

УДК 004.056.55

В. В. ЖИХАРЕВИЧ, С. Е. ОСТАПОВ, І. В. МИРОНІВ*Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Україна***АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ СИМВОЛІВ ТЕКСТУ**

В даній роботі розглянуто основні методи, що використовуються при розпізнаванні символів тексту, зокрема розпізнавання по шаблонах, структурний підхід, ознакові та нейромережеві методи. Проаналізовано переваги і недоліки, притаманні кожному з підходів. На основі такого аналізу зроблено висновок про перспективність залучення клітинно-автоматних методів до задач розпізнавання символів. Запропоновано новий метод конкуруючих клітинних автоматів, який відрізняється простотою, можливістю розпаралелювання обчислень та працездатністю в умовах накладання або спотворення символів, що робить його перспективним для розпізнавання рукописних символів.

Ключові слова: розпізнавання текстових символів, конкуруючий клітинний автомат, імовірнісний автомат Мура, символічне перекриття.

Вступ

Розпізнавання - це здатність живих організмів виявляти в потоці інформації, що надходить від органів чуття, певні об'єкти, закономірності, явища. Воно може здійснюватися на основі зорової, слухової, тактильної інформації. Так, людина без зусиль може впізнати іншу знайому йому людини, глянувши на неї або почувши її голос. Деякі тварини активно використовують нюх для впізнавання інших особин і пошуку їжі.

Можливість розпізнавання спирається на схожість однотипних об'єктів. Незважаючи на те, що всі предмети і ситуації унікальні в строгому сенсі, між деякими з них завжди можна знайти подібності за тією або іншою ознакою. Звідси виникає поняття класифікації - розбиття всієї множини об'єктів на непересічні підмножини - класи, елементи яких мають деякі схожі властивості, що відрізняють їх від елементів інших класів. І, таким чином, завданням розпізнавання є віднесення розглянутих об'єктів або явищ за їхнім описом до потрібних класів. Тобто поняття розпізнавання можна розширити, якщо говорити про виявлення об'єктів в потоці не тільки чуттєвої, а й будь-якої іншої інформації. Наприклад, можна говорити про розпізнавання хвороби по її симптомах у хворого або про розпізнавання соціальних явищ по статистичній інформації.

Розвиток і поширення комп'ютерної обробки інформації привели до виникнення в середині ХХ століття потреб у технологіях, що дозволяють машинам здійснювати розпізнавання в обробленій ними інформації. Розробка методів машинного розпізнавання дозволяє розширити коло виконуваних комп'ютерами завдань і зробити машинну переробку

інформації більш інтелектуальною. Прикладами сфер застосування розпізнавання можуть служити системи розпізнавання тексту, машинний зір, розпізнавання мови, відбитків пальців та інше. Незважаючи на те, що деякі з цих завдань вирішуються людиною на підсвідомому рівні з великою швидкістю, до теперішнього часу ще не створено комп'ютерних програм, які вирішують їх у настільки ж загальному вигляді. Існуючі системи призначені для роботи лише в спеціальних випадках зі строго обмеженою сферою застосування.

Прикладами розпізнавання тексту є: оцифровка зображень тексту (скановані книги, статті, журнали) для подальшої роботи з його цифровим аналогом, обробка анкетних бланків, розпізнавання номерів машин і написів на об'єктах тощо. Завдання розпізнавання тексту залишається актуальним на сьогоднішній день, так як не існує сто відсоткової універсальної системи з розпізнавання тексту [1].

1. Існуючі рішення

Розпізнавання символів різних зображень забезпечує рішення ряду наукових і прикладних задач при ідентифікації об'єктів різної природи. Сучасні методи розпізнавання символів використовуються для вирішення як типових завдань, наприклад розпізнавання тексту, так і спеціалізованих завдань, орієнтованих на розпізнавання символічної інформації, нанесеної на поверхню різних об'єктів. В даний час існує достатньо велика кількість програм, призначених для розпізнавання тексту (наприклад, FineReader, Readiris, ScanSoft OmniPage, CuneiForm та ін.). Кожна з цих програм пропонує свою реалізацію рішення задачі обробки та розпізнавання зобра-

жень. В основному ці програми є комерційними, тому методи вирішення завдань, закладені в них, відомі тільки їх розробникам, і практично неможливо визначити для яких завдань вони підходять і які завдання їм не під силу. Крім того, всі ці програми поставляються у вигляді виконуваних модулів, що робить неможливими аналіз працездатності програм, якості їх роботи і модифікацію використаних математичних моделей і алгоритмів.

