

НЕЙРОИНФОРМАТИКА ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ

НЕЙРОИНФОРМАТИКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

NEUROINFORMATICS AND INTELLIGENT SYSTEMS

УДК 004.932 12; 004.932; 004.932.75

Жихаревич В. В.¹, Миронів І. В.², Остапов С. Е.³

¹Канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

²Асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

³Д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ СИМВОЛІВ ТЕКСТУ НА ОСНОВІ КОНКУРУЮЧИХ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

В роботі запропоновано новий метод розпізнавання символів тексту, який ґрунтується на концепції конкуруючих клітинних автоматів. Розроблено новий тип клітинних автоматів, траєкторії руху яких співпадають з формою символу, що його представляє автомат. Перевагами такого методу є нечутливість до розміру символів, товщини їх ліній та пропорцій фрагментів, до часткової деформації та перекриття символів за винятком утворення спільних ліній. Для оптимізації ефективності та швидкості розпізнавання запропоновано процес конкуренції клітинних автоматів, розроблено її алгоритми та методи їх взаємодії. Для реалізації запропонованих алгоритмів створено моделюючу програму, яка дозволила оцінити ефективність клітинно-автоматних методів та провести експерименти з розпізнавання символів англійського алфавіту. Продемонстровано успішне розпізнавання частково деформованих символів та таких, що накладаються, не утворюючи спільних ліній. На основі проведених досліджень авторами робиться висновок про перспективність використання запропонованих методів в системах розпізнавання рукописного тексту. Для створення реальної системи необхідно розробити підсистеми взаємодії зі сканувальним обладнанням, принципи сегментації тексту, очищення його від шумів, створення клітинно-автоматного поля та виведення результатів розпізнавання.

Ключові слова: розпізнавання тексту, розпізнавання символів, клітинний автомат, ймовірнісний автомат Мура.

НОМЕНКЛАТУРА

A – скінченний автомат;

KA – клітинний автомат;

OCR – optical Character Recognition (Оптичне розпізнавання символів);

S – множина станів автомата Мура;

SI – стани автомата Мура ($I=1 \div 7$ для автомата типу «С»);

X – вхідний алфавіт автомата Мура;

Y – вихідний алфавіт автомата Мура;

δ – функція переходів автомата Мура;

μ – функція виходів автомата Мура;

\rightarrow – напрям руху автомату A вправо;

\leftarrow – напрям руху автомату A вліво;

\downarrow – напрям руху автомату A вниз;

\uparrow – напрям руху автомату A вгору.

ВСТУП

Роботи з розробки та впровадженню у повсякденне життя систем розпізнавання символів провадяться вже

досить давно. Як правило, такі системи розбивають процес перекладу на окремі частини: отримання графічного зображення тексту, його очищення від шумів, сегментацію зображення, власне, розпізнавання символів та збереження отриманих результатів. Вважається, що на цьому шляху досягнуто значних успіхів, оскільки діючі комерційні системи розпізнавання дають досить точні результати [1, 2]. Такі системи використовують для розпізнавання різні алгоритми. Це й патентовані перетворення, деталі яких досі не оприлюднено, й штучні нейронні мережі, різні методи виділення ознак символів тощо. Тим не менше, більшість існуючих алгоритмів розпізнавання недостатньо впевнено працюють в умовах різних трансформацій символів, зокрема, при їх деформації, накладанні, не кажучи вже про розпізнавання рукописного тексту. Тому дослідники продовжують пошук альтернативних алгоритмів розпізнавання тексту, позбавлених вказаних недоліків.

