

Tomasz GRZYWACZ
Stefan WÓJTOWICZ
Jan SIKORA

MACIERZ WIDOCZNOŚCI DLA DYFUZYJNEJ TOMOGRAFII OPTYCZNEJ – – PORÓWNANIE ALGORYTMÓW Z REGULARNYM I BINARNYM SPOSOBEM PODZIAŁU PRZESTRZENI

STRESZCZENIE *W artykule zostanie przedstawiona analiza wydajności algorytmów tworzących macierz widoczności. Algorytmy zostaną porównane w odniesieniu do dwóch schematów podziału przestrzeni: regularnego i binarnego. Macierz widoczności określa czy węzły dwóch zawierających się w sobie obiektów „widzą się”. Jest ona rezultatem procesu detekcji określającego czy wzdłuż prostej linii pomiędzy dwoma węzłami nie ma przesłaniających ich obiektów. W dalszej części artykułu opisano sposoby podziału przestrzeni, etapy algorytmu tworzenia macierzy widoczności oraz wyniki porównania tego algorytmu dla dwóch wymienionych powyżej sposobów dyskretyzacji przestrzeni.*

Słowa kluczowe: *Dyfuzyjna Tomografia Optyczna, Macierz Widoczności, regularny podział przestrzeni, binarny podział przestrzeni*

mgr inż. Tomasz GRZYWACZ
t.grzywacz@iel.waw.pl

dr inż. Stefan WÓJTOWICZ
s.wojtowicz@iel.waw.pl

Zakład Metrologii i Badań Nieniszczących
Instytut Elektrotechniki

prof. dr hab. inż. Jan SIKORA
j.sikora@iel.waw.pl

Instytut Elektrotechniki Teoretycznej
i Systemów Informacyjno - Pomiarowych
Politechnika Warszawska

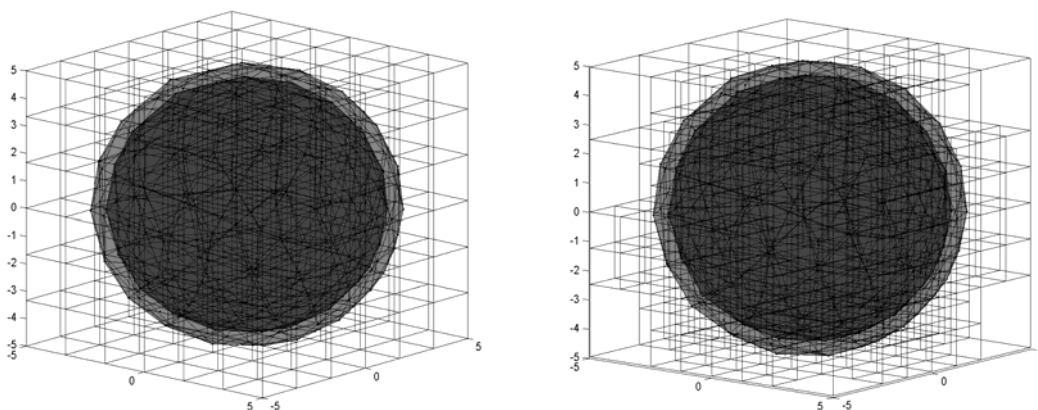
1. WSTĘP

Algorytmy używane w tomografii optycznej są bardzo złożone obliczeniowo. Jedną z dróg ograniczania czasu obliczeń jest tworzenie i wykorzystywanie macierzy widoczności [3]. Macierz widoczności określa czy na drodze w linii prostej między dowolnymi węzłami obiektów nie ma żadnych elementów przesłaniających. Przez obiekty w rozważanym przypadku rozumie się dwie zawierające się w sobie sfery. Obiekty te traktowane są w literaturze [2] jako skrajnie uproszczony model główki niemowlęcia. W szczególności modelowane są dwie warstwy między którymi znajduje się płyn rdzeniowo – mózgowy.

