



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

DZIEDZINA NAUK INŻYNIERYJNO-TECHNICZNYCH

DYSCYPLINA AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I
TECHNOLOGIE KOSMICZNE

AUTOREFERAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Wykorzystanie optyki sterowalnej w obrazowaniu
trójwymiarowym metodą SFF

Autor: mgr inż. Bartosz Lenty

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Andrzej Sioma, prof. AGH

Praca wykonana:
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Kraków, 2025

Streszczenie

Ciągły wzrost wydajności produkcji w przemyśle wymaga ciągłego utrzymywania parametrów jakościowych wyrobów. Stanowiska bazujące na kontroli statystycznej lub wizualnej nie są w stanie zapewnić skuteczniejszej kontroli jakości wykonania każdego produktu. Skutkiem tego jest postępująca automatyzacja zadań kontrolno-pomiarowych. Jednym ze sposobów automatyzacji procesu kontroli jakości wykonania produktu jest zastosowanie systemów wizyjnych. Systemy wizyjne bazują na optycznych metodach pomiarowych umożliwiających obrazowanie sceny dwuwymiarowej lub w przypadku systemów wizyjnych 3D również scen trójwymiarowych. Postępujący rozwój technologiczny w zakresie mechanizacji, automatyzacji i cyfryzacji powoduje również konieczność dostosowywania i ulepszania metod obrazowania stosowanych w systemach wizyjnych.

W pracy zaproponowano rozwinięcie jednej z metod obrazowania trójwymiarowego – metody Shape from Focus (SFF). Jest to pasywna metoda optyczna, która do wyznaczenia głębi sceny używa informacji o ostrości punktów na obrazie dwuwymiarowym. W celu dostosowania metody SFF do poziomu gotowości technologicznej pozwalającej na jej wdrożenie na liniach produkcyjnych konieczne jest wprowadzenie szeregu modyfikacji. Modyfikacje zaproponowane w tej pracy związane są zarówno z częścią konstrukcyjną, jak i algorytmiczną procesu budowy obrazu 3D z wykorzystaniem tej metody.

W zakresie zmian konstrukcyjnych zaproponowano zastosowanie innowacyjnych rozwiązań z zakresu optyki sterowalnej. W ramach badań sprawdzono dostępne technologie optyki sterowalnej i wskazano soczewki płynne jako rozwiązanie umożliwiające poprawę parametrów użytkowych metody SFF. Następnie wyznaczono parametry elementów toru optycznego i oceniono ich wpływ na obrazowanie metodą SFF.

Prace i badania w zakresie przygotowania algorytmów budowy obrazu 3D obejmowały analizę metod estymacji ostrości na obrazie cyfrowym, algorytmów selekcji płaszczyzny ostrej oraz metod kalibracji. Przedmiotem badań było porównanie i dobór algorytmów poprawiających zarówno odporność metody SFF na zakłócenia występujące na liniach produkcyjnych, jak również wprowadzenie algorytmów kompensacyjnych poprawiających jakości odwzorowania sceny trójwymiarowej.

Spis treści

STRESZCZENIE.....	2
SPIS TREŚCI	3
1 MOTYWACJA.....	4
2 TEZY ROZPRAWY	5
3 STRUKTURA PRACY	6
4 WAŻNIEJSZE WYNIKI PRACY	8
4.1 Kompensacja zmiany powiększenia	8
4.2 Analiza dystorsji	8
4.3 Kalibracja	9
4.4 Mapa ufności.....	10
4.5 Weryfikacja metody obrazowania	11
5 PODSUMOWANIE	14
6 WYKAZ PUBLIKACJI I OSIĄGNIĘĆ AUTORA.....	16
6.1 Zainteresowania naukowe	16
6.2 Publikacje naukowe	16
6.3 Konferencje naukowe	18
6.4 Projekty badawczo-rozwojowe	18
6.5 Współpraca zagraniczna	19

1 Motywacja

Współczesne realia rynkowe, charakteryzujące się rosnącą świadomością konsumentką oraz rygorystycznymi regulacjami prawnymi, wymuszają wdrażanie zaawansowanych systemów kontroli jakości. Tradycyjne metody, takie jak kontrola statystyczna czy manualna inspekcja wizualna, okazują się niewystarczające, ponieważ nie są w stanie zapewnić skutecznej weryfikacji każdego produktu opuszczającego linię produkcyjną. Skutkiem tego jest postępująca automatyzacja zadań kontrolno-pomiarowych, w której kluczową rolę odgrywają bezkontaktowe systemy wizyjne.

Rozprawa dotyczy tematyki obrazowania 3D w kontekście przemysłowych systemów kontrolno-pomiarowych. W pracy przedstawiono metodę obrazowania SFF bazującą na analizie ostrości obrazów zarejestrowanych z wykorzystaniem optyki sterowalnej.

