

# Rozpoznawanie i komputerowe rozumienie zmian patologicznych na przykładzie analizy wizualizacji 3D tętnic wieńcowych serca

Mirosław Trzupek, Marek R. Ogiela

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział EAIiE, Katedra Automatyki

**Streszczenie:** W ostatnich latach coraz większy nacisk kładziony jest na poprawę jakości oraz skuteczności opieki medycznej. Aby sprostać temu zadaniu powstaje coraz więcej nowych, bądź nowszej generacji urządzeń obrazowej diagnostyki medycznej. Rosnąca liczba badań wykonywanych dla każdego pacjenta powoduje, że lekarze mają do czynienia z coraz większą liczbą obrazów diagnostycznych skojarzonych z danym pacjentem. Aby sprostać oczekiwaniom zmniejszenia liczby błędów medycznych, poprawy efektywności interpretacji licznych zbiorów danych obrazowych oraz usprawnienia dostępu i wymiany informacji, konieczne jest wykorzystanie zaawansowanych i komputerowych metod wspomaganie diagnostyki medycznej. W artykule zaprezentowano autorskie rozwiązania w zakresie wspomaganie komputerowo interpretacji zmian patologicznych, uwidacznianych na obrazach pochodzących z badań diagnostycznych tętnic wieńcowych serca. Wskazano także dalsze kierunki badawcze w tym zakresie, które będą rozwijane w niedalekiej przyszłości.

**Słowa kluczowe:** systemy automatycznej analizy i rozumienia obrazów, komputerowe wspomaganie diagnostyki medycznej, inteligentna analiza i interpretacja obrazów medycznych

## 1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat, na całym świecie, a także w Polsce obserwowany jest wzrost zachorowań na choroby związane z drożnością tętnic (w tym szczególnie istotnych dla zdrowia i życia pacjenta – tętnic wieńcowych). Tylko z powodu miażdżycy i jej powikłań cierpi co drugi mieszkaniec krajów wysoko uprzemysłowionych, a choroby serca i naczyń są najczęstszą przyczyną zgonów oraz jednymi z najczęstszych powodów inwalidztwa w naszym kraju, przewyższając znacznie pod tym względem średnie wskaźniki krajów wysoko rozwiniętych [1, 2].

Badania diagnostyczne pozwalające na określenie stopnia zaawansowania zmian chorobowych w tętnicach, opierają się w szczególności na badaniach klinicznych oraz całym szeregu nowoczesnych metod obrazowania diagnostycznego, m.in.: angiografii klasycznej, ultrasonografii wewnątrznaczyniowej (IVUS), tomografii komputerowej (CT) czy też jądrowego rezonansu magnetycznego (MRI). Wszystkie te badania, jako badania komplementarne, pozwalają w różnym stopniu na określenie stopnia zaawansowania występujących w naczyniach zmian chorobowych, a następnie zaordynowanie stosownej terapii [3]. Należy przy tym dodać, że obrazy uzyskane z najnowocześniejszych urządzeń diagnostyki obra-

