

Marzanna LESIAKOWSKA - JABŁOŃSKA

POLITECHNIKA ŁÓDZKA, WYDZIAŁ INŻYNIERII I MARKETINGU TEKSTYLIÓW,
KATEDRA ODZIEŻOWNICTWA

Metoda rejestracji, przetwarzania i analizy obrazu do cyfrowego opisu powierzchni manekina

Dr inż. Marzanna LESIAKOWSKA-JABŁOŃSKA

Ukończyła studia na PŁ, kierunek Włókiennictwo, specjalność Odzieżownictwo. W roku 1999 uzyskała tytuł doktora nauk technicznych. Pracuje jako adiunkt w Katedrze Odzieżownictwa PŁ. Obszary zawodowych zainteresowań to: projektowanie i organizacja przemysłowych procesów produkcyjnych w zakładach odzieżowych, komputerowo wspomaganie procesy przygotowania produkcji w odzieżownictwie oraz włókiennicze wzornictwo przemysłowe.



e-mail: marzanna.lesiakowska-jablonska@p.lodz.pl

Streszczenie

Zapis powierzchni fantomów - manekinów (stosowanych powszechnie w odzieżownictwie fizycznych modeli budowy ciała ludzkiego o określonej uśrednionej charakterystyce wymiarowej) jest konieczny z punktu widzenia prac nad inżynierskimi metodami konstrukcji wykrojów odzieży. Potwierdzają to liczne prace z tego obszaru prowadzone przez szereg placówek naukowych i badawczych świata [1, 2, 3]. Dzięki badaniom prowadzonym w Katedrze Odzieżownictwa PŁ opracowano metodę fotogrametryczną pozwalającą na rejestrację, przetworzenie, analizę, opis cech wymiarowych i odwzorowanie 3D (three dimensional) powierzchni manekinów [4].

Słowa kluczowe: analiza obrazu, przetwarzanie obrazu, skanowanie 3D, cyfrowe modele obiektów 3D, pomiarowe metody optyczne.

The method of recording, converting and images analysis for digital model of phantom surface

Abstract

Phantom surface representation based on computer analysis of phantom 2D images is a very challenging problem. The representation of phantom surface is necessary for development of engineering techniques for constructing shapes of clothes. The phantoms are widely used in clothing science as a model of human body. This is confirmed by large number of publications from many research institutes [1, 2, 3]. At the Clothing Department, Technical University of Łódź, the new method of digital representation of phantom surface was developed [4]. Thus optical representation method was used to obtain a digital phantom surface model. The indirect method of 3D surface measurement was proposed, where geometrical features of an analysed object were estimated based on analysis of series of its 2D images. The 2D image is a central projection of the analysed object. The most important problem is to register such a projection and then perform an appropriate analysis. To obtain a digital model of objects with size comparable to the human body, the measurement bench was assembled as shown in Fig. 1. This bench contains: analysed object (1); a projector (2) which is a source of two light half-planes (bright and dark); they are projected onto analysed object (1) and are called as "horizontal light half-plane"; a TV camera (9) as a video signal source for the computer (10); it is moved along with a projector during measurement process and it is at an angle α in relation to light half-plane; two stepper motors (3, 4) with a driving system (5), used to move a camera (with Δz step) and rotate a phantom (with an angle $\Delta\phi$); mechanical circuit, which is used to move a camera and a projector; computer (10) used to control whole a system, equipped with two monitors (6, 7), add-on cards and specialised software; vertical reference half-plane, firmly fixed to measure a distance from the analysed object. This measurement bench was used for acquisition and analysis of images of investigated objects.

Keywords: images analysis, 3D scanning, digital model of 3D objects, optical representation method.