W rozprawie podjęto wyzwanie badawcze polegające na modyfikacji metody SFF w celu jej adaptacji do warunków przemysłowych. Modyfikacja ta, obejmująca zarówno zmiany konstrukcyjne toru optycznego, jak i opracowanie dedykowanych algorytmów, ma na celu przezwyciężenie dotychczasowych ograniczeń i zwiększenie zakresu możliwości jej zastosowania. Dla zaproponowanej modyfikacji metody SFF zidentyfikowano następujący szereg zagadnień badawczych, które należy wziąć pod uwagę w celu rejestracji obrazu trójwymiarowego:

- Dobór metody przemieszczania płaszczyzny przedmiotowej
- Przemieszczanie punktów sceny podczas rejestracji stosu obrazów
- Zmiana natężenia oświetlenia powierzchni podczas rejestracji stosu obrazów
- Wpływ aberracji optycznych
- Wpływ znacznego rozmycia krawędzi
- Dobór estymatora ostrości
- Dobór algorytmu selekcji płaszczyzny ostrej
- Zmiana rozdzielczości ΔX , ΔY w funkcji Z

2 Tezy rozprawy

W pracy postawiono dwie tezy badawcze:

I. Zastosowanie optyki sterowalnej oraz autorskich algorytmów rekonstrukcji obrazu w metodzie SFF pozwala na zmianę sposobu rejestracji stosu obrazów 2D oraz pozwala na rekonstrukcję sceny 3D.

II. Wprowadzenie optyki sterowalnej do metody SFF pozwala na rozszerzenie zakresu parametrów obrazowania co umożliwia rozszerzenie zakresu możliwych do realizacji zadań kontrolnych i pomiarowych.

3 Struktura pracy

Praca podzielona została na 11 rozdziałów oraz jeden załącznik.

Pierwszym rozdział stanowi wstęp przedstawiający ogólną tematykę pracy, tezy rozprawy, plan prac i opis struktury dokumentu.

Rozdział 2 wprowadzający czytelnika w tematykę systemów wizyjnych. Rozpatrywane są tam zastosowania systemów wizyjnych 2D oraz 3D w zadaniach pomiaru i kontroli parametrów produktu na liniach przemysłowych. Wstęp zawiera opis procesu akwizycji obrazu, szczegółowe omówienie kluczowych parametrów systemu obrazowania oraz metod reprezentacji obrazu 3D.

Rozdział 3 „Metody obrazowania 3D” stanowi przegląd metod obrazowania trójwymiarowego znajdujących zastosowanie na liniach przemysłowych. Wprowadzono również metodę SFF w celu zestawienia jej aktualnych funkcjonalności oraz parametrów użytkowych ze stosowanymi rozwiązaniami. Porównanie obejmowało metody stereowizyjne, światło strukturalne, metodę Time of Flight oraz triangulację laserową.

Rozdział 4 „Modyfikacja metody SFF” zawiera opis proponowanych zmian oraz wskazanie zagadnień badawczych realizowanych w pracy. Wprowadzenie poszczególnych zagadnień zostało powiązane z etapami procesu rekonstrukcji obrazu trójwymiarowego w metodzie SFF.

Rozdział 5 „Zastosowanie optyki sterowalnej w wizji maszynowej” zawiera przegląd rozwiązań konstrukcyjnych obiektywów wykorzystywanych w wizji maszynowej. W rozdziale skupiono się na rozwiązaniach optyki sterowalnej, tj. soczewkach płynnych. Konkluzją rozpatrywanego zagadnienia jest dobór konstrukcji soczewki płynnej wykorzystanej w pracy.

Rozdział 6 „Stanowisko badawcze” zawiera opis projektu, układu mechanicznego i elektrycznego oraz systemu sterowania, opracowanych dla stanowiska badawczego. Omówiono poszczególne podzespoły, ich funkcje oraz parametry techniczne.

Rozdział 7 „Ocena ostrości na obrazie cyfrowym” dotyczy prac badawczych dotyczących estymatorów ostrości oraz algorytmów selekcji płaszczyzny ostrej. Rozdział za-

wiera przegląd stanu wiedzy w tematyce metod estymacji ostrości, omówione zostały przeprowadzone doświadczenia oraz wyniki badań uzyskane dla wytypowanej grupy estymatorów.

Rozdział 8 „Transformacja obraz – świat” dotyczy zagadnień badawczych związanych z kalibracją obrazu zarejestrowanego z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody SFF. Wyprowadzone zostały krzywe kalibracyjne oraz omówione zostały rozdzielczości uzyskane dla kalibrowanych obrazów.

Rozdział 9 „Kompensacja błędów obrazowania” zawiera rozważania dotyczące czynników, które zostały zidentyfikowane jako mające wpływ na jakość odwzorowania sceny. Określono wpływ tych czynników na obraz 3D oraz zaproponowano odpowiednie algorytmy kompensacji.

Rozdział 10 „Weryfikacja metody obrazowania” zawiera przykłady zastosowania opracowanej, zmodyfikowanej metody obrazowania SFF. Porównano funkcjonalność metody SFF oraz triangulacji laserowej i skanera światła strukturalnego w zadaniu obrazowania geometrii otworów kształtowych.