Метою цієї роботи є розробка та дослідження ефективності нового методу розпізнавання символів тексту

на основі клітинних автоматів, які, як це показано, наприклад, в [3], мають беззаперечні переваги. Це і можливість паралельного обчислення, легкість і простота правил, на яких вони побудовані, проста реалізація, в тому числі й багатьох складних алгоритмів обробки зображень. Поширення цих переваг на методи розпізнавання символів дозволить розробити систему, яка ефективно працює у складних випадках, в тому числі й при роботі з рукописним текстом.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглянемо рис. 1, на якому зображено деякі латинські символи. Тут ми бачимо деформовані символи EP, вкладені символи N та O, накладені символи VZ. Людина легко ідентифікує ці символи, тоді як системи розпізнавання в цьому випадку будуть зазнавати значних проблем. Безперечно, аналогічні проблеми будуть виникати й при розпізнаванні рукописного тексту.

Задача полягає в тому, щоби з використанням клітинних автоматів розробити алгоритм розпізнавання символів, який ефективно працював би як в простих, так і у складних випадках розпізнавання [4].

Вимоги, що ставляться до розробки такого методу, наступні:

- необхідно використати КА та їх основні переваги (прості правила опису примітивів та взаємодії, легкість розпаралелювання);
- метод повинен підвищувати ймовірність розпізнавання деформованих або накладених символів;
- метод повинен легко розширюватися на випадок розпізнавання рукописних символів.

Для того, щоби задовольнити вказані вимоги, нами було запропоновано новий тип рухомих КА, які отримали назву конкуруючих клітинних автоматів.



Рисунок 1 – Деформовані символи англійського алфавіту

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Вперше ідею про автомати, що вирішують задачу логічного нетривіального самовідтворення висловив у своїх працях Джон фон Нейман [5]. Він використовував математичний пристрій, що складався з множини взаємопов'язаних паралельно працюючих однакових скінчених автоматів. Сьогодні такі пристрої називають, як правило, клітинними автоматами. Вони можуть розглядатися як однорідні структуровані моделі масових паралельних обчислювальних систем. Глобальна поведінка КА досягається лише локальними правилами взаємодії, які, як правило, досить прості. При цьому глобальна поведінка таких автоматів може бути досить складною. Детальніше принципи теорії КА описано в роботах С.Вольфрама (див., наприклад, [2]). Складна глобальна поведінка дозволяє моделювати за допомогою КА комплексні динамічні об'єкти, фізичні та технологічні явища, процеси самоорганізації та інше (див., наприклад, [6–7]).

Були спроби застосувати КА для цілей розпізнавання. Наприклад, в роботах [8–9] було досліджено мож-

ливість розв'язання формальної задачі розпізнавання за допомогою одновимірних клітинних автоматів, а також доведено, що використання детермінованих КА у формалізованих задачах розпізнавання в режимі реального часу приводять до експоненціального зростання швидкості роботи таких систем.

В роботі [10] клітинні автомати з мітками використовуються для виділення структурних ознак зображення літер з подальшою побудовою алгоритму розпізнавання символів тексту, причому КА використовуються лише на етапі попередньої обробки тексту.

Дослідження [11] присвячене використанню КА у задачах обробки та розпізнавання зображень у реальному часі. Тут розв'язуються задачі виділення інформаційних елементів при розпізнаванні зображень фігур, обробці лазерних трас та ідентифікації особи за рукописним текстом. В цьому випадку використовується багатоканальна клітинна система, яка значно розширює можливості систем розпізнавання.

В роботі [12] розглянуто підхід до побудови сімейств базисів ортогональних перетворень за допомогою динаміки клітинних автоматів. Автор пропонує для побудови таких базисів застосовувати КА з алфавітом внутрішніх станів довільної потужності. Для формалізації запропонованого підходу вводиться удосконалення моделі КА – клітинний автомат з кодовою множиною. Відмінністю цього підходу є також побудова сімейств ортогональних базисів з подальшим вибором найкращих з них в контексті задачі, що розв'язується.

Тим не менше, реальні застосування та розробки робочих систем розпізнавання символів на основі КА авторам невідомі. Однак, можливості, які обіцяють КА, їх природний паралелізм та перспективи, що відкриваються перед розробниками систем розпізнавання, спонукають науковців звертатися до цієї теми досліджень.

