

mgr inż. Jagoda Lazarek

Promotor: prof. dr hab. inż. Piotr Szczepaniak

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Wykrywanie obiektów na obrazach cyfrowych z zastosowaniem analizy lokalnej i reprezentacji grafowych

Teza: Wykrywanie obiektów na obrazach cyfrowych może być zrealizowane przy pomocy nowych metod łączących w sobie algorytmy analizy lokalnej oraz grafowe reprezentacje obrazów lub ich wybranych obszarów, co umożliwia analizę oznaczonych obiektów i ich wzajemnych relacji, w tym hierarchicznych, a także semantyczną interpretację zawartości obrazu.

W rozprawie wyróżniono następujące cele szczegółowe:

1. Opracowanie autorskiej metody wykrywania krawędzi – zmieniającej reprezentację obrazu z niskopoziomowej (piksele) na reprezentację wyższego poziomu (segmenty krawędzi).
2. Opracowanie metody będącej ciągiem przetwarzania obrazu w reprezentacji wyższego poziomu, za pomocą segmentów linii, z zastosowaniem gramatyk grafowych.
3. Opracowanie metody będącej ciągiem przetwarzania obrazu w reprezentacji wyższego poziomu, za pomocą segmentów krawędzi, z zastosowaniem hierarchicznych gramatyk grafowych.
4. Zastosowanie metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wyższego poziomu (za pomocą segmentów linii) z zastosowaniem gramatyk grafowych do rozpoznawania zmian spikularnych na obrazach mammograficznych.
5. Zastosowanie hierarchicznej metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wyższego poziomu (za pomocą segmentów krawędzi) z zastosowaniem hierarchicznego zestawu gramatyk grafowych do rozpoznawania znaków drogowych na obrazach cyfrowych.

Ad. 4 i 5: W celu przedstawienia działania opracowanych autorsko metod wybrano dwie klasy problemów różniących się m.in. rodzajami zakłóceń i występujących artefaktów. Obrazy mammograficzne uzyskiwane w wyniku obrazowania RTG, są obrazami w skali szarości, trudnymi do analizy, w których ze względu na silne rozmycie linie widoczne są jako grzbiety (ang. ridges). Poszukiwane zmiany spikularne są różne dla każdego przypadku, nie ma dwóch takich samych układów. Nie opisano dotychczas w literaturze skutecznej metody automatycznego rozpoznawania tych zmian, żaden z opracowanych dotąd systemów CAD nie osiągnął zadowalającej skuteczności. Natomiast obrazy zawierające znaki drogowe rejestrowane są przez aparat cyfrowy, są obrazami kolorowymi, a poszukiwane na nich obiekty charakteryzują się dobrze zdefiniowanymi kolorami, kształtami i zależnościami hierarchicznymi między sobą.

Aby zrealizować cele szczegółowe 1-5, wymienione powyżej, koniecznym okazało się m.in.:

1. opracowanie autorskiej metody wykrywania krawędzi;
2. wprowadzenie modyfikacji gramatyk grafowych klasy ETPL(k), definiujących nowe klasy gramatyk grafowych – cETPL(k) i iETPL(k);
3. opracowanie metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych;
4. opracowanie hierarchicznej metody rozpoznawania obiektów na obrazie w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem hierarchicznych gramatyk grafowych.

