

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
WYDZIAŁ MATEMATYKI I NAUK INFORMACYJNYCH



# REPREZENTACJA WIEDZY

---

## Programy działań z efektami domyślnymi

---

Specyfikacja wstępna

*Autorzy:*

Dragan Łukasz  
Flis Mateusz  
Izert Piotr  
Pielat Mateusz  
Rząd Przemysław  
Siry Roman  
**Waszkiewicz Piotr**  
Zawadzka Anna

20 czerwca 2016

# 1 Opis zadania

Zadaniem projektu jest opracowanie i zaimplementowanie języka akcji dla specyfikacji podanej klasy systemów dynamicznych oraz odpowiadający mu język kwerend.

System dynamiczny spełnia podane założenia:

1. Prawo inercji
2. Niedeterminizm i sekwencyjność działań
3. Pełna informacja o wszystkich akcjach i wszystkich ich skutkach bezpośrednich
4. Z każdą akcją związany jest:
  - (a) Warunek początkowy (ew. true)
  - (b) Efekt akcji
  - (c) Jej wykonawca
5. Skutki akcji:
  - (a) Pewne (zawsze występują po zakończeniu akcji)
  - (b) Domyślne (preferowane. Zachodzą po zakończeniu akcji, o ile nie jest wiadomym, że nie występują)
6. Efekty akcji zależą od jej stanu, w którym akcja się zaczyna i wykonawcy tej akcji
7. W pewnych stanach akcje mogą być niewykonalne przez pewnych (wszystkich) wykonawców

Programem działań nazywać będziemy ciąg  $((A_1, w_1), (A_2, w_2), \dots, (A_n, w_n))$ , gdzie  $A_i$  jest akcją, zaś  $w_i$  jej wykonawcą,  $n = 0, 1, 2, \dots$  gdzie  $w_i = \epsilon$  oznacza dowolnego wykonawcę.

Język kwerend zapewnia uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

1. Czy podany program działań jest wykonywalny zawsze/kiedykolwiek?
2. Czy wykonanie podanego programu działań z dowolnego stanu spełniającego warunek  $\pi$  prowadzi zawsze/kiedykolwiek/na ogół do stanu spełniającego warunek celu  $\gamma$ ?
3. Czy z dowolnego stanu spełniającego warunek  $\pi$  cel  $\gamma$  jest osiągalny zawsze/kiedykolwiek/na ogół?
4. Czy wskazany wykonawca jest zaangażowany w realizację programu zawsze/kiedykolwiek?
5. Czy po wykonaniu podanego programu działań zawsze/kiedykolwiek/na ogół formuła  $\gamma$  jest spełniona w stanie wynikowym?

## 2 Język akcji $\Omega$

### 2.1 Definicja języka

$\Omega$  jest rodziną języków, w której każdy język  $\mathcal{L}$  określony jest nad sygnaturą

$$\Upsilon = (F, A, V)$$

gdzie:

- $F$  - niepusty zbiór zmiennych (fluenty)
- $A$  - niepusty zbiór akcji
- $V$  - niepusty zbiór wykonawców (aktorów), przy czym  $\epsilon \in V$ , gdzie  $\epsilon$  oznacza kogokolwiek

### 2.2 Syntaktyka języka

Przed przystąpieniem do opisu typów zdań doprecyzowane zostanie oznaczenie listy wykonawców  $W \in V$ ;  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  które reprezentuje listę dopuszczalnych wykonawców danej akcji. Dodatkowo możliwy jest zapis *negatywny* w postaci  $W = (\neg w_1, \neg w_2, \dots, \neg w_n)$  oznaczający wyłączenie wymienionych wykonawców z możliwości wykonywania danej akcji. Niedopuszczalny jest zapis łączący obie te formy, postaci  $W = (w_1, w_2, \dots, w_i, \neg w_{i+1}, \dots, \neg w_n)$  Dodatkowo przez  $\alpha$  oznaczana będzie dowolna kombinacja zmiennych (fluentów):

$$\alpha = f|\alpha|\neg\alpha|\alpha_1 \wedge \alpha_2|\alpha_1 \vee \alpha_2|\alpha_1 \rightarrow \alpha_2|\alpha_1 \leftrightarrow \alpha_2$$

W języku  $\Omega$  występują następujące typy zdań:

- **initially  $\alpha$**   
formuła  $\alpha$  zachodzi w stanie początkowym
- **$(A, W)$  causes  $\alpha$  if  $\pi$**   
skutkiem wykonania akcji  $A$  przez któregośkolwiek z wykonawców  $W$  w stanie spełniającym warunek  $\pi$  jest stan, w którym spełniona jest formuła  $\alpha$ . Przy czym:
  - Jeśli  $\pi \Leftrightarrow \top$ , to powyższe zdanie zapisujemy:  
 **$(A, W)$  causes  $\alpha$**   
oznacza to, że skutkiem wykonania akcji  $A$  przez któregośkolwiek z wykonawców  $W$  jest stan, w którym spełniona jest formuła  $\alpha$
  - Jeśli  $\alpha \Leftrightarrow \perp$ , to powyższe zdanie zapisujemy:  
**impossible  $(A, W)$  if  $\pi$**   
co oznacza, że niemożliwe jest wykonanie akcji  $A$  przez któregośkolwiek z wykonawców  $W$  w stanie spełniającym warunek  $\pi$