zowej (ostatnie generacje urządzeń CT i MRI) pozwalają na uzyskanie obrazów wysokiej jakości i dużej rozdzielczości, co znacznie ułatwia lekarzowi wzrokową analizę takiego obrazu. Niemniej jednak uzyskanie obrazu o wysokich parametrach jakościowych to dopiero pierwszy etap diagnozy pacjenta. Kolejnym i zdecydowanie trudniejszym krokiem jest jego opis. Oczywiście, wysoko wykwalifikowanemu radiologowi nie nastęcza to większych problemów, ale lekarz o mniejszym doświadczeniu, bądź o chwilowo obniżonej koncentracji, spowodowanej chociażby opisem pokaznego zbioru danych obrazowych (np. badania przesiewowe wykonane na dużej populacji) może spowodować, że uzyskany opis i powstałe na jego podstawie przesłanki terapeutyczne mogą być dalekie od optymalnych. Z tego też względu na gruncie nauki trwają intensywne prace nad komputerowymi metodami wspomagającymi analizę oraz opis obrazu, które wykonywane są na co dzień w praktyce klinicznej lekarza diagnosty. Tego typu ułatwienia mogą stanowić zarówno narzędzia wspomagające wizualną ocenę danego przypadku i pozwalające na wykonanie prostych operacji na obrazie (poprawa kontrastu, podstawowe operacje geometryczne, dodatkowa filtracja, wymiarowanie widocznych struktur, operacje na regionach zainteresowań itp.) jak również bardziej zaawansowane narzędzia próbujące określić i wnikać w semantykę (znaczenie) badanego obrazu, a tym samym wspomagające lekarza w tworzeniu opisu rozpatrywanego obrazu. Zestaw dostępnych narzędzi wspomagających wizualną ocenę danych obrazowych można uznać za zadowalający. Zgoła odmiennie wygląda sytuacja, jeśli sprawdzimy dostępność narzędzi wspomagających i ułatwiających tworzenie opisu danego obrazu przez diagnostę. Narzędzia takie, które naśladowałyby procesy myślowe zachodzące w umyśle lekarza, a tym samym pozwoliły na całościowy opis analizowanego obrazu oraz postawienie stosownej diagnozy, jeszcze nie są dostępne. Niemniej jednak próby podejmowane w tym zakresie (również przez autorów artykułu) zaczynają owocować systemami o mniejszym lub większym zakresie wspomaganie i skuteczności opisów obrazów medycznych [4–6]. Co więcej, obserwowany na przestrzeni ostatnich lat gwałtowny rozwój technik komputerowych w medycynie powoduje, że urządzenia diagnostyczne, które jeszcze nie tak dawno temu były wykorzystywane w codziennej praktyce klinicznej po pojawieniu się urządzeń nowszej generacji okazują się być już przestarzałe i rzadziej wykorzystywane. Przy tworzeniu systemów wspomaganie diagnostyki medycznej, należy mieć to również na względzie, gdyż zaadoptowanie funkcjonujących rozwiązań do urządzeń nowszej generacji może powodować

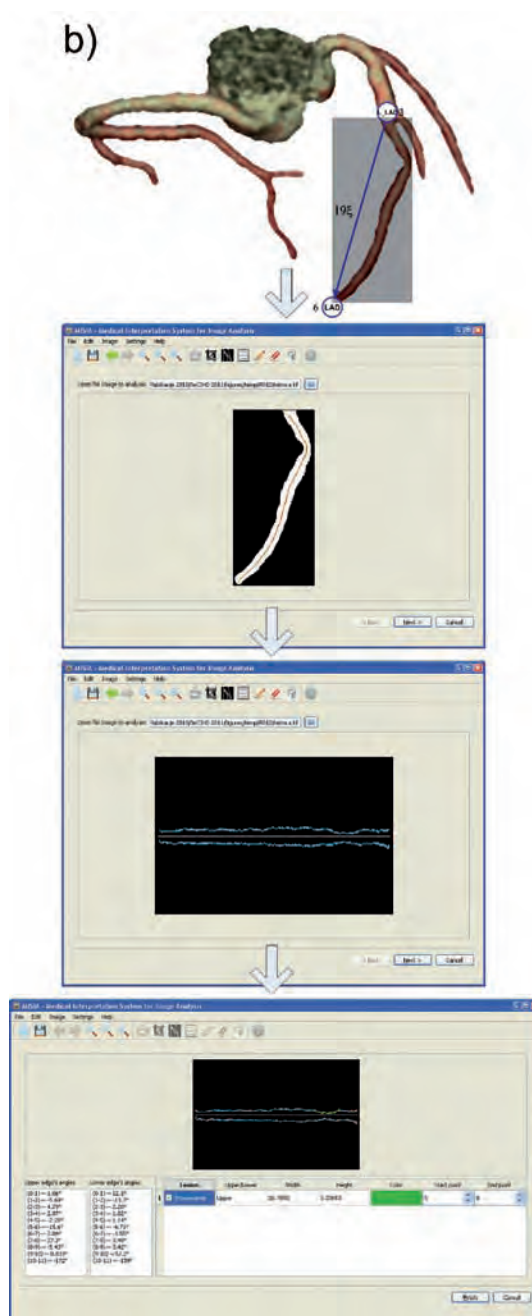
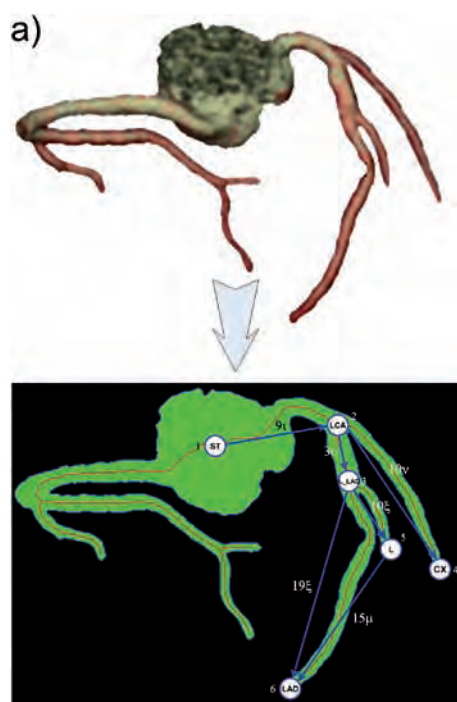
konieczność zaproponowania całkiem nowych rozwiązań, a tym samym stać się kolejnym wyzwaniem naukowym. Propozycje naukowe autorów niniejszej pracy charakteryzują się dużą uniwersalnością w tym zakresie i stanowią zestaw zaawansowanych technik, które pozwalają dokonywać analizy semantycznej różnych obrazów medycznych, bez względu na ich jakość lub inną zależność wynikającą z możliwości sprzętowych rejestrujących urządzeń diagnostycznych [4, 6–9]. W pracy zostaną one pokrótce omówione w zakresie ich wykorzystania do analizy przestrzennych rekonstrukcji unaczynienia wieńcowego serca.