Що стосується комерційних OCR-систем, тут безсумнівним лідером є Fine Reader, який вже став стандартом цієї галузі. Однак, висока вартість ліцензування, закритість алгоритму розпізнавання та вимогливість до апаратних ресурсів призводять до того, що розвиваються альтернативні проекти, метою яких є розробка простих, швидкодіючих систем розпізнавання з відкритим кодом. До таких проектів можна віднести Image Text Editor [13], OpenOCR (Tesseract) [14], Kognition – OCR-системи для KDE-Linux [15] та деяких інших альтернативних Open Source проектах розпізнавання символів. Жоден з цих проектів не використовує КА для реалізації процесу розпізнавання.

3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для реалізації поставлених в попередніх розділах завдань нами було запропоновано використати рухомі КА, траєкторії руху яких співпадають з символами, що ними описуються. Разом з тим, задаються такі правила функціонування та взаємодії КА, які переводять систему до стаціонарного стану, коли на кожному символі накопичуються автомати певного типу. Отже, задача розпізнавання зводиться до аналізу типів множин автоматів в тій чи іншій області клітинно-автоматного поля. Досить зручно це виконувати співставленням певного кольору тому чи іншому типу КА. Тоді окремі символи в процесі розпізнавання набуватимуть характерного кольору.

Розглянемо алгоритми функціонування КА у вигляді графу переходів ймовірнісного автомата Мура (рис. 2).

Формально такий автомат можна описати звичайною мовою абстрактних автоматів: скінченний автомат A описується кортежем $A = \{S, X, Y, \delta, \mu\}$, причому відображення δ описує функцію переходів автомата $\delta: S \times X \rightarrow S$, а відображення μ – традиційну функцію виходів автомата Мура $\mu: S \rightarrow Y$.

Тут вхідним сигналом (умовою переходу до іншого стану автомата) є або досягнення ним кінця лінії символу (наприклад, станів $S1$ та $S7$ на рис. 2), або перебування КА в точці розгалуження, яке має місце в символах: A, B, E, F та ін. При цьому автомат переходить в один з набору рівноймовірних станів (згідно графу переходів).

Вихідною реакцією КА є сигнал про напрямок руху в даний момент часу (зображено стрілками біля станів на графі переходів: \rightarrow – рух вправо, \leftarrow – рух вліво, \downarrow – рух вниз, \uparrow – рух вгору), та перевірки кута між станами переходу КА. При цьому пересуватися вони можуть лише в межах, що відповідають символам.

Цілком очевидно, що КА, заданий графом, зображеним на рис. 2, буде описувати символ «С». Аналогічним чином можна побудувати графи переходів КА, які будуть описувати інші символи. При такому описанні неважливими стають ні розміри символів, ні їх розміщення, оскільки інваріантним залишається взаємне розташування одних частин символу відносно інших.

З іншого боку, задача розпізнавання не передбачає апріорних відомостей щодо відношення тих чи інших символів до відповідного класу. Тому, як вже було зазначено, слід забезпечити такий алгоритм функціонування та взаємодії КА, щоб в процесі роботи алгоритму автомата конкретного типу накопичувалися на тих символах, яким ці типи найбільш відповідають.

Процес розпізнавання починається з того, що на клітинно-автоматному полі з символами, які необхідно розпізнати (див. рис. 3), у випадковому порядку розсіюються КА усіх можливих типів, тобто які відповідають різним символам. КА, які не потрапили на жоден символ, одразу вилучаються з поля. Решта КА залишаються на літерах (див. рис. 4).

