

SYMPOZJUM NAUKOWO-PRAKTYCZNE
URZĄDZENIA I SYSTEMY MECHATRONICZNE

Suwałki – Gawrych Ruda 09– 11.06.2016

**SYSTEMY MECHATRONICZNE
W NADZOROWANIU UKŁADÓW
MECHANICZNYCH**

*Krzysztof J. KALIŃSKI, Marek CHODNICKI,
Marek A. GALEWSKI, Michał MAZUR*

Zespół Mechatroniki



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Gdańsk

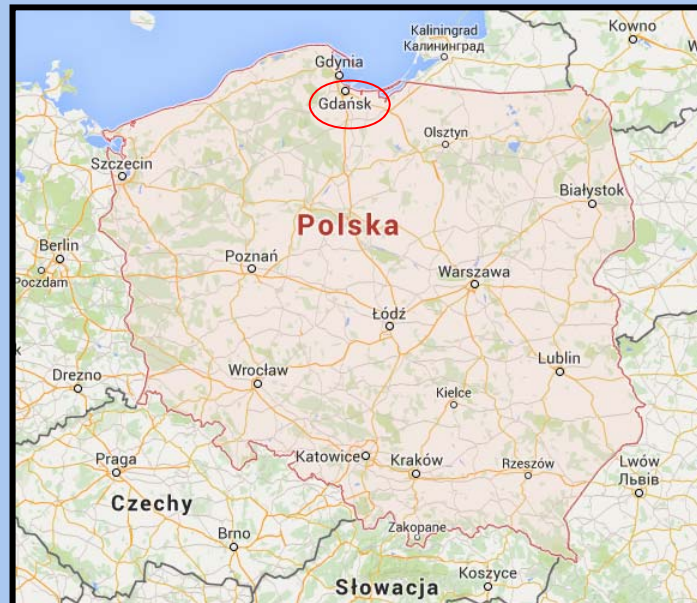


**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY



HOLIDAYS



Politechnika Gdańska



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



- około 25000 studentów
- 9 Wydziałów
- 7 kursów doktorskich
- 29 kierunków studiów
- 40 kursów podyplomowych
- 1200 nauczycieli akademickich

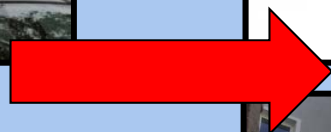


Wydział Mechaniczny



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



50 absolwentów / rok
kierunków studiów
kursów podyplomowych
studia doktoranckie
23 nauczycielki akademickich

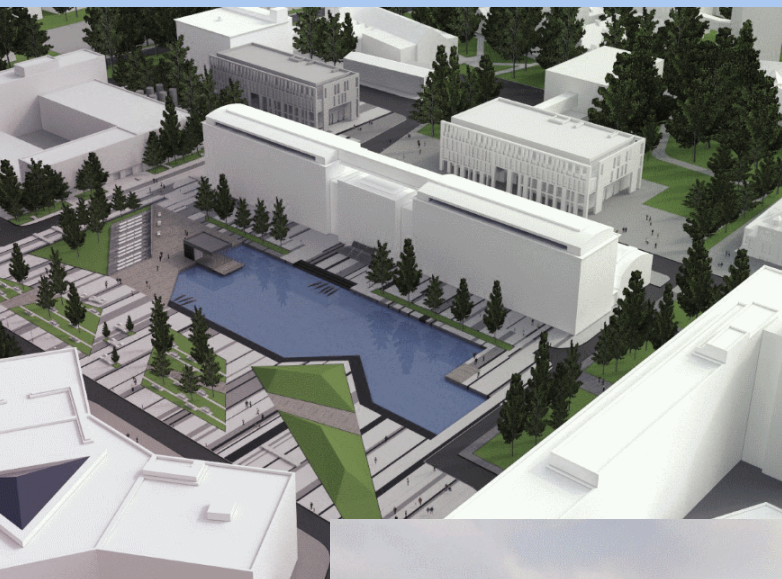


Przyszłość



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY



Główne tematy badań



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Nadzorowanie drgań podczas skrawania
(w tym skrawania przedmiotów wielkogabarytowych
wieloosiowych centrach obróbkowych)

sterowanie 2-kołowymi platformami mobilnymi

systemy nadzorowania z wykorzystaniem sterowania
tymalnego przy energetycznym wskaźniku jakości

identyfikacja parametrów modalnych

Publikacje



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Chodnicki M., Kaliński K. J., Galewski M.: *Vibration surveillance during milling of flexible details with a use of active optimal control.* Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol. 32, No. 1&2 2013.

Kaliński K. J., Mazur M., Galewski M.: *The optimal spindle speed map for reduction of chatter vibration during milling of bow thruster blade.* Solid State Phenomena 2013, Vol. 198, s.686-691.

Chodnicki M., Panasiuk-Chodnicka A.A., Ławreszuk D., Kulwicki Ł., Jażdżewski M.: *Innovative Autonomous Underwater Vehicle (AUV) for research of state of environment in hard condition.* XXXIII SCAR Biennial Meetings 2014 Open Science Conference, Auckland.

Kaliński K. J., Galewski M. A.: *Vibration Surveillance Supported by Hardware-In-the-Loop Simulation in Milling of Flexible Workpieces.* Mechatronics 2014, 24, 8,1071–1082.

Kaliński K. J., Galewski M., Mazur M., Chodnicki M.: *Vibration surveillance for efficient milling of flexible details fixed in adjustable stiffness holder.* JVE International Ltd. Vibroengineering Procedia.Vol. 3, 2014.

Kaliński K. J., Galewski M. A.: *A modified method of vibration surveillance by using the optimal control at energy performance index.* Mechanical Systems and Signal Processing 2015, 58-59, 41-42.

Kaliński K. J., Buchholz C.: *Mechatronic Design of Strongly Nonlinear Systems on a Basis of Three Wheeled Mobile Platform.* Mechanical Systems and Signal Processing 2015, 52-53, 700-721.

Kaliński K. J., Galewski M. A.: *Optimal spindle speed determination for vibration reduction during ball-end milling of flexible details.* International Journal of Machine Tools and Manufacture 2015, 92, 19-30.

Kaliński K. J., Chodnicki M., Kowalska B., Kmita P.: *Analysis of crash computation on a basis of principle of conservation of momentum and kinetic energy.* In: Mechatronics: Ideas, challenges, solutions and applications. Editors: Kojanowicz J., Kaliński K. J., Kaliczyńska M., Szewczyk R. Springer, 2015 (in publishing).

Kaliński K. J., Galewski M., Mazur M., Chodnicki M.: *Modelling and simulation of a new variable stiffness holder for vibration surveillance system.* Acta mechanica et automatica, 2015 (in publishing).

Kaliński K. J., Mazur M.: *Optimal Control at Energy Performance Index of the Mobile Robots Following*

ICM Conference



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

International Conference
MECHATRONICS
Ideas for Industrial Applications

MAY 11-13, 2015 – GDAŃSK, POLAND



ICM Conference



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY



Projekt - Tango1



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Project TANGO1/266350/NCBR/2015

WYKORZYSTANIE WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ MECHATRONICZNYCH
DO NADZOROWANIA PROCESU SKRAWANIA PRZEDMIOTÓW
WIELKOGABARYTOWYCH NA WIELOOSIOWYCH CENTRACH
OBRÓBKOWYCH





**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY



**Nowy międzyuczelniany kierunek studiów II stopnia
TECHNOLOGIE KOSMICZNE I SATELITARNE**

(PG - AMG – AMWG)



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

MODELOWANIE I SYMULACJA UCHWYTU ZE ZMIENNĄ SZTYWNOŚCIĄ CELU NADZOROWANIA DRGAŃ PODCZAS SKRAWANIA

Redukcja drgań podczas frezowania



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Wiele różnych metod redukcji i nadzorowania drgań chatter, np.:

Fazowanie krawędzi tnących

Użycie mechanicznych tłumików

Użycie materiałów inteligentnych

Sterowanie optymalne

Sterowanie aktywne

Aktywny uchwyt

Aktywne tłumiki

Skrawanie ze zmienną prędkością

Regulacja prędkości obrotowej wrzeciona z dopasowaniem do optymalnego kąta przesunięcia fazowego w kolejnych przejściach narzędzia

Zmienna prędkość obrotowa wrzeciona

Narastająca prędkość obrotowa wrzeciona

Regulacja prędkości obrotowej wrzeciona z dopasowaniem do częstotliwości drgań własnych układu

Optymalna prędkość obrotowa wrzeciona



POLITECHNIKA
GDAŃSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY

Optymalna prędkość obrotowa wrzeciona

- Prędkość dla której amplituda drgań chatter wynosi minimum

Warunek Liao-Younga

W tym przypadku kiedy mamy tylko jedną dominującą częstotliwość drgań układu

$$\frac{zn_{\alpha}}{60} = \frac{f_{\alpha}}{0,25 + k}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

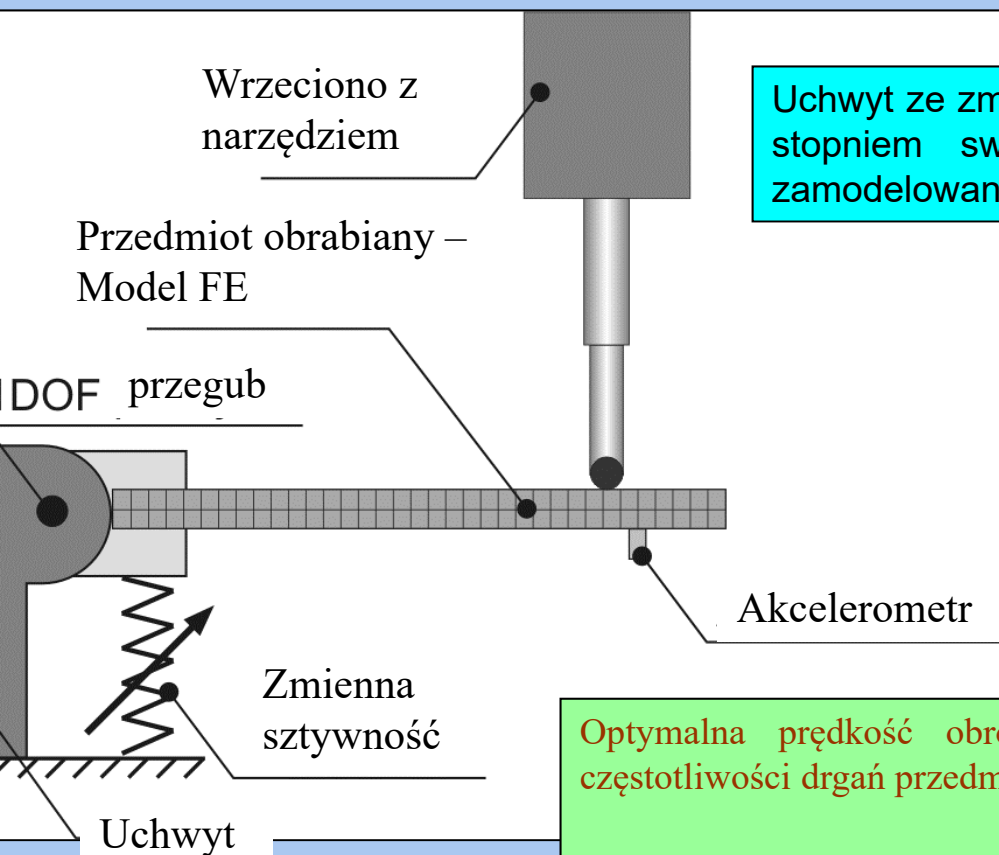
- **określona** częstotliwość drgań własnych przedmiotu obrabianego [Hz],
- **poszukiwana** optymalna prędkość obrotowa wrzeciona [rev/min],
- ilość ostrzy skrawających

Nowy uchwyt ze zmienną sztywnością



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



Uchwyt ze zmienną sztywnością i jednym obrotowym stopniem swobody oraz przedmiot obrabiany zamodelowany MES

Optymalna prędkość obrotowa wrzeciona zależy od dominującej częstotliwości drgań przedmiotu obrabianego

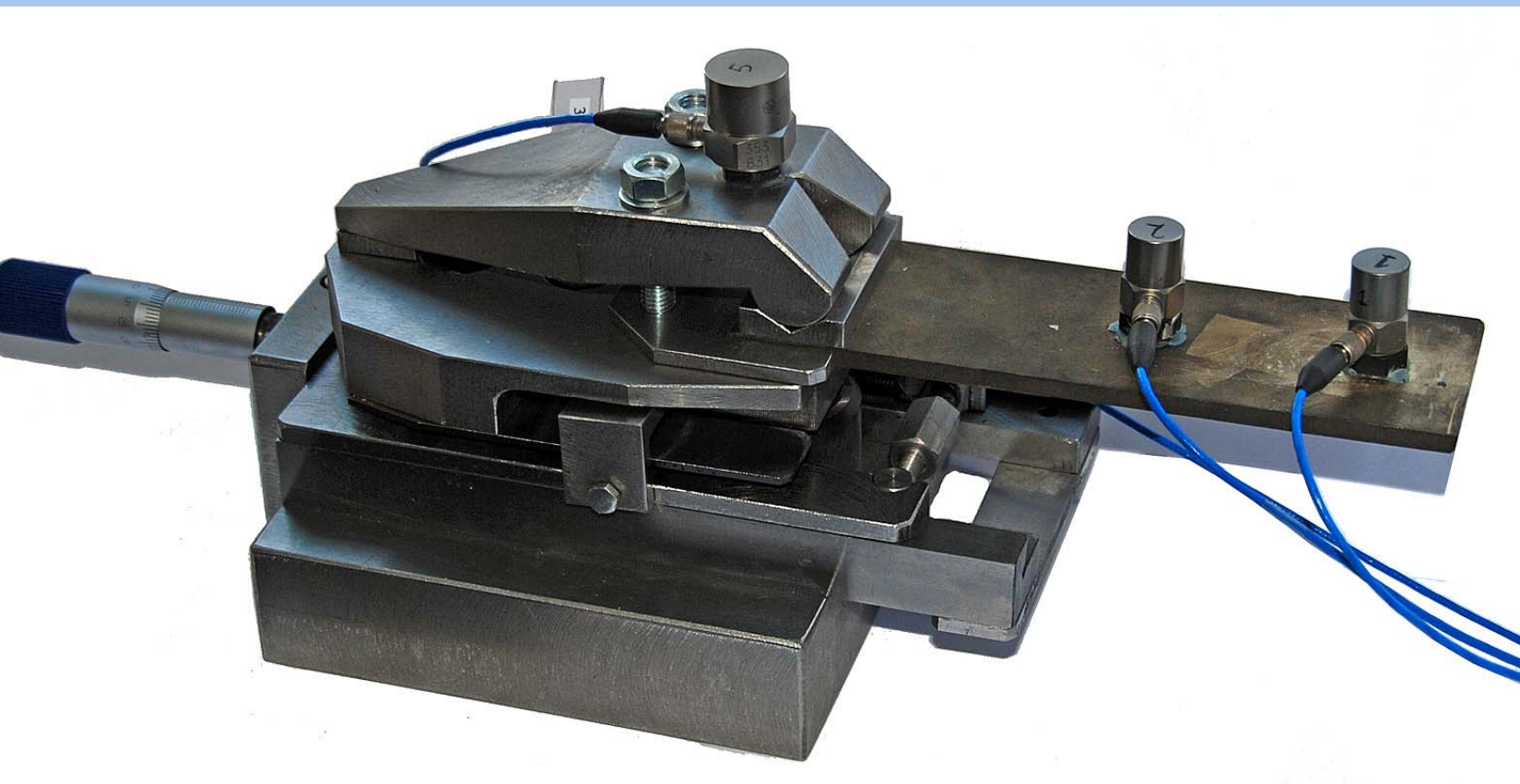
- Częstotliwość drgań zależy od własności dynamicznych przedmiotu obrabianego.
- Przedmiot obrabiany jest umocowany w uchwycie ze zmienną sztywnością. Uchwyt posiada jeden stopień swobody (przegub obrotowy).
- Dzięki zmiennej sztywności mamy możliwość zmiany własności dynamicznych

Nowy uchwyt ze zmienną sztywnością



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

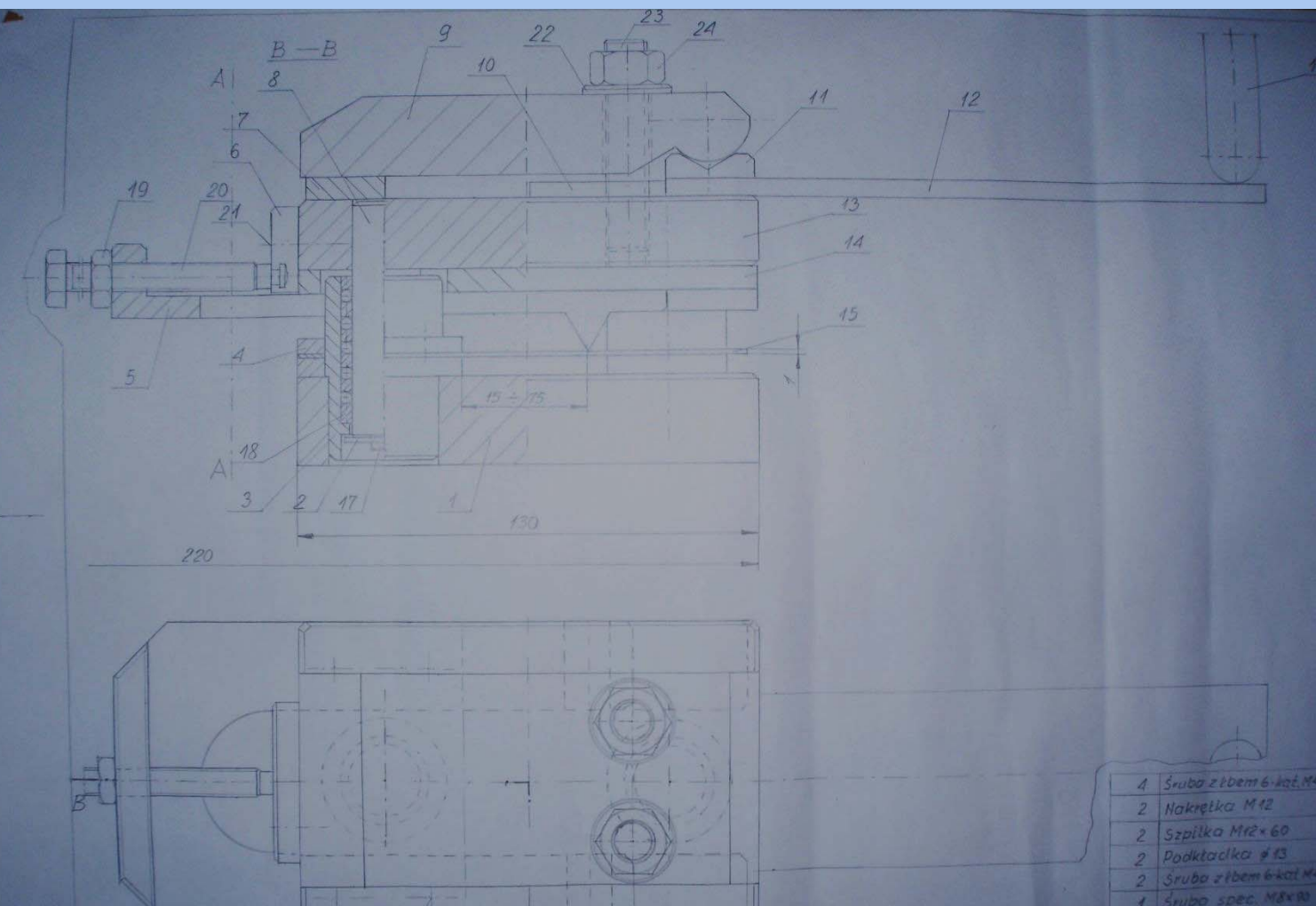


Nowy uchwyt ze zmienną sztywnością



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



Model procesu skrawania



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Model proporcjonalny

Siły skrawania zależą proporcjonalnie od zmiennych w czasie głębokości skrawania oraz grubości warstwy skrawanej

$$F(t) = \begin{cases} \mu_l k_{dl} a_l(t) h_l(t), & a_l(t) > 0 \wedge h_l(t) > 0, \\ 0, & a_l(t) \leq 0 \vee h_l(t) \leq 0, \end{cases}$$

$$F(t) = \begin{cases} k_{dl} a_l(t) h_l(t), & a_l(t) > 0 \wedge h_l(t) > 0, \\ 0, & a_l(t) \leq 0 \vee h_l(t) \leq 0, \end{cases}$$

$$F(t) = 0$$

$$a_l(t) = a_{pl}(t) - \Delta a_{pl}(t)$$

$$h_l(t) = h_{pl}(t) - \Delta h_{pl}(t) + h_l(t - \tau)$$

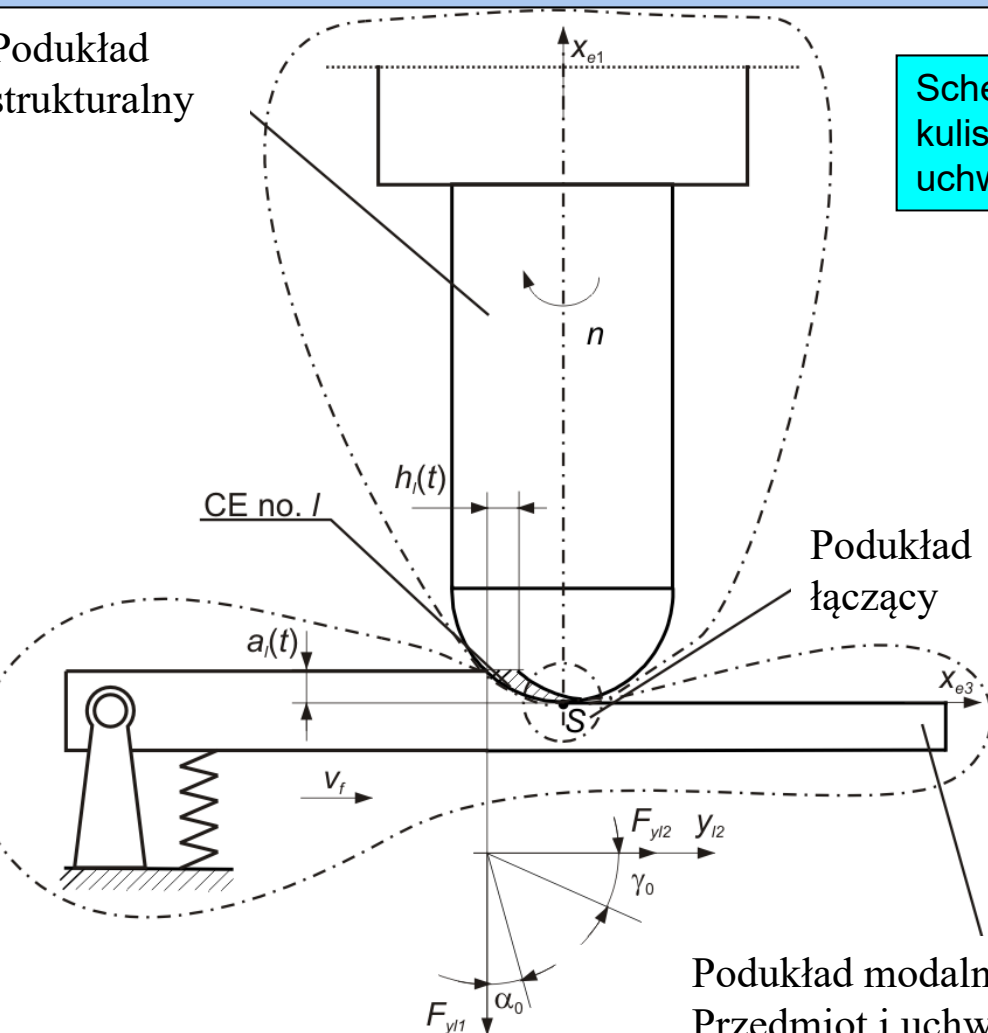
Układ hybrydowy



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Podukład
strukturalny



Schemat frezowania smukłym frezem kulistym przedmiotu umocowanego w uchwycie ze zmienną sztywnością

Opis we współrzędnych hybrydowych znacznie zmniejsza wymiar układu sterowanego

Umożliwia częściową identyfikację modelu obliczeniowego pod kątem wykorzystania w symulacji

Podukład modalny
Przedmiot i uchwyt

Symulacje



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

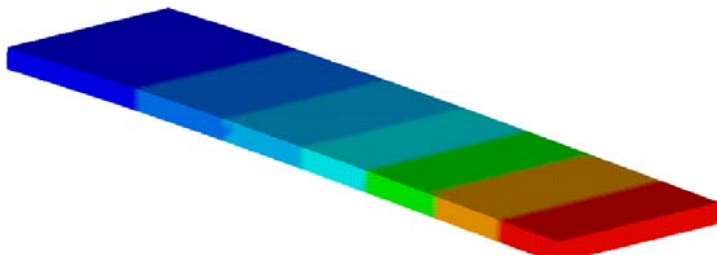
WYDZIAŁ MECHANICZNY

Stożkowość drgań własnych dwóch pierwszych
modów drgań przedmiotu obrabianego i uchwytu

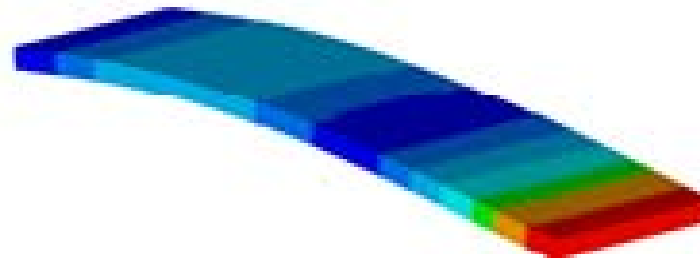
Stożkowości zmieniają się wraz ze zmianą
sztywności sprężyny.

Spring stiffness [N/mm]	1 st natural frequency [Hz]	2 nd natural frequency [Hz]
14800	138.62	468.67
11000	131.36	427.48
8500	124.08	398.47
6800	117.16	377.87
5600	110.78	362.93
4700	104.83	351.54
4000	99.27	342.60
3470	94.36	335.80
3050	89.94	330.39
2670	85.43	325.50

Pierwsza częstotliwość drgań własnych (110.78
Hz) przedmiotu obrabianego i uchwytu dla
sztywności sprężyny 5600 N/mm



Druga częstotliwość drgań własnych (362.93 Hz)
przedmiotu obrabianego i uchwytu dla
sztywności sprężyny 5600 N/mm



Symulacje



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Wybór optymalnego przemieszczenia [mm].

Oczekiwane optymalne pary oznaczone szarym tłem

speed [min]	Holder spring stiffness [N/mm]						
	14800	11000	8500	6800	5600	4700	4000
17651	0.002366						
16745		0.007657					
16651	0.002539	0.005380					
15869			0.002711				
15745	0.003676	0.002613	0.002671	0.002523	0.002193		
15651	0.003866						
15284					0.002547		
15047				0.002860			
14869		0.004322	0.002926	0.002787	0.002927		
14745		0.004957					
14581						0.002810	
14284					0.003170		
14047			0.006864	0.003431	0.003163		
13869			0.008736				
13784					0.003831		
13581						0.003441	
13284				0.008378	0.004034	0.004537	0.003627
13047				0.010622			
12581					0.015531	0.020466	0.031396

Symulacje



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Amplituda pierwszej częstotliwości drgań własnych [mm]

Oczekiwane optymalne pary oznaczone szarym tłem

Otrzymane optymalne pary pogrubione

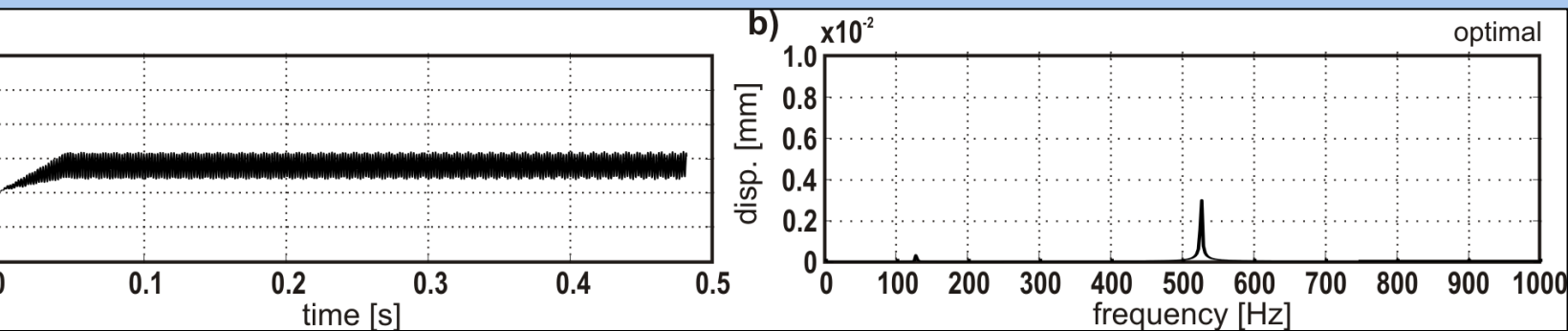
speed [min]	Holder spring stiffness [N/mm]						
	14800	11000	8500	6800	5600	4700	4000
17651	0.001584						
16745		0.007286					
16651	0.000310	0.004502					
15869			0.001615				
15745	0.001045	0.000317	0.001557	0.001632	0.000666		
15651	0.001282						
15284					0.000942		
15047				0.001510			
14869		0.002834	0.000472	0.000848	0.001501		
14745		0.003316					
14581						0.001212	
14284					0.001103		
14047			0.004760	0.000747	0.005021		
13869			0.006904				
13784					0.001447		
13581						0.000357	
13284				0.006728	0.000521	0.002755	0.002057
13047				0.008114			
12581					0.005560	0.021472	0.033184

Symulacje

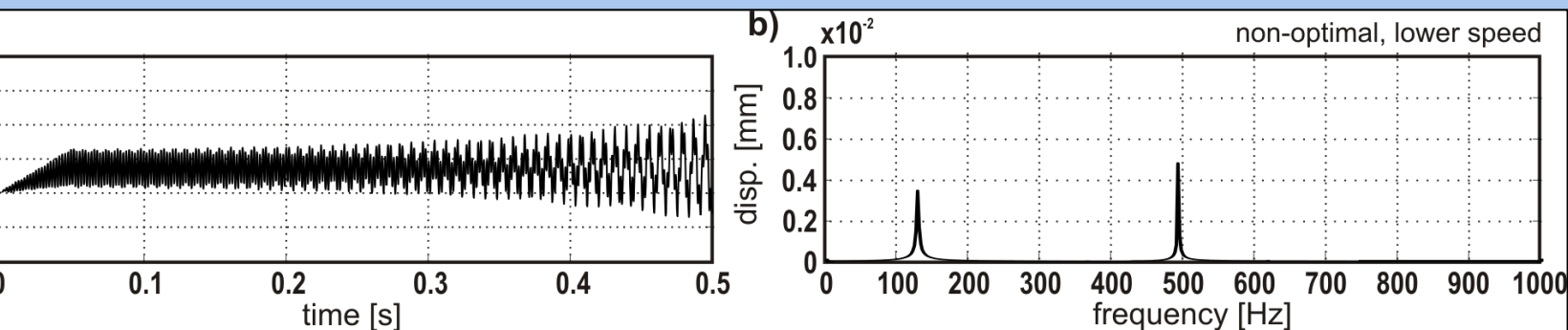


POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



mieszczenie (a) i widmo drgań (b) dla optymalnej pary prędkości obrotowej wrzeciona $n=15745$ min i sztywności uchwyty 11000 N/mm.



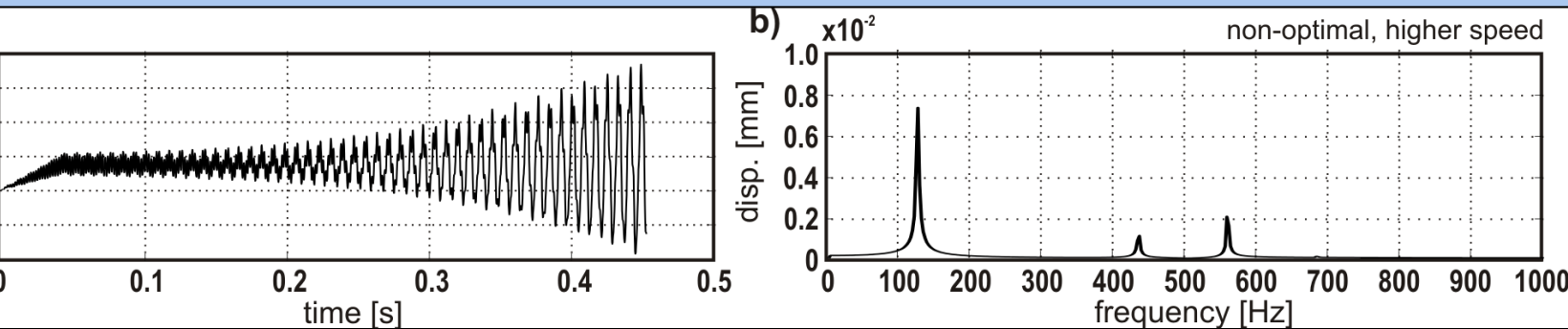
mieszczenie (a) i widmo drgań (b) dla nieoptymalnej pary prędkości obrotowej wrzeciona $n=14745$ min i sztywności uchwyty 11000 N/mm.

Symulacje

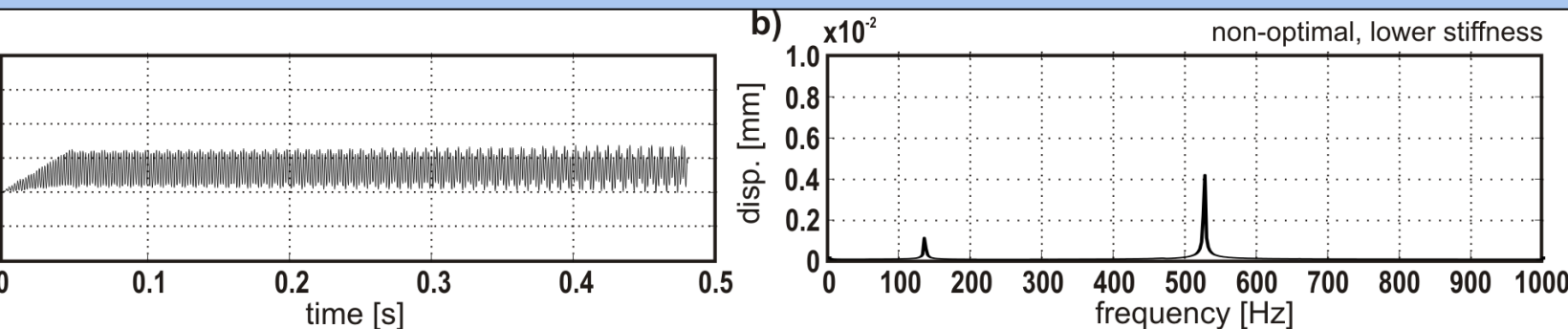


POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



mieszczenie (a) i widmo drgań (b) dla nieoptymalnej pary prędkości obrotowej wrzeciona $n=16745$ min i sztywności uchwyty 11000 N/mm



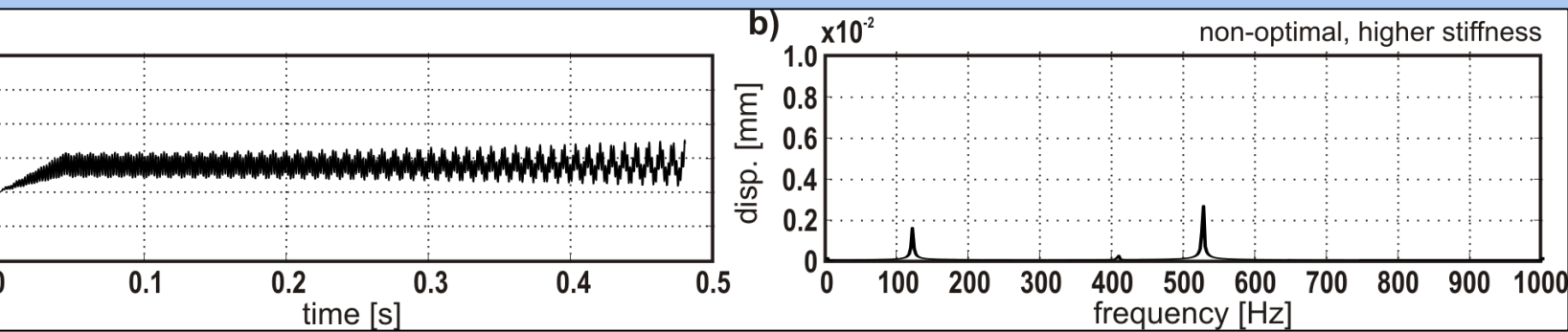
mieszczenie (a) i widmo drgań (b) dla nieoptymalnej pary prędkości obrotowej wrzeciona $n=15745$

Symulacje



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



mieszczanie (a) i widmo drgań (b) dla nieoptymalnej pary prędkości obrotowej wrzeciona $n=15745$ min i sztywności uchwyty 14800 N/mm

Wnioski



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Modyfikacja właściwości dynamicznych systemu uchwyt – przedmiot obrabiany jest
niebezpieczna przy zastosowaniu proponowanego nowego uchwytu

Wniosek - zakres modyfikacji jest ograniczony

Weryfikacja przez testy modalne na prototypie uchwytu

Obliczenia dla różnych par sztywności uchwytu i prędkości obrotowej wrzeciona
pokazują, że tylko w przypadku właściwie dobranych, optymalnych kombinacji tych dwóch
parametrów, poziom drgań jest najmniejszy.

Proponowany uchwyt o zmiennej sztywności posiada potencjał do rozwiązania problemu
ograniczonego zbioru optymalnych prędkości wrzeciona wyliczonych z warunku
Hooke'a-Younga

Optymalna prędkość obrotowa wrzeciona może być podana po ustawieniu odpowiedniej
sztywności uchwytu



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

OPTYMALNE STEROWANIE PRZY ENERGETYCZNYM WSKAŹNIKU JAKOŚCI ROBOTÓW MOBILNYCH PODĄŻAJĄCYCH PO DYNAMICZNIE TWORZONEJ TRAJEKTORII

Wprowadzenie



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Przykłady zastosowania



Wprowadzenie



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

wysoki



niski

Wybór zadania
nadrzędnego

Komunikacja

Budowanie map

Lokalizacja

Globalne i lokalne
planowanie
trajektorii

Odruchy
ratunkowe

Sterowanie
ruchem

wanie ruchem robota jest również nazywane sterowaniem niskiego

Wprowadzenie



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Podstawowe metody sterowania ruchem:

Regulator PID – ograniczona dokładność i efektywność

Neuralne sieci neuronowe – możliwość utraty stabilności
– dokładność zależy od procesu dydaktycznego

Metody rozmyte – oparte na niepewnych modelach obliczeniowych

Algoritmy genetyczne – czasochłonność i niepewność modelu

Regulacja krzepkie – zbyt wysokie momenty mogą prowadzić do poślizgu

Regulacja adaptacyjna – system powinien być odpowiednio wzbudzany co
ograniczyć dokładność

Model deterministyczny



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Wybierana metoda sterowania bazuje na modelu deterministycznym posiadającym poniższe cechy:

parametry modelu obliczeniowego są znane

nieznanymi są konfiguracje modelu obliczeniowego

rozważany system jest ograniczony więzami nieholonomicznymi

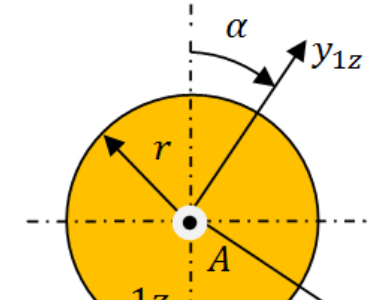
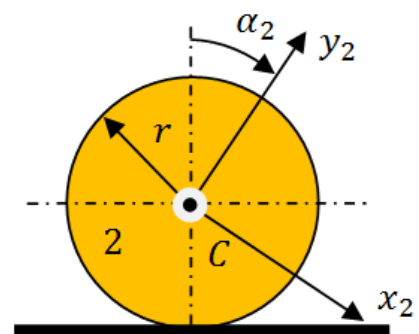
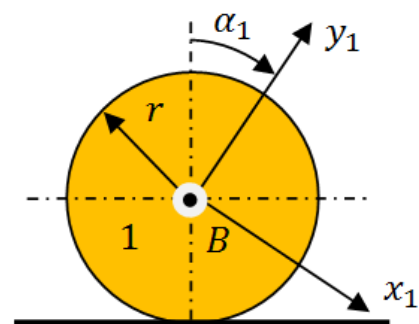
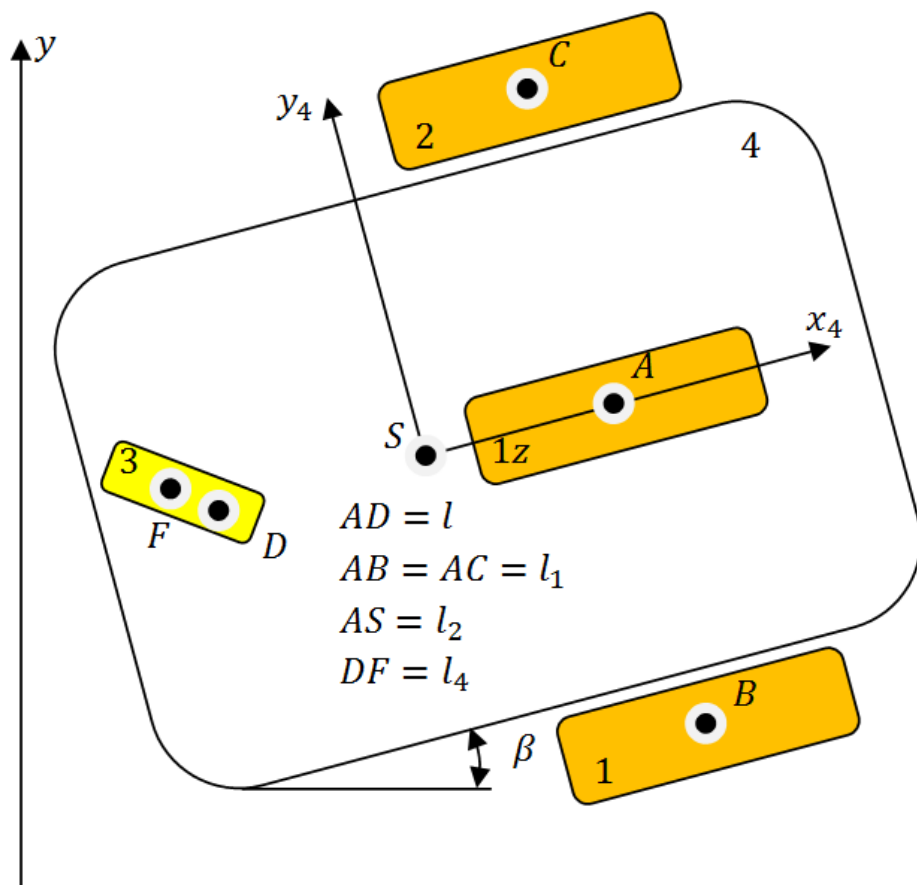
wektoria ruchu jest **tworzona dynamicznie**

2-kołowy robot mobilny



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



Kinematyka



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Żenia:

robot porusza się po płaskiej, poziomej powierzchni
ruch odbywa się bez poślizgów
rękojeść i inne części robota są sztywne
istnieją dwie niezależne prędkości uogólnione

Wzównania kinematyki prostej

$$v_A = \frac{(\dot{\alpha}_1 + \dot{\alpha}_2)r}{2},$$
$$\dot{\beta} = \frac{(\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_2)r}{2l_1},$$

Dynamika



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Wzrostki Appella-Gibbsa:

$$\frac{\partial S}{\partial \dot{\mathbf{w}}} = \mathbf{f}(t, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}) + \mathbf{B}_u(t, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q})\mathbf{u}$$

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{C}_0^T(\mathbf{q})\mathbf{w} + \mathbf{G}_0(\mathbf{q})$$

$(\mathbf{q}, \mathbf{w}, \dot{\mathbf{w}})$

funkcja Appella, wyznaczana podobnie jak energia kinetyczna, ale zamiast prędkości uogólnionych uwzględnia się przyspieszenia uogólnione

energetyczny wskaźnik jakości



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

$$J(t) = \frac{1}{2}(\dot{\mathbf{q}} - \dot{\bar{\mathbf{q}}})^T \mathbf{Q} \mathbf{M} (\dot{\mathbf{q}} - \dot{\bar{\mathbf{q}}}) + \frac{1}{2} \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}$$

Optymalne sygnały sterujące

wartości dla każdej chwili czasu wyznaczane są w trybie *on-line* :

$$\mathbf{u} = -(\mathbf{R} + \mathbf{R}^T)^{-1} \int_t^{t+\Delta t} \mathbf{B}^T(\tau) \Phi^T(t, \tau) d\tau \cdot \mathbf{T}^T (\mathbf{M}^T \mathbf{Q}^T + \mathbf{Q} \mathbf{M}) (\dot{\mathbf{q}} - \dot{\bar{\mathbf{q}}})$$

\mathbf{R} - macierz wpływu sygnałów sterujących

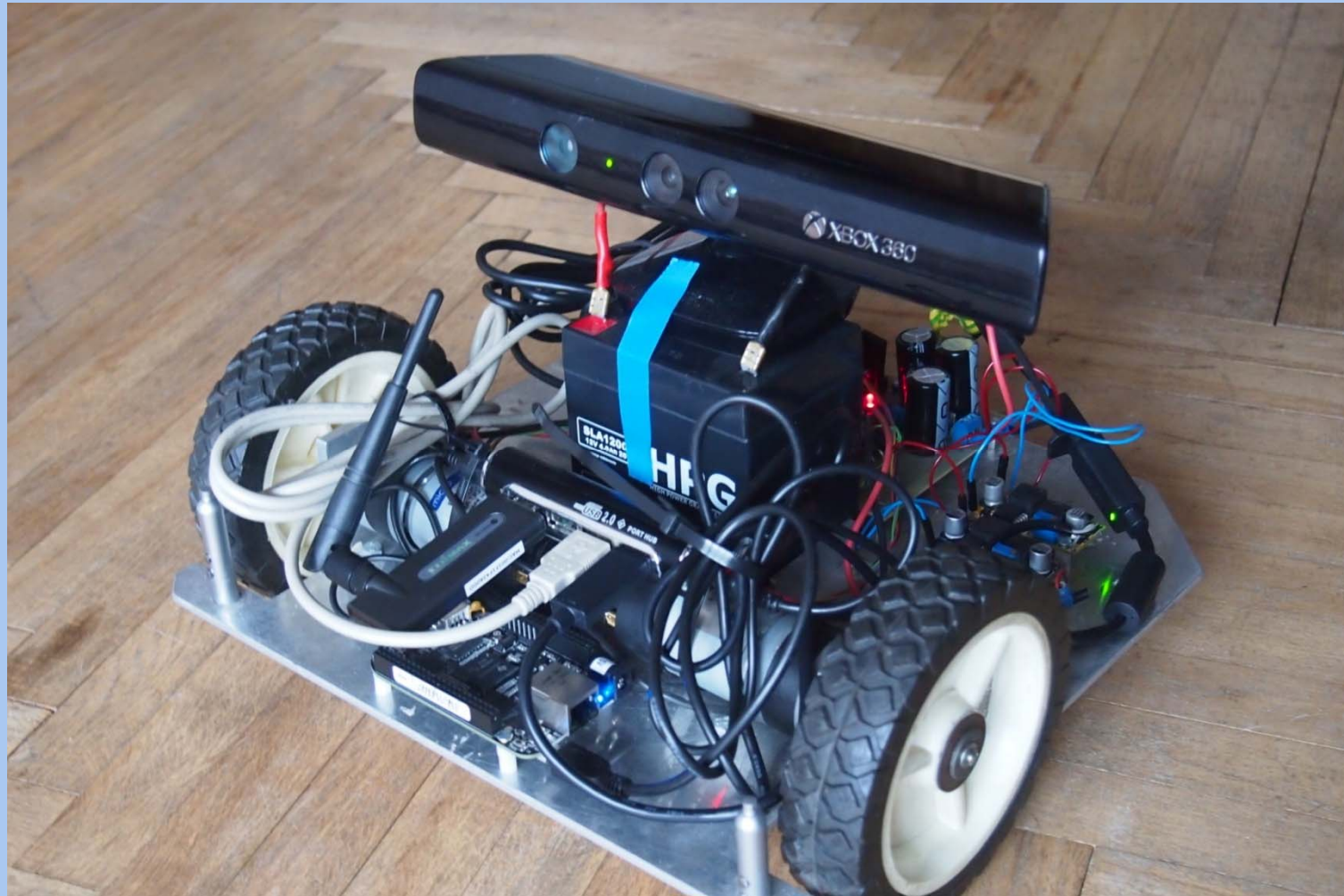
\mathbf{Q} - macierz bezwymiarowych współczynników skalujących

2-kołowy robot mobilny



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

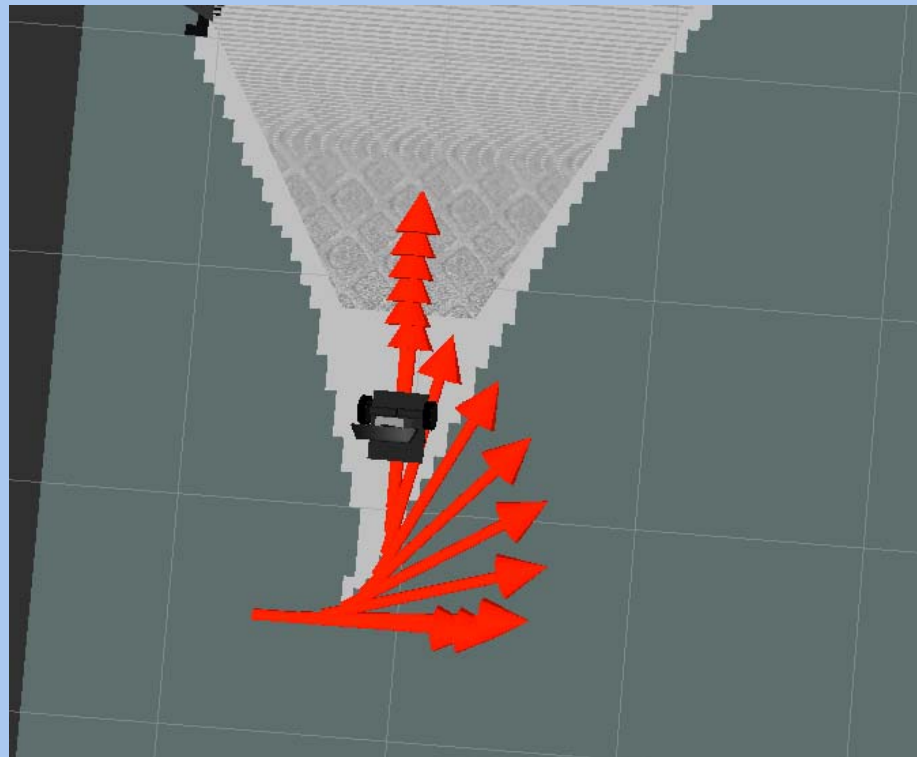
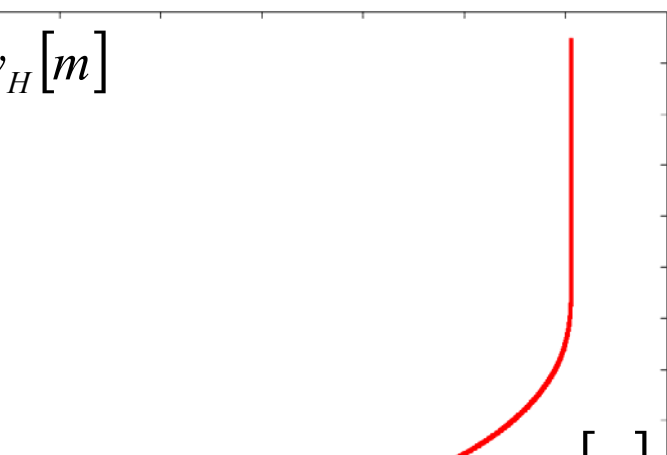
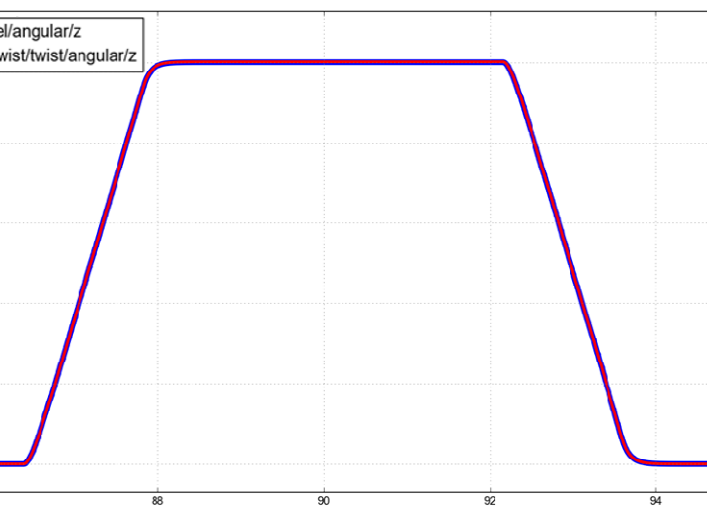


ulacja – trajektoria statyczna



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

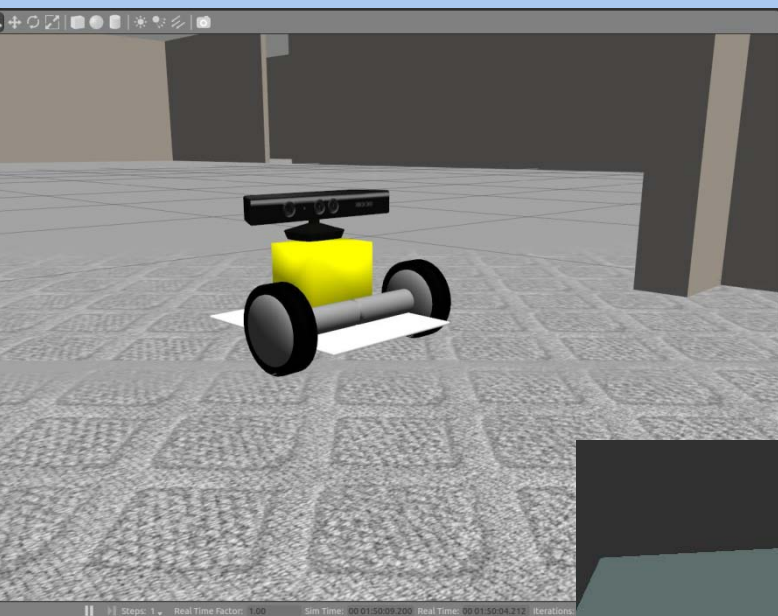


Simulacja – budowanie mapy



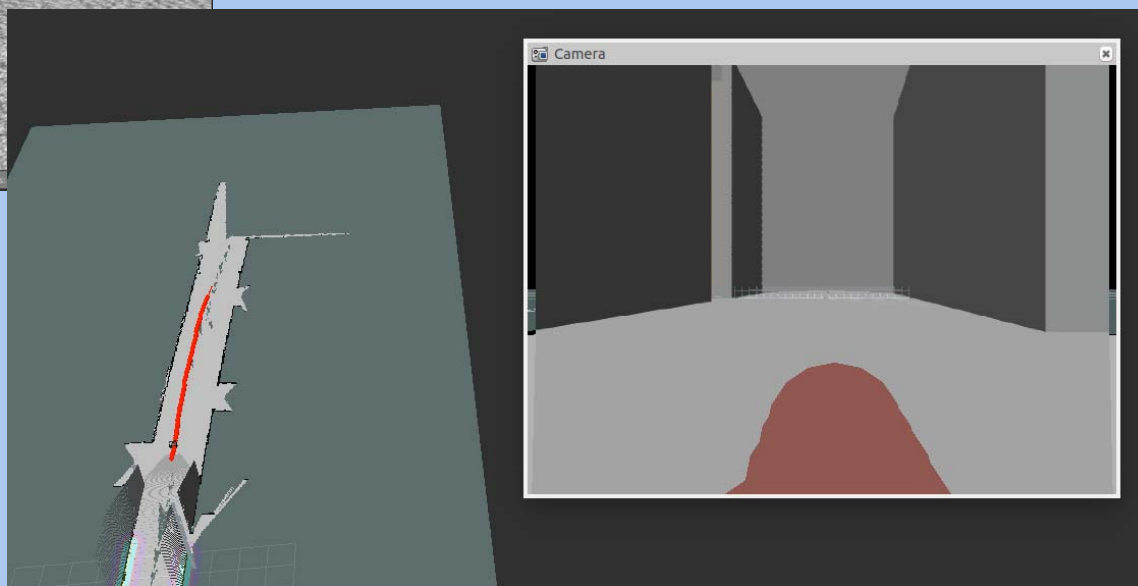
POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



System wizyjny RGB-D
symulacja w Gazebo

...acja z ROS 2D
...ation Stack.
...enie mapy otoczenia
...życiu narzędzia
...azującego problem

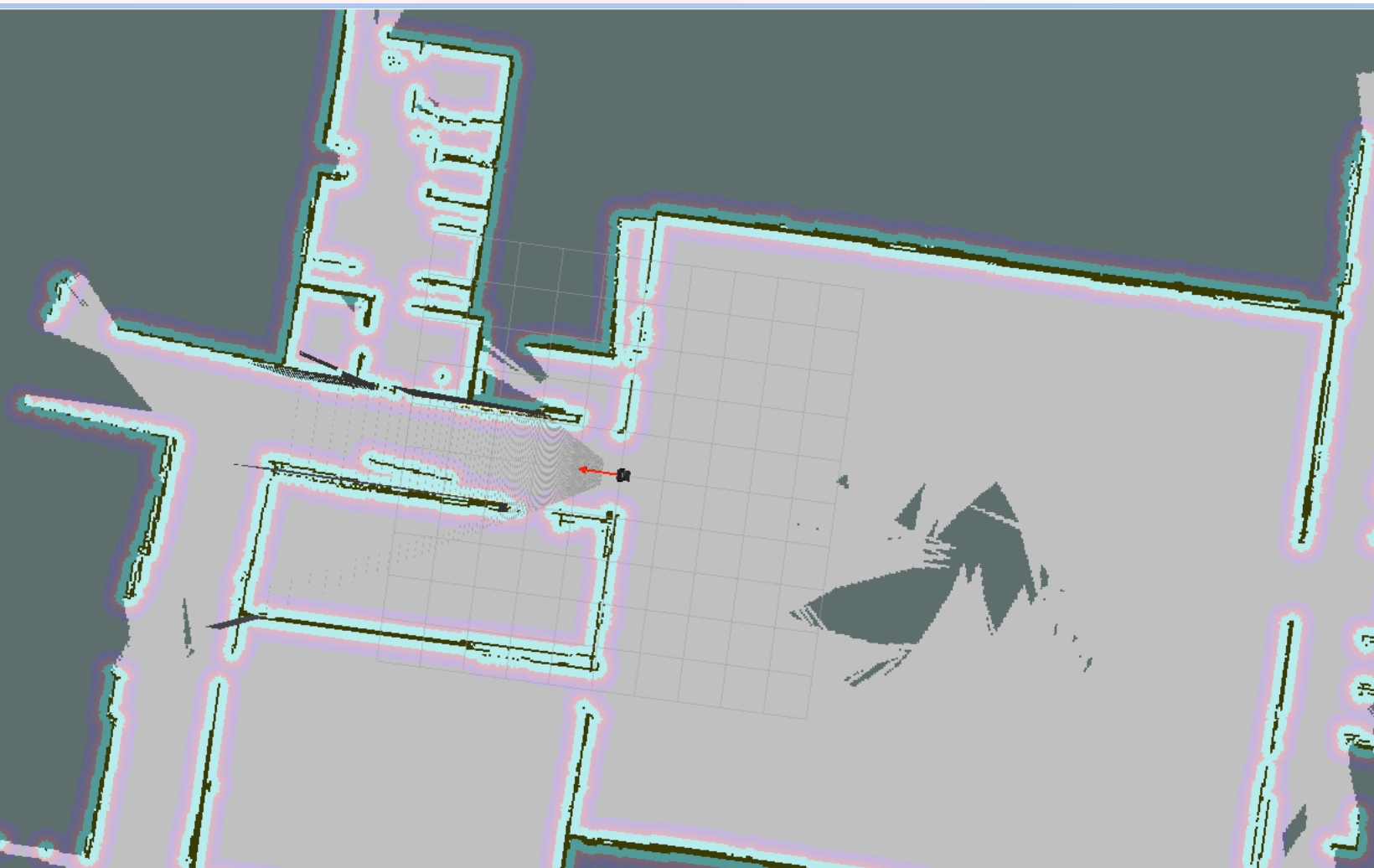


Symulacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

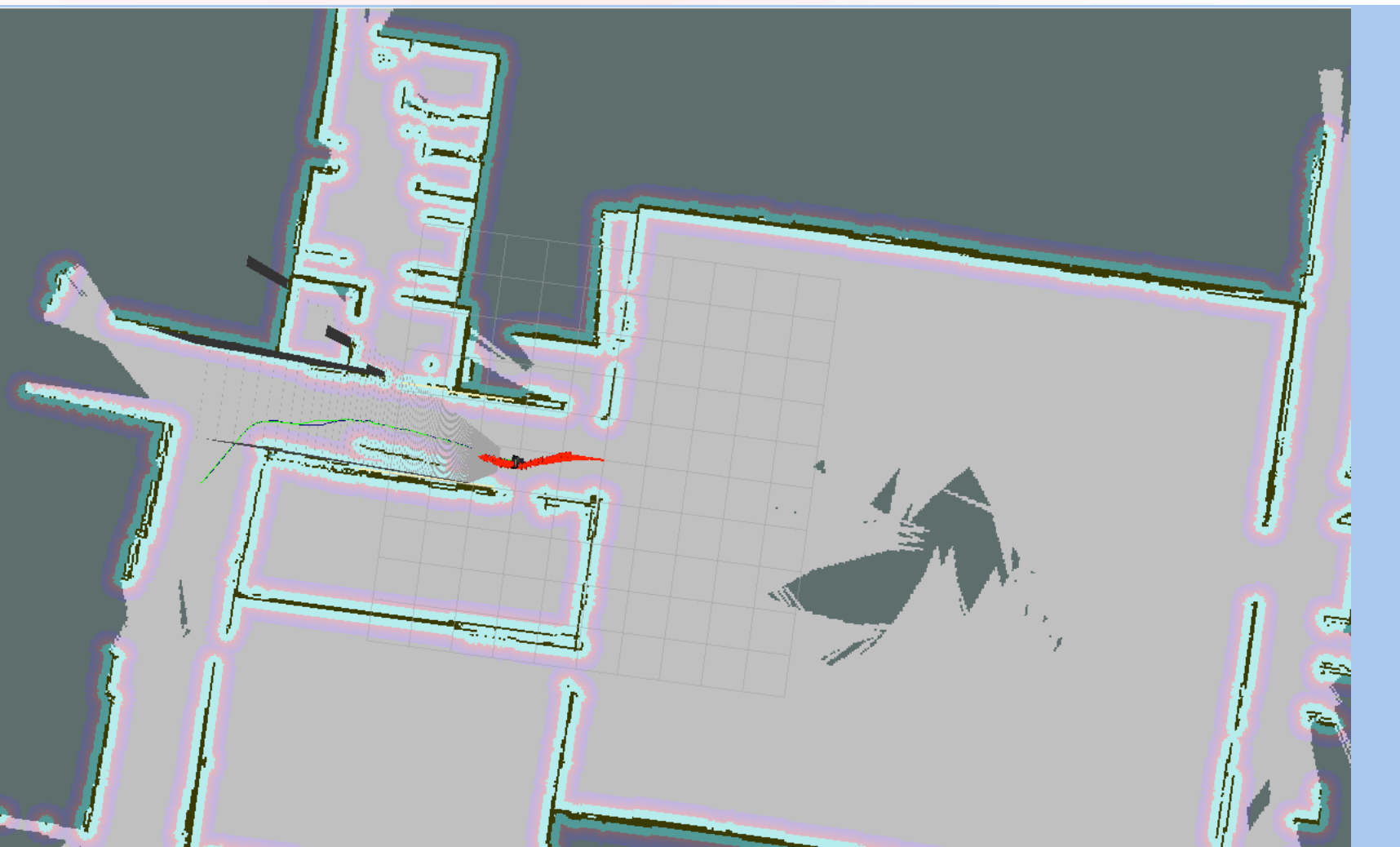


Symulacja



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY



Symulacja



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

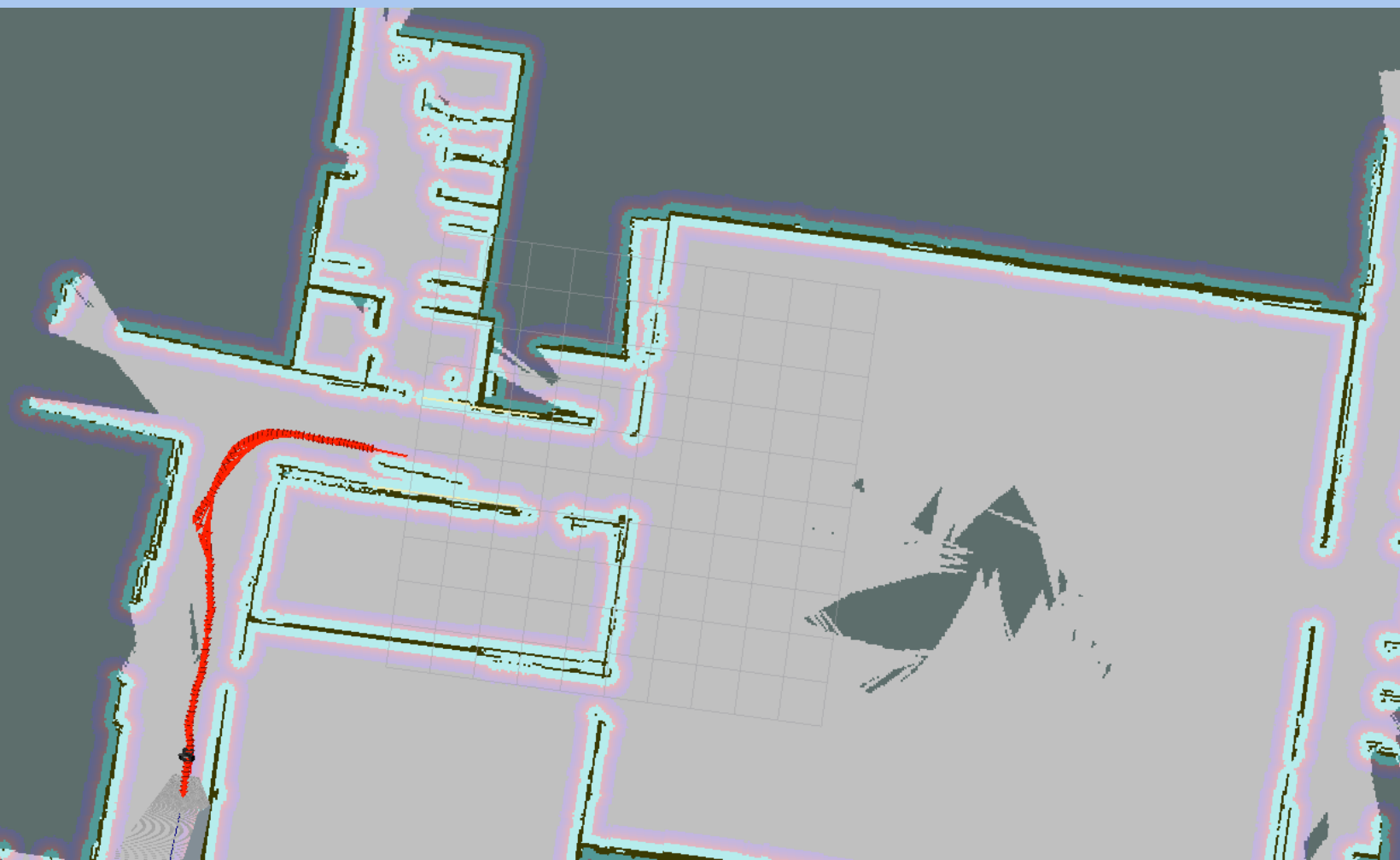


Symulacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

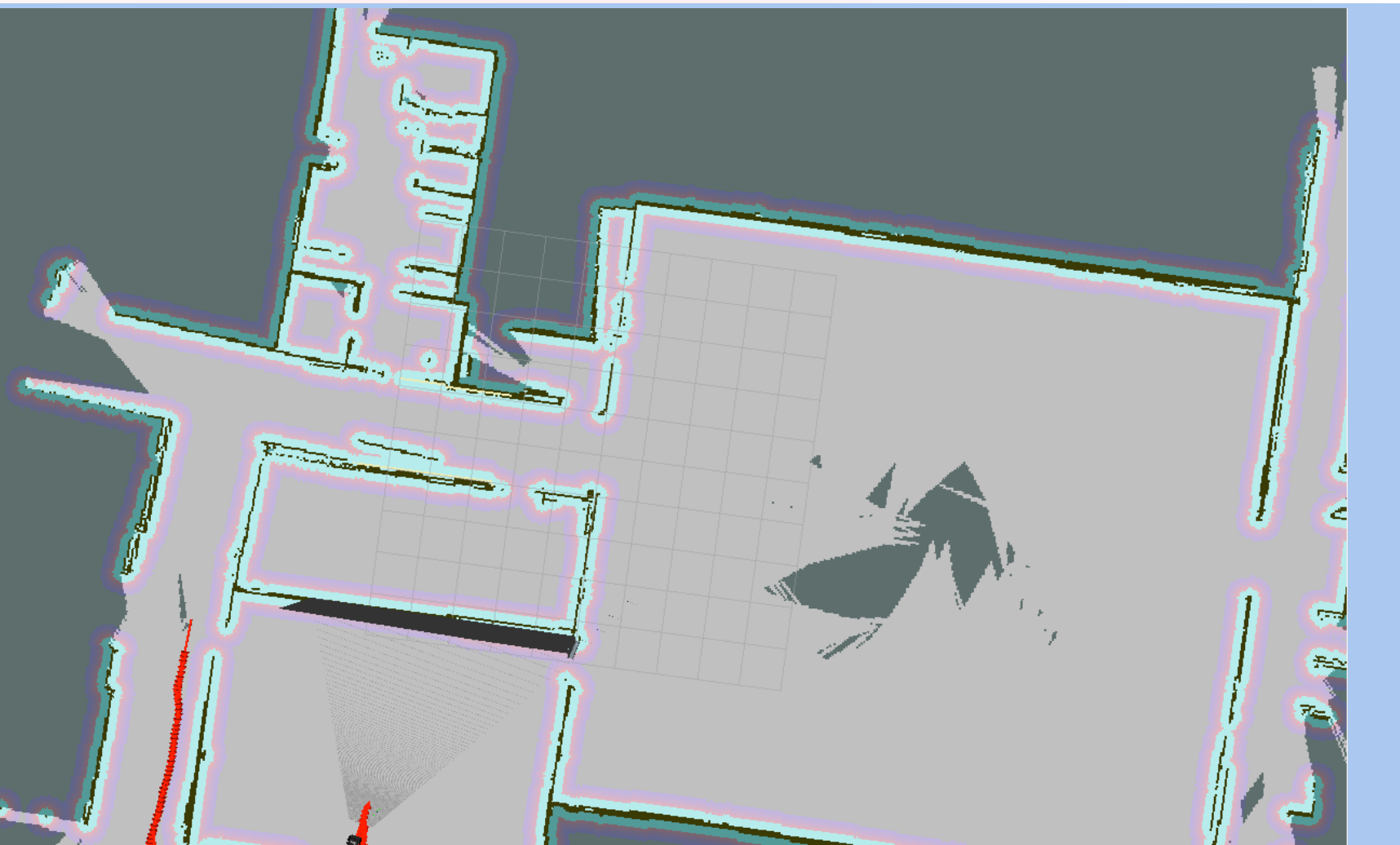


Symulacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

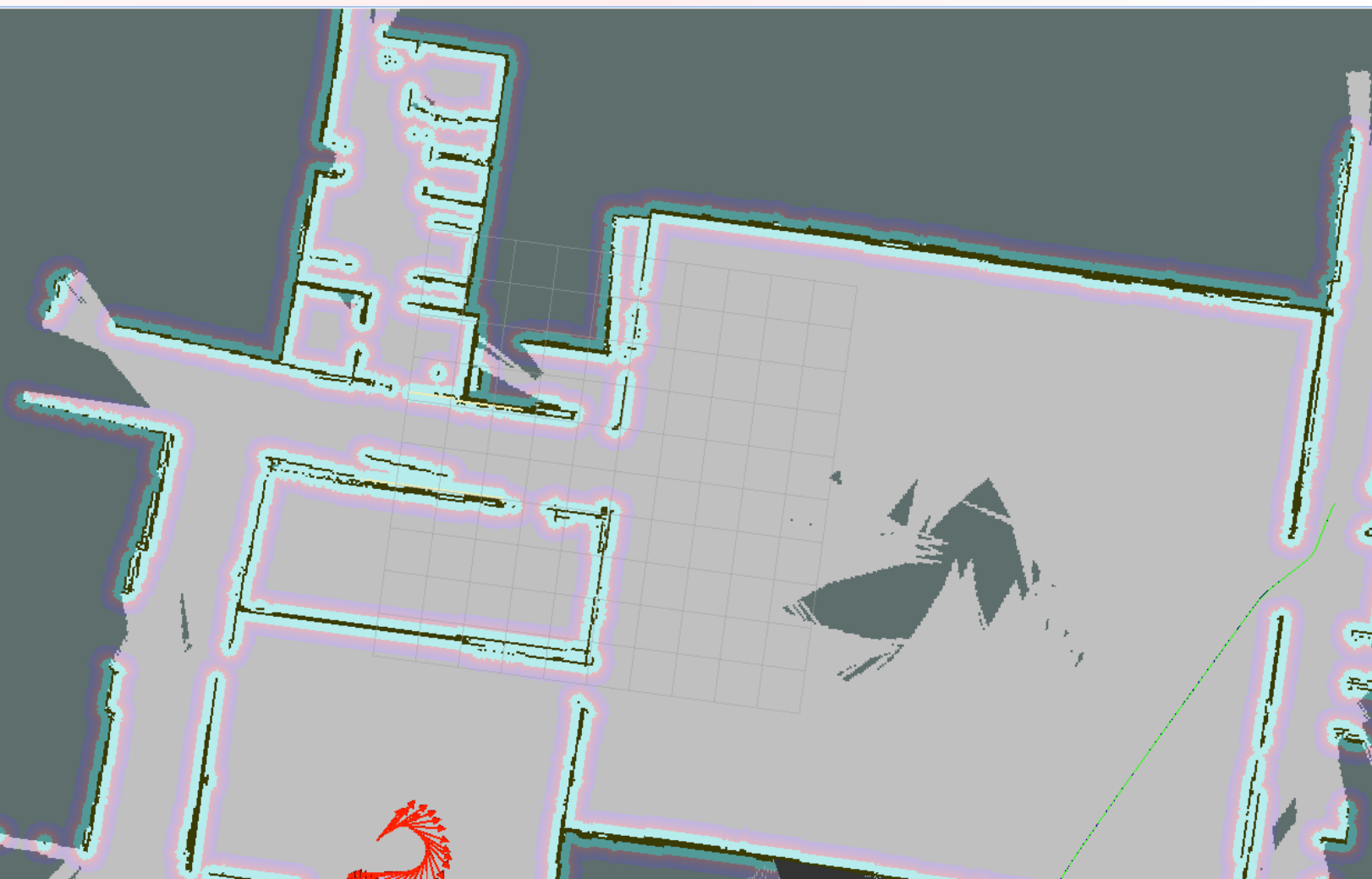


Symulacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

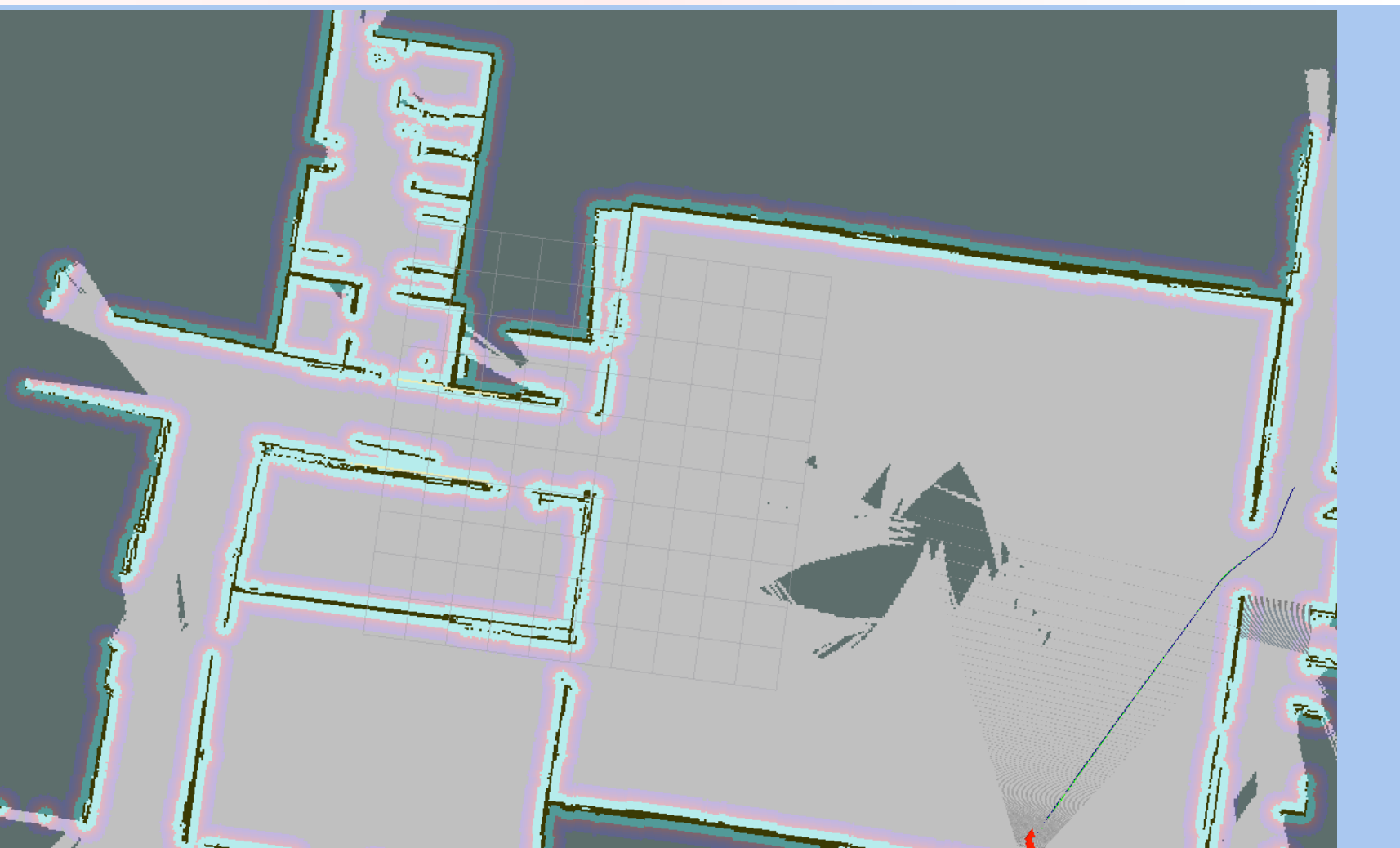


Symulacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



Symulacja



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

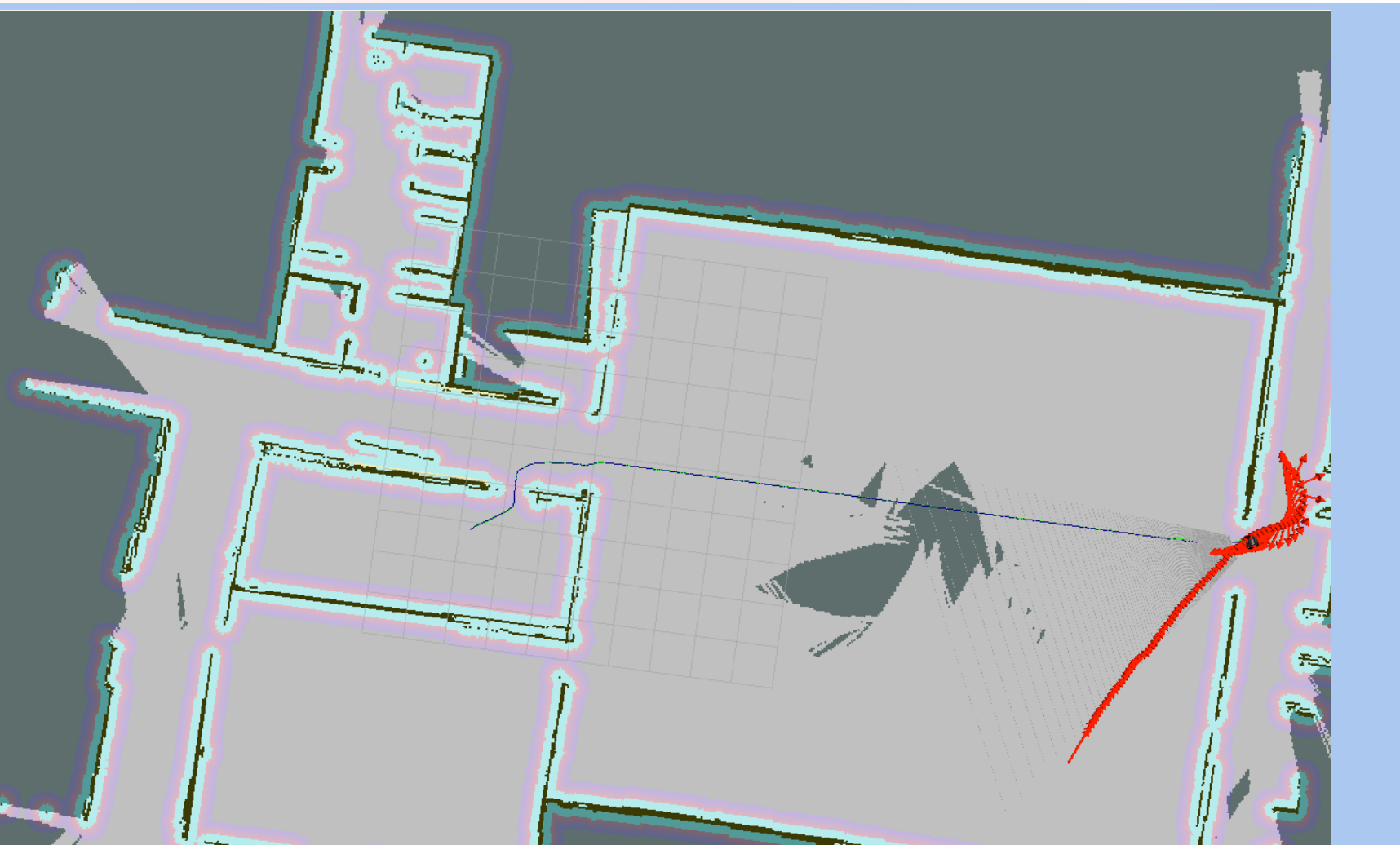


Symulacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

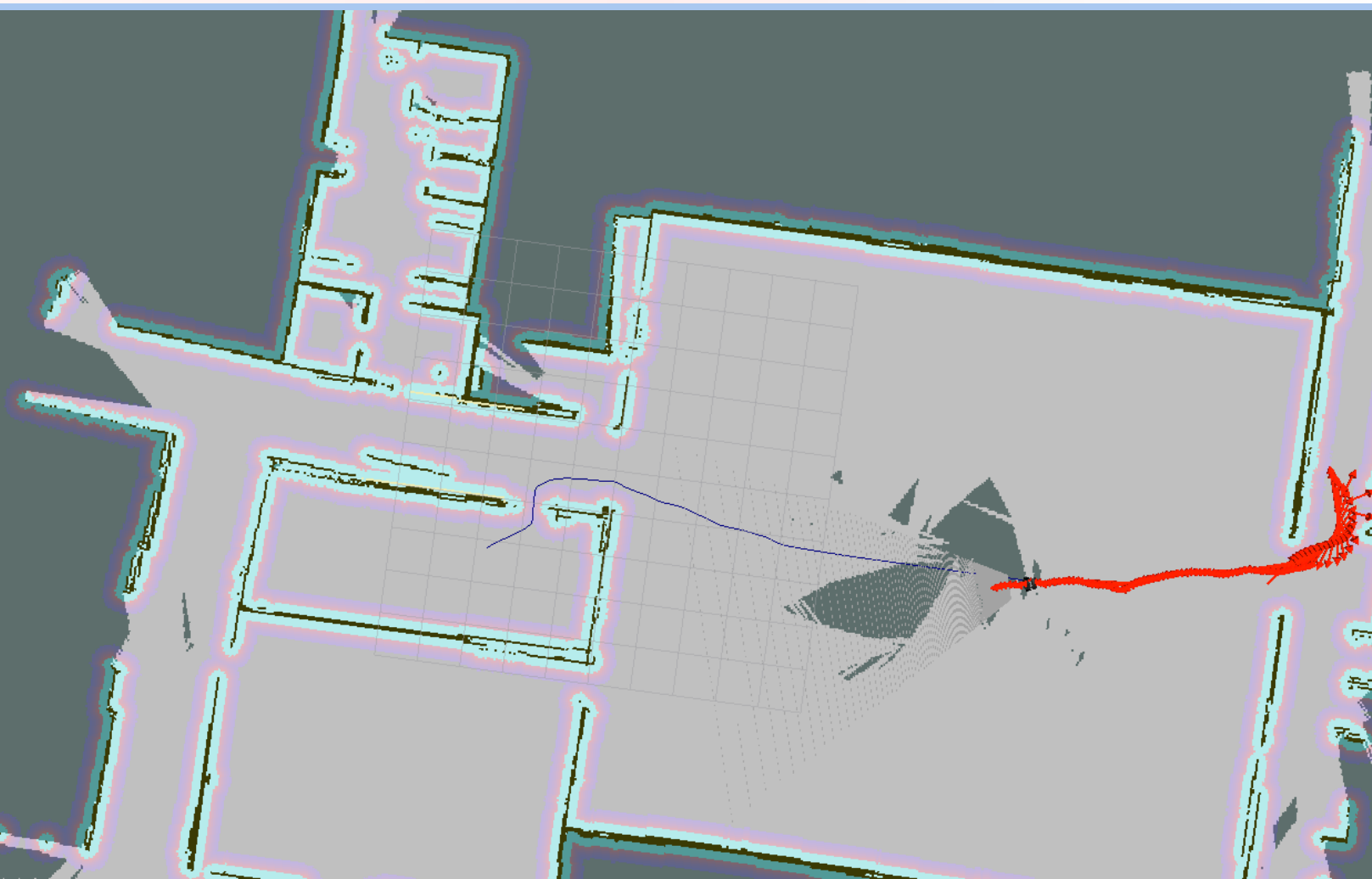


Symulacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

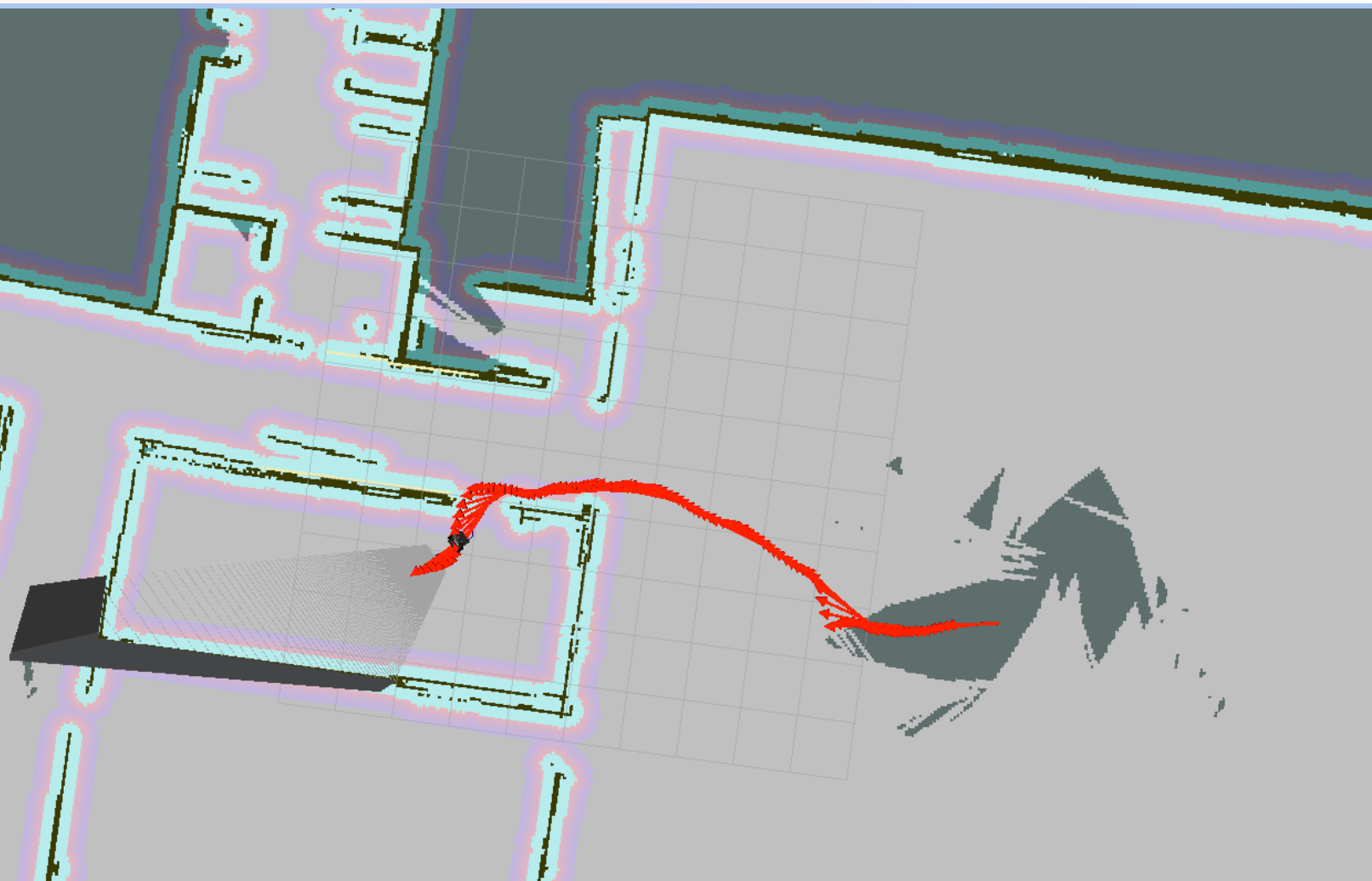


Symulacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

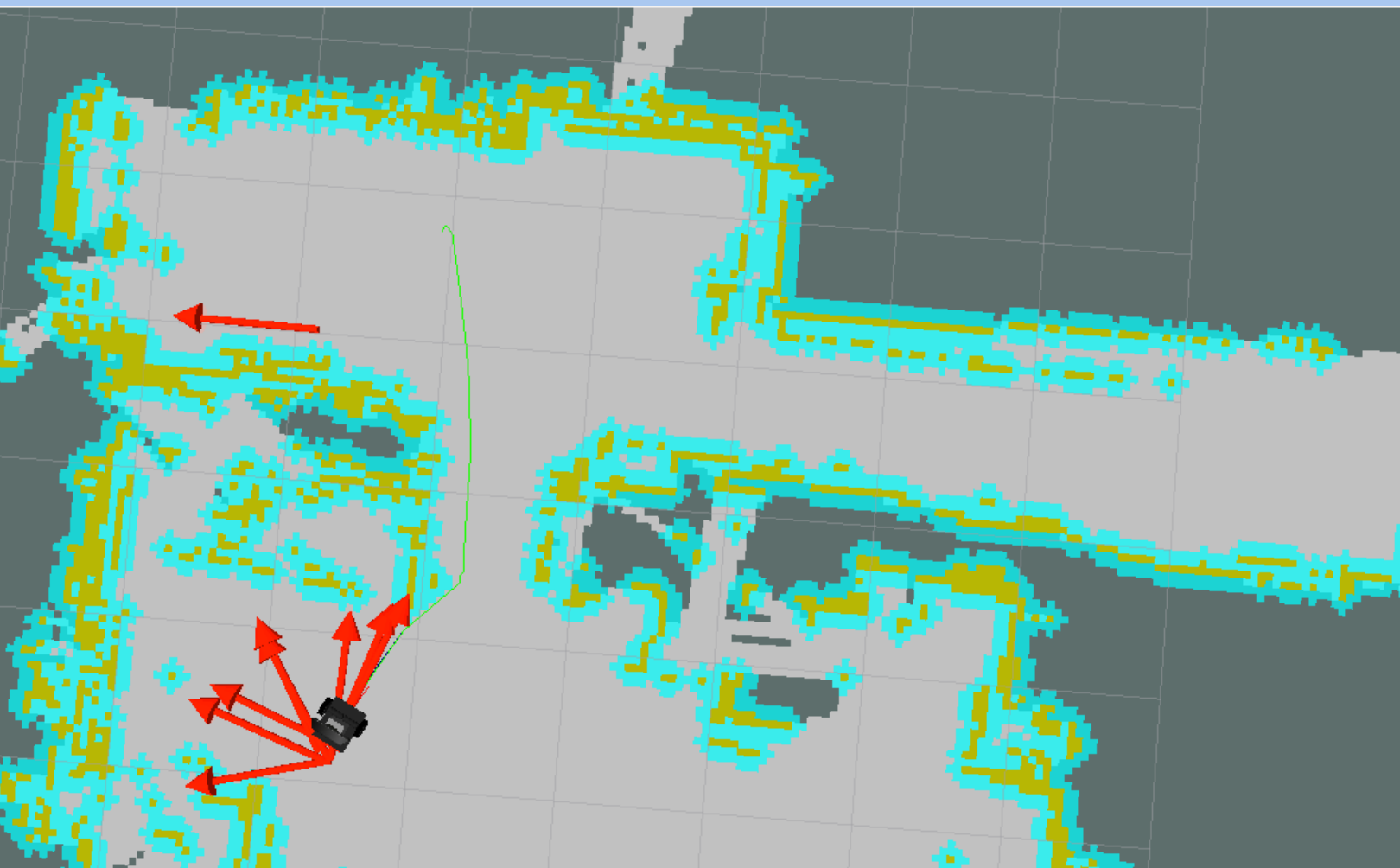


Eksperyment



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

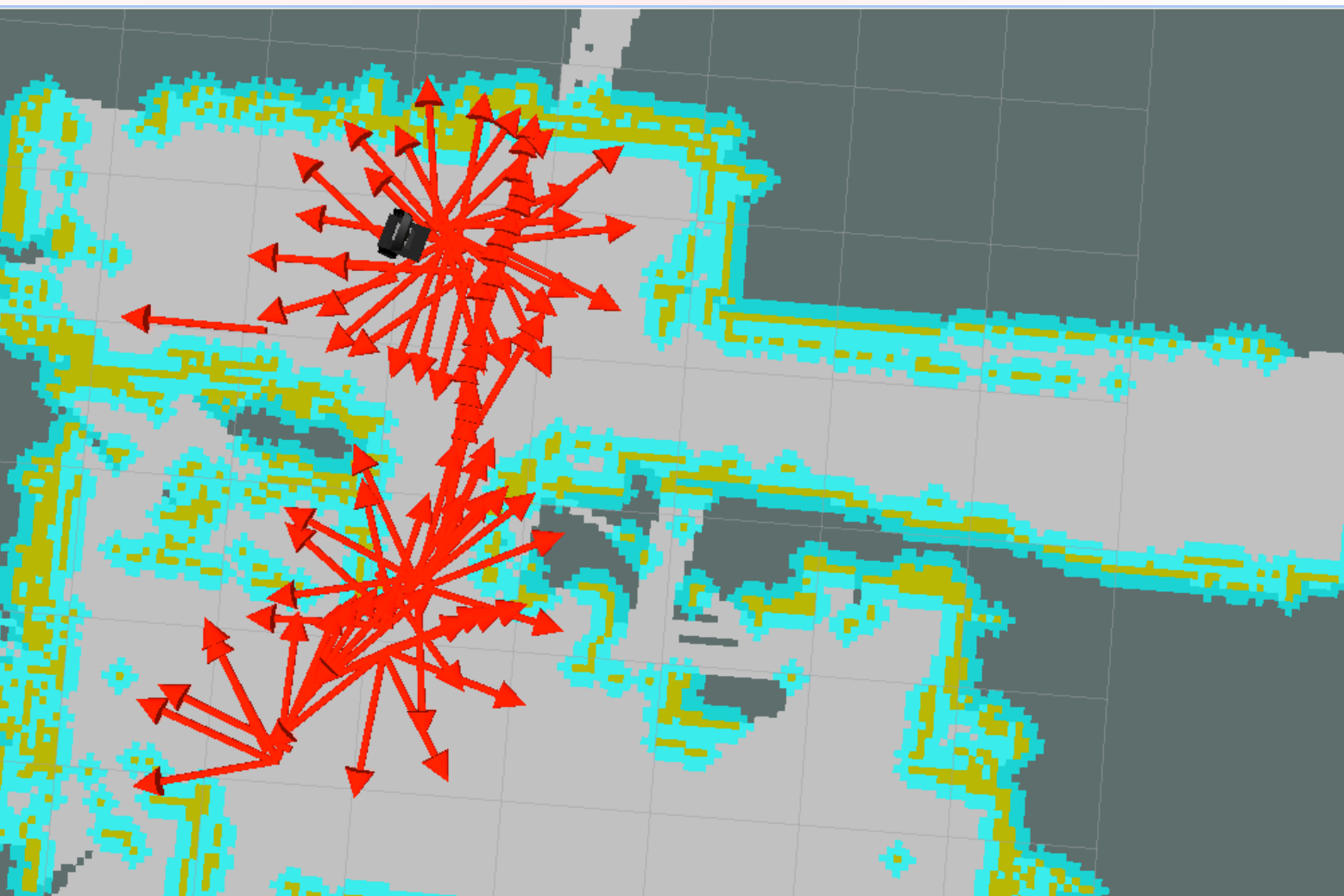


Eksperyment



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

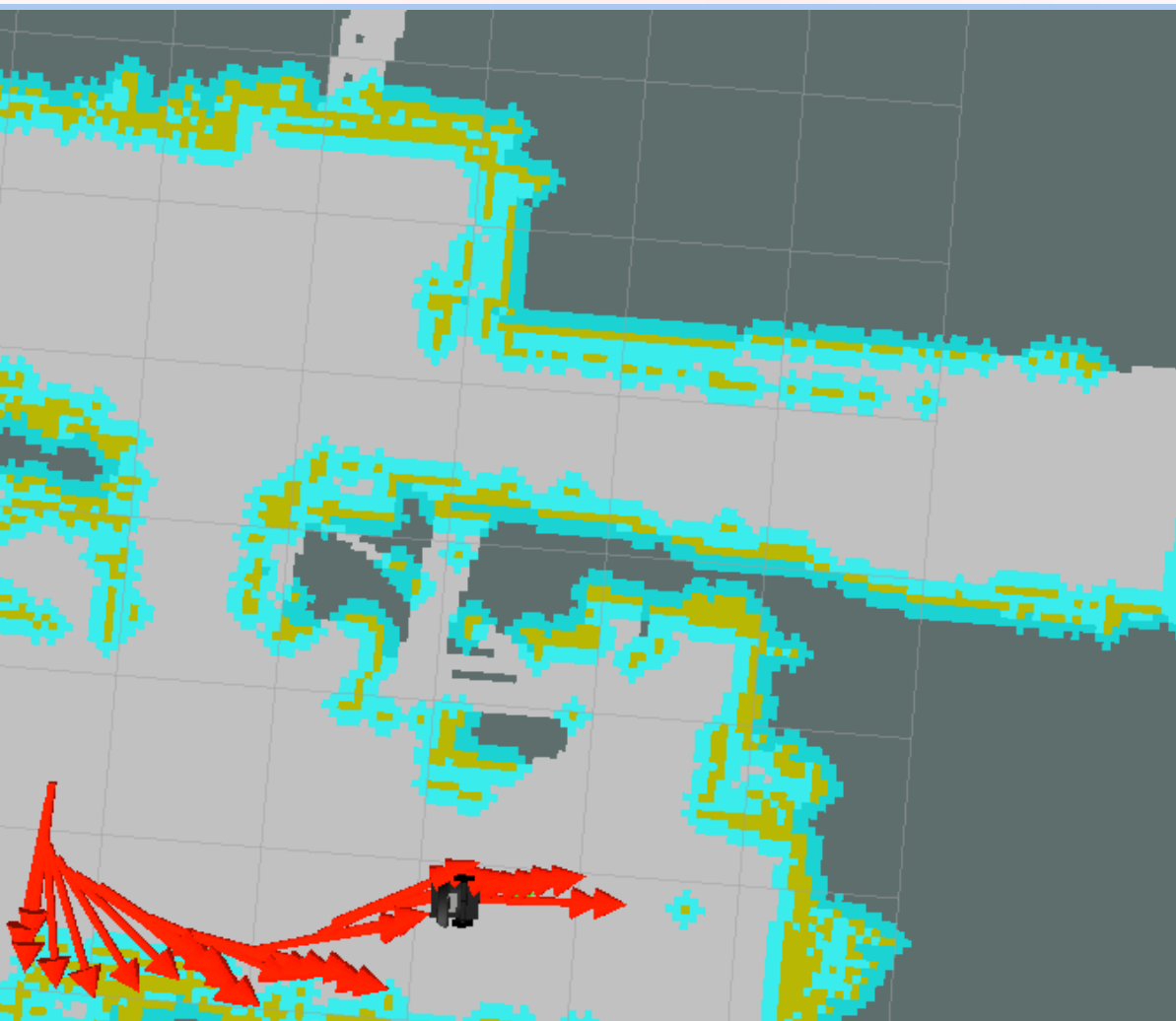


Eksperyment



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY



Wnioski



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Wukółowy robot mobilny jest przykładem silnie nieliniowego systemu z ograniczeniami nieholonomicznymi.

Nawigacja i sterowanie ruchem tego typu systemów nie jest prosta i może prowadzić do dużych wymagań, które w praktyce nie zawsze są spełnione. Dlatego sterowanie ruchem musi być pewne i stabilne, nawet jeśli występują zakłócenia wewnętrzne i zewnętrzne.

Prezentowana metoda okazała się skuteczna podczas sterowania ruchem w badaniach symulacyjnych jak i eksperymentalnych. Przy wykorzystaniu tej metody można poprawić niezawodność działania w trybie autonomicznym i półautonomicznym robotów mobilnych.



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

**IDENTYFIKACJA PARAMETRÓW MODALNYCH
W DZIEDZINIE CZĘSTOTLIWOŚCI
Z WYKORZYSTANIEM
OPTYMALIZACJI ROJU CZĄSTECZEK
(ANG.: PARTICLE SWARM OPTIMISATION)**

Parametry modalne



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Test modalny → test uderzeniowy → drgania swobodne

Drgania składają się z wielu, wykładniczo tłumionych fal sinusoidalnych

$$y(t) = \sum_{m=1}^{nm} Y_{0m} e^{-2\pi f_m \xi_m t} \sin(2\pi f_m \sqrt{1 - \xi_m^2} t) = \sum_{m=1}^{nm} Y_{0m} e^{-\beta_m t} \sin\left(\omega_m \sqrt{1 - \left(\frac{\beta_m}{\omega_m}\right)^2} t\right)$$

gdzie:

- Y_{0m} – początkowa amplituda drgań postaci m ,
- ξ_m – bezwymiarowy współczynnik tłumienia postaci m ,
- f_m – częstotliwość drgań własnych postaci m ,
- t – czas,
- nm – liczba postaci drgań.

entyfikacja - optymalizacja



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

entyfikacja

Poszukiwanie nieznanymi parametrów: f_m, ξ_m
oraz dodatkowo: Y_{0m} - zależne od warunków początkowych

Może być traktowana jako problem optymalizacji

Poszukiwanie f_m, ξ_m, Y_{0m} , które minimalizują pewną funkcję celu

Particle Swarm Optimisation – PSO – optymalizacja roju cząstek

Zaliczana do metod Sztucznej Inteligencji (R. C. Kennedy, J. Eberhart 1995)

Poszukiwanie rozwiązania problemu poprzez odpowiednie poruszanie „cząsteczkami” (potencjalnymi rozwiązaniami) w przeszukiwanej przestrzeni

– Każda cząsteczka:

- ma informację o obecnym oraz dotychczasowym najlepszym znalezionym rozwiązaniu

Particle Swarm Optimisation



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Standardowy algorytm

Arbitralnie wybrać parametry ω , φ_p i φ_g

Dla każdej cząsteczki i :

- inicjalizacja pozycji \mathbf{x}_i (losowy wektor o rozmiarze d , rozkład równomierny),
- inicjalizacja prędkości \mathbf{v}_i dla każdego \mathbf{x}_i ,
- zapamiętanie aktualnej pozycji cząstki jako najlepszą znaną pozycję $\mathbf{p}_i = \mathbf{x}_i$.

Znajdź cząsteczkę z najlepszą wartością funkcji celu $f(\mathbf{x}_i)$ i zapamiętaj tę pozycję jako najlepszą globalną pozycję roju $\mathbf{g} = \mathbf{x}_i$.

Dla każdej cząsteczki i , powtarzaj aż do osiągnięcia warunku zatrzymania:

- dla każdego z wymiarów d wektora \mathbf{x}_i wylosuj $r_{p,d}$ i $r_{g,d}$ ($\in \langle 0;1 \rangle$, rozkład równomierny),
- uaktualnij prędkość cząstki:
$$v_{i,d} = \omega v_{i,d} + \varphi_p r_{p,d} (p_{i,d} - x_{i,d}) + \varphi_g r_{g,d} (g_d - x_{i,d}),$$
- uaktualnij pozycję cząstki:
$$\mathbf{x}_i = \mathbf{x}_i + \mathbf{v}_i$$
- jeżeli $f(\mathbf{x}_i)$ ma lepszą wartość niż $f(\mathbf{p}_i)$ – zaktualizuj najlepszą pozycję cząstki $\mathbf{p}_i = \mathbf{x}_i$



Pierwotne założenia

- Wykorzystanie PSO do identyfikacji parametrów wszystkich postaci drgań własnych jednocześnie
 - Jedna cząstka zawierała informacje o wszystkich postaciach
- Problem
 - Zwykle tylko jedna, dominująca postać była identyfikowana
 - » Pozostałe były „przysłaniane” przez dominującą
 - Wolna zbieżność metody
- Przyczyna problemów
 - Estymacja wielu postaci jest problemem wielokryterialnym
 - PSO nie jest przystosowane do rozwiązywania problemów wielokryterialnych



1-szy ETAP

Inicjalizacja cząsteczki dla jednej postaci (pt. 1...3 podstawowego alg. PSO)

Każda cząsteczka zawiera informacje pozwalające identyfikować tylko jedną postać
– każda postać identyfikowana jest niezależnie

$f_m \in \langle 0; f_s/2 \rangle$, losowe

gdzie f_s jest częstotliwością próbkowania mierzonego sygnału drgań A

$\xi_m \in \langle 0.0001; 0.95 \rangle$, losowe

$Y_{0m} \in \langle 0; 2 Y_{max} \rangle$, losowe

gdzie: Y_{max} jest maksymalną wartością odpowiedzi zmierzonej podczas testu impulsowego

początkowe prędkości, losowe

ale nie przekraczające 2% dopuszczalnego zakresu poszczególnych parametrów

Identyfikacja modalna z smiPSO



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Identyfikacja jednej postaci z wykorzystaniem PSO (pkt. 4 PSO)

Modyfikowane parametry: Y_{0m} , f_m , ξ_m

Funkcja celu:

$$f(\mathbf{x}_i) = \sum_{n=0}^{n_{FFT}} (FFT_t(n) - FFT_x(n))^4$$

FFT_t - amplituda widma FFT testu impulsowego,
 FFT_x - amplituda widma FFT odpowiedzi impulsowej wygenerowanej dla cząsteczki x_i ,
 n_{FFT} - liczba próbek FFT,
 n - numer próbki.

Na końcu etapu 1:

- f_m zwykle zidentyfikowane z małym błędem
- Y_{0m} i ξ_m rzadko zidentyfikowane poprawnie

Pomocnicze przenoszenie cząsteczek

Raz na 5 iteracji, najgorsza cząsteczka (z największą wartością funkcji celu) jest przenoszona

Nowe parametry są kopiowane z najlepszej cząsteczki (z najmniejszą wartością funkcji celu) a dodatkowo jej ξ_m i Y_{0m} są redukowane o 50%

- Y_{0m} jest korygowane aby zachować na tym samym poziomie wartość szczytu widma przed i po modyfikacji ξ_m

tyfikacja modalna z smiPSO



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Filtrowanie środkowoprzepustowe ($<0.8 f_m; 1.2 f_m>$) mierzonego sygnału drgań w celu wyodrębnienia jednej postaci.

Wyznaczenie wstępnie skorygowanej wartości ξ_m :

$$\xi_{mc} = \frac{\log\left(\frac{|A_{fmax}|}{|A_{lmax}|}\right)}{2\pi f_m (t_{lmax} - t_{fmax})}$$

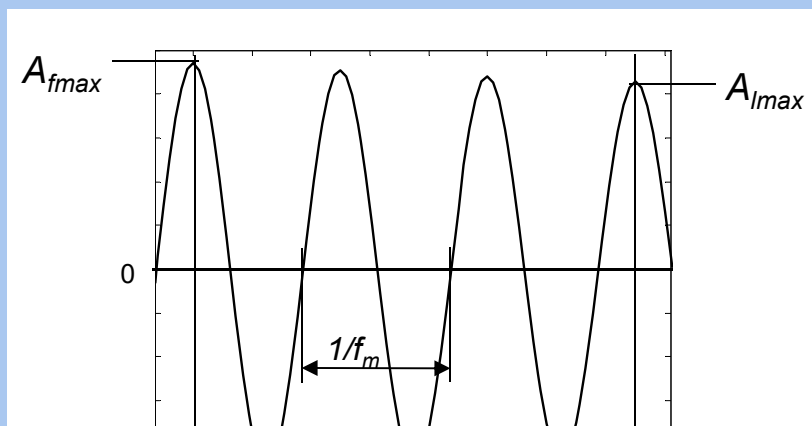
gdzie:

A_{fmax} – maksymalna amplituda pierwszego okresu funkcji sinus w wybranym przedziale czasu,

A_{lmax} – maksymalna amplituda ostatniego okresu funkcji sinus w wybranym przedziale czasu,

t_{fmax} – chwila czasu wystąpienia A_{fmax} ,

t_{lmax} – chwila czasu wystąpienia A_{lmax} .



tyfikacja modalna z smiPSO



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Modyfikacja widma

Widmo sygnału drgań z testu impulsowego jest filtrowane filtrem środkowozaporowym z częstotliwościami odcięcia $\langle 0.8 f_m; 1.2 f_m \rangle$. Eliminuje to już zidentyfikowane postaci z dalszej identyfikacji.

Dodatkowo, podczas identyfikacji kolejnej postaci, usunięty fragment widma nie jest brany pod uwagę przy wyznaczaniu wartości funkcji celu

Identyfikacja kolejnej postaci

Punkty 1-5 powtarzane dla każdej postaci niezależnie



2-gi ETAP

Inicjalizacja cząsteczek dla 2 etapu identyfikacji

Każda cząsteczka zawiera informacje o wszystkich postaciach

1-sza cząsteczka – tworzona poprzez połączenie najlepszych rozwiązań osiągniętych w pkt. 2 (rozwiązania bez korekcji tłumienia), prędkości ustawione jako 0

2-ga cząsteczka - tworzona poprzez połączenie najlepszych rozwiązań osiągniętych w pkt. 2, ale $\xi_m = \xi_{mc}$ (wyznaczone w pkt. 3), prędkości ustawione jako 0

Pozostałe cząsteczki inicjalizowane standardowo, ale dla mniejszego zakresu parametrów:

- $f_m \in \pm 25\% f_m$ estymowanego w pkt. 2
- $\xi_m \in \pm 25\% \xi_{mc}$ estymowanego w pkt. 3
- $Y_{0m} \in \pm 25\% Y_{0m}$ estymowanego w pkt. 2

2-gi etap identyfikacji z wykorzystaniem algorytmu PSO (pkt. 4. PSO)

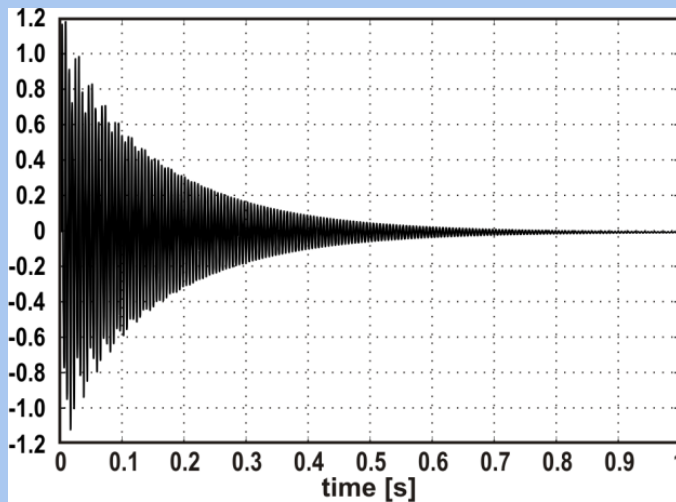
Identyfikacja wszystkich postaci z wykorzystaniem algorytmu PSO

Przykład 1A



Dane symulowane

- 2 postacie drgań: 200 i 350 Hz



Wygenerowany sygnał

Średnie wyniki po 20 próbach

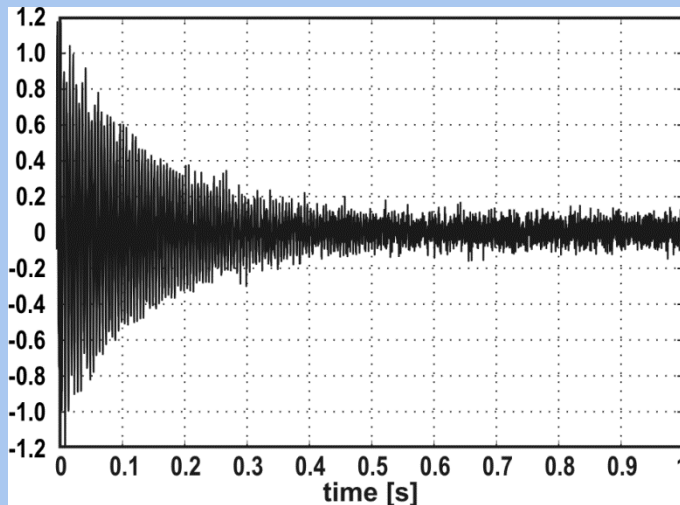
Mode number m	1	2
Y_{0m}		
- reference	1.000	0.300
- identified	0.993	0.287
error	0.71%	4.33%
f_m		
- reference	200.00	350.00
- identified	200.00	350.09
error	0.00%	0.03%
ξ_m		
- reference	0.005000	0.010000
- identified	0.005114	0.009664
error	2.27%	3.36%

Przykład 1B

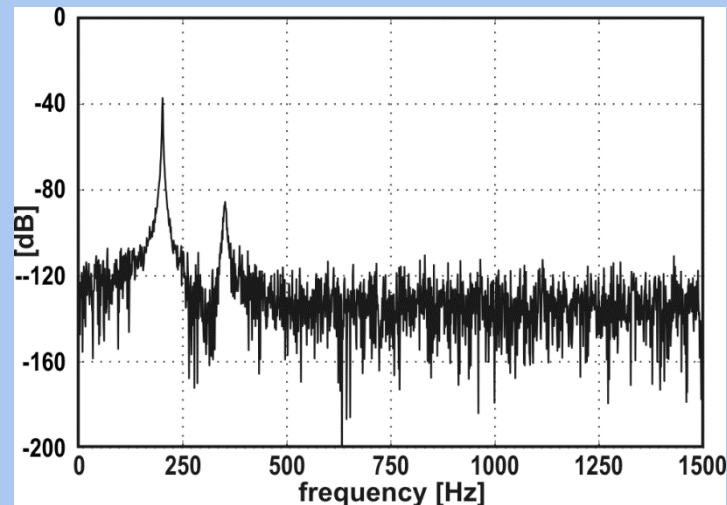


Dane symulowane

– 2 postaci (jak w 1A) + szum gaussowski



Wygenerowany sygnał



Widmo amplitudowe sygnału

lenie std. szumu

$$\sigma_n = 0.0500$$

lenie std. sygnału pierwszej postaci

$$\sigma_{m1} = 0.1995$$

lenie std. sygnału drugiej postaci

$$\sigma_{m2} = 0.0320$$

Przykład 1B



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

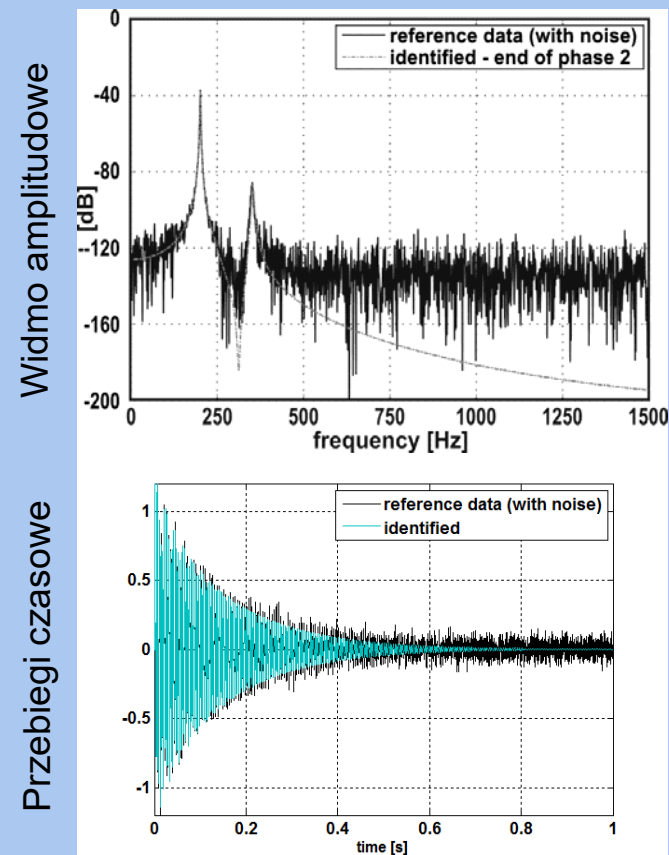
WYDZIAŁ MECHANICZNY

Porównanie wyników

Parameter number m	1	2
Reference	1.000	0.300
smiPSO	0.983 (1.71%)	0.272 (9.23%)
Reference	200.00	350.00
smiPSO	199,75 (0.13%)	350,53 (0.15%)
SCF(d)	200,02 (0.01%)	--
...	194,59 (2.71%)	--
...	199,95 (0.03%)	350,01 (0.00%)
smiPSO	200.00 (0.00%)	350.22 (0.06%)
Reference	0.005000	0.010000
smiPSO	0.002342 (53.2%)	0.016943 (69.4%)
SCF(d)	0.003631 (27.4%)	--
...	0.007303 (46.1%)	--
...	0,004981 (0.38%)	0,013343 (33.4%)
smiPSO	0.005102 (2.04%)	0.008999 (10.0%)

Dla smiPSO – wyniki średnie po 20 próbach

Wyniki dla wybranego przypadku



Wnioski



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY

proponowany 2-etapowy algorytm pozwolił na :

- prawidłową identyfikację parametrów dla zadania wielokryterialnego
- uzyskanie wyników porównywalnych lub lepszych niż dla innych metod, zwłaszcza w przypadku wystąpienia szumu

Algorytm smiPSO może być z powodzeniem stosowany w zadaniach identyfikacji modalnej

Wady i ograniczenia

- W obecnej postaci – przystosowany tylko do zadań identyfikacji SISO dla obiektów o wyraźnie odseparowanych postaciach drgań (ze względu na filtrację pasmową)



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Dziękuję za uwagę