Rozprawa została podzielona na siedem rozdziałów. W rozdziale 1 (str. 2) sformułowano problem badawczy i cele szczegółowe rozprawy, uzasadniono motywację podjęcia badań oraz wskazano przyjęte metody badawcze. Rozdział 2 (str. 9) ma charakter teoretyczny, opisano w nim pojęcia podstawowe oraz zagadnienia z zakresu przetwarzania i analizy obrazów, które są stosowane w rozprawie. W rozdziale 3 (str. 38) opisano metody wykrywania składowych wyższego poziomu na obrazach cyfrowych, stosowane do zmiany reprezentacji obrazu z pikselowej (niskopoziomowej) na wysokopoziomową. W pierwszej części tego rozdziału opisano metodę znaną z literatury, natomiast w drugiej przedstawiono metodę autorską. Autorska metoda wykrywania segmentów krawędzi obszarów na obrazach cyfrowych (rozdział 3.2, str. 39) realizuje pierwszy cel szczegółowy wskazany w rozdziale 1.3 (str. 5) – umożliwia zmianę reprezentacji obrazu z niskopoziomowej na wysokopoziomową. W rozdziale 4 (str. 52) opisano autorskie modyfikacje gramatyk grafowych klasy ETPL(k), definiujące nowe klasy gramatyk grafowych cETPL(k) (ang. conditional ETPL(k)) oraz iETPL(k) (ang. indexed ETPL(k)). Wprowadzono nowe, warunkowe transformacje osadzenia typu I i II. Bez tych modyfikacji nie byłoby możliwe rozpoznawanie zmian spikularnych na obrazach mammograficznych (z zastosowaniem gramatyk grafowych klasy ETPL(k), dla przyjętej reprezentacji grafowej zmian) za pomocą metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych (opisanej w rozdziale 5). W rozdziale 5 (str. 56) opisano autorską metodę semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych i jej zastosowanie do wykrywania zmian spikularnych na obrazach mammograficznych. Zrealizowano tym samym drugi i czwarty cel szczegółowy, wskazane w rozdziale 1.3 (str. 5). W rozdziale 6 (str. 101) opisano autorską hierarchiczną metodę rozpoznawania obiektów na obrazie w reprezentacji wysokopoziomowej, umożliwiającą analizę obrazów w reprezentacji wyższego poziomu z zastosowaniem hierarchicznego zestawu gramatyk grafowych. Działanie metody przedstawiono na przykładzie rozpoznawania wybranej grupy znaków drogowych (znaków ostrzegawczych). Zrealizowano tym samym trzeci i piąty cel szczegółowy, wskazane w rozdziale 1.3 (str. 5). Wybór zastosowań opracowanych metod podyktowany był ich różnorodnością pod względem: sposobu uzyskania analizowanego obrazu (obrazowanie RTG lub fotografia cyfrowa) i jego rodzaju (obraz w skali szarości lub kolorowy), występujących zakłóceń, zmienności rozpoznawanych obiektów (zmiany spikularne – niepowtarzalne, znaki drogowe – stałe, dobrze zdefiniowane), złożoności i zależności hierarchicznych między składowymi obiektów. Ostatni, rozdział 7 (str. 130) stanowi podsumowanie rozprawy, zreasumowano w nim wyniki przeprowadzonych badań, sformułowano wnioski oraz wskazano możliwe kierunki rozwoju badań. Rozprawę kończą bibliografia oraz spis rysunków.

W rozprawie zaprezentowano zbiór metod umożliwiających wykrywanie obiektów na obrazach cyfrowych z zastosowaniem analizy lokalnej i reprezentacji grafowych. W szczególności opracowano:

1. Modyfikację gramatyk grafowych klasy ETPL(k), definiującą nową klasę gramatyk grafowych – cETPL(k) (ang. conditional ETPL(k)), opisaną w rozdziale 4.1 (str. 52). Wprowadzono warunkowe transformacje osadzenia typu I i II umożliwiające nałożenie dodatkowych warunków określających możliwość zastosowania określonej produkcji w procesie wyvodu gramatycznego. Bez tych modyfikacji nie byłoby możliwe rozpoznawanie zmian spikularnych

na obrazach mammograficznych (z zastosowaniem gramatyk grafowych klasy ETPL(k), dla przyjętej reprezentacji grafowej zmian) za pomocą metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych (opisanej w rozdziale 5). Ponadto wprowadzona modyfikacja ma wartość ogólną.

