

WIATR Roman¹
 MICIAK Mirosław¹
 BONIECKI Rafał¹

Procesy usprawniające w systemach klasyfikacji i sortowania przesyłek pocztowych

sortowanie przesyłek, uczenie maszynowe, zbiory przybliżone

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę adaptacyjnego uczenia maszynowego do rozpoznawania i przetwarzania obrazów w procesach automatycznego opracowywania przesyłek pocztowych. Ze względu na proces automatycznego rozpoznawania adresu, najistotniejszym segmentem linii do automatycznego opracowywania przesyłek pocztowych jest zintegrowana maszyna czytająca z wideokodowaniem. W maszynie czytającej za pomocą modułu optycznego następuje rozpoznawanie znaków, gdzie w sposób automatyczny dokonuje się odczyt adresu przesyłki. Mała sprawność tego modułu podnosi koszty i zmniejsza przepustowość całego systemu opracowania przesyłek. Zaproponowano metodę bazującą na wydzieleniu cech znaków na podstawie analizy z wykorzystaniem zbiorów przybliżonych. Dla każdej z klas rozpoznawanych obiektów tworzone są reguły decyzyjne oraz rozkłady poszczególnych parametrów, które tworzą wzorcową bazę danych. Natomiast dane z procesu wideokodowania pozwalają na aktualizację bazy wzorców poszczególnych klas znaków.

THE PROCESSES OF MACHINE LEARNING FOR CLASSIFICATION AND MAILSORTING SYSTEMS

Abstract

In this article we presented the method of adaptive learning for image processing and recognition for the postal applications. Due to the automatic postal address recognition, the most important element of the automatic sorting and processing post mails is integrated optical character recognition module with videocoding system. This solution can read the addresses data using optical character recognition module. Low efficiency of this module raises costs and reduces the throughput of the mail sorting system. The proposed method based on the character features derived from the rough sets analysis. For each classes of recognized objects (characters) are created the decision rules and distributions of the parameters that form the database. Whereas data from the videocoding process allow to update the database patterns of particular classes of characters.

1. WSTĘP

Zadaniem systemu logistycznego Poczty Polskiej jest gromadzenie, segregacja, przemieszczanie, oraz doręczanie przesyłek pocztowych od nadawcy do adresata. W procesie logistycznym wiodącą rolę pełnią Węzły Ekspedycyjno - Rozdzielcze (WER) [7], w których opracowywana jest większość przepływających w systemie pocztowym przesyłek. Od szybkości ich opracowywania w węźle zależy w dużej mierze jakość tego procesu, którego miarą jest czas przebiegu przesyłki od nadawcy do adresata. Ze względu na pracochłonność procesu oraz standardy czasowe dostarczania przesyłek najwięcej uwagi wymaga proces sortowania przesyłek listowych. Z tego względu w Poczcie Polskiej od dwudziestu lat trwa proces wyposażania węzłów w linie do automatycznego opracowywania przesyłek listowych. Istotnym segmentem linii jest moduł optycznego rozpoznawania znaków (ang. OCR - Optical Character Recognition), gdzie następuje automatyczny odczyt adresu.

Podstawowym problemem związanym z automatycznym sortowaniem przesyłek pocztowych jest znaczący wpływ sprawności modułu OCR na efektywność pracy systemu. W przypadku dużej ilości przesyłek adresowanych odręcznym pismem, sprawność automatycznego odczytu przy użyciu modułu OCR znacząco spada. Dynamiczny rozwój technik przetwarzania obrazów pozwala na wprowadzenie rozwiązań umożliwiających podniesienie skuteczności automatycznego odczytu adresu.

2. PROCESY OPRACOWYWANIA PRZESYŁEK POCZTOWYCH

W procesie przesyłania przesyłek pocztowych od nadawcy do adresata występują następujące zasadnicze fazy: gromadzenie, segregacja wstępna, przemieszczanie, segregacja, doręczanie. W tym procesie technologicznym istotne znaczenie ma jakość tego procesu, którego miarą jest czas przebiegu przesyłki od nadawcy do adresata [7]. Można w nim wyróżnić dwie zasadnicze fazy: transport przesyłek i ich opracowywanie.

