

**Mirosław TRZUPEK, Marek R. OGIELA**

AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA AUTOMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ  
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

## Techniki semantycznego indeksowania obrazów medycznych na przykładzie przestrzennych rekonstrukcji unaczynienia wieńcowego

Mgr inż. Mirosław TRZUPEK

Pracownik w Katedrze Automatyki i Inżynierii Biomedycznej 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

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 250 publikacji o zasięgu międzynarodowym.



e-mail: mogiela@agh.edu.pl

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano techniki semantycznego indeksowania danych obrazowych w medycznych bazach danych z wykorzystaniem grafowych formalizmów lingwistyki matematycznej. Zaproponowane rozwiązania w głównej mierze predestynowane są do wizualizacji pochodzących z obrazowania CT (przestrzennych rekonstrukcji unaczynienia wieńcowego), niemniej jednak przedstawiona metodologia może również stanowić bazę dla innej klasy obrazów medycznych.

**Słowa kluczowe:** semantyczne indeksowanie i wyszukiwanie obrazów medycznych, systemy CBIR, systemy automatycznej analizy i rozumienia obrazów.

### Semantic techniques of image retrieval on the example of CT coronary vessels reconstructions

#### Abstract

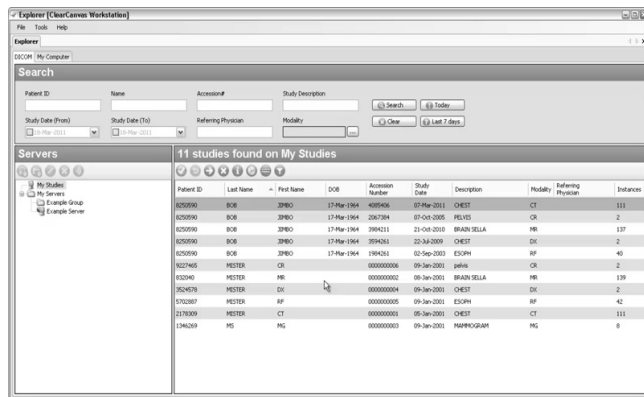
The wide spread of multimedia medical databases has shown that the problem of storing and effectively searching for images containing specific disease cases that are significant for medical diagnostics is still fraught with great difficulties. The paper presents semantic indexing techniques in medical imaging databases using graph-based mathematical linguistic formalisms. The proposed solutions are mainly predestined for visualizations obtained from diagnostic examinations with the use of computed tomography (spatial reconstructions of the coronary vascularisation), but the presented methodology can also be a basis for a different class of medical images. The first section describes the methods and limitations in the context of storing and searching for data in medical databases of contemporary systems. The second section presents the historical background and discusses examples of systems. The third section describes next steps of the proposed methodology, which is additionally shown in Fig. 3. The last section summarizes the proposed solutions in the context of other systems and indicates further research directions. The obtained results confirm the possibility of using the proposed solutions in the specialized medical databases.

**Keywords:** semantic image retrieval, content-based image retrieval (CBIR), image understanding systems, intelligent medical image processing and understanding.

## 1. Wprowadzenie

Specjalistyczne medyczne bazy danych odgrywają obecnie znaczącą rolę w archiwizacji oraz wyszukiwaniu danych porównawczych, pochodzących z różnych modalności obrazowania medycznego. Na przestrzeni ostatnich lat obrazy cyfrowe stały się nieodłączną częścią naszego życia, a stosowane na potrzeby medycyny urządzenia diagnostyki obrazowej przyczyniają się w wydatnym stopniu do zwiększenia trafności podejmowanych decyzji odnośnie stanu pacjenta, jego rokowań czy też planu leczenia.

