

*Marek R. Ogiela\**

## **METODY TRANSFORMACJI PROSTUJĄCEJ I ANALIZY ZEWNĘTRZNYCH KONTURÓW OBIEKTÓW W ROZPOZNAWANIU OBRAZÓW MEDYCZNYCH**

### **1. Wprowadzenie**

Jednym z najważniejszych problemów pojawiających się w komputerowych systemach rozpoznawania i analizy obrazów medycznych, wspomagających diagnostykę i terapię medyczną, jest takie przetworzenie uzyskiwanych obrazów lub ich serii, aby możliwe było jednoznaczne określenie występujących w nich symptomów chorobowych. Na podstawie wykrytych symptomów możliwe jest następnie rozpoznanie różnorodnych jednostek chorobowych, co stanowi z kolei punkt wyjścia do planowania dalszej terapii. Charakteryzując proces automatycznej diagnostyki medycznej można stwierdzić, że informacje w komputerowych systemach diagnostycznych mogą pochodzić z danych dotyczących występowania symptomów chorobowych, uzyskiwanych w trakcie analizy obrazów medycznych dzięki zastosowaniu różnorodnych metod sztucznej inteligencji. W przypadku, gdy rozpoznawaniu poddawane są obrazy, na których można zaobserwować jakiegokolwiek zmiany morfologiczne dowolnego z narządów, czyli np. w rozpoznawaniu schorzeń widocznych na obrazach uzyskanych różnymi technikami tomografii komputerowej lub zdjęciach z badań radiologicznych (np. ERCP, angiogramy), celem analizy takich obrazów jest identyfikacja i jednoznaczne rozpoznanie takich morfologicznych zmian, występujących w badanym narządzie. W tym celu wykorzystuje się często syntaktyczne metody rozpoznawania obrazów. Przed przystąpieniem jednak do właściwej ekstrakcji poszukiwanych cech świadczących o wystąpieniu symptomów chorobowych, konieczne jest najczęściej wstępnie przetworzenie analizowanych zdjęć tak, aby polepszyć ich jakość, usunąć zbędne (z punktu widzenia stawianej diagnozy) szczegóły przy jednoczesnym wydzieleniu rozpoznawanego obiektu. Bardzo często techniki wstępnego przetwarzania obrazu są znacznie bardziej skomplikowane i w większym stopniu ukierunkowane na poszczególne zadania analizy danych struktur niż właściwe metody rozpoznawania obrazów. Nierzadko również metody te stanowią jednocześnie rodzaj metod rozpozna-

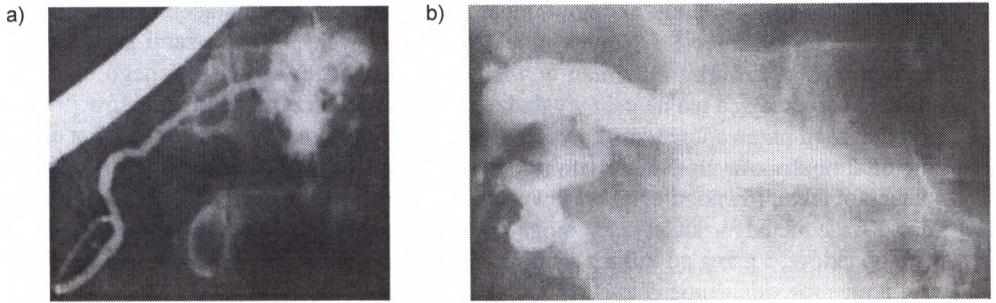
\* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

wania, zwłaszcza w sytuacjach konieczności identyfikacji konkretnego narządu spośród szeregu innych otaczających go struktur. Zauważając rozważania na temat metod rozpoznawania obrazów do ich zastosowania w diagnostyce rentgenowskiej można stwierdzić, że etap wstępnej obróbki analizowanego obrazu ma równie wielkie znaczenie jak sam proces rozpoznania.

