

Artur BAL
Politechnika Śląska

POSZUKIWANIE ODPOWIEDNIOŚCI ELEMENTÓW OBRAZÓW W DZIEDZINIE GRAFÓW*

Streszczenie. W pracy przedstawiono idee nowych, wykorzystujących informacje o strukturze, metod poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów. Poszukiwanie odpowiedniości elementów obrazów sprowadzono do zadania ustalenia niedokładnej odpowiedniości odpowiednio zdefiniowanych grafów. Do ustalenia ich odpowiedniości zastosowano zmodyfikowaną metodę poszukiwania odpowiedniości grafów przez poszukiwanie klik. Jako przykład zastosowania prezentowanych metod przedstawiono ich wykorzystanie w zadaniu poszukiwania stereokorespondencji.

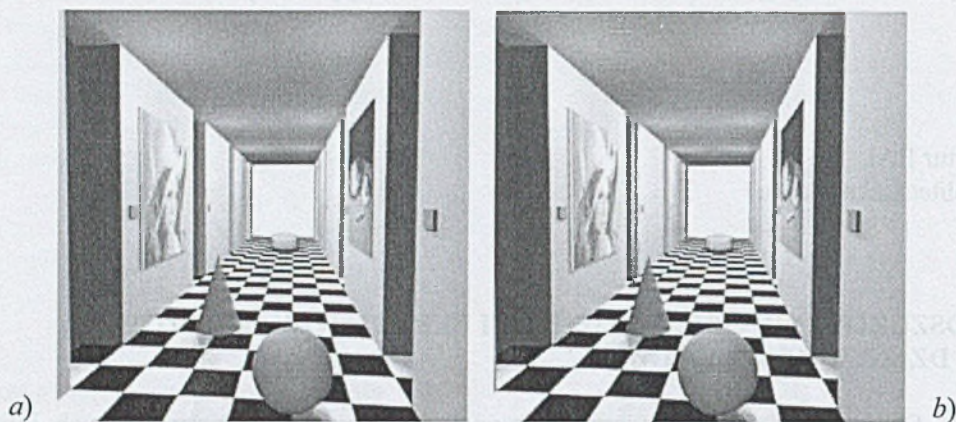
MATCHING OF IMAGE ELEMENTS IN GRAPH DOMAIN

Summary. In this paper the ideas of novel methods for finding correspondence of image elements, using structural information, are presented. Task of matching image elements is reduced to the problem of inexact graph matching. For solving this problem modified method of finding graph matching by clique finding is used. As an example of practical usage of the described methods, their application in problem of stereomatching is presented

1. Wprowadzenie

Do najważniejszych i najintensywniej badanych problemów widzenia maszynowego należy problem *poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów* [4, 7]. Znaczenie tego zagadnienia wynika z praktycznego znaczenia rzeczywistych zadań, jakie są rozwiązywane poprzez jego rozwiązanie – zadaniami tymi są m.in.: *rozpoznawanie obiektów, klasyfikacja, poszukiwanie wzorca, ustalanie stereokorespondencji, przeszukiwanie obrazowych baz danych*. Najbardziej ogólnym zadaniem spośród wymienionych jest *poszukiwanie stereokorespondencji*, jest to również jedno z najtrudniejszych zadań widzenia maszynowego. Na przykładzie rozwiązania tego zadania w pracy opisane zostały dwie metody poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów.

* Praca finansowana ze środków BK-208/RAu1/2006.



Rys. 1. Przykładowa stereopara *Korytarz* – a) obraz lewy, b) obraz prawy

Celem poszukiwania stereokorespondencji jest określenie odpowiedniości elementów należących do pary obrazów O_1 i O_2 , tworzących tzw. *stereoparę* (rys. 1). Elementy obrazów O_1 i O_2 odpowiadają sobie, jeśli są rzutem tego samego elementu sceny 3D (tzn. np. punktu, krawędzi, obszaru) na płaszczyzny tych obrazów [3]. Ponieważ obrazy tworzące parę stereo pozyskiwane są z różnych punktów przestrzeni otaczającej analizowaną scenę 3D, pomiędzy obrazami O_1 i O_2 zachodzą różnice, które umożliwiają rekonstrukcję części relacji przestrzennych występujących w tej scenie na podstawie dwuwymiarowych obrazów O_1 i O_2 . Z drugiej strony obecność tych różnic powoduje, że ustalenie stereokorespondencji jest bardzo trudnym zadaniem. Poszukiwanie odpowiedniości utrudnione jest również poprzez brak wiedzy o tym, które elementy jednego obrazu mają swoje odpowiedniki w drugim obrazie – brak wzajemnej odpowiedniości może być skutkiem np. różnego stopnia wzajemnego przesłania się elementów sceny w ich rzutach na płaszczyzny obrazów.

