

# Modelowanie sygnalizacji świetlnej przy użyciu automatów czasowych

Maciek Pazurkiewicz

9 marca 2011

## O referacie

- 1 Automaty czasowe
- 2 UPPAAL
- 3 Modelowanie sygnalizacji świetlnej
- 4 Jak i po co modelować?

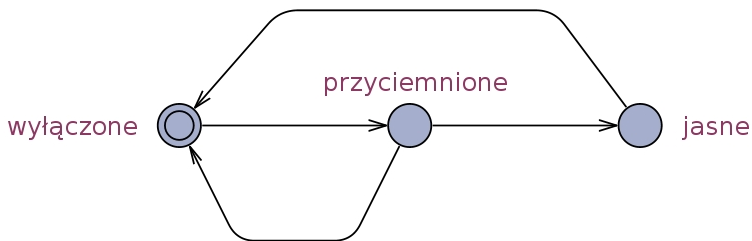
# Spis treści

- 1 Automaty czasowe
  - Pojęcie automatu czasowego
  - Problemy decyzyjne dla automatów czasowych
  - Rozszerzenia
- 2 UPPAAL
- 3 Modelowanie sygnalizacji świetlnej
- 4 Jak i po co modelować?

# Systemy czasu rzeczywistego

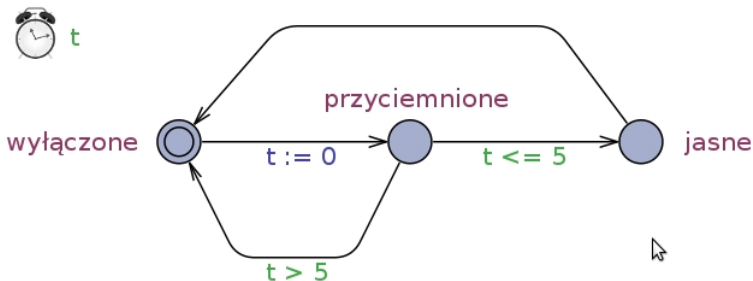
Automaty czasowe to dosyć naturalne rozszerzenie  $\omega$ -automatów o pojęcie czasu. Przy ich pomocy można modelować i weryfikować systemy czasu rzeczywistego.

# Przykład automatu czasowego



Automat ma modelować oświetlenie o dwóch poziomach jasności.

# Przykład automatu czasowego



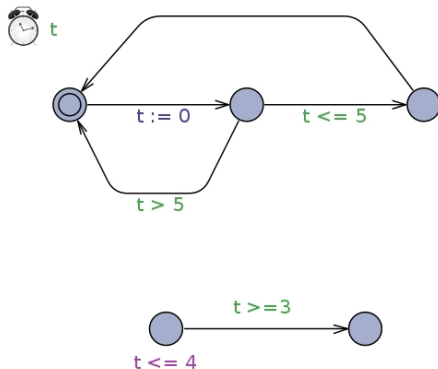
Automat ma modelować oświetlenie o dwóch stopniach jasności:

- pojedyncze naciśnięcie przycisku włącza przyciemnione oświetlenie
- dwukrotne naciśnięcie przycisku w krótkim odstępie czasu włącza maksymalny poziom oświetlenia

# Elementy automatu czasowego

Elementy automatu  
czasowego:

- wierzchołki (lokacje)
  - ograniczenia na zegary
- zegary
- krawędzie (akcje)
  - ograniczenia na zegary
  - operacje na zegarach



# Semantyka operacyjna automatu czasowego

Semantyką automatu czasowego jest system przejść, w którym:

- stany to pary  $\langle l, u \rangle$ , gdzie  $l$  jest wierzchołkiem automatu, a  $u$  to wartościowaniem zegarów,
- przejścia są zdefiniowane przez następujące reguły:
  - **poczekaj**:  $\langle l, u \rangle \xrightarrow{d} \langle l, u + d \rangle$  gdy  $u \in I(l)$  i  $u + d \in I(l)$
  - **wykonaj akcję**:  $\langle l, u \rangle \xrightarrow{a} \langle l', u' \rangle$  gdy  $l \xrightarrow{g, a, r} l'$ ,  $u \in g$ ,  
 $u' = [r \mapsto 0]u$  i  $u' \in I(l')$



# Liczba stanów automatu

Automaty czasowe wydają się być *bardzo duże*:

- czasowe języki regularne są nieprzeliczalne,
- stanów (rozumianych jako wierzchołek + wartościowanie zegarów) jest nieprzeliczalnie wiele.

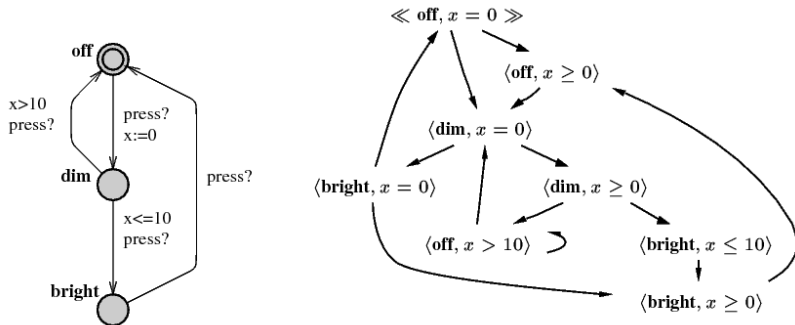
# Strefy

Dokładne wartościowanie zegarów nie jest potrzebne, żeby wnioskować o własnościach temporalnych automatu: wystarczy dobra jego abstrakcja.

## Definicja

*Strefą* nazywamy maksymalny zbiór rozwiązań koniunkcji ograniczeń zegarowych.

# Przykład automatu strefowego



Rysunek: Przykład automatu strefowego (Bengtsson, Yi 2004)

# Rozszerzenia automatów czasowych

W celu zwiększenia prostoty i precyzji modelowania systemów rzeczywistych przy pomocy automatów czasowych zaproponowano różne rozszerzenia.

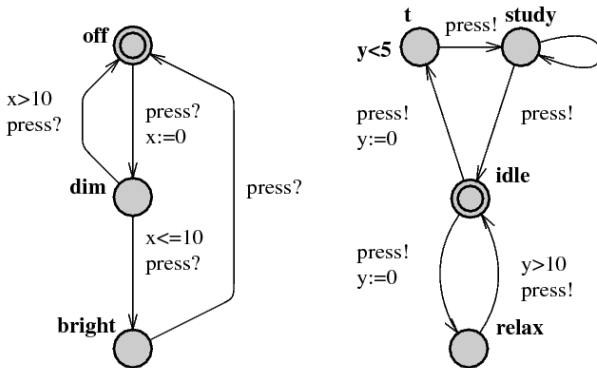
- wiele z nich jest jedynie „lukrem syntaktycznym”: nie zwiększa siły wyrazu automatów

# Sieci automatów czasowych

Sieci automatów czasowych:

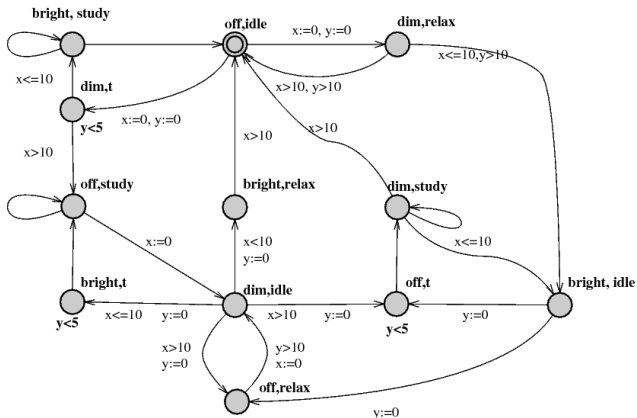
- pozwalają na modelowanie różnych części systemu jako oddzielnych komponentów;
- poszczególne automaty komunikują się w sposób synchroniczny przy pomocy kanałów komunikacyjnych.

# Sieci automatów czasowych



Rysunek: Sieć składająca się z dwóch automatów (Bengtsson, Yi 2004)

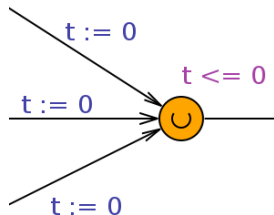
## Sieci automatów czasowych



Rysunek: Automat reprezentujący sieć (Bengtsson, Yi 2004)

## Dodatkowe typy wierzchołków

Wierzchołek pilny – w takim wierzchołku nie może upłynąć czas



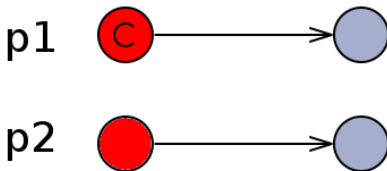
Rysunek: Semantyka wierzchołka pilnego

Dostępne są również pilne kanały komunikacyjne.



## Dodatkowe typy wierzchołków

**Wierzchołek przymusowy** – wierzchołek pilny, który trzeba opuścić tak szybko jak to możliwe (system nie może wykonać żadnego *nieprzymusowego* przejścia).



Rysunek: Wierzchołek przymusowy

# Spis treści

- 1 Automaty czasowe
  - Pojęcie automatu czasowego
  - Problemy decyzyjne dla automatów czasowych
  - Rozszerzenia
- 2 UPPAAL
- 3 Modelowanie sygnalizacji świetlnej
- 4 Jak i po co modelować?

# UPPAAL

UPPAAL jest aplikacją pozwalającą modelować i weryfikować systemy czasu rzeczywistego przy pomocy automatów czasowych

- rozwijany przez uniwersytety w Aalborg i Uppsali nieprzerwanie od 1995
- dostępny za darmo do celów akademickich
- popularny wśród naukowców (>200 prac z “UPPAAL” w streszczeniu w bibliotece ACM)
- stosowany przemysłowo



# AMETIST

UPPAAL był jednym z głównym narzędzi wykorzystywanych w projekcie AMETIST.

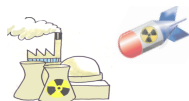
AMETIST (*Advanced Methods for Timed System*)

- potężny projekt badawczy finansowany przez UE przeprowadzony w latach 2002-2005
- jego celem było opracowanie skutecznych wspomaganych komputerowo metod analizy i weryfikacji złożonych systemów czasu rzeczywistego
- udział brały liczne europejskie uniwersytety oraz kilka dużych przedsiębiorstw

# AMETIST – udział przemysłu



**BOSCH**



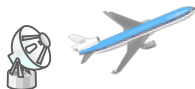
**cybernetix**

**AMETIST**



**axxom**

**TERMA<sup>T</sup>**



# Spis treści

- 1 Automaty czasowe
  - Pojęcie automatu czasowego
  - Problemy decyzyjne dla automatów czasowych
  - Rozszerzenia
- 2 UPPAAL
- 3 Modelowanie sygnalizacji świetlnej
- 4 Jak i po co modelować?

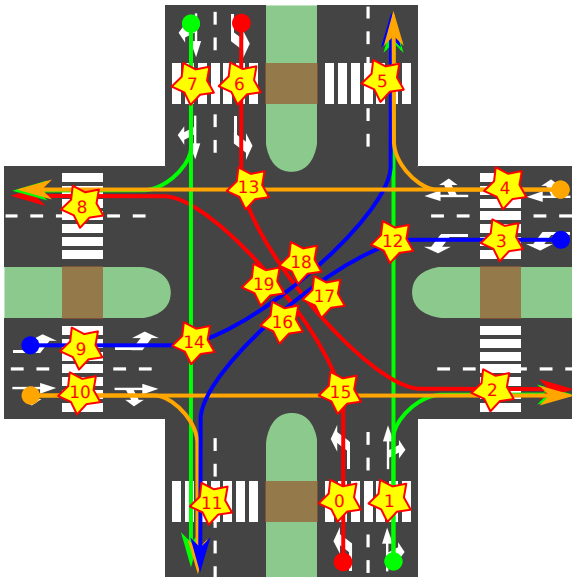
# Nietrywialne systemy sygnalizacji

Nietrywialne systemy sygnalizacji:

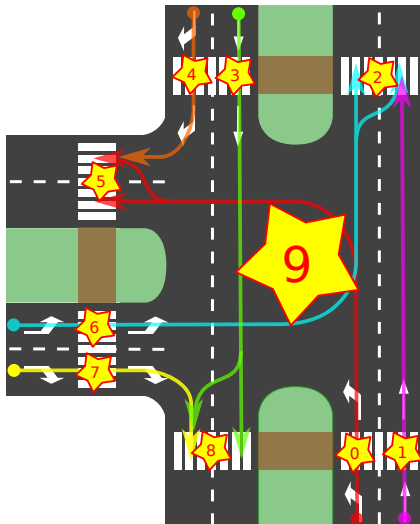
- uzależnienie zmiany fazy od czujnika
  - przycisk dla pieszych, pętla indukcyjna dla samochodów
- uzależnienie długości fazy od natężenia ruchu z danego kierunku
- ułatwianie przejazdu pojazdom komunikacji miejskiej
- ułatwianie przejazdu pojazdom uprzywilejowanym (wywłaszczenie)

# Modelowanie sygnalizacji świetlnej

Jak i po co modelować?







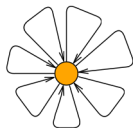
# Spis treści

- 1 Automaty czasowe
  - Pojęcie automatu czasowego
  - Problemy decyzyjne dla automatów czasowych
  - Rozszerzenia
- 2 UPPAAL
- 3 Modelowanie sygnalizacji świetlnej
- 4 Jak i po co modelować?

## Cechy dobrego modelu

### Dobry model

- składa się z dobrze zdefiniowanych, niezależnych komponentów
- łatwo rozszerzalny
- jest parametryzowalny
- czytelny
- jest dobrze określoną abstrakcją rzeczywistego systemu
- jest łatwo go przenieść na język docelowej aplikacji
- weryfikowalny



# Dlaczego warto modelować?

Dlaczego warto modelować?

- bo można to formalnie zweryfikować
  - weryfikacja jakościowa zapewnia poprawność aplikacji
  - weryfikacja ilościowa może pomóc w optymalizacji aplikacji

# Dlaczego warto modelować?

## Dlaczego warto modelować?

- bo można to formalnie zweryfikować
  - weryfikacja jakościowa zapewnia poprawność aplikacji
  - weryfikacja ilościowa może pomóc w optymalizacji aplikacji
- bo można wtedy stosować metody *półformalne*
  - generowanie testów

# Dlaczego warto modelować?

## Dlaczego warto modelować?

- bo można to formalnie zweryfikować
  - weryfikacja jakościowa zapewnia poprawność aplikacji
  - weryfikacja ilościowa może pomóc w optymalizacji aplikacji
- bo można wtedy stosować metody *półformalne*
  - generowanie testów
- bo jest to cenny element projektu aplikacji

## Model jako element projektu

Skoro model jest pewną abstrakcją systemu, można wykorzystać go w projektowaniu.

## Model jako element projektu

Skoro model jest pewną abstrakcją systemu, można wykorzystać go w projektowaniu.

Tak jak inne sposoby projektowania model przedstawia:

- stany i tranzycje
- komponenty i komunikację pomiędzy nimi



## Model jako element projektu

Skoro model jest pewną abstrakcją systemu, można wykorzystać go w projektowaniu.

Tak jak inne sposoby projektowania model przedstawia:

- stany i tranzycje
- komponenty i komunikację pomiędzy nimi

Ponadto:

- model ma jasno i zwięźle zdefiniowaną semantykę
- jest wykonywalny; może pełnić funkcję prototypu

# Automaty zasowe UPPAAL

## Modelowanie sygnalizacji świetlnej

### Jak i po co modelować?