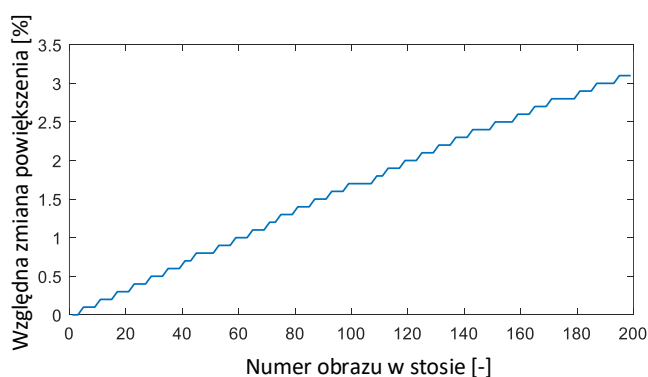
Rozdział 11 stanowi podsumowanie rozprawy, omówiono w nim uzyskane wyniki oraz przedstawiono wnioski. Pracę zamyka wskazanie kierunków rozwoju tej metody oraz zakresu zastosowania zaproponowanego rozwiązania.

4 Ważniejsze wyniki pracy

Badania nad zjawiskami związanymi z zastosowaniem soczewki płynnej przyniosły kluczowe wyniki dla poprawności działania zmodyfikowanej metody SFF.

4.1 Kompensacja zmiany powiększenia

Stwierdzono, że zmiana mocy skupiającej soczewki o 2D powoduje zmianę powiększenia obrazu rzędu 3%, co przekłada się na przemieszczenie punktów na krawędziach obrazu nawet o 30 pikseli (Rys. 4.1). Jest to błąd niedopuszczalny, uniemożliwiający poprawną analizę ostrości. Opracowany algorytm kompensacji, bazujący na kalibracji z wykorzystaniem specjalnego wzorca i wyznaczeniu rzeczywistego punktu przejścia osi optycznej, pozwolił na skuteczną normalizację całego stosu obrazów. Wprowadzenie tej kompensacji zredukowało błąd RMSE rekonstrukcji o 30-60%, w zależności od złożoności obiektu.

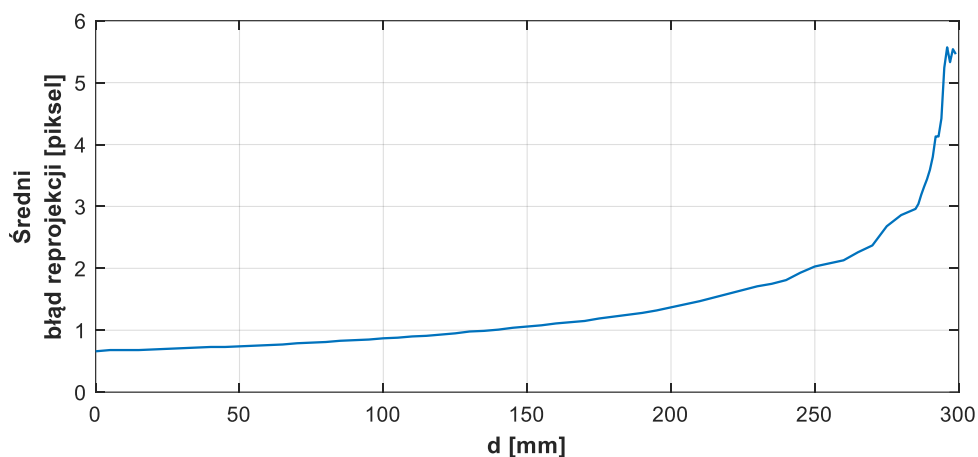


Rys. 4.1. Przebieg wyznaczonej funkcji względnej zmiany powiększenia w funkcji zmiany mocy skupiającej soczewki płynnej w zakresie (-1D do 1D)

4.2 Analiza dystorsji

Wykazano, że zmiana mocy skupiającej soczewki wpływa na dystorsję promieniową, jednak w przyjętej konfiguracji sprzętowej efekt ten jest pomijalny dla większości

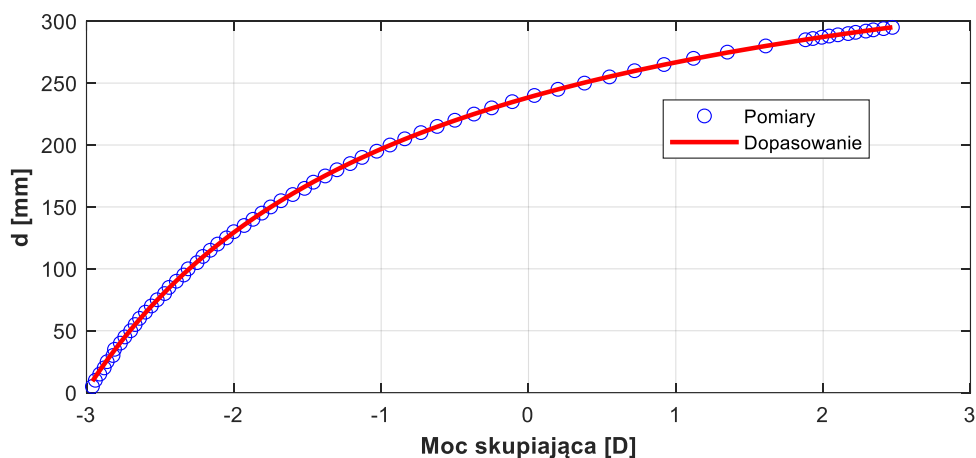
zakresu pomiarowego (średni błąd reprojektacji poniżej 3 pikseli dla odległości $d < 285$ mm) (Rys. 4.2). Pozwoliło to na zastosowanie uproszczonej, jednorazowej korekty całego stosu, co znacząco zmniejszyło złożoność obliczeniową w porównaniu do dynamicznej kompensacji dla każdego obrazu z osobna.



