

Inteligentne systemy robotyczne

Projekt

Zima 2017/2018

Arkadiusz Piórkowski

30 grudnia 2017

Zadanie

Zadanie wybierania czerwonych sześciątów

Należy zaprojektować system sterowania manipulatorem o sześciu stopniach swobody wyposażonym w chwytak dwupalczasty z otwarciem sterowanym w sposób ciągły. Zadaniem robota jest wrzucanie czerwonych sześciątów poruszających się na taśmociągu do pojemnika. Nad taśmociągum umieszczona jest typowa kamera RGB wchodząca w skład systemu. Na taśmociągu poruszają się sześciąty o różnych rozmiarach i kolorach. Szybkość ruchu taśmociągu nie jest stała - taśmociąg nie jest sterowany przez projektowany system. Jego prędkość mieści się w zakresie 0.05 – 0.1 m/s.

Stosując formalizm przedstawiony na wykładzie należy:

- Określić strukturę systemu w kategoriach agentów,
- Dla każdego agenta należy zdefiniować podsystem sterowania, efektory i receptory wirtualne,
- Dla tych podsystemów określić:
 - Automat skończony sterujący ich pracą,
 - Zachowania,
 - Warunki początkowe i końcowe zachowań,
 - Funkcje przejścia (w postaci matematycznej i DFD),
 - Zawartość pamięci wewnętrznej oraz buforów wejściowych i wyjściowych,
 - Krok dyskretyzacji czasu dla każdego podsystemu.

Spis treści

1	Założenia	3
2	Struktura systemu	4
2.1	Podsystem sterowania	5
2.1.1	Zawartość pamięci wewnętrznej oraz buforów wejściowych i wyjściowych	5
2.1.2	Automat skończony, zachowania, warunki początkowe i końcowe	6
2.1.3	Funkcje przejścia	7
2.2	Wirtualny efektor	10
2.2.1	Zawartość pamięci wewnętrznej oraz buforów wejściowych i wyjściowych	11
2.2.2	Automat skończony, zachowania, warunki początkowe i końcowe	11
2.2.3	Funkcje przejścia	12
2.3	Wirtualny receptor	14
2.3.1	Zawartość pamięci wewnętrznej oraz buforów wejściowych i wyjściowych	15
2.3.2	Automat skończony, zachowania, warunki początkowe i końcowe	15
2.3.3	Funkcje przejścia	16
2.4	Kroki dyskretyzacji	16

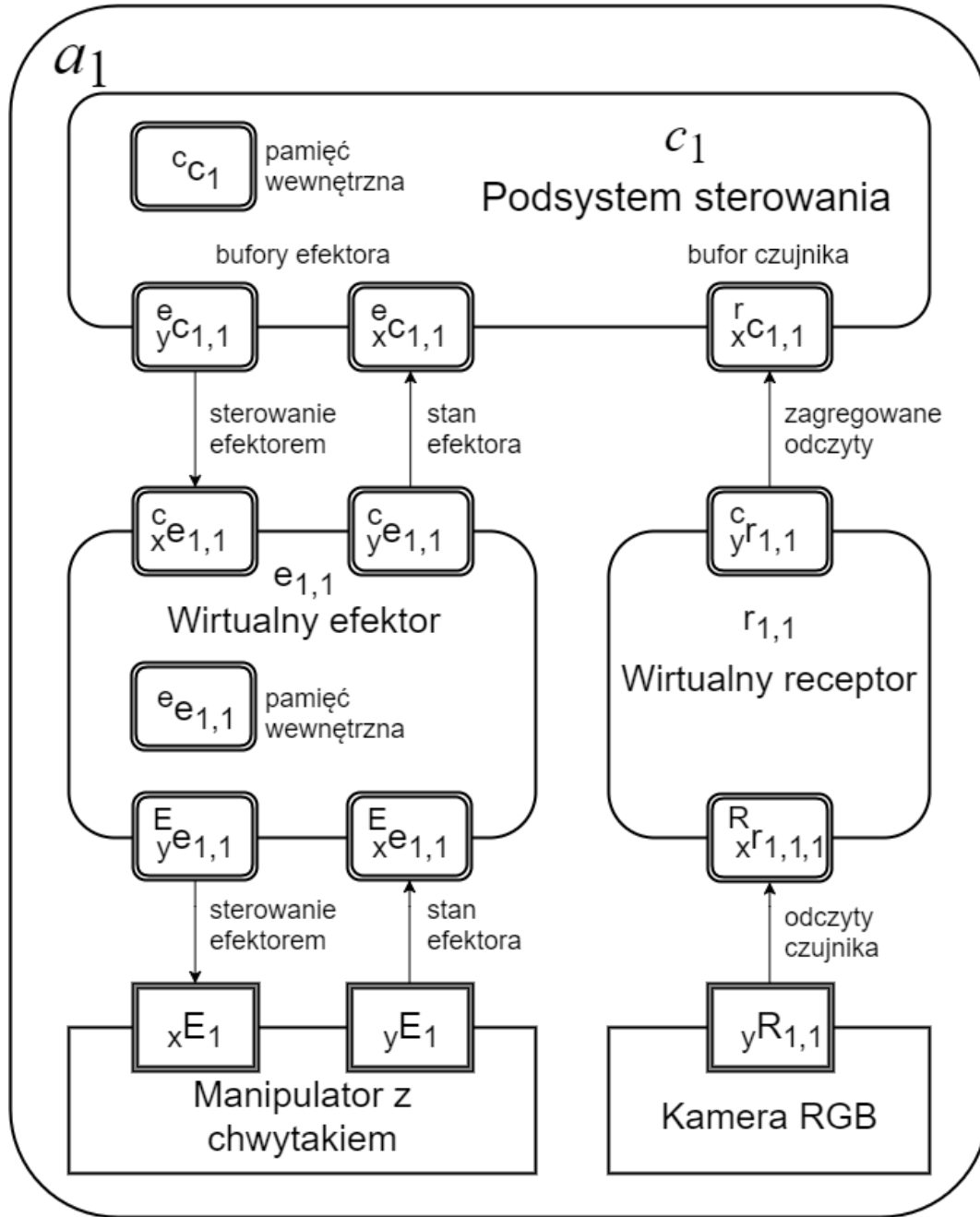
1 Założenia

Podczas projektowania systemu sterowania przyjęto następujące założenia

- W obszarze widzianym przez kamerę można znaleźć się maksymalnie jeden sześciąt,
- Obszar taśmociągu widziany przez kamerę jest osiągalny przez manipulator,
- Manipulator (efektor) nie powoduje zasłonięcia sześciąt podczas jego pobierania,
- Pozycja pojemnika, kamery, taśmociągu oraz podstawy manipulatora są znane (położenie układów współrzędnych związanych z elementami systemu),
- Chwytek pod wpływem zamknięcia (z określonym marginesem) nie generuje niszczącej siły względem elementu pobieranego,
- Otwarcie chwytaka sterowanego w sposób ciągły jest podawane w jednostkach długości, które są tłumaczone na odpowiednią wartość sterującą przez regulatory rzeczywistego efektora,
- Maksymalna prędkość końcówki manipulatora wynosi 1 m/s.