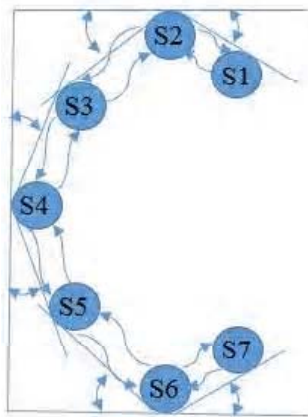


Рисунок 2 – Приклади графів переходів ймовірнісних автоматів Мура для символу «С»

Власне процес розпізнавання складається з двох етапів: руху КА по символах, на які вони потрапили, та процесу так званої «конкуренції» КА, суть якої буде пояснено нижче.

Алгоритм руху КА передбачає статистичний аналіз станів, в яких він перебуває. У випадку, якщо є недосяжні стани, відповідний автомат вилучається з поля, оскільки рухається не на «своєму» символі. Ця ситуація має місце у випадках, коли КА описує фрагмент символу, який не відноситься до його типу. Наприклад, якщо автомат типу «С» перебуває у верхній лівій частині символу «Н», він ніколи не зможе реалізувати усі свої стани, наприклад, ніколи не досягне станів $S6$ та $S7$ (див. рис. 2). Крім того, якщо автомат перебуває у початковому стані, який відповідає напрямку руху, перпендикулярному до фрагменту символу, він також не зрушить з місця (наприклад, автомат типу «С» на перетинці символу «Н»), отже всі стани, окрім початкового, будуть недосяжні, і такий автомат буде також вилучений з поля.

Після певної кількості взаємодій, автомати з недосяжними станами будуть вилучені з клітинно-автоматного поля, але існує ймовірність, коли КА одного символу зможе реалізувати усі свої стани, перебуваючи на клітинно-автоматному полі, яке належить іншому символу. Наприклад, КА типу «С» будуть реалізовувати всі свої стани, перебуваючи на літері «Г», а отже не будуть вилучатися. Таким чином, на літері «Г» зможуть реалізувати усі свої стани два типи КА: «С» та «Г». Аналогічна ситуація може реалізуватися з символами «I» та «D», «a» та «e» тощо.

Для виходу з такої ситуації нами запропоновано новий принцип взаємодії КА, який ми назвали «конкуренцією». Суть цього процесу полягає в тому, що під час зустрічі двох автоматів, які реалізують при русі по певній літері усі свої стани, той з них, який має більшу кількість станів (тобто повністю описує даний символ) переносить свої властивості на автомат з меншою кількістю станів. Наприклад, КА типу «С», який рухається по літері «Г», перетвориться в КА типу «Г», КА типу «I» перетвориться в КА типу «D», якщо вони дійсно рухаються по літері «D» і так далі.

Алгоритмом також передбачається своєрідне «розмноження» КА, які вдало описують відповідний символ. «Розмноження» триває доти, поки символ повністю не заповнюється КА цього типу. На цьому процес розпізнавання завершується. Тепер нам залишається зчитати з властивостей кожного КА його тип (який на рис. 5 позначається певним кольором) та ідентифікувати розпізнаний символ.

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Для реалізації запропонованого алгоритму нами було розроблено моделюючу програму. Використовувалася мова програмування Java, середовище розробки – IntelliJ IDEA. На клітинно-автоматному полі сформовано образи літер англійського алфавіту, як це показано на рис. 3.

Поле заповнюється КА у випадковому порядку. Автомати, що відповідають різним символам, позначаються різними кольорами, наприклад, КА типу «a» має червоний колір; «b» – синій; «c» – зелений і так далі.

З рис. 4 видно, що на кожному символі знаходяться автомати різного кольору. Після запуску механізму розпізнавання, вони починають рухатися по зображеннях символів, намагаючись поступово реалізувати усі свої дозволені стани. В разі неможливості такої реалізації, КА вилучаються з клітинно-автоматного поля. Одночасно підключаються механізми «конкуренції» та «розмноження», які призводять до того, що на кожному символі накопичуються автомати певного кольору. Коли вони повністю заповнюють символ і не здатні продовжувати рух, процес розпізнавання завершується, а символи розрізняються своїми кольорами, як це показано на рис. 5.