2. Nieiteracyjna metoda poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów

Poszukiwanie odpowiedniości elementów obrazów za pomocą dowolnej metody można sprowadzić do dwóch etapów: *i*) określenia cech opisujących elementy obrazów i ich pozyskania z obrazów oraz *ii*) poszukiwania elementów sobie odpowiadających na podstawie odpowiednio zdefiniowanej miary oceny podobieństwa tych cech. Na jakość uzyskiwanych wyników istotny wpływ ma zmienność wybranych cech w zależności od położenia kamery. Na podstawie różnych doświadczeń można stwierdzić, że do cech stosunkowo odpornych na zakłócenia występujące w wyniku procesu akwizycji obrazów stereo należą *cechy strukturalne* rozumiane tu jako opis wybranych relacji zachodzących między wybranymi elementami poszczególnych obrazów. Stosowanie cech strukturalnych do poszukiwania odpowiedniości elementów wymaga określenia rodzaju elementów, których odpowiedniość będzie poszukiwana, podania cech, jakie będą stosowane oraz podania sposobu określenia na ich podstawie odpowiedniości tych elementów.

W pracy jako analizowane elementy wybrane zostały obszary o_i^1 i o_j^2 , otrzymane w efekcie *segmentacji obrazów* O_1 i O_2 – otrzymane obszary tworzą parę obrazów $O_1 = \{o_i^1\}$ i $O_2 = \{o_j^2\}$. Kolejnym krokiem jest utworzenie modeli obrazów O_1 i O_2 w postaci pary *grafów atrybutowych (sieci)* G_1 i G_2 . Grafy te zawierają informacje o wybranych cechach elementów (tj. obszarów o_i^1 i o_j^2) i cechach wybranych relacji zachodzących między parą obszarów (o_k^I, o_l^I) , gdzie $I = \{1, 2\}$ jest numerem obrazu. Takie podejście, tj. przejście z dziedziny obrazów O_1 i O_2 w dziedzinę grafów G_1 i G_2 pozwala na wykorzystanie do poszukiwania elementów obrazów metod poszukiwania odpowiedniości grafów i tym samym sprowadzenie problemu poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów do zadania *poszukiwania odpowiedniości grafów* ([1, 2]). Zasadniczym problemem przy takim podejściu jest brak efektywnych metod poszukiwania odpowiedniości grafów w przypadku obecności zakłóceń wprowadzających między G_1 i G_2 różnice zarówno ilościowe (przejawiające się zamianą wartości cech przypisanych elementom tych grafów), jak i jakościowe (powodujące zróżnicowanie struktur grafów). Występowanie takich zakłóceń w przypadku wielu rzeczywistych zadań, w tym także zadania stereokorespondencji, jest cechą typową.

Ciekawe podejście do poszukiwania odpowiedniości pary dowolnych grafów G_α i G_β zostało opisane przez G. Leviego w pracy [6]. Poszukiwanie odpowiedniości grafów zostało w niej sprowadzone do zadania poszukiwania, w odpowiednio zdefiniowanym grafie skojarzeniowym G_A , *największej klikki (podgrafu pełnego o największej liczbie wierzchołków)*. Wadą tej metody jest możliwość jej stosowania tylko, gdy: *i)* nie występują różnice wartości cech odpowiadających sobie elementów oraz *ii)* ustalenie odpowiedniość wierzchołków pociąga za sobą identyczność ich wzajemnych relacji. Poszukiwana jest zatem tylko *dokładna odpowiedniość grafów*.

Na potrzeby zadania poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów, wychodząc od idei algorytmu Leviego opracowano algorytm poszukiwania odpowiedniości grafów G_1 i G_2 poprzez poszukiwanie *klikki optymalnej*:

$$q_{opt} = \arg \min_{\hat{q} \in \hat{Q}} [\Delta(\hat{q})]. \quad (1)$$

W nowej metodzie zmieniono zasadę tworzenia G_A na podstawie G_α i G_β – G_A jest tutaj grafem atrybutowym o wartościach Δ_i^V i Δ_{ij}^E przypisanych, odpowiednio, do jego wierzchołków v_i i krawędzi e_{ij} . Utworzenie klikki q w G_A związane jest z kosztem:

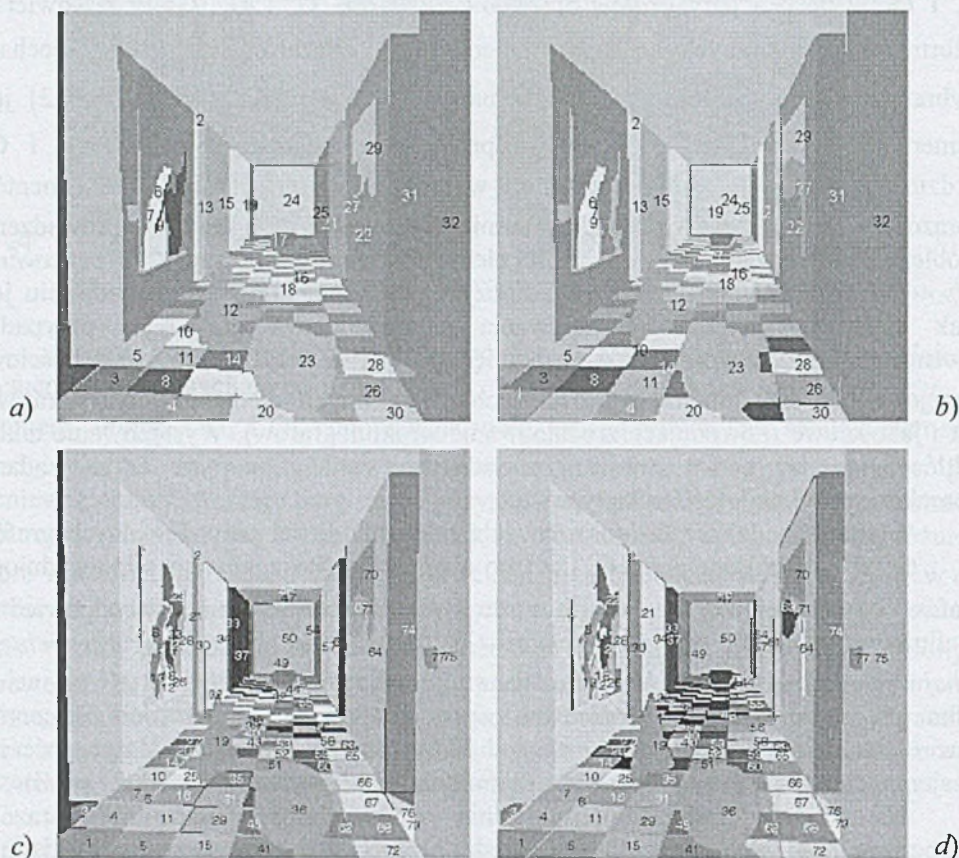
$$\Delta(q) = \sum_{v_i \in q} \Delta_i^V + \sum_{e_{ij} \in q} \Delta_{ij}^E. \quad (2)$$

Rozwiązanie zadania poszukiwane jest wśród tych klik G_A , które należą do zbioru:

$$\hat{Q} = \{ \hat{q} : \forall_{q \neq \hat{q}} | \hat{q} | > | q | \mid \Delta(\hat{q}) < \infty \wedge \Delta(q) < \infty \}, \quad (3)$$

gdzie $|q|$ jest liczbą wierzchołków tworzących daną klikę; $q, \hat{q} \subset G_A$. Zastosowane rozwiązania pozwalają na poszukiwanie tzw. *niedokładnej odpowiedniości grafów*, tzn. takiej odpowiedniości, w której nie obowiązują ograniczenia metody dokładnej.

Opisany powyżej sposób reprezentacji struktur obrazów wraz z metodą poszukiwania odpowiedniości grafów poprzez poszukiwanie q_{opt} tworzą *nieiteracyjną metodę poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów* ([1, 2]).



Rys. 2. Porównanie wyników poszukiwania odpowiedniości obszarów dla stereopary *Korytarz* – w nawiasach podano największą liczbę par obszarów, dla których została określona odpowiedniość daną metodą: *a, b*) metoda nieiteracyjna (32 pary obszarów), *c, d*) metoda wieloetapowa (75 par obszarów). Odpowiadające sobie obszary mają tą samą barwę oraz ten sam numer

3. Wieloetapowa metoda poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów

Znalezienie q_{opt} wymaga sprawdzenia, w ogólnym przypadku,

$$O(m, n) = \sum_{i=1}^{\min(m, n)} C_{m-n}^i \quad (4)$$

klik możliwych do utworzenia w grafie G_A ; $m = |G_1|$ i $n = |G_2|$ liczba wierzchołków grafów wejściowych równa liczbie obszarów (elementów) wyróżnionych w O_1 i O_2 .

W praktyce oznacza to niemożność rozwiązania zadań poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów już dla kilkudziesięciu elementów wyróżnionych w obrazach.

Proces segmentacji obrazów może być prowadzony z różną dokładnością – zauważenie tego faktu legło u podstaw opracowania *wieloetapowej metody poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów* [2]. Dokładność procesu segmentacji to zdolność podziału obrazu na obszary, tak by obszary te zachowały informację o określonej wielkości szczegółach występujących w danym obrazie.