- $(A, W)$  **releases**  $f$  **if**  $\pi$   
wykonanie akcji  $A$  przez któregośkolwiek z wykonawców  $W$  w stanie spełniającym warunek  $\pi$  może (ale nie musi) zmienić wartość zmiennej  $f$
- $(A, W)$  **typically causes**  $\alpha$  **if**  $\pi$   
skutkiem wykonania akcji  $A$  przez któregośkolwiek z wykonawców  $W$  w stanie spełniającym warunek  $\pi$  na ogół jest stan, w którym spełniona jest formuła  $\alpha$
- **always**  $\alpha$   
formuła  $\alpha$  jest spełniona w każdym stanie
- $(A, W)$  **preserves**  $f$  **if**  $\pi$   
wskutek wykonania akcji  $A$  przez któregośkolwiek z wykonawców  $W$  w stanie spełniającym warunek  $\pi$  zmienna  $f$  nie może ulec zmianie

## 2.3 Przykłady

### 2.3.1 Gotujący John

*John jest entuzjastą gotowania i bardzo lubi jeść. Zakładamy, że początkowo jest głodny, jego lodówka jest pusta, nie ma on żadnego gotowego posiłku i w jego kuchni panuje porządek. Jeśli John jest głodny, to jest też zły. Nie może jednak nic zjeść, jeśli nie ma co. Niemożliwym jest także ugotowanie posiłku, jeśli lodówka Johna jest pusta. Aby ją uzupełnić John idzie na zakupy. Zakupy również często powodują, że John ma lepszy humor. John może teraz coś ugotować, lecz jeśli jest zły to na ogół powoduje to ogromny chaos w kuchni. Zdolności kulinarne Johna są na tyle duże, że zawsze wyjdzie mu posiłek, który jest zdatny do jedzenia. John lubi duże porcje, więc możliwe, że po ugotowaniu posiłku znowu ma pustą lodówkę. Jest też takim łakomczuchem, że nie zostawia sobie nic na później i zjada cały posiłek. Po zjedzeniu głód mija, a humor Johna się poprawia.*

```

initially hungry  $\wedge$  angry
initially emptyFridge  $\wedge$   $\neg$ hasMeal  $\wedge$   $\neg$ chaos
impossible (EAT, John) if  $\neg$ hasMeal
impossible (COOK, John) if emptyFridge
(SHOP, John) causes  $\neg$ emptyFridge
(SHOP, John) releases angry if angry
(COOK, John) typically causes chaos if angry
(COOK, John) causes hasMeal
(COOK, John) releases emptyFridge
(EAT, John) causes  $\neg$ hasMeal  $\wedge$   $\neg$ hungry  $\wedge$   $\neg$ angry

```

### 2.3.2 Programiści Fred i Bill

*Farmer Bill i indyk Fred pracują razem nad pewnym projektem programistycznym. Zakładamy, że początkowo kod jest czytelny i kompilowalny. Bill to niedo-*

*świadczony programista, więc gdy dopisze on jakiś fragment cały kod przestaje być czytelny, a nierzadko przestaje się też kompilować. Indyk Fred jest z kolei weteranem branży IT, więc jego kod kompiluje się zawsze (gdy pracuje on z czytelnym kodem) lub prawie zawsze (gdy kod jest nieczytelny). W razie potrzeby Fred refaktoryzuje cały kod, dzięki czemu poprawia się jego czytelność. Bill i Fred zgodnie ustalili, że nie będą dopisywać nowych fragmentów kodu jeżeli dotychczasowy się nie kompiluje. W takim wypadku któryś z nich musi go najpierw zdebugować (co potrafi każdy programista mając odpowiednio dużo czasu).*

```

initially compiles  $\wedge$  cleanCode
(CODE, Bill) causes  $\neg$ cleanCode
(CODE, Bill) releases compiles if compiles
(CODE, Fred) causes compiles if cleanCode
(CODE, Fred) typically causes compiles if  $\neg$ cleanCode
(REFACTOR, Fred) causes cleanCode
(DEBUG,  $\epsilon$ ) causes compiles
impossible (CODE,  $\epsilon$ ) if  $\neg$ compiles

```

### 2.3.3 Alicja w krainie czarów

*Alicja może być pomniejszona, lub być swojego normalnego, wysokiego wzrostu. Początkowo Alicja jest wysoka. Wypicie Elixiru pomniejsza Alicję, natomiast zjedzenie Ciastka ją powiększa.*

*Kot z Cheshire nigdy nie zje Ciastka, a wypicie przez niego Elixiru zwykle go ujawnia, jeśli jest niewidzialny. Kot początkowo jest niewidzialny.*

*Kapelusznik początkowo nie jest szalony. Wypicie Elixiru może doprowadzić go do szaleństwa, a zjedzenie Ciastka zwykle powoduje powrót do zdrowych zmysłów.*

*Ciastko jest tylko jedno więc znika po jego zjedzeniu i nie można próbować go zjeść, natomiast duża, nieprzezroczysta butelka Elixiru nie musi być pusta po napieniu się z niej.*

*Biały Królik nigdy nie zje ciastka, a wypicie przez niego Elixiru powoduje magiczne pojawienie się Ciastka z powrotem.*

*Początkowo Ciastko jest dostępne, a butelka pełna Elixiru.*

```

initially  $\neg$ aliceSmall  $\wedge$   $\neg$ hatterMad  $\wedge$   $\neg$ catVisible
initially cakeExists  $\wedge$  elixirExists
(DRINK, Alice) causes aliceSmall if elixirExists
(EAT, Alice) causes  $\neg$ aliceSmall
impossible (EAT, Cat)
(DRINK, Cat) typically causes catVisible if elixirExists
(DRINK, Hatter) releases hatterMad if  $\neg$ hatterMad  $\wedge$ 
    elixirExists
(EAT, Hatter) typically causes  $\neg$ hatterMad if hatterMad