Тепер лишається замінити графічні зображення символів їх текстовими еквівалентами, тобто сформувати текстовий файл.

Розроблена програма повністю реалізує алгоритм розпізнавання символів тексту на основі конкуруючих клітинних автоматів.

Для дослідження розпізнавання спотворених та накладених символів було застосовано відповідні вхідні зображення (див. рис. 6–7).



Рисунок 3 – Образи символів на клітинно-автоматному полі



Рисунок 4 – Стартовий стан клітинно-автоматного поля, заповненого клітинами у випадковому порядку



Рисунок 5 – Процес розпізнавання завершено

5 РЕЗУЛЬТАТИ

Результати роботи моделюючої програми дозволили стверджувати, що розроблений алгоритм розпізнавання символів тексту на основі конкуруючих клітинних автоматів працює досить ефективно. Було проведено успішне розпізнавання набору символів англійського алфавіту.

Аналогічні результати продемонстровано при розпізнаванні символів, що накладаються без утворення спільних ліній або мають деякі спотворені елементи.

Скріншоти з розпізнавання символів, що перекриваються, подано на рис. 6. Ліворуч подано стартовий стан системи, праворуч – розпізнані символи. Видно, що розпізнавання виконано успішно.

На рис. 7 показано результати розпізнавання частково деформованих символів.

Як бачимо, і в цьому випадку розпізнавання пройшло успішно, деформовані символи були нормально розпізнані.

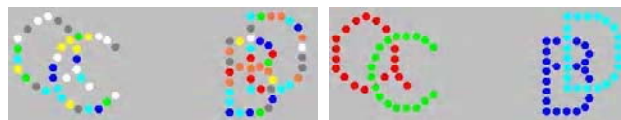


Рисунок 6 – Приклад розпізнавання символів, які частково накладаються. Ліворуч – стартовий стан системи, праворуч – розпізнані символи

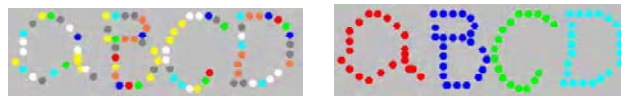


Рисунок 7 – Приклад розпізнавання символів, які мають певний ступінь деформації. Ліворуч – стартовий стан системи, праворуч – результат розпізнавання

6 ОБГОВОРЕННЯ

Успішне розпізнавання символів моделюючою програмою, демонструє ефективність запропонованого алгоритму на основі рухомих конкуруючих клітинних автоматів. Особливість його полягає в тому, що КА можуть рухатися лише по траєкторіях, які визначаються сукупністю їх станів та переходів. За межами вказаних траєкторій КА пересуватися не можуть (в деякій мірі, звичайно, яка визначається можливими відхиленнями, що задаються налаштуваннями). З одного боку, це може призводити до хибного розпізнавання близьких за конфігурацією символів, з другого, надає можливість розпізнавати символи, що накладаються без утворення спільних ліній. Що стосується символів зі спільними лініями, то, як відомо, із завданням їхнього розпізнавання іноді не може впоратися навіть людина. Тим не менше, вирішення такого завдання не вважається зовсім нездійсненним із використанням саме запропонованого алгоритму.

Розпізнавання спотворених символів вже не становить великої проблеми для розробленого алгоритму в разі невеликих змін у профіль символу (див. рис. 7). Саме такий тип спотворень, а саме, зсуви та нахили найчастіше зустрічаються у відсканованих документах. Як бачимо, такі типи спотворень успішно долає моделююча програма. Метод конкуруючих клітинних автоматів, запропонований нами, може бути розвинений і на рукописні тексти. Проблема полягає лише у правильно розроблених правилах переходів та їх налаштуванні.

