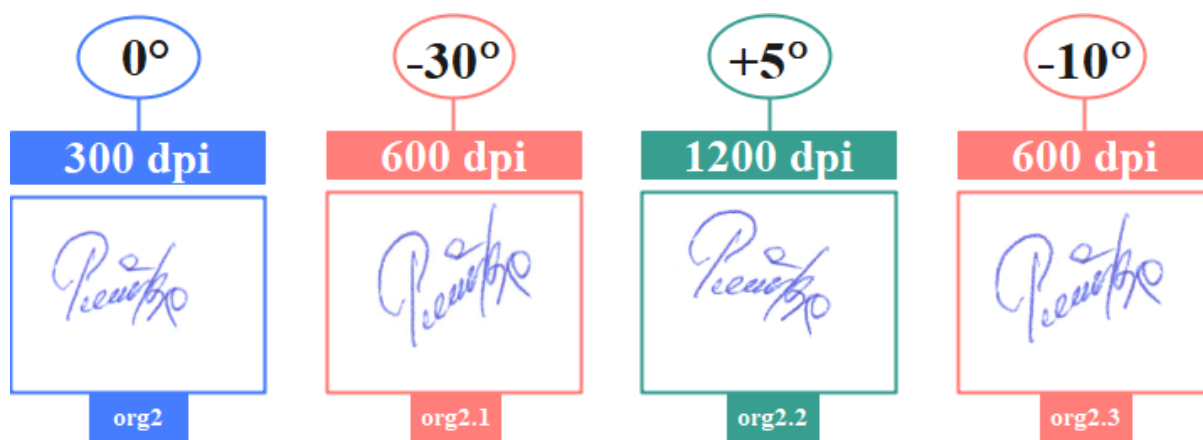


Рисунок 2 – Цифровые представления оригинальной подписи с разными углами поворотов и разрешений

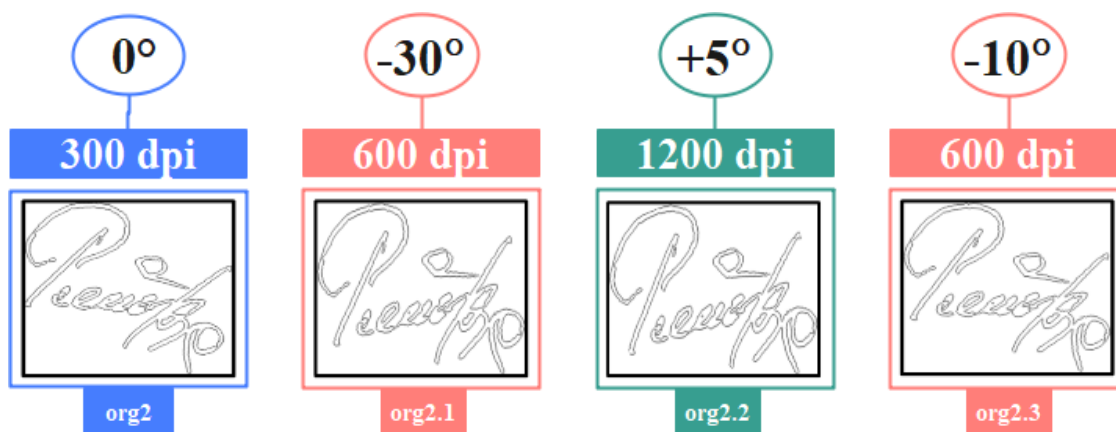


Рисунок 3 – Нормализованные представления рукописных подписей

Коэффициенты корреляции рукописных подписей, приведенных на рис. 2, представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Примеры корреляции между подписями, представленными на рис.2

Сравниваемые подписи		Коэф. сог.	Сравниваемые подписи		Коэф. сог.	Сравниваемые подписи		Коэф. сог.
org2	org2.1	0,9632	org2	org2.2	0,9615	org2	org2.3	0,9675
org2.2	org2.3	0,9770	org2.1	org2.3	0,9855	org2.1	org2.2	0,9897

Значения всех коэффициентов корреляции были выше 0,961. На рис. 4 приведены изображения рукописный подписи, оцифрованной с разрешениями 300, 600, 1200 dpi и гистограммы LBP признаков трех цифровых представлений этой подписи. Коэффициент корреляции между первым и вторым набором признаков равен 0,9981, между первым и четвертым – 0,9801, между третьим и четвертым – 0,9962.