1. Wstęp

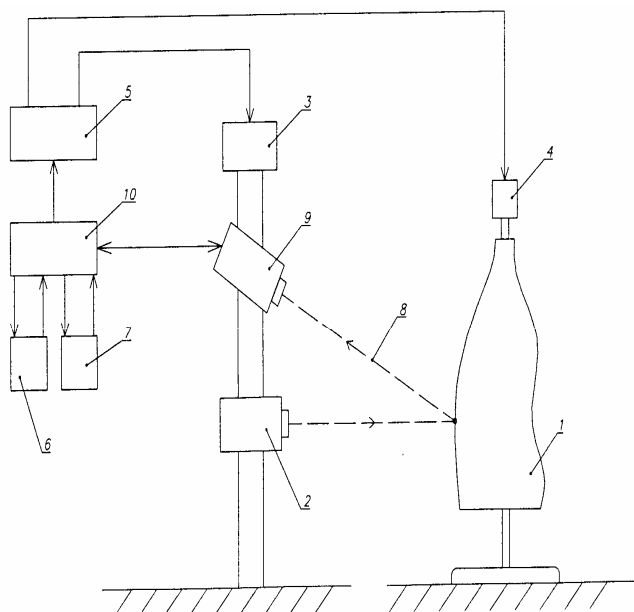
Wzorcem budowy ciała ludzkiego w procesach przemysłowych jest fantom, powstały na podstawie odpowiednio przeprowadzonych i opracowanych statystycznie pomiarów antropometrycznych. Fantom (analogicznie jak ciało ludzkie, którego jest uśrednionym odwzorowaniem) ma nierozdzielalną, złożoną przestrzennie formę. Odzież natomiast jest w pewnym sensie i znacznym uogólnieniu przestrzennym odwzorowaniem powierzchni, na którą jest konstruowana. Dopiero pełny opis wzorców budowy ciała ludzkiego w postaci cyfrowej, uczyni możliwym inżynierskie projektowanie odzieży. W referacie zaprezentowano model prostego i taniego stanowiska do rejestracji, przetwarzania i analizy szeregu obrazów 2D będących odpowiednio zarejestrowanymi ujęciami fragmentów fantomu (manekina). Ta optyczna, bezkontaktowa metoda pomiaru prowadzi do otrzymania cyfrowego modelu fantomu. Cykl pomiarowy oparty na komputerowej analizie obrazów, uzyskiwanych poprzez odpowiednią ich rejestrację na stanowisku, jest zautomatyzowany. Wykorzystano metodę z zakresu fotogrametrii - na badany obiekt rzutowano płaszczyznę świetlną, a otrzymane poprzez kamerę video obrazy poddano komputerowej analizie. Opracowano odpowiednie algorytmy i napisano programy mające na celu sterowanie pracą układu pomiarowego oraz analizę cyfrowych obrazów. Przy znajomości parametrów charakteryzujących kolejne ujęcia, obliczono współrzędne szeregu punktów leżących na powierzchni badanych brył. Powierzchnia 3D zostaje więc zarejestrowana, zmierzona i przedstawiona jako ciąg współrzędnych uporządkowanych punktów leżących w węzłach dowolnie gęstej sieci pomiarowej. Metodę przetestowano na bryle wzorcowej - o znanej geometrii. Następnie odtworzono cyfrowe modele powierzchni fantomów. Oszacowano poziom błędów odwzorowania powierzchni na podstawie analizy przeprowadzonej dla brył testowych.

2. Metoda rejestracji 2D obrazów obiektu 3D

Aby otrzymać cyfrowy model 3D powierzchni manekina zastosowano sposób optycznego odwzorowania. Zaproponowano metodę bezkontaktowego pomiaru powierzchni 3D, polegającą na określaniu cech wymiarowych badanego obiektu na podstawie analizy szeregu jego płaskich obrazów. Pomiar taki jest pośredni, gdyż polega na otrzymywaniu informacji o obiektach fizycznych poprzez rejestrację, analizę i interpretację obrazów tych obiektów, a nie przez bezpośredni pomiar ich samych. Zdjęcie fotograficzne lub obraz video stanowią rzut środkowy badanego przedmiotu. Główne zadanie polega więc na odpowiednim zarejestrowaniu takiego rzutu (wprowadzenie informacji pomocniczych) i właściwej analizie, z punktu widzenia oczekiwanych informacji. W tym celu zbudowano stanowisko pomiarowe, którego uproszczony schemat powiązań funkcjonalnych przedstawiono na rys. 1.