Trudno wyobrazić sobie przebieg diagnozy i leczenia wielu schorzeń bez takich podstawowych urządzeń obrazowej diagnostyki medycznej jak RTG, CT, MRI czy USG. Dane obrazowe pochodzące z różnych modalności obrazowania medycznego pozwalają na bezinwazyjne zaglądnienie do wnętrza pacjenta, co sprawia, że popularność takich metod diagnostycznych nieustannie rośnie. Z drugiej strony, coraz większa dostępność urządzeń diagnostyki obrazowej oraz bezpośrednio z tym związany gwałtownie powiększający się zbiór obrazów generowanych przez te urządzenia, prowadzi do znacznego nagromadzenia danych obrazowych. Co więcej, z reguły nie są to pojedyncze obrazy lecz cała ich seria związana z pojedynczym badaniem. Warto choćby wspomnieć o diagnostyce z użyciem tomografii komputerowej CT, gdzie pojedyncze badanie może zawierać nawet 500 obrazów w rozdzielczości 512x512. Oczywiście w dużej mierze zależne jest to od typu urządzenia, na którym przeprowadzono badanie, jak również od rodzaju badania. Należy jednak zdawać sobie sprawę z wielkości potencjalnego zbioru danych obrazowych, jaki możliwy jest do uzyskania z wykorzystaniem nowoczesnych urządzeń obrazowej diagnostyki medycznej, a co się z tym wiąże - również z trudności jakie mogą pojawić się podczas składowania tego typu danych. Z tego też względu, aby móc w pełni wykorzystać potencjał pozyskanych obrazów, muszą być one składowane w szczególności w taki sposób, aby był do nich łatwy dostęp. Na tym polu obecnie prym wiodą systemy archiwizacji i przesyłania medycznych danych obrazowych, takie jak PACS (Picture Archiving and Communication System). Tego typu systemy odpowiedzialne są w szczególności za prawidłowe oraz bezpieczne przesyłanie, składowanie oraz udostępnianie danych obrazowych. Poważnym jednak mankamentem tych systemów jest sposób, w jaki odbywa się wyszukiwanie pojedynczych obrazów w często bardzo licznych zbiorze danych obrazowych gromadzonych w tych bazach. Najczęściej dane takie są wyszukiwane poprzez wpisanie w odpowiednich polach kryteriów w postaci danych alfanumerycznych, takich jak np.: dane osobiste pacjenta, data wykonania badania, jego opis, czy też wybór odpowiedniej modalności obrazowej (rys. 1). Widać zatem, że kryteria wyszukiwania danych obrazowych w takich systemach opierają się na ogólnych przesłankach związanych z danym badaniem, nie podejmują natomiast próby wydobycia treści zawartych w archiwizowanych obrazach, co powoduje, że otrzymane wyniki mogą być odległe od optymalnych. Z drugiej jednak strony niewątpliwą zaletą takiego sposobu przechowywania danych medycznych jest stosunkowo szybkie oraz efektywne wyszukiwanie interesujących rekordów informacji obrazowej w ogromnych zasobach specjalistycznych medycznych baz danych, które z każdym kolejnym rokiem ulegają znacznemu powiększeniu.



Rys. 1. Wyszukiwanie konkretnego przypadku w medycznej bazie danych poprzez wpisanie kryteriów w postaci danych alfanumerycznych [źródło: ClearCanvas Workstation]

Fig. 1. Searching for a specific case in a medical database by entering criteria in the form of alphanumeric data [source: ClearCanvas Workstation]

## 2. Rozwój systemów indeksowania obrazów zawartością na potrzeby medycyny

Mechanizmy indeksacji oraz wyszukiwania informacji obrazowych są powszechnie stosowane, jednak narzędzia te opierają się w głównej mierze na klasycznym, opartym o tekst sposobie wyszukiwania. W przypadku obrazów, a w szczególności specjalnej klasy jaką stanowią obrazy medyczne, nie gwarantuje to uzyskania satysfakcjonujących wyników, stąd ciągłe prace nad rozwojem innych technik indeksowania oraz wyszukiwania danych obrazowych w postaci rozwoju systemów indeksowania obrazów zawartością.

