



System automatycznego odwzorowania kształtu obiektów przestrzennych – 3DMADMAC

Robert Sitnik, Maciej Karaszewski, Wojciech Załuski, Paweł Bolewicki

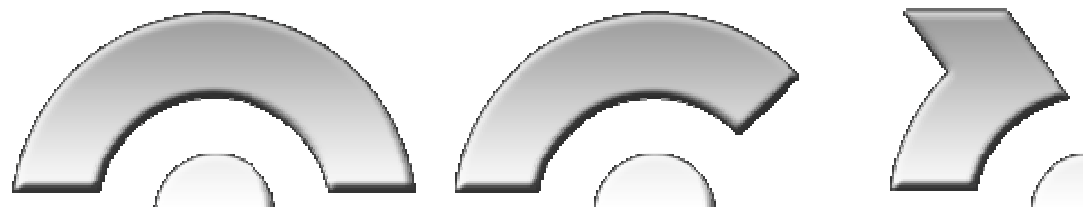


*OGX|Optographx
Instytut Mikromechaniki i Fotoniki
Wydział Mechatroniki
Politechnika Warszawska

Współpraca:
Muzeum Pałac w Wilanowie
Akademia Sztuk Pięknych w Warszawie



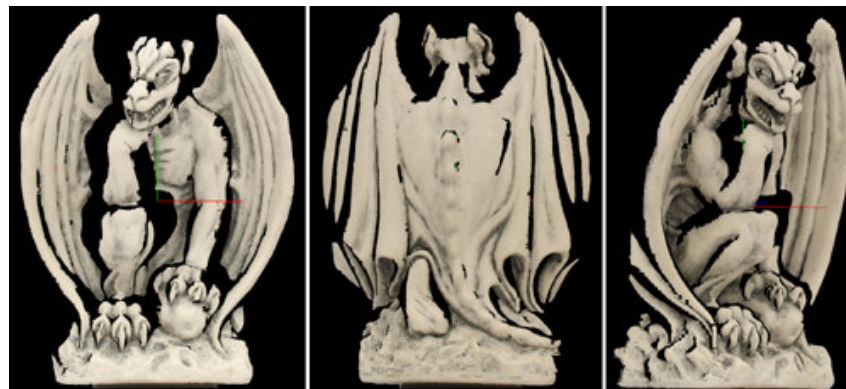
ProCAX – WIRTOTECHNOLOGIA '09



Stan aktualny

Proces dokumentacji 3D:

a) wiele pomiarów kierunkowych (2.5D)



b) wstępna filtracja danych

c) łączenie danych pozyskanych z wielu kierunków



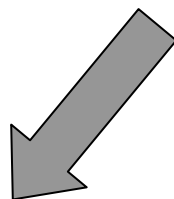
Stan aktualny



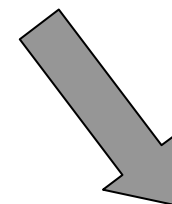
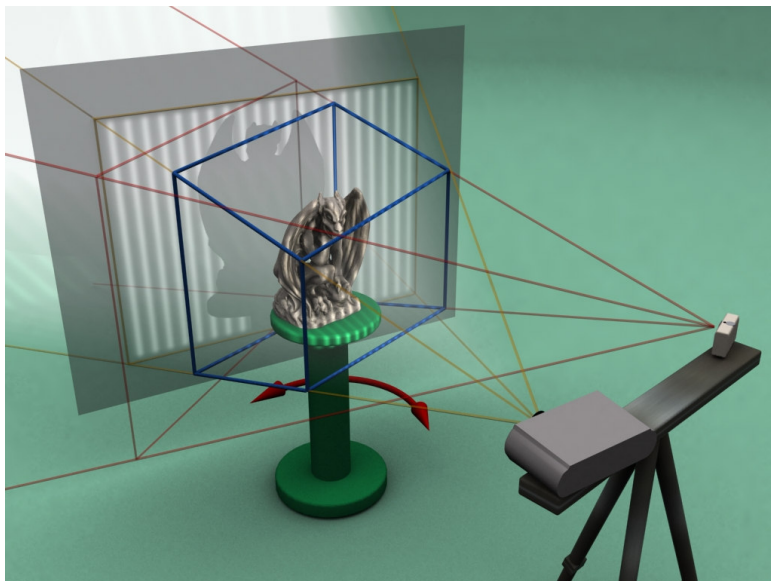
500 milionów punktów pomiarowych (pomiar z wykorzystaniem stolika obrotowego)
(wysokość ~ 1,2m; dokładność: < 50 μ m; czas pomiaru: 16 godzin; czas przetwarzania: 95 godzin)

Stan aktualny

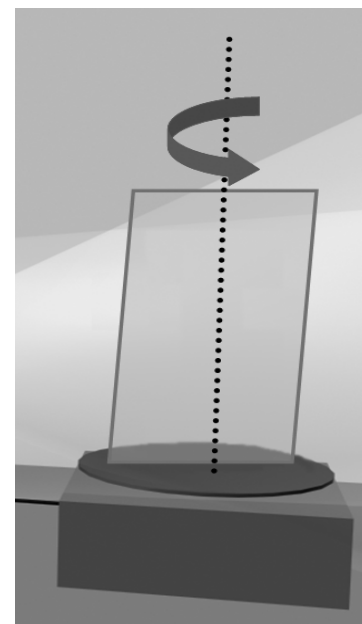
Istniejące strategie pomiarowe



Ręczne pozycjonowanie obiektu
względem systemu

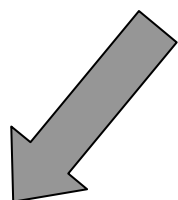


Automatyczne pozycjonowanie w
zadanych pozycjach

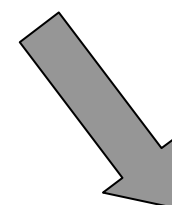


Stan aktualny

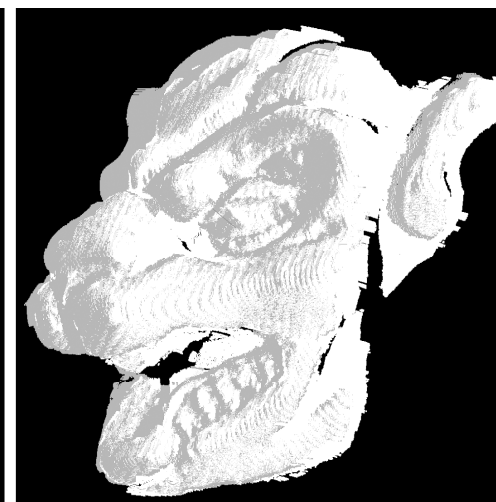
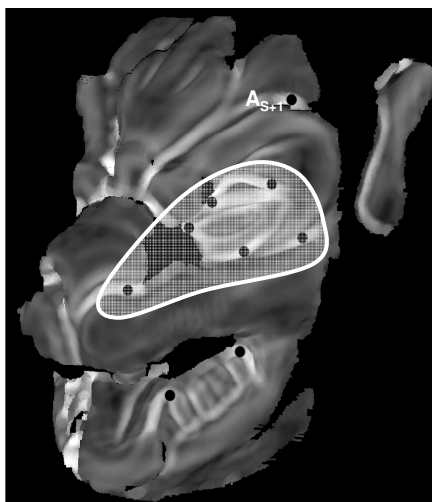
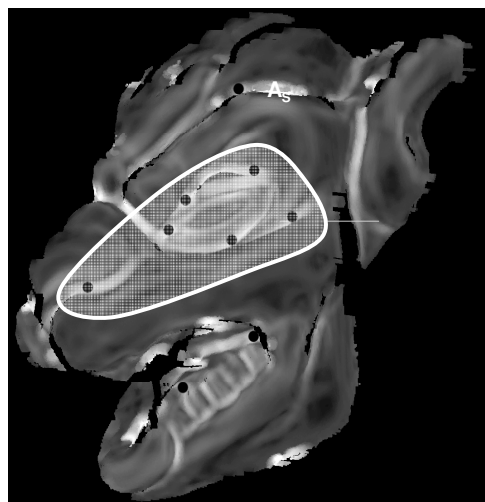
Istniejące strategie łączenia danych pozyskanych z wielu kierunków