Rys. 4.2. Przebieg wartości średniego błędu reprojektacji w funkcji d

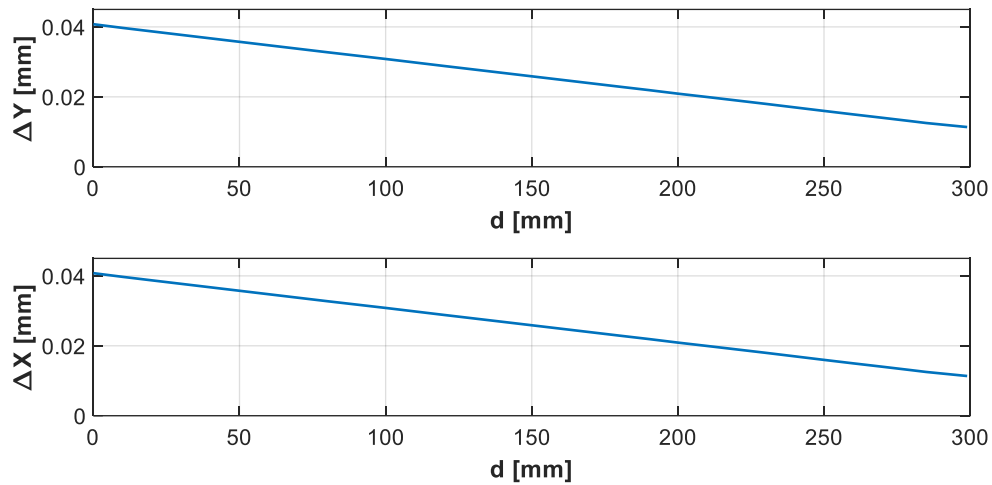
4.3 Kalibracja

Wyznaczona eksperymentalnie hiperboliczna funkcja przejścia pozwoliła na przeliczenie mocy skupiającej soczewki na położenie płaszczyzny przedmiotowej (Rys. 4.3). Pozwoliło to na otrzymanie rozdzielczości obrazowania w osi Z od ok. $150\ \mu\text{m}$ przy najmniejszej odległości roboczej do ok. $1.8\ \text{mm}$ przy największej.



Rys. 4.3. Dopasowanie wyników pomiarów do modelu funkcji hiperboli

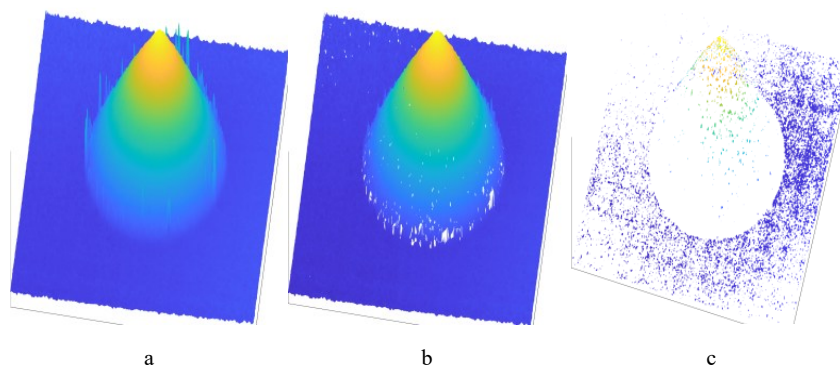
Podobnie skalibrowano osie X i Y, dla których rozdzielczość również zmieniała się wraz z odległością (Rys. 4.4).



Rys. 4.4. Rozdzielczość obrazowania ΔX oraz ΔY w funkcji odległości d

4.4 Mapa ufności

W odpowiedzi na problem błędnej estymacji głębi w pobliżu krawędzi, spowodowany znacznym rozmyciem, zaproponowano zastosowanie mapy ufności. Mapa ta, generowana na podstawie analizy kształtu krzywej ostrości dla każdego punktu, pozwala na filtrację punktów o niskiej wiarygodności. Umożliwiło to eliminację artefaktów na krawędziach bez degradacji poprawnie zrekonstruowanych powierzchni obiektu (Rys. 4.5).