У цій статті розглянемо найбільш відомі і поширені методи розв'язання задачі розпізнавання символів. На даний момент виділяють три основні підходи для вирішення сформульованого завдання: структурний, ознаковий і шаблонний. Кожному методу притаманні свої достоїнства і недоліки. Розглянемо докладно кожний метод окремо.

2. Розпізнавання по шаблонах

Програмне забезпечення *OCR (Optical Character Recognition* - оптичне розпізнавання символів) зазвичай працює з великим растровим зображенням сторінки з сканера. При цьому більшість систем має шаблони, створені для різних накреслень. Після декількох розпізнаних слів, програмне забезпечення визначає використовуваний шрифт і шукає відповідні пари тільки для цього шрифту. В деяких випадках програмне забезпечення використовує чисельні значення частин символу (пропорцій), щоб визначити новий шрифт. Це може поліпшити ефективність розпізнавання.

Першим етапом роботи шаблонного методу являється перетворення відсканованого зображення в растрове. Далі виробляється його порівняння з усіма наявними в базі системи шаблонами. Найбільш підходящим шаблоном вважається той, у якого буде найменша кількість точок, відмінних від досліджуваного зображення. Шаблон для кожного класу зазвичай отримують, усереднюючи зображення символів. У цих методів досить висока точність розпізнавання дефектних символів (склеєних або розірваних). Недолік даного методу - неможливість розпізнати шрифт, який відрізняється від закладеного в систему (розміром, нахилом або накресленням). Алгоритм, заснований на шаблонному методі, повинен заздалегідь знати шрифт, який йому представляють для розпізнавання. При існуючому багатстві друкованої продукції в процесі навчання неможливо охопити всі шрифти та їх модифікації. Іншими словами, цей фактор обмежує універсальність таких методів.

Розглянемо методологію розпізнавання на конкретному прикладі шаблонного методу, який був розроблений ще в 60-ті роки минулого століття [4] і застосовувався при створенні читаючого пристрою «РУТА 701», він також використовується і в даний час.

Мірою подібності в даному методі обраний коефіцієнт подібності зображення символу виражений наступною формулою:

$$R_s = \sum_{j=1}^n \left(\ln \frac{P_{js}}{1 - P_{js}} \right) x_j + \sum_{j=1}^n \ln(1 - P_{js}), \quad (1)$$

де R_s - коефіцієнт подібності опізнаного символу до еталонного зображенню S -го класу символів; P_{js} - імовірність появи чорного кольору в j -м елементі еталонного зображення S -го класу (виділяють три інтервали ймовірностей P_{js} : $0,00 \div 0,25$; $0,25 \div 0,75$; $0,75 \div 1,00$); x_j - значення інтенсивності, відповідаючої j -му елементу розпізнаного символу. Зображення символу ототожнюється з еталонним класом, яка дала максимальний коефіцієнт подібності R серед всіх R_s .

Програма розпізнавання TypeReader використовує машинно-залежні алгоритми на основі шаблонного підходу. Даний підхід вимагає створення шаблону для кожного шрифту. Наприклад, програма TypeReader використовує 2100 різних варіантів накреслень символів.

3. Структурний підхід

Система розпізнавання OCR - Care Omni Page Professional використовує алгоритм, заснований на знаходженні загальних специфічних особливостей символів.

Ця система містить 100 різних алгоритмів для ідентифікації 100 різних символів: верхнього і нижнього регістра від «А» до «Z», записи чисел і символів пунктуації. Кожен з цих алгоритмів шукає «Особливості» накреслень типу «острівів», «півостровів», точок, прямих відбитків і дуг. Експертні системи також розглядають горизонтальні і вертикальні проекції відбитки букви і звертають увагу на основні особливості у створених кривих, підсумовуючи в них число темних пікселів.

Структурні методи розпізнавання зберігають інформацію не про по-точкове написання символу, а про його топологію. Іншими словами, еталон містить інформацію про взаємне розміщення окремих складових частин символу [4, 5]. Ясно, що при цьому стає неважливим розмір розпізнаваної букви і навіть шрифт, яким вона надрукована. Але основною проблемою структурних методів розпізнавання залишається ідентифікація знаків, які мають дефекти (наприклад, розрив лінії або злиття сусідніх ліній). Розглянемо методологію розпізнавання на конкретному прикладі [4].

