

STRESZCZENIE

Celem niniejszej pracy dyplomowej było stworzenie skanera 3D oraz systemu wizualizacji utworzonych modeli rzeczywistych obiektów. Do budowy urządzenia wykorzystano kamerę głębi firmy Intel o nazwie RealSense D435i.W pracy został przedstawiony sposób budowy skanera 3D,jego kalibracji oraz algorytmy służące do przetwarzania otrzymanych danych pomiarowych w celu uzyskania wirtualnych modeli.W celu łatwiejszej obsługi programu został utworzony interfejs graficzny zawierający najważniejsze parametry wizualizacji i obróbki danych.Na koniec dane są eksportowane do modeli w formacie obsługiwanym przez program Blender.

**Słowa kluczowe:**Skaner 3D ,Intel RealSense, Python, Kamera RGBD

**Dziedzina nauki i techniki, zgodnie z wymogami OECD:**Nauki inżynieryjne i techniczne,Systemy automatyzacji i kontroli

**ABSTRACT**

The aim of this thesis was to create a 3D scanner and a system for visualization of created models based on real objects. In the work is presented how to build a 3D scanner, its calibration and algorithms used to process the obtained measurement data to obtain virtual models. In order to make the program easier to use, a graphic interface was created containing the most important parameters of visualization and data processing. Finally, the data are exported to the models in a format supported by the Blender program.

**Keywords:**3D Scanner,Intel RealSense, Python, RGBD Camera

SPIS TREŚCI

[WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW 5](#_Toc518373993)

[1. WSTĘP I CEL PRACY 5](#_Toc518373994)

[2. TYTUŁ DRUGIEGO ROZDZIAŁU (ewentualnie imię i nazwisko autora rozdziału w przypadku pracy zbiorowej) 5](#_Toc518373995)

[2.1. Tytuł podrozdziału (ewentualnie imię i nazwisko autora podrozdziału w przypadku pracy zbiorowej) 5](#_Toc518373996)

[2.1.1. Tytuł punktu podrozdziału 5](#_Toc518373997)

[2.2. Tytuł podrozdziału (ewentualnie imię i nazwisko autora podrozdziału w przypadku pracy zbiorowej) 5](#_Toc518373998)

[3. PODSUMOWANIE 5](#_Toc518373999)

[WYKAZ LITERATURY 6](#_Toc518374000)

[Załącznik nr 1/Dodatek A: Tytuł załącznika nr 1/dodatku A\* 7](#_Toc518374001)

# WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW

Kamera RGBD-Kamera głębi,oprócz wykonywania zdjęć RGB potrafi ona również dokonać pomiaru odległości od obiektów i nanieść te informację na powierzchnię poszczególnych pikseli obrazu.

# WSTĘP I CEL PRACY

## Cele i założenia

## Celem niniejszej pracy jest zaprojektowanie skanera 3D oraz wyeksportowanie kolorowych modeli do programu Blender przy zastosowaniu kamery Intel RealSense D435i. Ukazane zostaną również metody analizy oraz obróbki danych,które mają posłużyć do cyfrowej implementacji rzeczywistych obiektów zmierzonych przez kamerę RGBD.Część teoretyczna polega na zobrazowaniu istniejących rozwiązań zagadnienia.Wyjaśniono algorytmy służące do przetworzenia danych uzyskanych z kamery głębi w chmurę punktów. Wymieniony został określony ciąg czynności pozwalających na dodanie na chmurę punktów siatki oraz tekstur.W części praktycznej zostaną ukazane metody kalibracji urządzenia Intel RealSense oraz proces tworzenia wirtualnych obiektów ze skanu.

## Zawartość pracy

## Pierwszy rozdział opisuje cele oraz założenia pracy.Wykonano przegląd istniejących metod mających na celu generację trójwymiarowych obiektów na podstawie danych z kamery głębi wraz z zastosowaniami współczesnych skanerów 3D.

## W kolejnym rozdziale przedstawiony jest model oraz konstrukcja skanera 3D. Przeprowadzono gruntowną analizę wpływu kalibracji oraz nastaw parametrów urządzenia na otrzymany efekt końcowy.Następnie przedstawiono opisy zastosowanych algorytmów oraz kolejność ich wykonywania na podstawie napisanego przeze mnie programu w języku Python.W końcowym etapie poddano analizie pod względem dokładności rezultaty pomiarów w porównaniu do rzeczywistych wartości mierzonych.

