

Sławomir Jeżewski*, Michał Jaros*

Skanowanie trójwymiarowej przestrzeni pomieszczeń

1. Wprowadzenie

Obecnie w erze komputerów, które pozwalają na wizualizacje scen nie tylko dwuwymiarowych, ale również przestrzennych, coraz częściej pragniemy odzwierciedlać obraz trójwymiarowy. Aby zachować obserwowaną przestrzeń, przenieść ją do komputera, możemy albo taką scenę ręcznie utworzyć za pomocą odpowiedniego programu, oczywiście dbając o zachowanie wymiarów oraz kolorów, albo posłużyć się odpowiednio zbudowanym urządzeniem pozwalającym na skanowanie.

Ręczne utworzenie modelu wiernie oddającego rzeczywistość jest zadaniem bardzo pracochłonnym, wymagającym znajomości wymiarów wszystkich obiektów w odzwierciedlanej scenie lub ręcznego mierzenia tychże obiektów. Użycie skanera 3D znacznie upraszcza to zadanie.

Skanery przestrzeni 3D są obiektem ciągłych badań i podlegają nieustannemu rozwojowi. Urządzenia te znalazły już wiele zastosowań. Przykładowo można tu wymienić takie dziedziny jak rozrywka, multimedia, robotyka i automatyka, kartografia, geodezja oraz techniki wojskowe.

2. Metody skanowania przestrzeni 3D

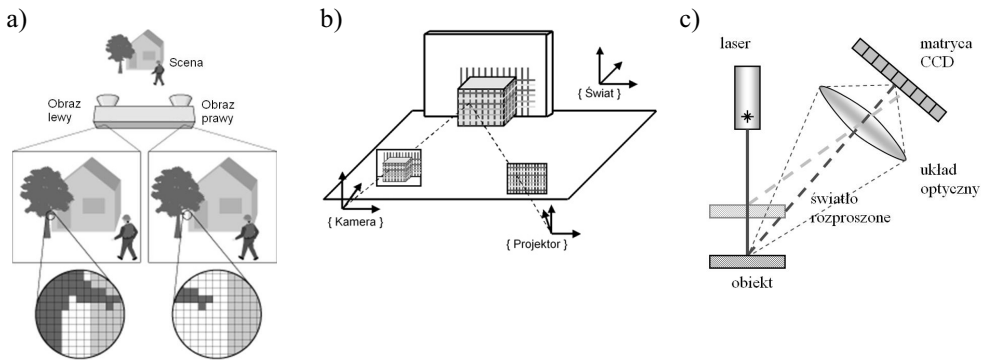
Jest wiele metod wykorzystywanych do skanowania przestrzeni, jednak żadna z nich nie jest doskonała. Każda metoda skanowania przestrzeni ma swoje mocne i słabe strony. Dlatego w zależności od konkretnego zagadnienia wybiera się metodę najbardziej optymalną. W dalszej części artykułu przedstawiono najpopularniejsze metody skanowania przestrzeni w kontekście zagadnienia skanowania pomieszczeń.

2.1. Metoda stereowizyjna

W metodzie tej wykorzystuje się układ dwóch kamer do obserwacji/skanowania przestrzeni (rys. 1a). Konstrukcja ta jest analogią systemu wzrokowego człowieka. Ze względu

* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka

na przesunięcie względem siebie kamer w układzie stereowizyjnym, każda z nich będzie rejestrowała delikatnie odmienny obraz sceny. Na podstawie różnic w zarejestrowanych obrazach wyznaczane są odległości do obserwowanych obiektów.



Rys. 1. Metody skanowania przestrzeni trójwymiarowej: a) metoda stereowizyjna; b) metoda wykorzystująca oświetlenie strukturalne; c) metoda triangulacji laserowej
 Źródło <http://www.tyxx.com/products/DeepSeaG2.html>

Stosunkowo najprostszą metodą uzyskania informacji o głębi sceny na podstawie obrazów stereowizyjnych jest triangulacja. W metodzie tej na podstawie położenia obrazów punktu na obrazach pochodzących z kamer oraz znajomości parametrów układu kamer, możemy wyznaczyć położenie tego punktu w przestrzeni 3D. Problemem w stereowizji jest odnajdywanie położenia odpowiadających sobie punktów na obrazach z kamer. Metody używane do tego celu można podzielić na [1]:

- 1) metody bezpośrednie,
- 2) bazujące na detekcji cech.

Metody bezpośrednie operują na bezpośrednim przetwarzaniu pikseli obrazu. Natomiast metody bazujące na detekcji cech najpierw analizują obraz w poszukiwaniu elementów charakterystycznych takich jak krawędzie lub też rogi, aby wykorzystać je w procesie dopasowywania.

Najważniejsze zalety metody stereowizyjnej to: bezinwazyjność – bazujemy jedynie na naturalnym oświetleniu sceny, prosta konstrukcja skanera w postaci dwóch kamer oraz stosunkowo niski koszt pomiaru. Natomiast do wad tego rozwiązania należy zaliczyć: stosunkowo małą dokładność pomiaru oraz dużą złożoność obliczeniową i pamięciową algorytmów.