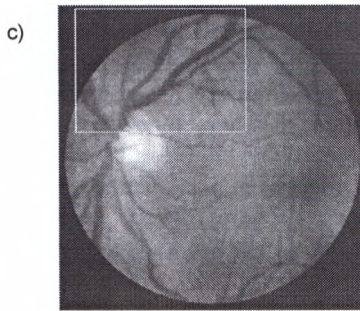
Dlatego też tematem niniejszego artykułu będzie przedstawienie nowego algorytmu, określanego dalej jako transformacja prostująca, działającego w oparciu o sekwencje geometrycznych przekształceń obrazu i transformującego zewnętrzny brzeg (kontur) badanego narządu z przestrzeni dwuwymiarowego obrazu do postaci dwuwymiarowego wykresu. Otrzymane wykresy będą przedstawiały kontury wyprostowanych narządów wraz z możliwymi do wystąpienia w nich takimi zewnętrznymi tworami jak boczne odgałęzienia lub rozdwojenia badanej struktury, zewnętrzne uwypuklenia czy przewężenia i poszerzenia. Główną zaletą przedstawionej dalej metody jest to, że zachowuje ona wystąpienie wszystkich tj. zarówno mieszczących się w granicach norm fizjologicznych jak i patologicznych zmian morfologicznych występujących w badanym narządzie lub analizowanej strukturze anatomicznej, co pozwala z kolei na dalszą ich analizę i wykrywanie przy użyciu syntaktycznych metod rozpoznawania obrazów. Transformacja ta może być wykorzystywana na przykład w rozpoznawaniu schorzeń takich narządów jak trzustka w oparciu o analizę zdjęć rtg z badań ERCP (endoskopowa wsteczna cholangiopankreatografia), ale również np. w analizie stanu naczyń wieńcowych lub w oftalmoskopii przy wykonywaniu badań dna oka. Dodatkowo istnieje możliwość wykorzystania proponowanego algorytmu w trójwymiarowej analizie i modelowaniu skomplikowanych przestrzennie struktur anatomicznych takich jak np. narządy jamy brzusznej (z wykorzystaniem zdjęć CT) czy rekonstrukcja drzewa oskrzelowo-oddechowego w rozpoznawaniu nowotworów płuc.

## **2. Materiał badawczy i metody wstępnego przetwarzania obrazów medycznych**

Opisany w dalszej części opracowania algorytm przekształceń zewnętrznych brzegów badanych narządów zostanie przedstawiony na wybranych przykładach zdjęć rentgenowskich, uzyskanych w trakcie badań metodą endoskopowej wstecznej cholangiopankreatografii (ERCP) [1]. Zdjęcia te obrazują główne przewody trzustkowe z wyraźnymi symptomami przewlekłego zapalenia trzustki (pzt) (rys. 1a, b). Do symptomów takich należy przede wszystkim zaliczyć wystąpienie morfologicznych zmian w postaci przewężeń i poszerzeń głównego przewodu trzustkowego oraz wystąpienie nieregularnych bocznych odgałęzień lub cystowatych i jamistych uwypukleń na jego zewnętrznych krawędziach. Dodatkowo w pracy zostanie przedstawiony przykład zastosowania opisywanej transformacji prostującej do uzyskiwania wykresów przedstawiających zewnętrzną morfologię wybranych naczyń krwionośnych dna oka (tj. tylnego odcinka siatkówki), a w szczególności wychodzącej z tarczy nerwu wzrokowego tętnicy i żyły środkowej siatkówki wraz z ich odgałęzieniami (rys. 1c). Obrazy dna oka uzyskiwane są w trakcie badań przy użyciu oftalmoskopu, a analiza stanu tych naczyń i przekrojów ich światła jest wykorzystywana w diagnostyce takich schorzeń jak np. cukrzyca, nadciśnienie tętnicze, guzy przysadki mózgowej i inne.