Ręczne bądź pół-
automatyczne



Automatyczne dla
wybranych klas obiektów



Stan aktualny

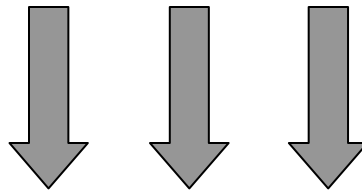
Niedoskonałości istniejących rozwiązań:

- brak obiektywności pomiaru (czynnik ludzki)
- dłuuuugi czas procesu pomiaru i analizy danych
- ręczna lub pół-automatyczna manipulacja wzajemnego położenia system – obiekt pomiarowy
- wymagana jest bardzo intensywna interakcja użytkownika z oprogramowaniem do analizy danych (użytkownik tworzy ścieżkę przetwarzania intuicyjnie)

Proponowane rozwiązanie

Proponowany system wprowadza:

- automatyczne pozycjonowanie systemu pomiarowego względem obiektu
- automatyczne łączenie danych z wielu kierunków
- automatyczne wyznaczanie następnych kierunków pomiarowych na podstawie aktualnego modelu
- przechowywanie i analizę dużych zbiorów punktów pomiarowych (do kilkudziesięciu miliardów punktów pomiarowych)



Obiektywny, szybki i powtarzalny pomiar!

Oczekiwania i opinie użytkowników

Muzelnicy:

- chcą korzystać z takiego rozwiązania w aspekcie dokumentacji, oceny i monitorowania stanu zachowania obiektu, wizualizacji, promocji i edukacji

Badacze:

- mają wiele dystansu do „automatycznych” rozwiązań – pozbawia ich ono obcowania z zabytkiem

Wstęp (*objętość pomiarowa: 2,5m x 1,2m x 1,2m*)