Символ, що розпізнається піддається процедурі скелетизації (зменшення). Процедура скелетизації та

її використання в системах розпізнавання тексту давно вивчається різними авторами, якій посвячена багаточисельна література [5-8].

Кожен отриманий контур скелетного уявлення описується у вигляді послідовного набору особливих точок і так званого ланцюгового коду, що складається з точки прив'язки, числа кодів і масиву напрямків з чергової точки на наступну точку. Особливі точки - це кінцеві точки і точки розгалуження (тріоди), тобто точки, сусіди яких утворюють не менше трьох зв'язкових областей. У прикладі, представлено на рис. 1, образ володіє двома внутрішніми контурами - однією кінцевою точкою і трьома тріодами.

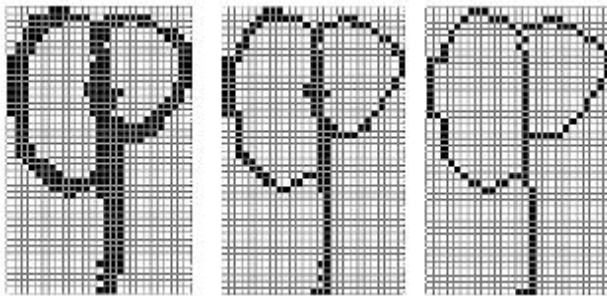


Рис. 1. Скелетизація образу, що складається з одного зовнішнього і двох внутрішніх контурів

В отриманому описі використовується округлення, що виконується видаленням коротких ліній, об'єднанні близьких тріодів, знищенні малих внутрішніх контурів. Для зовнішнього контуру знаходиться його тип або топологічний код. Для цього контур записується у вигляді послідовного набору номерів особливих точок, відповідних обходу за годинниковою стрілкою. Потім за допомогою перенумерування особливих точок і зміни початку контуру робиться спроба ототожнення контуру з одним з основних типів.

4. Ознакові методи

Ознакові методи базуються на тому, що зображенню ставиться у відповідність N -мірний вектор ознак. Розпізнавання полягає в порівнянні його з набором еталонних векторів тієї ж розмірності. Завдання розпізнавання, прийняття рішення про належність образу того чи іншого класу, на підставі аналізу обчислених ознак, має цілий ряд строгих математичних рішень в рамках детерміністичного і імовірнісного підходів [11, 13].

У системах розпізнавання символів найчастіше використовується класифікація, заснована на підрахунку евклідової відстані між вектором ознак розпізнаваного символу і векторами ознак еталонного

опису. Тип і кількість ознак в більшій мірі визначають якість розпізнавання. Формування вектора виробляється під час аналізу попередньо підготовленого зображення. Даний процес називають вийманням ознак. Еталон для кожного класу отримують шляхом аналогічної обробки символів.

Основні переваги ознакових методів - простота реалізації, хороша узагальнююча здатність, хороша стійкість до зміни форми символів, низьке число відмов від розпізнавання, висока швидкодія. Найбільш серйозний недолік цих методів - нестійкість до різних дефектів зображення. Крім того, ознакові методи мають інший серйозний недолік - на етапі вилучення ознак відбувається необоротна втрата частини інформації про символи. Вилучення ознак ведеться незалежно, тому інформація про взаємне розташування елементів символу втрачається.

5. Нейронні мережі в системі розпізнавання

Нейронні мережі - це структура пов'язаних елементів, на яких задані функції перетворення сигналу, а також коефіцієнти, які можуть бути налаштовані на певний характер роботи. Частина елементів структури виділені як вхідні: на них надходять сигнали ззовні, частина - вихідні: вони формують результуючі сигнали. Сигнал, який проходить через нейронну мережу, перетворюється відповідно до формул на елементах мережі, і на виході формується відповідь [2, 3].

Нейронна мережа може служити в системі розпізнавання тексту в якості класифікатора. Цей класифікатор можна навчати, налаштовуючи коефіцієнти на елементах мережі, і таким чином, прагнути до ідеального результату розпізнавання.