Początki prac nad tego typu systemami sięgają lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia, gdzie manualnie opisywano zawartość obrazów, a następnie przy użyciu aparatu bazodanowego możliwe było przeszukiwanie takiego zbioru. Prace te zostały zintensyfikowane w latach dziewięćdziesiątych (gwałtownie rosnąca ilość danych obrazowych w postaci cyfrowej), co powodowało konieczność poszukiwania nowych efektywnych metod składowania, indeksowania oraz dostępu do tych danych [1, 2, 3]. Dodatkowym czynnikiem, który wzmacniał ten trend, był gwałtowny rozwój technik komputerowych, który w obszarze medycyny miał bezpośrednie przełożenie na powstawanie nowych i coraz bardziej zaawansowanych urządzeń obrazowej diagnostyki medycznej. Ponadto stale rosnąca moc obliczeniowa komputerów pozwoliła na podjęcie problemów związanych z analizą obrazów cyfrowych, które wcześniej nie były możliwe do rozwiązania ze względu na ich dużą złożoność obliczeniową (np. przekształcenia morfologiczne). Ta ogromna ilość danych zawarta w specjalistycznych medycznych bazach danych wymaga z kolei tworzenia coraz to efektywniejszych algorytmów indeksowania oraz wyszukiwania konkretnych przypadków. W tym zakresie z pomocą przychodzi systemy CBIR (Content-based image retrieval), wykorzystujące ideę wyszukiwania obrazów według zawartości. Najczęściej wykorzystuje się w nich technikę zapytania za pomocą obrazu QBIC (Query by Image Content), w której użytkownik podaje (lub rysuje) przykładowy obraz, a system wyszukuje podobne do zadanego wzorca obrazy zgromadzone w bazie danych. Systemy CBIR takie jak QBIC [4] pozwalają na wyszukiwanie obrazów w oparciu o wizualne cechy, takie jak np. kolor, tekstura, kształt (rys. 2).

Innym bardziej wysublimowanym sposobem przeszukiwania zbiorów danych obrazowych jest podejście polegające na próbie wnikięcia w treść danego obrazu, z wykorzystaniem jego cech semantycznych (np. typ obiektu, rodzaj zdarzenia przedstawionego na obrazie), co w przypadku obrazów medycznych ma niebagatelne znaczenie, gdyż w szczególności dla tego typu zobrazowań, komputer musi próbować wnikać w znaczenie obserwowanych na obrazie zmian, nie poprzestając jedynie na samej analizie ich formy. W artykule [5] wprowadzono właśnie takie 2-poziomowe

rozróżnienie w postaci cech podstawowych oraz semantycznych. Jest to o tyle ważne, że obrazy medyczne należą do specyficznej klasy danych obrazowych, gdzie wizualnie bardzo podobne obrazy mogą zawierać zupełnie inną treść. Krok dalej posunięto się w artykule [6], wprowadzając 3-poziomowe rozróżnienie (cechy podstawowe, logiczne oraz abstrakcyjne), gdzie dodatkowo każdy poziom można podzielić na kolejne podpoziomy. Obecnie trwają prace nad wieloma systemami, które mają za zadanie analizę obrazu i wyodrębnienie jego zawartości [7, 8, 9, 10], należy jednak zaznaczyć, że zdecydowana mniejszość proponowanych rozwiązań przewidziana jest do wykorzystania w medycznych bazach danych.



Rys. 2. Projekt QBIC firmy IBM w Almaden Research Center  
 Fig. 2. The project QBIC at IBM's Almaden Research Center

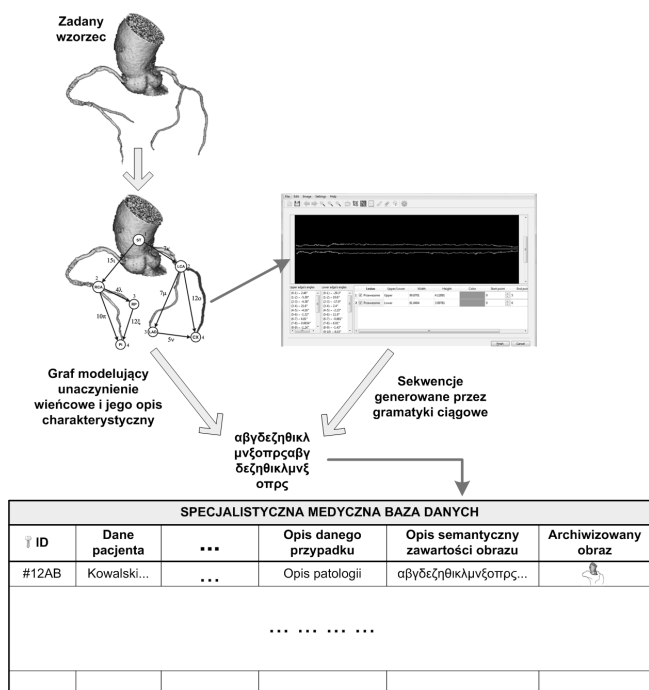
W tym kontekście, w niniejszym artykule, zaprezentowane zostaną sposoby semantycznego indeksowania obrazów w medycznych bazach danych w oparciu o ich cechy semantyczne z wykorzystaniem grafowych formalizmów lingwistyki matematycznej. Tak postawione zagadnienie nadal napotyka na szereg nierozwiązanych problemów. Autorzy tego opracowania przedstawiają propozycję, która będzie dotyczyć pewnej klasy obrazów (przestrzennych rekonstrukcji unaczynienia wieńcowego), pochodzących z badań diagnostycznych z użyciem tomografii komputerowej CT.