Na podstawie analizy powyższych faz ze względu na czas ich trwania można stwierdzić, że najbardziej czasochłonne są dwa etapy:

¹Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Telekomunikacji i Elektrotechniki, Zakład Inżynierii Oprogramowania; 85-225 Bydgoszcz; ul. Kordeckiego 20. Tel.: + 48 52 340-81-14, 340-81-15, E-mail: [rafal.boniecki, roman.wiatr, mirosław.miciak]@utp.edu.pl

- przewóz przesyłek między węzłami rozdzielczymi,
- opracowywanie przesyłek w węzłach rozdzielczych.

W całym procesie technologicznym wiodącą rolę pełnią Węzły Ekspedycyjno - Rozdzielcze (WER), ponieważ opracowują one większość przepływających w systemie pocztowym przesyłek. W węzłach zbiegają się strumienie przesyłek pochodzących niemalże ze wszystkich kierunków w kraju. W momencie dopływu ładunków do WER są one rejestrowane w systemie teleinformatycznym. Dokonuje się tego na stanowiskach recepcyjnych, przy użyciu skanerów kodów kreskowych, które umieszczone są na opakowaniach zbiorczych, a także na niektórych rodzajach przesyłek. Dzięki temu fizycznemu strumieniowi ładunków przepływającemu w sieci logistycznej, generowane są informacje o tych ładunkach, a także o ich zawartości, co stanowi jednocześnie podstawę dla funkcjonowania systemu śledzenia przesyłek, a także bazę danych dla działań analitycznych, sprawozdawczych i reklamacyjnych [2].

Podstawowe elementy składowe WER to:

- zintegrowany system teleinformatyczny,
- kompleksowy system transportu wewnętrznego,
- wielofunkcyjne maszyny sortownicze do rozdziału listów o rozmiarach standardowych (ekonomicznych, priorytetowych, ekonomicznych i in.), listów niestandardowych (flatów), paczek,
- urządzenia wspomagające proces pocztowy jak system komunikacji i lokalizacji środków transportu, system śledzenia przesyłek.

Ze względu na pracochłonność procesu, terminy czasowe dostarczania przesyłek najwięcej uwagi wymaga proces sortowania przesyłek listowych. Maszyny jako elementy składowe linii do automatycznego opracowywania przesyłek listowych są ustawione jako niezależne segmenty:

- maszyna rozdzielająca i licząca – stemplująca CFC,
- zintegrowana maszyna czytająca z wideokodowaniem IRV,
- maszyna do rozdziału szczegółowego FSM,
- maszyna do rozdziału przesyłek typu flat FSS.

3. ROZDZIAŁ PRZESYŁEK LISTOWYCH W WĘZŁACH EKSPEDYCYJNO – ROZDZIELCZYCH (WER)

Mechanizacja i automatyzacja procesów technologicznych to środki, jakie administracje pocztowe na świecie z powodzeniem zastosowały w celu usprawnienia procesów sortowania, a przede wszystkim dla zapewnienia terminowości przebiegu przesyłek. Poczta Polska proces ten rozpoczęła w 1992 r. Do chwili obecnej automatyczne rozdzielnie listowe pracują w następujących węzłach: Warszawa, Katowice, Poznań, Kraków oraz Łódź. Wszystkie te węzły są wyposażone w maszyny dostarczane przez niemiecką firmę Siemens Electrocom z wyjątkiem węzła w Warszawie, który wyposażono w linię do rozdziału przesyłek listowych firmy japońskiej Nippon Electric Company (NEC).

Proces opracowywania listów w WER-ach można podzielić na dwa etapy. W pierwszym następuje wstępna selekcja na przesyłki standardowe nadające się do sortowania maszynowego oraz przesyłki o nietypowych kształtach i rozmiarach przeznaczonych do opracowania ręcznego. Typowe przesyłki stemplowane są w maszynie CFC, gdzie na podstawie odbłasku farby fluorescencyjnej i perforacji znaczka naklejonego na liście sprawdzane jest czy opłata została uiszczona. Umieszczenie odcisku datownika kończy pierwszy etap.

