

УДК 004.932.75'1

## СТВОРЕННЯ АНАЛІТИЧНОГО ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ОЦИФРУВАННЯ РУКОПИСНИХ МАТЕМАТИЧНИХ ФОРМУЛ

*О. І. Качмар<sup>1</sup>, І. І. Марченко<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> магістрант кафедри САІТ, НТУ «ХПІ», Харків, Україна*

*<sup>2</sup> доцент кафедр САІТ, канд. тех. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна*

*[alex.kachmar20@gmail.com](mailto:alex.kachmar20@gmail.com)*

Сьогодні, в епоху цифрових технологій, все більше зростає тенденція оцифрування інформації. Проте, оцифрування даних вимагає чимало зусиль та часу, що зумовлено переписуванням, опрацюванням та форматуванням першоджерел, особливо складність збільшується, якщо першоджерело є друкованим виданням, а то і рукописом. Це одна із декількох проблем, яка є рушієм розвитку систем розпізнавання символів.

Задача розпізнавання символів, є актуальною і сьогодні, якщо ж і є ефективні методи розпізнавання символів, то це методи розпізнавання друкованого тексту або тексту який не містить складних конструкцій. Що ж на рахунок рукописних текстів або текстів зі складними конструкціями, тут не все так однозначно, що обумовлено складнощами розпізнавання структур, таких як: математичні вирази, таблиці, діаграми тощо.

Зазвичай, оцифруючи документи зі складними структурами, використовують системи розпізнавання тексту, після чого, вручну, текст доповнюють цими структурами. Якщо мова іде про таблиці, це не викликає проблем у середньостатистичного користувача, проте, з різними математичними формулами та виразами у багатьох виникають труднощі. Такого роду труднощі обумовлені рядом причин: по-перше, не всі володіють достатнім рівнем знань текстових редакторів, для того аби ввести формулу вручну, по-друге, для того аби ввести формулу коректно, людина повинна усвідомлювати, як саме формула має виглядати в електронному вигляді та з яких частин вона складається, по-третє, початковий текст може містити велику кількість математичних виразів, ручний ввід яких є надзвичайно довгим процесом, і вимагає неабиякої концентрації для забезпечення коректності та правильності вводу.

Складність задачі розпізнавання математичних виразів залежить від двох чинників: структури початкового тексту та від його типу: будь-то друкований чи рукописний текст.

Таким чином, метою цієї роботи є огляд та аналіз методів розпізнавання математичних рукописних формул, які дозволять запобігти ручному набору тексту формул.

Для розпізнавання будь-якого тексту виділяють два основних підходи назвемо їх динамічним та статичним підходами. Різниця полягає в початкових даних. Для динамічного підходу початковими даними є введений вираз на екрані за допомогою миші або інших засобів графічного вводу. У свою чергу, для статичного підходу, джерелом інформації слугує зображення з формулою.

Зазвичай в розпізнаванні математичних виразів виділяють наступні етапи:

1. збір та попередня обробка даних;
2. сегментація виразу на окремі символи;
3. розпізнавання окремих символів;

#### 4. розпізнавання структури математичного виразу.

Нижче наведено приклад алгоритму статичного підходу.

Алгоритм методу полягає в отриманні матриці зображення, в якій за допомогою побудови проєкцій відбувається пошук окремих рядків рукописного тексту. Опісля виконується потоншення зображення, тобто товщина кожної кривої стає не більше одного пікселя. Далі отримується структура окремих компонентів зв'язності в матриці. Ця структура містить інформацію про: критичні точки, які нумеруються за особливим правилом, криві, що з'єднують ці точки та напрямки кривих. Після цього відбувається порівняння з шаблонами. Вірно ж розпізнаним елементом вважається той шаблон, що має якнайбільше збігів. Ідея даного алгоритму запозичена з роботи про розпізнавання арабських текстів [1].

На першому етапі, попередній обробці даних, використовуються методи комп'ютерної графіки, щоб позбутись шумів та перевести зображення у чорно-білий формат. Для цього було використано медіанний фільтр розмивання, перетворення зображення в градації сірого та пороговий фільтр Оцу.

Після попередньої обробки зображення, відбувається сегментація зображення на окремі рядки, після чого рядки розбиваються на символи. На даному етапі використовується метод проєкцій, який використовується як для сегментації звичайного тексту, так і для сегментації математичних виразів [2].

Далі, на етапі розпізнавання окремих символів, відбувається процес скелетизації методом Зонга-Суня, з метою отримання «скелетів» символів. Опісля, відбувається пошук критичних точок знайдених символів та їх нумерація. До критичних точок відносять: крайні точки символу, в яких є тільки одна сусідня точка, перетини символу, мають понад двох сусідніх точок, також виділяють і допоміжні точки, мають 2 сусідніх елемента. Знайшовши усі критичні точки, відбувається їхня нумерація циркуляційним методом. Нумерація завжди починається з фіксованого кута та з нумерації усіх точок перетину зліва направо, далі за годинниковою стрілкою нумеруються крайні точки, пов'язані з першою точкою перетину, після чого нумеруються крайні точки, пов'язані з другою точкою перетину, і так далі. Після чого відбувається пошук напрямів. Для пошуку напрямку, відбувається порівняння координат, двох критичних точок з'єднаних між собою. Таким чином, якщо координати  $x$  та  $y$  обох точок відрізняються, то вважатимемо, що ці точки між собою з'єднані діагоналлю, якщо ж значення двох точок, хоча б по одній осі збігаються, вважатимемо їх з'єднання прямою лінією. Дані про номер критичних точок та про напрямки їх з'єднання, використовуються для безпосереднього розпізнавання, ці дані порівнюються з шаблонами такого ж типу, в результаті, шаблон який має найбільше збігів, вважається правильно розпізнаним символом.

Наступним етапом є розпізнавання структури виразу. Формується дерево з трьома гілками: *nex*t (поточний символ на одному рівні з попереднім), *bottom* (поточний символ нижче попереднього), *top* (поточний символ вище попереднього). При побудові дерева використовуються інформація, отримана на попередніх етапах, тобто фізичне розміщення символу на зображенні.

Даний підхід виділяється своєю надійністю та точністю, проте головним недоліком підходу є велика кількість перетворення зображення, що впливає на швидкодію виконання процесу розпізнавання.

#### Список літератури:

1. Салех Салюм Саид. Разработка и исследование методов распознавания рукописных арабских текстов: Дис. канд. техн. наук: 05.13.01. — Ижевск: б.н., 2003. — 127 с.
2. Сапаров А.Ю. Работа с рукописными математическими текстами // Труды Всерос. науч. конф. «Технологии информатизации профессиональной деятельности». — Том 2. — Ижевск: «Удмуртский университет», 2011. — С. 335 - 344.