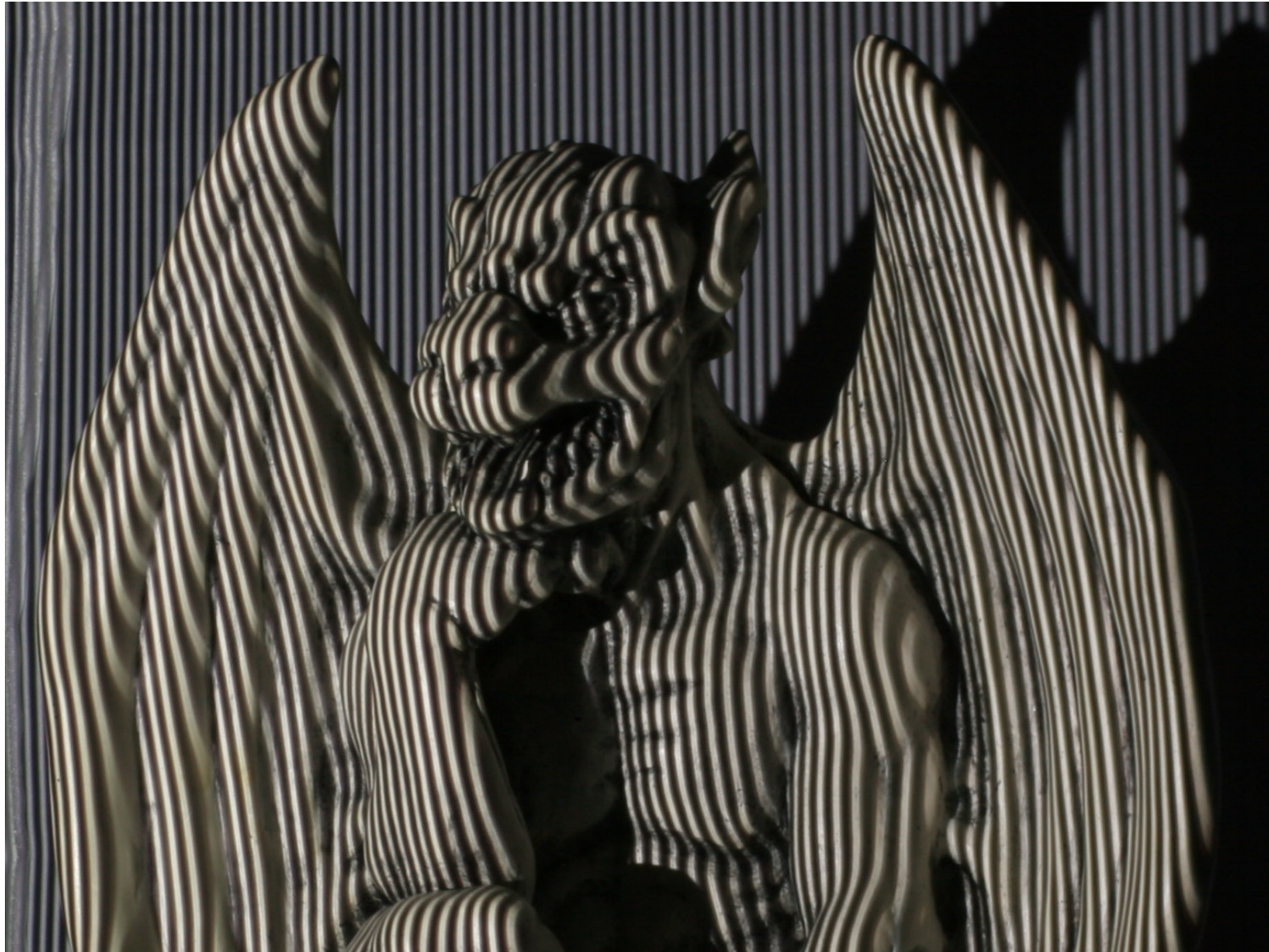


Głowica pomiarowa

Projekcja prążków i kodów Gray'a



Proces pomiaru z jednego kierunku



Proces pomiaru z jednego kierunku



Proces pomiaru z jednego kierunku

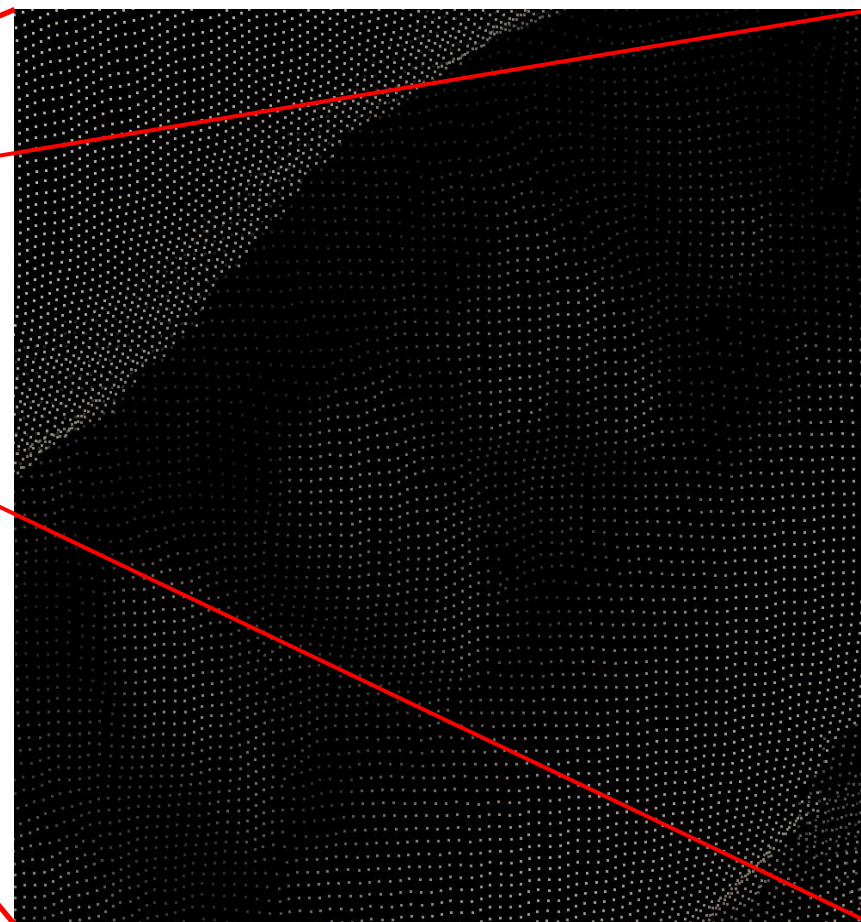
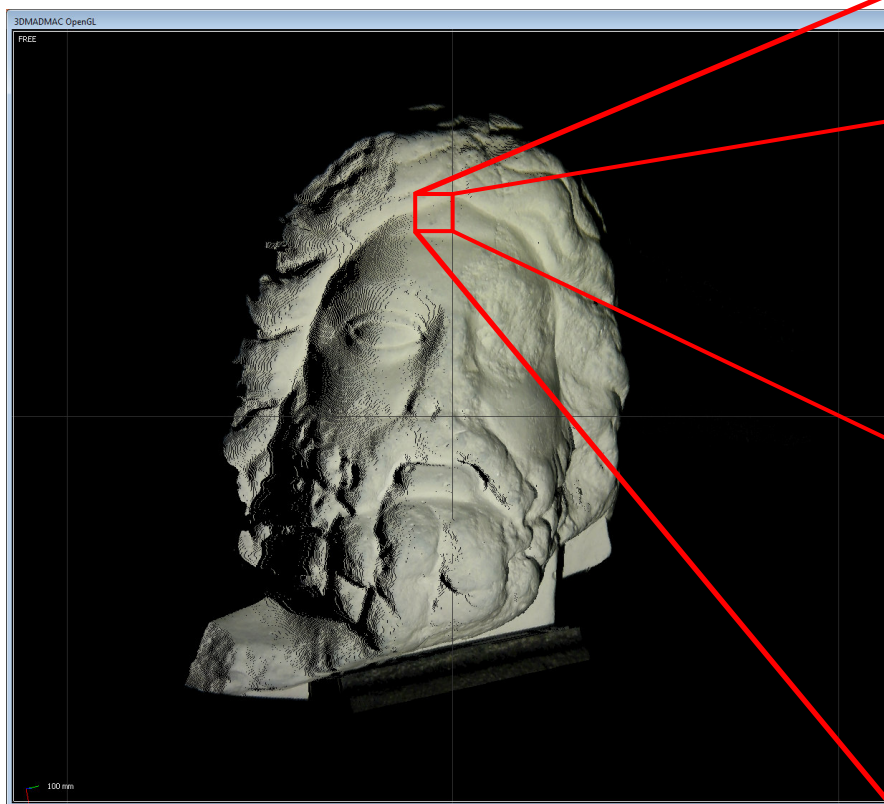


Głowica pomiarowa

Parametry:

- objętość pomiarowa:
od 50mm x 50mm x 40mm do 1200mm x 900mm x 500mm
- niepewność pomiaru:
od 50 μ m do 1 μ m
- czas pomiaru (z jednego kierunku):
od 1 minuty do 0,25 sekundy