```

$(\text{EAT}, \epsilon)$ <b>causes</b> $\neg \text{cakeExists}$ <b>impossible</b> $(\text{EAT}, \epsilon)$ <b>if</b> $\neg \text{cakeExists}$ $(\text{DRINK}, \epsilon)$ <b>releases</b> $\text{elixirExists}$ <b>if</b> $\text{elixirExists}$ <b>impossible</b> $(\text{EAT}, \text{Rabbit})$ $(\text{DRINK}, \text{Rabbit})$ <b>causes</b> $\text{cakeExists}$ <b>if</b> $\text{elixirExists}$
--

### 2.3.4 Lampka Toma

*Student Tom ma na biurku lampkę, której używa, jeżeli musi wieczorem przygotować się na zajęcia. Gdy Tom zaczyna naukę, lampka jest zapalona. Zadania są trudne i zdarza się, że Tom nie potrafi ich rozwiązać. Wtedy Tom denerwuje się i zrzuca wszystko razem z lampką z biurka. Zrzućenie na podłogę zazwyczaj powoduje, że w lampce zbije się żarówka i wtedy nie może ona świecić. Tom może poza tym włączać i wyłączać lampkę, ale żarówka się od tego nie naprawi.*

<b>initially</b> $\text{lighted}$ <b>always</b> $\text{lighted} \rightarrow \neg \text{broken}$ $(\text{THROW\_DOWN}, \text{Tom})$ <b>usually causes</b> $\text{broken}$ $(\text{TURN\_OFF}, \text{Tom})$ <b>causes</b> $\neg \text{lighted}$ $(\text{TURN\_ON}, \text{Tom})$ <b>causes</b> $\text{lighted}$ $(\text{TURN\_ON}, \text{Tom})$ <b>preserves</b> $\text{broken}$
--

## 2.4 Semantyka języka

### 2.4.1 Stan

Stanem będziemy nazywać dowolną funkcję  $\sigma : F \rightarrow \{1, 0\}$ , która przypisuje zmiennym wartości logiczne. Jeśli  $\sigma(f) = 1$ , to znaczy, że zmienna  $f$  zachodzi w stanie  $\sigma$ . Funkcję tę można rozszerzyć na zbiór wszystkich formuł nad zbiorem zmiennych  $F$  według zasad obowiązujących w klasycznej logice zdań.

### 2.4.2 Struktura

Strukturą nazywamy układ  $S = (\Sigma, \sigma_0, \text{ResAb}, \text{ResN})$ , gdzie:

- $\Sigma$  - zbiór stanów
- $\sigma_0 \in \Sigma$  - stan początkowy
- $\text{ResAb}, \text{ResN} : A \times V \times \Sigma \rightarrow 2^\Sigma$  są funkcjami przejść.  $\text{ResAb}$  jest funkcją przejść nietypowych,  $\text{ResN}$  jest funkcją przejść typowych oraz  $\text{ResAb} \cap \text{ResN} = \emptyset$

### 2.4.3 Dziedzina

Niech  $\mathcal{L}$  będzie językiem z rodziny  $\Omega$ . Dziedziną akcji nazywamy niepusty zbiór  $D$  zdań języka  $\mathcal{L}$ .

#### 2.4.4 Model dziedziny

W celu zdefiniowania pojęcia modelu dziedziny wprowadzone zostaną następujące funkcje pomocnicze:

1.  $Res_0 : A \times W \times \Sigma \rightarrow 2^\Sigma$  konstruowane na podstawie zdań efektów akcji.

$$\forall_{a \in A, w \in W, \sigma \in \Sigma} Res_0(a, w, \sigma) = \{\sigma' \in \Sigma : ((a, w) \textbf{ causes } \alpha \textbf{ if } \pi) \in D \wedge (\sigma \models \pi) \Rightarrow (\sigma' \models \alpha)\}$$

Oznacza to, że  $Res_0$  konstruuje się bez minimalizacji zmian.

2. Funkcję  $Res^-$  wyznacza się stosując minimalizację zmian.
3. Funkcję  $Res_0^+ : A \times V \times \Sigma \rightarrow 2^\Sigma$  spełniającą warunek  $\forall_{a \in A, w \in V, \sigma \in \Sigma}$ :

$$Res_0^+(a, w, \sigma) = \{\sigma' \in Res_0(a, w, \sigma) : ((a, w) \textbf{ typically causes } \beta \textbf{ if } \pi) \in D \wedge (\sigma \models \pi) \Rightarrow (\sigma' \models \beta)\}$$

Niech  $D$  będzie dziedziną akcji języka  $\Omega$  i niech  $S = (\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN)$  będzie strukturą dla  $\Omega$ . Mówimy, że  $S$  jest modelem  $D \leftrightarrow$  spełnione są warunki:

- $\Sigma$  jest zbiorem stanów z dziedziny  $D$
- każde zdanie obserwacji i każde zdanie wartości z dziedziny  $D$  jest prawdziwe w  $S$
- $\forall_{a \in A, w \in V, \sigma \in \Sigma} ResN(a, w, \sigma)$  jest zbiorem tych wszystkich stanów  $\sigma' \in Res_0^+(a, w, \sigma)$ , dla których zbiory  $New(a, w, \sigma, \sigma')$  są minimalne
- $\forall_{a \in A, w \in V, \sigma \in \Sigma} ResAb(a, w, \sigma) = Res^-(a, w, \sigma) | ResN(a, w, \sigma)$

Warto zwrócić uwagę na to, że skutki *pewne* dla akcji traktowane są jak *typowe*.