## 2. Wybrane techniki i rozwiązania w komputerowym wspomaganiu detekcji zmian patologicznych tętnic wieńcowych serca

Kanwę dla przedstawionych dalej rozwiązań stanowią badania, które podejmowane były z powodzeniem przez autorów już znacznie wcześniej dla planarnych obrazów pochodzących z badań diagnostycznych pacjentów z wykorzystaniem angiografii klasycznej [6, 7]. Obrazy takie prezentowały tętnice wieńcowe podczas badania z użyciem środka kontrastującego co pozwoliło na wizualizację występujących zmian patologicznych. Następnie przy wykorzystaniu metod lingwistyki matematycznej tworzony był uogólniony opis takiego obrazu, a wykorzystanie ciągowych gramatyk atrybutowanych pozwoliło na wykrywanie w analizowanych koronarogramach zmian patologicznych.

Przejęcie do analizy obrazów z użyciem spiralnej tomografii komputerowej, a w szczególności 64-rzędowej, wymaga użycia nowych narzędzi, gdyż obrazy tego typu w odróżnieniu od angiografii klasycznej mają charakter trójwymiarowy

struktury wizualizowanych przestrzennie naczyń wieńcowych. Dodatkowy stopień swobody, jaki daje przejście od wizualizacji 2D na rzecz 3D, wymaga zastosowania bardziej zaawansowanych narzędzi, gdyż obrazy te charakteryzują się większą liczbą widocznych szczegółów, a tym samym wzrasta ich zróżnicowanie osobnicze. Z tego też względu do opisu przestrzennej struktury unaczynienia wieńcowego zamiast gramatyk ciągowych konieczne staje się wykorzystanie silniejszych (w sensie mocy opisowej) formalizmów w postaci gramatyk grafowych. Gramatyki takie są zdecydowanie mocniejszymi narzędziami do opisu obrazów, w porównaniu z gramatykami drzewowymi lub ciągowymi. Aby możliwe było reprezentowanie analizowanej wizualizacji diagnostycznej za pomocą grafu, konieczne jest wykonanie na takiej wizualizacji szeregu operacji przetwarzania wstępnego. Jedną z takich operacji



Rys. 1. Kolejne etapy analizy i rozpoznawania występujących zmian patologicznych

Fig. 1. The next stages of analysis and recognition of pathological changes

jest operacja szkieletyzacji danej struktury, w celu znalezienia punktów rozgałęziających naczynia główne na naczynia poboczne. Znalezione w ten sposób punkty stanowią wierzchołki grafu modelującego strukturę przestrzenną tętnic wieńcowych. Krawędzie tak powstałego grafu mogą reprezentować wzajemne relacje przestrzenne między poszczególnymi tętnicami. W ten sposób otrzymuje się model grafowy badanych tętnic wieńcowych, który dokładnie odwzorowuje właściwości topologiczne badanej struktury przestrzennej.