Wynik pomiaru (*chmura punktów = nieuporządkowany zbiór punktów (x, y, z)*)



Wynik pomiaru

Każdy punkt pomiarowy dodatkowo reprezentowany jest przez:

- jakość punktu $[0, 1]$ wyznaczoną na podstawie modulacji prążków oraz kierunku powierzchni mierzonej względem systemu pomiarowego
- wektor normalny do powierzchni,
- współrzędne punktu w układzie matrycy detektora.

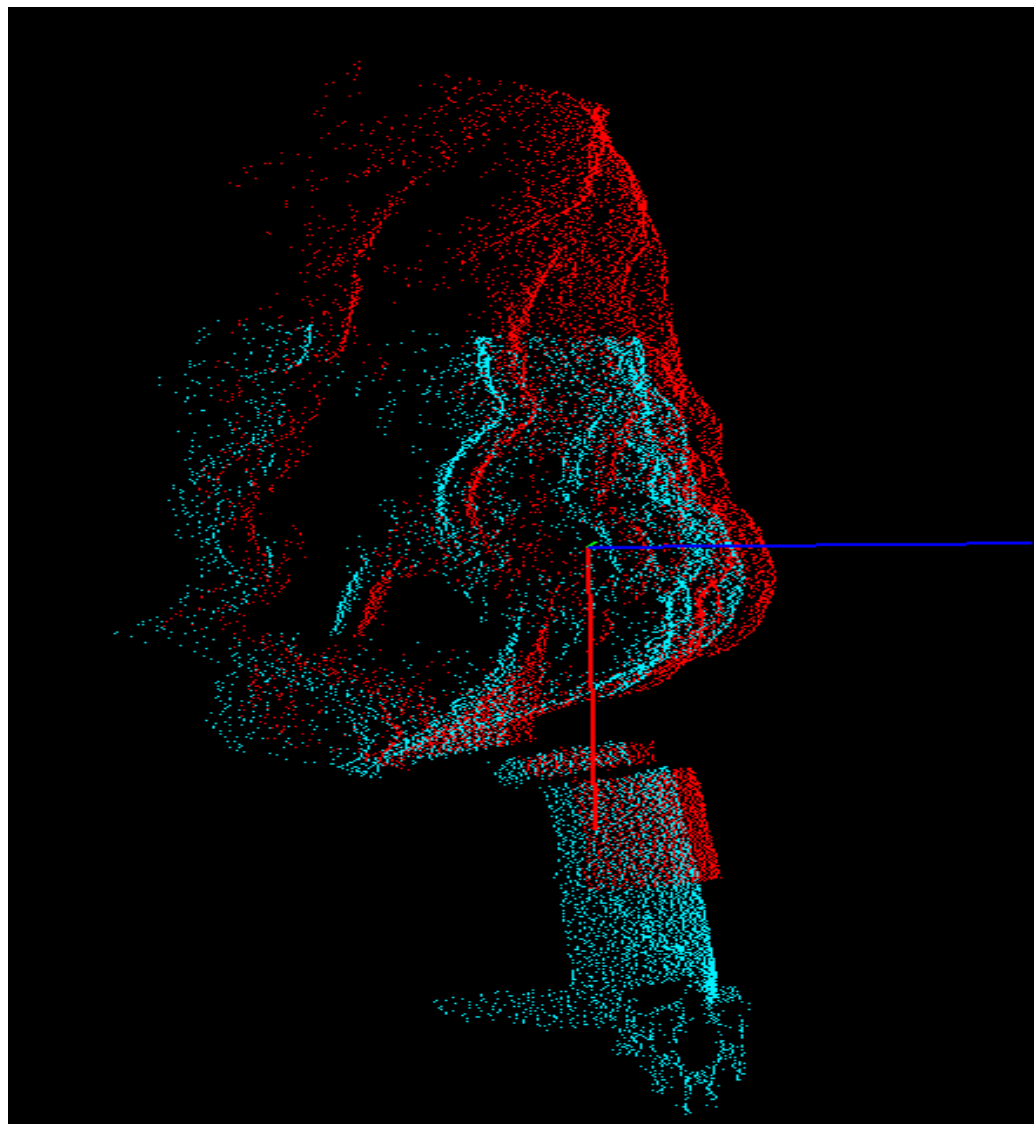
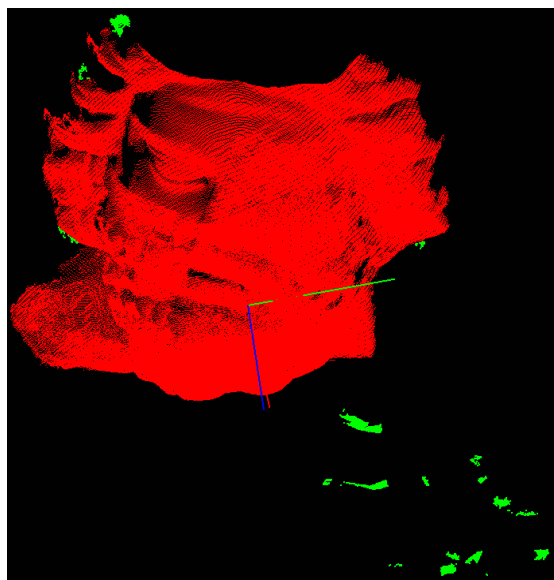
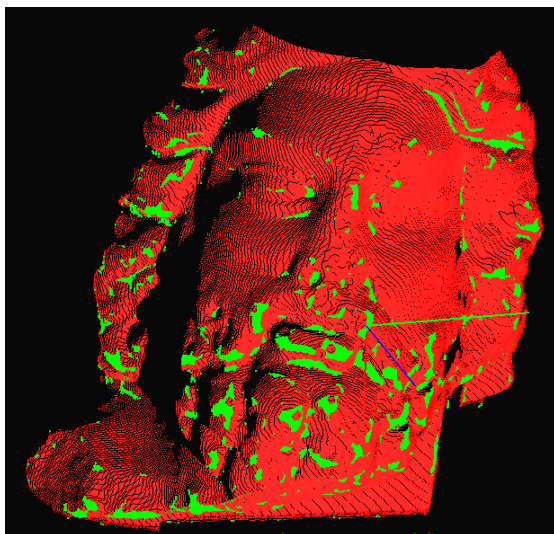
Pętla pomiarowa

1. Pomiar kierunkowy
2. Usunięcie błędnych punktów
3. Dopasowanie od istniejącego modelu
4. Wyznaczenie następnego kierunku
5. Powrót do punktu 1.

Moduły systemu 3DMADMAC|AUTOMATED

1. Interfejs użytkownika
2. Moduł pozycjonowania
 - kinematyka odwrotna
 - Sterowanie serwomechanizmami
3. Moduł obliczeniowy
 - filtracja wstępna
 - iteracyjne dopasowanie chmur punktów
 - wyznaczanie następnego kierunku pomiarowego
4. Moduł detekcji kolizji
 - programowy
 - wizyjny

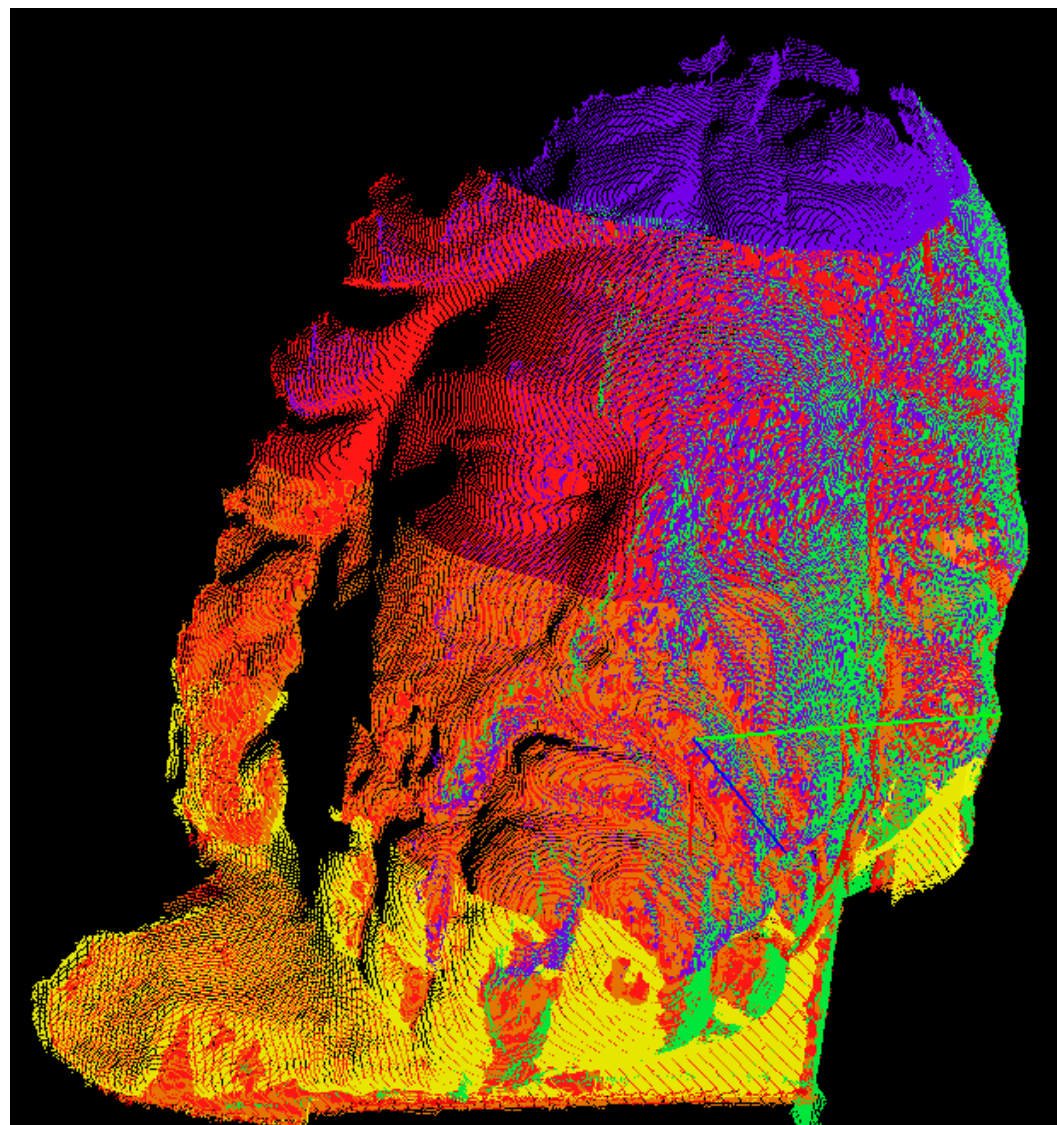
Moduł obliczeniowy – filtracja wstępna



Moduł obliczeniowy – iteracyjne dopasowanie chmur punktów

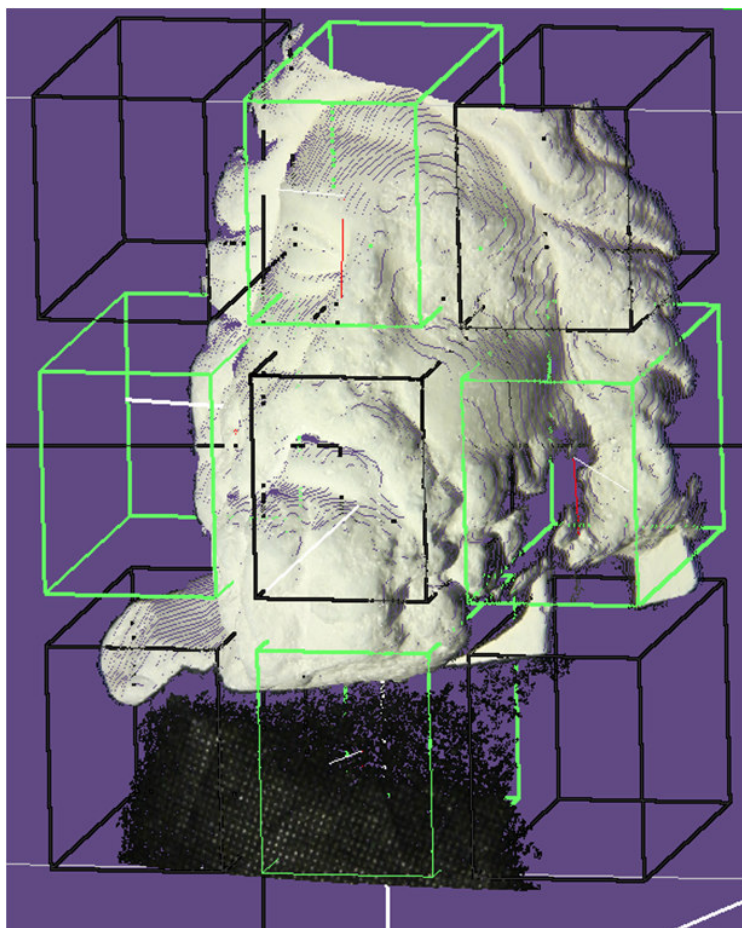
Algorytm z rodziny ICP:

- dopasowanie nowej chmury do istniejących
- globalne dopasowanie minimalizujące błąd średniokwadratowy

