



Specyfikacja i weryfikacja systemów wieloagentowych

Od gier hazardowych do sterowania rakieta kosmiczną

Wojciech Jamroga

Instytut Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

50. urodziny IPI PAN, Warszawa, 28 września 2026



Spis treści

- 1 Modelowanie systemów agentowych
- 2 Logiczna specyfikacja własności
- 3 Weryfikacja modelowa
- 4 W stronę praktycznej weryfikacji
- 5 STrategic Verifier
- 6 Podsumowanie



Outline

- 1 Modelowanie systemów agentowych
- 2 Logiczna specyfikacja własności
- 3 Weryfikacja modelowa
- 4 W stronę praktycznej weryfikacji
- 5 STrategic Verifier
- 6 Podsumowanie



Systemy wieloagentowe

Czym jest **agent**?

- Autonomiczna jednostka, zdolna do **działania**
- Podejmuje i wykonuje **decyzje** (niekoniecznie explicite)
- Często ukierunkowany na osiągnięcie **własnego** celu
- Przykłady: człowiek, robot, agent AI, bot, instytucja, ...



Systemy wieloagentowe

Czym jest **agent**?

- Autonomiczna jednostka, zdolna do **działania**
- Podejmuje i wykonuje **decyzje** (niekoniecznie explicite)
- Często ukierunkowany na osiągnięcie **własnego** celu
- Przykłady: człowiek, robot, agent AI, bot, instytucja, ...
- Kluczowy aspekt: **interakcja** ze środowiskiem i innymi agentami



Systemy wieloagentowe

Czym jest **agent**?

- Autonomiczna jednostka, zdolna do **działania**
- Podejmuje i wykonuje **decyzje** (niekoniecznie explicite)
- Często ukierunkowany na osiągnięcie **własnego** celu
- Przykłady: człowiek, robot, agent AI, bot, instytucja, ...
- Kluczowy aspekt: **interakcja** ze środowiskiem i innymi agentami

W dzisiejszych czasach jesteśmy otoczeni i znurzeni w
systemach wieloagentowych!



Systemy wieloagentowe

Aspekty systemów agentowych:

- dynamika
- działanie strategiczne
- rywalizacja vs. współpraca
- niepełna informacja
- wiedza i niepewność
- normy prawne, moralne i społeczne
- aspekty czasowe
- stochastyczność dynamiki i strategie probabilistyczne
- ...



Systemy wieloagentowe

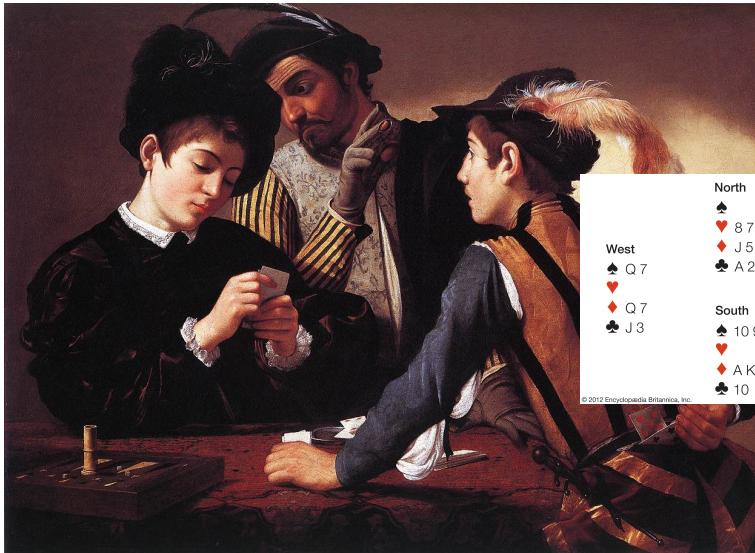
Aspekty systemów agentowych:

- dynamika
- działanie strategiczne
- rywalizacja vs. współpraca
- niepełna informacja
- wiedza i niepewność
- normy prawne, moralne i społeczne
- aspekty czasowe
- stochastyczność dynamiki i strategie probabilistyczne
- ...

Przykład: gry karciane



Przykład: gry karciane



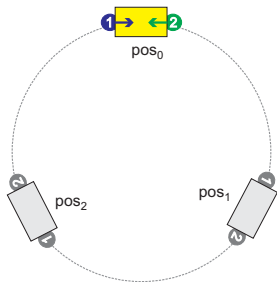


Modelowanie systemów agentowych

- Jak modelować system rozproszony? $\leadsto$ **graf przejść**
- **Węzły** reprezentują **stany** systemu (lub **sytuacje**)
- **Strzałki** odpowiadają zmianom stanu

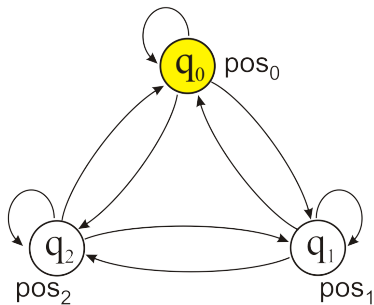
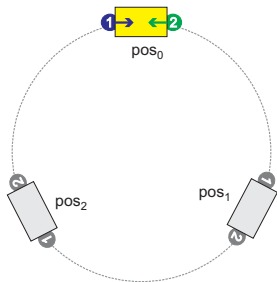


Przykład: roboty i wagonik



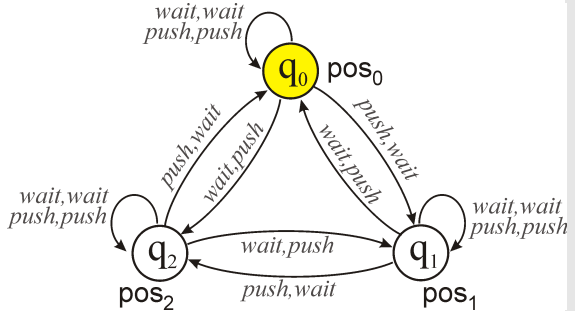
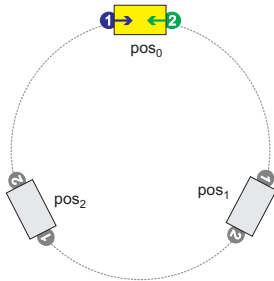


Przykład: roboty i wagonik



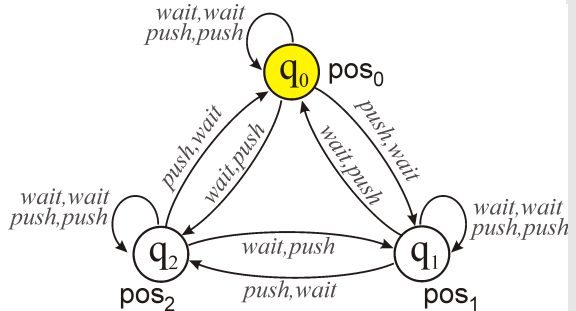
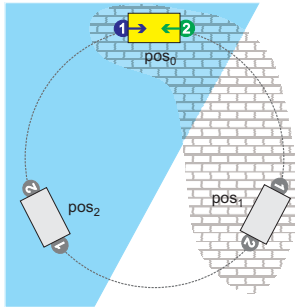


Przykład: roboty i wagonik



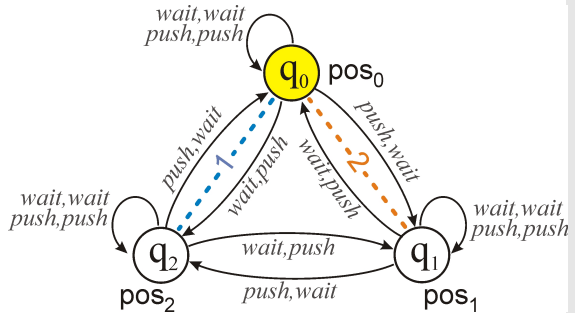
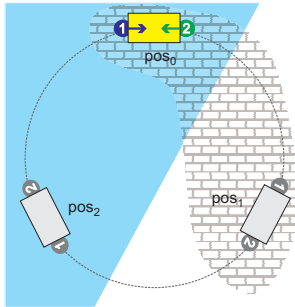


Przykład: roboty i wagonik



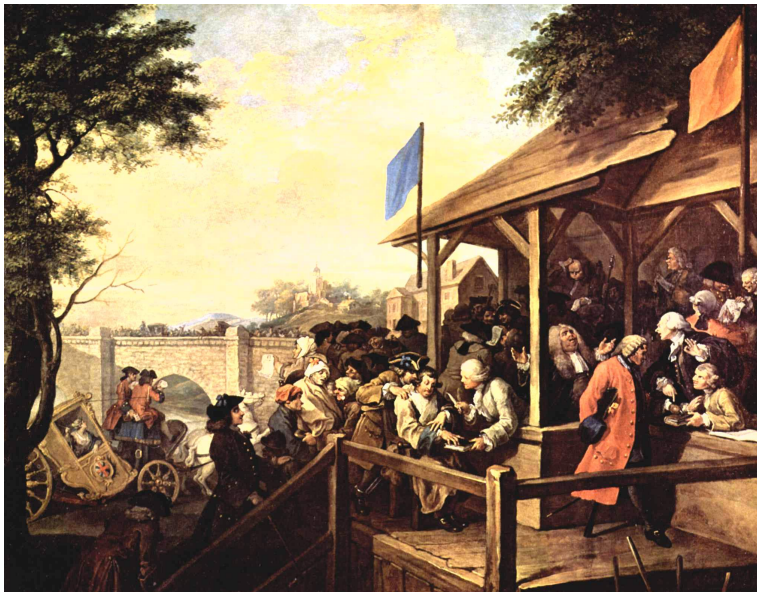


Przykład: roboty i wagonik



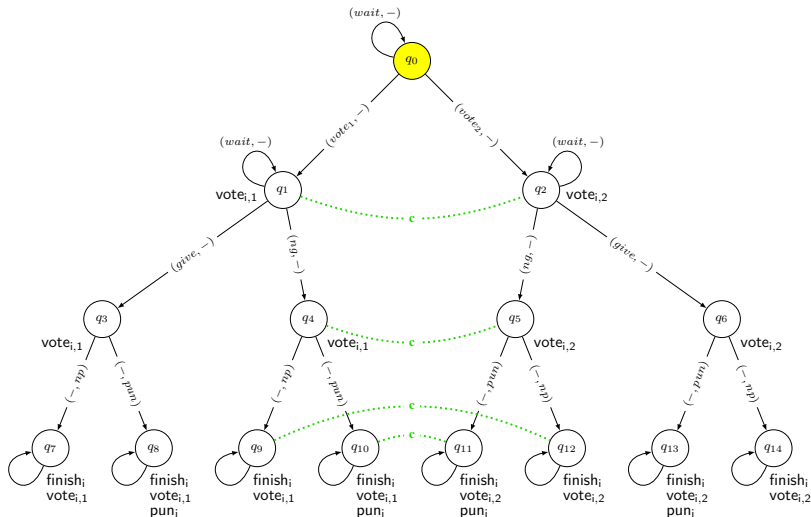


Przykład życiowy: przymuszanie i kupowanie głosów



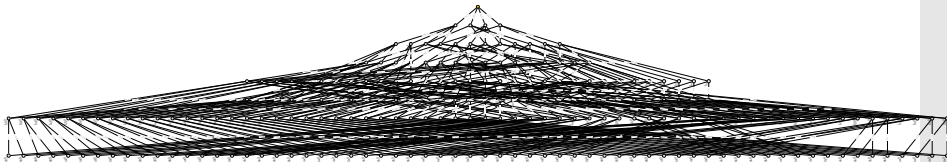


Przykład życiowy: przymuszanie i kupowanie głosów





Przykład życiowy: przymuszanie i kupowanie głosów





Outline

- 1 Modelowanie systemów agentowych
- 2 Logiczna specyfikacja własności**
- 3 Weryfikacja modelowa
- 4 W stronę praktycznej weryfikacji
- 5 STrategic Verifier
- 6 Podsumowanie



Logiczna specyfikacja systemów agentowych





Specyfikacja dynamiki

Logika temporalna: logika matematyczna z dodatkowymi operatorami opisującymi **jak będzie ewoluował system**



Specyfikacja dynamiki

Logika temporalna: logika matematyczna z dodatkowymi operatorami opisującymi **jak będzie ewoluował system**

Typowe operatory temporalne:

$\bigcirc \varphi$	φ będzie spełnione w następnym momencie
$\square \varphi$	φ będzie zawsze spełnione
$\diamond \varphi$	φ będzie kiedyś spełnione
$\varphi \cup \psi$	φ będzie spełnione dopóki ψ nie stanie się prawdą



Specyfikacja dynamiki

Logika temporalna: logika matematyczna z dodatkowymi operatorami opisującymi **jak będzie ewoluował system**

Typowe operatory temporalne:

$\bigcirc \varphi$	φ będzie spełnione w następnym momencie
$\square \varphi$	φ będzie zawsze spełnione
$\diamond \varphi$	φ będzie kiedyś spełnione
$\varphi \cup \psi$	φ będzie spełnione dopóki ψ nie stanie się prawdą

Przykładowe formuły:

$\diamond \text{rich}$



Specyfikacja dynamiki

Logika temporalna: logika matematyczna z dodatkowymi operatorami opisującymi **jak będzie ewoluował system**

Typowe operatory temporalne:

$\bigcirc \varphi$	φ będzie spełnione w następnym momencie
$\square \varphi$	φ będzie zawsze spełnione
$\diamond \varphi$	φ będzie kiedyś spełnione
$\varphi \cup \psi$	φ będzie spełnione dopóki ψ nie stanie się prawdą

Przykładowe formuły:

$\diamond \text{rich}$

$\square (\text{vote}_{i,1} \rightarrow \neg \diamond \text{vote}_{i,2})$



Zdolności strategiczne, rywalizacja i kooperacja

- **ATL**: Alternating-time Temporal Logic
- Mariaż logiki temporalnej i elementów teorii gier
- Główny koncept: operatory strategiczne

$\langle\langle A \rangle\rangle \Phi$: koalicja A ma wspólną strategię, żeby wymusić własność temporalną Φ niezależnie od tego, co zrobią pozostali agenci



Zdolności strategiczne, rywalizacja i kooperacja

- **ATL**: Alternating-time Temporal Logic
- Mariaż logiki temporalnej i elementów teorii gier
- Główny koncept: operatory strategiczne

$\langle\langle A \rangle\rangle \Phi$: koalicja A ma wspólną strategię, żeby wymusić własność temporalną Φ niezależnie od tego, co zrobią pozostali agenci

Przykładowe formuły:

$\langle\langle jamesbond \rangle\rangle \Box (ski \rightarrow \neg getBurned)$





Zdolności strategiczne, rywalizacja i kooperacja

- **ATL**: Alternating-time Temporal Logic
- Mariaż logiki temporalnej i elementów teorii gier
- Główny koncept: operatory strategiczne

$\langle\langle A \rangle\rangle \Phi$: koalicja A ma wspólną strategię, żeby wymusić własność temporalną Φ niezależnie od tego, co zrobią pozostali agenci

Przykładowe formuły:

$\langle\langle jamesbond \rangle\rangle \Box (ski \rightarrow \neg getBurned)$

$\langle\langle BigTech \rangle\rangle \Diamond win_i$





PSL: Parada Stworzeń Logicznych

Całe **ZOO** logik modalnych dla agentów!



Specyfikacja własności temporalno-epistemicznych

The mitigation strategy should allow the health authority a to
identify people who might have been exposed to the virus



Specyfikacja własności temporalno-epistemicznych

$$\text{exposed}_i \rightarrow \Diamond K_a \text{exposed}_i$$

The mitigation strategy should allow the health authority a to
identify people who might have been exposed to the virus



Specyfikacja własności temporalno-epistemicznych

$$(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i) \rightarrow \Diamond K_a(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i)$$

The mitigation strategy should allow the health authority a to
identify people who might have been exposed to the virus



Specyfikacja własności strategicznych

$$(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i) \rightarrow \langle\langle a \rangle\rangle \Diamond K_a(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i)$$

The mitigation strategy should allow the health authority a to
identify people who might have been exposed to the virus



Specyfikacja własności strategicznych

$$(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i) \rightarrow \langle\langle a, i \rangle\rangle \Diamond K_a(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i)$$

The mitigation strategy should allow the health authority a to
identify people who might have been exposed to the virus



Specyfikacja własności czasu rzeczywistego

$$(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i) \rightarrow \langle\langle a \rangle\rangle \Diamond^{t \leq 48h} K_a (\Diamond^{-1}\text{exposed}_i)$$

The mitigation strategy should allow the health authority a to
identify people who might have been exposed to the virus



Specyfikacja własności probabilistycznych

$$(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i) \rightarrow \langle\langle a \rangle\rangle^{P \geq .99} \Diamond^{t \leq 48h} K_a(\Diamond^{-1}\text{exposed}_i)$$

The mitigation strategy should allow the health authority a to
identify people who might have been exposed to the virus

...i tak dalej...



Outline

- 1 Modelowanie systemów agentowych
- 2 Logiczna specyfikacja własności
- 3 Weryfikacja modelowa**
- 4 W stronę praktycznej weryfikacji
- 5 STrategic Verifier
- 6 Podsumowanie



Weryfikacja modelowa





Weryfikacja modelowa

Chcemy zaimplementować funkcję:

$$mcheck(M, \varphi) = \begin{cases} \top & \text{if } M \models \varphi \\ \perp & \text{else} \end{cases}$$



Weryfikacja modelowa

Chcemy zaimplementować funkcję:

$$mcheck(M, \varphi) = \begin{cases} \top & \text{if } M \models \varphi \\ \perp & \text{else} \end{cases}$$

Istnieją **algorytmy**, a nawet **narzędzia**

A zatem do dzieła – specyfikujemy i weryfikujemy!



Weryfikacja modelowa

Chcemy zaimplementować funkcję:

$$mcheck(M, \varphi) = \begin{cases} \top & \text{if } M \models \varphi \\ \perp & \text{else} \end{cases}$$

Istnieją **algorytmy**, a nawet **narzędzia**

A zatem do dzieła – specyfikujemy i weryfikujemy!

To nie takie łatwe...



Weryfikacja nie jest łatwa

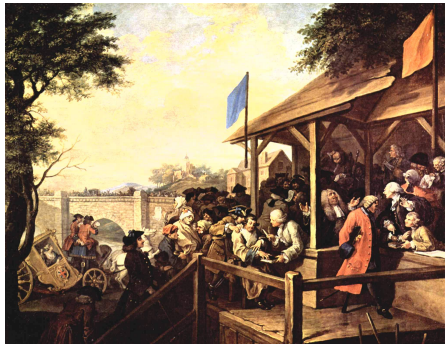
Większość systemów agentowych łączy elementy **techniczne** i **społeczne**:



Weryfikacja nie jest łatwa

Większość systemów agentowych łączy elementy **techniczne** i **społeczne**:

~> Skąd wziąć **model** systemu?





Weryfikacja nie jest łatwa

Większość systemów agentowych łączy elementy **techniczne** i **społeczne**:

- ~> Skąd wziąć **model** systemu?
- ~> Jakimi **formułami** zakodować wymagania?





Weryfikacja nie jest łatwa

Poważne **bariery złożonościowe**:

- Eksplozja przestrzeni **stanów i tranzycji**
- Eksplozja przestrzeni **strategii**
- Brak **inkrementalnych algorytmów** dla strategii z niepełną informacją





Weryfikacja nie jest łatwa

Poważne **bariery złożonościowe**:

- Eksplozja przestrzeni **stanów** i **tranzycji**
- Eksplozja przestrzeni **strategii**
- Brak **inkrementalnych algorytmów** dla strategii z niepełną informacją

Weryfikacja modelowa **zdolności strategicznych** dla agentów z **niepełną informacją** jest pomiędzy **NP-zupełną** a **nierozstrzygalną**, w zależności od wariantu syntaktycznego i semantycznego, oraz reprezentacji modeli.



Outline

- 1 Modelowanie systemów agentowych
- 2 Logiczna specyfikacja własności
- 3 Weryfikacja modelowa
- 4 W stronę praktycznej weryfikacji**
- 5 STrategic Verifier
- 6 Podsumowanie



Weryfikacja przez przybliżenia

- Dokładna weryfikacja systemów agentowych jest trudna (lub koszmarnie trudna)
- Pomysł: szukamy formuł które **aproksymują wartość logiczną zadanej specyfikacji**



Weryfikacja przez przybliżenia

- Dokładna weryfikacja systemów agentowych jest trudna (lub koszmarnie trudna)
- Pomysł: szukamy formuł które **aproksymują wartość logiczną zadanej specyfikacji**
- ...i które są łatwiejsze do zweryfikowania 😊



Weryfikacja przez przybliżenia

- Dokładna weryfikacja systemów agentowych jest trudna (lub koszmarnie trudna)
- Pomysł: szukamy formuł które **aproksymują wartość logiczną zadanej specyfikacji**
- ...i które są łatwiejsze do zweryfikowania 😊
- Jeśli **dolna aproksymacja** = **górną aproksymacją**, dostajemy dokładną odpowiedź!





Aproksymacja stałopunktowa zdolności strategicznych

$$LB(p) = p,$$

$$LB(\neg\phi) = \neg UB(\phi),$$

$$LB(\phi \wedge \psi) = LB(\phi) \wedge LB(\psi),$$

$$LB(\langle A \rangle \phi) = \langle A \rangle LB(\phi),$$

$$LB(\langle\langle A \rangle\rangle \Box \phi) = \nu Z. (C_A LB(\phi) \wedge \langle A \rangle^\bullet Z),$$

$$LB(\langle\langle A \rangle\rangle \psi \cup \phi) = \mu Z. (E_A LB(\phi) \vee (C_A LB(\psi) \wedge \langle A \rangle^\bullet Z)).$$

$$UB(p) = p,$$

$$UB(\neg\phi) = \neg LB(\phi),$$

$$UB(\phi \wedge \psi) = UB(\phi) \wedge UB(\psi),$$

$$UB(\langle A \rangle \phi) = E_A \langle\langle A \rangle\rangle_{\text{Ir}} \bigcirc UB(\phi),$$

$$UB(\langle\langle A \rangle\rangle \Box \phi) = E_A \langle\langle A \rangle\rangle_{\text{Ir}} \Box UB(\phi),$$

$$UB(\langle\langle A \rangle\rangle \psi \cup \phi) = E_A \langle\langle A \rangle\rangle_{\text{Ir}} UB(\psi) \cup UB(\phi).$$

Aproksymacja stałopunktowa zdolności strategicznych

Twierdzenie (Jamroga, Knapik, Kurpiewski, & Mikulski 2019)

Dla każdego modelu M i formuły ATL φ :

$$M \models LB(\varphi) \implies M \models \varphi \implies M \models UB(\varphi).$$



Aproksymacja stałopunktowa zdolności strategicznych

Twierdzenie (Jamroga, Knapik, Kurpiewski, & Mikulski 2019)

Dla każdego modelu M i formuły ATL φ :

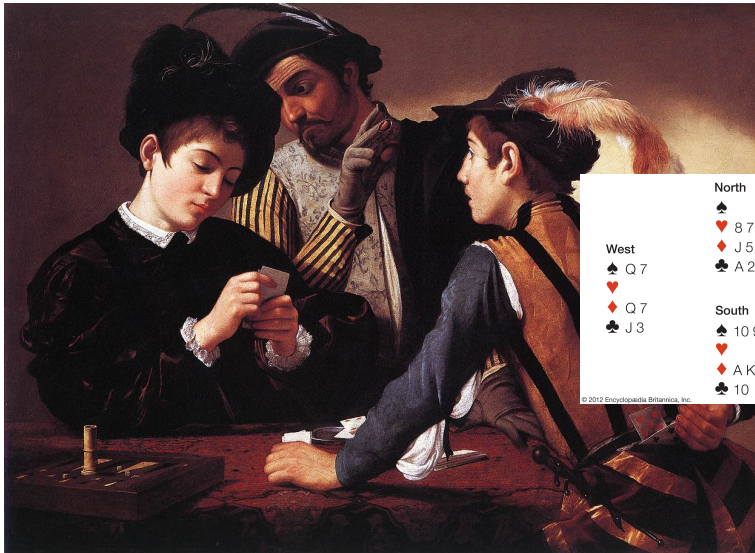
$$M \models LB(\varphi) \implies M \models \varphi \implies M \models UB(\varphi).$$



- Benchmark: **końcówka brydżowa** (podobna struktura matematyczna do wielu protokołów głosowania!)



Aproksymacja stałopunktowa zdolności strategicznych



North		
	♠	
	♥	8 7
	♦	J 5
	♣	A 2
West		
	♠	Q 7
	♥	
	♦	Q 7
	♣	J 3
South		
	♠	10 9
	♥	
	♦	A K 9
	♣	10
East		
	♠	J 6
	♥	
	♦	10 8 6
	♣	8



Wyniki eksperymentalne

#cards	#states	Approximate verification				Exact (MCMAS)
		tgen	lower	upper	match	
4	11	<0.01	<0.01	<0.01	100%	0.12
8	346	0.01	<0.01	<0.01	100%	2.42 h*
12	12953	0.7	0.07	0.01	100%	timeout
16	617897	35.2	348.4	0.7	100%	timeout
20*	2443467	132.0	8815.7	4.2	100%	timeout

Formuła: $\langle\langle S \rangle\rangle \Diamond \text{win}$

Czas w sekundach, chyba że zaznaczono inaczej
timeout $\approx$ 45h



Wyniki dla zoptymalizowanych struktur danych

#cards	#states	Approximate verification				Exact (MCMAS)
		tgen	lower	upper	match	
4	11	<0.01	<0.01	<0.01	100%	0.12
8	346	<0.01	<0.01	<0.01	100%	2.42 h*
12	12953	0.06	<0.01	<0.01	100%	timeout
16	617897	4.6	0.6	0.3	100%	timeout
20*	2443467	34.0	3.0	2.0	100%	timeout
20	1.5 e7	124.0	8.5	6.0	100%	timeout
24*	7 e7	3779.0	667.0	78.0	100%	timeout

Formuła: $\langle\langle \mathbf{S} \rangle\rangle \Diamond \text{win}$

Czas w sekundach, chyba że zaznaczono inaczej
timeout $\approx$ 45h



Redukcje modeli

Obserwacja

Głównym źródłem złożoności jest **wielkość modelu**

Chcemy praktycznej weryfikacji? Używajmy **mniej** modeli!

~> **Redukcje modeli**



Redukcje modeli





Redukcje modeli





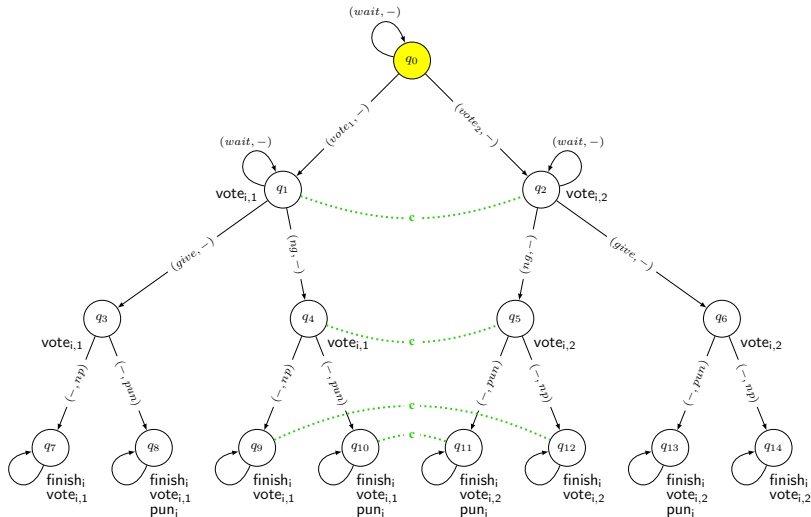
Redukcje modeli

Rodzaje redukcji:

- Przez **alternującą bisymulację**
- **Częściowo-porządkowe**
- Trójwartościowa **abstrakcja stanowa**

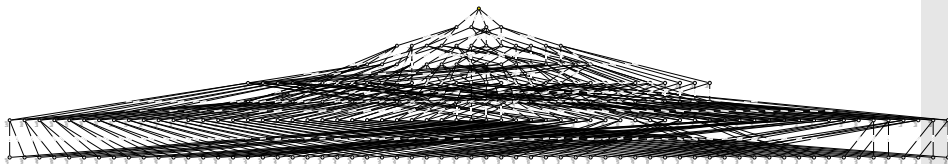


Redukcja dla modelu przymuszania w wyborach



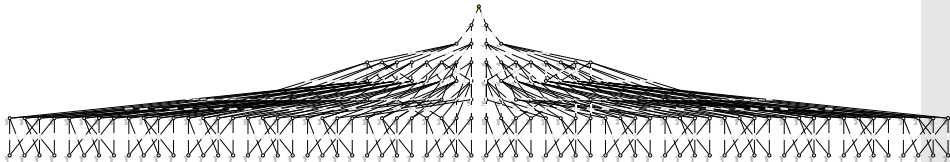


Redukcja dla modelu przymuszania w wyborach



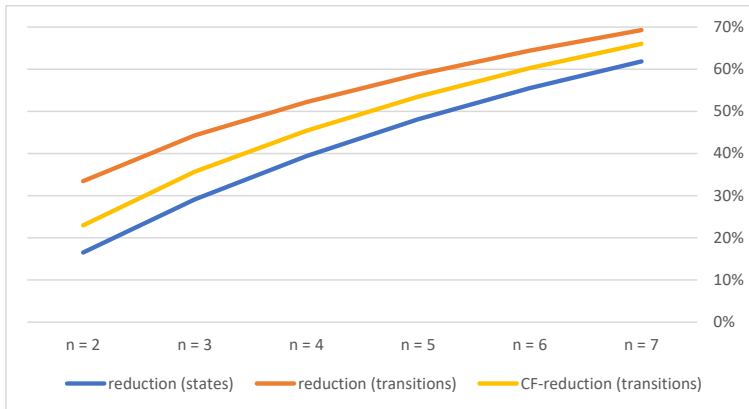


Redukcja dla modelu przymuszania w wyborach



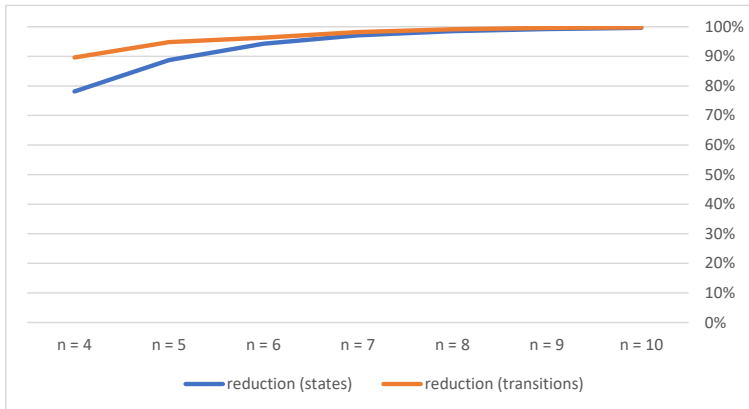


Redukcja dla modelu przymuszania w wyborach





Redukcja dla benchmarku TGC (Trains, Gate, Controller)





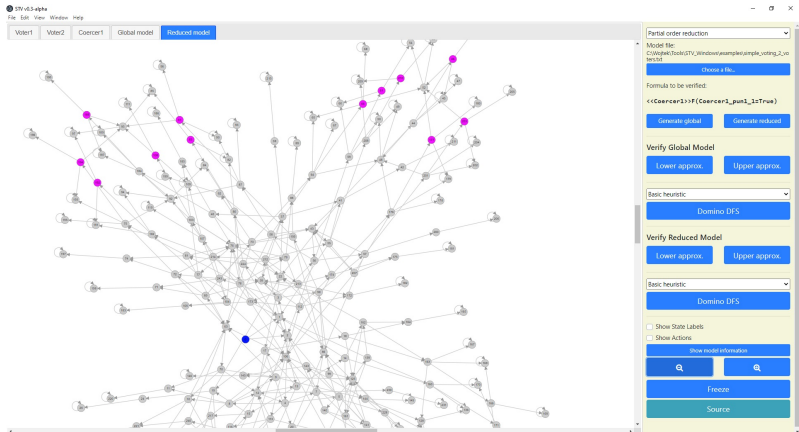
Outline

- 1 Modelowanie systemów agentowych
- 2 Logiczna specyfikacja własności
- 3 Weryfikacja modelowa
- 4 W stronę praktycznej weryfikacji
- 5 STrategic Verifier**
- 6 Podsumowanie



STrategic Verifier (STV)

- Eksperymentalny **weryfikator modelowy** tworzony w IPIPAN
- Posiada ograniczony interfejs graficzny i dostęp przez www





STrategic Verifier (STV)

Zaimplementowane techniki:

- 1 synteza strategii DFS (brute force)
- 2 synteza strategii DFS z generowaniem modelu on-the-fly
- 3 DFS z lokalną optymalizacją strategii zdominowanych
- 4 synteza DFS dla strategii naturalnych
- 5 synteza DFS dla probabilistycznego ATL z niep. informacją
- 6 algorytm stałopunktowy dla modeli z pełną informacją
- 7 aproksymacja stałopunktowa dla modeli z niepełną informacją
- 8 weryfikacja operatorów epistemicznych i niepewności Hartleya
- 9 sprawdzanie bisymulacji dla redukcji opartej o bisymulację
- 10 redukcja częściowo-porządkowa
- 11 abstrakcja stanowa przez usuwanie zmiennych modelowych
- 12 weryfikacja assume-guarantee



STrategic Verifier (STV)

Studia przypadku:

- 1 własności prostych modeli przymuszania wyborców,
- 2 weryfikowalność i odporność na przymuszanie w protokole głosowania Pret-a-Voter,
- 3 własności systemu głosowania elektronicznego vVote,
- 4 własności protokołu głosowania SELENE,
- 5 odporność na ataki typu “man-in-the-middle” i podszywanie się w protokole gossip learning dla sieci wirtualnych asystentów SAI,
- 6 synteza strategii terminacji misji dla rakiety suborbitalnej Perun



STrategic Verifier (STV)

Studia przypadku:

- 1 własności **prostych modeli przymuszania** wyborców,
- 2 weryfikowalność i odporność na przymuszanie w protokole głosowania **Pret-a-Voter**,
- 3 własności systemu głosowania elektronicznego **vVote**,
- 4 własności protokołu głosowania **SELENE**,
- 5 odporność na ataki typu “man-in-the-middle” i podszywanie się w protokole gossip learning dla sieci **wirtualnych asystentów SAI**,
- 6 **synteza strategii terminacji misji dla rakiety suborbitalnej Perun**



Synteza strategii terminacji dla PERUN-a

Współpraca ze **SpaceForest sp. z o.o.** z Gdyni





Synteza strategii terminacji dla PERUN-a

Współpraca ze **SpaceForest sp. z o.o.** z Gdyni



- **PERUN**: rakieta suborbitalna o zasięgu do **150 km** nad powierzchnią Ziemi





Synteza strategii terminacji dla PERUN-a

Współpraca ze **SpaceForest sp. z o.o.** z Gdyni



- **PERUN**: rakieta suborbitalna o zasięgu do **150 km** nad powierzchnią Ziemi
- Wysokość: $11.5m$, średnica $0.45m$
- Masa przy starcie $970kg$
- Silnik hybrydowy

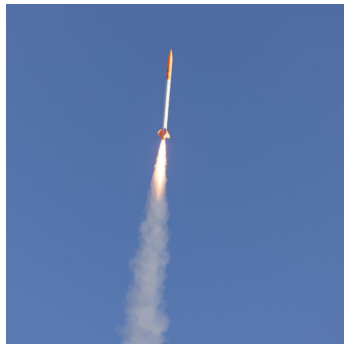


Synteza strategii terminacji dla PERUN-a

Współpraca ze **SpaceForest sp. z o.o.** z Gdyni



- **PERUN**: rakieta suborbitalna o zasięgu do **150 km** nad powierzchnią Ziemi
- Wysokość: $11.5m$, średnica $0.45m$
- Masa przy starcie $970kg$
- Silnik hybrydowy
- Zastosowanie: wynoszenie naukowego lub technologicznego ładunku w warunki **mikrograwitacji**





Synteza strategii terminacji dla PERUN-a

Eksperymentalna synteza strategii przerwania misji przez weryfikację modelową probabilistycznych formuł strategicznych



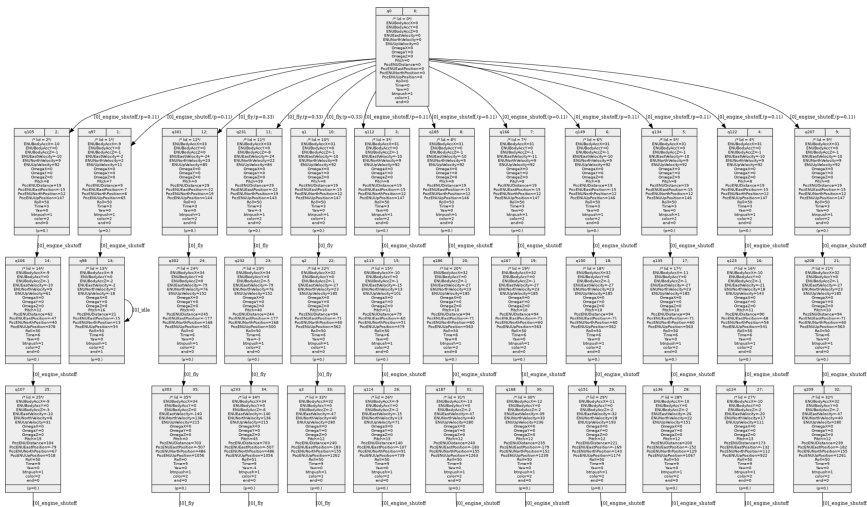
Synteza strategii terminacji dla PERUN-a

Eksperymentalna synteza strategii przerwania misji przez weryfikację modelową probabilistycznych formuł strategicznych

Formuły:

- $\varphi_1 = \langle\langle Rocket \rangle\rangle^{\geq p} \Diamond (\text{GoodState} \wedge \text{Finish})$
- $\varphi_2 = \langle\langle Rocket \rangle\rangle^{\geq p} \Box (\text{Disengaged} \rightarrow \text{GoodState})$
- $\varphi_3 = \langle\langle Rocket \rangle\rangle^{\geq p} \Box (\text{Finish} \rightarrow (\text{GoodState} \vee \text{Disengaged}))$
- ...dla progów prawdopodobieństwa $p = 0.25, 0.5, 0.9$

IPIPAN, 28/09/2026 41/48





Synteza strategii terminacji dla PERUN-a

Główne przesłanie

Dla agentów działających w warunkach niepewności **weryfikacja probabilistyczna zapewnia bardziej miarodajną ocenę strategii** niż tradycyjna analiza (nie)deterministyczna.



Outline

- 1 Modelowanie systemów agentowych
- 2 Logiczna specyfikacja własności
- 3 Weryfikacja modelowa
- 4 W stronę praktycznej weryfikacji
- 5 Strategic Verifier
- 6 Podsumowanie**



Kilka słów na koniec...

- **Weryfikacja modelowa**: przykład sukcesu metod formalnych w informatyce i AI
- (Ale:) Weryfikacja **realistycznych systemów wieloagentowych** jest bardzo trudna
- Nasza odpowiedź: **weryfikacja przez aproksymację oraz redukcje modeli**



Kilka słów na koniec...

- Weryfikacja modelowa: przykład sukcesu metod formalnych w informatyce i AI
- (Ale:) Weryfikacja realistycznych systemów wieloagentowych jest bardzo trudna
- Nasza odpowiedź: weryfikacja przez aproksymację oraz redukcje modeli
- Od abstrakcyjnych twierdzeń do algorytmów i zastosowań



Kilka słów na koniec...

- **Weryfikacja modelowa**: przykład sukcesu metod formalnych w informatyce i AI
- (Ale:) Weryfikacja **realistycznych systemów wieloagentowych** jest bardzo trudna
- Nasza odpowiedź: **weryfikacja przez aproksymację oraz redukcje modeli**
- Od **abstrakcyjnych twierdzeń** do **algorytmów i zastosowań**

Mały krok dla ludzkości, ale wielki skok dla mnie :-)



Without Whom.... I

Współpracownicy, którzy brali udział w powyższych pracach:

- Jaime Arias
- Francesco Belardinelli
- Catalin Dima
- Mateusz Kamiński
- Yan Kim
- Michał Knapik
- Beata Konikowska
- Damian Kurpiewski



Without Whom.... II

- Marta Kwiatkowska
- Vadim Malvone
- Łukasz Maśko
- Jędrzej Michalczyk
- Jerzy J. Michalski
- Łukasz Mikulski
- Muniqye Mittelman
- Aniello Murano
- Witold Pazderski
- Wojciech Penczek



Without Whom.... III

- Laure Petrucci
- Peter Y.A. Ryan
- Peter Roenne
- Teofil Sidoruk
- Masoud Tabatabaei
- ...



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