**Rys. 1a, b.** Zdjęcia ERCP przedstawiające przewody trzustkowe z morfologicznymi zmianami charakterystycznymi dla przewlekłego zapalenia trzustki



**Rys. 1c.** Obraz naczyń dna oka z zaznaczonym obszarem analizy

Przed przystąpieniem do właściwej analizy konturów i wykonania transformacji prostującej badane struktury, której celem będzie uzyskanie wykresów szerokości tych obiektów, konieczne jest wykonanie wstępnego przetwarzania tych obrazów tak, aby w jego rezultacie pozostały w analizowanych kadrach tylko interesujące nas struktury. Sekwencja metod, której realizacja pozwala na wyekstrahowanie przewodów trzustkowych w obrazach ERCP oraz naczyń dna oka w obrazach oftalmoskopowych składa się z szeregu algorytmów, których opis działania wykracza poza ramy niniejszego opracowania. Metody te były jednak przedmiotem publikacji szeregu prac autora jak również innych badaczy zajmujących się tą problematyką. Bez wprowadzania zbędnych szczegółów można zatem stwierdzić, iż w trakcie wstępnego przetwarzania badanych obrazów konieczne jest wykonanie następujących operacji:

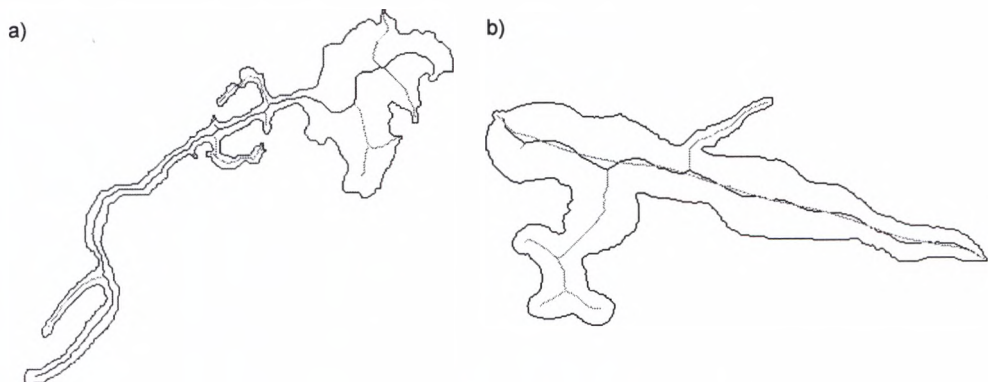
- Wstępnej filtracji uzyskanych obrazów, w celu eliminacji mogących wystąpić w nich zakłóceń, pojawiających się w trakcie ich pozyskiwania. Do tego celu można wykorzystać technikę filtracji medianowej z wielkością okna filtracji równą 3 lub 5 punktów [4].
- Segmentacji (binaryzacji) obrazów w wyniku, której pozostają widoczne interesujące nas organy, a pozostałe elementy obrazu są eliminowane. W tym celu można wykorzystać specjalistyczny algorytm progowania zdjęć ERCP zaproponowany w [3], a w przypadku zdjęć dna oka metodę binaryzacji opisaną w pracy [2].

