

Piotr Pawlik\*, Zbigniew Bublński\*

## **Szybka detekcja rozgałęzień w drzewie oskrzelowym\*\***

### **1. Wprowadzenie**

Jednym z zagadnień automatycznego wspomaganie analizy i opisu filmów z badań bronchoskopowych jest detekcja rozgałęzień drzewa oskrzelowego. Wskazanie klatek, które rejestrują przechodzenie przez kolejne rozgałęzienia, pomaga w późniejszym przeglądaniu zarejestrowanego materiału, pozwalając „przeskakiwać” w kolejne obszary zainteresowania bez potrzeby żmudnego przeglądania nagrania. Należy w tym miejscu podkreślić specyfikę nagrań bronchoskopowych, które zawierają w przeważającej mierze artefakty wywołane głównie przez zalanie obserwowanego obszaru płynami ustrojowymi, gwałtowny ruch końcówki bronchofiberoskopu lub jej dużego zbliżenia do ściany oskrzela [2]. Stosunkowo nieduża liczba klatek informatywnych w stosunku do całego nagrania wymusza potrzebę stosowania algorytmów wykrywających i usuwających klatki nieinformatywne [1]. Stosowanie tych algorytmów pozwala w dużej mierze uprościć przeglądanie nagrań bronchoskopowych i stanowi podstawę dla ich dalszej analizy. Kolejnym krokiem jest wychwycenie charakterystycznych miejsc z drzewa oskrzelowego. Takimi naturalnymi miejscami charakterystycznymi są właśnie rozgałęzienia i z tego powodu ich detekcja staje się kluczowa w systemach wspomagających pracę lekarza.

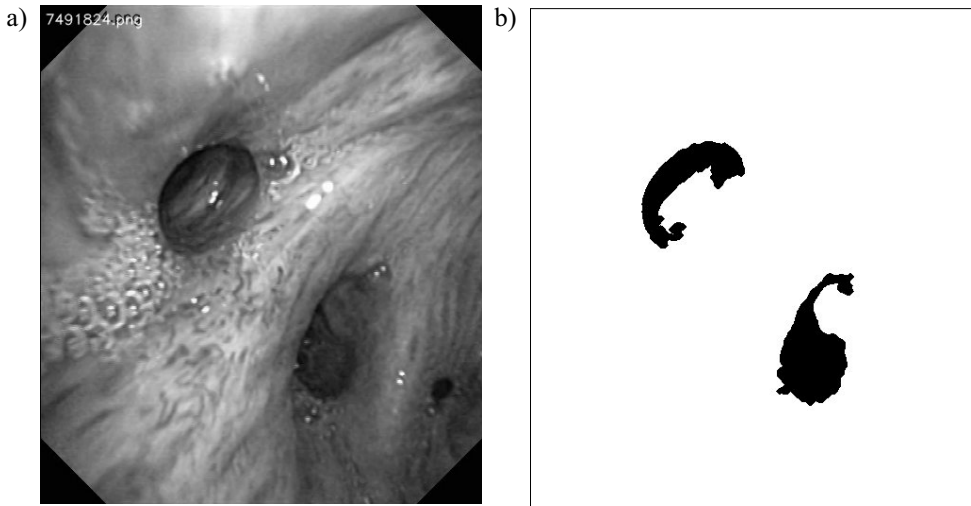
### **2. Algorytm szybkiej detekcji rozgałęzień w drzewie oskrzelowym**

Głównym założeniem koncepcji było uzyskanie poprawnej detekcji w czasie rzeczywistym. Ograniczyło to możliwości do najprostszych algorytmów oraz wymagało wprowadzenia dodatkowych założeń. Zauważono, że na obrazie bronchoskopowym wejścia do oskrzeli są najciemniejszymi obiektami. Założono, że detekcja rozgałęzień może sprowadzić się do stwierdzenia czy na obrazie występują dwa lub więcej najciemniejsze obiekty (por. rys. 1). Niniejsze badania stanowiły próbę weryfikację tej tezy.

---

\* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

\*\* Praca realizowana w ramach badań własnych – Umowa AGH Nr 10.10.120.783



**Rys. 1.** Obraz rozgałęzienia w drzewie oskrzelowym (a) i uzyskane wyodrębnienie wejść do kanałów oskrzelowych (b)

Analiza dotyczyła obrazów w 256 odcieniach szarości uzyskanych z klatek filmu bronchoskopowego o rozdzielczości  $720 \times 576$  pikseli. Ze względu na to, iż dużą część takiej klatki zajmuje czarna ramka, na wstępie „wycinano” z kadru użyteczny obraz. Na etapie preprocessingu wykorzystano szereg metod przetwarzania obrazów cyfrowych, które szczegółowo przedstawiono w [4, 5]. Pierwszą operacją na obrazie było jego rozmycie filtrem uśredniającym o rozmiarze  $3 \times 3$ . Do wykrycia najciemniejszych obszarów sceny wykorzystano histogram (nierozciągnięty), w którym wyznaczano pierwsze maksimum i następnie przeprowadzano binaryzację obrazu z progiem o 10 większym od znalezionej wartości maksimum. Wartość 10 wyznaczono doświadczalnie. Przyjęto, że próg wyznaczony binaryzacji powyżej wartości 100 świadczy o braku poszukiwanych obiektów w obrazie (obraz jest zbyt jednorodny). W takim wypadku zaprzestawano dalszej analizy danej klatki.