System pomiarowy składa się z: badanego obiektu (1) umieszczonego centralnie na pionowej osi obrotu; projektora (2) z przesłoną będącą źródłem dwóch półpłaszczyzn świetlnych (jasnej i ciemnej) rzutowanych na badany obiekt (1) i nazywanych „pionową płaszczyzną świetlną”; kamery video (9) będącej źródłem sygnału wizyjnego dla komputera (10), która przemieszczana jest z rzutnikiem na wspólnym układzie jezdny i pochylona w czasie trwania pomiarów pod kątem α w stosunku do kierunku rzutu płaszczyzny świetlnej; układu napędowego w postaci dwóch silników skokowych hybrydowych (3, 4) o skoku znamionowym równym $1,8^0$ (tzn. o 200 krokach na jeden pełen obrót wirnika), z dwoma sterownikami półskokowymi (5) wytwarzającymi

cyfrowy sygnał sterujący pracą silników, dającymi w efekcie elementarny skok układu równy $0,9^0$, układ ten zapewnia krokowy (co Δz) ruch pionowy systemu pomiarowego (2, 9) oraz obrotowy ruch skokowy (co kąt $\Delta\phi$) badanego obiektu (1); układu mechanicznego do przemieszczania systemu kamera – rzutnik i napędu badanego obiektu oraz komputera (10) zaopatrzonego w: odpowiedni program sterujący pracą całego układu oraz program do analizy danych obrazowych, dwa monitory systemowe (6) i kontrolny (7) wyświetlający dane obrazowe, kartę do analizy obrazowej, kartę do sterowania elementami mechanicznymi układu.



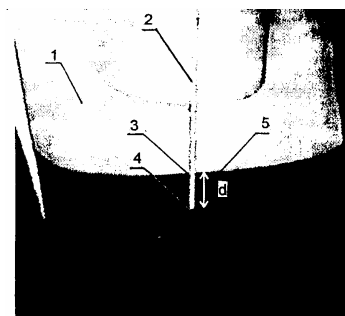
Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego
Fig. 1. Measurement bench

Na tym stanowisku dokonywano rejestracji i analizy uporządkowanego szeregu obrazów badanych brył, na które rzutowano poziomą płaszczyznę świetlną (styk dwóch półpłaszczyzn). Rejestracja obrazów pod odpowiednim kątem α w stosunku do linii rzutu płaszczyzny świetlnej powoduje uzyskanie przesunięcia śladu przecięcia płaszczyzną świetlną badanej powierzchni w danym punkcie w stosunku do tego samego śladu na płaszczyźnie odniesienia, będącej stałym elementem stanowiska pomiarowego. Stwierdzono, że wartość tego przesunięcia oznaczonego symbolem d widocznego na kolejnych obrazach (rys. 2), przy zachowaniu odpowiednich parametrów rejestracji, jest liniowo proporcjonalna do odległości p badanego obiektu w danym punkcie pomiarowym od płaszczyzny odniesienia. Wyznaczenie z obrazów wartości przesunięć d (dla punktów o znanych współrzędnych położenia na bryle 3D) i przeliczenie ich na promienie wodzące ρ' w kolejnych punktach pomiarowych daje cyfrowy model powierzchni fantomu.