Rys. 4.5. Wykorzystanie mapy ufności do filtracji obrazu 3D:

a – obraz surowy, b – odfiltrowane szумы, c – zbyt intensywna filtracja

4.5 Weryfikacja metody obrazowania

Opracowana metoda obrazowania nie zastępuje innych stosowanych metod obrazowania 3D, a stanowi uzupełnienie ich funkcjonalności. W ramach weryfikacji wykonano badania porównawcze w zakresie obrazowania otworów kształtowych, dla których inne uwzględniane metody obrazowania wykazywały powstawanie okluzji. W badaniach uwzględniono również:

- skaner wykorzystujący metodę triangulacji laserowej (**MTL**)
- skaner wykorzystujący metodę oświetlenia strukturalnego (**MOS**)

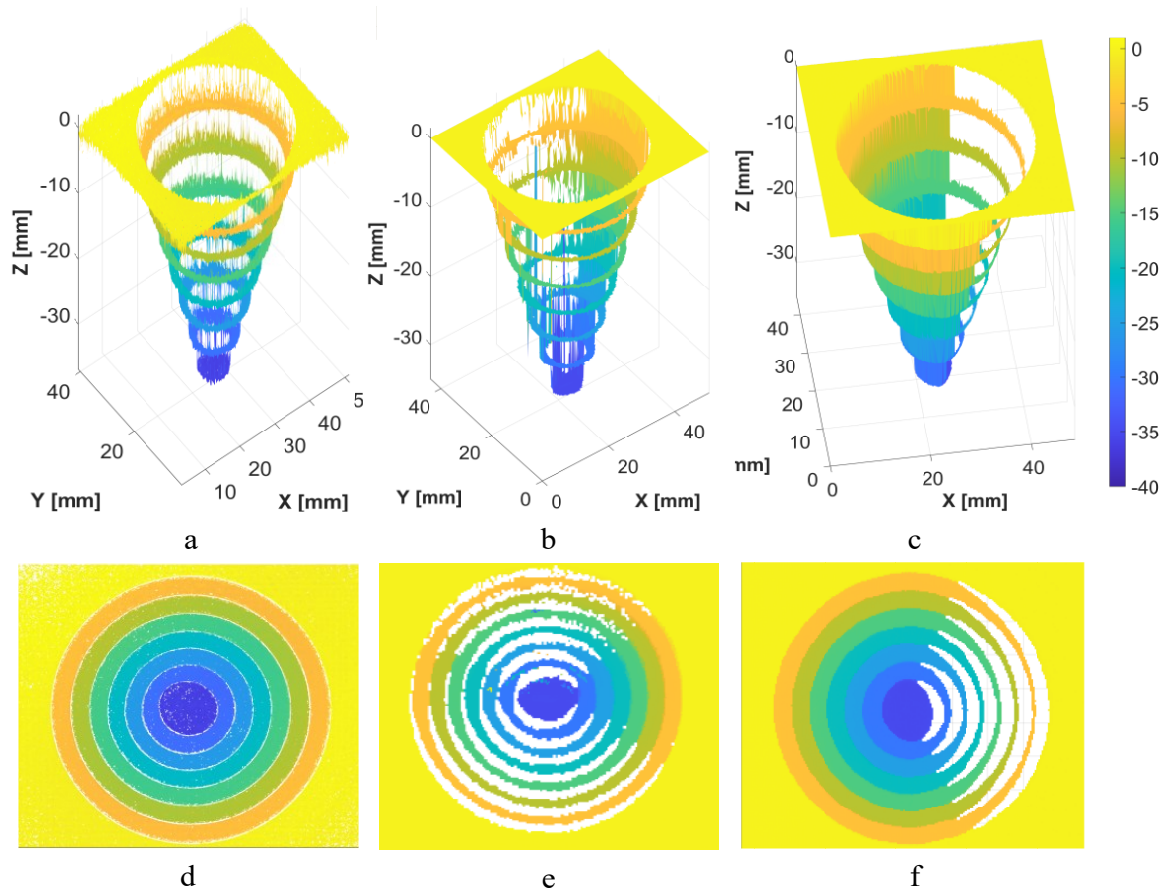
Eksperymenty wykonano na zaprojektowanym wzorcu zawierającym trzy typy geometrii otworów:

- otwór walcowy – otwór o cylindrycznym kształcie i stałej średnicy na całej długości ($\varnothing=10\text{mm}$); wzorec zawiera serię otworów o zmiennej głębokości od 10 mm do otworu przelotowego,
- otwór stożkowy – otwór o zmiennej średnicy, zwężający się wzdłuż osi Z, na kształt stożka; wzorec zawiera serię otworów o zmiennym kącie zwężenia w zakresie 10 – 60°,
- otwór schodkowy – otwór składający się z siedmiu segmentów o różnych średnicach w zakresie 10 – 40 mm, tworzących schodkowe przejścia; wzorec zawiera serię otworów o zmiennej wysokości schodka w zakresie 1 – 5 mm.

Rysunek 4.6 prezentuje wyniki obrazowania otworu schodkowego o wysokości schodka równej 5 mm. Całkowita głębokość tego otworu to 35 mm przy największej średnicy mierzonej na powierzchni wzorca równej 40 mm.

Metody MOS oraz MTL rejestrują obrazy z okluzjami i jednocześnie obie metody tylko częściowo rejestrują punkty opisujące dno otworu (Rys. 4.6 b, c). Braki w opisie powierzchni widoczne są również w pobliżu krawędzi. Zauważalna jest również zależność pomiędzy ustawieniem obrazowanego otworu względem skanera oraz brakami punktów opisujących powierzchnie występującymi w obrazie 3D (Rys. 4.6 e, f).

Metoda SFF umożliwia obrazowanie tego typu otworów z najmniejszą liczbą brakujących punktów na obrazie trójwymiarowym (Rys. 4.6 a). Widoczny jest jedynie niewielki ubytek punktów w pobliżu krawędzi. Punkty te zostały odfiltrowane przez zastosowany w obrazowaniu algorytm oceny mapy ufności.