W dalszej kolejności w maszynie czytającej z wideokodowaniem IRV, system za pomocą modułu optycznego rozpoznawania znaków (ang. OCR - Optical Character Recognition) automatycznie odczytuje adres. Rząd poziomych, pomarańczowych kresek w dolnej części listu lub pocztówki to efekt odczytania kodu pocztowego i nazwy miejscowości. Nanosi je, po elektronicznym przetworzeniu, drukarka natryskowa.

Nadrukowany kod kreskowy posłuży następnym modułom LSM (ang. Letter Sorting Machine) i FSM (ang. Flat Sorting Machine) do końcowego (szczełogowego) rozdzielenia przesyłek. Posortują one i pogrupują korespondencję do wybranych obszarów, np. rejonów doręczeń i pocztowych urzędów oddawczych.

W przypadku kiedy OCR nie może sobie poradzić z odczytaniem danych adresowych, obraz przesyłki trafia do sekcji VCD (ang. Video Coding Desk). Jest to zespół stanowisk, wspomagających odczyt automatyczny, gdzie na ekranach monitorów pojawiają się strony adresowe przesyłek pocztowych. Operatorzy wpisują kody pocztowe, a w przypadku rozdziału przesyłek dla niektórych miast - nazwę ulicy i numer. Całość tworzy tzw. wideokodowanie (ang. Video Coding System) [5].

Podstawowe problemy związane z automatycznym sortowaniem przesyłek pocztowych to: znaczący wpływ sprawności modułu OCR na efektywność pracy systemu. W przypadku dużej ilości przesyłek adresowanych odręcznym piśmie, sprawność automatycznego odczytu przy użyciu modułu OCR znacząco spada.

4. PARAMETRY TECHNICZNO – EKSPLOATACYJNE MASZYN DO AUTOMATYCZNEGO OPRACOWYWANIA PRZESYŁEK LISTOWYCH

Maszyny do automatycznego opracowywania są ustawione jako niezależne moduły. Parametry technologiczne poszczególnych modułów są następujące (parametry podano przykładowo dla maszyn firmy NEC, dla maszyn firmy Siemens zasadniczo się nie różnią):

- a) maszyna rozdziału wstępnego (IRV):
 - prędkość przetwarzania – 40 000 szt./h (max 45 000 szt./h),

- poziom odczytu adresu maszynowego – 80% lub więcej,
 - współczynnik błędu odczytu adresu maszynowego – 0,5 % lub mniej,
 - poziom odczytu adresu odręcznego, gdy kod PNA (Pocztowy Numer Adresowy) jest umieszczony w kratkach kodowych – 83% lub więcej,
 - poziom odczytu adresu odręcznego bez kodu PNA w kratkach kodowych – 40 % lub więcej
 - współczynnik błędu adresu odręcznego – 1 % lub mniej,
 - współczynnik odczytu rozszerzonego kodu kreskowego – 98,3 % lub więcej,
 - pojemność pamięci zeskanowanych obrazów przesyłek – 240 tys. obrazów przesyłek.
- b) maszyny do rozdziału szczegółowego (FSM):
- prędkość przetwarzania – 40 000 szt./h (max 45 000 szt./h),
 - programy sortujące do - 100,
 - liczba zasobników - 360 (8 drukarek etykiet),
 - wskaźnik odczytu kodu - 98,3 % dla kodu 5-cyfr,
 - wskaźnik błędnego sortowania – 0,5% lub mniej,
 - wskaźnik błędów odrzutów – 0,2%

5. PARAMETRY ADRESOWANIA PRZESYŁEK ZE WZGLĘDU NA SKUTECZNOŚĆ ICH ROZPOZNAWANIA

Wymagania dotyczące przesyłki listowej, bloku adresowego oraz dostosowanie znaczków pocztowych zostały ściśle sprecyzowane i uregulowane w obowiązujących przepisach pocztowych. Przepisowy format przesyłki listowej dostosowanej do automatycznego rozdziału to:

- długość: 138 - 240 mm,
- wysokość: 88 - 165 mm,
- grubość: 0,16 - 5 mm,
- masa maksymalna: 50 g.