2.2. Metoda czasu przelotu

Skaner wykorzystujący zależność czasowo-odległościową (*time-of-flight* – czasu przelotu) w procesie skanowania używa światła laserowego. Kluczowy w tej metodzie jest laserowy pomiar odległości pomiędzy skanerem a obiektem skanowanym. Aby zmierzyć tę odległość, wysyłany jest ze skanera impuls światła laserowego, następnie mierzony jest czas pomiędzy wysłaniem impulsu a dotarciem do detektora światła odbitego od przeszkody.

Znając czas przelotu światła od skanera do przeszkody i z powrotem oraz prędkość światła, potrafimy obliczyć odległość pomiędzy skanerem a obiektem skanowanym.

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (1)$$

gdzie:

- d – odległość pomiędzy skanerem a skanowanym punktem,
- c – prędkość światła,
- t – czas od wysłania impulsu świetlnego do otrzymania światła odbitego.

Korzystając z równania (1) można obliczyć odległość od skanera do punktu skanowanego. Dokładność takiego pomiaru zależy jedynie od dokładności wyznaczenia czasu przelotu impulsu świetlnego.

Zaletą tej metody jest stosunkowo duża dokładność rzędu kilku centymetrów oraz szeroki zakres pomiarowy wnoszący od kilku metrów do nawet kilku kilometrów. Natomiast wadami tej metody są złożona konstrukcja skanera, a co za tym idzie, wysoka cena skanerów opartych na niej oraz stosunkowo długi czas skanowania, wynikający z możliwości skanowania tylko jednego punktu na raz.

2.3. Metoda wykorzystująca oświetlenie strukturalne

Metoda wykorzystująca oświetlenie strukturalne przypomina pod pewnymi względami metodę stereowizyjną. Z tą różnicą, że w przy oświetleniu strukturalnym zamiast drugiej kamery mamy źródło światła (np. projektor CCD), które oświetla skanowaną scenę (rys. 1b) [3]. Scena jest oświetlana specyficznym wzorem. W obrazie pochodzącym z kamery odnajdywane są elementy wzoru świetlnego rzucanego przez projektor na skanowany obiekt. Na tej podstawie obliczane są kąty w trójkącie utworzonym przez kamerę, projektor oraz punkt obiektu. Znając odległość pomiędzy kamerą a projektorem, jesteśmy w stanie wyznaczyć położenie danego punktu w przestrzeni.

Najważniejszymi zaletami tej metody są: prosta konstrukcja oparta na kamerze oraz projektorze, stosunkowo niski koszt pomiaru oraz stosunkowo prosty algorytm. Natomiast do wad tego rozwiązania należy zaliczyć względnie niewielką dokładność oraz specjalne wymagania co do oświetlenia skanowanej sceny.

2.4. Metoda triangulacji laserowej

Skanery 3D wykorzystujące triangulację oświetlają skanowany obiekt wiązką lasera i używają kamery do określenia położenia punktu lasera. W zależności od odległości pomiędzy skanerem a obiektem, punkt laserowy jest widoczny w różnych miejscach obrazu z kamery (rys. 1c). Aby przyspieszyć proces skanowania, używa się generatora linii laserowej zamiast standardowego lasera punktowego. Dzięki temu w trakcie pojedynczego pomiaru otrzymujemy informacje o położeniu wielu punktów, a skanowanie wszystkich punktów w przestrzeni skanera wymaga tylko jednej osi obrotu skanera.

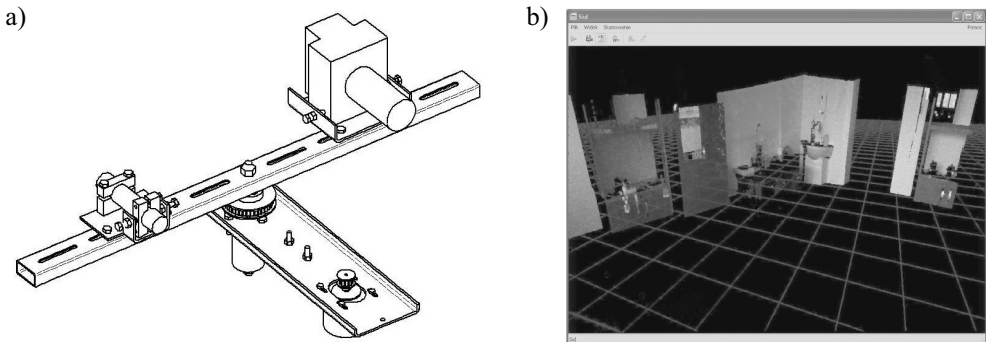
Zalety metody wykorzystującej triangulację laserową to: prosta konstrukcja skanera oparta na kamerze i znaczniku laserowym, proste algorytmy dla obsługi skanera. Natomiast wadami tej metody są: niezbyt duża dokładność oraz możliwość skanowania jedynie ograniczonej grupy punktów na raz.