2 Struktura systemu

Projektowany system składa się z pojedynczego agenta $\hat{a} = \{a_1\}$. Na rysunku 1 przedstawiono przyjętą strukturę systemu.



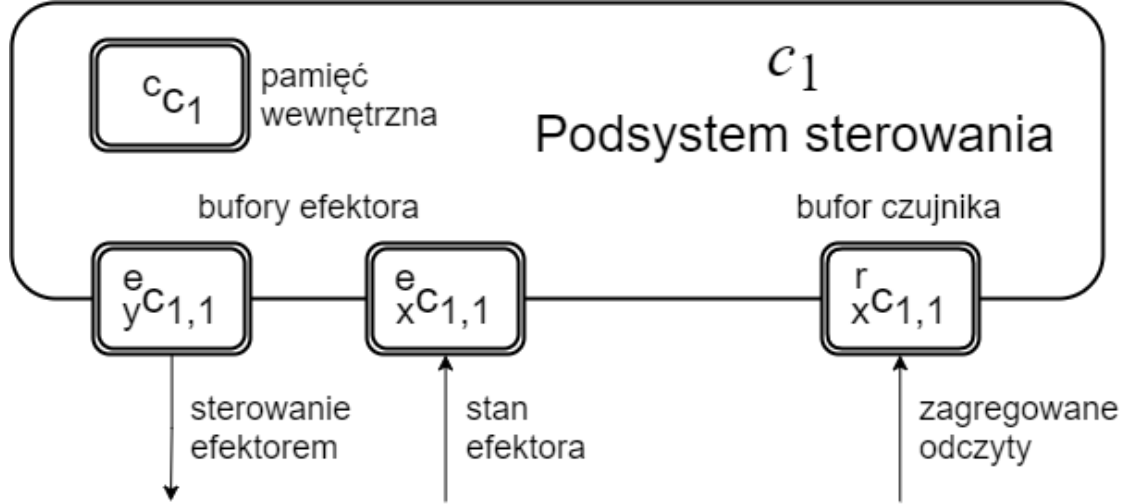
Rysunek 1: Struktura systemu sterowania

Upostaciowiony agent a_1 składa się z następujących podsystemów:

- **Wirtualny receptor $r_{1,1}$** - interfejs między układem sterowania, a **rzeczywistym efekтором** (E_1) będącym manipulatorem o sześciu stopniach swobody wyposażonym w chwytak dwupalczasty z otwarciem sterowanym w sposób ciągły. Wirtualny efektor upraszcza polecenia oraz informację przepływające między manipulatorem a podsystemem sterowania.

- **Wirtualny efektor $e_{1,1}$** - interfejs między układem sterowania, a **rzeczywistym receptorem (R_1)** będącym typową kamerą RGB umieszczoną nad taśmociągami. Wirtualny receptor jest odpowiedzialny za agregację informacji przyłączanych z kamery (rzeczywisty receptor) i przesłanie ich do posystemu sterowania w celu wyznaczenia kolejnych kroków algorytmu.
- **Podsystem sterowania c_1** - odpowiedzialny komunikację z efekтором oraz czujnikiem i podejmujący decyzję o kolejnych krokach algorytmu.

2.1 Podsystem sterowania



Rysunek 2: Podsystem sterowania

2.1.1 Zawartość pamięci wewnętrznej oraz buforów wejściowych i wyjściowych

1. Pamięć wewnętrzna podsystemu sterowania:

- ${}^{c_1} [{}^0_P T_C, {}^0_T_G, {}^E_T_d, {}^E_P T_d, k, w_{max}, w_p, n_d, STATUS]$ - pozycja pojemnika względem układu globalnego, pozycja kamery względem układu globalnego, pożądana pozycja obiektu względem końcówki (chwybaka), pożądana pozycja pojemnika względem końcówki (chwybaka), margines zamknięcia chwybaka, maksymalne rozwarcie chwybaka, poprzednie rozwarcie chwybaka, pożądana liczba kroków efektora równa ilorazowi kroku dyskretyzacji czasu podsystemu sterowania i kroku dyskretyzacji czasu wirtualnego efektora, status podsystemu przyjmuje wartości "FREE" (pobieranie obiektu lub bezczynność) lub "BUSY" (odkładanie pobranego obiektu do pojemnika).

2. Bufor z wirtualnego receptora:

- ${}^{r_1} [{}^C_T_c, w]$ - aktualna pozycja rozpoznawanego obiektu (czerwonego sześciangu) względem kamery, szerokość obiektu.

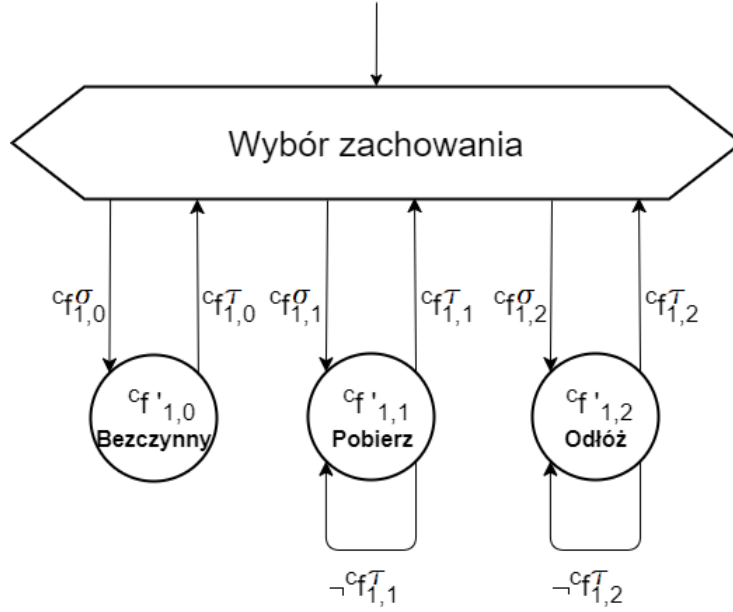
3. Bufor z wirtualnego efektora:

- ${}^{e_1} [{}^0_T_c]$ - aktualna kartezjańska pozycja bezwzględna.

4. Bufor do wirtualnego efektora:

- ${}^{e_1} [{}^E_T_{d,c}, n_d, w_e]$ - względna kartezjańska pozycja pożądana oraz liczba kroków, w których efektor ma ją osiągnąć, rozwarcie chwybaka.