## Trzeci rozdział zajmuje się podsumowaniem zarówno wykonanej pracy , jak i otrzymanych efektów. Ponadto porusza kwestię potencjalnych możliwości udoskonalenia urządzenia.

## Wprowadzenie do technologii skanerów 3D

## Początki skanerów 3D datuje się na lata 60 XX wieku.Do uzyskania modeli używano wówczas światła ,kamer oraz projektorów.Niestety, wymagania dotyczące nakładu pracy nie były proporcjonalne do otrzymanych wyników, których dokładność była względnie niska.W połowie lat 80-tych komputery zyskały na popularności ,a narzędzia pomiarowe stały się dokładniejsze w efekcie czego postanowiono użyć sondy stykowej.Mierzono odkształcenie sondy po zetknięciu się z obiektem wskutek czego można było wyznaczyć położenie punktów na płaszczyźnie obiektu w innym układzie współrzędnych.[1]Jej użycie pozwoliło na znaczne zwiększenie dokładności pomiarów,jednak prędkość ich wykonywania była powolna. Wobec tego zaistniała zauważalna potrzeba opracowania metody optycznej, która umożliwiłaby mierzenie obiektów z większą prędkością.Miałoby to na celu również pomiar elastycznych przedmiotów,które dotychczas nie były mierzalne ze względu na użyte technologie.Istnieje wiele różnych podejść do trójwymiarowych skanerów ,każde z nich ma zastosowanie w określonej dziedzinie.Poniżej przedstawiono najważniejsze z nich.

## Metoda triangulacji laserowej

## Występują dwa typy skanerów korzystających z danej metody pomiarowej. W pierwszym typie takiego skanera układ pomiarowy składa się z nadajnika laserowego ,obiektu pomiarowego oraz kamery.Poprzez przesuwanie wiązki po nieruchomym obiekcie ,znając położenie kamery oraz korzystając ze wzorów [2] można wyznaczyć położenie zmierzonych punktów w docelowym układzie współrzędnych.Zaletami tej konstrukcji są dokładność i wysoka rozdzielczość [3].Skanery te jednak nie sprawdzają się przy rekonstrukcji błyszczących oraz przezroczystych powierzchni.Zasada działania skanera została przedstawiona na rysunku.

## 

Rysunek Schemat skanera z triangulacją laserową [2]

Posługując się poniższymi wzorami można uzyskać współrzędne przestrzenne mierzonego obiektu,co w rezultacie pozwala na jego odwzorowanie w komputerowej symulacji.

Równanie 1 Równania przejścia pomiędzy współrzędnymi obiektu do współrzędnych przestrzennych[2]

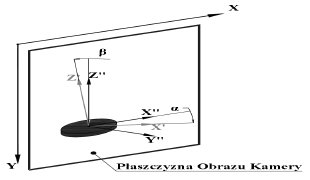
X,Y,Z-współrzędne przestrzenne zmierzonego obiektu

X’-położenie kamery względem początku ramienia uchwytu

X’’-wynik pomiaru w kierunku osi X w docelowych jednostkach.

Drugi typ skanerów opartych o metodę trianglulacji laserowej steruje położeniem obiektu względem lasera.Korzystając z tego rozwiązania,możliwe jest uzyskanie dokładniejszych wyników.W skład elementów konstrukcyjnych takiego układu wchodzą laser,kamera oraz tacka obrotowa z umieszczonym na niej obiektem pomiarowym.

W przeciwieństwie do pierwszego skanera,w tym układzie kamera oraz laser są nieruchome.Porusza się jedynie tacka obrotowa z obiektem.Laser wyświetla pionową linię na obiekt,a kamera rejestruje ten obraz.Tacka obracana jest o stały kąt dθ.Po zmierzeniu kąta nachylenia α pomiędzy kamerą,a laserem jak również kąta nachylenia β kamery względem tacki można dokonać transformacji ze współrzędnych obiektu do współrzędnych obrazu przechodzących przez oś obrotu tacki.Schemat działania takiego skanera został przedstawiony na rysunku poniżej.