W obrazach, dla których stosowano próg binaryzacji 100 lub mniejszy, łączono blisko siebie leżące najciemniejsze obszary w obiekty przez zastosowanie dylatacji morfologicznej [3]. Dla uzyskania zadowalającego efektu połączenia blisko siebie leżących obszarów w obiekty dylatacja została powtórzona trzykrotnie. Na tak przygotowanym obrazie dokonano indeksacji celem rozróżnienia obiektów z jednoczesnym wyliczeniem ich powierzchni. Znalezienie obiektu o powierzchni powyżej zadanego maksimum skutkowało przerwaniem dalszej analizy danej klatki, ze względu na duże prawdopodobieństwo znalezienia artefaktu.

Dalsza analiza miała na celu wyeliminowanie obiektów zbyt małych – poniżej przyjętego rozmiaru 500 pikseli. Ograniczenie się do obiektów o polu powierzchni co najmniej 500 pikseli wynikało z faktu, że istotne jest wykrycie rozgałęzienia, kiedy główca

bronchoskopu znajdzie się blisko niego. Oddalone (a zatem „mniejsze”) wejścia do kanałów oskrzelowych nie powinny być rozpoznawane. Wartość 500 wyznaczono eksperymentalnie.

Eliminowano także obiekty, które były 8 razy mniejsze od największego obiektu na obrazie. Wynikało to z założenia, że znalezione obiekty to wejścia do kanałów oskrzelowych, które nie powinny znacząco różnić się wielkością (przyjęta wartość 8 wynikała z zamiaru przyspieszenia obliczeń przez zastąpienie mnożenia przesunięciem bitowym).

Liczbę obiektów pozostałych po wyżej opisanej eliminacji obiektów zbyt małych uznawano za liczbę rozgałęzień drzewa oskrzelowego.

### 3. Wyniki działania proponowanego algorytmu

#### 3.1. Weryfikacja poprawności algorytmu

Do uznania, że algorytm działa poprawnie, konieczne było sprawdzenie, czy stwierdzenie obecności dwóch lub więcej najciemniejszych obiektów w obrazie oznacza występowanie na nim rozwidlenia w drzewie oskrzelowym. Przeprowadzono szczegółowe testy na dwóch filmach z badania bronchoskopowego. Zawierały one odpowiednio 6762 i 3327 klatek, z których około 15% zawierało obrazy rozgałęzień. Filmy przeglądnięto i zaznaczono na nich klatki z rozgałęzieniami i klatki z artefaktami. Uzyskane rezultaty działania algorytmu porównano z wynikami zaznaczania. Efekty zostały przedstawione w tabeli 1.

**Tabela 1**  
Zestawienie wyników z uwzględnieniem artefaktów

Film	Liczba klatek filmu	Klatki z rozgałęzieniami	Błędne wykrycia rozgałęzień	Braki wykrycia rozgałęzień	Czułość [%]	Swoistość [%]	Dokładność [%]
„122”	6762	1055	326	292	72,3	94,3	90,9
„455”	3327	541	214	125	76,9	92,3	89,8
RAZEM	10098	1596	540	417	73,9	93,6	90,5

Jako miarę jakości algorytmu przyjęto szeroko stosowane (zwłaszcza w badaniach medycznych) wskaźniki czułości, swoistości, gdzie przez czułość rozumie się zdolność do poprawnego wykrywania danej cechy (czyli w tym przypadku rozwidlenia), a przez swoistość – zdolność do unikania detekcji tej cechy w przypadkach, w których ona faktycznie nie występuje. Podana dokładność algorytmu jest stosunkiem liczby poprawnych rozpoznań do liczby wszystkich analizowanych klatek.

W wyniku testów stwierdzono, że algorytm często zgłaszał wykrycie rozwidlenia także we wstępnej fazie badania podczas przechodzenia głowicy bronchofiberoskopu przez

krtai. Dzieje się tak dlatego, że krtai nie jest jednorodna i na obrazie po binaryzacji może podzielić się na dwa obiekty. Eliminację takiego fałszywego rozpoznania można przeprowadzić poprzez analizę kształtu i wzajemnego położenia wykrytych obiektów. Jednakże zysk w zwiększeniu swoistości algorytmu takich błędnych rozpoznań (rzędu 1%) byłby niewspółmiernie niski w porównaniu z koniecznymi nakładami obliczeniowymi.