W prowadzonych przez autorów badaniach dla tak stworzonego modelu zaproponowano gramatyki grafowe niezależnie dla lewej i prawej tętnicy, które przy odpowiednio zdefiniowanym zbiorze produkcji generują języki w postaci grafów modelujących rozważane struktury przestrzenne unaczynienia wieńcowego. Warto zaznaczyć, że dodatkowo zbiór danych obrazowych podzielono na trzy podzbiory w zależności od topologii unaczynienia wieńcowego (zrównoważony rozkład tętnic, dominująca tętnica prawa, dominująca tętnica lewa). Rozróżnienie to miało na celu uzyskanie dodatkowych informacji świadczących o istotności zagrożenia dla zdrowia pacjenta w zależności od miejsca występującej patologii w danym typie unaczynienia wieńcowego (np. przewężenie występujące w lewej tętnicy wieńcowej stanowi większe zagrożenie dla życia pacjenta w przypadku dominującej tętnicy lewej, w porównaniu do struktury charakteryzującej się dominującą tętnicą prawą). Otrzymany w ten sposób graf modelujący badaną strukturę poddawany jest na dalszych etapach szczegółowej analizie w kierunku stwierdzenia wystąpienia miejsc patologicznych w poszczególnych tętnicach, reprezentowanych przez poszczególne krawędzie grafu. W zadaniu tym wykorzystuje się ciągowe gramatyki atrybutowane, a użyta metodologia nawiązuje do wykrywania miejsc przewężeń w planarnych obrazach z angiografii klasycznej. Po wykryciu przewężenia w danej tętnicy i określeniu jego wielkości i rozległości, a także rodzaju (koncentryczne lub ekscentryczne) i następnie po skonfrontowaniu tych informacji z modelem grafowym reprezentującym całą strukturę unaczynienia wieńcowego wiemy, w której tętnicy występuje przewężenie, a zatem możemy określić przesłanki terapeutyczne odnośnie zagrożenia dla życia badanego pacjenta. Wszystkie z wymienionych informacji pozwalają także na stworzenie rekordu semantycznego zawierającego opis znaczeniowy badanej struktury. Co więcej, opisy takie mogą stanowić rodzaj kluczy indeksujących pozwalających archiwizować oraz wyszukiwać dane obrazowe. Opisana metodologia wykorzystuje zaawansowane mechanizmy lingwistyki matematycznej i została szczegółowo opisana w opublikowanych przez autorów pracach podejmujących tę tematykę [8, 9]. Kolejne kroki omawianej metodyki przedstawiono na rys. 1a i 1b.

### 3. Podsumowanie i kierunki dalszych badań

Zaprezentowane w artykule rozwiązania w szczególności dotyczą komputerowej analizy znaczeniowej przestrzennych wizualizacji uzyskanych w trakcie badań diagnostycznych z użyciem 64-rzędowej spiralnej tomografii komputerowej. Planowane dalsze prace badawcze mają na celu zaadoptowanie przedstawionych rozwiązań dla tomografii wyższego

rzędu, tj. 128-rzędowej tomografii komputerowej. Wstępne badania w tym zakresie wykazują uniwersalność zaproponowanego podejścia i szerokie możliwości zastosowania zaproponowanych rozwiązań do analizy również zobrazowań uzyskanych z tomografu wyższego rzędu. Niemniej jednak konieczne będą zaawansowane prace w tym kierunku.

W prowadzonych pracach badawczych rozpatrywany jest także aspekt wykorzystania zaproponowanych rozwiązań w zadaniach indeksacji oraz szybkiego wyszukiwania specjalistycznych danych obrazowych w medycznych, rozproszonych bazach danych. Wyszukiwanie takie mogłoby się opierać na kluczach semantycznych, co pozwoliłoby na odnalezienie przypadków, które spełniają określone warunki merytoryczne spełnione względem zawartości obrazu. Umożliwiłoby to rozwiązanie przynajmniej części problemów związanych z inteligentną archiwizacją tego typu danych w multimedialnych medycznych bazach danych oraz z wyszukiwaniem semantycznym danych obrazowych, spełniających konkretne kryteria semantyczne, zadawane przy pomocy przykładowych wzorców obrazowych.