Подальші задачі авторів полягають у використанні запропонованого алгоритму для створення реальної конкурентної системи розпізнавання символів. Для цього потрібно вирішити такі завдання:

- взаємодію з пристроями сканування (стаціонарний сканер, смартфон або фотоапарат);
- сегментацію отриманих зображень, виділення окремих рядків та символів;
- створення клітинно-автоматного поля на базі сегментованого зображення;
- розпізнавання символів тексту в текстових полях та збереження результатів у текстовий файл.

Без сумніву, більшість цих завдань є окремими науково-технічними задачами, однак, запропонований метод розпізнавання має складати основу усього проекту, ос-

скільки він вирішує основну, принципово важливу задачу, – виділення потрібних ознак символів з їх зображення, без якої взагалі неможливе існування систем розпізнавання.

ВИСНОВКИ

Таким чином, поставлені перед авторами завдання виконано повністю. З проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

Розроблено новий метод розпізнавання символів тексту на основі конкуруючих клітинних автоматів та доведено його дієвість та адекватність. Особливістю цього методу є нечутливість до розміру символів, товщини їх ліній та пропорцій фрагментів.

Для реалізації переваг методу розпізнавання запропоновано процес конкуренції клітинних автоматів, який збільшує його ефективність та швидкість.

Запропоновані методи реалізовано у програмному коді та продемонстровано їх ефективність при роботі зі спотвореними символами та символами, що частково перекриваються. Усе це робить перспективними подальші роботи для створення системи розпізнавання рукописних символів. Для цього слід розробити підсистему роботи зі сканувальним обладнанням, принципи сегментації зображення, допоміжні засоби редагування та виведення розпізаного тексту.

ПОДЯКИ

Це дослідження проводиться в рамках науково-дослідної тематики кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича: «Динамічні системи: математичне моделювання та розробка програмних засобів» (номер державної реєстрації: 0110U005858).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: Бинум. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
2. Forsyth D. A. Computer Vision: A Modern Approach / D. A. Forsyth, J. Ponce. – Pearson Education, Inc., 2011. – 792 p.
3. Wolfram S. A New Kind of Science / S. Wolfram. – Wolfram Media, Inc., 2002. – 1197 p.
4. Zhikharevich V. V. Development and research of algorithm of characters recognition of text on the basis of competitive cellular automats // V. V. Zhikharevich, I. V. Myroniv, S. E. Ostapov //

Collection of Scientific papers of IInd Int. Conf. «Cluster Computing – 2013», Lviv, 2013, June 3–5. – P. 149–156.

5. von Neumann J. Theory of Self Reproducing Automata / J. von Neumann. – University of Illinois Press, Champaign, 1966. – 388 p.
6. Жихаревич В. В. Моделирование процессов самоорганизации и эволюции систем методом непрерывных асинхронных клеточных автоматов / В. В. Жихаревич, С. Э. Остапов // Компьютеринг. – 2009. – Т. 8, № 3. – С. 61–71.
7. Жихаревич В. В. Построение и исследование непрерывной клеточно-автоматной модели процессов теплопроводности с фазовыми переходами первого рода / [В. В. Жихаревич, Л. М. Шумиляк, Л. Т. Струтинская и др.] // Компьютерные исследования и моделирование, 2013. – Т. 5, № 2. – С. 141–152.
8. Smith R. A. Real-Time Language Recognition by One-Dimensional Cellular Automata / R.A. Smith // Journal of Computer and System Sciences, 1972 – V.6, No 3. – P. 233–253.
9. Buchholz T. Real-Time Language Recognition by Alternating Cellular Automata [Electronic resource] / T. Buchholz, A. Klein, M. Kutrib // Theoretical Computer Science, 2000. – Vol. 1872. – P. 213–225. – Access mode: <http://cage.ugent.be/~klein/papers/ACA.pdf>
10. Суясов Д. И. Выделение структурных признаков изображений символов на основе клеточных автоматов с метками [Электронный ресурс] / Д. И. Суясов // Информационно-управляющие системы, 2010. – № 4. – С. 39–45. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/vydelenie-strukturnykh-priznakov-izobrazheniy-simvolov-na-osnove-kletochnykh-avtomatov-s-metkami>
11. Белан С. Н. Использование клеточных технологий в системах обработки и распознавания изображений [Электронный ресурс] / С. Н. Белан // Штучний інтелект, 2008. – № 3. – С. 244–253. – Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/6952>.
12. Евсютин О. О. Исследование дискретных ортогональных преобразований, получаемых с помощью динамики клеточных автоматов [Электронный ресурс] / О. О. Евсютин // Компьютерная оптика, 2014. – Т. 38, № 2. – С. 314–321. – Режим доступа: <http://www.computeroptics.smr.ru/KO/PDF/KO38-2/380221.pdf>
13. ImageTextEditor [Electronic resource]. – Access mode: <http://imated.sourceforge.net>
14. Tesseract OCR [Electronic resource]. – Access mode: <http://sourceforge.net/projects/tesseract-ocr/>
15. Kognition [Electronic resource]. – Access mode: <http://sourceforge.net/projects/kognition/>