3. Skaner pomieszczeń

3.1. Opis skanera

Skanowanie pomieszczeń jest szczególnym przypadkiem skanowania przestrzeni trójwymiarowej. Znajduje ono zastosowanie w szczególności do celów wizualizacji i prezentacji wnętrz przy wykorzystaniu rzeczywistości wirtualnej. Model pomieszczenia tworzony na te potrzeby nie musi być wykonany z bardzo dużą precyzją, natomiast sam skaner powinien być stosunkowo prosty i niedrogi.

Przedstawione założenia spełnia metoda triangulacji laserowej oraz skanery ją wykorzystujące. Dlatego w trakcie konstruowania skanera pomieszczeń zdecydowano się na wybór tej metody skanowania. Całe urządzenie składa się z obrotowej platformy, na której zamontowano kamerę, oraz znacznika laserowego w postaci diodowego generatora linii laserowej (rys. 2a) [4]. Obrót platformy jest zapewniony przez silnik krokowy.



Rys. 2. Skaner pomieszczeń wykorzystujący metodę triangulacji laserowej:
a) konstrukcja mechaniczna skanera; b) wynik skanowania pomieszczenia

Najważniejszym elementem przetwarzania danych pochodzących z skanera jest algorytm odnajdujący obraz lasera na obrazie pochodzącym z kamery. Zastosowano tutaj algorytm różnicowy [2]. Wykonywane są dwa zdjęcia skanowanej sceny jedno z włączonym laserem i jedno z wyłączonym. Następnie wyznaczany jest obraz różnicowy, na którym laser jest bardzo dobrze widoczny i łatwy do odszukania. Dalej na podstawie położenia obrazu lasera na obrazie z kamery wyznaczane jest położenie poszczególnych punktów oświetlonych przez laser w przestrzeni trójwymiarowej.

Skonstruowany skaner spełnił wszystkie postawione wymagania dla skanera pomieszczeń. Jego konstrukcja jest możliwie prosta i niedroga. Uzyskana dokładność pomiaru jest również na zadowalającym poziomie.

3.2. Parametry skanera

W skonstruowanym skanerze została zastosowana kamera ProgRes C10^{plus}. Pozwala ona na uzyskiwanie obrazów w rozdzielczości do 2080×1542 pikseli z rozdzielczością 12 bitów na każdy kanał koloru. Jako znacznika laserowego użyto diodowego generatora linii laserowej, ustawionego tak, aby dawał pionową kreskę lasera. W rezultacie z pojedynczego obrazu kamery można otrzymać 1542 punkty pomiarowe. Za obrót skanera odpowiedzialny jest silnik krokowy FL57ST sterowany półkrokowo. Napęd z silnika na główną część skanera jest przekazywany za pomocą przekładni pasowej. Na pełny obrót skanera potrzebne są 1333 kroki. W związku z czym, chmura punktów powstała w wyniku pełnego skanowania zawiera 2 055 486 punktów. Niestety ponieważ czas akwizycji pojedynczego obrazu dla zastosowanej kamery jest dosyć długi, to pełne skanowanie pomieszczenia zajmuje około 45 minut.

Dzięki zastosowaniu kolorowej kamery, w wyniku skanowania otrzymywana jest zarówno informacja o kształcie/wielkości skanowanego obiektu/pomieszczenia, jak i informacja o kolorach poszczególnych punktów. W rezultacie otrzymywany model stwarza bardziej realistyczne wrażenie.

Niepewność wyznaczenia współrzędnych skanowanych punktów dla pomieszczenia wielkości 7×7m jest na poziomie poniżej 5 cm. Niedokładność ta wynika z kwantowania obrazu w kamerze i jest zależna od parametrów skanera, przede wszystkim ogniskowej obiektywu oraz odległości pomiędzy kamerą i laserem, jak również zależy od odległości od skanowanego obiektu.

4. Podsumowanie

Podsumowując, można stwierdzić, zastosowana metoda triangulacji laserowej wydaje się obiecująca do skanowania obiektów średniej wielkości takich jak pomieszczenia. Pozwala ona na uzyskanie podobnych dokładności co metody stereoskopowe przy jednoczesnym zastosowaniu znacznie prostszych algorytmów przetwarzania obrazów. Dalszego rozwoju wymaga algorytm odnajdywania lasera na obrazie z kamery, który jest stosunkowo mało dokładny i czasochłonny.

Literatura

- [1] Cyganek B., *Komputerowe przetwarzanie obrazów trójwymiarowych*. EXIT, 2002.
- [2] Tadeusiewicz R., Korohoda P., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Kraków, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji 1997.
- [3] Brian Curless, VI 2008 <http://www.cs.washington.edu/homes/curless> (odnośnik internetowy).
- [4] Jaros M., *Skanowanie przestrzenne pomieszczeń za pomocą układu kamery wysokiej rozdzielczości i lasera*. Katedra Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej, 2007 (praca magisterska).