Wymagania bloku adresowego są następujące:

- pomiędzy poszczególnymi wierszami bloku adresowego nie należy pozostawiać odstępów,
- początki wierszy w bloku adresowym winny leżeć w jednej linii,
- nie należy używać podkreśleń,
- PNA i nazwę miejscowości należy umieścić w ostatnim wierszu,
- PNA należy wpisywać we właściwe, wstępnie nadrukowane okienka,
- wiersze adresu nie mogą przebiegać ukośnie,
- w przypadku stosowania kopert z okienkami, adres musi być w całości widoczny w okienku.

Ponadto podane są zalecenia, na które należy zwrócić uwagę podczas adresowania przesyłek: adres należy pisać czytelnym pismem, kod i miejscowość drukowanymi, prostymi, oddzielnymi literami, nie należy podkreślać adresu lub jego części, pierwsze litery poszczególnych linii adresu muszą tworzyć jedną kolumnę, poniżej kodu i nazwy miejscowości nie należy umieszczać żadnych napisów, rysunków czy naklejek, powinno się stosować niebieski lub czarny tusz, nie należy pisać adresu kolorem czerwonym (i jego pochodnymi), gdyż maszyny nie odczytają adresu w tym kolorze, należy unikać drukarek igłowych (nanoszone przez nie znaki są słabo czytelne dla maszyny sortującej korespondencję), wysokość czcionki użytej przy adresowaniu nie powinna być mniejsza niż 2,5 mm i nie większa niż 4,7 mm, logo, napisy reklamowe, znaki drukarskie, itp. powinny być umieszczone z lewej strony bloku adresowego.

Kod pocztowy (pocztowy numer adresowy) jest to ciąg cyfr (rzadziej liter i cyfr) dodawany do adresu, mający ułatwiać sortowanie przesyłek. Format i zasady umieszczania kodów pocztowych są różne w różnych krajach. W Polsce system kodów pocztowych (Pocztowe Numery Adresowe - PNA) wprowadzono 1 stycznia 1973 na mocy rozporządzenia nr 89 Ministerstwa Łączności z 17 listopada 1972. Kody pocztowe mają format dd-ddd, gdzie d oznacza cyfrę, i umieszcza się je z lewej strony nazwy miejscowości, w której znajduje się pocztowy urząd oddawczy.

Automatyczne rozpoznawanie kodów pocztowych jest kluczowym elementem systemu sortowania, bowiem od niego zależy skuteczność całego systemu. Obecna technologia rozpoznawania kodów opiera się na systemach ICR, które jest odmianą systemów OCR wykorzystywanych w procesie przetwarzania danych z dokumentów typu formularze. Metody rozpoznawania znaku oparte są zwykle na technologiach sieci neuronowych przy wsparciu tablic walidacji, które podwyższają poziom rozpoznania pola. W spotykanych rozwiązaniach skuteczność rozpoznawania kodów pocztowych wynosi 40 - 90% [1,3,4,6,8,9]. Główne problemy związane z rozpoznawaniem kodów pocztowych to dobór algorytmów lokalizacji pola adresowego, stosowanie eliminacji zniekształceń etapu akwizycji np. filtracji, proces segmentacji znaków, wybór metody rozpoznawania kodu pocztowego, stosowanie tablic walidacyjnych.