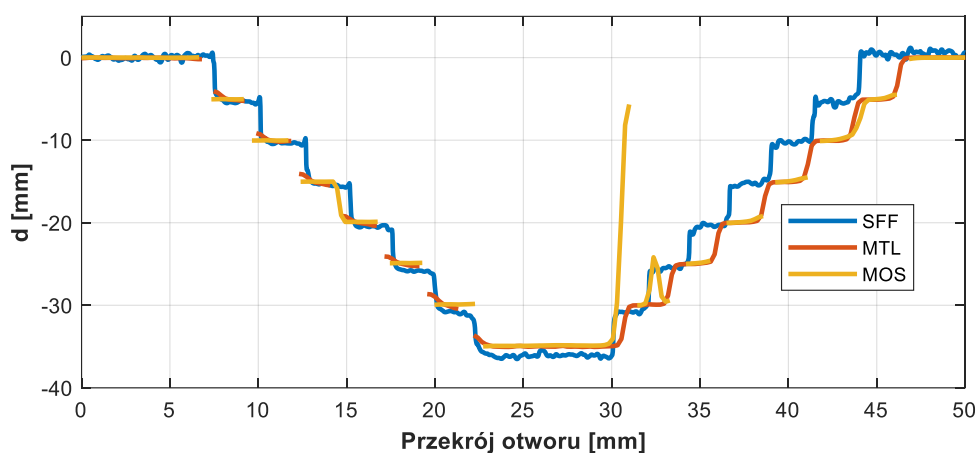
Rys. 4.6. Obrazy 3D otworu schodkowego otrzymane różnymi metodami obrazowania: a, d – SFF, b, e – MOS, c, f – MTL, Rysunki d – f prezentują obrazy otworów w widoku z góry

Rysunek 4.7 prezentuje przekroje otworu schodkowego wyznaczone na podstawie obrazów 3D z rysunku 4.6. W przypadku otworu schodkowego każda metoda rejestruje punkty dna. Profil odpowiadający SFF odwzorowuje wszystkie schodki otworu, jednak widoczne są zakłócenia na ich krawędziach.

Odwzorowanie schodków metodą MTL jest zależne od kierunku przemieszczania obiektu podczas skanowania. Dla kierunku odpowiadającego prawej stronie przekroju wi-

doczne są pochylone ścianki otworu oraz zaokrąglone krawędzie schodów. Krawędzie znajdujące się z lewej strony profilu są natomiast nieciągłe, a ich długość jest skrócona w stosunku do strony prawej.

Metoda obrazowania typu MOS zwraca podobne wyniki jak metoda MTL. W przypadku obrazów zarejestrowanych tą metodą obserwowane są dodatkowe zakłócenia widoczne na krawędziach i wskazujące fałszywe skoki wysokości.



Rys. 4.7. Profile wysokości przekroju otworu schodkowego wykonane na podstawie obrazów z rysunku 4.6

Parametrem pozwalającym na porównanie zaproponowanych metod obrazowania jest współczynnik poziomu okluzji na obrazie W_O . Tabela 4.1 prezentuje zbiorczo otrzymane wyniki. Najmniejsze wartości otrzymane zostały dla metody SFF. W jej przypadku brakujące punkty obrazu nie są skutkiem przysłonięcia punktów sceny, a efektem usunięcia części punktów sceny przez mapę ufnosci. Wartości dla pozostałych metod są kilkukrotnie większe. Warto jednak zauważyć, że wartość wskaźnika W_O jest zredukowana przez uwzględnienie w obliczeniach również płaskiej powierzchni otaczającej otwory.

Tabela 4.1. Zestawienie wartości poziomu występowania okluzji na obrazach 3D

	<i>SFF</i>	<i>MOS</i>	<i>MTL</i>
<i>Otwór walcowy</i>	2.9%	21.7%	13.3%
<i>Otwór stożkowy</i>	0.3%	23.4%	23.7%
<i>Otwór schodkowy</i>	4.0%	12.3%	9.1%

5 Podsumowanie

Przedmiot pracy stanowiła modyfikacja metody obrazowania trójwymiarowego SFF z wykorzystaniem optyki sterowalnej. Celem tej modyfikacji było rozszerzenie zakresu zastosowania oraz dostosowanie metody SFF do wykorzystania w systemach kontrolno-pomiarowych przeznaczonych do pracy w warunkach przemysłowych.

Przyjęte cele zostały zrealizowane w planowanym zakresie. Zaprojektowano, zbudowano oraz uruchomiono stanowisko umożliwiające rejestrację stosu obrazów podczas zmiany położenia płaszczyzny przedmiotowej. Stanowisko umożliwiło zmianę położenia płaszczyzny przedmiotowej z wykorzystaniem optyki sterowalnej w formie soczewki płynnej wykonanej w technologii elastycznej membrany. Wykorzystanie optyki sterowalnej pozwoliło na eliminację układów napędowych przy rejestracji stosu obrazów. Umożliwiło to eliminację zakłóceń w postaci drgań mechanicznych generowanych przez układ napędowy. Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość znacznego skrócenia czasu rejestracji stosu obrazów w porównaniu do klasycznej metody SFF.