Стаття надійшла до редакції 27.07.2015.

Після доробки 02.08.2015.

Жихаревич В. В.¹, Миронив И. В.², Остапов С. Э.³

¹Канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича, Черновцы, Украина

²Ассистент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича, Черновцы, Украина

³Д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедры программного обеспечения компьютерных систем Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича, Черновцы, Украина

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ КОНКУРИРУЮЩИХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

В данной работе предложен новый метод распознавания символов текста, основанный на концепции конкурирующих клеточных автоматов. Разработан новый тип клеточных автоматов, траектории движения которых совпадают с формой представляемого символа. Преимуществами такого метода является его нечувствительность к размерам символов, толщине линий и пропорциям их фрагментов, к частичной деформации и наложениям символов без образования общих линий. Для оптимизации эффективности и скорости распознавания предложен процесс конкуренции клеточных автоматов, разработаны его алгоритмы и методы взаимодействия клеток. В качестве реализации предложенных алгоритмов создана моделирующая программа, позволяющая оценить эффективность клеточно-автоматных методов и провести эксперименты по распознаванию символов английского алфавита. Продемонстрировано успешное распознавание частично деформированных, а также перекрывающихся символов без образования общих линий. На основании проведенных исследований сделан вывод о перспективности использования данных методов в системах распознавания рукописного текста.

Для создания реальной системы на основе данных методов необходимо разработать подсистемы взаимодействия со сканирующим оборудованием, принципы сегментации текста, очистки его от шумов, создания клеточно-автоматного поля и вывода результатов распознавания.

Ключевые слова: распознавание текста, распознавание символов, клеточный автомат; вероятностный автомат Мура.

Zhikharevich V. V.¹, Myroniv I. V.², Ostapov S. E.³

¹PhD, Associate Professor, software department, Chernivtsi Yu. Fed'kovych National University, Chernivtsi, Ukraine

²Assistant Professor, software department, Chernivtsi Yu. Fed'kovych National University, Chernivtsi, Ukraine

³Dr. of Science, Professor, Head of the software department, Chernivtsi Yu. Fed'kovych National University, Chernivtsi, Ukraine

CHARACTER RECOGNITION ALGORITHM ON THE BASE OF COMPETITIVE CELLULAR AUTOMATA

This paper presents a new method for character recognition that is based on the concept of competing cellular automata. A new type of cellular automata, which move trajectory coincides with the character shape is represents. The advantage of this method is the insensitivity to the character size, lines thickness and proportion of fragments, distortion and partial overlapping symbols except the formation of joint lines. To optimize the recognition efficiency and speed offered the cellular automata competitive process; developed its algorithms and methods of interaction. To implement the proposed algorithms the modeling program was created. This software allowed to evaluate the effectiveness of cellular automata techniques and conduct experiments on English alphabet character recognition. It was demonstrated the successful recognition partly distorted characters and such imposed without forming joint lines. On the basis of these experiments authors concluded the prospects of using the proposed method in handwriting recognition. To create a real system it's need to develop subsystem of interaction with scanning equipment, text segmentation principles, clearing it from the noise and automatic creation of cellular fields and output the recognition results.