2. Modyfikację gramatyk grafowych klasy ETPL(k), definiującą nową klasę gramatyk grafowych – iETPL(k) (ang. indexed ETPL(k)), opisaną w rozdziale 4.2 (str. 54). Wprowadzono indeksowanie etykiet wierzchołkowych w transformacjach osadzenia, umożliwiające jednoznaczny wywód gramatyczny w sytuacji, w której w grafie będącym prawą stroną produkcji występują wierzchołki o takich samych etykietach. Wprowadzona modyfikacja ma wartość ogólną.
3. Metodę semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych, którą opisano w rozdziale 5 (str. 56).
4. Hierarchiczną metodę rozpoznawania obiektów na obrazie w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem hierarchicznych gramatyk grafowych, którą opisano w rozdziale 6 (str. 101).
5. Sposób dopasowywania obszaru zainteresowania ROI (umożliwiającego lokalną analizę obrazu) do obiektów na obrazie znajdujących się w jego obszarze, który opisano w rozdziale 5.2.4 (str. 65).
6. Autorską metodę wykrywania krawędzi – zmieniającą reprezentację obrazu z niskopoziomowej (piksele) na reprezentację wyższego poziomu (segmenty krawędzi), opisaną w rozdziale 3.2 (str. 39).
7. Gramatykę grafową dla rozpoznawania zmian spikularnych, którą opisano w rozdziale 5.2.7 (str. 70).
8. Gramatykę grafową dla rozpoznawania znaków drogowych, którą opisano w rozdziałach 6.2.5 (str. 110), 6.2.9 (str. 117) i 6.2.12 (str. 122).
9. Implementację parsera gramatyk grafowych klasy ETPL(k), cETPL(k) i iETPL(k) w języku Java.
10. Implementację metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych w języku Java i MATLAB.
11. Implementację hierarchicznej metody rozpoznawania obiektów na obrazie w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem hierarchicznych gramatyk grafowych w języku Java i MATLAB.
12. Implementację autorskiej metody wykrywania krawędzi w języku Java.
13. Zestaw testowy składający się z 125 próbek, opracowany na podstawie bazy DDSM – stosowany do testowania poprawności metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych do wykrywania zmian spikularnych na obrazach mammograficznych.

Wykazano, że wykrywanie obiektów na obrazach cyfrowych może być zrealizowane przy pomocy nowych metod łączących w sobie algorytmy analizy lokalnej, zależności hierarchiczne oraz grafowe reprezentacje obrazów lub ich wybranych obszarów. Możliwa jest, z ich zastosowaniem, analiza obiektów i ich wzajemnych relacji, a także semantyczna interpretacja zawartości obrazu. Przeprowadzono eksperymenty potwierdzające użyteczność metod w zastosowaniu do wybranych klas problemów o znaczeniu praktycznym – rozpoznawanie zmian spikularnych na obrazach mammograficznych oraz rozpoznawanie wybranych znaków drogowych na obrazach cyfrowych. Wybrane klasy problemów różnią się rodzajami zakłóceń i występujących artefaktów. Obrazy mammograficzne uzyskiwane w wyniku obrazowania RTG, są obrazami w skali szarości, trudnymi do analizy, w których ze względu na silne rozmycie linie widoczne są jako grzbiety (ang. ridges). Poszukiwane zmiany spikularne są różne dla każdego przypadku, nie ma dwóch takich samych

układów. Natomiast obrazy zawierające znaki drogowe rejestrowane są przez aparat cyfrowy, są obrazami kolorowymi, a poszukiwane na nich obiekty charakteryzują się dobrze zdefiniowanymi kolorami, kształtami i zależnościami hierarchicznymi między sobą.