2.1.2 Automat skończony, zachowania, warunki początkowe i końcowe



Rysunek 3: Automat skończony zachowań podsystemu sterowania

Podsystem sterowania ma określone trzy zachowania: “Bezczynny”, “Pobierz” oraz “Odlóż”.

- Warunki początkowe i końcowe dla zachowania “Bezczynny”:

$${}_+^c B_{1,0}({}^c f'_{1,0}, {}^c f_{1,0}^{\tau})$$

$${}^c f_{1,0}^{\sigma} \triangleq (\neg \text{new}(x^r c_{1,1}) \wedge \text{STATUS} == \text{FREE}) = (\neg \text{new}(G^c T_c, w) \wedge \text{STATUS} == \text{FREE})$$

$${}^c f_{1,0}^{\tau} \triangleq \text{True}$$

Generator następnego stanu wirtualnego efektora:

$${}_y c_{1,1}^{i+1} = {}^c f'_{1,0}(x c_{1,1}^i)$$

- Warunki początkowe i końcowe dla zachowania “Pobierz”:

$${}_+^c B_{1,1}({}^c f'_{1,1}, {}^c f_{1,1}^{\tau})$$

$${}^c f_{1,1}^{\sigma} \triangleq (\text{new}(x^r c_{1,1}) \wedge \text{STATUS} == \text{FREE}) = (\text{new}(G^c T_c, w) \wedge \text{STATUS} == \text{FREE})$$

$${}^c f_{1,1}^{\tau} \triangleq (\text{STATUS} == \text{BUSY})$$

Generator następnego stanu wirtualnego efektora:

$${}_y c_{1,1}^{i+1} = {}^c f'_{1,1}(x c_{1,1}^i)$$

- Warunki początkowe i końcowe dla zachowania “Odlóż”:

$${}_+^c B_{1,2}({}^c f'_{1,2}, {}^e f_{1,2}^{\tau})$$

$${}^c f_{1,2}^{\sigma} \triangleq (\text{STATUS} == \text{BUSY}) = {}^c f_{1,1}^{\tau}$$

$${}^c f_{1,2}^{\tau} \triangleq (\text{STATUS} == \text{FREE})$$

Generator następnego stanu wirtualnego efektora:

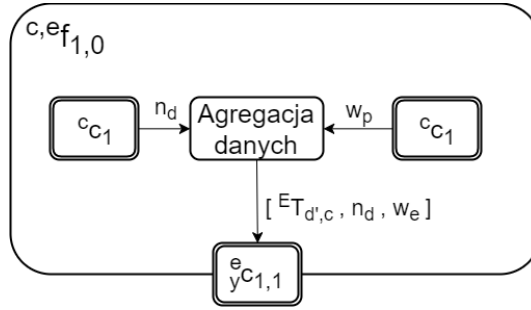
$${}_y c_{1,1}^{i+1} = {}^c f'_{1,2}(x c_{1,1}^i)$$

2.1.3 Funkcje przejścia

- Funkcje przejścia dla zachowania *“Bezczynny”*:

- Funkcja przejścia między podsystemem sterowania a efektem wirtualnym (brak zmiany położenia efektora - wczytanie danych z pamięci wewnętrznej):

$${}^e_y c_{1,1}^{i+1} \triangleq {}^{c,e} f'_{1,0}({}^c c_1^i) = \begin{cases} {}^E T_{d',c} = 0 \\ n_d = n_d \\ w_e = w_p \end{cases}$$



Rysunek 4: Funkcja przejścia podsystemu sterowania ${}^{c,e} f_{1,0}$

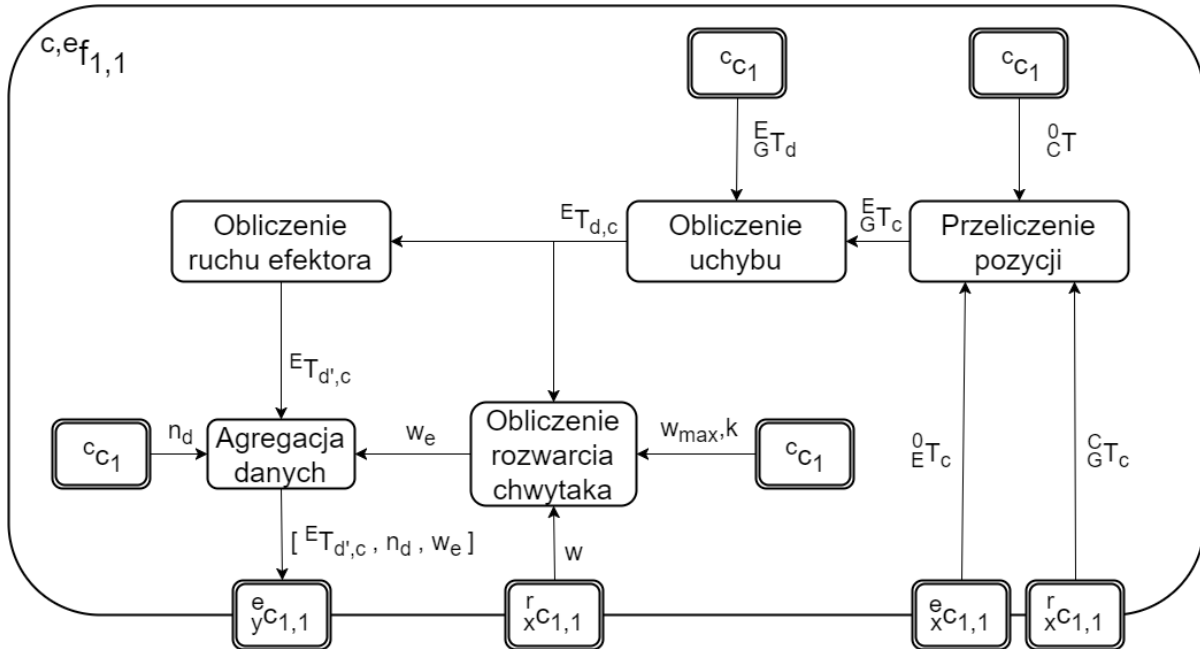
- Funkcja przejścia między podsystemem sterowania a pamięcią wewnętrzną (zawartość pamięci nie zmienia się):

$${}^c c_1^{i+1} \triangleq {}^{c,c} f'_{1,0}({}^c c_1^i) = {}^c c_1^i$$

- Funkcje przejścia dla zachowania *“Pobierz”*:

- Funkcja przejścia między podsystemem sterowania a efektem wirtualnym:

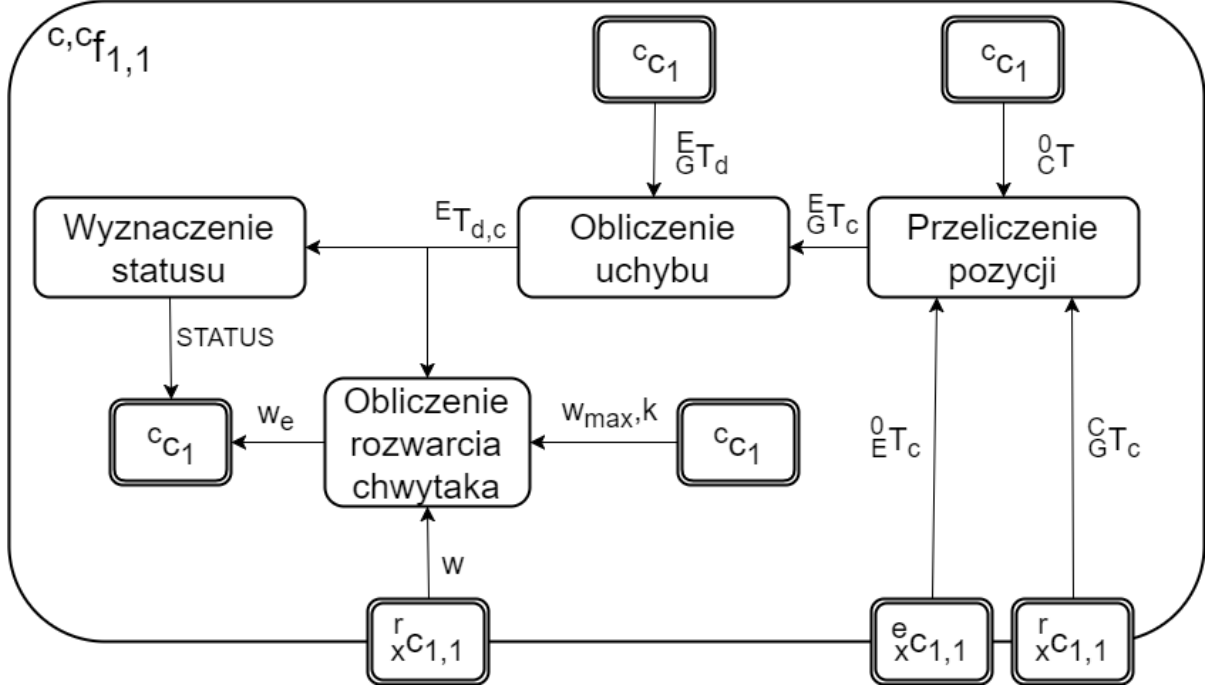
$${}^e_y c_{1,1}^{i+1} = {}^{c,e} f'_{1,1}({}^c c_1^i, {}^e c_{1,1}^i, {}^r_x c_{1,1}^i) = {}^{c,e} f'_{1,1}(n_d, w_{max}, k, {}^E_G T_d, {}^0_C T, {}^E_G T_c, {}^C_G T_c, w) = [{}^E T_{d',c}, n_d, w_e]$$



Rysunek 5: Funkcja przejścia podsystemu sterowania ${}^{c,e} f_{1,1}$

- Funkcja przejścia między podsystemem sterowania a pamięcią wewnętrzną:

$${}^c c_1^{i+1} = {}^{c,c} f'_{1,1}({}^c c_1^i, {}^e c_{1,x}^i, {}^r c_{1,1}^i, {}^r c_{1,1}^i) = {}^{c,c} f'_{1,1}(w_{max}, k, {}^E T_{d,C}^0, {}^0 T_{E,C}^0, {}^C T_{G,C}, w) = [STATUS, w_p]$$



Rysunek 6: Funkcja przejścia podsystemu sterowania ${}^{c,c} f_{1,1}$

- Opis bloków:

- * Przeliczenie pozycji obiektu do układu efektora:

$${}^E T_c = {}^0 T_c^{-1} {}^0 T_C {}^C T_c$$

- * Obliczenie uchybu:

$${}^E T_{d,c} = {}^E T_c {}^E T_d^{-1}$$

- * Obliczenie ruchu efektora:

$${}^E T_{d',c} = R({}^E T_{d,c})$$

- * Obliczenie rozwarcia chwytaka (w momencie osiągnięcia przez końcówkę pożądaną pozycję względem obiektu chwytak zamyka się na szerokość równą szerokości sześcianu pomniejszoną o pewien margines, w przeciwnym przypadku chwytak jest rozwarzony na maksymalną szerokość):

IF ${}^E T_{d',c} == 0$ THEN

$w_e = w - k$;

ELSE

$w_e = w_{max}$;

ENDIF

- * Wyznaczenie statusu (w momencie osiągnięcia przez końcówkę pożądaną pozycję względem obiektu status podsystemu sterowania zmienia się na BUSY, zaś w przeciwnym przypadku pozostaje FREE):

IF ${}^E T_{d',c} == 0$ THEN

$STATUS = BUSY$;

ELSE

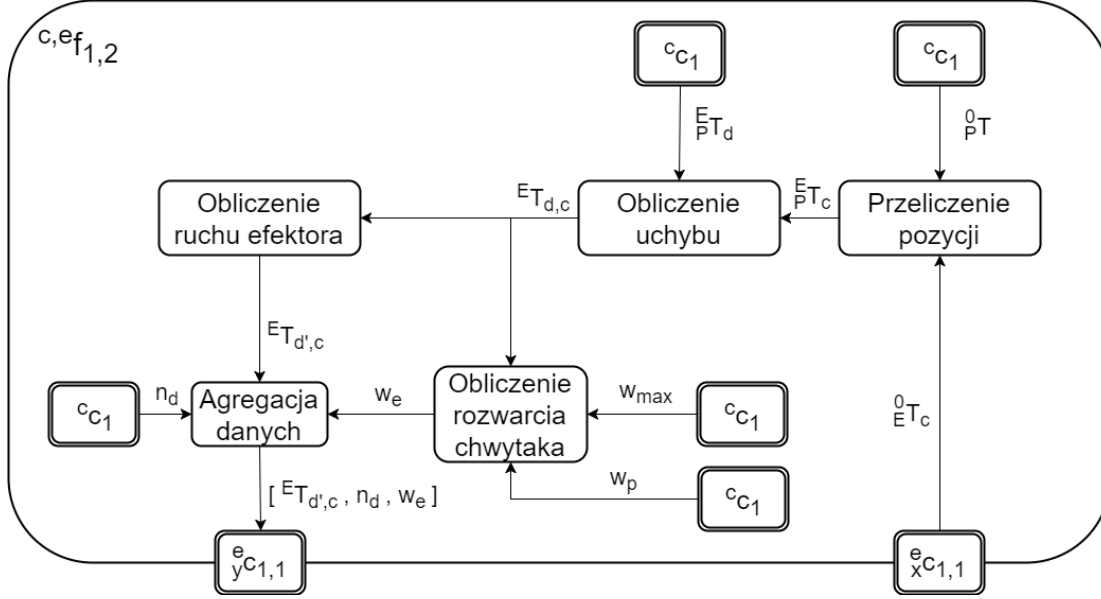
$STATUS = FREE$;