2. SCHEMATY PODZIAŁU PRZESTRZENI

Można wyróżnić dwa popularne schematy podziału przestrzeni: pierwszy z użyciem siatki regularnej [5] i drugi zaproponowany przez A. S. Glassner'a [6] wykorzystujący siatkę binarną. Zaletą pierwszego schematu jest możliwość szybkiego poruszania się po siatce. Przejście do kolejnych wokseli na drodze promienia jest mało kosztowne obliczeniowo. W drugim przypadku podział przestrzeni jest dostosowywany do kształtu obiektów. Ten adaptacyjny podział umożliwia efektywne przechowywanie danych w pamięci komputera oraz ogranicza liczbę wokseli.

Do wad siatki regularnej możemy niewątpliwie zaliczyć generację nadmiarowej liczby wokseli przy założeniu odpowiedniego stopnia dyskretyzacji. Wady tej wprawdzie nie posiada siatka binarna, która daje podział o mniejszej złożoności. Angażuje za to więcej zasobów na poruszanie się między wokselami o różnych rozmiarach. Różnice między siatkami przedstawione są na rys. 1.



Rys. 1. Podział siatką regularną oraz binarną

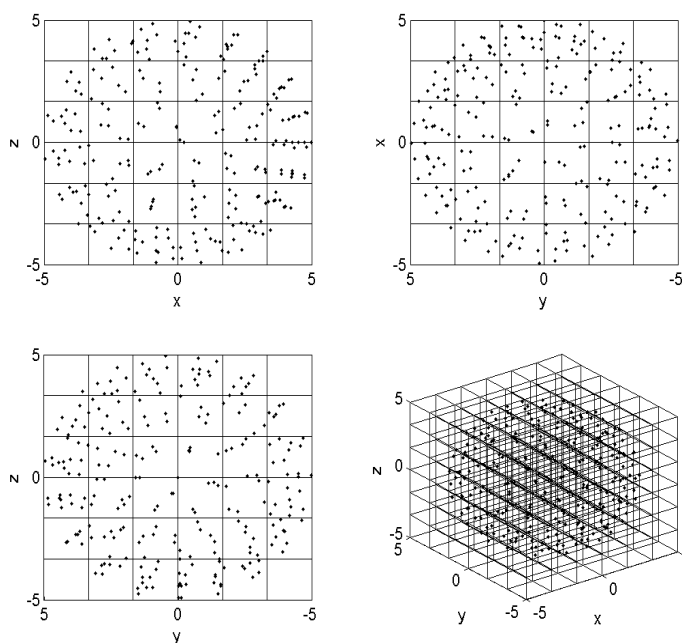
Podział regularny cechuje się dużą rozdzielczością w całej przestrzeni, a zatem w miejscach nie odwiedzanych przez krawędzie obiektów (rys. 2). Z kolei podział binarny zagęszcza siatkę tam gdzie występują krawędzie obiektów, a rozrzedza w wolnej przestrzeni (rys. 3).

Efektywne i szybkie wyznaczenie macierzy widoczności wiąże się z ograniczeniem liczby sprawdzanych przecięć pomiędzy odcinkiem (promieniem) łączącym poszczególne węzły powłok, a elementami brzegowymi (trójkątami).

Algorytm wyznaczania macierzy widoczności został szczegółowo przedstawiony w pozycji [3].

3. PODZIAŁ PRZESTRZENI Z WYKORZYSTANIEM SIATKI REGULARNEJ

Siatka regularna dzieli przestrzeń równomiernie w trzech osiach. Uzyskuje się wówczas podział na woksele o stałym rozmiarze, bez uwzględniania kształtu obiektu. Ten jednorodny podział jest największą zaletą siatki regularnej. Umożliwia on bowiem bardzo szybkie przemieszczanie się po wkselach wzdłuż promienia. Znając na wstępie rozmiary wszystkich wkseli możemy łatwo obliczać parametry wejścia i wyjścia promienia z każdego z nich, co jest kluczową sprawą przy sprawnym poruszaniu się po dyskretyzowanej przestrzeni.