- Morfologicznemu otwarciu obrazów<sup>1</sup> binarnych i filtracji uśredniającej. Celem otwarcia obrazu jest usunięcie drobnych obiektów pozostałych po binaryzacji przy jednoczesnym nie wprowadzaniu zmian w wielkości zasadniczej części badanego obiektu. Filtracja uśredniająca ma na celu wygładzenie konturów otrzymanych obiektów [9].
- Szkieletyzacji przewodów trzustkowych z obrazów ERCP i naczyń krwiononnych z obrazów oftalmoskopowych. Rezultatem szkieletyzacji jest otrzymanie linii środkowej ściennego obiektu, równoodległej od zewnętrznych krawędzi i mającej jednostkową szerokość. Różne metody szkieletyzacji mogą zostać wykorzystane do pocieniania analizowanych obiektów, a przegląd kilku z nich wraz z ich przydatnością do przetwarzania obrazów rentgenowskich można znaleźć w pracy [5]. W przypadku przetwarzanych przez autora obrazów do szkieletyzacji użyto klasyczny algorytm ścieniania Pavlidisa [8].
- Analizie i eliminacji odgałęzień bocznych w szkielecie. Ponieważ odgałęzienia szkieletowe mogą powstać jako artefakty w wyniku szkieletyzacji postrzępionych brzegów figury (tzw. odgałęzienia pozorne) lub być szkieletami rzeczywistych odgałęzień (odgałęzienia rzeczywiste w szkielecie) jak ma to miejsce w przypadku przewodów trzustkowych na zdjęciach ERCP, zatem konieczna jest analiza każdego z wykrytych odgałęzień w celu określenia czy jest ono odgałęzieniem rzeczywistym czy pozornym. Dla rzeczywistych odgałęzień szkieletowych możliwa jest następnie analiza ich rzędu, czyli określenie czy są to odgałęzienia pierwszego, drugiego czy wyższego rzędu. W przypadku przewodów trzustkowych informacja dotycząca liczby, rzędowości i umiejscowienia wykrytych odgałęzień bocznych ma duże znaczenie przy określaniu stopnia zaawansowania procesów chorobowych. Algorytmy weryfikacji odgałęzień szkieletowych oraz metody określania ich rzędu opisano w pracy [7]. Eliminacja odgałęzień szkieletowych jest konieczna z uwagi na fakt, że linią wyznaczającą kierunek analizy szerokości badanych struktur oraz określającą kąty obrotów punktów zewnętrznego konturu będzie właśnie linia szkieletowa. Metody eliminacji odgałęzień bocznych w szkieletach przewodów trzustkowych opisano w pracy [6]. Metody te mogą służyć również do eliminacji odgałęzień w trakcie analizy innych narządów między innymi przy analizie średnicy naczyń siatkówki.
- Wygładzeniu szkieletu metodą uśredniania kolejnych jego elementów względem punktów należących do sąsiedztwa aktualnie analizowanego punktu szkieletowego. Wielkość określanego sąsiedztwa dla wszystkich punktów szkieletu jest taka sama i jak wykazały badania prowadzone przez autora, wielkość ta powinna być równa połowie średniej szerokości badanego obiektu. Ponieważ w przypadku niektórych struktur anatomicznych mogą pojawić się wątpliwości w odróżnieniu ich szerokości od długości zatem użyteczne jest wykorzystanie tutaj formuły przybliżonego wyznaczania średniej szerokości tych struktur. Poszukiwana średnia szerokość jest wyznaczana jako iloraz pola badanego narządu do długości jego szkieletu.

Realizacja wyżej wymienionych metod pozwala na otrzymanie w analizowanych obrazach konturów<sup>2</sup> badanych struktur oraz ich szkieletów. Rezultaty wstępnego przetwarzania rozważanych w pracy obrazów przy użyciu wyżej opisanych metod przedstawiono na rysunku 2.

<sup>1</sup> Pojęcie otwarcia obrazu lub otwarcia figury oznacza morfologiczne przekształcenie będące złożeniem dwóch podstawowych operacji morfologicznych z algebry obrazowej tj. kolejnym wykonaniu erozji, a następnie dylatacji [9].

<sup>2</sup> Punkty konturowe to takie punkty, których przynajmniej jeden z bezpośrednich sąsiadów jest punktem z tła obrazu [8].



**Rys. 2a, b.** Obrazy ERCP przedstawiające kontury i szkielety przewodów trzustkowych. W obrazach zaznaczono odcięte szkielety odgałęzień bocznych i cystowatych uwypukleń (kolor szary). W drugim obrazie na linii szkieletowej głównego przewodu trzustkowego (linia czarna) zaznaczono również wygładzony szkielet otrzymany metodą uśredniania (kolor szary). Wielkość sąsiedztwa uśredniania w przypadku pierwszego przewodu trzustkowego wynosiła 15 punktów, a w przypadku drugiego 31 punktów



**Rys. 2c.** Fragment obrazu przedstawiający kontury i szkielet naczyń krwionośnych dna oka. W szkielecie zaznaczono odcięte szkielety odgałęzień naczyń (kolor szary). Na głównej linii szkieletowej (kolor czarny) zaznaczono również wygładzony szkielet otrzymany metodą uśredniania (kolor szary)