Keywords: text recognition, character recognition, cellular automaton, Moore probabilistic automaton.

REFERENCES

- Shapiro L., Stokman Dzh. Komp'yuternoe zrenie. Moscow, Binom, Laboratorija znanij, 2006, 752 p.
- Forsyth D. A., Ponce J. Computer Vision: A Modern Approach. Pearson Education, Inc., 2011, 792 p.
- Wolfram S. A New Kind of Science. Wolfram Media, Inc., 2002, 1197 p.
- Zhikharevich V. V., Myroniv I. V., Ostapov S. E. Development and research of algorithm of characters recognition of text on the basis of competitive cellular automats, *Collection of Scientific papers of Ind Int. Conf. «Cluster Computing-2013»*. Lviv, 2013, June 3–5, pp. 149–156.
- von Neumann J. Theory of Self Reproducing Automata. University of Illinois Press, Champaign, 1966, 388 p.
- Zhikharevich V. V., Ostapov S. Je. Modelirovanie processov samoorganizacii i jevoljucii sistem metodom nepreryvnyh asinhronnih kletochnyh avtomatov. Komp'yuting, 2009, vol. 8, No. 3, pp. 61–71.
- Zhikharevich V. V., Shumiljak L. M., Strutinskaja L. T. i dr. Postroenie i issledovanie nepreryvnoj kletочно-автоматной модели процессов теплопроводности с fazovimi perehodami pervogo roda, *Komp'yuternye issledovanija i modelirovanie*, 2013, vol. 5, No. 2, pp. 141–152.
- Smith R. A. Real-Time Language Recognition by One-Dimensional Cellular Automata, *J. of Computer and System Sciences*, 1972, Vol. 6, No. 3, pp. 233–253.
- Buchholz T., Klein A., Kutrib M. Real-Time Language Recognition by Alternating Cellular Automata [Electronic resource], *Theoretical Computer Science*, 2000, Vol. 1872, pp. 213–225. Access mode: <http://cage.ugent.be/~klein/papers/ACA.pdf>
- Sujasov D. I. Vydelenie strukturnyh priznakov izobrazhenij simvolov na osnove kletochnyh avtomatov s metkami [Jelektronnyj resurs], *Informacionno-upravljajushhie sistemy*, 2010, No. 4, pp. 39–45. Rezhim dostupa: <http://cyberleninka.ru/article/n/vydelenie-strukturnyh-priznakov-izobrazheniy-simvolov-na-osnove-kletochnyh-avtomatov-s-metkami>
- Belan S. N. Ispol'zovanie kletochnyh tehnologij v sistemah obrabotki i raspoznavanija zobrazhenij [Jelektronnyj resurs], *Shtuchnij intelekt*, 2008, No. 3, pp. 244–253. Rezhim dostupa: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/6952>.
- Evsjutin O. O. Issledovanie diskretnyh ortogonal'nyh preobrazovanij, poluchaemyh s pomoshh'ju dinamiki kletochnyh avtomatov [Jelektronnyj resurs], *Komp'yuternaja optika*, 2014, vol. 38, No. 2, pp. 314–321. Rezhim dostupa: <http://www.computeroptics.smr.ru/KO/PDF/KO38-2/380221.pdf>
- ImageTextEditor [Electronic resource]. Access mode: <http://imaged.sourceforge.net>
- Tesseract OCR [Electronic resource]. Access mode: <http://sourceforge.net/projects/tesseract-ocr/>
- Kognition [Electronic resource]. Access mode: <http://sourceforge.net/projects/kognition/>