Podstawowym źródłem fałszywych rozpoznań były obrazy zawierające artefakty. Pominięcie klatek z artefaktami znacząco podniosło swoistość algorytmu, co uwidacznia tabela 2. Automatyczna eliminacja klatek zawierających artefakty może być dokonana za pomocą algorytmów przedstawionych w pracy [1]. Sprawdzenie jakości działania ww. algorytmów przy usuwaniu klatek, na których nastąpiło fałszywe rozpoznanie będzie przedmiotem dalszych badań.

**Tabela 2**  
Zestawienie wyników z pominięciem artefaktów

Film	Liczba klatek filmu	Klatki z rozgałęzieniami	Błędne wykrycia rozgałęzień	Braki wykrycia rozgałęzień	Czułość [%]	Swoistość [%]	Dokładność [%]
„122”	6762	1055	66	292	72,3	98,8	94,7
„455”	3327	541	17	125	76,9	99,4	95,7
RAZEM	10089	1596	83	417	73,9	99	95

Tabele 1 i 2 pokazują, że uzyskana czułość algorytmu nie jest wysoka. Jednakże algorytm przetwarza sekwencję klatek i jego celem nie jest wychwycenie każdej klatki prezentującej rozwidlenie drzewa bronchoskopowego, a jedynie wskazanie miejsc nagrania w którym występują rozwidlenia. Wobec tego za poprawne działanie można uznać wskazanie jednej lub kilku klatek z sekwencji prezentującej rozwidlenie.

### 3.2. Sprawdzenie czasu wykonania algorytmu

Weryfikacja czasu wykonania algorytmu wykazała, że zaproponowany algorytm działa w czasie rzeczywistym (w tym sensie, że obliczenia dla klatki filmu trwają krócej niż 40 ms, co wynika ze standardu pozyskiwania 25 obrazów na sekundę).

Testy przeprowadzono na komputerze mającym dwurdzeniowy procesor Intel Core 2 Duo o prędkości 2.13 GHz działający pod 64-bitowym systemem operacyjnym Linux. Prezentowany algorytm został zaimplementowany w powyższym systemie przy użyciu języka C++ (bez wykorzystania wątków). Sprawdzone średnie czasy obliczenia klatki dla każdego z filmów. Film „122” miał rozmiary obszaru analizy 470×528 i uzyskano dla niego średni czas 27 ms. Natomiast w filmie „455” obszar analizy był mniejszy: 364×378 i w tym wypadku średni czas analizy wyniósł 15 ms.

Rozmiar obszaru analizy zależy od wykorzystywanego sprzętu – fragment użyteczny do analizy może zajmować różną część całej powierzchni klatki.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone testy wykazały, że proponowany algorytm dobrze nadaje się do wykrywania w nagraniu zabiegu bronchoskopii sekwencji prezentujących rozwidlenia w drzewie oskrzelowym. Jego działania można jeszcze ulepszyć poprzez zastosowanie algorytmów usuwania klatek z artefaktami [1]. Zastosowanie tych algorytmów i analiza jakości usuwania przez nie tych klatek z artefaktami, które mogą zostać błędnie rozpoznane jako miejsca występowania rozgałęzień będą przedmiotem następnych badań.

#### Podziękowania

*Autorzy pragną podziękować dr. Mariuszowi Dupladze z Collegium Medicum UJ za cenne uwagi i udostępnienie zanonimizowanych nagrań bronchoskopowych.*

#### Literatura

- [1] Grega M., Leszczuk M., Fraczek R., Duplaga M., *BRONCHOVID: The Computer System for Bronchoscopy Laboratory Integrating the CT-Based Bronchoscopy and Transbronchial Needle-Aspiration Biopsy Planning, Virtual Bronchoscopy, Management of the Bronchoscopic Procedures Recordings, Automatic Image-Based Data Retrieval, Artifact and Pathology Detection and Interactive 2D & 3D Visualization*, rozdział: *Algorithms for automatic recognition of non-informative frames in video recordings of bronchoscopic procedures*. Springer-Verlag, 2010 (w druku).
- [2] Józwiak R., Przelaskowski A., Duplaga M., *Diagnostically useful video content extraction for integrated computer-aided bronchoscopy examination system*. *Advances in Intelligent and Soft Computing* 57, *Computer Recognition Systems* 3, Springer 2009, 151–158.
- [3] Nieniewski M., *Morfologia matematyczna w przetwarzaniu obrazów*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1998.
- [4] Pratt W.K., *Digital Image Processing*. John Willey & Sons, Inc., New York, 1991.
- [5] Tadeusiewicz R., Korohoda P., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków, 1997.