Rysunek 2 Układ współrzędnych dla skanera z nieruchomym układem pomiarowym [2]

Współrzędne zmierzonego obiektu w układzie kamery można opisać poniższymi równaniami.

Równanie 2 Współrzędne obiektu w układzie kamery [2]

## Metoda emitowania światła strukturalnego Skanery oparte na tej metodzie wyświetlają siatkę świetlną na mierzony obiekt. Następnie wzór na obiekcie jest mierzony przez jedną lub dwie kamery .Za sprawą mierzenia mocy światła odbitego oraz kształtu siatki na przedmiocie ,korzystając z metod triangulacji, można wyznaczyć położenie obiektu w innym układzie współrzędnych.Jednocześnie wskutek wykorzystania obrazu z dwóch kamer jest możliwe wykonanie pełnego zdjęcia 3D. Głównym walorem tej metody jest szybka prędkość działania, ponieważ zdjęcia mogą być wykonywane z dużą częstotliwością.Ponadto światło emitowane przez ten skaner ,nie jest światłem laserowym,dlatego też wszelkie aspekty zagrażające wzrokowi są wyeliminowane. Słabym punktem tej metody jest ograniczona gęstość rzutowanej siatki.Co w przypadku obiektu o skomplikowanym kształcie sprawia,iż pomiar będzie musiał być wykonany parokrotnie pod różnymi kątami w celu uzyskania dokładnych wyników. [3]

## Fotogrametria Jest to metoda odtwarzania trójwymiarowego kształtu obiektów z płaskich dwuwymiarowych zdjęć.Polega ona na mierzeniu korelacji między sobą poszczególnych obrazów ,które wykonywane są w odstępie od 5 do 15 stopni od siebie. W celu zwiększenia dokładności używa się również technologii SFM ( ang. Structure From Motion) .Opiera się ona na identyfikacji homologicznych punktów na różnych obrazach w celu uzyskania perspektywy między nimi. Poprzez wykorzystanie efektu paralaksy istnieje możliwość późniejszego określenia w jakiej odległości od kamery znajdywały się poszczególne punkty na obrazie.Umożiwia to utworzenie funkcji przejścia między nimi oraz otrzymanie na

## końcowym etapie pełnego modelu 3D.[4] Pozytywnym aspektem tego rozwiązania jest niski koszt, gdyż do wykonania zdjęć wystarczy jedynie aparat w urządzeniu mobilnym. Największą wadą jest wysoka złożoność obliczeniowa. Często takie obliczenia wykonywane są w chmurze co zwiększa koszty eksploatacji takiej metody oraz dokładność pomiarów jest względnie niska w porównaniu ze skanerami RGBD.

## Skanery impulsowe LIDAR Zasada działania takiego lasera jest zbliżona do działania sonaru.Skanery impulsowe mierzą czas potrzebny wiązce lasera do przebycia drogi do przedmiotu i na tej podstawie określają odległość zmierzonego punktu od źródła światła.Skanery te wykorzystuje się do mierzenia dużych odległości ,ponieważ zmierzenie czasu lotu światła na małych odległościach jest wysoce trudne do zrealizowania.Dużym ograniczeniem tego typu rozwiązania jest pomiar tylko jednego punktu na obiekcie przy jednym cyklu ,dlatego też wykonanie pełnego skanu obiektu trwa znacznie dłużej niż w innych skanerach.Jednakże jedynie ta metoda zapewnia wymierne rezultaty na duże odległości.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Metodapomiarowa | ZakresPomiarowy [m] | Dokładność [mm] | Szybkość skanowania [punkty na sekundę] |
| Pomiar czasuprzelotu impulsu | <1500 | <20 | Do 12000 |
| Pomiar przesunięcia fazowego | <100 | <10 | Do 625000 |
| Triangulacja | <5 | <0.1 | Do 10000 |

Tabela 1Charakterystyki metrologiczne laserowych metod pomiarowych [3]

## Współcześnie skanery 3D mają zastosowanie w większości gałęzi życia oraz przemysłu.Przemysł budowlany wykorzystuje je w celu mierzenia odkształceń belek z dużą dokładnością [5].W medycynie mogą być użyte do skanowania części ciała oraz modelowania komputerowego kończyn [6].Wykorzystywane są również przy oględzinach pacjentów.Wysoka dokładność przy mierzeniu odkształceń na powierzchni ciała sprawia,że dzięki skanerom 3D można dostrzec złamania kości oraz inne ubytki.[7]Kolejną ważną rolą,jaką spełniają skanery 3D w medycynie jest druk 3D.Poprzez analizę danych otrzymanych z trójwymiarowych pomiarów oraz drukarki 3D można tworzyć modele kończyn.Takie elementy są pomocne przy nauce studentów oraz znajdują swoje zastosowanie w protetyce.[8]Również w przemyśle spożywczym skanery 3D używane są do kontroli jakości poszczególnych wyrobów [9].