Нейронні мережі з успіхом можуть застосовуватися в системах розпізнавання тексту, але існує велика кількість недоліків, які перешкоджають їх широкому застосуванню. Для побудови мережі, що забезпечує розпізнавання кожного символу тексту, необхідно побудувати досить велику мережу елементів, що призводить до великих витрат пам'яті. Ще сильніше витрачаються ресурси системи в процесі розпізнавання, оскільки функції на елементах мережі працюють з числами з плаваючою крапкою. Крім того, нейронні мережі необхідно навчати на всі випадки, однак, це не гарантує точного результату. І нарешті, робота нейронної мережі по розпізнаванню тексту багато в чому залежить від конфігурації мережі і функцій, заданих в елементах, що вимагає великих зусиль для побудови ефективно працюючої мережі.

6. Інші варіанти вирішення задачі розпізнавання тексту

Розпізнавання тексту - це комплекс завдань, які необхідно виконати для отримання кінцевого результату (тексту). Діючі комерційні системи розпізнавання тексту користуються набором алгоритмів, які в сукупності дають досить точний результат.

Одна частина системи розпізнавання може функціонувати на основі нейронної мережі, інша частина може використовувати переваги клітинних автоматів, і нарешті, третя частина системи - накопичувати статистику і на її основі видавати результат.

Комплекс заходів і алгоритмів, безперечно, дозволить добитися більшого результату, ніж окремо взятий принцип або алгоритм.

Клітинні автомати можуть бути частиною подібного комплексу. Вони мають безперечні переваги, такі як можливість паралельного обчислення, легкість і простота правил, на основі яких вони побудовані, можливість реалізації багатьох складних алгоритмів обробки зображень.

Ідея запропонованого нами алгоритму розпізнавання символів за допомогою клітинних автоматів полягає в тому, що символи будь-якої мови відрізняються один від одного характерними положеннями ліній одна відносно одної [9, 10]. Такий підхід дає цілу низку переваг при деформуванні або накладанні символів. Якщо деформація не змінює взаєморозташування ліній, ознака символу не змінюється. Наприклад на Рис. 2 ми бачимо спотворені символи EP, вкладені символи N та O, накладені символи VZ. Людина, на відміну від існуючих систем розпізнавання, легко ідентифікує ці символи.



Рис. 2. Спотворені символи англійського алфавіту

В запропонованому алгоритмі ми використовуємо систему з таких типів клітинних автоматів, які описують відповідні символи, тобто траєкторія руху такого автомата співпадає з певним символом. Крім того, задаються такі правила функціонування та взаємодії клітинних автоматів, які переводять систему до стаціонарного стану, коли на кожному символі накопичуються автомати певного типу. Отже, задачу 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 клітинного автомату. Тоді окремі символи в процесі розпізнавання набуватимуть характерного кольору.

Розглянемо алгоритми функціонування клітинних автоматів у вигляді графів переходів імовірнісного автомата Мура (рис. 3).

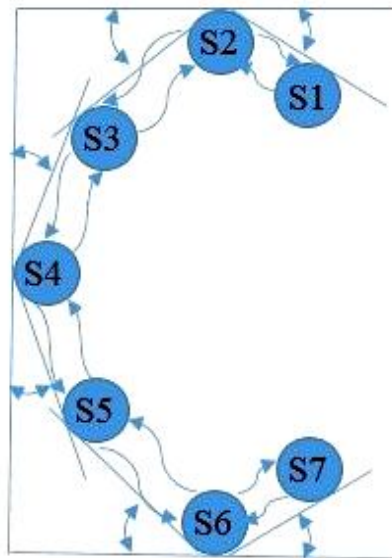


Рис. 3. Приклади графів переходів імовірнісних автоматів Мура для символу "С"

Тут вхідним сигналом (умовою переходу до іншого стану автомата) є або досягнення клітиною кінця лінії символу, або перебування клітинного автомата в точці розгалуження, яке має місце в символах: А, В, Е, F та ін.. При цьому автомат переходить в один з набору рівно-імовірних станів (згідно графу переходів).

Вихідною реакцією клітинного автомата є сигнал про напрямок руху клітини в даний момент часу (зображено стрілками біля станів на графі переходів: → - рух вправо, ← - рух вліво, ↓ - рух вниз, ↑ - рух вгору), та перевірки кута між станами переходу клітинного автомата. При цьому пересуватися клітинні автомати можуть лише в межах клітин, що відповідають клітинам символів.

Цілком очевидно, що клітинний автомат, заданий графом, зображеним на рис. 3., буде описувати символ „С”. Аналогічним чином можна побудувати графи переходів клітинних автоматів, які будуть описувати решту символів.