Rys. 2. Futurystyczna adaptacja miejsca pracy radiologa [10]

Fig. 2. The futuristic adaptation of the radiologist workplace [10]

Ułatwienie pracy lekarzowi, przez udostępnienie komputerowych narzędzi wspomagających jego pracę, z pewnością wypełnia w znacznym stopniu oczekiwania przytoczone we wstępie pracy, tj. pozwoli na zmniejszenie liczby błędów medycznych, poprawę efektywności interpretacji danych obrazowych oraz usprawnienie dostępu i wymiany informacji. Dzięki tego typu rozwiązaniom w przyszłości miejsce pracy radiologa będzie znacznie bardziej przyjazne i ergonomiczne, a wizja stanowiska pracy przedstawiona na przełomie wieków przez Osmana Ratiba et al. (rys. 2) ma duże szanse realizacji [10].

Praca realizowana w ramach Badań Statutowych AGH nr 11.11.120.612.

### Bibliografia

1. Yusuf S. et al.: *Global burden of cardiovascular diseases, Part I. General considerations, the epidemiologic transition, risk factors, and impact of urbanization*. *Circulation*;104: 2001, 2746–2753,



2. *Narodowy Program Wyrównywania Dostępności do Profilaktyki i Leczenia Chorób Układu Sercowo-Naczyniowego na lata 2010–2012 POLKARD*. Ministerstwo Zdrowia, [www.mz.gov.pl].
3. Sirol M., Sanz J., Henry P. et al.: *Evaluation of 64-slice MDCT in the real world of cardiology: A comparison with conventional coronary angiography Archives of Cardiovascular Diseases*. vol. 102, Issue: 5, 2009, 433–439.
4. Ogiela M.R., Tadeusiewicz, R.: *Modern Computational Intelligence Methods for the Interpretation of Medical Images*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
5. Yin Wang, Liatsis P.: *A Fully Automated Framework for Segmentation and Stenosis Quantification of Coronary Arteries in 3D CTA Imaging*. 2009 Second International Conference on Developments in eSystems Engineering, 136–140.
6. Ogiela M.R., Tadeusiewicz R.: *Syntactic reasoning and pattern recognition for analysis of coronary artery images*. „Artificial Intelligence in Medicine”, 26, 2002, 145–159.
7. Tadeusiewicz R., Ogiela M.R.: *Medical Image Understanding Technology*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2004.
8. Trzupek M., Ogiela M.R., Tadeusiewicz R.: *Intelligent image content semantic description for cardiac 3D visualisations*. Engineering Applications of Artificial Intelligence (2011), doi:10.1016/j.engappai.2011.05.005.
9. Trzupek M.: *Semantic modelling of coronary vessel structures in computer aided detection of pathological changes*. Tjoa A M. et al. (eds.): ARES 2011, LNCS 6908, 2011, 220–227.
10. Ratib O., Valentino D.J., McCoy M.J. et al.: *Computer-aided Design and Modeling of Workstations and Radiology Reading Rooms for the New Millennium*. Radiographics. Nov.2000; 20: 1807–16. ■

### Computer recognition and understanding of pathological changes in analysis of spatial visualizations of coronary vessels

**Abstract:** In recent years, increasing emphasis is put on improving the quality and effectiveness of healthcare. To meet this challenge

there are more new, or newer generation of medical diagnostic imaging equipment. A growing number of diagnostic examination causes that doctors have to deal with an increasing number of diagnostic images associated with a given patient. To meet the expectations of reducing medical errors, improving the efficiency of the interpretation of numerous sets of visual data, and improving access, and exchange of information, it is necessary to use computer-aided diagnostic methods. This article presents both original solutions in the field of computer-aided interpretation of pathological changes visible in images obtained from diagnostic examination of coronary arteries, as well as further research directions in this area.

**Keywords:** image understanding systems, computer-aided diagnosis, intelligent medical image processing and understanding

#### mgr inż. Mirosław Trzupek

Pracownik w Katedrze Automatyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na stanowisku asystenta, rozwijający badania nad systemami automatycznej analizy i rozumienia obrazów, inteligentnymi systemami informacyjnymi, lingwistyką matematyczną i sztuczną inteligencją.

e-mail: [mtrzupek@agh.edu.pl](mailto:mtrzupek@agh.edu.pl)



#### prof. dr. hab. Marek R. Ogiela

Profesor zwyczajny na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Prowadzi badania nad kognitywnymi systemami informacyjnymi nowej generacji, a także kryptografią i podziałem sekretów. Jest członkiem wielu renomowanych towarzystw naukowych, a także autorem ponad 200 publikacji o zasięgu międzynarodowym.

e-mail: [mogiela@agh.edu.pl](mailto:mogiela@agh.edu.pl)