# TYTUŁ DRUGIEGO ROZDZIAŁU (ewentualnie imię i nazwisko autora rozdziału w przypadku pracy zbiorowej)

Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx.

## Tytuł podrozdziału (ewentualnie imię i nazwisko autora podrozdziału w przypadku pracy zbiorowej)

Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx.

### Tytułpunktupodrozdziału

Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx.

## Tytuł podrozdziału (ewentualnie imię i nazwisko autora podrozdziału w przypadku pracy zbiorowej)

Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx.

# PODSUMOWANIE

Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx.

# WYKAZ LITERATURY

[1] Ebrahim, Mostafa: 3D LASER SCANNERS: HISTORY, APPLICATIONS, AND FUTURE. Civil Engineering Department ,Assiut University 2011, s. 5.

[2] MikulskiS.: *Metody triangulacji laserowej w skanerach trójwymiarowych.* Poznan University Of Technology Academic JournalsElectrical Engineering No75, 2013 ,s.240-245

[3] Jerzy Nowacki,NorbertSieczkiewicz,Michał Nocoń: *Pomiar odkształceń spawalniczych*

*metodami skanowania 3D*. Badania Nieniszczące i Diagnostyka 3, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie 2018, s. 4-5.

[4] Ewa Głowienka,BogdanJankowicz,BogusławaKwoczyńska,PrzemysławKuras,KrystynaMichałowska,SławomirMikrut,AgnieszkaMoskal,IzabelaPiech,MichałStrach,Jakub Sroka: Fotogrametria i skaning laserowy w modelowaniu 3D*.*Monografia, Wyższa Szkoła Inżynieryjno-Ekonomiczna2015, s. 118-119.

[5] GoszczyńskaB. ,Trąmpczyński W. ,BacharzK. ,BacharzM. ,TworzewskaJ. ,Tworzewski, P.: Doświadczalna analiza odkształceń przestrzennych belek żelbetowych z zastosowaniem skanera optycznego 3D*.* Inżynieria i Budownictwo, PolitechnikaŚwiętokrzyska2014, s. 156-159.

[6] Agnieszka Tomaka,LeszekLuchowski,Krzysztof Skarbek ,Michał Tarnawski:3D Head Surface scanningtechniques for orthodontics*.*Journal of medical informatics&technologies Vol.9 , 2005, s. 124-130.

[7] Michael J.Thali ,Marcel Braun,Richard Dirnhofer: Optical 3D surface digitizing in forensic medicine: 3D documentation of skin and bone injuries*.* Forensic Science International Vol.137 , Institute of Forensic Medicine, University of Berne,Berne 2003, s. 203-208.

[8] McMenamin, P.G., Quayle, M.R., McHenry, C.R. and Adams, J.W.The production of anatomical teaching resources using three‐dimensional (3D) printing technology. American Association of Anatomists, Vol.7, 2014,s.479-486

[9] Andrzej Anders,ZdzisławKaliniewicz,PiotrMarkowski:Zastosowanie skanera 3D do pomiarów cech geometrycznych produktów spożywczych na przykładzie pieczywa typu „Kajzerka” i „Minikajzerka”*.* Postępy techniki przetwórstwa spożywczego Vol.2 ,Katedra Maszyn Roboczych i Procesów Separacji,Uniwersytet Warmińsko-Mazurski,Olsztyn 2012, s. 22-26.

# Załącznik nr 1/Dodatek A[[1]](#footnote-1): Tytuł załącznika nr 1/dodatku A\*

Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxx xxx x xxxxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx. Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx x xxxxxxxxx.

1. (Wybrać właściwy zapis). [↑](#footnote-ref-1)