3. Uzyskiwane obrazy

W wyniku odpowiedniej rejestracji mierzonej powierzchni 3D, uzyskiwane za pośrednictwem kamery obrazy 2D, po komputerowej analizie i prostych obliczeniach, dają współrzędne bryły. Na rys. 2 pokazano przykładowy obraz manekina (1) widziany od strony ramienia, na który rzutowano poziomą płaszczyznę świetlną (5). Jak już wcześniej pisano, prowadząc badania stanowisko pomiarowe ustawiono tak, że oś optyczna kamery przebiega w stosunku do kierunku rzutowania płaszczyzny świetlnej pod kątem. Dzięki takiej rejestracji danych uzyskano na obrazach przesunięcie śladu przecięcia płaszczyzną świetlną badanego

obiektu (punkt 3 na rys. 2) w stosunku do śladu (4) powstającego na płaszczyźnie odniesienia (2). Wyraźnie widoczny na obrazie powierzchni manekina i płaszczyzny odniesienia jest jasny odcinek przesunięcia d . Analogiczne obrazy jak przykładowy pokazany na rys. 2, uzyskiwane są w przypadku umieszczenia jako obiektu mierzonego dowolnej powierzchni 3D o wymiarach zbliżonych do wymiarów ciała ludzkiego (możliwy zakres pomiarowy układu między wyłącznikami krańcowymi górnym i dolnym wynosi ok. 150 cm). Ograniczeniem minimalnych rozmiarów badanego obiektu jest możliwość zamocowania go na osi obrotu oraz rozpoznawalność na obrazie szczegółów ukształtowania powierzchni przy maksymalnym powiększeniu układu optycznego.



Rys. 2. Obraz 2D
Fig. 2. The 2D image

4. System do komputerowej analizy obrazów 2D

Kolejne obrazy przekazywane przez kamerę analizowane są przez komputer przy użyciu specjalistycznego systemu MIPS 512. Układ do przetwarzania i analizy obrazów składa się ze standardowego zestawu urządzeń IBM PC/AT uzupełnionego specjalistycznymi kartami (*extension cards*) w standardzie ISA wykonanymi przez Zespół Elektronicznej Aparatury Medycznej Instytutu Elektroniki PŁ. Źródłem sygnału wizyjnego jest kamera video. Obraz analogowy 2D jest sygnałem wejściowym dla przetwornika obrazu, który dokonuje zamiany jasności światła na odpowiedni sygnał elektryczny zwany sygnałem wizyjnym. Ten z kolei jest próbkowany i kwantowany (dyskretyzowany) za pomocą przetwornika analogowo - cyfrowego (*A/C converter*) i zapamiętywany jako dwuwymiarowy obraz cyfrowy (*digital image*). Obraz cyfrowy 2D odpowiednio zarejestrowany jest wykorzystywany w obliczeniach mających na celu wyznaczenie cech informacyjnych o obrazie 3D. Przetworzenie pojedynczego obrazu telewizyjnego na obraz cyfrowy nazywane jest rejestracją obrazu. Czas rejestracji i analizy jednego ujęcia wynosi 40 ms. Obraz cyfrowy, zapamiętany w procesie rejestracji, odpowiada kwadratowej tablicy o wymiarach 512 x 512 pikseli (punktów obrazowych) przy 128 poziomach jasności [5]. Każdy piksel obrazu cyfrowego reprezentuje pojedynczą próbkę sygnału wizyjnego. Jasność piksela obrazu, określona wartościami próbek sygnału wizyjnego, jest kodowana za użyciem słów ośmiobitowych. Siedem młodszych bitów każdego słowa służy do zapisu jasności pikseli, najstarszy bit jest wykorzystywany do przechowywania informacji dodatkowych. Zapamiętanie obrazu wymaga zatem 256 kB (512 x 512 x 8 bitów) pamięci wchodzącej w skład systemu. Punktom obrazu, wyświetlonym na monitorze obrazowym przyporządkowano układ współrzędnych OXY z początkiem w lewym górnym rogu obrazu. Odpowiednie sygnały sterujące dla monitora wytwarzane są przez układ wyświetlania obrazu. Zadaniem układu interfejsu z komputerem jest umożliwienie wymiany danych pomiędzy pamięcią komputera oraz przekazywanie systemowi sygnałów sterujących pochodzących od komputera. Przykładowy obraz poddawany analizie pokazano na rys. 2. Dla potrzeb analizy obrazu opracowano specjalną procedurę, której celem jest wyznaczenie długości

Jest to podstawowe równanie wiążące wielkości promienia wodzącego ρ (względem płaszczyzny odniesienia) i przesunięcia \mathbf{d} - obserwowanego na obrazach. Zależność ta mogłaby posłużyć do obliczania wielkości promieni wodzących ρ w poszczególnych punktach pomiarowych względem płaszczyzny odniesienia, które przy znajomości odległości osi obrotu badanego obiektu od płaszczyzny odniesienia w łatwy sposób można przeliczyć na promienie wodzące ρ' względem osi obrotu bryły. Wykorzystanie wzoru (9) wymaga jednak dokładnego określenia powiększenia układu optycznego kamery v , kąta pochylenia α oraz określenia wartości \mathbf{d} w jednostkach długości, a nie w pikselach, co ma miejsce w czasie komputerowej analizy obrazów. Występujące po prawej stronie równania (9) parametry są trudne do bezpośredniego zmierzenia lub dokładnego obliczenia. Składa się na to: brak pełnej specyfikacji obiektywu kamery, brak możliwości bezpośredniego zmierzenia kąta α oraz możliwość wyznaczenia wielkości rzutu \mathbf{d} jedynie w liczbie pikseli, a nie w jednostkach długości. Określenie rzutu \mathbf{d} bezpośrednio w jednostkach długości wymagałoby przeprowadzenia dodatkowych skalujących pomiarów. Trudności z wyznaczeniem tych wielkości spowodowały, że zależność (9) nie została wykorzystana bezpośrednio do znajdowania promieni ρ , a tylko do analizy wrażliwości pomiarów na zmiany wybranych parametrów stanowiska pomiarowego, co stanowiło podstawę do wstępnego zaprojektowania ustawienia elementów układu. Dla wyznaczenia zależności wiążącej promień ρ z odczytywanym z obrazów przesunięciem \mathbf{d} wykonano wzorcowanie układu pomiarowego, które polegało na wyznaczeniu z obrazów przesunięć \mathbf{d} przy znanych odpowiadających im wielkościach promieni ρ . Z otrzymanego szeregu par ρ i \mathbf{d} obliczono równanie korelujące te parametry. Tym wzorem posługiwano się w toku dalszych obliczeń. W wyniku przeprowadzonych pomiarów (etap1 - wzorcowanie układu pomiarowego) dla rozwieszanej pionowo płaszczyzny, przemieszczanej co stały skok, zmierzono ciąg wartości rzeczywistych odległości ρ płaszczyzny badanej od płaszczyzny odniesienia oraz odpowiadający im ciąg wyznaczonych z obrazów wartości przesunięcia rzutów śladów przecięcia płaszczyzną świetlną badanej płaszczyzny i płaszczyzny odniesienia \mathbf{d} .

Ponieważ w każdym położeniu płaszczyzny wykonywano po 20 pomiarów obu wartości (ρ i \mathbf{d}), to do obliczenia zależności funkcyjnej:

$$\rho = f(\mathbf{d}) \quad (10)$$

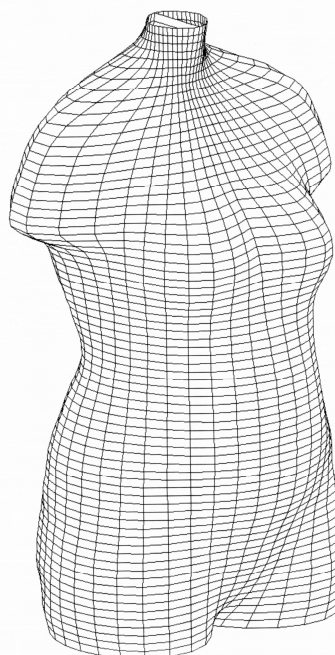
wykorzystano wartości średnie, aby zmniejszyć wpływ przypadkowych błędów pomiarów na dokładność aproksymacji. Wyznaczona empirycznie postać równania (10) jest podstawą do przeliczenia wielkości \mathbf{d} (wyznaczonych w pikselach z uporządkowanego szeregu obrazów 2D powierzchni mierzonej bryły) na otrzymywane w jednostkach długości wartości odległości ρ . Te z kolei pozwalają obliczyć promienie wodzące w poszczególnych punktach mierzonej bryły z prostej zależności:

$$\rho' = L - \rho \quad (11)$$

gdzie: L jest odległością płaszczyzny odniesienia od osi obrotu bryły, a ρ' szukaną odległości danego punktu leżącego na powierzchni bryły od osi obrotu bryły. Pozostałe dwie współrzędne położenia poszczególnych punktów są wynikiem znajomości kąta obrotu mierzonej bryły oraz położenia (wysokości) rzutowanej płaszczyzny świetlnej, a co za tym idzie wysokości mierzonego (rejestrowanego) punktu.

W etapie 2 przeprowadzono pomiary brył o znanych wymiarach (powierzchnie kuliste, walcowe obracane osiowo i ukośnie) w celu weryfikacji poprawności działania systemu pomiarowego i oszacowania wielkości błędów pomiarowych. Dla mierzonych powierzchni otrzymano graniczny błąd względny pojedynczego pomiaru na poziomie 2%. Oceniono więc uzyskiwaną dokładność metody pomiarowej jako dobrą. W etapie 3 przeprowadzono

pomiary powierzchni fantomów, a ich przykładowy rezultat pokazano dla fantomu damskiego – rys. 4.



Rys. 4. Cyfrowy model powierzchni fantomu
Fig. 4. Digital model of the phantom

6. Podsumowanie

Jak wynika z powyższego komputerowa analiza odpowiednio zarejestrowanych płaskich obrazów powierzchni 3D może być wykorzystywana do tworzenia cyfrowych modeli tych obiektów. Pozwala to na uzyskanie współrzędnych uporządkowanego zbioru punktów (ok. 3.000 punktów pomiarowych na powierzchni fantomu) i daje możliwość pełnego zapisu mierzonej powierzchni. Skonstruowane stanowisko jest stosunkowo tanie i daje zadawalające rezultaty dla potrzeb odzieżownictwa. Jego modyfikacje zmierzają w kierunku przystosowania tego układu do pomiaru powierzchni ciała ludzkiego.

7. Literatura

- [1] Schlomski I., FB – Mitgliederversammlung: Vorstands – Veränderungen & Virtuelle Verbesserungen, DNZ International, 4/99, s.38-40
- [2] Schierbaum W., Body Scanner ersetzt das Massband, DNZ International, 6/99, s.38-39
- [3] Yijun Xiao; Werghe, N.; Siebert, P., A topological approach for segmenting human body shape, Image Analysis and Processing, 2003.Proceedings, 12th International Conference onVolume, Issue, 17-19 Sept. 2003, s.82 - 87
- [4] Lesiakowska – Jabłońska M., Cyfrowe Odwzorowanie powierzchni fantomu, praca doktorska, PŁ, Łódź 1999
- [5] Materka A. i inni, Elementy cyfrowego przetwarzania obrazów, PWN, W-wa 1991
- [6] Kobza W., Lesiakowska-Jabłońska M., Strzelecki M., Komputer Analysis of Phantom Images, Zeszyty Naukowe PŁ nr 845, Włókiennictwo, z. 58 , Łódź 2000, s.261 – 266