Niech (O_1^h, O_2^h) oznacza parę obrazów będących wynikiem segmentacji obrazów O_1 i O_2 z poziomem dokładności $h \in \{1, \dots, H\}$ (rosnący numer h oznacza wzrost dokładności), a o_i^h oznacza i -ty obszar wyróżniony w obrazie O_i na poziomie h . Jeżeli segmentacja będzie prowadzona w taki sposób, by spełniony był warunek:

$$\forall_{h \in \{1, \dots, H\}} \forall_{o_i^h \in O_i^h} \exists_{o_j^{h-1} \in O_j^{h-1}} o_i^h \subseteq o_j^{h-1} \quad (5)$$

to możliwe jest rekurencyjne stosowanie wiedzy o odpowiedniości obszarów na poziomie h do poszukiwania odpowiedniości obszarów na poziomie $h+1$. Tak realizowana metoda wieloetapowa, w celu znalezienia rozwiązania dla tego samego poziomu dokładności segmentacji, w porównaniu z metodą nieiteracyjną wymaga znacznie mniejszego nakładu obliczeniowego. Przykładowy algorytm segmentacji spełniający warunek (5) przedstawiony został w [2]. Porównanie wyników poszukiwania odpowiedniości obszarów metodą nieiteracyjną i metodą wieloetapową przedstawiono na rys. 2.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone testy potwierdzają słuszność decyzji o wykorzystaniu struktury w procesie poszukiwania odpowiedniości. W stosunku do sytuacji, gdy taka informacja nie jest stosowana, uzyskano znaczną poprawę jakości otrzymywanych wyników przy równoczesnym skróceniu czasu obliczeń. Istotną zaletą opisanych metod jest również możliwość zastosowania do poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów odpowiednio zdefiniowanych, szybkich, dedykowanych algorytmów poszukiwania klik. W przypadku innych metod poszukiwania niedokładnej odpowiedniości grafów, np. w metodzie *edycji grafów* ([5, 7]), dostępne są jedynie algorytmy niededykowane. Zaletą prezentowanych metod jest także łatwość ich dostosowania do potrzeb wynikających z konkretnego zadania poszukiwania odpowiedniości. W tym celu wystarczy określić elementy, których odpowiedniość ma być poszukiwana oraz podać cechy, które zostaną w tym celu wykorzystane.

Dokładność uzyskiwanych rozwiązań poszukiwania odpowiedniości zależy w znacznym stopniu od jakości segmentacji obrazów – z tego powodu poprawa wyników segmentacji będzie jednym z głównych kierunków dalszych badań. Niezależnie od zawansowania stosowanej metody segmentacji jej wyniki zawsze mogą być obciążone błędami, które wpływać mogą na wyniki poszukiwania odpowiedniości. W celu rozwiązania tego problemu podjęta zostanie próba opracowania odpornych metod poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów.

LITERATURA

1. Bal A.: Poszukiwanie odpowiedniości elementów obrazów z wykorzystaniem niedokładnej odpowiedniości grafów. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1581, s. Automatyka z. 138, Gliwice 2003.
2. Bal A.: Wyznaczanie odpowiedniości elementów obrazów z wykorzystaniem informacji o ich strukturze. Rozprawa doktorska, Gliwice 2005.
3. Cyganek B.: Komputerowe przetwarzanie obrazów trójwymiarowych. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
4. Duda R. O., Hart P. E.: Pattern classification and scene analysis. John Wiley & Sons, Inc., 1973.
5. Lladós J.: Combining Graph Matching and Hough Transform for Hand-Drawn Graphical Document Analysis: Application to Architectural Drawings. Rozprawa doktorska, Universitat Autònoma de Barcelona, Université de Paris 8, 1997.
6. Levi G.: A note on the derivation of maximal common subgraphs of two directed or undirected graphs, In *Calcolo*, volume 9, 1972, p. 341–352
7. Schalkoff R. J.: Pattern Recognition: Statistical, Structural and Neural Approaches. John Wiley & Sons, Inc., 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marek Kurzyński

Abstract

Matching of image elements plays pivotal role in computer vision domain. In this paper two novel methods for finding correspondence of image elements, using structural information, are presented. In both of them, task of matching elements of pair of input images, O_1 and O_2 , is reduced to a problem of inexact matching of graphs G_1 and G_2 , where G_i represents elements of image O_i . Inexact graph matching problem is solved by using novel method in which this problem is reduced to a problem of finding an optimal clique q_{opt} in association graph G_A . Those two stages form the first of the described method, that is non iterative method.

Image regions obtained from segmentation of input images are those elements for which the correspondence in this work is searched. Because of high computation complexity of non iterative method, in the second method the idea of using multilevel segmentation algorithm is explored. If the segmentation algorithm which fulfills a condition (5) is used, then the information about matching regions on level h can be used for finding correspondence of regions on the level $h+1$; bigger h represents more detailed segmentation. In (5), σ_i^h is the region i selected in the image O_i at the h^{th} level of segmentation. The usage of iterative method significantly reduces computation complexity of image elements matching problem.