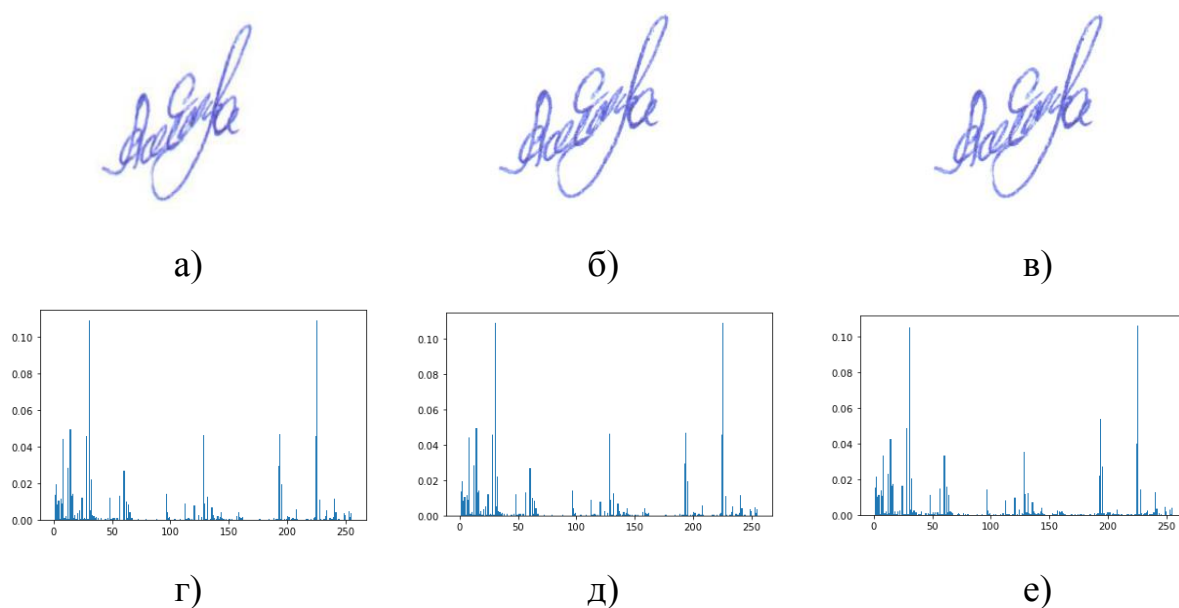


Рисунок 4 – (а)–(в) – три цифровых представления оригинальной подписи при разрешениях 300, 600, 1200 dpi и гистограммы LBP признаков, вычисленных для нормализованных цифровых представлений

В табл. 4 представлены средние арифметические значения и стандартные отклонения коэффициентов корреляции между всеми рукописными подписями, оцифрованными с разным разрешением. Значения всех коэффициентов корреляции были выше 0,978.

Таблица 4 – Средние арифметические значения и стандартные отклонения коэффициентов корреляции при сравнении подписей, отсканированных с разным разрешением

Разрешение	300 dpi и 600 dpi	300 dpi и 1200 dpi	600 dpi и 1200 dpi
$\mu \pm \sigma$	0,9793 \pm 0,010178	0,9781 \pm 0,010694	0,9809 \pm 0,009836

Заключение

По результатам выполненного эксперимента можно сделать вывод об инвариантности нормализованного представления рукописной подписи к повороту и размерам исходного изображения.

Литература

1. Ахунджанов, У. Ю. Предварительная обработка изображений рукописных подписей для последующего распознавания / У. Ю. ахунджанов, В. В. Старовойтов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2022. – № 2. – С. 4–9.
2. Старовойтов, В. В. Новый признак для описания изображений рукописной подписи на базе локальных бинарных шаблонов / В. В. Старовойтов, У. Ю. Ахунджанов // Информатика. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 62–73.