6. KLASYFIKACJA STANU PRZESYŁKI ZE WZGLĘDU NA PROCES ODCZYTU ADRESU

W zintegrowanej maszynie czytającej IRV z modułem OCR i z wideokodowaniem odbywa się automatycznie czytanie adresu przesyłki listowej. Wyróżnia się dwa stany przeczytania adresu przesyłki listowej:

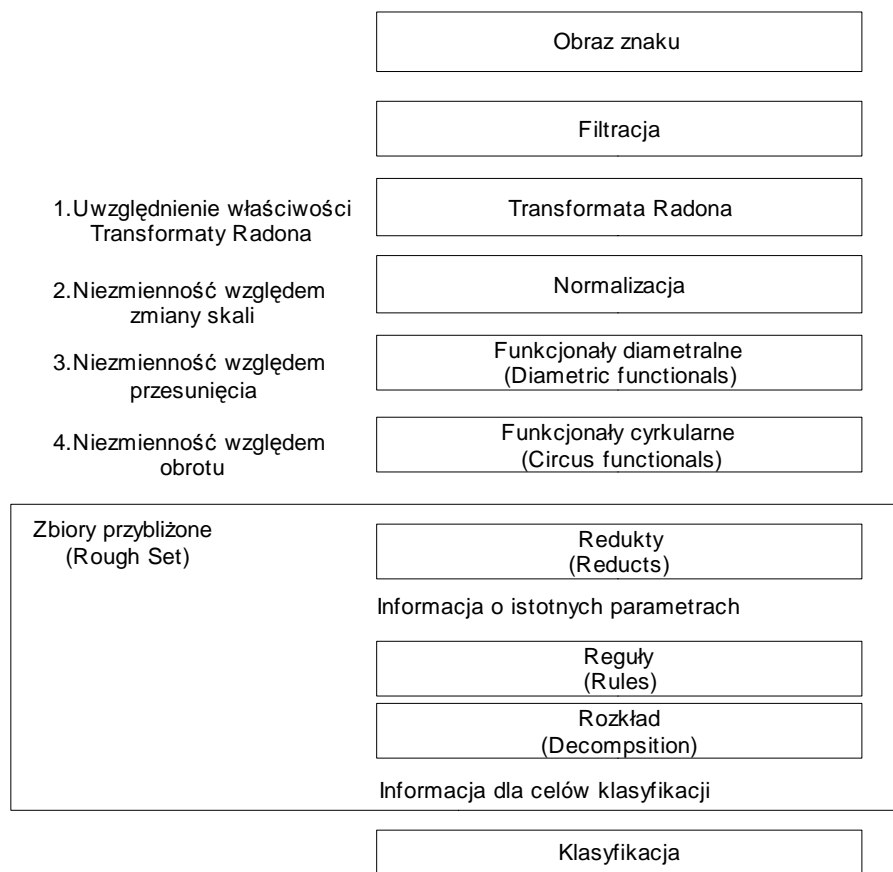
- w przypadku automatycznego odczytania adresu za pomocą modułu OCR, drukarka natryskowa po elektronicznym przetworzeniu nadrukowuje pasek kodu kreskowego w postaci rzędu poziomych, pomarańczowych kresek w dolnej

części listu lub pocztówki. Nadrukowany kod kreskowy posłuży następnym modułom LSM i FSM do końcowego (szczegółowego) rozdzielenia przesyłek,

- jeżeli automatyczny odczyt adresu przesyłki przez moduł OCR nie powiedzie się, wówczas jest ona kodowana ręcznie na stanowisku wideokodowania.

Z przedstawionej klasyfikacji stanu przesyłki wynika, że moduł OCR jest kluczowym elementem procesu i jest odpowiedzialny za rozpoznawanie danych z pola adresowego. Niska sprawność tego modułu podnosi koszty i zmniejsza przepustowość całego systemu opracowania przesyłek.

Dynamiczny rozwój technik przetwarzania obrazów pozwala na wprowadzenie rozwiązań umożliwiających podniesienie skuteczności automatycznego systemu pocztowego w związku z tym zaproponowano zastosowanie modułu rozpoznającego znaki uwzględniającego aktualizację bazy danych dla poszczególnych klas obiektów przez wybór cech z wykorzystaniem zbiorów przybliżonych (ang. rough set). Cechy obiektu (np. obrazu znaku) mogą być uzyskiwane z wykorzystaniem transformaty Trace [10,11] a następnie z wykorzystaniem zbiorów przybliżonych przeprowadza się analizę wszystkich znanych przypadków (znaków) występujących w obrębie danej klasy, które pozwolą wyszczególnić tylko informacje niezbędne do dyskryminacji znaków. Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy zaproponowanej metody.