Założeniem rozprawy było opracowanie i przedstawienie autorskich metod wykrywania obiektów na obrazach cyfrowych w celu dokonania semantycznego opisu zawartości obrazu. Sformułowane, w rozdziale 1.3 (str. 5), cele szczegółowe zostały osiągnięte, a teza potwierdzona. Pokazano, że wykrywanie obiektów na obrazach cyfrowych może być zrealizowane przy pomocy nowych metod łączących w sobie algorytmy analizy lokalnej oraz grafowe reprezentacje obrazów lub ich wybranych obszarów. Możliwa jest analiza obrazów w reprezentacjach wysokopoziomowych z zastosowaniem gramatyk grafowych klasy ETPL(k), cETPL(k), iETPL(k) oraz hierarchicznych gramatyk grafowych klasy ETPL(k), umożliwiającą semantyczną interpretację zawartości obrazu.

W rozprawie zwrócono uwagę na dobór odpowiedniej reprezentacji obrazu w zależności od rozważanego problemu. Zmiana reprezentacji obrazu z pikselowej na wysokopoziomową (za pomocą np. segmentów linii, krawędzi) umożliwia znaczną redukcję liczby danych poddawanych analizie, nie powodując jednocześnie utraty informacji. Wykazano, że gramatyki grafowe klasy ETPL(k) oraz ich modyfikacje, mogą być stosowane do analizy obrazów w reprezentacjach wysokopoziomowych. Zaproponowane metody przetestowano na problemach należących do dwóch niezależnych dziedzin – medycznej i przemysłowej, różniących się jakością analizowanych obrazów oraz stopniem skomplikowania. Potwierdzono tym samym uniwersalność proponowanych rozwiązań.

Opracowane metody nie wyczerpują zagadnienia wysokopoziomowych reprezentacji obrazów oraz zastosowania gramatyk grafowych do analizy obrazów w reprezentacjach wysokopoziomowych. Zidentyfikowano potencjalne kierunki rozwoju zaproponowanych metod, w tym:

1. modyfikację autorskiej metody wykrywania krawędzi, opisanej w rozdziale 3.2 (str.39) – zmiana sposobu oceny analizy jasności obszarów wyznaczonych przez potencjalne segmenty krawędzi,
2. modyfikację autorskiej metody wykrywania krawędzi, opisanej w rozdziale 3.2 (str.39) – zmiana kształtu obszaru zainteresowania ROI,
3. rozszerzenie proponowanych modyfikacji gramatyk grafowych – gramatyk klasy cETPL(k) oraz iETPL(k) (rozdział 4, str. 52),
4. opracowanie metody automatycznego wyboru obszaru zainteresowania ROI na obrazach mammograficznych (rozdział 5.2.3, str. 63),
5. przetestowanie innych podziałów obszaru zainteresowania ROI (rozdział 5.2.4, str. 65) np. wprowadzenie podziału na więcej segmentów, zmiana kształtu pierwotnych segmentów z kwadratowych, na trójkątne (wyznaczone przez przekątne),
6. rozbudowanie gramatyki grafowej opisującej zmiany spikularne, w tym wprowadzenie przestrzennych relacji między wierzchołkami grafu (rozdział 5.2.7, str. 70),
7. rozszerzenie zbioru testowego z uwzględnieniem obrazów mammograficznych spoza bazy DDSM,
8. przeprowadzenie licznych testów metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych na obrazach mammograficznych z uwzględnieniem różnych kombinacji metod stosowanych w poszczególnych etapach przetwarzania (rozdział 5.3, str. 80),

9. modyfikacja i zastosowanie metody semantycznej analizy obrazu w reprezentacji wysokopoziomowej z zastosowaniem gramatyk grafowych (rozdział 5, str. 56) do analizy i opisu obrazów w przestrzeni 3D,
10. rozwinięcie hierarchicznej metody rozpoznawania obiektów na obrazie w reprezentacji wysokopoziomowej (rozdział 6, str. 101),
11. modyfikacja i zastosowanie hierarchicznej metody rozpoznawania obiektów na obrazie w reprezentacji wysokopoziomowej (rozdział 6, str.) do analizy i opisu obrazów w przestrzeni 3D.