#### 2.4.5 Funkcja przejścia

Niech  $S = (\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN)$  będzie strukturą dla języka. Konstrukcja funkcji  $\Psi_S : (A \times V)^* \times \Sigma \rightarrow \Sigma$  wygląda następująco:

- $\Phi_S(a, \epsilon, \sigma) = \sigma$  gdzie  $\epsilon$  oznacza ciąg pusty
- jeśli  $\Phi_S(((a_1, w_1), \dots, (a_n, w_n)), \sigma)$  jest określona to

$$\begin{aligned} \Phi_S(((a_1, w_1), \dots, (a_n, w_n)), \sigma) \in ResAb((a_n, w_n), \Phi_S((a_1, w_1), \dots, (a_{n-1}, w_{n-1}))) \\ \cup ResN((a_n, w_n), \Phi_S((a_1, w_1), \dots, (a_{n-1}, w_{n-1}))) \end{aligned}$$

## 2.5 Konstrukcja modeli

Przy wyznaczaniu funkcji przejścia  $ResN$  i  $ResAb$  stosujemy zasadę zaczerpniętą z języka  $ARQ$ . Stany niedopuszczalne są eliminowane przed minimalizacją zmian oraz wprowadzone zostaje zdanie *preserves*, które ma na celu ochronę wartości zmiennej przed zmianami przy wykonaniu danej akcji.

```

initially  $\neg$ charged  $\wedge$   $\neg$ playing
always playing  $\rightarrow$  charged
(SWITCH_ON, radio) typically causes playing
(SWITCH_ON, radio) preserves charged

```

Zbiór stanów dopuszczalnych to:  $\Sigma = \{\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2\}$ , gdzie:  
 $\sigma_0 = \{\neg charged, \neg playing\}$ ,  $\sigma_1 = \{charged, \neg playing\}$ ,  $\sigma_2 = \{charged, playing\}$ .

stan  $\sigma_3 = \{\neg charged, playing\}$  jest niezgodny z dziedziną, więc zostaje wyeliminowany.

$Res_0^-(SWITCH\_ON, radio, \sigma_0) = \{\sigma_2\}$   
 $New(SWITCH\_ON, radio, \sigma_0, \sigma_2) = \{charged, playing\}$   
 $Res^-(SWITCH\_ON, radio, \sigma_0) = \{\sigma_2\}$   
 $ResN(SWITCH\_ON, radio, \sigma_0) = \{\sigma_2\}$

Jako, że wartość *charged* pomiędzy stanami  $\sigma_0$  i  $\sigma_2$  ulega zmianie, przejście to nie może zostać zawarte w funkcji  $ResN$ .

$$ResN(SWITCH\_ON, \sigma_0) = \emptyset$$

Jest to logiczne zachowanie, gdyż rozładowane radio nie może zacząć grać po włączeniu.

## 2.6 Scenariusz

Scenariuszem nazywamy skończony ciąg par akcja-wykonawca:

$$SC = ((A_1, w_1), (A_2, w_2), \dots, (A_n, w_n))$$

**Przykład:**

(SHOP, John) , (COOK, John) , (EAT, John)

Powyższy scenariusz mówi, iż John wykonał kolejno akcje: SHOP, COOK, EAT.



## 2.7 Przykłady

### 2.7.1 Gotujący John

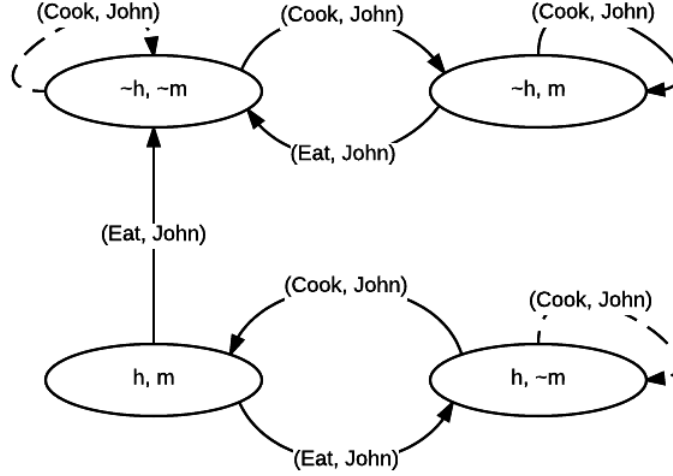
Rozważmy następującą dziedzinę:

**initially** hungry  $\wedge$   $\neg$ hasMeal  
**impossible** (EAT, John) **if**  $\neg$ hasMeal  
(COOK, John) **typically causes** hasMeal  
(EAT, John) **causes**  $\neg$ hasMeal  
(EAT, John) **releases** hungry **if** hungry

Zbiór stanów dopuszczalnych to  $\Sigma = \{\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\}$ , gdzie:

$\sigma_0 = \{h, \neg m\}$ ,  $\sigma_1 = \{h, m\}$ ,  $\sigma_2 = \{\neg h, m\}$ ,  $\sigma_3 = \{\neg h, \neg m\}$ , zaś  $h$  i  $m$  oznaczają odpowiednio *hungry* i *hasMeal*.