ENDIF

- Funkcje przejścia dla zachowania “Odlóż”:

- Funkcja przejścia między podsystemem sterowania a efektem wirtualnym:

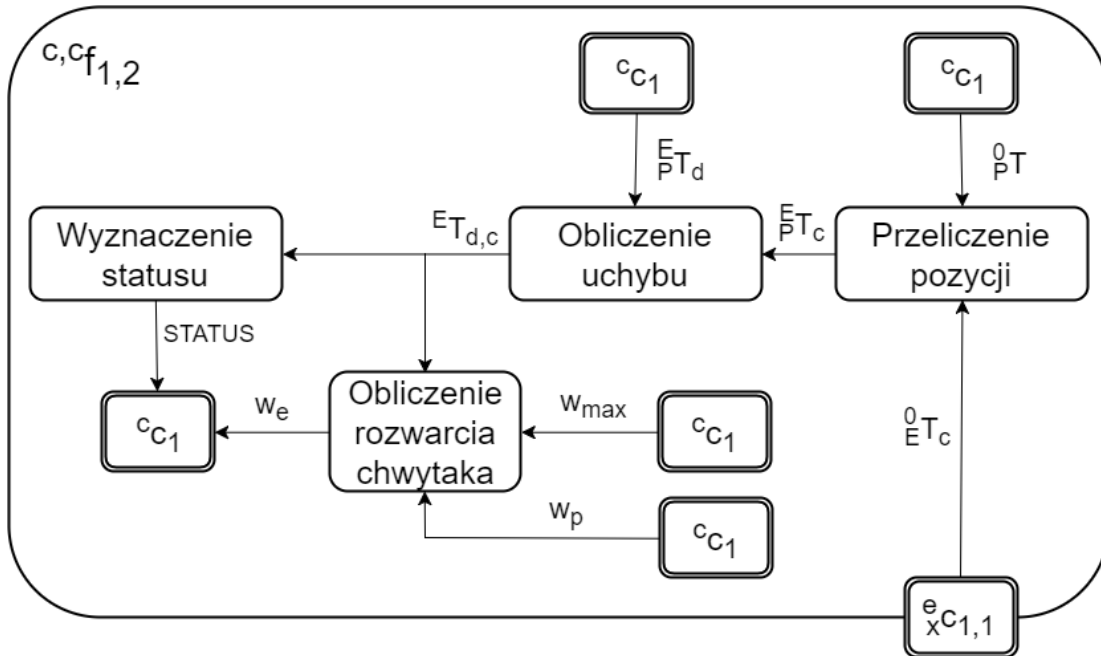
$${}^e_y c_{1,1}^{i+1} = {}^{c,e} f'_{1,2}({}^c c_{1,x}^i, {}^e c_{1,1}^i) = {}^{c,e} f'_{1,2}(n_d, w_{max}, w_p, {}^E_P T_d, {}^0_P T, {}^0_E T_c) = [{}^E T_{d',c}, n_d, w_e]$$



Rysunek 7: Funkcja przejścia podsystemu sterowania ${}^{c,e} f_{1,2}$

- Funkcja przejścia między podsystemem sterowania a pamięcią wewnętrzną:

$${}^c c_1^{i+1} = {}^{c,c} f'_{1,2}({}^c c_{1,x}^i, {}^e c_{1,1}^i) = {}^{c,c} f'_{1,2}(w_{max}, w_p, {}^E_P T_d, {}^0_P T, {}^0_E T_c) = [STATUS, w_p]$$



Rysunek 8: Funkcja przejścia podsystemu sterowania ${}^{c,c} f_{1,2}$

– Opis bloków:

* Przeliczenie pozycji pojemnika do układu efektora:

$${}^E_P T_c = {}^0_E T_c^{-1} {}^0_P T$$

* Obliczenie uchybu:

$${}^E T_{d,c} = {}^E_P T_c {}^E_P T_d^{-1}$$

Obliczenie ruchu efektora:

$${}^E T_{d',c} = R({}^E T_{d,c})$$

* Obliczenie rozwarcia chwytaka (w momencie osiągnięcia przez końcówkę pożądaną pozycję względem pojemnika chwytak rozwiera się szerokość maksymalną, zaś w przeciwnym przypadku chwytak pozostaje zwarty na taką samą szerokość co w poprzednim kroku):

IF ${}^E T_{d',c} == 0$ THEN

$w_e = w_{max}$;

ELSE

$w_e = w_p$;

ENDIF

* Wyznaczenie statusu (w momencie osiągnięcia przez końcówkę pożądaną pozycję względem pojemnika status podsystemu sterownia zmienia się na FREE, zaś w przeciwnym przypadku pozostaje BUSY):

IF ${}^E T_{d',c} == 0$ THEN

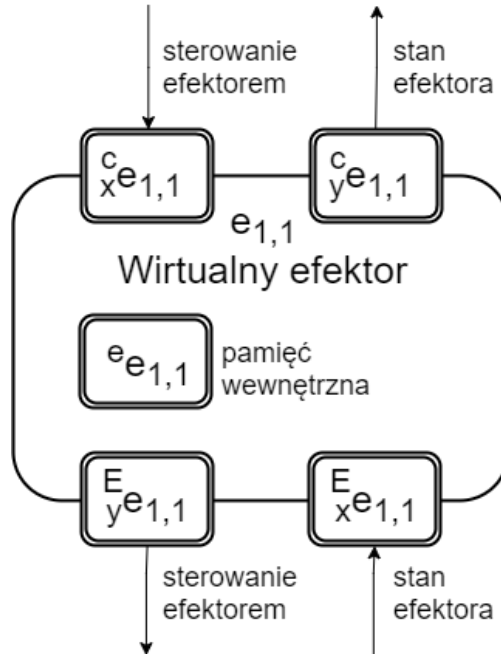
$STATUS = FREE$;

ELSE

$STATUS = BUSY$;

ENDIF

2.2 Wirtualny efektor



Rysunek 9: Wirtualny efektor

2.2.1 Zawartość pamięci wewnętrznej oraz buforów wejściowych i wyjściowych

1. Pamięć wewnętrzna wirtualnego efektora:

- ${}^e e_{1,1} [\Theta_p, w_p]$ - poprzednie położenie stawów (wykorzystywane przy rozwiązywaniu odwrotnego zadania kinemtyki), poprzednie rozwarcie chwytaka.

2. Bufor wejściowy od podsystemu sterowania:

- ${}^c e_{1,1} [{}^E T_{d',c}, n_d, w_e]$ - względna kartezjańska pozycja pożądana oraz liczba kroków zachowania, rozwarcie chwytaka.

3. Bufor wyjściowy do podsystemu sterowania:

- ${}^c e_{1,1} [{}^0 T_c]$ - aktualna kartezjańska pozycja bezwzględna.

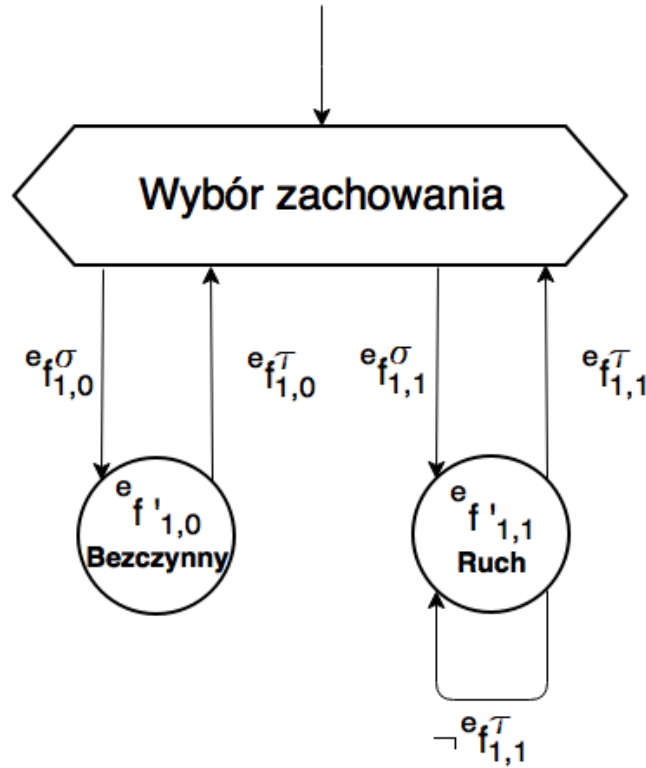
4. Bufory wejściowy od rzeczywistego efektora:

- ${}^E e_{1,1} [m_c]$ - aktualne położenie wałów silników.

5. Bufory wyjściowy do rzeczywistego efektora:

- ${}^E e_{1,1} [m_{d'}, w_e]$ - pożądaną przyrost położenia wałów silników, rozwarcie chwytaka.

2.2.2 Automat skończony, zachowania, warunki początkowe i końcowe



Rysunek 10: Automat skończony zachowań wirtualnego efektora

Wirtualny efektor ma określone dwa zachowania: “Bezczynny” oraz “Ruch”.

- Warunki początkowe i końcowe dla zachowania *“Bezczynny”*:

$${}^e_+B_{1,0}({}^e f'_{1,0}, {}^e f^\tau_{1,0})$$

$${}^e f^\tau_{1,0} \triangleq \text{True}$$

$${}^e f^\sigma_{1,0} \triangleq \neg \text{new}([{}^E T_{d',c}, n_d, w_e]) = \neg \text{new}([{}^c_x e_{1,1}])$$

Generator następnego stanu wirtualnego efektora:

$${}_y e_{1,1}^{i+1} = {}^e f'_{1,0}({}_x e_{1,1}^i)$$

- Warunki początkowe i końcowe dla zachowania *“Ruch”*:

$${}^e_+B_{1,1}({}^e f'_{1,1}, {}^e f^\tau_{1,1})$$

$${}^e f^\tau_{1,1} \triangleq \text{osiągnięto założoną liczbę kroków } n_d$$

$${}^e f^\sigma_{1,1} \triangleq \text{new}([{}^E T_{d',c}, n_d, w_e]) = \text{new}([{}^c_x e_{1,1}]) = \neg {}^e f^\sigma_{1,0}$$

Generator następnego stanu wirtualnego efektora:

$${}_y e_{1,1}^{i+1} = {}^e f'_{1,1}({}_x e_{1,1}^i)$$

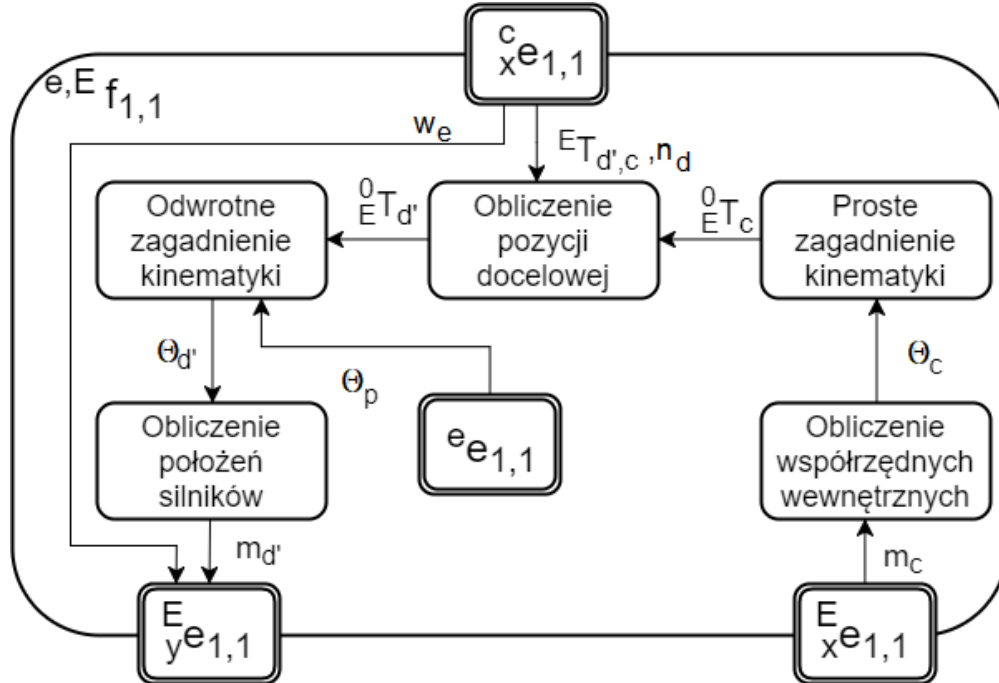
Wielkość n_d określa liczbę kroków zachowania, która jest równa ilorazowi kroku dyskretyzacji podsystemu sterowania i kroku dyskretyzacji wirtualnego efektora. W jego wyniku, każda funkcja przejścia jest wykonywana n_d razy w wyniku czego za każdym razem uaktualniane są bufor do kontaktu z rzeczywistym manipulatorem i pamięć wewnętrzna. Co n_d kroków uaktualniane są bufor do kontaktu z podsystemem sterowania.