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 клітинних автоматів, щоб в процесі роботи алгоритму автомати конкретного типу накопичувалися у клітинах тих символів, яким ці типи найбільш відповідають.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що запропонований метод конкуруючих клітинних автоматів є досить перспективним для використання у задачах розпізнавання символів тексту порівняно з існуючими методами, особливо у випадках накладання або спотворення символів. Завдяки таким властивостям він може бути ефективним для розпізнавання рукописних символів, що є предметом подальших досліджень.

Ще однією задачею є реалізація програмно-апаратної системи розпізнавання, зокрема сегментації текстів, взаємодії з апаратними ресурсами, дослідження швидкодії та якісних характеристик системи.

Література

1. Травин, А. *Технологии оптического распознавания текста [Электронный ресурс]* / А. Травин. – Режим доступа: <http://travin.msk.ru/arc/OCR.html>. – 15.01.2016.
2. Хайкин, С. *Нейронные сети. Полный курс [Текст]* / С. Хайкин. – М. : Вильямс, 2006. – 1104с. ISBN5-8459-0890-6.
3. *Теория и приложения искусственных нейронных сетей: конспект лекций [Текст]* / С. А. Терехов. – Снежинск : ВНИИТФ, 1998. – 66 с.
4. Фу, К. *Структурные методы в распознавании образов [Текст]* : пер. с англ. / К. Фу ; под ред. М. А. Айзермана. – М. : Мир, 1977. – 319 с.
5. Котович, Н. В. *Распознавание скелетных образов [Электронный ресурс]* / Н. В. Котович, О. А. Славин. – Режим доступа: <http://ocrai.narod.ru/skeletrecognize.html>. – 15.01.2016.
6. Павлидис, Т. *Алгоритмы машинной графики и обработки изображений [Текст]* : пер. с англ. / Т. Павлидис ; под ред. М. С. Гуревича. – М. : Радио и связь, 1986. – 400 с.
7. Lam, L. *Thinning Methodologies: A Comprehensive Survey [Text]* / L. Lam, S. W. Lee, C. Y. Suen // *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1992. – Vol. 14. – P. 869–885.
8. *Methodologies for Evaluating Thinning Algorithms for Character Recognition [Text]* / R. Plamondon, C. Y. Suen, M. Bourdeau, C. Barriere // *J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, special issue thinning algorithms*. – 1993. – Vol. 7, № 5. – P. 1247–1270.
9. *Handwritten character classification using nearest neighbor in large databases [Text]* / S. J. Smith, M. O. Bourgojn, K. Sims, H. L. Voorhees // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – Sept. 1994. – Vol. 22, № 9. – P. 915–919.
10. Wakahara, T. *Shape machine using LAT and its application to hand-written character recognition* / T. Wakahara // *IEEE Transactions on Pattern Analysis*

and Machine Intelligence. – June 1994. – Vol. 16, № 6. – P. 618–629.

11. Дуда, Р. *Распознавание образов и анализ сцен [Текст]* / Р. Дуда, П. Харт. – М. : Мир, 1976. – 512 с.

12. Фукунага, К. *Введение в статистическую теорию распознавания образов [Текст]* / К. Фукунага. – М. : Наука, 1979. – 376 с.

13. Абрамов, Е. С. *Моделирование систем распознавания изображений (на примере печатных текстов) [Текст]* : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / Е. С. Абрамов. – М., 2006. – 234 с.