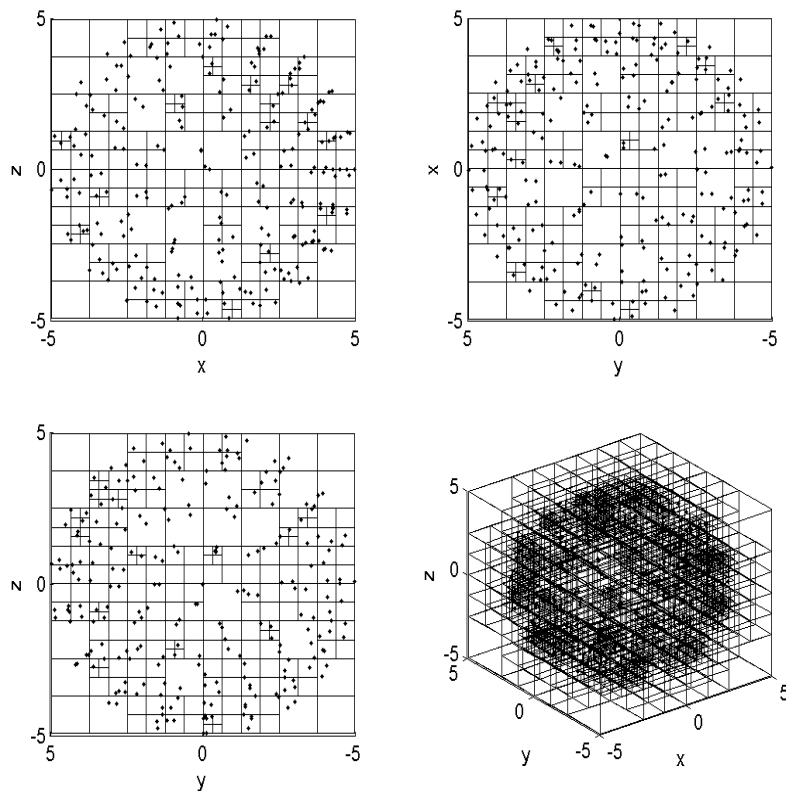
Rys. 2. Chmura węzłów (dwie sfery) i okalająca je siatka regularna

Podział siatką regularną został dobrze poznany i opisany [5].

4. PODZIAŁ PRZESTRZENI Z WYKORZYSTANIEM SIATKI BINARNEJ

Głównym powodem przemawiającym za użyciem schematu binarnego jest dynamiczne dostosowywanie się wokseli do kształtu obiektów. Wolną przestrzeń obejmują woksela o dużym rozmiarze, zaś przy powierzchniach obiektów ich rozmiar się odpowiednio zmniejsza – następuje rekursywne dzielenie przestrzeni na mniejsze części. Rekursywny podział umożliwia zapis struktury siatki w pamięci komputera, w formie drzewa BSP (ang. Binary Space Partitioning) [8]. Pozwala to na wydajne przeszukiwanie pamięci, a co za tym idzie szybki dostęp do aktualnie potrzebnych informacji o siatce. Jako, że każdy wksel może obejmować jeden lub więcej węzłów, można płynnie sterować stopniem złożoności siatki (rys. 3).

Z uwagi na fakt, że przestrzeń jest dzielona dynamicznie to w trakcie jej tworzenia, nie znamy rozmiaru żadnego woksela poza tym, w którym się aktualnie znajdujemy. Jest to podstawowa wada siatki binarnej, która implikuje konieczność zastosowania kosztownych obliczeniowo algorytmów wykrywania następnego woksela na drodze promienia.



Rys. 3. Chmura węzłów (dwie sfery) i okalająca je siatka binarna

Analiza kolizyjności promienia z elementami brzegowymi następuje z wnętrza przestrzeni na zewnątrz. Z uwagi na ten fakt wybrano algorytm typu *bottom-up* zaproponowany przez A. S. Glassner'a [6]. Algorytm ten zwraca współrzędne punktu, który znajduje się w następnym wokselu na drodze promienia. Ów punkt jest używany do określenia rozmiaru woksela oraz przyporządkowanej mu listy elementów brzegowych.