Na przykładach tych widać między innymi główne linie szkieletowe pocienianych obiektów (oznaczone linią czarną) oraz wygładzone linie środkowe otrzymane w wyniku uśredniania tych szkieletów (linie szare). To właśnie wzdłuż tak otrzymanych wygładzonych szkieletów będziemy dokonywać transformacji prostującej zewnętrzny brzeg badanych narządów. Celem tego przekształcenia będzie otrzymanie wykresów szerokości tych obiektów, przy jednoczesnym zachowaniu i wyeksponowaniu na tych wykresach zewnętrznych zmian morfologicznych świadczących o procesach chorobowych. Wykresy takie będą stanowiły punkt wyjścia do rozpoznawania i analizy morfologicznych kształtów tych obiektów przy użyciu syntaktycznych metod rozpoznawania obrazów.

### 3. Algorytm transformacji prostującej zewnętrzne kontury obiektów

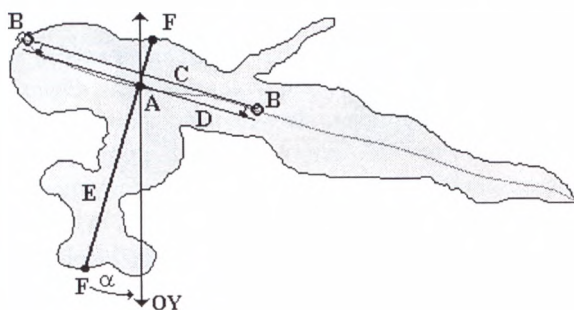
Prezentowany w pracy algorytm geometrycznego przekształcania zewnętrznych krawędzi struktur anatomicznych, którego celem jest uzyskanie wykresu szerokości badanego narządu, dokonuje transformacji tj. obrotów punktów konturowych względem kolejno wyznaczanych punktów szkieletu. Używając notacji uproszczonego języka C algorytm ten można w sposób uproszczony zapisać w następującej postaci:

```
Algorytm_prostowania_konturu()  
{  
  wczytaj kontur obiektu;  
  /* tworzenie przekształconych (tj. „wyprostowanych”) brzegów obiektu po obu stronach szkieletu */  
  dla każdego punktu szkieletowego  
  {  
    wyznacz prostą kierunkową przechodzącą przez ten punkt;  
    wyznacz prostą pomiaru szerokości badanego obiektu;  
    wyznacz punkty przecięcia konturu z prostą pomiaru szerokości;  
    określ położenie tych punktów względem prostej kierunkowej;  
    obróć wyznaczone punkty konturu względem rozważanego punktu szkieletowego o kąt przeciwny do kąta nachylenia prostej pomiaru szerokości wzgl. osi OY;  
  }  
  /*uporządkowanie tj. „linearyzacja” uzyskanych tablic ze współrzędnymi brzegowymi */  
  posortuj punkty brzegowe;  
  usuń nadmiarowe punkty wyprostowanego konturu;  
  popraw ciągłość uzyskanego wykresu szerokości;  
}
```

Operacja wyznaczenia punktów konturowych badanego obiektu nie nastręcza większych trudności i jest wykonywana w trakcie jednokrotnego przeglądnięcia obrazu. Punktem konturowym (brzegowym) nazywamy każdy z punktów posiadających przynajmniej jednego bezpośredniego sąsiada należącego do tła obiektu. Mając do dyspozycji punkty brzegowe oraz linię środkową obiektu uzyskaną w rezultacie jego szkieletyzacji można dokonywać transformacji prostującej, czyli obrotów punktów brzegowych, leżących na przecięciu brzegu figury z prostą pomiaru szerokości wyznaczonej w aktualnie rozważanym punkcie szkieletowym. Operacje takie wykonywane są kolejno dla każdego punktu szkieletu, co prowadzi w konsekwencji do powstania nowego wyprostowanego konturu. Oczywiście należy zaznaczyć, że analizowane przez nas struktury anatomiczne (a w szczególności ich szkielety) bardzo często charakteryzują się licznymi wielokierunkowymi krzywiznami, co powoduje, że w trakcie wyznaczania kolejnych prostych pomiarowych szerokości, ich punkty przecięcia z zewnętrznym konturem są takie same, zatem przy tworzeniu wyprostowanego konturu współrzędne takich punktów muszą być rozważane wielokrotnie.