Rys.1. Schemat zaproponowanej metody (opracowanie własne)

Zaproponowana metoda bazuje na wydzieleniu cech znaku na podstawie analizy z wykorzystaniem zbiorów przybliżonych. Podstawowe działania na zbiorach przybliżonych są takie same, jak działania na zbiorach klasycznych, lecz, dodatkowo wprowadza się kilka nowych pojęć, które nie są używane w przypadku zbiorów klasycznych, mianowicie:

Relacja nierozróżnialności:

Dla każdego podzbioru cech $B \subseteq A$

$$IND(B) = \{(x, y) \in U^2 : \forall_{a \in B} a(x) = a(y)\} \quad (1)$$

Relację nierozróżnialności elementów x i y zapisujemy w postaci $xIND(B)y$ (x jest w relacji nierozróżnialności z y w zbiorze cech B), oznacza ona, że elementy x oraz y mają te same wartości podzbioru cech B , innymi słowy ze względu na zbiór cech B , elementów x i y nie da się między sobą rozróżnić.

Dolne przybliżenie zbioru X w przestrzeni aproksymacji (S):

$$\underline{S}(X) = \{x \in U : [x]_{IND(B)} \subseteq X\} \quad (2)$$

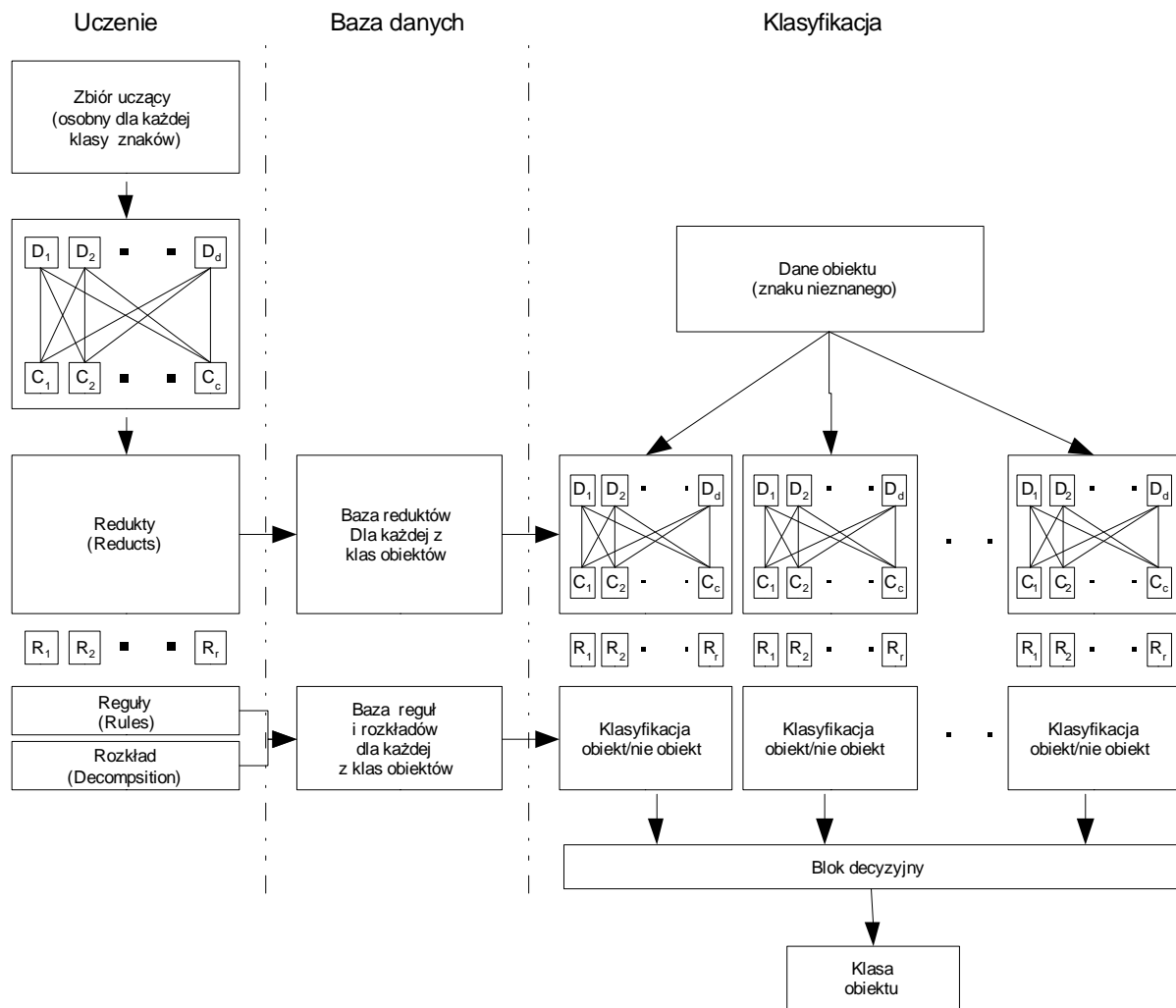
jest to największy podzbiór w S zawarty w X , Górne przybliżenie zbioru X w przestrzeni aproksymacji (S):