References

1. Travyn, A. *Tekhnolohyyu optycheskoho raspoznavaniya teksta [Optical Character Recognition Technology]*. Available at: <http://travin.msk.ru/arc/OCR.html> (accessed 15.01.2016).
2. Khaykyn, S. *Neuronnye sety. Polnyy kurs [Neural networks. Full course]*. Moscow, Vyl'yams Publ., 2006. 1104 p.
3. Terekhov, S. A. *Teoriya y prylozheniya yskusstvennykh neyronnykh setey: konspekt lektsyy [The theory and application of artificial neural networks: the abstract of lectures]*. Snezhynsk, VNYITF Publ., 1998. 66 p.
4. Fu, K. *Strukturnye metody raspoznavaniya obrazov [Structural methods of pattern recognition]*. Moscow, Mir Publ., 1977, 319 p.
5. Kotovych, N. V., Slavin, O. A. *Raspoznavaniye skeletnykh obrazov [Recognition of skeletal images]*. Available at: <http://ocrai.narod.ru/skeletrecognize.html> (accessed 15.01.2016).
6. Pavlydys, T. *Alhorytmy mashynnoy hrafyky y obrabotky yzobrazhenyy [Algorithms of computer graphics and image processing]*. Moscow, Radio and Communications Publ., 1986. 400 p.
7. Lam, L., Lee, S. W., Suen, C. Y. *Thinning Methodologies: A Comprehensive Survey. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992, vol. 14. pp. 869–885.
8. Plamondon, R., Suen, C. Y., Bourdeau, M., Barriere, C. *Methodologies for Evaluating Thinning Algorithms for Character Recognition. J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, special issue thinning algorithms*, 1993, vol. 7, no. 5, pp. 1247–1270.
9. Smith, S. J., Bourgojn, M. O., Sims, K., Voorhees, H. L. *Handwritten character classification using nearest neighbor in large databases. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, vol. 22, no. 9, pp. 915–919.
10. Wakahara, T. *Shape machine using LAT and its application to hand-written character recognition. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, vol. 16, no. 6, pp. 618–629.
11. Duda, R., Khart, P. *Raspoznavaniye obrazov y analiz stsen [Detection and Scene Analysis]*. Moscow, World Publ., 1976. 512 p.

12. Fukunaha, K. *Vvedeniye v statysticheskuyu teoriyu raspoznavaniya obrazov* [Introduction to statistical pattern recognition theory]. Moscow, The science Publ., 1979. 376 p.

13. Abramov, E. S. *Modelyrovaniye system raspoznavaniya yzobrazheniy. Diss. kand. tekhn. nauk* [Simulation of image recognition systems. Diss. cand. tehn. sciences]. Moscow, 2006. 234 p.

Поступила в редакцию 23.03.2016, рассмотрена на редколлегии 14.04.2016

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ ТЕКСТА

В. В. Жихаревич, С. Э. Остапов, И. В. Мыронив

В данной работе рассмотрены основные методы, используемые при распознавании символов текста, в частности, распознавание по шаблонам, структурный подход, признаковые и нейросетевые методы. Проанализированы преимущества и недостатки, присущие каждому из подходов. На основе такого анализа сделан вывод о перспективности привлечения клеточно-автоматных методов к задачам распознавания символов. Предложен новый метод конкурирующих клеточных автоматов, отличающийся простотой, возможностью распараллеливания вычислений и работоспособностью в условиях наложения или искажения символов, что делает его перспективным для распознавания рукописных символов.

Ключевые слова: распознавание текстовых символов, конкурирующий клеточный автомат, вероятностный автомат Мура, символьное перекрытия.

ANALYSIS OF THE TEXT CHARACTER RECOGNITION METHODS

V. V. Zhikharevich, S. E. Ostapov, I. V. Myroniv

This paper deals with the main character recognition methods such as pattern recognition, structural approach, attributive and neural network techniques. The advantages and drawbacks of each method were determined. On the base of the analysis we can conclude about prospects of cellular automata approach in the symbol recognition problems. We can propose a new method of competing cellular automata, characterized by simplicity and serviceability especially in the cases of symbols overlapping or distortion, making it promising for handwriting recognition.

Keywords: recognition of text characters, competing cellular automata, Moore probabilistic automation, characters overlap.

Жихаревич Владимир Викторович – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Черновицкого национального университета им. Ю. Федыковича, Черновцы, Украина, e-mail: vzhikhar@mail.ru.

Остапов Сергей Эдуардович – д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. программного обеспечения компьютерных систем Черновицкого национального университета им. Ю. Федыковича, Черновцы, Украина, e-mail: sergey.ostapov@gmail.com.

Мыронив Иван Васильевич – аспирант каф. программного обеспечения компьютерных систем, Черновицкий национальный университет им. Ю. Федыковича, Черновцы, Украина. e-mail: ivan.myroniv@gmail.com

Zhikharevich Vladimir Victorovich – PhD (physics and mathematics), associate professor of the Department of Computer Systems Software, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: vzhikhar@mail.ru.

Ostapov Sergey Eduardovich – Dr. Sci., Professor, head of the Department of Computer Systems Software, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: sergey.ostapov@gmail.com.

Myroniv Ivan Vasyliovych – PhD student of the Department of Computer System Software, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine. e-mail: ivan.myroniv@gmail.com.