Zadanie wyznaczania prostych kierunkowych przechodzących przez kolejne punkty szkieletu polega na wyznaczeniu dwóch sąsiednich (względem aktualnie rozważanego) punktów szkieletu odległych od niego o pewną wyznaczoną odległość. Punkty te wyznaczają sąsiedztwo (punkty oznaczone jako B na rys. 3), które określa położenie wyznaczonej prostej kierunkowej (prosta C na rys. 3). Jak pokazały badania przeprowadzone przez auto-

ra optymalna wielkość wyznaczanego sąsiedztwa powinna w przybliżeniu być równa szerokości obiektu wyznaczonej we wcześniejszym punkcie szkieletowym [7]. Strategia taka pozwala na otrzymanie bardzo równomiernego i regularnego rozkładu wyznaczanych prostych pomiarowych szerokości. Po określeniu kierunku nachylenia prostej kierunkowej przechodzącej przez określone sąsiedztwo, należy dokonać translacji tej prostej tak, aby przechodziła ona również przez aktualnie rozważany punkt szkieletowy (prosta D na rys. 3).

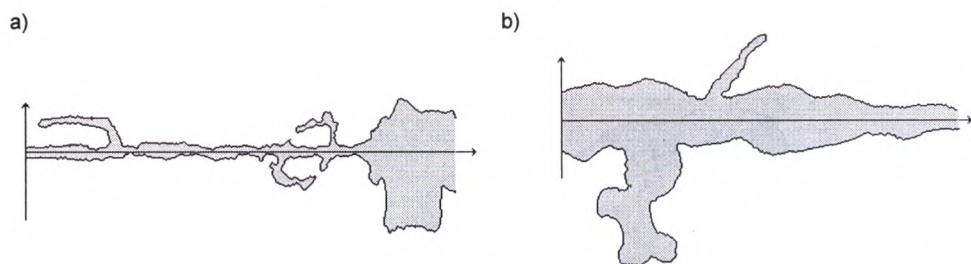


**Rys. 3.** Metoda transformacji geometrycznej prowadzącej do wyznaczenia wykresu szerokości badanej struktury. Punkt A oznacza aktualnie rozważany punkt szkieletu, w którym wyznaczana jest szerokość obiektu. Punkty B wyznaczają sąsiedztwo punktu A, które określa położenie prostej kierunkowej C. Prosta D powstała w wyniku translacji prostej kierunkowej C, tak aby przechodziła ona przez aktualny punkt szkieletowy A. Z kolei prosta E jest prostą pomiaru szerokości, prostopadłą do prostej D. Punkty F są punktami przecięcia prostej pomiaru szerokości z zewnętrznym brzegiem obiektu. To właśnie te punkty są obracane względem punktu A o kąt  $\alpha$  (jaki tworzy prosta E z osią OY) co prowadzi do „wyprostowania” obiektu

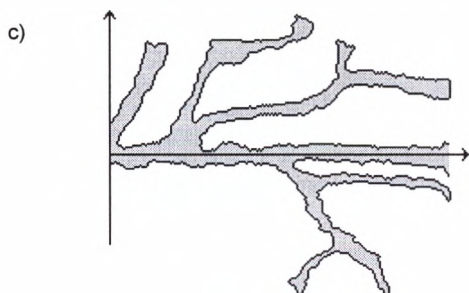
Kolejnym krokiem w omawianym algorytmie transformacji konturu jest wyznaczenie prostej pomiaru szerokości w aktualnie rozważanym punkcie szkieletu, jako prostej prostopadłej do wcześniej określonej prostej kierunkowej przechodzącej przez ten punkt (prosta E na rys. 3). Po wyznaczeniu równania takiej prostej konieczne jest znalezienie punktów jej przecięcia z brzegiem obiektu co dokonuje się przez liniowe przeglądnięcie wszystkich punktów brzegowych i stwierdzenie, które z nich spełniają równanie prostej szerokości. Po wyznaczeniu wszystkich takich punktów należy wyznaczyć ich położenie względem szkieletu, a w szczególności względem wyznaczonej wcześniej prostej kierunkowej w danym punkcie szkieletowym. Poprawne określenie położenia punktów jest niezwykle ważne z punktu widzenia poprawności odwzorowania wszystkich morfologicznych zmian konturu na powstającym wykresie brzegów zewnętrznych obiektu.

