

Artur BAL

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI

Poszukiwanie odpowiedniości elementów obrazów poprzez poszukiwanie klik optymalnych

Dr inż. Artur BAL

Autor jest absolwentem Politechniki Śląskiej, gdzie obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Automatyki. Jego zainteresowania badawcze obejmują m.in. zagadnienia widzenia maszynowego i komputerowego, w tym zwłaszcza: stereowizję, segmentację obrazów, wizualną archiwizację obiektów, odwzorowanie i reprodukcję barw. Prywatnie: miłośnik zabytków techniki i muzyki dawnej, w wolnej chwili fotografuje i zwiedza.



e-mail: artur.bal@polsl.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono idee trzech nowych, wykorzystujących informację o strukturze, metod poszukiwania niedokładnej odpowiedniości elementów obrazów. Metodami tymi są metoda: jednokrokowa, iteracyjna i wieloetapowa. Problem poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów został w nich sprowadzony do problemu określenia niedokładnej odpowiedniości odpowiednio zdefiniowanych grafów. Na potrzeby rozwiązania tego zadania opracowano metodę poszukiwania odpowiedniości grafów przez poszukiwanie klik optymalnych. Jako przykład zastosowania prezentowanych metod przedstawiono ich wykorzystanie w zadaniu poszukiwania stereokorespondencji.

Słowa kluczowe: elementy obrazu, poszukiwanie wzorca, graf

Image element matching by optimal clique finding

Abstract

In this paper the idea of three novel (i.e. one-step, iterative and multistage method), using structural information, methods for finding inexact correspondence of image elements is presented. In those methods the task of matching image elements is reduced to the problem of inexact graph matching in accordingly defined graphs. For this problem solving new method of finding graph matching by optimal clique finding in respectively defined association graph was developed. As an example of practical usage of the described methods, their application in problem of stereomatching is presented.

Keywords: image analysis, pattern definition, graph

1. Wprowadzenie

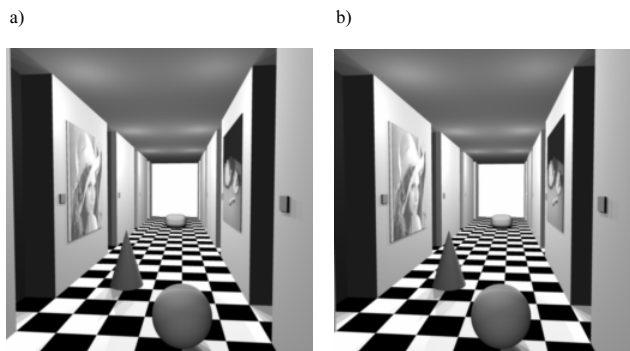
Problem poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów [3, 10] należy do najważniejszych problemów widzenia maszynowego. Rola tego problemu jest konsekwencją znaczenia rzeczywistych zadań, do których rozwiązania konieczna jest wiedza o odpowiedniości elementów obrazów. Przykładami takich zadań są m.in. zadania: klasyfikacji, poszukiwania wzorca, stereokorespondencji, przeszukiwania obrazowych baz danych. Najtrudniejszym zadaniem spośród wymienionych jest zadanie poszukiwania stereokorespondencji — zadanie to jest również jednym z najtrudniejszych zadań widzenia maszynowego [4]. Na przykładzie rozwiązania tego zadania w pracy zaprezentowana została nowa rodzina metod, które mogą zostać zastosowane do rozwiązania szerokiej klasy zadań wymagających wiedzy o odpowiedniości elementów obrazów. W metodach tych zadanie poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów zostało przeformułowane do zadania poszukiwania odpowiedniości elementów odpowiednio zdefiniowanych grafów. Do określenia odpowiedniości tych grafów opracowano nowe podejście w postaci poszukiwania klik optymalnych w odpowiednio określonym grafie skojarzeniowym. Podejście to jest uogólnieniem metody poszukiwania odpowied-

ności grafów przez poszukiwanie największych klik w odpowiednio zdefiniowanym grafie.

Wspomniane powyżej zagadnienia zostały w pracy przedstawione w następującym porządku. Rozdział 2 przedstawia zarys problemu stereokorespondencji, rozdział 3 zawiera uwagi na temat znaczenia struktury w procesie poszukiwania odpowiedniości. Kolejny, 4 rozdział prezentuje nowe metody poszukiwania odpowiedniości. Ostatni rozdział zawiera krótkie podsumowanie wyników, jakie zostały uzyskane do tej pory.

2. Stereokorespondencja — zarys problemu

Celem poszukiwania *odpowiedniości stereometrycznej (stereokorespondencji, ang. stereomatching)* jest określenie odpowiedniości elementów należących do pary obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 tworzących tzw. *stereoparę* (rys. 1). Elementy obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 odpowiadają sobie, jeżeli są rzutem tego samego elementu sceny 3D (tzn. np. punktu, krawędzi, obszaru) na płaszczyzny tych obrazów. Ze względu na to, że obrazy tworzące parę stereo pozyskiwane są z różnych punktów przestrzeni otaczającej analizowaną scenę 3D pomiędzy obrazami \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 zachodzą różnice, które umożliwiają rekonstrukcję części relacji przestrzennych występujących w tej scenie. Aby dokonanie takiej rekonstrukcji było możliwe konieczne jest ustalenie relacji odpowiedniości między elementami obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 . Przegląd rozwiązań tego zagadnienia zawierają m.in. prace [2, 5, 7].



Rys. 1. Przykładowa stereopara CORRIDOR — a) obraz lewy, b) obraz prawy
Fig. 1. Example of stereoimage CORRIDOR — a) left image, b) right image

Celem poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów $e_k^1 \in \mathbb{O}_1$ i $e_i^2 \in \mathbb{O}_2$ jest znalezienie zdefiniowanego poniżej zbioru ω uporządkowanych par tych elementów:

$$\omega = \left\{ (e_i^1, e_j^2) \mid \forall_{(e_a^1, e_b^2) \in \omega} M(e_a^1, e_b^2) = true \wedge \forall_{(e_r^1, e_s^2) \in \mathbb{O}_1 \times \mathbb{O}_2 \setminus \omega} M(e_r^1, e_s^2) = false \right\} \quad (1)$$

gdzie $M(e_k^1, e_i^2)$ jest predykatem określającym czy elementy e_k^1 i e_i^2 są rzutami tego samego fragmentu analizowanej sceny 3D, a zatem predykat ten zwraca prawdę jeżeli e_k^1 i e_i^2 rzeczywiście sobie odpowiadają. Praktyczne wykorzystanie tego podejścia do poszukiwania odpowiedniości, ze względu na brak możliwości znalezienia rozwiązania dokładnego wymaga stosowania przybliżonych metod rozwiązania tego problemu. Ich idea polega na poszukiwaniu jak najlepszego przybliżenia zbioru ω , w postaci

zbioru $\tilde{\omega}_{opt} = \{(e_i^1, e_j^2)\}$, poprzez poszukiwanie ekstremum odpowiednio zdefiniowanego wskaźnika jakości $\Delta(\tilde{\omega})$. Jego wartość wyznaczana jest na podstawie cech wyekstrachowanych w obrazach.

W przypadku poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów stereo stosowanie opisanych powyżej metod jest znacznie utrudnione przez właściwości obrazów stereo. Tak jak wcześniej wspomniano występowanie różnic między obrazami \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 jest niezbędne do odtworzenia relacji przestrzennych zachodzących w analizowanej scenie, równocześnie jednak różnice te powodują, że ustalenie stereokorespondencji między elementami obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 jest trudnym zadaniem. Konsekwencją akwizycji obrazów z różnych punktów przestrzeni 3D jest to, że ten sam element analizowanej sceny inaczej wygląda na każdym z obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 . Zróżnicowaniu podlegają jednak nie tylko rzuty poszczególnych elementów sceny — zmiany dotyczą również rzutów otoczeń tych elementów. Z punktu widzenia poszukiwania odpowiedniości istotne jest, że zróżnicowanie odpowiadających elementów obrazów, jak również ich otoczeń, wpływa na zróżnicowanie opisujących je cech. Kolejną konsekwencją konieczności akwizycji obrazów stereo z różnych punktów przestrzeni 3D jest zjawisko wzajemnego, zarówno częściowego jak i pełnego, przesłaniania się poszczególnych elementów sceny 3D, które uwiadcza się z różnym nasileniem na obu obrazach. Jakościowym skutkiem różnej realizacji pełnego przesłaniania na obrazach \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 oraz uwidocznienia na nich częściowo różnych fragmentów analizowanej sceny jest brak wiedzy o tym, które elementy jednego obrazu mają swoje odpowiedniki w drugim obrazie.

Występowanie wymienionych powyżej zjawisk powoduje, że rozwiązanie zadania stereokorespondencji, w ogólnym przypadku, wymaga dużego nakładu obliczeniowego. Metodą jego zmniejszenia jest stosowanie założeń upraszczających [2] — w praktyce nie zawsze jest to jednak możliwe. Konieczne jest zatem poszukiwanie metod, które mogą być stosowane, gdy założenia upraszczające nie są lub nie mogą być stosowane. Prezentowane w niniejszej pracy metody poszukiwania odpowiedniości zostały opracowane zgodnie z takim paradygmatem.

3. Rola struktury w zadaniu poszukiwania odpowiedniości

Analiza różnic występujących między obrazami tworzącymi parę stereo pokazuje, że różnice te dotyczą raczej lokalnych cech obrazów niż ich cech globalnych. Ponadto zmiany występujące w otoczeniach odpowiadających sobie elementów tych obrazów tylko w stosunkowo niewielkim stopniu wpływają na odpowiednio zdefiniowane struktury tych obrazów. *Struktura obrazu* rozumiana jest tutaj jako zbiór wybranych elementów obrazu (np. obszarów) wraz z pewnym zbiorem wybranych relacji zachodzących między nimi. Wyniki te zostały zastosowane przy opracowywaniu prezentowanych w pracy metod poszukiwania odpowiedniości na etapie doboru struktur obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 , na podstawie których prowadzony będzie proces poszukiwania odpowiedniości.

Dogodną reprezentacją struktury obrazu jest graf — elementy obrazu reprezentowane są zwykle przez wierzchołki grafu a relacje między elementami reprezentują jego krawędzie. Ponadto do wierzchołków i krawędzi mogą zostać przypisane odpowiednio zdefiniowane atrybuty opisujące wybrane cechy, odpowiednio, elementów i relacji występujących w obrazie. Dzięki takiej prezentacji struktury obrazu możliwe jest przeformułowanie zadania poszukiwania odpowiedniości z dziedziny obrazów do dziedziny grafów. Podstawowym problemem, przy takim podejściu, jest konieczność poszukiwania tzw. (*strukturalnie*) *niedokładnej odpowiedniości grafów* (ang. *structural inexact graph matching*) tj. poszukiwanie odpowiedniości elementów grafów w przypadku,

gdy grafy te różnią się swoją strukturą jak i wartościami przypisanych do nich atrybutów [6, 10]. W przypadku obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 tworzących parę stereo zróżnicowanie grafów G_1 i G_2 jest konsekwencją zróżnicowania tych obrazów wynikającą ze sposobu ich pozyskania. Do poszukiwania odpowiedniości grafów o różnych strukturach w literaturze proponowane są algorytmy bazujące na idei *edycji grafów* (ang. *graph edit*) [9, 11, 12]. Poszukiwanie odpowiedniości grafów zgodnie z tym podejściem polega na przekształceniu poprzez operacje zamiany, kasowania i wstawiania zarówno wierzchołków jak i krawędzi jednego lub obu analizowanych grafów do takiej postaci, aby grafy te były izomorficzne lub izomorficzne były ich podgrafy. Istotnymi wadami takiego rozwiązania jest brak dedykowanych (a zatem szybkich) metod jego rozwiązania oraz dosyć utrudnione dostosowywanie takich algorytmów do nowych zadań.

4. Nowe metody poszukiwania odpowiedniości

W wyniku prowadzonych prac opracowane zostały trzy metody poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów tj. metoda: *jednokrokowa*, *iteracyjna* i *wieloetapowa*. Dla skupienia uwagi przyjęto, że elementami obrazów, dla których poszukiwana będzie odpowiedniości będą obszary. Takie sformułowanie zadania poszukiwania odpowiedniości wymaga, aby proces ten został poprzedzony segmentacją analizowanej pary obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 . Wynikiem segmentacji jest para obrazów $O_1 = \{o_i^1\}$ i $O_2 = \{o_j^2\}$, gdzie o_i^1 i o_j^2 są utworzonymi obszarami. Poszukiwanie odpowiedniości elementów obrazów w proponowanych metodach realizowane jest w dziedzinie grafów stąd też kolejnym krokiem po segmentacji jest utworzenie modeli obrazów O_1 i O_2 w postaci pary atrybutowych grafów G_1 i G_2 odpowiadających tym obrazom. Grafy te zawierają informacje o wybranych cechach obszarów o_i^1 i o_j^2 oraz o cechach wybranych relacji zachodzących między parami obszarów $(o_k^1, o_l^2) \in O_1 \times O_2$. W odróżnieniu od rozwiązań prezentowanych w literaturze grafy G_1 i G_2 są grafami pełnymi, co pozwoliło na zawarcie w nich informacji o relacjach zachodzących między wszystkimi, a nie tylko wybranymi, parami obszarów obrazów O_1 i O_2 . Takie rozwiązanie pozwoliło na znaczne zmniejszenie wpływu lokalnych zmian relacji między obszarami na wynik poszukiwania odpowiedniości w porównaniu do rozwiązań, w których uwzględniane są jedynie relacje między wybranymi parami elementów obrazów.

Inspiracją do opracowania prezentowanych w pracy nowych metod poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów był opracowany przez G. Leviego algorytm poszukiwania odpowiedniości dla pary dowolnych grafów G_α i G_β [8]. Poszukiwanie odpowiedniości grafów zostało w tym algorytmie sprowadzone do poszukiwania *największej klik* (tj. podgrafu pełnego danego grafu o największej liczbie wierzchołków) w odpowiednio zdefiniowanym grafie skojarzeniowym G_A . Proponowane przez Leviego rozwiązanie nie pozwala jednak na poszukiwanie niedokładnej odpowiedniości grafów, a także nie uwzględnia w procesie poszukiwania odpowiedniości atrybutów ilościowych przypisanych do grafów G_α i G_β . Brak tych możliwości powoduje, że z punktu widzenia zadania poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów algorytm Leviego jest w praktyce nieużyteczny. Z drugiej jednak strony dzięki przeformułowaniu zadania poszukiwania odpowiedniości grafów do zadania poszukiwania największej klik w grafie G_A otwarta została droga do wykorzystania szybkich dedykowanych algorytmów poszukiwania klik w zadaniu poszukiwania odpowiedniości, co ma niebagatelne znaczenie praktyczne. Ze względu na ten fakt podjęta została próba uogólnienia algorytmu Leviego na przypadek poszukiwania niedokładnej

odpowiedności grafów. Rozwiązanie tego problemu pozwoliło na opracowanie nowych metod poszukiwania odpowiedności obrazów, które są prezentowane poniżej.

