

Automatyczne projektowanie chwytaków robotów w kontekście zadań

Adam Wolniakowski

Politechnika Białostocka

22 października, 2014

Automatyczne projektowanie chwytaków robotów w kontekście zadań

Opiekunowie naukowci:

- ▶ prof. dr hab. inż. Zdzisław Gosiewski
- ▶ prof. Norbert Krüger

Cel pracy: Opracowanie metody automatycznego projektowania chwytaków dla dowolnych obiektów i zadań chwytania.

Motywacja

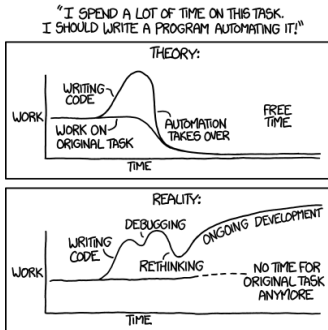
- ▶ Prostsze i szybsze projektowanie chwytaków
- ▶ Umożliwienie wdrożenia rozwiązań robotycznych w małych i średnich przedsiębiorstwach
- ▶ Optymalny projekt chwytaka → szybszy czas cyklu → bardziej ekonomiczna produkcja



Zakres pracy

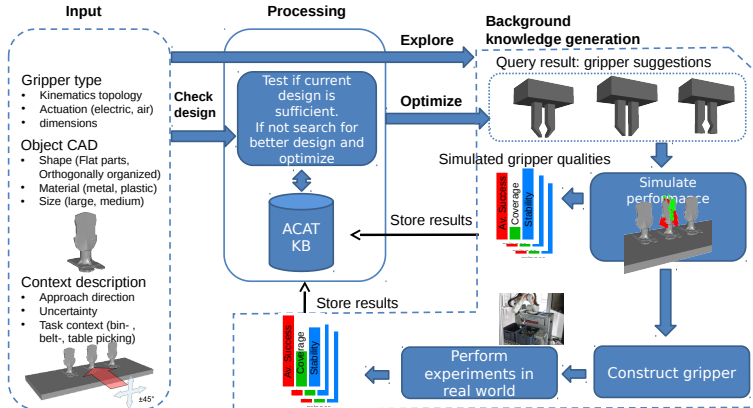
- ▶ **Opracowanie metryki opisującej jakość chwytaka**
- ▶ **Parametryzacja szczęk chwytaka dwupalcowego**
- ▶ **Zbadanie wpływu zmiany parametrów na jakość chwytaka – symulacja**
- ▶ **Zintegrowanie systemu oceny jakości w pętli optymalizacji**
- ▶ **Optymalizacja chwytaków w kilku wybranych zadaniach**
- ▶ Przeprowadzenie eksperymentów weryfikujących opracowaną metodę w praktyce
- ▶ Stworzenie bazy danych i aplikacji do wspomagania projektowania
- ▶ Wdrożenie opracowanej metody w praktyce

Automatyzacja – według XKCD

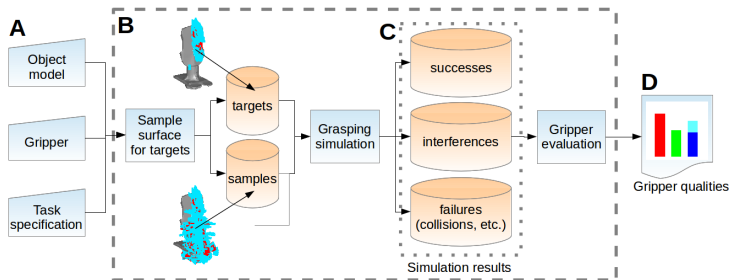


Ukryty tekst: *'Automating' comes from the roots 'auto-' meaning 'self-', and 'mating', meaning 'screwing'.*

Idea systemu



Metoda



Symulacja

Sercem systemu jest dynamiczny symulator RobWorkSim.
Chwywanie może się zakończyć:

- ▶ sukcesem
- ▶ chybieniem
- ▶ kolizją
- ▶ interferencją
- ▶ ...

(Animacje)

Dobry chwyt

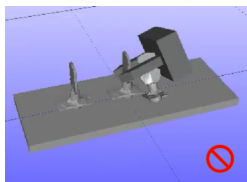
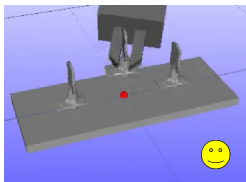
Zły chwyt

Brzydki chwyt

Success ratio

Success ratio jest najbardziej intuicyjnym wskaźnikiem – wskazuje jaki procent prób chwytania zakończył się sukcesem:

$$S = \frac{N_{successes}}{N_{filteredtargets}}$$

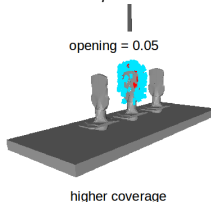
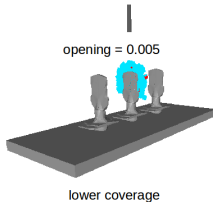


Coverage index

Coverage index wskazuje na objętość przestrzeni udanych chwytów pokrywającej chwytny obiekt przy użyciu danego typu chwytaka:

Wskaźnik ten oblicza się:

$$Q_{coverage} = \frac{N_{successes} + N_{interferences}}{N_{filtered\ samples}}$$



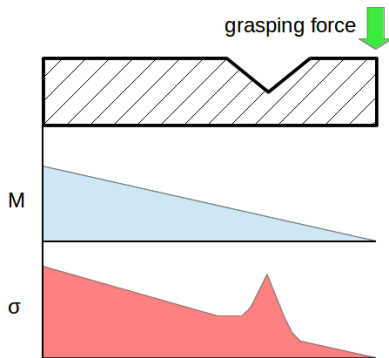
Wrench indices

Wrench indices wskazują na średnią siłę (moment) zapewniany podczas chwytu – dzięki mocnemu uchwytowi obiekt można poddać większemu przyspieszeniu, a zatem skrócić czas cyklu.

Obliczane są dwa wskaźniki:

- ▶ **Average wrench** – średnia siła chwytu udanych prób
- ▶ **Top wrench** – średnia siła chwytu 20 % najlepszych prób

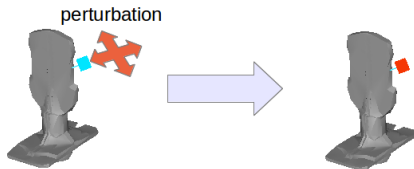
Stress index



- ▶ **Stress index** wskazuje na wytrzymałość danej geometrii palców
- ▶ W optymalizacji wprowadza ograniczenie na minimalną grubość i maksymalną siłę chwytu
- ▶ Im niższa wartość, tym lepiej!
- ▶ Znajdujemy wartość σ_{max}

Robustness index

- ▶ Nawet jeśli dana próba chwytu była udana, nie znaczy to, że po uwzględnieniu niepewności związanej z kalibracją i oceną pozycji, uda się powtórzyć dokładnie tę samą akcję
- ▶ Każda próba jest sprawdzana ponownie pewną ilość razy, z uwzględnieniem zakłóceń w położeniu pozycji chwytaka i obiektu
- ▶ **Robustness index** oblicza się:
$$Q_{robustness} = \frac{N_{perturbed\ successes}}{N_{successes}}$$



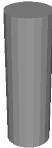
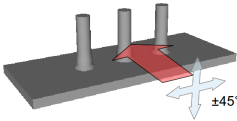
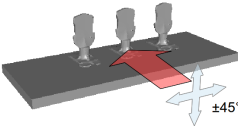
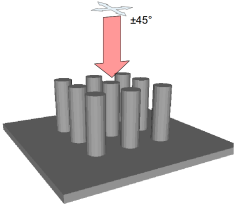


Objective function




































Ostatecznie, wskaźnik jakości chwytaka oblicza się jako średnią ważoną poszczególnych wskaźników, z uwzględnieniem funkcji kary związanej z ilością materiału zużytego na wykonanie szczęk:

$$Q = w_S \cdot S + w_C \cdot C + w_W \cdot W - w_\sigma \cdot \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{limit}} - w_V \cdot V$$

Eksperymenty

<i>Rotor cap</i>	<i>Dolt object</i>	<i>Cylinder</i>
		
		

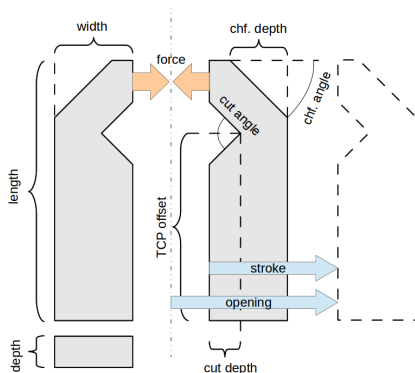
Rezultaty

	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	
									
	standard	chamfered	flat	square	std. w/ cut.	chf. w/ cut.	clumsy	magic	
Success ratio Coverage Wrench avg./top									
S	0.475	0.611	0.752	0.709	0.462	0.574	0.007	0.797	A Rotor cap
C	0.4750	0.4749	0.4755	0.4792	0.4503	0.4551	0.4638	0.4772	
W	3.787	3.871	4.433	2.509	5.308	5.282	1.626	0.433	
W_{20}	5.581	5.566	6.072	3.989	8.552	8.609	4.874	1.635	
Success ratio Coverage Wrench avg./top									
S	0.431	0.803602	0.900	0.885	0.475	0.793	0.234	0.793	B Dolt object
C	0.0415	0.0441	0.0378	0.0609	0.0493	0.0530	0.0312	0.0730	
W	0.909	0.647	0.573	1.063	2.309	2.175	0.438	0.961	
W_{20}	3.954	3.169	2.890	3.490	4.995	4.991	2.203	3.260	
Success ratio Coverage Wrench avg./top									
S	0.861	0.648	0.969	0.969	0.853	0.655	0.747	0.959	C Cylinder
C	0.3241	0.3238	0.3296	0.3306	0.3227	0.3218	0.3150	0.3271	
W	5.116	5.166	5.3091	4.683	3.913	3.721	3.885	3.271	
W_{20}	8.937	9.121	9.093	8.237	9.060	9.212	7.090	6.733	

OPTYMALIZACJA

- ▶ W oparciu o opracowaną metodę oceny jakości, można wykorzystać różnorakie metody optymalizacji w celu ulepszenia istniejących, bądź wyznaczonych losowo projektów chwyteków
- ▶ Konieczne jest wybranie odpowiedniej **parametryzacji**,
- ▶ Zweryfikowanie, czy **przebieg** funkcji jakości umożliwia optymalizację,
- ▶ A następnie wybór odpowiedniej **metody** optymalizacji

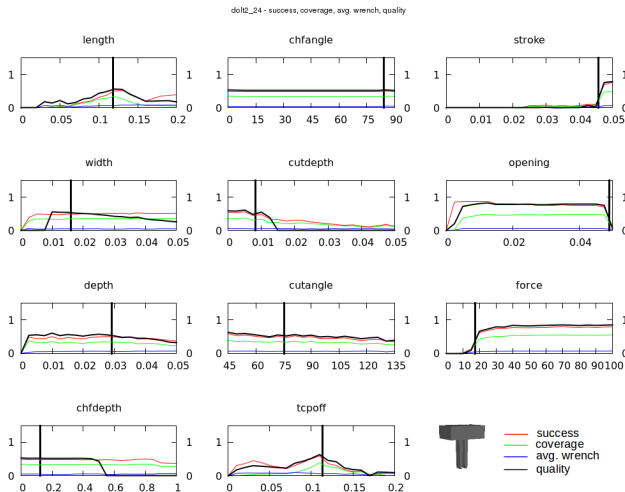
Parametryzacja geometrii szczęk



n.	parametr	zakres
1	length	$0 \div 0.2$
2	width	$0 \div 0.05$
3	depth	$0 \div 0.05$
4	chf. depth	$0 \div \text{width}$
5	chf. angle	$0^\circ \div 90^\circ$
6	cut position	$0 \div \text{length}$
7	cut depth	$0 \div \text{width}$
8	cut angle	$0 \div 180^\circ$
9	tcp offset	$0 \div \text{length}$
10	stroke	$0 \div 0.1$
11	max. opening	$0 \div 0.1$
12	force	$0N \div 100N$

Krajobraz jakości

Poprzez wybór pewnego punktu początkowego w przestrzeni parametryzacji, a następnie modyfikację poszczególnych parametrów, możemy wyznaczyć wycinki przestrzeni jakości:



Metoda optymalizacji

Jako metodę optymalizacji wybrano **metodę gradientową**.

Gradient descent

Animacja

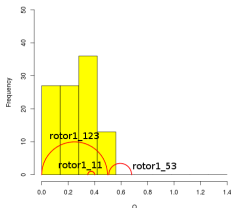
Algorytm:

- ▶ Wygeneruj punkty w przestrzeni parametryzacji w bezpośrednim otoczeniu punktu początkowego w danym kroku
- ▶ Wyznacz przebieg funkcji jakości w poszczególnych wymiarach przestrzeni
- ▶ Wyznacz gradient
- ▶ Wykonaj krok w oparciu o wyznaczony gradient

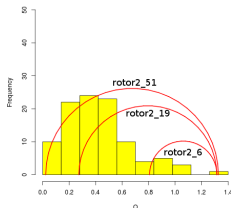
Optymalizacja losowa

Dla wybranych zadań wygenerowano heurystycznie zbiór przypadkowych parametryzacji chwytaków, a następnie dokonano optymalizacji niektórych z nich.

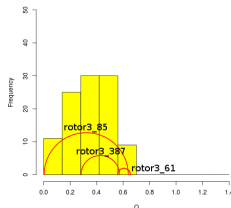
1. all directions



2. from top



3. from side

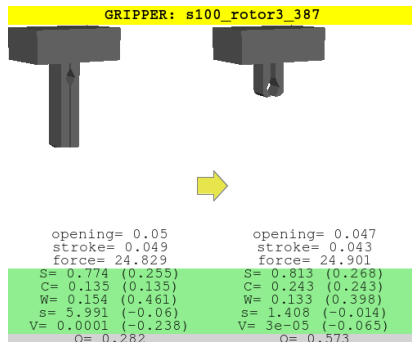


Przykład optymalizacji

Jak wygląda ewolucja przykładowego projektu?

Ewolucja

Animacja



Plany na przyszłość

- ▶ Wprowadzenie dodatkowych kryteriów jakości (np. *alignment*, ...)
- ▶ Rozszerzenie możliwości parametryzacji na inne kształty i typy chwytaków
- ▶ Stworzenie bazy danych z projektami i rezultatami oceny
- ▶ Opracowanie heurystycznej metody szybkiej oceny i optymalizacji na podstawie zgromadzonych danych
- ▶ Eksperymenty weryfikujące metodę w praktyce
- ▶ Opracowanie aplikacji wspomagającej projektowanie chwytaków
- ▶ Wdrożenie opracowanej metody w wybranym zadaniu przemysłowym

Podsumowanie

- ▶ Opracowano metodę oceny jakości chwytaka na podstawie symulacji
- ▶ Wybrano parametryzację geometrii szczęk chwytaka dwupalcowego
- ▶ Zastosowano metodę optymalizacji w oparciu o opracowaną funkcję jakości w wybranej przestrzeni parametryzacji

Publikacje:

- ▶ Adam Wolniakowski, Konstantsin Miatliuk, Norbert Kruger, Jimmy A. Rytz *"Automatic evaluation of task-focused parallel jaw gripper design"*
- ▶ Adam Wolniakowski, Jimmy A. Jorgensen, Konstantsin Miatliuk, Henrik Gordon Petersen, Norbert Kruger *"Task and context sensitive optimization of gripper design using dynamic grasp simulation"*

Koniec

Dziękuję za uwagę!