$Res_0(\text{COOK}, John, \sigma_0) = \Sigma$ $New(\text{COOK}, John, \sigma_0, \sigma_0) = \emptyset$ $New(\text{COOK}, John, \sigma_0, \sigma_1) = \{m\}$ $New(\text{COOK}, John, \sigma_0, \sigma_2) = \{\neg h, m\}$ $New(\text{COOK}, John, \sigma_0, \sigma_3) = \{\neg h\}$ $Res^-(\text{COOK}, John, \sigma_0) = \{\sigma_0\}$ $Res_0^+(\text{COOK}, John, \sigma_0) = \{\sigma_1, \sigma_2\}$	$ResN(\text{COOK}, John, \sigma_1) = \{\sigma_1\}$ $ResAb(\text{COOK}, John, \sigma_1) = \emptyset$
$ResN(\text{COOK}, John, \sigma_0) = \{\sigma_1\}$ $ResAb(\text{COOK}, John, \sigma_0) = \{\sigma_0\}$	$ResN(\text{EAT}, John, \sigma_1) = \{\sigma_0, \sigma_3\}$ $ResAb(\text{EAT}, John, \sigma_1) = \emptyset$
$Res_0(\text{EAT}, John, \sigma_0) = \emptyset,$ ponieważ: impossible (EAT, John) if $\neg$ hasMeal	$ResN(\text{COOK}, John, \sigma_2) = \{\sigma_2\}$ $ResAb(\text{COOK}, John, \sigma_2) = \emptyset$
$ResN(\text{EAT}, John, \sigma_0) = \emptyset,$ $ResAb(\text{EAT}, John, \sigma_0) = \emptyset,$	$ResN(\text{EAT}, John, \sigma_2) = \{\sigma_3\}$ $ResAb(\text{EAT}, John, \sigma_2) = \emptyset$
	$ResN(\text{COOK}, John, \sigma_3) = \{\sigma_2\}$ $ResAb(\text{COOK}, John, \sigma_3) = \{\sigma_3\}$
	$ResN(\text{EAT}, John, \sigma_3) = \emptyset$ $ResAb(\text{EAT}, John, \sigma_3) = \emptyset$



Rysunek 1: Graf zależności - gotujący John

### 2.7.2 Programista Fred

Rozważmy następującą dziedzinę:

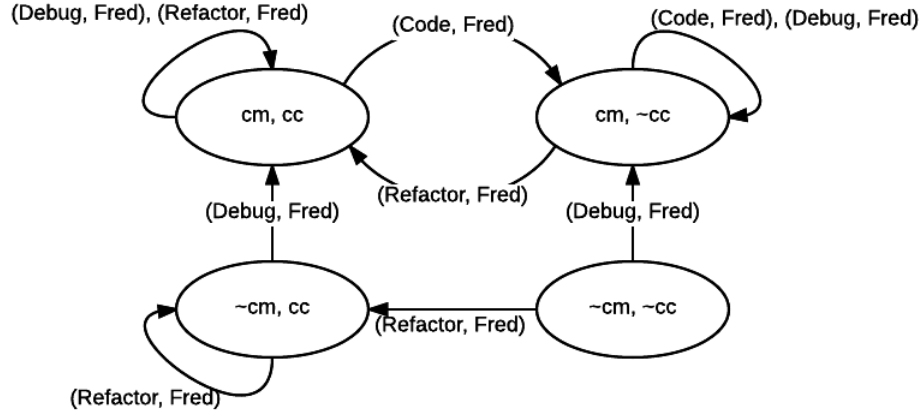
```

initially compiles  $\wedge$  cleanCode
(CODE, Fred) causes  $\neg$ cleanCode
(CODE, Fred) causes compiles if cleanCode
(CODE, Fred) typically causes compiles if  $\neg$ cleanCode
(REFACTOR, Fred) causes cleanCode
(DEBUG, Fred) causes compiles
impossible (CODE, Fred) if  $\neg$ compiles
  
```

Zbiór stanów dopuszczalnych to  $\Sigma = \{\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\}$ , gdzie:

$\sigma_0 = \{cm, cc\}$ ,  $\sigma_1 = \{cm, \neg cc\}$ ,  $\sigma_2 = \{\neg cm, cc\}$ ,  $\sigma_3 = \{\neg cm, \neg cc\}$ , zaś  $cm$  i  $cc$  oznaczają odpowiednio *compiles* i *cleanCode*.