Metoda jednokrokowa

W metodzie jednokrokowej poszukiwanie odpowiedności grafów na potrzeby zadania poszukiwania odpowiedności elementów obrazów realizowane jest poprzez poszukiwanie w atrybutowym grafie skojarzeniowym G_A klikki optymalnej q_{opt} — jej znalezienie jest równoznaczne ze znalezieniem rozwiązania zadania poszukiwania odpowiedności elementów obrazów. Opracowane rozwiązanie pozwala na poszukiwanie niedokładnej odpowiedności elementów grafów, a tym samym pozwala na poszukiwanie niedokładnej odpowiedności elementów obrazów. Graf G_A tworzony jest na podstawie grafów G_1 i G_2 , a jego wierzchołki v_i reprezentują parę potencjalnie odpowiadających sobie wierzchołków (v_a^1, v_b^2) tych grafów. Atrybuty Δ_i^V i Δ_{ij}^E przypisane, odpowiednio, do wierzchołków v_i i krawędzi e_{ij} grafu G_A reprezentują różnicę wartości cech przypisanych do odpowiednich wierzchołków i krawędzi grafów G_1 i G_2 . Utworzenie dowolnej klikki $q = \{v_i\}$ w grafie G_A związane jest następującym kosztem

$$\Delta(q) = \sum_{v_i \in q} \Delta_i^V + \sum_{e_{ij} \in q} \Delta_{ij}^E. \quad (2)$$

Wartość $\Delta(q)$ można traktować jako ocenę błędu dopasowania par wierzchołków G_1 i G_2 reprezentowanych przez $v_i \in q$. Rozwiązanie zadania poszukiwania odpowiedności, czyli klikki q_{opt} , minimalizuje następujący funkcjonal

$$q_{opt} = \arg \min_{\hat{q}=\hat{Q}} [\Delta(\hat{q})], \quad (3)$$

gdzie

$$\hat{Q} = \{\hat{q} : \forall_{q \neq \hat{q}} |\hat{q}| > |q| \mid \Delta(\hat{q}) < \infty \wedge \Delta(q) < \infty\}; \quad (4)$$

$|q|$ liczba wierzchołków tworzących daną klikkę; $q, \hat{q} \in G_A$. Dzięki takiemu sformułowaniu warunków jakie musi spełniać rozwiązanie i odpowiedniemu zdefiniowaniu wzorów na Δ_i^V i Δ_{ij}^E [1] znajdujemy rozwiązanie spełniające dwa, trudne do pogodzenia wymagania tzn.: i) maksymalizację liczby odpowiadających sobie par elementów oraz ii) minimalizację łącznego błędu dopasowania, który rośnie wraz z liczbą znalezionych par elementów. Ostatnią operacją jaką należy wykonać jest przeniesienie wyniku poszukiwania odpowiedności z dziedziny grafów do dziedziny obrazów.

Metoda iteracyjna

Rozwinięciem metody jednokrokowej jest metoda iteracyjna. W metodzie tej poprzez rekurencyjne powtarzanie procesu poszukiwania odpowiedności metodą jednokrokową i odpowiedni dobór w każdym kroku parametrów wymaganych przy wyznaczaniu wartości Δ_i^V i Δ_{ij}^E uzyskano efekt propagacji rozwiązania na kolejne obszary. Należy podkreślić, że propagacja rozwiązania w tym przypadku nie jest ograniczona relacjami geometrycznymi występującymi w obrazach. Rozwiązania q_{opt_i} otrzymane dla kolejnych kroków iteracji i spełniają następujący warunek (I_{max} liczba iteracji)

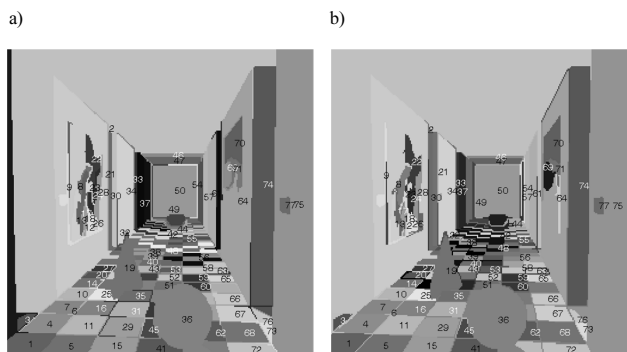
$$\forall_{i \in \{1, \dots, I_{max}-1\}} q_{opt_i} \subseteq q_{opt_{i+1}}. \quad (5)$$

Metoda wieloetapowa

W ostatniej z opracowanych metod, tj. metodzie wieloetapowej, wykorzystano możliwość segmentacji obrazów \mathbb{O}_1 i \mathbb{O}_2 z różną dokładnością segmentacji (cecha ta określa zdolność danej realizacji segmentacji do zachowania w obrazach wynikowych informacji o określonej wielkości szczegółach występujących w oryginalnym obrazie). Istotą metody wieloetapowej jest rekurencyjne stosowanie, na kolejnych jej etapach, wiedzy o odpowiedności obszarów na poziomie h do poszukiwania odpowiedności obszarów na poziomie $h+1$ (wzrost h oznacza wzrost dokładności segmentacji, wartość h reprezentuje również numer etapu metody wieloetapowej). Dzięki takiej organizacji procesu poszukiwania odpowiedności nakład obliczeniowy jaki potrzebny jest do poszukiwania odpowiedności na poziomie h (dla $h > 1$) w metodzie wieloetapowej jest znacznie mniejszy niż to ma miejsce w metodzie iteracyjnej. Realizacja takiego podejścia była możliwa dzięki zastosowaniu, opisanego w [1], iteracyjnej równoległej metody segmentacji, której wyniki spełniają następujący warunek

$$\forall_{h \in \{1, \dots, H\}} \forall_{o_i^h \in O_i^h} \exists_{o_j^{h-1} \in O_j^{h-1}} o_i^h \subseteq o_j^{h-1}, \quad (6)$$

gdzie o_i^h obszar należący do obrazu O_i^h będącego wynikiem segmentacji obrazu \mathbb{O}_i z poziomem dokładności h , zapis $o_i^h \subseteq o_j^{h-1}$ oznacza, że wszystkie piksele obrazu \mathbb{O}_i , które należą do obszaru o_i^h należą również do obszaru o_j^{h-1} ; indeks $I = \{1, 2\}$ reprezentuje numer obrazu. Do poszukiwania odpowiedności na kolejnych etapach metody wieloetapowej stosowana jest metoda iteracyjna. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki poszukiwania odpowiedności metodą wieloetapową. Obszarom, których odpowiedność została ustalona przydzielony został ten sam numer, a do ich wyróżnienia w obrazie zastosowano tą samą barwę.



Rys. 2. Wynik poszukiwania odpowiedności metodą wieloetapową dla stereopary CORRIDOR

Fig. 2. Result of image matching using multistage method for stereoisage CORRIDOR

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują na dużą skuteczność prezentowanych w pracy metod poszukiwania odpowiedności. Istotny wpływ na jakość i czas otrzymywanych wyników ma zastosowanie w opracowanych metodach trzech rozwiązań w postaci: i) wykorzystania wiedzy o strukturze obrazów w postaci relacji zachodzących między wszystkimi obszarami obrazu na zasadzie „każdy z każdym”, ii) nieograniczonej relacjami geometrycznymi zachodzącymi w obrazie propagacji rozwiązania oraz iii) wykorzystania zmiennej dokładności segmentacji obrazów.

Tak jak w innych metodach analizy obrazów, w których wykorzystywana jest segmentacja obrazów, również w przypadku opracowanych metod dokładność uzyskiwanych wyników znaczą-

co zależy od jakości segmentacji obrazów. Stąd też poprawa jakości segmentacji będzie jednym z głównych celów dalszych badań.

Istotną zaletą prezentowanych metod jest możliwość zastosowania w nich szybkich, dedykowanych, algorytmów poszukiwania klik. W wyniku ich zastosowania czas poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów, w stosunku do stanu aktualnego, ulegnie znacznemu skróceniu przy równoczesnym zachowaniu wysokiej jakości uzyskiwanych rezultatów. Kolejną znaczącą zaletą prezentowanych metod jest łatwość ich dostosowania do aktualnych potrzeb oraz ich uniwersalność pozwalająca na ich bezproblemowe zastosowanie w innych, niż poszukiwanie stereokorespondencji, zadaniach wymagających poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów takich jak np. zadanie: poszukiwania wzorca, klasyfikacji, przeszukiwania obrazowych baz danych.

Należy również zwrócić uwagę na potencjalne możliwości nowych zastosowań idei poszukiwania odpowiedniości grafów jakie wynikają z opracowania uogólnionej, pozwalającej na określenie niedokładnej odpowiedniości grafów, metody Leviego. Innym przykładem wykorzystania otrzymanych rezultatów jest możliwość wykorzystania idei poszukiwania klik optymalnych w innych zadaniach niż poszukiwanie odpowiedniości — przykładem takiego zadania jest problem poszukiwania przydziału w przypadku, gdy relacje zachodzą zarówno między elementami należącymi do przydzielanych do siebie grup jak i wewnątrz samych grup.

Praca finansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej

6. Literatura

- [1] Bal A.: Wyznaczanie odpowiedniości elementów obrazów z wykorzystaniem informacji o ich strukturze, rozprawa doktorska, Gliwice 2005.

- [2] Cyganek B.: Komputerowe przetwarzanie obrazów trójwymiarowych, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
- [3] Duda R. O., Hart P. E.: Pattern classification and scene analysis, John Wiley & Sons, Inc., 1973.
- [4] Jain R., Kasturi R., Schunk B.: Machine Vision. McGraw-Hill, Inc., 1995.
- [5] Jones G. A.: Constraint, optimisation and hierarchy: Reviewing stereoscopic correspondence of complex features. Computer Vision and Image Understanding, 65(1):57–78, 1997.
- [6] Kälviäinen H., Oja E.: Comparisons of Attributed Graph Matching Algorithms for Computer Vision. Research Report 19, Lappeenranta University of Technology, Department of Information Technology, Lappeenranta (Finlandia), 1990.
- [7] Lane R. A., Thacker N. A.: Tutorial: Overview of stereo matching research. Rese-arch Report Tina Memo No. 1994-001, University of Manchester, Manchester, 1998.
- [8] Levi G.: A note on the derivation of maximal common subgraphs of two directed or undirected graphs, W Calcolo, volume 9, str. 341–352, 1972.
- [9] Sanfeliu A., Fu K. S.: A distance measure between attributed relational graph. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 13:353–362, 1983.
- [10] Schalkoff R. J.: Pattern Recognition: Statistical, Structural and Neural Approaches, John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- [11] Shapiro L., Haralick R.: Structural description and inexact matching. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 3:504–519, 1981.
- [12] Wang C., Abe K.: Region correspondence by inexact attributed planar graph matching. W Proceedings of the 5th International Conference on Computer Vision (ICCV 95), str. 440–447, Cambridge (Massachusetts, USA), 1995.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

WYDAWNICTWO POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA



specjalizuje się w wydawaniu czasopisma i książek popularno-naukowych w dziedzinie automatyki i pomiarów

Osoby i firmy przemysłowe zainteresowane współpracą z Wydawnictwem proszone są o kontakt bezpośredni dla uściślenia szczegółów współpracy

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa
ul. Świętokrzyska 14A
tel./fax 022 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice
ul. Akademicka 10, p. 30b
tel./fax 032 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl