**politechnika częstochowska**

**WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I TECHNOLOGII MATeRIAŁÓW**

**INSTYTUT FIZYKI**

A description...

Adam Świącik

nr albumu: 118375

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

Studia stacjonarne

**Temat:**

**Wykorzystanie fotogrametrii do wyznaczania geometrii obiektów**

Promotor:

**dr inż. Rafał Dobrakowski**

**Streszczenie**

Praca zawiera opis implementacji oprogramowania komputerowego które umożliwia otrzymanie cyfrowej reprezentacji obiektów rzeczywistych, poprzez kolejno: wczytanie serii zdjęć z różnej perspektywy badanego przedmiotu, wyznaczenie jego struktury, a następnie rekonstrukcję powierzchni i wizualizację wyników. Badania przeprowadzono na kilku obiektach sprawdzając zachowanie się algorytmu w różnych realnych sytuacjach. Wyniki zostały ostatecznie porównane z wynikami otrzymanymi przez autorski skaner laserowy oraz komercyjny program Autodesk 123D.

# Wstęp

W dobie informatyzacji i cyfrowej archiwizacji danych, istnieje rosnący trend wskazujący na coraz większą potrzebę gromadzenia wszelkich dostępnych danych o otaczającym nas świecie. Do nie dawna za sprawą tzw. komputeryzacji dotyczyło to głównie danych tekstowych. Obecnie jest to niewystarczające i coraz częściej, głównym źródłem informacji staje się obraz.   
Na wzór rozwiązań które zaproponowała natura, od dawna buduje się systemy wizyjne, których zadaniem jest akwizycja, a następnie analiza i dalsze przetwarzanie informacji wyłuskanych ze zdjęć. Budowa takiego sytemu jest obecnie jednym z najważniejszych problemów przed jakimi stoi współczesna robotyka i w odpowiedzi na potrzeby właśnie robotyki powstało dotychczas wiele rozwiązań i technik które to umożliwiają.

Uzyskane dzięki akwizycji i analizie obrazu dane są dalej wykorzystywane na szereg różnych sposobów. Jednym z możliwych jest cyfrowa rekonstrukcja badanego przedmiotu, czy jak często podaje literatura – sceny, czyli wszystkiego co jest rejestrowane przez kamerę. Przykładów użycia takiej rekonstrukcji jest wiele, m.in:

* w policji, do dokumentowania miejsc wypadków drogowych i przestępstw [1] [2] [3].
* W medycynie do badania wad postawy [4] i szeroko rozumianej protetyki. Ponadto cyfrowa rekonstrukcja towarzyszy badaniom z użyciem tomografii komputerowej czy rezonansu magnetycznego [5].
* W archeologii i muzealnictwie, gdzie dokonuje się digitalizacji cennych obiektów historycznych oraz tworzy trójwymiarową dokumentację dzieł sztuki [4] [5].

Jednym z ważniejszych zastosowań wspomnianych systemów wizyjnych i trójwymiarowej rekonstrukcji otoczenia jest budowa autonomicznych maszyn, w samochodów czy humanoidalnych robotów ratowniczych. Od lat co roku odbywa się międzynarodowy konkurs „DARPA Robotics Challenge” którego celem jest rozwijanie i promowanie budowy półautonomicznych robotów przeznaczonych do specjalnych zadań w specjalnych warunkach, w tym w środowisku niebezpiecznym dla ludzi. Elementarnym problemem podczas budowy takich robotów jest otrzymanie, analiza i interpretacja informacji o najbliższym otoczeniu maszyny. Jest to zadanie wspomnianych już systemów wizyjnych.

Niniejsza praca zawiera opis programu komputerowego którego celem jest otrzymanie trójwymiarowej cyfrowej postaci badanego przedmiotu. Ze szczególnym naciskiem na kształt obiektu. Działanie programu można przedstawić w czterech krokach:

1. Akwizycja obrazu – zadanie to jest realizowane poprzez wczytanie przygotowanej wcześniej serii zdjęć danego obiektu, wykonanych z różnej perspektywy.
2. Otrzymanie struktury, czyli informacji geometrycznej o zarejestrowanych na zdjęciach przedmiocie. W tym kroku została użyta jedna z technik fotogrametrycznych SfM   
   (ang. Structure from Motion).
3. Rekonstrukcja powierzchni. Na podstawie otrzymanej w poprzednim kroku chmury punktów, dokonuje się jej przetworzenia a następnie w oparciu o nią rekonstrukcji powierzchni.
4. Wizualizacja wyników. Program zawiera zaimplementowany interfejs graficzny rozszerzony o okno podglądu otrzymanych wyników.

Przedstawione tutaj oprogramowanie ma stanowić bazę i podstawę do dalszych prac rozwojowych w zakresie budowy zaawansowanych systemów wizyjnych i cyfrowej rekonstrukcji obiektów.

## Przegląd technik pomiarowych

Cyfrową reprezentację badanego przedmiotu można otrzymać na szereg różnych sposobów. Zasadniczo można je podzielić na metody stykowe/dotykowe oraz bezkontaktowe/optyczne.

Rysunek 1 Podział technik pomiarowych

W przypadku pierwszej grupy, tj. metod dotykowych podczas dokonywania pomiaru następuje kontakt aparatury mierzącej z badanym przedmiotem, przez co uważa się tę grupę to metod inwazyjnych. Cechą pomiarów dotykowych jest wysoka dokładność, a zarazem długi czas pomiaru. Ponadto korzystające z nich maszyny są generalnie drogie, mało mobilne i skomplikowane w użyciu. Wszystko to powoduje, że znajdują one zastosowanie w bardzo małej liczbie zastosowań. Najczęściej są to maszyny CNC oraz współrzędnościowe maszyny pomiarowe wyposażone w precyzyjne sondy zamontowane na ruchomych ramionach.

W metodach bezdotykowych, jak sugeruje nazwa, pomiarów dokonuje się w sposób pośredni. Wykorzystując w tym celu głównie szeroko rozumiane promieniowanie elektromagnetyczne. Począwszy od fal radiowych wykorzystywanych w radarach, po podczerwień użytą w dalmierzach laserowych i promienie rentgena z których korzysta się m.in. w tomografii komputerowej. Ponieważ tylko światło widzialne znajduję się w kręgu tematycznym tej pracy, dlatego zastosowanie tylko tego promieniowania będzie dalej omawiane.

### Optyczne metody pomiarowe

W grupie pomiarów optycznych, ze względu na rodzaj użytego podczas badania światła, rozróżnia się techniki aktywne i pasywne.

Techniki aktywne korzystają z własnego źródła światła, które zostaje skierowane na badany przedmiot, specjalny detektor rejestruje odbite od przedmiotu promieniowanie, a następnie powstały na detektorze obraz zostaje przetworzony i poddany analizie, dopiero wtedy dokonuje się na jego podstawie niezbędnych pomiarów

Do grupy technik aktywnych można zaliczyć:

* Technikę triangulacji laserowej

Ogólna zasada pomiaru sprowadza się do oświetlenia badanego przedmiotu wiązką promieniowania laserowego i rejestrowanie obrazu powstałej na powierzchni przedmiotu krzywej. Krzywa ta jest wynikiem perspektywy pomiędzy pozycją lasera, a kamery. Obracany za pomocą silnika krokowego stół, na którym umieszczony jest przedmiot, obraca się o stały znany kąt. Na podstawie serii tak wykonanych zdjęć i przy wykorzystaniu triangulacji wyznacza się położenie punktów które na obrazie reprezentowane przez jasną linię. Ostatecznie z powstałej w ten sposób chmury punktów buduje się model 3D rekonstruowanej bryły.

Do zalet triangulacji laserowej należy zaliczyć fakt, że do pewnego stopnia nasłonecznienia możliwe jest użycie jej przy naturalnym oświetleniu, a nie wyłącznie w ciemnym pomieszczeniu. Konstrukcja zbudowanych w oparciu o nią urządzeń jest stosunkowo prosta, przez co ich obsługa jest prosta, a koszt zakupu mniejszy w porównaniu do konkurencyjnych rozwiązań.

Jako jej wady można wymienić mały obszar skanowania, długi czas pomiaru spowodowany małą ilością danych uzyskanych z jednego pomiaru.



Rysunek 2 Przykład użycia triangulacji laserowej

* Technikę światła strukturalnego

W przeciwieństwie do w/w konstrukcji, miejsce lasera zajmuje projektor który rzutuje na dany obiekt specjalny wzorzec. Ten podobnie jak w przypadku skanera laserowego jest rejestrowany przez kamerę, analizowany, przetwarzany. Chmura punktów która jest wynikiem skanowania może następnie posłużyć do rekonstrukcji powierzchni skanowanego obiektu.

Charakterystyczne dla tej techniki jest to, że podczas wykonania jednego pomiaru otrzymuję ogromną ilość informacji ponieważ, powierzchnia rzutowanego światła jest odpowiednio duża. Ponadto gęstość otrzymanych punktów pomiarowych jest równomierna. Ułatwia to znacząco późniejsze prace rekonstruktorskie. Użycie projektora oprócz wszystkich wymienionym wcześniej zalet jest jednocześnie słabszą stroną tej techniki. Użyte tutaj urządzenia projekcyjne musi odznaczać się bardzo dobrymi parametrami technicznymi. Trudno o zdjęcia odpowiedniej jakości w jasnym pomieszczeniu.



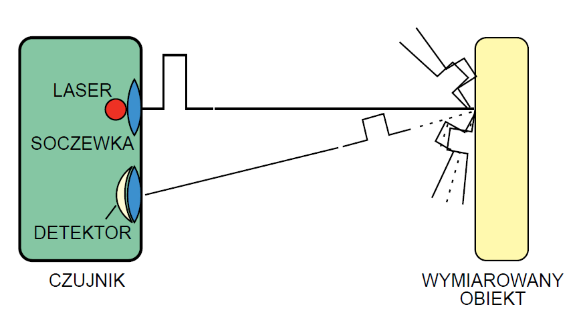
Rysunek 3 Zasada pomiaru w technice światła strukturalnego

* Technikę czasu przelotu wiązki (ang. Time of Flight)

Systemy wykorzystujące tę technikę zasadniczo zbudowane są ze źródła światła którym jest laser, oraz detektora promieniowania. Zasada działania jest stosunkowo prosta, gdyż wysyłane przez laser sygnały świetlne zostają zarejestrowane przez detektor, następnie obliczany jest czas pomiędzy wysłaniem a rejestracją sygnału. Na podstawie czasu zostaje obliczona odległość od badanego przedmiotu.

W praktyce, są to układy bardzo drogie i skomplikowane. Wykorzystywane najczęściej do badania otoczenia poruszających się autonomicznych pojazdów. W takim przypadku, w celu zwiększenia ilości gromadzonych danych, laser wraz z detektorem umiejscowiony jest na obracającym się z dużą szybkością stole. Omiatając wielokrotnie będący w zasięgu widzenia teren.

Jest to technika jak wspomniano wcześniej przeznaczona do badania dużych obszarów, gdzie inne techniki nie zdają egzaminu. Można jej użyć w każdych rozsądnych warunkach oświetlenia. Największą wadą która towarzyszy tej metodzie w porównaniu do poprzednich rozwiązań jest niska dokładność. Wprowadza się z tego powodu różne udoskonalenia w tym modulację wiązki światła, niemniej jednak póki co jest to technika skierowana do bardzo konkretnej grupy zastosowań.



Rysunek 4 Pomiar odległości techniką czasu przelotu wiązki

Pomiary pasywne generalnie nie wykorzystują żadnych dodatkowych źródeł światła oprócz tego które dostępne jest w danej chwili. W tej grupie znajdują się wszystkie techniki fotogrametryczne.

## Fotogrametria

Nazwa „*fotogrametria”* pochodzi od greckich słów „*photos”* oznaczające światło, „*gramma”* – zapis, oraz *„metreo”* – mierzę.

Jest nauką i technologią pozwalającą otrzymać informacje geometryczne o obserwowanych obiektach i ich otoczeniu, poprzez rejestrację, analizę i interpretację wykonanych zdjęć fotograficznych [1].

Początkowo znalazła głównie zastosowanie w geodezji i kartografii, gdzie za jej pomocą sporządzano mapy topograficzne terenu, a było to związane w tamtym okresie czasu z równoległym rozwojem jej i lotnictwa. Obecnie trudno wymienić gałąź nauki i techniki, w której fotogrametria nie znajduje zastosowania. Można tu wymienić chociażby architekturę, medycynę, kryminalistykę czy systemy zabezpieczeń. Jako dyscyplina inżynierska odgrywa znaczącą rolę na takich polach jak robotyka czy komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów [2].

U źródeł fotogrametrii leży układ wzroku człowieka. Zdolność percepcji głębi, jaką posiadamy ma swój początek właśnie w układzie wzrokowym. Obserwowany przez nas świat wygląda delikatnie inaczej z perspektywy lewego i prawego oka. Zarejestrowane dwa nieznacznie różniące się obrazy, są analizowane przez mózg, który zamienia te dwuwymiarowe zdjęcia w trójwymiarowy model. Mówimy wtedy o stereowidzeniu. Nie jest to bynajmniej jedyny sposób na postrzeganie głębi. Zasłaniając jedno oko nadal posiadamy zdolność widzenia przestrzennego. Jest to wynik wielu różnych procesów z których najważniejsze to mimowolne ruchy głowy i gałki ocznej. Dzięki tym czynnościom mózg jest w stanie zrekonstruować trójwymiarowy model otoczenia. Robi to analizując sekwencję obrazów rejestrowanych przez jedno oko. Wykonując ruch zmieniamy perspektywę, przez co następujące po sobie obrazy różnią się od siebie. Dalej podobnie jak ma to miejsce w przypadku widzenia stereoskopowego następuje podświadoma rekonstrukcja.

Fotogrametria jest próba naśladowania tych mechanizmów.

### Techniki fotogrametryczne

W ciągu kilkudziesięciu lat od początków fotogrametrii, powstało wiele technik fotogrametrycznych. Należą do nich m.in:

* fotogrametria jednoobrazowa – pozwala wyznaczyć położenie punktów na płaszczyźnie, stąd jej stosowanie jest ograniczone. W przypadku wykorzystania jej w tworzeniu map, rejestrowany teren powinien być płaski. W przypadku dokumentacji obiektów zabytkowych, rejestrowanymi przedmiotami mogą być np. malowidła lub płaskie elewacji budynków [3].
* fotogrametria dwuoobrazowa (stereofotogrametria) – przeznaczona do wyznaczania współrzędnych punktów w przestrzeni.
* fotogrametria lotnicza – korzysta się w niej ze zdjęć fotograficznych wykonanych z powietrza. Duży postęp w tej technice dokonał się początkowo w okresie dwóch wojen światowych i był on mocno związany z rozwojem lotnictwa [1].
* fotogrametria naziemna – zdjęcia wykonywane są ze specjalnie przygotowanych stanowisk naziemnych

Jedną z najmłodszych i w ostatnim czasie mocno rozwijaną jest technika *„Structure from Motion”*. SfM polega na wykonaniu serii pojedynczych zdjęć rekonstruowanego obiektu z różnej perspektywy, a następnie otrzymaniu struktury, tj. współrzędnych 3D, dzięki triangulacji.

### Structure from Motion

Zadaniem SfM jest rekonstrukcja sceny/obiektu na podstawie sekwencji zarejestrowanych obrazów. Jest to problem z jednej strony dobrze zrozumiany i zbadany. Dotychczas powstało wiele algorytmów i metod pozwalających na wykonanie takiej rekonstrukcji. Z drugiej strony jest to zadanie złożone i trudne do realizacji w praktyce.

Metoda ta zakłada, że zmiana położenia kamery, podczas wykonywania zdjęć jest początkowo nieznana i należy ją wyznaczyć. Kiedy zmiana perspektywy jest już znana, możliwe jest użycie triangulacji w celu wyznaczenia struktury, czyli współrzędnych punktów skanowanego obiektu.

Cały ten proces można podzielić na kilka etapów:

1. Kalibracja kamery, a przez to otrzymanie informacji o jej wewnętrznej geometrii
2. Detekcję punktów charakterystycznych
3. Dopasowanie w/w punktów.
4. Wyznaczenie macierzy projekcji dla obu kamer
5. Obliczenie współrzędnych 3D

Podsumowując, przedstawiony powyżej potok przetwarzania wymaga dostarczenia na wejściu dwóch elementów. Po pierwsze, sekwencji zdjęć, po drugie parametrów wewnętrznych kamery uzyskanych podczas kalibracji. Elementem wyjściowym natomiast jest struktura obiektu, czyli chmura trójwymiarowych punktów.

## Przegląd literatury

Z racji tego, że poruszany w pracy temat jest aktualny i w ostatnim czasie bardzo popularny, dostępna literatura w tym zakresie jest dość bogata. Zawiera się w niej szereg wartościowych prac i publikacji, zarówno z zakresu budowy i zastosowań systemów wizyjnych opartych o techniki fotogrametryczne, jak również literatury ukierunkowanej ściśle na problematykę SfM, rozpatrującej i analizującej każdy element jej potoku przetwarzania. Znajdują się też prace prezentujących gotowe implementacje podobnych jak przedstawiony w pracy systemów. Równie wiele artykułów i publikacji zajmuje się tematyką rekonstrukcji powierzchni i problemami z nią związanymi. Najmniej uwagi spośród wymienionych tutaj tytułów poświęca się tematyce renderowania i wizualizacji grafiki 3D. realizując to zadanie najczęściej przy pomocy gotowych darmowych lub komercyjnych programów bądź też całkowicie nie poruszając tej kwestii.

Mniejsza objętość literaturowa dotyczy tematu rekonstrukcji powierzchni. W tym przypadku głównym źródłem informacji staje się dokumentacja techniczna użytej podczas tworzenia programu biblioteki CGAL.

Należy zauważyć, że niewiele jest prac poruszających tak szeroką tematykę jak ma to miejsce tutaj. Zasadniczo dostępne publikacje obejmują jedną wybraną problematykę, opisu i implementacji metod fotogrametrycznych, rekonstrukcji powierzchni lub renderowania i wizualizacji grafiki 3D, nie łącząc ich ze sobą bądź powierzając część jednej z nich gotowym już programom. Pod tym względem niniejsza praca wprowadza pewną nowość. Jednocześnie wymusza to przyjęcie pewnego rodzaju kompromisu. Objętość tej pracy nie pozwala na przedstawienie i dokładne objaśnienie w zadowalającym stopniu wszystkich poruszanych tutaj zagadnień. Wynika to z ich ilości, a także złożoności. Stąd też podczas pisania tej pracy starano się zaprezentować wszystkie najważniejsze elementy w sposób ogólny.

gdzie następuje kontakt aparatury mierzącej z przedmiotem lub metody bezkontaktowe/optyczne. Oczywiście każda z wymienionych tutaj technik ma swoje szczególne zastosowanie i jest przeznaczona do konkretnych zastosowań. Niemniej jednak metody optyczne cieszą się największą popularnością. Są one z reguły tańsze, prostsze w obsłudze i mniejsze przez co bardziej mobilne. Przekłada się to na ich ogromny wachlarz zastosowań. Warto wymienić tutaj chociaż kilka z nich. W medycynie za ich pomocą wykonuje się badania wad postawy. W kryminalistyce pozwalają na szczegółowe dokumentowanie miejsca przestępstwa. W kartografii służą do sporządzania map terenu. W robotyce systemy wizyjne które pozwalają na otrzymanie informacji o chociażby geometrii obserwowanego przedmiotu, są jednym z kluczowych jak nie najważniejszym elementem autonomicznych robotów czy samochodów. Umożliwiają on maszynie poznanie własnej lokalizacji, omijanie i pokonywanie przeszkód, interpretację otoczenia i znacznie więcej.

Jak widać ilość zastosować jakie towarzyszą systemom wizyjnym jest ogromna. Równie ogromne jest zainteresowanie tym tematem oraz ilość dostępnej literatury, artykułów i badań w tym zakresie.

Zaprezentowany w pracy opis oprogramowania

Najczęściej spotykanymi optycznymi technikami pomiarowymi są skanowanie laserowe, z wykorzystaniem światła strukturalnego oraz fotogrametria.

Równolegle ze stosunkowo szybkim rozwojem optycznych metod pomiarowych, rośnie znaczenie takich pojęć jak rekonstrukcja i inżynieria odwrotna. Wykonanie serii pomiarów badanego przedmiotu za pomocą przykładowo skanera 3D pozwala uzyskać zbiór

W ostatnim czasie termiami jak rekonstrukcja czy inżynieria odwrotna. Przykładów zastosowań tych technik jest bardzo wiele. Począwszy od robotyki i automatyki, w których rekonstrukcja otoczenia pozwala autonomicznym robotom orientować się przestrzeni. Kończąc na fizyce, która chcąc lepiej rozumieć mechanizmy natury ciągle próbuje symulować i odtwarzać zachodzące wokół nas zjawiska.

Niniejsza praca staje przed problemem właśnie rekonstrukcji. Odtworzenia i sporządzenia cyfrowej reprezentacji rejestrowanego obiektu. Jest to problem, z którym zmagamy się coraz częściej, a to za sprawą chociażby szybko rozwijających się ostatnio technik druku 3D oraz ich popularnością.

# Wprowadzenie teoretyczne

# Realizacja

# Wnioski

# Bibliografia