5. PORÓWNANIE MACIERZY WIDOCZNOŚCI Z REGULARNYM I BINARNYM SPOSOBEM PODZIAŁU PRZESTRZENI

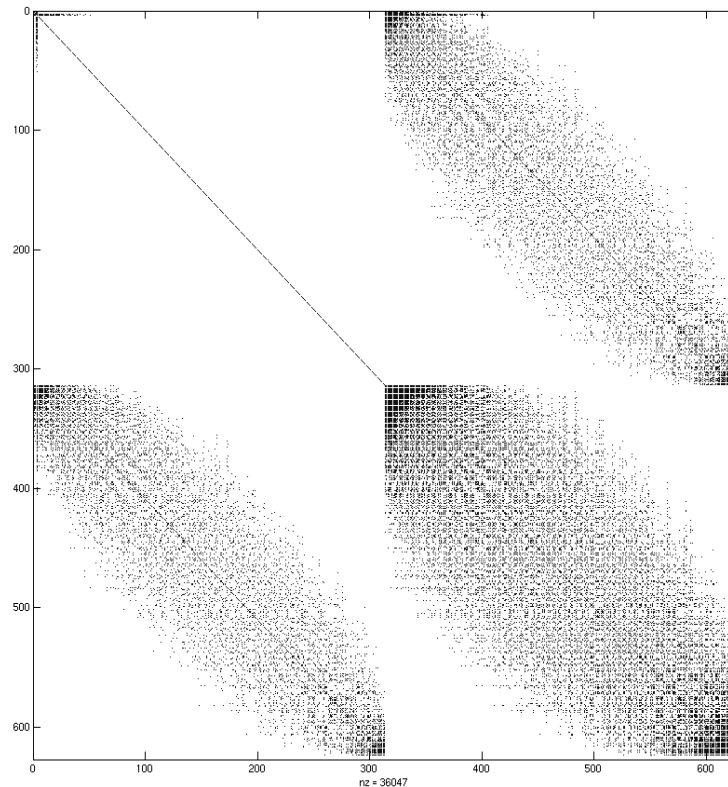
Niezależnie od tego jaką metodą podzielimy przestrzeń algorytm generujący macierz widoczności będzie się składał z następujących etapów:

1. podział przestrzeni i przypisanie elementów brzegowych do otaczających je wokseli,
2. prowadzenie promienia z kolejnych węzłów powłoki zewnętrznej na węzły tej samej powłoki (odwiedzamy tylko woksela występujące na drodze promienia i tylko w nich dokonujemy testu na kolizje),
3. jak powyżej tylko, że tym razem rozważamy powłoki zewnętrzną i wewnętrzną,
4. jak powyżej z tym, że teraz zajmujemy się tylko powłoką wewnętrzną,
5. sukcesywnie wypełniamy macierz widoczności powtarzając kroki od 2 do 3.

W efekcie otrzymamy zero-jedynkową macierz rzadką, którą przedstawiono na rys. 4.

Powyższy algorytm redukuje złożoność obliczeniową problemu tworzenia macierzy widoczności z $O(n^3)$ do $O(n^2)$. Jednakże poprawę wydajności uzyskamy tylko wówczas, gdy właściwie dobierzemy rozdzielczość siatki. Zbyt duża liczba wokseli przestrzeni przyniesie stratę czasu przy przemieszczaniu się po nich. Z kolei zbyt mała spowoduje zwiększenie ilości testów na kolizje promienia z elementami brzegowymi.

Aby umożliwić jak najlepszą analizę porównawczą, w algorytmie generującym macierz widoczności wymieniano tylko moduły odpowiadające za podział przestrzeni. Pozostałe fragmenty kodu czyli funkcje związane ze wstępną obróbką danych oraz wykrywaniem kolizji pozostawały takie same.



Rys. 4. Macierz widoczności dwóch sfer: liczba elementów brzegowych 1239, liczba węzłów 626

Czas generacji macierzy widoczności silnie zależy zarówno od przyjętego stopnia jak i schematu podziału przestrzeni. Wyniki dla obiektów złożonych odpowiednio z 246 i 626 węzłów przedstawiono w tabeli poniżej.

Lb. węzłów		246	626
Typ siatki	brak (b-f)	12,066s	3m11,600s
	regularna (reg)	2,991s	26,944s
	binarna (bin)	2,554s	20,925s
Stosunek reg/b-f		0,248	0,14
Stosunek bin/b-f		0,212	0,11
Przyrost		0,006	0,03
Intel Celeron 2,2GHz, 512 MB RAM			

W przedostatnim wierszu tabeli został przedstawiony przyrost wydajności algorytmu generującego macierz widoczności w zależności od sposobu podziału przestrzeni. Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że wykorzystanie

siatki binarnej będzie rozwiązaniem efektywniejszym zwłaszcza dla obiektów złożonych ze znacznie większej liczby węzłów.

6. WNIOSKI

Powyższe wyniki pozwalają stwierdzić, iż algorytm tworzący macierz widoczności należy oprzeć o binarny schemat podziału przestrzeni. Nie zachodzi zatem potrzeba doboru którejs z metod dyskretyzacji obszaru.

Niezależnie od tego czy obiekty mają węzły rozłożone równomiernie, czy są niejako podobne do omawianych w artykule, należy używać siatki binarnej. Wybór jest uzasadniony brakiem konieczności dyskretyzacji przestrzeni nie wypełnionej przez obiekt. Oszczędzamy tym samym zasoby przy sprawdzaniu przynależności elementów brzegowych do poszczególnych wokseli. Dodatkowo koszt przemieszczania się po siatce binarnej w stosunku do szybkiego algorytmu „chodzenia” po siatce regularnej jest rekompensowany przez znacznie mniejszą ilość wokseli.

LITERATURA

1. Arridge S.R., Sikora J., Sokołowski J.: Sensitivity Analysis for light propagation in diffusive media with non-scattering regions using 3D-BEM. International Workshop on „Shape optimization in life sciences and environment”, Toulouse, 25-26 March 2004.
2. Sikora J., Filipowicz S.F., Filipowicz Z.: Optical Tomography Benchmark In 2D Domains with Clear Layer Gap. 27-th Seminar on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory, Niedzica, May 26-29, XXVII IC-SPETO'04, 2004, pp. 129-132.
3. Grzywacz T., Gruca J., Sikora J.: „Efficient Algorithm of Visibility Matrix Determination for Diffusive Optical Tomography”, AMTEE'05 Proceedings
4. Glassner A.S., Arvo J., Cook R.L., Haines E., Hanrahn P., Heckbert P., Kirk D.B.: „An Introduction to Ray Tracing”, Academic Press, London 1989
5. Amanatides J., Woo A.: „A Fast Voxel Traversal Algorithm for Ray Tracing”, Eurographics '87, p. 3-10, (August 1987)
6. Glassner A.S.: „Space Subdivision for Fast Ray Tracing”, IEEE Computer Graphics and Applications, 4(10), p. 15-22, (May 1987)
7. Foley, van Dam, Feiner, Hughes: „Computer Graphics. Principles and Practice”, Addison-Wesley 1993
8. <http://www.faqs.org/faqs/graphics/bsptree-faq/>

Rękopis dostarczono, dnia 12.03.2007 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Antoni Cieśla

VISIBILITY MATRIX FOR DIFFUSIVE OPTICAL
TOMOGRAPHY – ALGORITHM COMPARISON
WITH REGULAR AND BINARY SPACE SUBDIVISION
TITLE OF PAPER

T. GRZYWACZ, S. WÓJTOWICZ
J. SIKORA

ABSTRACT *An efficiency analysis of the Visibility Matrix determination algorithm will be introduced in this paper. Algorithm is compared with reference to two space subdivision schemes. The space that encloses considered objects is partitioned into regular or octree grid. The Visibility Matrix defines whether nodes of given objects see each other. It is a result of detection process whether along straight line between selected two nodes there is no concealing them elements. Further sections describe in details space subdivision schemes, summary of the Visibility Matrix algorithm and results for given objects (two spheres). Finally algorithm performance is estimated for regular and octree grid space subdivision.*