2.2.3 Funkcje przejścia

- Funkcje przejścia dla zachowania *“Ruch”*:

- Funkcja przejścia między efekтором wirtualnym a efekтором rzeczywistym:

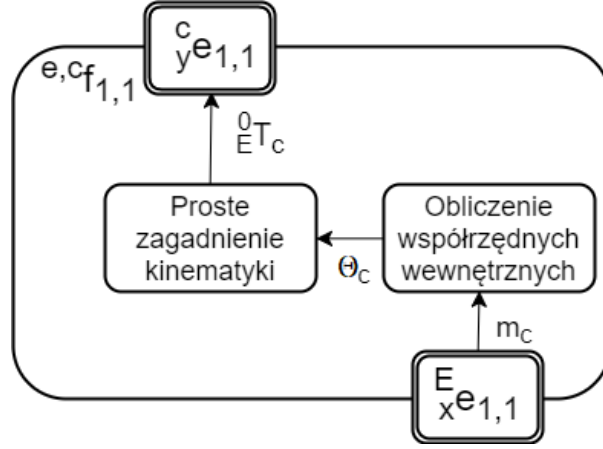
$${}_y e_{1,1}^{i+1} = {}^{e,E} f'_{1,1}({}^c_x e_{1,1}^i, {}^e e_{1,1}^i, {}^E e_{1,1}^i) = {}^{e,E} f'_{1,1}(w_e, {}^E T_{d',c}, \Theta_p, m_c) = [m_{d'}, w_e]$$



Rysunek 11: Funkcja przejścia wirtualnego efektora ${}^{e,E} f'_{1,1}$

- Funkcja przejścia między efekтором wirtualnym a podsystemem sterowania:

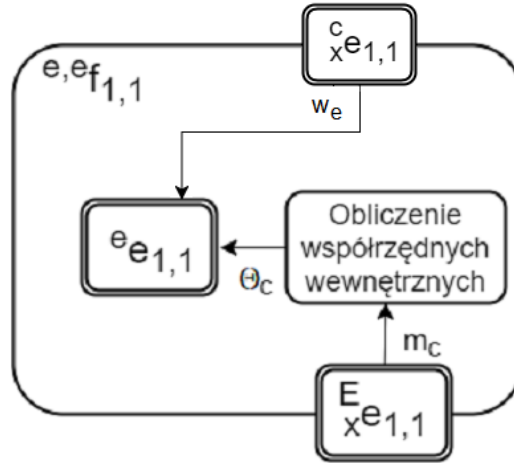
$${}^c_y e_{1,1}^{i+1} = {}^{e,c} f'_{1,1}({}^E_x e_{1,1}^i) = {}^{e,c} f'_{1,1}(m_c) = {}^0_E T_c$$



Rysunek 12: Funkcja przejścia wirtualnego efektora ${}^{e,c} f_{1,1}$

- Funkcja przejścia między efekтором wirtualnym a pamięcią wewnętrzną (zapis do pamięci aktualnego położenia stawów i rozwarcia chwytaka):

$${}^e e_{1,1}^{i+1} = {}^{e,e} f'_{1,1}({}^c_y e_{1,1}^i, {}^E_x e_{1,1}^i) = {}^{e,c} f'_{1,1}(w_e, m_c) = [\Theta_c, w_e]$$



Rysunek 13: Funkcja przejścia wirtualnego efektora ${}^{e,e} f_{1,1}$

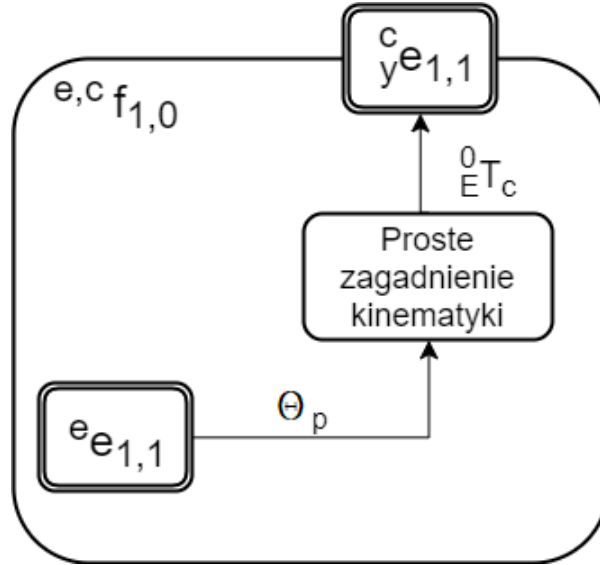
- Funkcje przejścia dla zachowania „Bezczynny”:

- Funkcja przejścia między efekтором wirtualnym a efekтором rzeczywistym (efektor rzeczywisty nie wykonuje ruchu, rozwarcie chwytaka pozostaje bez zmian-wczytanie z pamięci wewnętrznej):

$${}^{e,E} f'_{1,0} \triangleq {}^E_y e_{1,1}^{i+1} = \begin{cases} m_{d'} = 0 \\ w_e = w_p \end{cases}$$

- Funkcja przejścia między efekтором wirtualnym a podsystemem sterowania:

$${}^c_y e_{1,1}^{i+1} = {}^{e,c} f'_{1,0}({}^e e_{1,1}^i) = {}^{e,c} f'_{1,0}(\Theta_p) = {}^0_E T_c$$

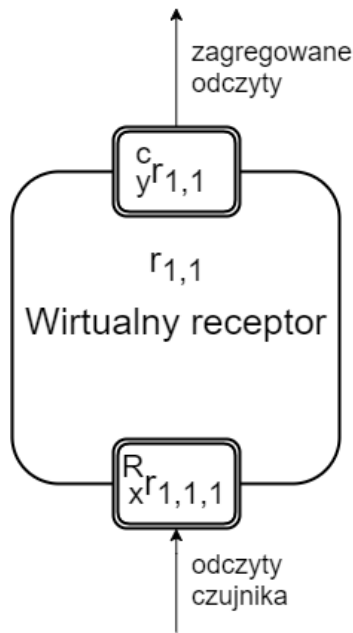


Rysunek 14: Funkcja przejścia wirtualnego efektora ${}^{e,c} f_{1,0}$

- Funkcja przejścia między efekтором wirtualnym a pamięcią wewnętrzną (nie występuje zapis nowych danych do bufora pamięci wewnętrznej efektora wirtualnego):

$${}^e e_{1,1}^{i+1} = {}^{e,e} f'_{1,0}({}^e e_{1,1}^i) = {}^{e,e} f'_{1,0}(\Theta_p, w_p) = {}^e e_{1,1}^i = [\Theta_p, w_p]$$

2.3 Wirtualny receptor



Rysunek 15: Wirtualny receptor

2.3.1 Zawartość pamięci wewnętrznej oraz buforów wejściowych i wyjściowych

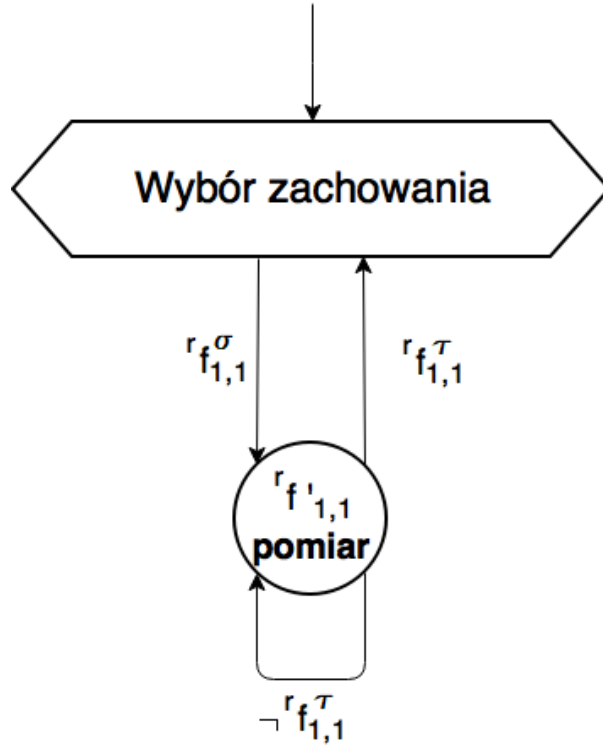
1. Bufor wejściowy od rzeczywistego receptora:

- ${}^R_x r_{1,1,1} [{}^C I_{RGB}]$ - obraz otrzymywany z kamery.

2. Bufor wyjściowy do podsystemu sterowania:

- ${}^c_y r_{1,1} [{}^C T_c, w]$ - aktualna pozycja rozpoznawanego obiektu(czerwonego sześciangu) względem kamery, szerokość obiektu.

2.3.2 Automat skończony, zachowania, warunki początkowe i końcowe



Rysunek 16: Jednostanowy automat skończony zachowań wirtualnego receptora

Dla wirtualnego receptora określono jedno zachowanie - “Pomiar”. Jedno zachowanie implikuje jednostanowy automat skończony. Założono, że jest to zachowanie nieskończone (bez wyzwalania), zatem warunek końcowy ${}^r f_{1,1}^\tau$ jest zawsze *False*, zaś początkowy ${}^r f_{1,1}^\sigma$ jest zawsze *True*.

Warunki początkowe i końcowe dla zachowania “Pomiar”:

$${}^r_+ B_{1,1}({}^r f'_{1,1}, {}^r f_{1,1}^\tau)$$

$${}^r f_{1,1}^\tau \triangleq \text{False}$$

$${}^r f_{1,1}^\sigma \triangleq \text{True}$$

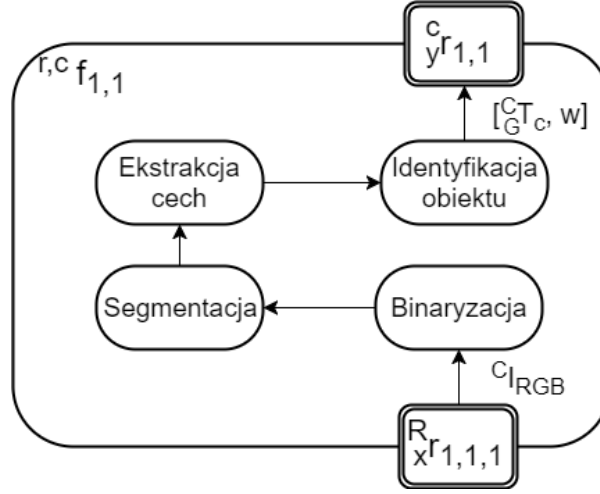
Generator następnego stanu wirtualnego receptora:

$${}^y r_{1,1}^{i+1} = {}^r f'_{1,1}({}^x r_{1,1}^i)$$

2.3.3 Funkcje przejścia

Funkcja przejścia między receptorem wirtualnym a podsystemem sterowania:

$${}^c_y r_{1,1}^{i+1} = {}^{r,c} f'_{1,1}({}^R_x r_{1,1,1}^i) = {}^{r,c} f'_{1,1}({}^C I_{RGB}) = [{}^C_G T_c, w]$$



Rysunek 17: Funkcja przejścia wirtualnego receptora ${}^{r,c} f_{1,1}$

Funkcja przejścia powoduje zagregowanie informacji otrzymywanych z rzeczywistego receptora. Obraz otrzymywany z kamery (bufor ${}^R_x r_{1,1,1}$) podlega operacjom w wyniku czego otrzymuje się położenie obiektu względem kamery oraz jego szerokość.

2.4 Kroki dyskretyzacji

Typowe kamery RGB charakteryzują się szybkością wyświetlania obrazów na poziomie 25 *fps*, co daje jedną klatkę co 40 ms. Dla maksymalnej prędkości taśmociągu równej 0.1m/s przyjęcie takiego kroku dyskretyzacji wprowadza maksymalną zmianę położenia obiektu równą 4 mm, co jest wartością akceptowalną. Zatem dobrano krok dyskretyzacji czasu wirtualnego receptora równy 40 ms. Mniejsza wartość kroku dyskretyzacji nie przyniosłaby dodatkowej korzyści, gdyż kolejne klatki obrazu z kamery pojawiałyby się niezmiennie co 40 ms (zatem nie następowałoby dostarczanie nowych informacji pomiędzy kolejnymi chwilami próbkowania). Wykorzystując powszechny protokół komunikacji Ethernet/IP o szybkości transmisji do 100Mbit/s opóźnienie transmisyjne, przy przesyłaniu klatek obrazu z kamery, można pominąć.

Dla wirtualnego efektora dobrano wartość kroku dyskretyzacji typowy dla sterowników robotów równy 1 ms. Uwzględniając maksymalną prędkość liniową końcówki manipulatora równą 1 m/s, można obliczyć maksymalną odległość o jaką przemieści się końcówka równą 1 mm. Jest to wartość, która pozwala na płynne oraz szybkie przemieszczanie końcówki manipulatora. Ze względu na niewielką ilość przesyłanych danych opóźnienia transmisyjne można pominąć.

Ze względu na znaczącą dokładność manipulatorów oraz większą prędkość końcówki manipulatora względem prędkości taśmociągu przyjęto okres próbkowania podsystemu sterowania równy 10 ms. W związku z tym wirtualny efektor wykonuje dziesięć kroków podczas jednego kroku podsystemu sterownia. Zatem co 1 cm jest wprowadzana korekta ustawienia końcówki względem punktu docelowego. Wartość ta jest odpowienia biorąc pod uwagę maksymalną odległość jaką może przebyć obiekt na taśmociągu.