## 3. Techniki semantycznego indeksowania obrazów medycznych dla zobrazowań tomograficznych unaczynienia wieńcowego

W tej części pracy zostanie zaprezentowana metodologia automatycznego tworzenia semantycznych opisów dla obrazów przechowywanych w multimedialnych medycznych bazach danych. Metodologia ta będzie opierać się o metody semantycznej interpretacji tętnic wieńcowych serca, które były stosowane w opisie i rozpoznawaniu zmian patologicznych na obrazach unaczynienia wieńcowego we wcześniejszych pracach autorów [11, 12]. Zbiór danych obrazowych będą stanowić obrazy pochodzące z badań diagnostycznych z użyciem tomografii komputerowej (CT).

Ważnym etapem tworzenia sekwencji opisujących obrazy znajdujące się w bazie danych jest sposób efektywnej transformacji informacji obrazowej zawartej w tych obrazach. Informacja taka, która jest z łatwością przyswajana przez człowieka, musi zostać przekonwertowana do postaci maszynowej, umożliwiającej inteligentną i semantyczną selekcję konkretnego przypadku, która z kolei jest łatwo przyswajana przez komputer. Takim mechani-

zmem mogą być zaproponowane formalizmy gramatyczne strukturalnej analizy obrazów, gdzie analizowany obraz traktowany jest jako hierarchiczna struktura składająca się z tzw. składowych pierwotnych. Ułatwia to znaczeniowe pogrupowanie zobrazowań, ze względu na treść a nie formę. We wcześniejszych pracach autorów zaproponowano użycie gramatyk grafowych do opisu i modelowania przestrzennych rekonstrukcji unaczynienia wieńcowego [11, 12]. Tego typu gramatyki generują język formalny w postaci grafów, które mogą modelować rozważane tutaj obrazy, a z kolei otrzymane grafy mogą być reprezentowane w postaci ich opisów charakterystycznych. Wykorzystując zatem przedstawiony mechanizm, możliwa jest transformacja informacji obrazowej zawartej w obrazach do postaci maszynowej w postaci opisu charakterystycznego modelujących unaczynienie wieńcowe grafów. Oczywiście wykorzystanie formalizmów gramatycznych otwiera również szereg innych możliwości jakie można wykorzystać przy indeksowaniu obrazów z wykorzystaniem zastosowanych gramatyk. W tej pracy, w odróżnieniu od wcześniejszego opracowania [13], skoncentrowano się właśnie na możliwości wykorzystania dodatkowych atrybutów, które mogą zostać pozyskane z obrazu przy wykorzystaniu wprowadzonych mechanizmów lingwistycznych. Takimi atrybutami mogą być np. sekwencje numerów reguł wyprowadzających dla danej gramatyki zdefiniowane zbiorem produkcji, jak również sekwencje generowane przez gramatyki ciągowe, użyte do reprezentacji wykresów szerokości poszczególnych naczyń wieńcowych, reprezentowanych przez krąwędzie modelującego unaczynienie wieńcowe grafu (rys. 3).



Rys. 3. Wyszukiwanie informacji w semantycznie indeksowanej specjalistycznej medycznej bazie danych na podstawie zadanego wzorca

Fig. 3. Searching for information in a semantically-indexed specialised medical database by reference to a set pattern