$$\overline{S}(X) = \{x \in U : [x]_{IND(B)} \cap X \neq \emptyset\} \quad (3)$$

Brzeg zbioru przybliżonego:

$$Bnd(X) = \overline{S}(X) - \underline{S}(X) \quad (4)$$

Powstaje zatem możliwość zdefiniowania zbioru w oparciu o jego przybliżenie dolne i górne. Dla każdej z klas rozpoznawanych obiektów tworzone są reguły decyzyjne oraz rozkłady poszczególnych parametrów, które tworzą wzorcową bazę danych. Na etapie rozpoznawania cechy nieznanego obiektu porównywane są w grupach wszystkich klas. Największa liczba wystąpień wskazuje na klasę badanego obiektu (znaku). Szczegółowy schemat metody z wykorzystaniem analizy za pomocą zbiorów przybliżonych przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Schemat zapropionowanej metody (opracowanie własne).

W przypadku zastosowań pocztowych zestawy uczące poszczególnych klas uzupełniane są przez wzorce z wideokodowania i ponowne wydzielenie zbiorów reduktów i rozkładów dla poszczególnych klas obiektów. Zapropionowana metoda bazuje na wydzieleniu cech znaku na podstawie analizy z wykorzystaniem zbiorów przybliżonych, dzięki temu pojawia się możliwość zdefiniowania zbioru cech w oparciu o przybliżenie dolne i górne. Dla każdej z klas rozpoznawanych obiektów tworzone są reguły decyzyjne oraz rozkłady poszczególnych parametrów, które tworzą wzorcową bazę danych. Na etapie rozpoznawania cechy nieznanego obiektu porównywane są w grupach wszystkich klas. Zastosowanie zbiorów przybliżonych pozwala na poszukiwanie ukrytych zależności pomiędzy danymi i podejmowanie decyzji w sytuacji istnienia niepełnych lub częściowo sprzecznych danych.

7. WNIOSKI

W referacie przedstawiono proces uczenia maszynowego do rozpoznawania i przetwarzania obrazów podczas automatycznego opracowywania przesyłek pocztowych. Przesyłka pocztowa jest to ładunek jednostkowy opatrzony adresem, przyjęty przez operatora pocztowego w celu przemieszczenia i doręczenia adresatowi. W całym procesie pocztowym przemieszczania przesyłek od nadawcy do adresata wiodącą rolę pełnią Węzły Ekspedycyjno - Rozdzielcze (WER), gdzie zbiegają się strumienie przesyłek pochodzących niemalże ze wszystkich kierunków w kraju. W momencie dopływu ładunków do WER są one rejestrowane w systemie teleinformatycznym. Dokonuje się tego na stanowiskach recepcyjnych, przy użyciu skanerów kodów kreskowych. Ze względu na pracochłonność procesu, standardy czasowe dostarczania przesyłek najwięcej uwagi wymaga proces sortowania przesyłek listowych. Po ich przyjęciu do WER odbywa się proces sortowania przesyłek na liniach do automatycznego rozdziału na poszczególne kierunki adresowe.

Linie do automatycznego rozdziału zestawione są z maszyn ustawione jako niezależne segmenty. Ze względu na proces automatycznego rozpoznawania adresu, najistotniejszy segmentem linii jest zintegrowana maszyna czytająca z wideokodowaniem IRV. W maszynie czytającej z wideokodowaniem IRV, system za pomocą modułu OCR (ang. OCR - Optical Character Recognition) automatycznie odczytuje adres. W przypadku, kiedy OCR nie może sobie poradzić z odczytaniem danych adresowych, obraz przesyłki trafia do sekcji VCD (ang. Video Coding Desk). Jest to zespół stanowisk, wspomagających odczyt automatyczny, gdzie na ekranach monitorów pojawiają się strony adresowe przesyłek pocztowych. Z przedstawionej klasyfikacji stanu przesyłki wynika, że moduł OCR jest kluczowym elementem procesu i jest odpowiedzialny za rozpoznawanie danych z pola adresowego. Niska sprawność tego modułu podnosi koszty i zmniejsza przepustowość całego systemu opracowania przesyłek.

Zaproponowana metoda bazuje na wydzieleniu cech znaku z wykorzystaniem transformaty Trace [10,11] a następnie z wykorzystaniem zbiorów przybliżonych przeprowadza się analizę wszystkich znanych znaków występujących w obrębie danej klasy, które pozwolą wyszczególnić tylko informacje niezbędne do dyskryminacji znaków. Dla każdej z klas rozpoznawanych obiektów tworzone są reguły decyzyjne oraz rozkłady poszczególnych parametrów, które tworzą wzorcową bazę danych. Na etapie rozpoznawania cechy nieznanego obiektu porównywane są w grupach wszystkich klas.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bouchaffra D., Govindaraju V., Srihari S.: *Recognition of strings using nonstationary Markovian models: an application in ZIP code recognition*. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2, s. 2174-2183, 1999.
- [2] Chaberek M.: *Makro- i mikroekonomiczne aspekty wsparcia logistycznego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 2002.
- [3] Filatov A., Volgunin A.: *Handwritten ZIP code recognition*. ICDAR 4, s. 766-770, 1997.
- [4] Forella G.: *Word perfect, Postal Technology*. UKIP Media & Events Ltd. UK 2000.
- [5] Ishikura T., Adachi T.: *Video Coding technology for postal automation system: Special issue on postal automation technology*. NEC research and development 40, Tokyo, s. 176-180, 1999.
- [6] Maszewski M., Miciak M.: *Rozpoznawanie danych teleadresowych z wykorzystaniem współczynników Fouriera i zespolonej dyskretnej transformacji falkowej opartej na projekcji*, Techniki Przetwarzania Obrazu. s. 381-386, 2006.
- [7] Wiatr R., Rawłuszko J.: *On the problems of logistics network project in the Polish Post*, Materiały VI – Th International Scientific Conference POSTPOINT` 2005`, Żylna (Słowacja), 28-30.09, 2005.
- [8] Miciak M., Marchewka M.: *The recognition of postal code using Fourier transform method*, XII Konferencja Sieci i Systemy Informatyczne, Łódź, s. 461-468, 2004.
- [9] Mitsu Y., Tatsuro S., Isao Y.: *A recognition system for Japanese Zip code using Arc features*, IEICE Transactions on Information and Systems. s. 810-816, 1994.
- [10] Bok-Suk Shin.: *Effective feature extraction by trace transform for insect footprint recognition*, Bio-Inspired Computing: Theories and Applications 2008, s. 97-102.
- [11] Petrou M., Piroddi R., Talebpour A.: *Texture recognition from sparsely and irregularly sampled data*, Computer Vision and Image Understanding archive, 2006, s. 95-104.