Dla znormalizowanego stosu obrazów przeprowadzono badania dotyczące analizy ostrości każdego z pikseli stosu obrazów. Porównano wybraną grupę estymatorów używanych do oceny ostrości, zaproponowano metodę ich oceny oraz wskazano estymatory do zastosowania w modyfikacji metody SFF. W kolejnym etapie badań zaproponowano algorytm selekcji płaszczyzny ostrej dla punktu na podstawie wartości estymatora ostrości. Badania uwzględniały wpływ parametrów estymatora oraz zakłóceń środowiskowych.

W ramach prac badawczych opracowano i przetestowano algorytmy kompensacji wpływu zakłóceń na obraz 3D. Jednym z nich jest korekta negatywnego wpływu zmiany powiększenia obrazu wynikającego ze zmiany mocy skupiającej soczewki. Zaproponowano metodę wyznaczenia charakterystyki zmiany powiększenia oraz metodę wyznaczania rzeczywistego położenia osi optycznej na sensorze. Wyniki wykorzystano w opracowaniu algorytmu filtracji wstępnej stosu obrazów 2D wprowadzonej przed etapem estymacji ostrości, pozwalając na poprawę jakości odwzorowania sceny trójwymiarowej.

Badania uwzględniały również ocenę wpływu aberracji optycznych występujących w torze optycznym. Wyniki wskazały brak konieczności dynamicznej kompensacji dystorsji ze względu na znikome wartości przesunięć w przyjętej konfiguracji sprzętowej.

Opracowane rozwiązanie pozwoliło na znaczące rozszerzenie parametrów obrazowania z wykorzystaniem metody SFF, a co za tym idzie rozszerzenie zakresu zadań kontrolnych, które mogą być zrealizowane z jej wykorzystaniem. Dla zaproponowanej konfiguracji sprzętowej osiągnięto kilkukrotne rozszerzenie FOV w stosunku do przytoczonych zastosowań literaturowych. Konfiguracja zapewnia zwieszenie rozdzielczości przestrzennych oraz rozdzielczości obrazu 3D.

Optyka sterowalna w postaci soczewki płynnej umożliwia integrację z dowolnym obiektywem stałogniskowym i sensorem, stosowanymi w systemach wizyjnych, co pozwala na dostosowanie parametrów obrazowania do wymagań aplikacyjnych i oczekiwanych parametrów obrazu 3D.

Czas akwizycji obrazu 3D zależny jest od przyjętych parametrów obrazu 3D, tj. rozdzielczości i zakresu obrazowania. W zaproponowanej konfiguracji sprzętowej wąskim gardłem jest transmisja danych z kamery ograniczająca czas akwizycji do kilkadziesiąt sekund. Dobór sensora o mniejszej rozdzielczości, interfejsu komunikacyjnego o większej prędkości transmisji lub ograniczenie zakresu obrazowania mogą zredukować tę wartość.

Wyniki badań prezentowane w pracy potwierdziły możliwość praktycznego zastosowania metody obrazowania SFF w systemach wizyjnych stosowanych do realizacji zadań kontroli jakości wykonania. Opracowana metoda uzyskała poziom gotowości technologicznej pozwalającej na realizację przemysłowych zadań kontrolnych.

Kolejne prace powinny być ukierunkowane na zwiększanie rozdzielczości pomiarowych oraz na rozwoju szybkich algorytmów filtracji obrazu trójwymiarowego, co pozwoliłoby na zwiększenie poziomu gotowości technologicznej do realizacji zadań pomiarowych bezpośrednio na liniach produkcyjnych.

6 Wykaz publikacji i osiągnięć autora



6.1 Zainteresowania naukowe



6.2 Publikacje naukowe

					
64	56	47	10	14	100
cytowania	cytowania od 2017	cytowań	opisów publikacji	opisów publikacji	maksymalna punktacja ministerialna
4	4	34	4	1	2.5
h-index	h-index od 2017	publikacje cytujące	h-index	publikacja we współpracy zagranicznej	maksymalny Impact Factor

- Imaging fungal infections on wood surfaces based on a vision system
Andrzej SIOMA, **Bartosz LENTY**, Drewno: Prace Naukowe Doniesienia Komunikaty ; ISSN 1644-3985. 2025, vol. 68, s. 1-11.
- Detection of pest feeding traces on industrial wood surfaces with 3D imaging
Andrzej SIOMA, Keiko Nagashima, **Bartosz LENTY**, Arkadiusz Hebda, Yasutaka Nakata, Kiichi Harada, Applied Sciences (Basel). ISSN 2076-3417. 2024, vol. 14, s. 1–13.
- Focus estimation methods for use in industrial SFF imaging systems
Andrzej SIOMA, **Bartosz LENTY**, Applied Sciences (Basel). ISSN 2076-3417. 2024, vol. 14, s. 1–18.
- Image noise compensation in industrial implementation of the SFF method using controllable optics
Bartosz LENTY W: ICCC 2024: 25th International Carpathian Control Conference : 22–24 May 2024, Krynica-Zdrój, Poland : proceedings: IEEE, 2024.
- Metody estymacji ostrości dla zadania obrazowania metodą SFF
Bartosz LENTY W: MwTW 2024 : XIX krajowa, X międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna : Metrologia w Technikach Wytwarzania : metody optyczne i