Wyszukiwanie semantyczne sprowadza się w takim przypadku do porównania sekwencji w postaci semantycznych opisów, reprezentujących treść poszczególnych obrazów znajdujących się w bazie danych z sekwencją reprezentującą semantyczny opis zadanego wzorca. Dla obrazu wejściowego, który stanowi zadany wzorzec poszukiwań, konieczne jest również utworzenie semantycznego opisu zgodnie z przedstawioną metodologią. Ponieważ zdefiniowany w ten sposób mechanizm powinien generować wyniki, które będą dokładnie odpowiadać zadanemu wzorcowi, istnieje ryzyko że mogą to być tylko pojedyncze obrazy. Aby uniknąć takich sytuacji, warto określić próg podobieństwa pomiędzy sekwencją opisu semantycznego reprezentującą dane umiesz-

czony w bazie a sekwencją reprezentującą zadany wzorzec. W ten sposób co prawda zwiększamy ryzyko otrzymania rezultatów, które nie do końca mogą nas satysfakcjonować, ale jednocześnie zwiększamy liczebność wyników zbliżonych do zadanego wzorca. W przypadku zobrazowań medycznych, kolejne zbliżone wyniki mogą być dodatkowym elementem wspomagającym pracę lekarza. Formalna definicja progu podobieństwa pomiędzy sekwencjami kluczy indeksujących będzie tematyką dalszych badań w tym zakresie.

Na koniec warto zaznaczyć, że strukturalny opis zawartości obrazu z wykorzystaniem przedstawionych formalizmów lingwistycznych w medycznych bazach danych jest opisem bardziej jednoznaczny w porównaniu do tradycyjnych metod opisu z wykorzystaniem np. koloru czy też tekstury. Jest to o tyle istotne, że ma to bezpośredni wpływ na wyniki wyszukiwania w multimedialnych bazach danych, co objawia się wyższą korelacją otrzymanych wyników z zadanym wzorcem.

#### 4. Podsumowanie oraz dalsze kierunki badawcze

Obecnie istniejące systemy indeksowania obrazów zawartością mają kilka istotnych wad, które ograniczają możliwość ich użycia w pełnym zakresie. Przede wszystkim większość z nich bazuje na opisie alfanumerycznym utworzonym przez człowieka, a ten nie zawsze bywa doskonały. Często brakuje w nim istotnych z obiektywnego punktu widzenia informacji, a nierzadko pojawiają się w takich opisach błędy. Również nagłówki plików DICOM mogą zawierać stosunkowo wysoki odsetek błędów [14], co może utrudniać prawidłowe odnalezienie pożądanego obrazu. W takiej sytuacji, próba odnalezienia podobnego obrazu (pod względem treści a nie formy) w przypadku obszernych baz danych indeksowanych alfanumerycznie powoduje wyszukanie dużej liczby obrazów, których treść może nie być wystarczająco skorelowana z zadanym wzorcem. Widać zatem, że dostarczenie lekarzowi odpowiednich narzędzi, pozwalających na semantyczne indeksowanie baz danych za pomocą przykładowego wzorca obrazowego, może spowodować zwiększenie trafności otrzymanych rezultatów wyszukiwania, a tym samym przyczynić się do podniesienia trafności podejmowanych przez niego decyzji diagnostycznych.

Często systemy, które swoje działanie opierają na ekstrakcji cech wizualnych, są w stanie przetworzyć atrybuty niskopoziomowe (kolor, tekstura, kształt, itp.), bez możliwości określenia cech wysokopoziomowych (typy obiektów, powiązania pomiędzy obiektami, itp.), a jeśli nawet to potrafią, to z reguły dla bardzo wąskiej klasy obrazów. Zdarzają się również sytuacje, że system pomimo że jest dedykowany dla szerszej grupy obrazów, lepiej radzi sobie z wzorcami należącymi do jednej klasy, a gorzej z wzorcami należącymi do innej klasy, dla której zaimplementowane mechanizmy wykazują gorsze dopasowanie [10]. W tym kontekście zaprezentowane w niniejszym artykule sposoby semantycznego indeksowania oraz wyszukiwania obrazów w medycznych bazach danych na przykładzie zobrazowań tomograficznych CT unaczynienia wieńcowego serca, stanowią istotny przyczynek do rozwiązania chociaż części problemów związanych z efektywnym składowaniem, indeksowaniem oraz dostępem do tego typu danych. Przedstawione rozwiązania dotyczą tylko wybranej klasy obrazów diagnostycznych, niemniej jednak mogą one stanowić również bazę dla innej klasy obrazów medycznych, oczywiście po uprzednim zaadaptowaniu przedstawionej metodologii, np.: cechy ilościowe wyszukane za pomocą metody zaproponowanej w [15] mogą zostać wykorzystane do indeksowania obrazów perfuzji mózgowej (CTP). Autorzy opracowania podejmują zarówno próby w tym zakresie, jak również pracują nad przezwyciężeniem innych problemów, które zostały zasygnalizowane w niniejszym artykule.