$Res_0(\text{CODE}, Fred, \sigma_0) = \{\sigma_1\}$	$ResN(\text{DEBUG}, Fred, \sigma_1) = \{\sigma_1\}$
$New(\text{CODE}, Fred, \sigma_0, \sigma_1) = \{cc\}$	$ResAb(\text{DEBUG}, Fred, \sigma_1) = \emptyset$
$Res^-(\text{CODE}, Fred, \sigma_0) = \{\sigma_1\}$	
$Res_0^+(\text{CODE}, Fred, \sigma_0) = \{\sigma_1\}$	$ResN(\text{DEBUG}, Fred, \sigma_2) = \{\sigma_0\}$
	$ResAb(\text{DEBUG}, Fred, \sigma_2) = \emptyset$
$ResN(\text{CODE}, Fred, \sigma_0) = \{\sigma_1\}$	
$ResAb(\text{CODE}, Fred, \sigma_0) = \emptyset$	$ResN(\text{DEBUG}, Fred, \sigma_3) = \{\sigma_1\}$
	$ResAb(\text{DEBUG}, Fred, \sigma_3) = \emptyset$
$Res_0(\text{CODE}, Fred, \sigma_1) = \{\sigma_1, \sigma_3\}$	
$New(\text{CODE}, Fred, \sigma_1, \sigma_1) = \emptyset$	$ResN(\text{REFACTOR}, Fred, \sigma_0) = \{\sigma_0\}$
$New(\text{CODE}, Fred, \sigma_1, \sigma_3) = \{cm\}$	$ResAb(\text{REFACTOR}, Fred, \sigma_0) = \emptyset$
$Res^-(\text{CODE}, Fred, \sigma_1) = \{\sigma_1\}$	
$Res_0^+(\text{CODE}, Fred, \sigma_1) = \{\sigma_1\}$	$ResN(\text{REFACTOR}, Fred, \sigma_1) = \{\sigma_0\}$
	$ResAb(\text{REFACTOR}, Fred, \sigma_1) = \emptyset$
$ResN(\text{CODE}, Fred, \sigma_1) = \{\sigma_1\}$	
$ResAb(\text{CODE}, Fred, \sigma_1) = \emptyset$	$ResN(\text{REFACTOR}, Fred, \sigma_2) = \{\sigma_2\}$
	$ResAb(\text{REFACTOR}, Fred, \sigma_2) = \emptyset$
$ResN(\text{DEBUG}, Fred, \sigma_0) = \{\sigma_0\}$	
$ResAb(\text{DEBUG}, Fred, \sigma_0) = \emptyset$	$ResN(\text{REFACTOR}, Fred, \sigma_3) = \{\sigma_2\}$
	$ResAb(\text{REFACTOR}, Fred, \sigma_3) = \emptyset$



Rysunek 2: Graf zależności - Programista Fred

### 2.7.3 Kapelusznik w krainie czarów

Rozważmy następującą dziedzinę:

**initially**  $\neg \text{hatterMad} \wedge \text{cakeExists} \wedge \text{elixirExists}$   
 $(\text{DRINK}, \text{Hatter})$  **causes**  $\text{hatterMad}$  **if**  $\text{elixirExists}$   
 $(\text{EAT}, \text{Hatter})$  **typically causes**  $\neg \text{hatterMad}$  **if**  $\text{hatterMad}$   
**impossible**  $(\text{EAT}, \text{Hatter})$  **if**  $\neg \text{cakeExists}$   
 $(\text{DRINK}, \text{Hatter})$  **releases**  $\text{elixirExists}$  **if**  $\text{elixirExists}$   
 $(\text{EAT}, \text{Hatter})$  **causes**  $\neg \text{cakeExists}$

Zbiór stanów dopuszczalnych to  $\Sigma = \{\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7\}$ , gdzie:  
 $\sigma_0 = \{\neg h, c, e\}$ ,  $\sigma_1 = \{h, c, e\}$ ,  $\sigma_2 = \{h, \neg c, e\}$ ,  $\sigma_3 = \{\neg h, \neg c, e\}$ ,  $\sigma_4 = \{h, \neg c, \neg e\}$ ,  
 $\sigma_5 = \{h, c, \neg e\}$ ,  $\sigma_6 = \{\neg h, c, \neg e\}$ ,  $\sigma_7 = \{\neg h, \neg c, \neg e\}$ , zaś  $h, c, e$  oznaczają odpowiednio *hatterMad*, *cakeExists*, *elixirExists*.

$Res_0(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_4, \sigma_5\}$   
 $New(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0, \sigma_1) = \{h, e\}$   
 $New(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0, \sigma_2) = \{h, c, e\}$   
 $New(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0, \sigma_4) = \{h, c, e\}$   
 $New(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0, \sigma_5) = \{h, e\}$   
 $Res^-(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \{\sigma_1, \sigma_5\}$   
 $Res_0^+(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_4, \sigma_5\}$

$ResN(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \{\sigma_1, \sigma_5\}$   
 $ResAb(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \emptyset$

$Res_0(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_4, \sigma_5\}$   
 $New(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0, \sigma_2) = \{h, c\}$   
 $New(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0, \sigma_3) = \{c\}$   
 $New(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0, \sigma_4) = \{h, c, e\}$   
 $New(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0, \sigma_7) = \{c, e\}$   
 $Res^-(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \{\sigma_3\}$   
 $Res_0^+(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_4, \sigma_5\}$

$ResN(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \{\sigma_3\}$   
 $ResAb(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_0) = \emptyset$

$ResN(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_1) = \{\sigma_1, \sigma_5\}$   
 $ResAb(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_1) = \emptyset$

$ResN(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_1) = \{\sigma_3\}$   
 $ResAb(\text{EAT}, \text{Hatter}, \sigma_1) = \{\sigma_2\}$

$ResN(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_2) = \{\sigma_2, \sigma_4\}$   
 $ResAb(\text{DRINK}, \text{Hatter}, \sigma_2) = \emptyset$

$$\begin{aligned} ResN(EAT, Hatter, \sigma_2) &= \emptyset \\ ResAb(EAT, Hatter, \sigma_2) &= \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(DRINK, Hatter, \sigma_3) &= \{\sigma_2, \sigma_4\} \\ ResAb(DRINK, Hatter, \sigma_3) &= \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(EAT, Hatter, \sigma_3) &= \emptyset \\ ResAb(EAT, Hatter, \sigma_3) &= \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(DRINK, Hatter, \sigma_4) &= \{\sigma_4\} \\ ResAb(DRINK, Hatter, \sigma_4) &= \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(EAT, Hatter, \sigma_4) &= \emptyset \\ ResAb(EAT, Hatter, \sigma_4) &= \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(DRINK, Hatter, \sigma_5) &= \{\sigma_5\} \\ ResAb(DRINK, Hatter, \sigma_5) &= \emptyset \end{aligned}$$

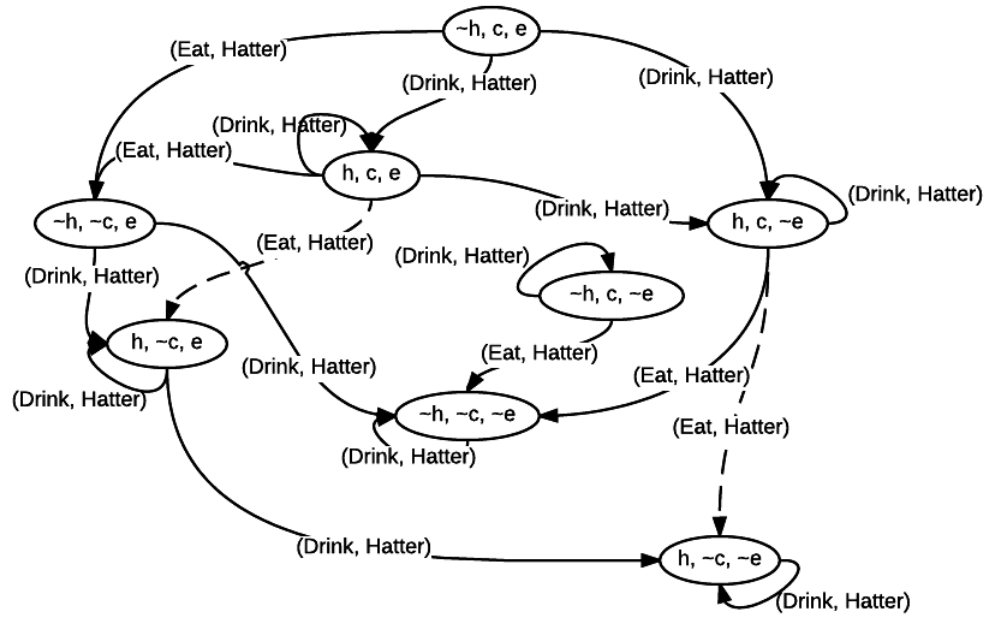
$$\begin{aligned} ResN(EAT, Hatter, \sigma_5) &= \{\sigma_7\} \\ ResAb(EAT, Hatter, \sigma_5) &= \{\sigma_4\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(DRINK, Hatter, \sigma_6) &= \{\sigma_6\} \\ ResAb(DRINK, Hatter, \sigma_6) &= \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(EAT, Hatter, \sigma_6) &= \{\sigma_7\} \\ ResAb(EAT, Hatter, \sigma_6) &= \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(DRINK, Hatter, \sigma_7) &= \{\sigma_7\} \\ ResAb(DRINK, Hatter, \sigma_7) &= \emptyset \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ResN(EAT, Hatter, \sigma_7) &= \emptyset \\ ResAb(EAT, Hatter, \sigma_7) &= \emptyset \end{aligned}$$



Rysunek 3: Graf zależności - Kapelusznik w krainie czarów

### 3 Język kwerend

W celu zadawania pytań dotyczących świata opisanego powyższym językiem został stworzony język kwerend. Składa się on z następujących pytań (kwerend) pozwalających uzyskać odpowiedzi typu PRAWDA/FAŁSZ:

#### 3.1 Syntaktyka kwerend

- Q1 - Czy podany program działań jest wykonywalny zawsze/kiedykolwiek?  
`always/ever executable SC`  
Zdanie to mówi, że wykonując podany ciąg akcji  $SC$  z dowolnego, niesprzecznego stanu zawsze(**always**) osiągnięty zostanie niespreczny stan końcowy, lub istnieje przynajmniej jedna ścieżka z dowolnego z tych stanów do poprawnego stanu wynikowego(**ever**).
- Q2 - Czy wykonanie podanego programu działań z dowolnego stanu spełniającego warunek  $\pi$  prowadzi zawsze/kiedykolwiek/typowo do stanu z którego osiągalny jest (zawsze/kiedykolwiek/typowo) stan spełniający warunek celu  $\gamma$  ?  
`always/ever/typically accessible  $\gamma$  if  $\pi$  when  $SC$`
- Q3 - Czy z dowolnego stanu spełniającego warunek  $\pi$  cel  $\gamma$  jest osiągalny zawsze/kiedykolwiek/na ogół?  
`always/ever/typically accessible  $\gamma$  if  $\pi$`
- Q4 - Czy wskazany wykonawca jest zaangażowany w realizację programu zawsze/kiedykolwiek?  
`always/ever partakes  $w$  when  $SC$`
- Q5 - Czy po wykonaniu podanego programu działań zawsze/kiedykolwiek/na ogół formuła  $\gamma$  jest spełniona w stanie wynikowym?  
`always/ever/typically  $\gamma$  after  $SC$  from  $\pi$`   
Kwerenda ta sprawdza, czy po wykonaniu podanego scenariusza (programu działań) ze stanu spełniającego warunek  $\pi$ , bądź ze stanu początkowego (w przypadku  $\pi \Leftrightarrow \top$ ) zawsze/kiedykolwiek/na ogół w stanie wynikowym spełniona jest formuła  $\gamma$ .

### 3.2 Semantyka kwerend

Kwerenda Q jest prawdziwa względem dziedziny D wtedy i tylko wtedy gdy

1. Jeśli Q jest zdaniem typu Q1:

- z warunkiem **always**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN) \in D} \forall_{\Phi_S} \Phi_S(((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n)), \sigma_0)$  jest określona
- z warunkiem **ever**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN) \in D} \exists_{\Phi_S} \Phi_S(((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n)), \sigma_0)$  jest określona

2. Jeśli Q jest zdaniem typu Q2:

- z warunkiem **always**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN), \sigma_0 \models \pi, SC=((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n))} \Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla każdej funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$
- z warunkiem **ever**:  $\exists_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN), \sigma_0 \models \pi, SC=((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n))} \Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$
- z warunkiem **typically**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, Res_0^+, ResN), \sigma_0 \models \pi, SC=((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n))} \Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$

3. Jeśli Q jest zdaniem typu Q3:

- z warunkiem **always**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN), \sigma_0 \models \pi} \forall_{SC=((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n))}$  taki, że  $\Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla każdej funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$
- z warunkiem **ever**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN), \sigma_0 \models \pi} \exists_{SC=((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n))}$  taki, że  $\Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$
- z warunkiem **typically**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, Res_0^+, ResN), \sigma_0 \models \pi} \exists_{SC=((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n))}$  taki, że  $\Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$

4. Jeśli Q jest zdaniem typu Q4:

- z warunkiem **always**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN), \sigma_0 \models \pi} \exists_{SC=((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n))}$  taki, że  $\Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla każdej funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\forall_{(A_i, w_i) \in SC} \Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$
- z warunkiem **ever**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN), \sigma_0 \models \pi} \exists_{SC=((A_1, w_1), \dots, (A_n, w_n))}$  taki, że  $\Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla każdej funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\exists_{(A_i, w_i) \in SC} \Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$

5. Jeśli Q jest zdaniem typu Q5:

- z warunkiem **always**:  $\forall_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN), \sigma_0 \models \pi}$  takie, że  $\Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$
- z warunkiem **ever**:  $\exists_{S=(\Sigma, \sigma_0, ResAb, ResN), \sigma_0 \models \pi}$  takie, że  $\Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$
- z warunkiem **typically**:  $\exists_{S=(\Sigma, \sigma_0, Res_0^+, ResN), \sigma_0 \models \pi}$  takie, że  $\Phi_S(SC, \sigma_0)$  jest określona dla funkcji  $\Phi_S$  oraz  $\Phi_S(SC, \sigma_0) \models \gamma$



### 3.3 Przykłady kwerend

#### 3.3.1 Gotujący John

- Scenariusz:  $SC = ((Shop, John), (Cook, John), (Eat, John))$   
Kwerenda: **always executable**  $SC$   
Odpowiedź: FALSE
- Scenariusz:  $SC = ((Shop, John), (Cook, John), (Eat, John))$   
Kwerenda: **ever executable**  $SC$   
Odpowiedź: TRUE
- Scenariusz:  $SC = ((Cook, John), (Eat, John))$   
Kwerenda: **always accessible hungry if angry when**  $SC$   
Odpowiedź: TRUE
- Scenariusz:  $SC = ((Cook, John), (Eat, John))$   
Kwerenda: **ever accessible hungry if**  $\neg$ emptyFridge  
Odpowiedź: TRUE

#### 3.3.2 Programiści Fred i Bill

- Scenariusz:  $SC = ((Code, Fred), (Code, Bill), (Code, Fred))$   
Kwerenda: **always executable**  $SC$   
Odpowiedź: FALSE
- Scenariusz:  $SC = ((Code, Fred), (Code, Bill), (Code, Fred))$   
Kwerenda: **ever executable**  $SC$   
Odpowiedź: TRUE
- Scenariusz:  $SC = ((Code, Fred), (Code, Bill))$   
Kwerenda: **typically accessible compiles if cleanCode when**  $SC$   
Odpowiedź: TRUE
- Scenariusz:  $SC = ((Code, Fred), (Code, Bill))$   
Kwerenda: **always accessible compiles if cleanCode when**  $SC$   
Odpowiedź: FALSE
- Scenariusz:  $SC = ((Code, Fred), (Code, Bill))$   
Kwerenda: **ever accessible compiles if**  $\neg$ compiles  
Odpowiedź: TRUE

#### 3.3.3 Alicja w krainie czarów

- Scenariusz:  $SC = ((Eat, Alice), (Drink, \epsilon), (Eat, Alice))$   
Kwerenda: **always executable**  $SC$   
Odpowiedź: FALSE

- Scenariusz:  $SC = ((Eat, Alice), (Drink, \epsilon), (Eat, Alice))$   
Kwerenda: **ever executable**  $SC$   
Odpowiedź: TRUE
- Scenariusz:  $SC = ((Eat, Alice), (Drink, \epsilon), (Eat, Alice))$   
Kwerenda: **ever partakes**  $Rabbit$  **when**  $SC$   
Odpowiedź: TRUE
- Scenariusz:  $SC = ((Drink, Rabbit), (Eat, Hatter))$   
Kwerenda: **typically accessible**  $\neg hatterMad$  **if**  $hatterMad$   
 $\wedge \neg cakeExists \wedge elixirExists$  **when**  $SC$   
Odpowiedź: TRUE

**Podział prac:**

- Dragan Łukasz - opis konstrukcji modeli, syntaktyka kwerend
- Flis Mateusz - przykłady kwerend
- Izert Piotr - przykład (lampka Toma)
- Pielat Mateusz - przykład (programiści Fred i Bill)
- Rząd Przemysław - przykład (Alicja w krainie czarów)
- Siry Roman - grafy zależności
- Waszkiewicz Piotr - semantyka języka, semantyka kwerend
- Zawadzka Anna - definicja i syntaktyka języka, przykład (gotujący John)