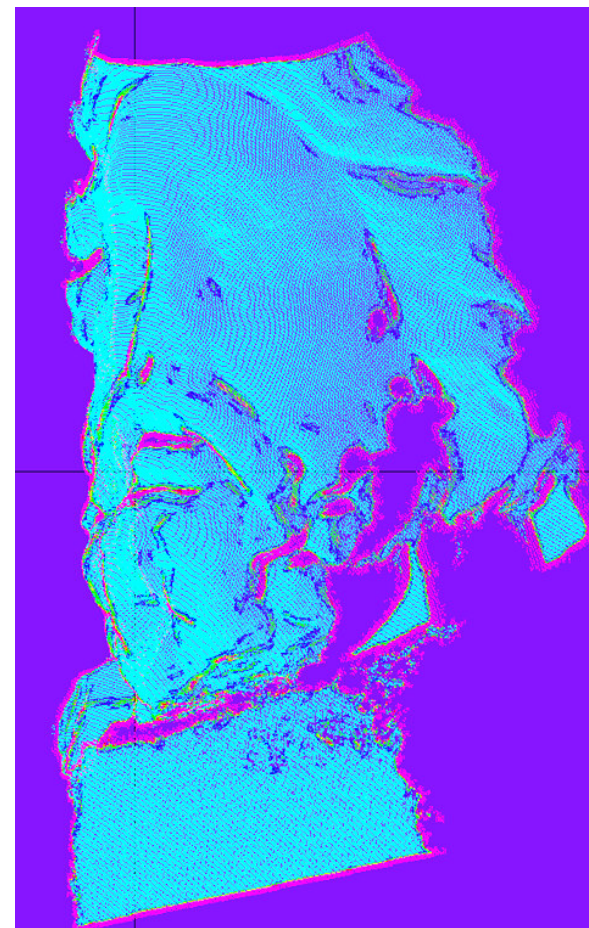


Moduł obliczeniowy – wyznaczenie następnego kierunku pomiarowego

Wstępny pomiar całego obiektu

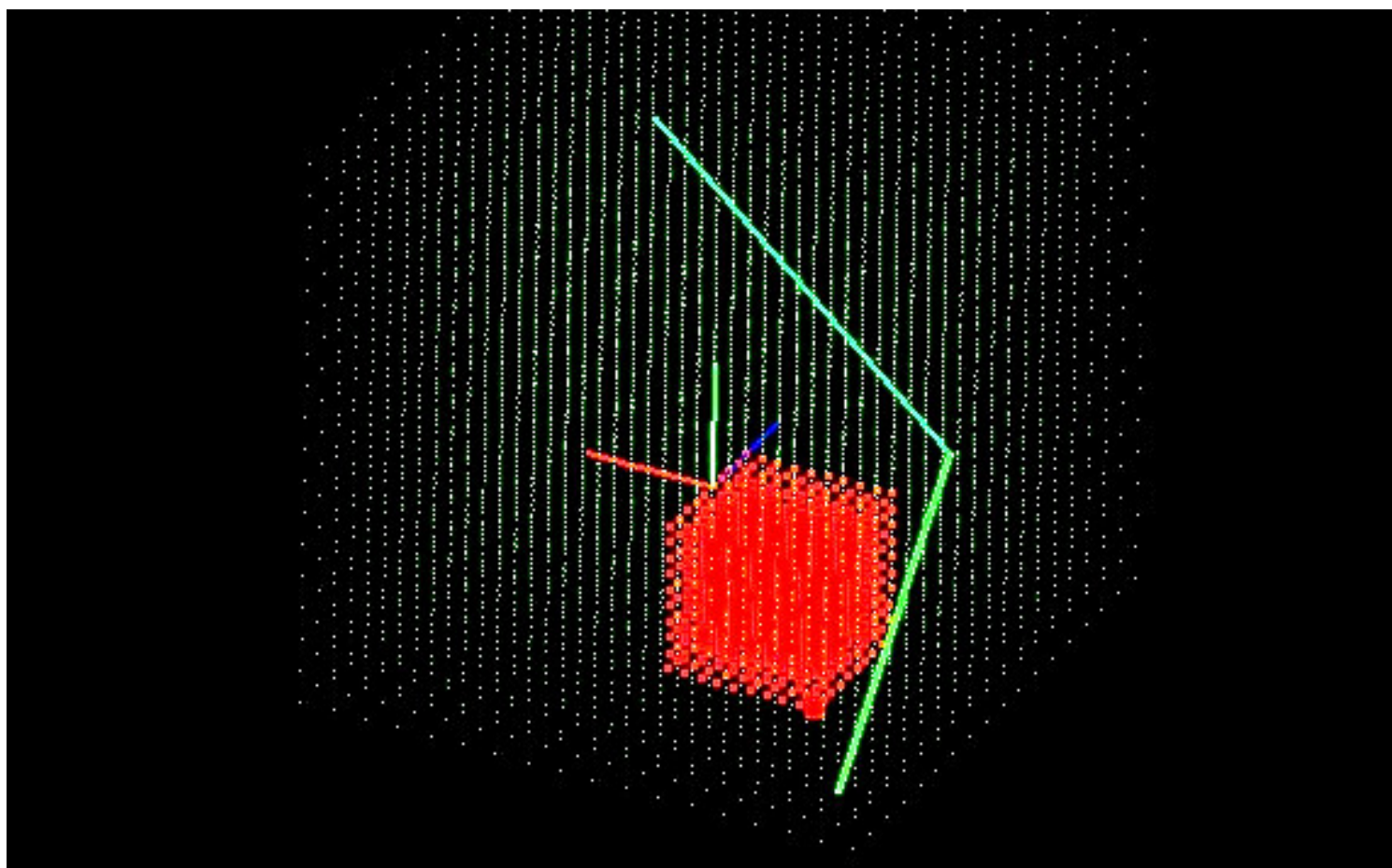


Wyznaczenie dziur i ich wypełnienie



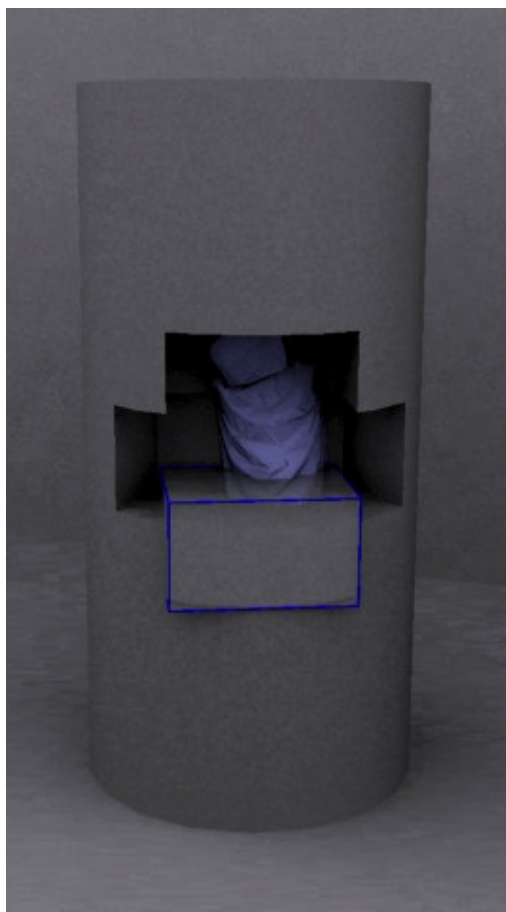
Detekcja kolizji

Objętość pomiarowa podzielona na woksele (możliwe stany wokseli: pusty, obiekt lub nieznan)



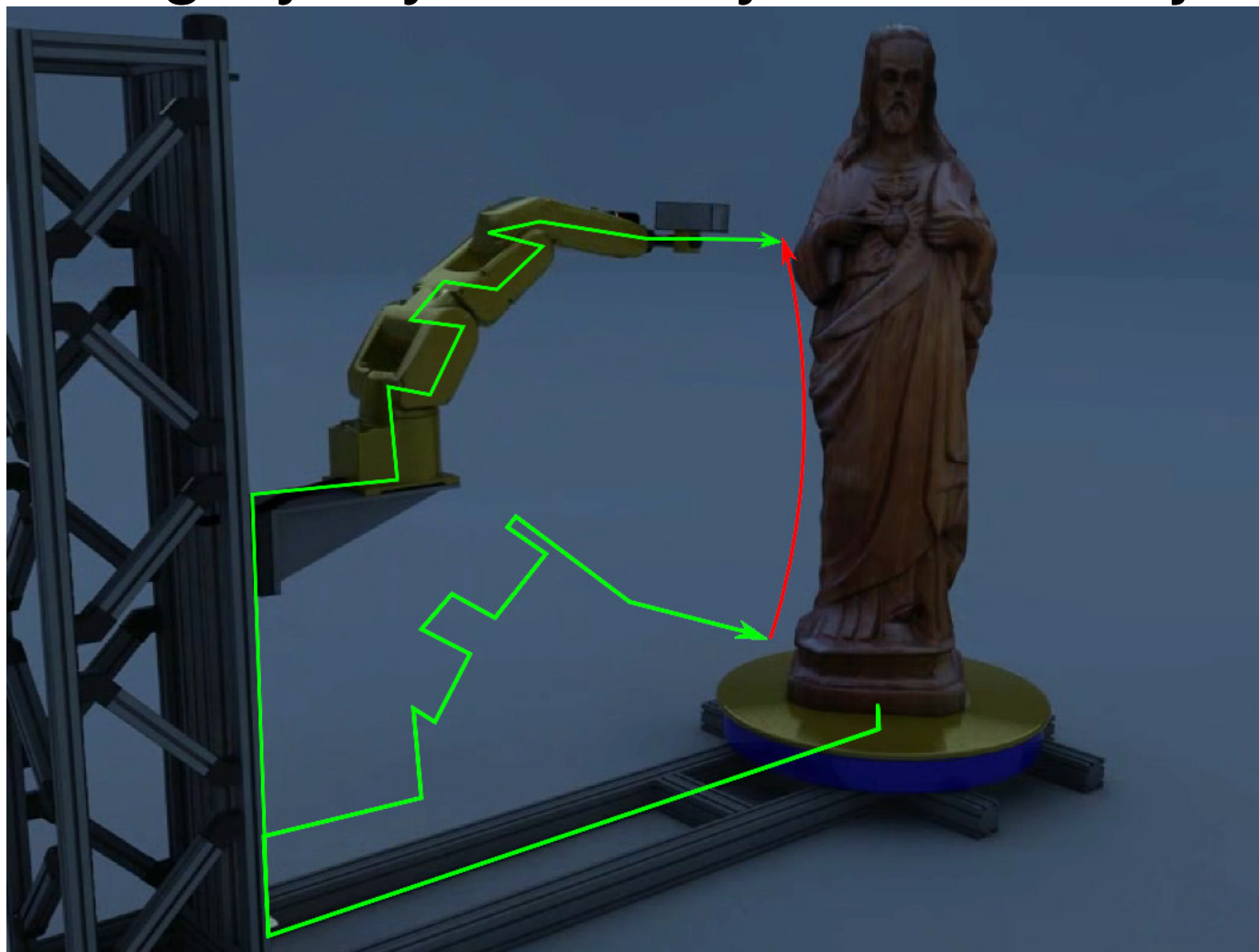
Detekcja kolizji

Pomiar nieznanego woksela jeśli istnieje kolizja
następnego widoku z objętością je reprezentującą lub nie
napotkano obiektu

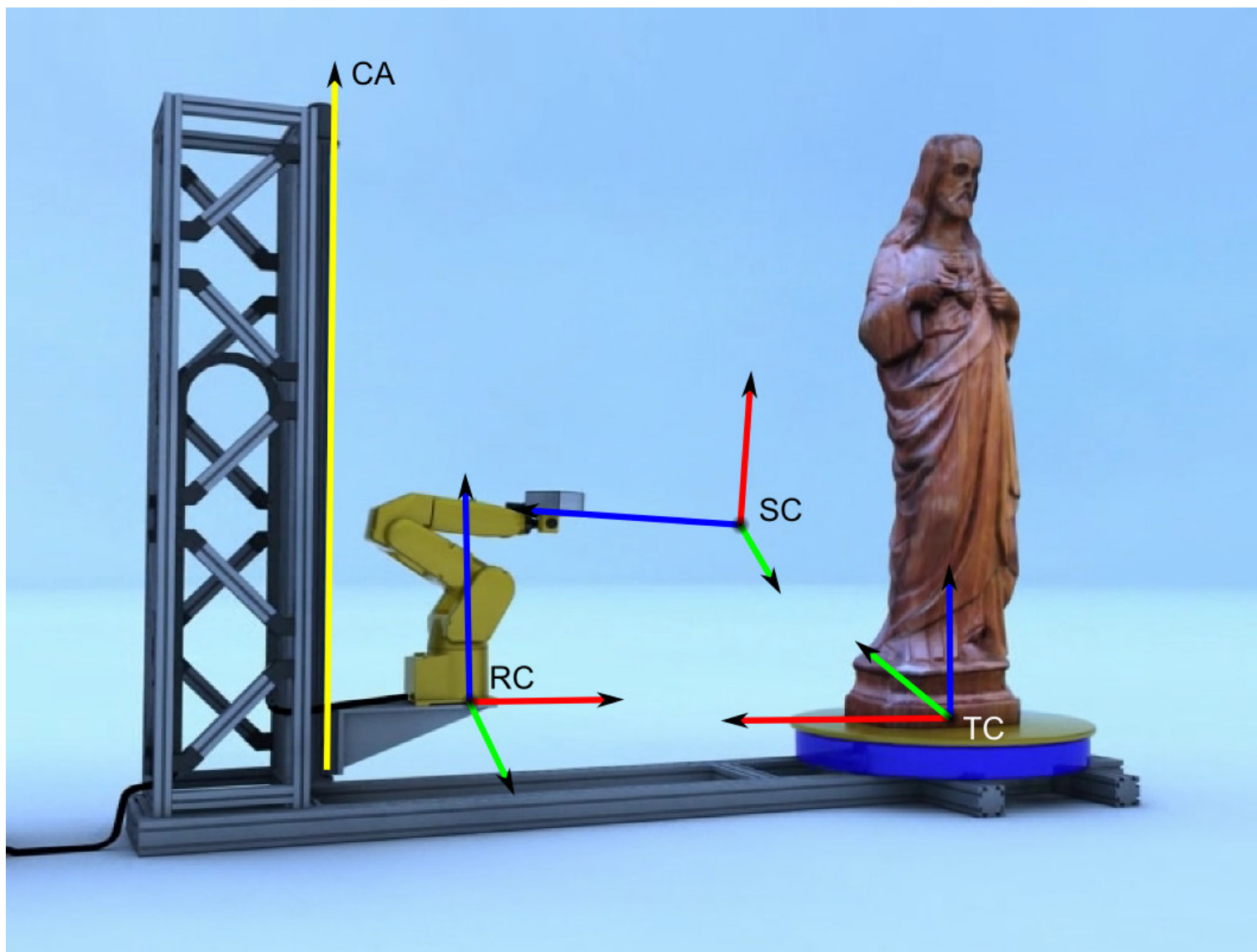


Moduł pozycjonowania

Algorytmy kinematyki odwrotnej



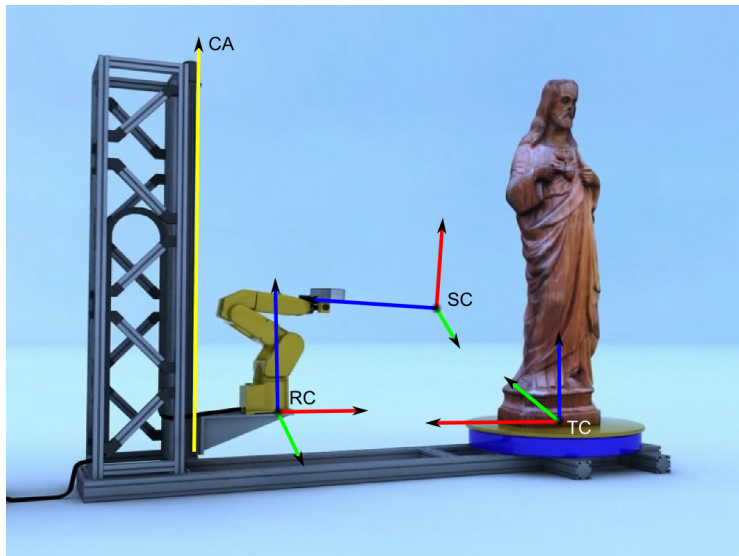
Moduł pozycjonowania – kalibracja układów współrzędnych



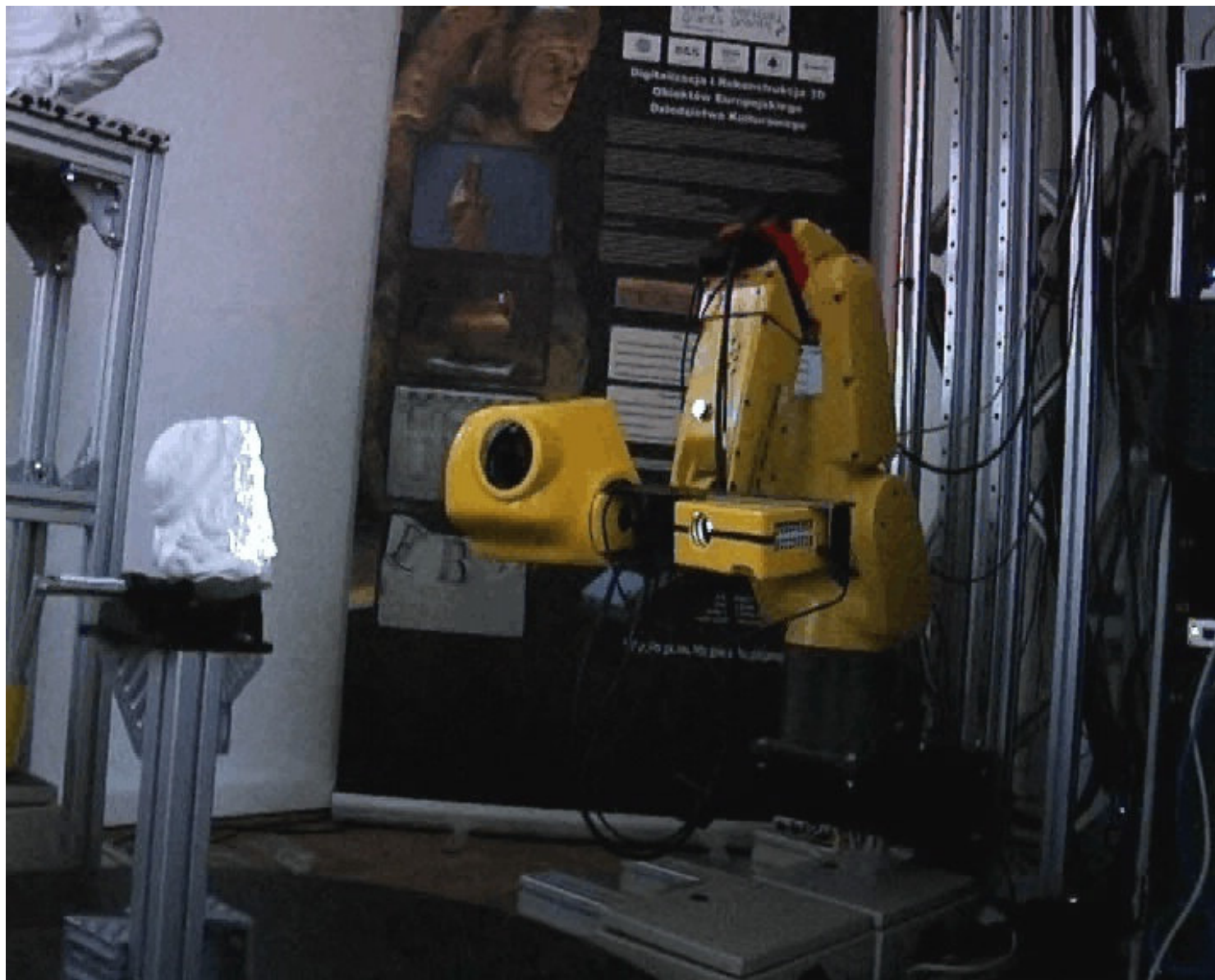
Moduł pozycjonowania – kalibracja układów współrzędnych

Kalibracja wyznaczana jest na podstawie sekwencyjnych pomiarów znanego obiektu

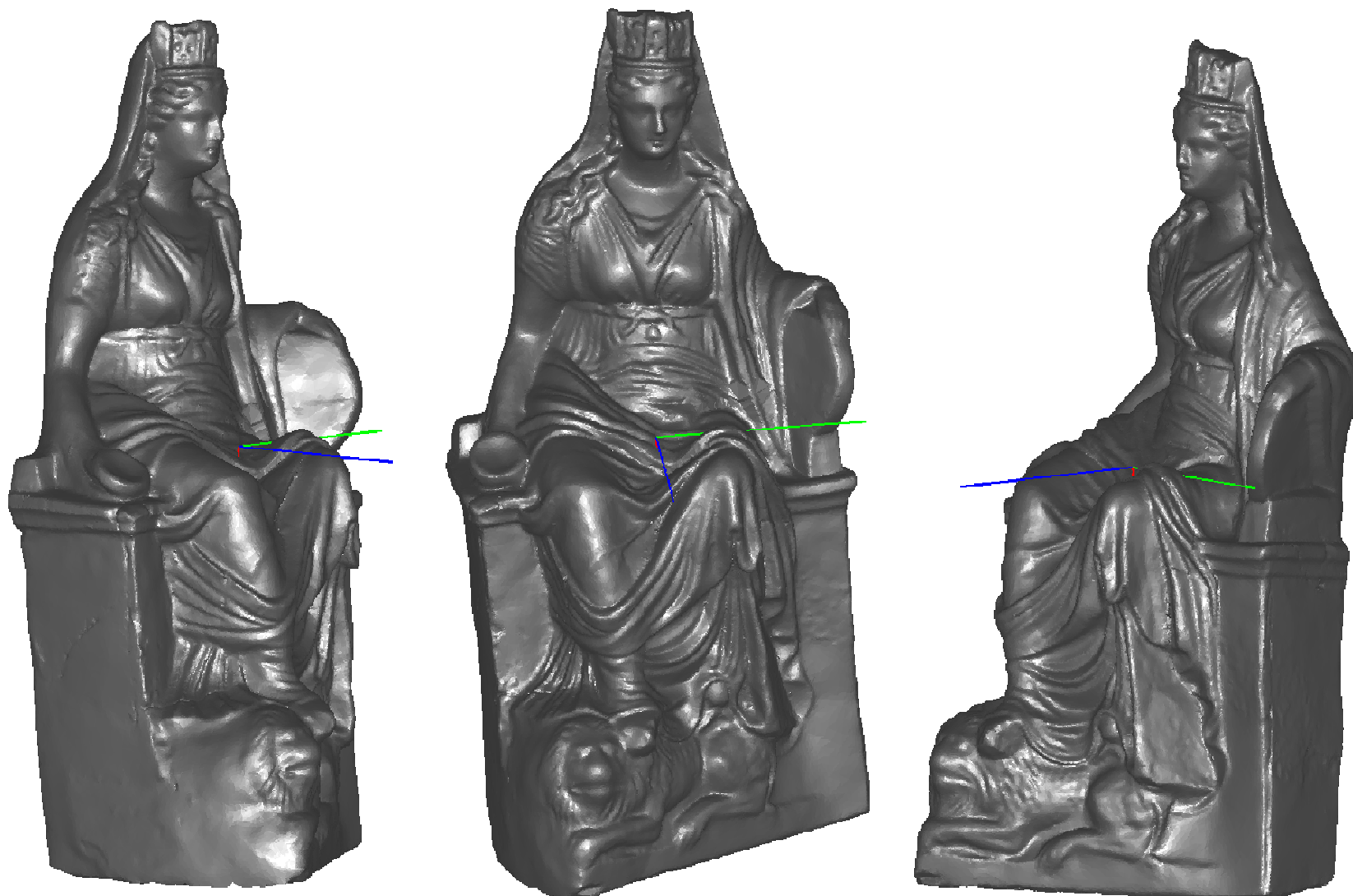
$$|M| = |R| \cdot |T| = \begin{vmatrix} \cos \varphi * \cos \phi + \sin \varphi * \sin \phi * \sin \theta & \sin \varphi * \cos \phi - \cos \varphi * \sin \theta * \sin \phi & \cos \theta * \sin \phi & 0 \\ -\sin \varphi * \cos \theta & \cos \varphi \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ \sin \varphi * \sin \theta * \cos \phi - \cos \varphi \sin \phi & -\cos \varphi * \sin \theta * \cos \phi - \sin \varphi * \sin \phi & \cos \theta * \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & x_{shift} \\ 0 & 1 & 0 & y_{shift} \\ 0 & 0 & 1 & z_{shift} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$



Przykładowy proces pomiarowy



Przykładowy wynik – mniejsza dokładność (80 milionów punktów) i większa (400 milionów punktów – czas pomiaru ~ 3 godziny i przetwarzania danych 7 godzin)



Podsumowanie

Opracowany system umożliwia:

- **pozycjonowanie systemu pomiarowego z 8 stopniami swobody**
- **w pełni automatyczne pomiary w objętości: 2,5m x 1,2m x 1,2m**
- **automatyczne przetwarzanie dużych zbiorów danych**
- **uzyskanie obiektywnych wyników pomiaru**
- **przyspieszenie pomiarów ponad dziesięciokrotnie w stosunku do istniejących rozwiązań**

Podsumowanie

Dzięki opracowaniu systemu możliwe stanie się:

- wykonanie dokumentacji 3D obiektów dziedzictwa kulturowego w sposób masowy i powtarzalny
- dokonanie porównania kształtu obiektu z różnych chwil czasowych w celu oceny zmian stanu zachowania
- obniżenie kosztu dokumentacji 3D przy jednoczesnym zwiększeniu parametrów jakościowych i czasowych

Dane projektu

Projekt badawczy rozwojowy:

„Zautomatyzowany system do trójwymiarowej digitalizacji obiektów polskiego i europejskiego dziedzictwa kulturowego”

Okres realizacji 2007-2010 (36 miesięcy)

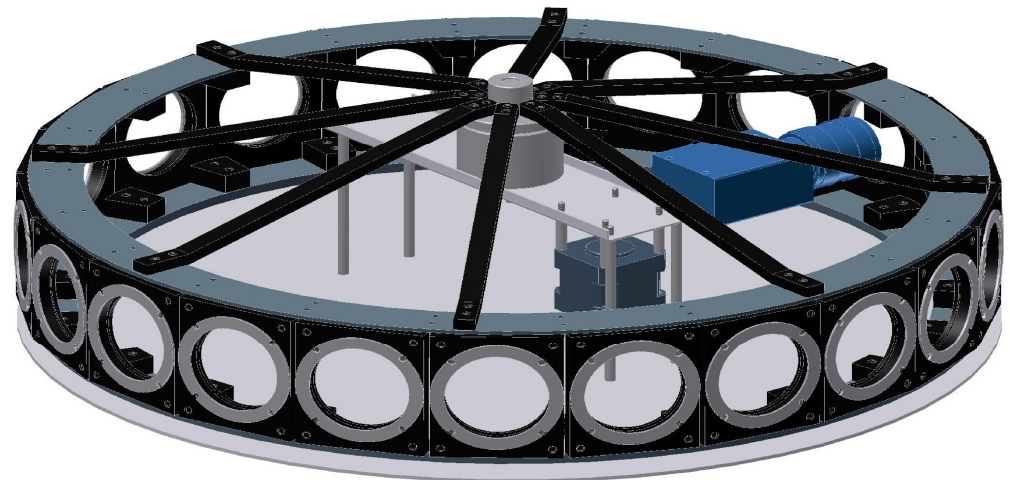
Dalsze prace – wirtualne prezentacje



Dalsze prace

Zintegrowany pomiar wielu parametrów dla każdego punktu (x,y,z):

- obrazy w wielu zakresach spektralnych (kilkanaście zakresów od bliskiej podczerwieni do UV),
- kierunkowe charakterystyki rozpraszania i odbicia,
- wektor normalny punktu,
- jakość odwzorowania punktu.



Pomiar kształtu z wykorzystaniem deflektometrii 3D.



Dziękuję za uwagę!

Robert Sitnik, Maciej Karaszewski, Wojciech Załuski, Paweł Bolewicki

OGX|Optographx

Instytut Mikromechaniki i Fotoniki

Wydział Mechatroniki

Politechnika Warszawska

Św. A. Boboli 8

02-525 Warszawa

tel.: +48 22 234 82 83

fax: +48 22 234 86 01

r.sitnik@mchtr.pw.edu.pl

<http://ogx.mchtr.pw.edu.pl>