- sztuczna inteligencja w metrologii : Wrocław, 18-20 września 2024 : Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2024. ISBN: 978-83-7493-281-3.
- Detection of fungal infections on the wood surface using LTM imaging
Andrzej SIOMA, **Bartosz LENTY** Applied Sciences (Basel); ISSN 2076-3417.
2023 — vol. 13, s. 1–13
 - The quality control system of planks using machine vision
Mariusz Cinal, Andrzej SIOMA, **Bartosz LENTY** Applied Sciences (Basel); ISSN 2076-3417. — 2023 — vol. 13, s. 1–17
 - Wykorzystanie soczewek płynnych w układach optycznych przemysłowych systemów wizyjnych — The use of liquid lenses in optical systems in machine vision
Bartosz LENTY W: Sztuczna inteligencja oraz nowe rozwiązania w zarządzaniu i naukach technicznych, Lublin : Wydawnictwo Naukowe TYGIEL sp. z o. o., 2022. — e-ISBN: 978-83-67104-57-9. — S. 196–208.
 - Quality control automation of metallic surface using machine vision
Bartosz LENTY, Paweł J. Kwiek W: Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high energy physics experiments 2021 (WILGA 2021): 31 May–1 June 2021, Warsaw, Poland. Bellingham: ISBN: 9781510649552; e-ISBN: 9781510649569. — S. 120400T-1–120400T-8.
 - Automatyzacja procesu kontroli wyrobów z wykorzystaniem systemów wizyjnych
Janusz KOWAL, Andrzej SIOMA, **Bartosz LENTY** W: Projektowanie i eksploatacja maszyn roboczych, Cz. 2, Opole : Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, 2020; ISSN 1429-6063 ; z. 542). ISBN: 978-83-66033-84-9. S. 113-136.
 - Tree-ring growth measurements automation using machine vision
Bartosz LENTY W: Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high energy physics experiments 2020 : Wilga, Poland, 31 August - 6 September 2020 Bellingham : SPIE; ISSN 0277-786X ; vol. 11581. S. 115810V-1–115810V-10
 - Machine vision system for quality control of molded plastic packaging
Bartosz LENTY W: Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high-energy physics experiments 2019 : 26 May–2 June 2019, Wilga, Poland, Bellingham: SPIE; ISSN 0277-786X ; vol. 11176. S. 111760E-1–111760E-8.
 - Quality control automation of electric cables using machine vision
Bartosz Lenty, Paweł Kwiek, Andrzej SIOMA W: Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high-energy physics experiments 2018: 3–10 June 2018, Wilga, Poland, Bellingham : SPIE; ISSN 0277-786X ; vol. 10808, S. 108080T-1–108080T-9.

6.3 Konferencje naukowe

- 25th International Carpathian Control Conference, Krynica Zdrój 2024
Image noise compensation in industrial implementation of the SFF method using controllable optics
- MwTW 2024 : XIX krajowa, X międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna : Metrologia w Technikach Wytwarzania, Wrocław 2024
Metody estymacji ostrości dla zadania obrazowania metodą SFF
- TYGIEL 2022 : „interdyscyplinarność kluczem do rozwoju” : XIV interdyscyplinarna konferencja naukowa, Lublin 2022
Wykorzystanie soczewek płynnych w układach optycznych przemysłowych systemów wizyjnych
- Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high energy physics experiments, Wilga 2021
Quality control automation of metallic surface using machine vision
- Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high energy physics experiments, Wilga 2020
Tree-ring growth measurements automation using machine vision
- Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high-energy physics experiments, Wilga 2019
Machine vision system for quality control of molded plastic packaging
- Photonics applications in astronomy, communications, industry, and high-energy physics experiments, Wilga 2018
Quality control automation of electric cables using machine vision

6.4 Projekty badawczo–rozwojowe

2020 – 2021 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Opracowanie specjalistycznego oprogramowania przeznaczonego do automatycznej oceny jakości nadruku litografii na powierzchni opakowań

Kierownik: dr hab. inż. Andrzej Sioma, prof. AGH

2020 – 2021 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Opracowanie specjalistycznego systemu obrazowania litografii na powierzchni opakowań wykonanych z tworzyw sztucznych w formie prototypu przemysłowego

Kierownik: dr hab. inż. Andrzej Sioma, prof. AGH

2020 – 2021 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Opracowanie innowacyjnego systemu kontroli jakości formowania górnej części tuby (główki) dla maszyn formujących w formie prototypu przemysłowego

Kierownik: dr hab. inż. Andrzej Sioma, prof. AGH

2020 – 2021 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Opracowanie innowacyjnego systemu kontroli zużycia elementów formujących (mandryli) dla maszyn formujących w formie prototypu przemysłowego

Kierownik: dr hab. inż. Andrzej Sioma, prof. AGH

6.5 Współpraca zagraniczna

2023.05 Kyoto Prefectural University, Kioto, Japonia
Krótkoterminowy wyjazd studyjny