## 5. Literatura

- [1] Eakins J.P.: Towards intelligent image retrieval. *Pattern Recognition* 35, 3-14, 2002.
- [2] Müller H., et al.: A review of content-based image retrieval systems in medical applications-clinical benefits and future directions. *I. J. Medical Informatics* 73 (1), 1-23, 2004.
- [3] Lew M.S., Sebe N., Djeraba C., Jain R.: Content-based multimedia information retrieval: State of the art and challenges. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMCCAP)*, v.2 n.1, p.1-19, 2006.
- [4] Niblack W.R., et al.: The QBIC project: querying images by color, texture and shape. *IBM Research Report RJ-9203*, 1993.
- [5] Gudivada V.N., Raghavan V.V.: Content-based image retrieval systems. *IEEE Comput.* 28 (9), 18-22, 1995.
- [6] Eakins J.P.: Techniques for image retrieval, *Library and Information Briefings* 85, British Library and South Bank University, London, 1998.
- [7] Datta R., Joshi D., Li J., Wang J.Z.: Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age. *ACM Computing Surveys*, vol. 40, no. 2, article 5, pp. 5:1-60, 2008.
- [8] Deselaers T., Keysers D., Ney H.: Features for Image Retrieval: An Experimental Comparison. *Information Retrieval*, Vol. 11. Issue 2, pp. 77-107, 2008.
- [9] Depeursing A., Fischer B., Müller H., Deserno T.M.: Prototypes for Content-Based Image Retrieval in Clinical Practice. *The Open Medical Informatics Journal*, (Suppl 1-M7), (5)58-72, 2011.
- [10] Ghosh P., Antani S., Long L.R., Thoma G.R.: Review of medical image retrieval systems and future directions. *CBMS*: 1-6, 2011.
- [11] Trzupek M., Ogiela M.R., Tadeusiewicz R.: Formalizmy lingwistyki matematycznej w komputerowym wspomaganiu detekcji zmian chorobowych unaczynienia wieńcowego. *Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 58, nr 2/2012, str. 206 - 209.
- [12] Trzupek M., Ogiela M.R., Tadeusiewicz R.: Intelligent image content semantic description for cardiac 3D visualizations. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24, pp. 1410-1418, 2011.
- [13] Trzupek M., Ogiela M.R.: Semantic techniques of image retrieval – the example of a structural analysis of coronary arteries. *LNCS 7465*, pp. 460-467, 2012.
- [14] Güld M.O. et al.: Quality of DICOM header information for image categorization, in: *Proceedings of the International Symposium on Medical Imaging*, vol. 4685, San Diego, CA, USA, pp. 280-287, 2002.
- [15] Hachaj T.: Pattern Classification Methods for Analysis and Visualization of Brain Perfusion CT Maps, *Computational Intelligence Paradigms in Advanced Pattern Classification* (Eds. Ogiela, Marek R.; Jain, Lakhmi C), *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 386, p. 145-170, 2012.

otrzymano / received: 17.10.2012

przyjęto do druku / accepted: 03.12.2012

artykuł recenzowany / revised paper

## INFORMACJE

### Informacja redakcji dotycząca artykułów współautorskich

W miesięczniku PAK od numeru 06/2010 w nagłówkach artykułów współautorskich wskazywany jest autor korespondujący (Corresponding Author), tj. ten z którym redakcja prowadzi wszelkie uzgodnienia na etapie przygotowania artykułu do publikacji. Jego nazwisko jest wyróżnione drukiem pogrubionym. Takie oznaczenie nie odnosi się do faktycznego udziału współautora w opracowaniu artykułu. Ponadto w nagłówku artykułu podawane są adresy korespondencyjne wszystkich współautorów.

Wprowadzona procedura wynika z międzynarodowych standardów wydawniczych.

Redakcja

## Zapraszamy do publikacji artykułów naukowych w czasopiśmie PAK

WYDAWNICTWO PAK  
ul. Świętokrzyska 14A, pok. 530, 00-050 Warszawa,  
tel./fax: 22 827 25 40

Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA  
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 30b,  
tel./fax: 32 237 19 45, e-mail: [wydawnictwo@pak.info.pl](mailto:wydawnictwo@pak.info.pl)