Głównym etapem transformacji prostującej jest jednak obrót wyznaczonych punktów konturu leżących na prostej pomiaru szerokości (punkty F na rys. 3) względem rozważanego punktu szkieletowego, o kąt równy kątowi nachylenia wyznaczonej w tym punkcie prostej pomiaru szerokości. Kąt ten jest wyznaczany względem osi OY, a obrót wykonywany w kierunku przeciwnym do kąta nachylenia (patrz kąt  $\alpha$  na rys. 3). W wyniku takiego obrotu wszystkie proste pomiarów szerokości mają kierunek pionowy, a to z kolei powoduje, że otrzymane punkty konturowe utworzą wyprostowany wykres zewnętrznych brzegów analizowanego obiektu. Na wykresach tych widoczne są również, najważniejsze z punktu widzenia dalszej diagnostyki, występujące zmiany morfologiczne na zewnętrznych krawęd-

dziach diagnozowanych struktur anatomicznych. Przykładowe rezultaty otrzymywania wyprostowanych wykresów szerokości dla rozważanych w tej pracy zdjęć ERCP i naczyń siatkówki, wraz z występującymi na nich zmianami morfologicznymi przedstawiono na rys. 4.



**Rys. 4a, b.** Wykresy konturów przewodów trzustkowych z obrazów ERCP. Widoczne morfologiczne zmiany charakterystyczne dla przewlekłego zapalenia trzustki



**Rys. 4c.** Wykres konturów jednego z głównych naczyń dna oka wraz z jego odgałęzieniami

Dla wyznaczonych punktów wyprostowanych konturów konieczne jest jeszcze przeprowadzenie kolejno następujących operacji:

- Liniowego posortowania tak, aby można było przejść kolejno przez wszystkie punkty wyznaczonego brzegu łącznie z konturem występujących zmian morfologicznych. Operacja ta jest niezbędna z uwagi na konieczność stworzenia prostej i jednoznacznej reprezentacji nowo powstałego konturu na potrzeby dalszej analizy. Wykrywanie i diagnostyka występujących w tych konturach zmian patologicznych będzie możliwe np. przy wykorzystaniu syntaktycznych metod rozpoznawania obrazów [7].
- Zmniejszenia grubości otrzymanego konturu do jednego piksela z wykorzystaniem standardowych algorytmów szkieletyzacji [5].
- Poprawienia ciągłości uzyskanego wykresu metodą aproksymacji kolejnych punktów odcinkami prostymi.

Wymienione operacje powodują, że uzyskane wykresy konturów mają reprezentację liniową oraz jednostkową szerokość, a ponadto są pozbawione punktów nieciągłości (tak jak przedstawiono na rys. 4a, b, c).



## 4. Wnioski

Przeprowadzone przez autora badania potwierdziły przydatność opisanej w tej pracy metody geometrycznego przekształcania konturów struktur anatomicznych na potrzeby ich automatycznej diagnostyki w oparciu o analizę różnego typu obrazów medycznych w tym rentgenogramów ERCP i obrazów naczyń dna oka. Opisany algorytm w pełni nadaje się do otrzymywania dwuwymiarowych wykresów szerokości badanych struktur, gwarantując jednocześnie wyeksponowanie istniejących na zewnętrznych brzegach patologicznych zmian chorobowych. Odzwierciedlenie takich zmian na nowo powstających wykresach konturowych, tworzonych przez opisany w pracy algorytm, umożliwi ich dokładne rozpoznanie np. przy wykorzystaniu syntaktycznych metod rozpoznawania obrazów. Główną zaletą opisanej metody w wyniku działania, której otrzymuje się wykresy wyprostowanych struktur jest to, że w przypadku zastosowania metod syntaktycznych do rozpoznawania i dalszej analizy tych zdjęć nie pojawia się konieczność definiowania skomplikowanych postaci tzw. składowych pierwotnych w obrazie (inaczej zwanych również prymitywami obrazowymi). Składowe takie służą do opisu rozpoznawanych symptomów patologicznych i w obrazach pierwotnych musiałyby uwzględniać skomplikowane ułożenia przestrzenne analizowanych struktur, które mogą zmieniać się chociażby w wyniku zmiany położenia pacjenta w trakcie wykonywania badań. Możliwość zastosowania metod syntaktycznych w rozpoznawaniu poszukiwanych zmian chorobowych w oparciu o uzyskane wykresy są tematem badań prowadzonych przez autora, a ich rezultaty będą prezentowane w kolejnych publikacjach. Dotychczasowe osiągnięcia w tej dziedzinie, dotyczące zwłaszcza rozpoznawania symptomów przewlekłego zapalenia i raka trzustki w oparciu o analizę zdjęć z badań ERCP przedstawiono w pracy [7].

Pomimo otrzymanych dotychczas pozytywnych rezultatów działania i możliwości wykorzystania opisanej metody w rozpoznawaniu różnorodnych symptomów w oparciu o różne rodzaje zdjęć medycznych należy stwierdzić, iż celowa wydaje się kontynuacja prac nad doskonaleniem zaproponowanego algorytmu zwłaszcza w kierunku prowadzącym do modelowania i analizy całości konturów badanych obiektów. Możliwe jest otrzymanie takich wykresów szerokości, które uwzględniają wszystkie punkty pierwotnego konturu, a nie tylko takie, które wykrywane są w trakcie analizy względem punktów szkieletu. Na otrzymywanych wykresach objawia się to brakiem wspólnego początku górnych i dolnych krawędzi w punkcie początkowym wprowadzonego układu współrzędnych. Podobnie rzecz przedstawia się na końcach wykresów, gdzie krawędzie zamiast się łączyć, nagle się urywają. Ta tematyka będzie również tematem dalszych badań.

## Literatura

- [1] Bellon E.M.: *Radiologic Interpretation of ERCP: a Clinical Atlas*. Medical Examination New York, Publishing Co. 1983

- [2] Goldbaum M. et al.: *Automated Diagnosis and Image Understanding with Extraction, Object Classification, and Inferencing in Retinal Images*. International Conference on Image Processing, Lausanne, 1996, Vol. 3, 695–698
- [3] Mikrut Z. et al.: *A Dedicated Algorithm for Object Identification in Medical Images*. Image Processing & Communications, 1995, Vol. 1, No. 1, 43–58
- [4] Ogiela M.: *The Assessment of the Possibilities of Computer-Based Image Processing for Pancreatic Duct Visualisation*. Image Processing & Communications, 1995, Vol. 1, No. 1, 59–73
- [5] Ogiela M.: *Szkieletyzacja binarnych obrazów ERCP*. Elektrotechnika, Kwartalnik AGH, 1996, Tom 15, Zeszyt 1, s. 33–53
- [6] Ogiela M.: *Wykrywanie i analiza odgałęzień bocznych w głównych przewodach trzustkowych na obrazach ERCP*. Elektrotechnika, Kwartalnik AGH, 1996, Tom 15, Zeszyt 2, s. 149–166
- [7] Ogiela M.: *Computer Analysis of ERCP Images with an Attempt at Diagnostics*. Polish Journal of Medical Physics and Engineering, Vol. 2, No. 3, 27–47, 1996
- [8] Pavlidis T.: *Grafika i przetwarzanie obrazów*. Warszawa, WNT 1987
- [9] Pratt W.K.: *Digital Image Processing*. New York, Wiley & Sons 1991

*Recenzent*

*prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz*