

mgr inż. Piotr Fiertek  
Politechnika Gdańska  
Wydział Elektroniki Telekomunikacji  
i Informatyki  
Katedra Systemów Automatyki

## **MECHANIZM PODEJMOWANIA DECYZJI PRZEZ ROBOTA NA PRZYKŁADZIE STRZAŁU POŚREDNIEGO**

*Od wielu lat odbywają się międzynarodowe turnieje robotów grających w piłkę nożną organizowane przez organizację FIRA i RoboCup. Zawody te są doskonałą okazją do rozwijania różnego rodzaju algorytmów sterowania grupą robotów mobilnych potrafiących ze sobą współpracować w celu realizacji wspólnych zadań. Niniejsza praca przedstawia mechanizm podejmowania decyzji przez roboty, gwarantujący prawidłową realizację strzału pośredniego, w którym w celu umieszczenia piłki w bramce przeciwnika, jeden robot podaje piłkę drugiemu.*

### **MAKING A DECISION BY COOPERATIVE MOBILE ROBOTS IN ROBOT SOCCER COMPETITION**

*From many years robot soccer competitions are organized by the FIRA and the RoboCup organizations. These events are perfect occasions to research and develop variety algorithms of control group of mobile robots. This robots should cooperate with other robots to achieve common task. This paper presents structure of the control program and decision making module. Robot's cooperation is presented in the indirect shooting realization.*

#### **1. WSTĘP**

Organizowane od wielu lat zawody gry robotów w piłkę nożną, są doskonałym pretekstem do tworzenia różnego rodzaju systemów sterowania grupą robotów, których celem jest między innymi rozwijanie algorytmów przetwarzania obrazu, planowania trajektorii robotów w zmieniającym się dynamicznie środowisku, współpracy robotów, systemów podejmowania decyzji w środowisku wieloagentowym.

W ramach prowadzonych prac w Katedrze Systemów Automatyki Politechniki Gdańskiej stworzony został system sterowania grupą robotów piłkarzy składający się z grupy dwukołowych robotów mobilnych, systemu wizyjnego, nadajnika radiowego za pomocą którego przesyłane są rozkazy do robotów oraz specjalistycznego oprogramowania [1].

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie zaimplementowanego przez nas mechanizmu podejmowania decyzji przez agenta sterującego robotem oraz pokazanie współpracy dwóch robotów na przykładzie realizacji manewru strzału pośredniego do bramki przeciwnika.

W rozdziale drugim przedstawiony jest opis stanów agenta wykorzystywanych podczas realizacji manewru strzału pośredniego. Rozdział trzeci prezentuje schemat blokowy planowania działań agenta. W schemacie tym, umieszczony jest moduł podejmowania decyzji, którego zadaniem jest znalezienie wymaganego punktu docelowego piłki. Mechanizm wyznaczania punktu docelowego piłki jest szerzej opisany w rozdziale czwartym. Rozdział piąty zawiera wnioski z implementacji opisanego algorytmu w symulatorze oraz w rzeczywistym środowisku gry robotów w piłkę.

## 2. OPIS STANÓW AGENTÓW

Istotą systemu sterowania grupą robotów jest wewnętrzny podział programu na identyczne moduły agentów, z których każdy steruje innym robotem. Działania poszczególnych agentów są niezależne. Każdy z nich samodzielnie podejmuje decyzje dotyczące aktualnie wykonywanych działań, wyznacza trajektorię robota mającą na celu zrealizowanie zamierzonego zadania oraz wyznacza wartość sygnału sterującego przesyłanego do robota. Koordynacja działań podejmowanych przez agentów zapewniona jest dzięki wykorzystaniu wspólnego obszaru danych oraz nadrzędnemu modułowi nadzorującemu działania agentów.

Zachowanie agenta determinuje stan, w jakim się znajduje. Aktualny stan agenta opisuje zmienna  $S$ . W zależności od wartości tej zmiennej, agent pełni rolę bramkarza, napastnika, obrońcy lub znajduje się w trybie powrotu do punktu startowego. Wartość zmiennej stanu jednoznacznie wskazuje również, jaki manewr aktualnie wykonuje agent w ramach przyjętej roli. Podczas realizacji manewru strzału pośredniego mamy do czynienia ze współpracą dwóch robotów, które w danej chwili czasu pełnią rolę napastnika lub obrońcy. Wartości zmiennej stanu  $S$  występujące podczas manewru strzału pośredniego są następujące:

$S = 300$  – rozpoczęcie trybu napastnika (tryb napastnika:  $S \in \{300, \dots, 399\}$ )

$S = 310$  – tryb uderzenia piłki, testowanie możliwości realizacji uderzenia

$S = 311$  – tryb uderzenia piłki, podążanie do punktu pomocniczego

$S = 312$  – tryb uderzenia piłki, uderzenie w piłkę

$S = 400$  – rozpoczęcie trybu obrońcy (tryb obrońcy:  $S \in \{400, \dots, 499\}$ )

$S = 410$  – podążanie do punktu oczekiwania na piłkę, manewr z podaniem piłki

$S = 411$  – podążanie do punktu oczekiwania na piłkę, obrót robota w miejscu

Stany  $S = \{300, 400\}$  są stanami inicjalizującymi agenta. Jeżeli moduł nadzorujący działania agentów zdecyduje się przydzielić danemu robotowi funkcję napastnika, stan odpowiedniego agenta przyjmuje wartość 300. Następnie w wyniku uruchomienia wewnętrznej funkcji planowania akcji danego agenta, wyznaczany jest nowy stan agenta odpowiadający aktualnie wykonywanemu zadaniu.

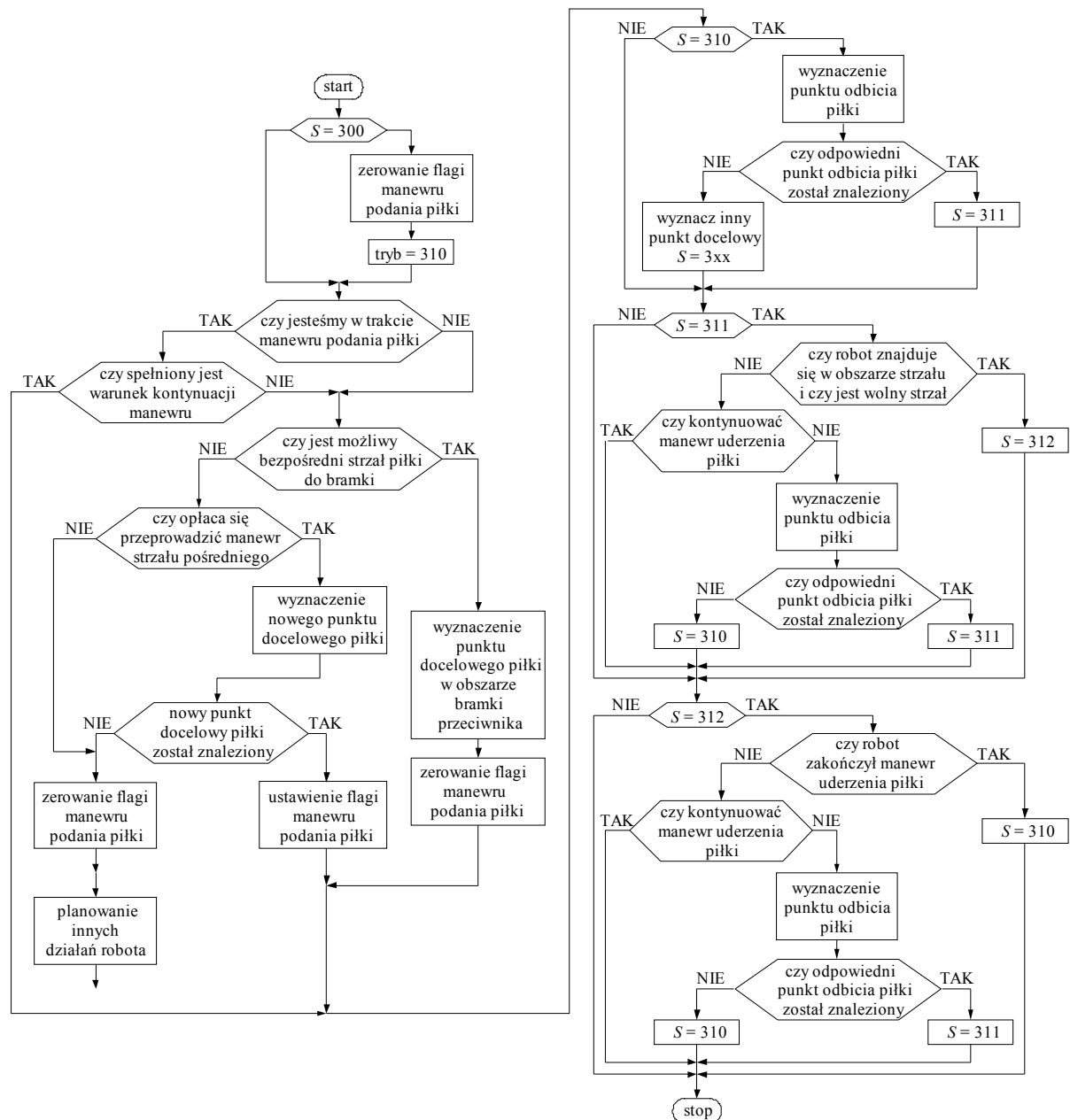
W przedstawionym systemie, zadaniem modułu podejmowania decyzji jest przydzielenie agentowi odpowiedniej sekwencji stanów gwarantujących realizację postawionego zadania nadrzędnego oraz wyznaczenie wartości parametrów definiujących sposób wykonania zadania. Przykładem tak rozumianego modułu podejmowania decyzji może być uruchomienie funkcji wyznaczającej wymagany punkt docelowy piłki (poślanie piłki bezpośrednio do bramki przeciwnika lub podanie jej do zawodnika naszej drużyny), który pośrednio wpływa na wybór przydzielanych stanów agenta, a tym samym na wykonywanie poszczególnych czynności realizowanych przez robota.

## 3. SCHEMAT BLOKOWY PLANOWANIA DZIAŁAŃ

Mechanizm przełączania roli agenta odpowiada za prawidłową realizację zadania strzału pośredniego do bramki przeciwnika. Robot, będący napastnikiem, próbuje w pierwszej kolejności wykonać manewr bezpośredniego strzału piłki do bramki przeciwnika (punkt docelowy piłki znajduje się w obszarze bramki przeciwnika) (rys.1). Jeśli manewr ten jest w danej chwili niewykonalny, poszukiwany jest zastępczy punkt docelowy piłki, gwarantujący możliwość realizacji strzału na bramkę. Jeśli odpowiedni punkt zostanie znaleziony, ustawiona będzie flaga informująca o zamiarach napastnika oraz w wspólnym obszarze danych dostępna będzie informacja dotycząca planowanego punktu uderzenia piłki oraz punktu docelowego piłki.

W trakcie realizacji manewru odbicia piłki w kierunku planowanego punktu docelowego, obrońca, korzystając z informacji umieszczonych przez napastnika we wspólnym obszarze danych, podąża w pobliże planowanego punktu przejścia piłki.

Gdy napastnik odbije piłkę w kierunku jej planowanego punktu docelowego, moduł nadzorujący działania agentów wykryje sytuację, w której piłka zbliża się do obrońcy i oddala się od napastnika. Role agentów zostaną zamienione i robot będący do tej pory obrońcą stanie się napastnikiem. Od tej chwili nowy napastnik będzie próbował zrealizować manewr bezpośredniego wbicia piłki do bramki przeciwnika.



Rys. 1. Schemat blokowy planowania akcji napastnika (manewr strzału pośredniego).

Rysunek 1 przedstawia schemat działania bloku podejmowania decyzji napastnika. Po lewej stronie widzimy warunki związane z realizacją manewru strzału pośredniego, z prawej strony obsługę manewru uderzenia piłki w zadanym kierunku. W celu uniknięcia niebezpieczeństwa

zapętlenia się mechanizmu ustalania stanu końcowego agenta, testowane są po kolei wszystkie stany bez możliwości powrotu do stanu o niższym numerze. Jeżeli w jakimś stanie nastąpi przejście do stanu o niższym numerze (np. w stanie  $S=312$  nastąpi przejście do stanu  $S=310$ , warunki związane z nowym stanem będą sprawdzane w następnym cyklu pracy sterownika).

W celu zachowania stabilności podjętych decyzji, zestaw warunków rozpoczęcia danego manewru powinien zawierać się w zestawie warunków kontynuacji tego manewru.

W przedstawionym schemacie blokowym występują dwa bloki o kluczowym znaczeniu dla realizacji strzału pośredniego. Pierwszym z nich jest „*wyznaczenie nowego punktu docelowego piłki*” drugim „*wyznaczenie punktu odbicia piłki*”. Pierwszy z nich opisany jest w punkcie czwartym i odpowiada za znalezienie zastępczego punktu docelowego piłki.

Drugi blok odpowiada za zaplanowanie manewru odbicia piłki. Poszukiwanie miejsca uderzenia piłki polega na badaniu kolejnych punktów należących do przewidywanej trajektorii piłki. Dla każdego punktu, na podstawie znanej prędkości piłki, zakładanej prędkości robota oraz położenia punktu docelowego, wyznacza się wymagany kierunek natarcia robota na piłkę, gwarantujący podążenie piłki w żądanym przez nas kierunku. Następnie na podstawie znajomości planowanego miejsca uderzenia piłki i kierunku natarcia robota, wyznaczany jest czas realizacji manewru przechwycenia piłki. Jeżeli czas realizacji manewru jest dłuższy od czasu, jaki potrzebuje piłka na dotarcie do testowanego punktu, badany jest kolejny punkt należący do przewidywanej trajektorii piłki. Poszukiwania trwają tak długo, aż zostanie znaleziony odpowiedni punkt odbicia piłki lub sprawdzona zostanie cała trajektoria. W celu zwiększenia precyzji wyznaczenia punktu odbicia piłki, testowane są również punkty znajdujące się pomiędzy przewidywanymi punktami trajektorii piłki.

Warunek kontynuowania manewru odbicia piłki jest spełniony tak długo, dopóki robot ma możliwość dojechania do piłki oraz zaplanowany punkt uderzenia nie odbiega zbyt od przewidywanej trajektorii piłki (musi następować zgodność miejsca i czasu planowanego uderzenia piłki z jej przewidywaną trajektoria).

W przedstawionym schemacie planowania działań akcji napastnika, ważną rolę pełni blok sprawdzający celowość przeprowadzenia w danej chwili manewru strzału pośredniego (rys.1). Brak możliwości przeprowadzenia bezpośredniego strzału na bramkę przeciwnika wiąże się często z obecnością obcego robota na linii piłka bramka przeciwnika. W takim przypadku, manewr podania piłki naszemu zawodnikowi wiąże się z koniecznością objechania piłki i skierowania jej na lewą lub prawą część boiska. W trakcie wykonywania tego manewru, odsłaniamy przeciwnikowi drogę na naszą bramkę, umożliwiając mu strzelenie gola. Możliwość zaistnienia takiej sytuacji powinna być testowana, umożliwiając przełączenie trybu pracy agenta stosownie do zaistniałej sytuacji. Ze względu na ograniczony rozmiar pracy, nie wszystkie zachowania robotów mogą być jednak szczegółowo opisane.

#### **4. FUNKCJA CELU WYKORZYSTYWANA DO ZNALEZIENIA PUNKTU DECELOWEGO PIŁKI**

W momencie, gdy wykonanie bezpośredniego strzału na bramkę przeciwnika jest niemożliwe (np. z powodu obecności robotów przeciwnika na linii strzału), nastąpi włączenie poszukiwania alternatywnego punktu docelowego piłki, który gwarantowałby możliwość realizacji bezpośredniego strzału z innego miejsca boiska.

W tym celu stworzona została funkcja celu  $J(x,y)$ , zdefiniowana w każdym punkcie boiska i opisująca przydatność danego punktu na punkt docelowy piłki. Minimum funkcji  $J(x,y)$  wyznacza nowy docelowy punkt piłki. W obszarze zabronionym przyjmuje się  $J(x,y) = \infty$ .

$$J(x, y) = J_b(x, y) + J_p(x, y) + J_q(x, y) + J_r(x, y) + J_o(x, y) + J_k(x, y) \quad (1)$$

Funkcja  $J(x, y)$  jest sumą sześciu składników, z których każdy odpowiada za inny warunek, jaki powinien spełniać punkt docelowy. Dwuwymiarowe wykresy funkcji  $J(x, y)$  oraz poszczególnych jej składowych przedstawione są na rysunkach 2, 3 i 4. W przedstawionej sytuacji, trzy roboty oznaczone podwójną obwódką, są nieruchome i należą do drużyny przeciwnej (rys.2a). Ułożenie dwóch z nich zostało dobrane w taki sposób, by uniemożliwić realizację bezpośredniego strzału do bramki. Położenie trzeciego robota pozwala przedstawić wpływ składnika  $J_q(x, y)$  na końcową wartość funkcji  $J(x, y)$ . Napastnikiem jest robot, znajdujący się poniżej planowanego punktu uderzenia piłki. Punkt uderzenia piłki znajduje się na linii trajektorii piłki i oznaczony jest odcinkiem wskazującym kierunek natarcia robota. Krzyżyk, znajdujący się w obszarze minimum funkcji  $J(x, y)$  (jasny obszar), wskazuje wyznaczony punkt docelowy piłki. Krzyżyk, znajdujący się w pobliżu punktu uderzenia piłki, wskazuje tymczasowy punkt docelowy robota ( $S=311$ ). Czarne obszary na rysunkach 2b i 3 oznaczają obszar zabroniony dla punktu docelowego piłki,  $J(x, y) = \infty$ . Poszczególne wykresy są skalowane niezależnie, od najmniejszej (biały) do największej (najciemniejszy odcień szarości) wartości przedstawianej funkcji. Funkcja może przyjmować zarówno wartości dodatnie jak i ujemne.

Punkt  $(x, y)$  jest traktowany jak potencjalny punkt docelowy piłki. Środek przyjętego układu współrzędnych znajduje się w geometrycznym środku boiska. Kryteria przyjmowane przy wyborze punktu docelowego piłki są następujące:

#### 4.1. Kryterium związane z możliwością dokonania strzału na bramkę (rys.3a)

$$J_b(x, y) = \sum_{i=1}^{N_b} k_{b1} \cdot W(x, y, x_b(i), y_b(i)) + k_{b2} \cdot d_{sr}(x, y) + k_{b3} \cdot (\alpha_{gr} - \alpha_b(x, y)) + O_b(x, y) \quad (2)$$

W naszym przypadku bramka przeciwnika reprezentowana jest przez siedem punktów  $N_b=7$ .  $(x_b(i), y_b(i))$   $i=1, \dots, 7$  są kolejnymi punktami leżącymi wzdłuż linii bramkowej.

Funkcja  $W(x, y, x_b(i), y_b(i))$  zdefiniowana jest następująco:

$$W(x_1, y_1, x_2, y_2) = \begin{cases} 1 & \text{gdy} \quad \sum_{i=1}^{L_r} \xi_w(i, x_1, y_1, x_2, y_2) + \sum_{i=1}^2 \xi_b(i, x_1, y_1, x_2, y_2) = 0 \\ 0 & \text{gdy} \quad \sum_{i=1}^{L_r} \xi_w(i, x_1, y_1, x_2, y_2) + \sum_{i=1}^2 \xi_b(i, x_1, y_1, x_2, y_2) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Funkcje  $\xi_w(i, x_1, y_1, x_2, y_2)$  i  $\xi_b(i, x_1, y_1, x_2, y_2)$  przyjmują wartość zero, gdy odległość między  $i$ -tym robotem przeciwnika lub  $i$ -tym punktem wystającego rogu bramki a odcinkiem łączącym punkty  $(x_1, y_1)$  i  $(x_2, y_2)$  nie przekracza  $d_{gr}$ . W przeciwnym wypadku wartość funkcji wynosi jeden.  $L_r$  jest liczbą robotów przeciwnika znajdujących się na boisku.

Funkcja  $d_{sr}(x, y)$  jest średnią odległością punktu  $(x, y)$  od tych punktów reprezentujących bramkę, dla których  $W(x, y, x_b(i), y_b(i))=1$ . Składnik ten odpowiada za uprzywilejowanie punktów znajdujących się bliżej bramki przeciwnika. W celu uwzględnienia trudności wynikających z wybijania piłki z rogu boiska, wprowadzono następującą funkcję:

$$\alpha_b(x, y) = \begin{cases} \alpha & \text{gdy} \quad \alpha \leq \alpha_{gr} \\ \alpha_{gr} & \text{gdy} \quad \alpha > \alpha_{gr} \end{cases}, \quad (4)$$

gdzie  $\alpha$  oznacza kąt między rogiem boiska, rogiem bramki a punktem  $(x, y)$ .

Funkcja  $O_b(x,y)$  określa obszar dopuszczalny dla punktu docelowego piłki:

$$O_b(x,y) = \begin{cases} \infty & : \sum_{i=1}^{N_b} W(x,y,x_b(i),y_b(i)) = 0 \\ 0 & : \sum_{i=1}^{N_b} W(x,y,x_b(i),y_b(i)) > 0 \end{cases}, \quad (5)$$

gdzie  $\sum_{i=1}^{N_b} W(x,y,x_b(i),y_b(i)) = 0$  oznacza brak możliwości realizacji strzału bezpośredniego z punktu  $(x,y)$ .

#### 4.2. Kryterium oceniające możliwość posłania piłki do punktu docelowego $(x,y)$ . (rys.3b)

$$J_p(x,y) = \sum_{i=1}^{N_p} k_p \cdot W(x,y,x_p(i),y_p(i)) + O_p(x,y) + O_s(x,y) \quad (6)$$

$N_p$  oznacza liczbę punktów trajektorii piłki uwzględnianą przy szacowaniu możliwości posłania piłki z punktu  $(x_p(i),y_p(i))$  leżącego na trajektorii do punktu docelowego  $(x,y)$ . Funkcja  $O_p(x,y)$  określa obszar dopuszczalny dla punktu docelowego piłki:

$$O_p(x,y) = \begin{cases} \infty & \text{gdy } \sum_{i=1}^{N_p} W(x,y,x_p(i),y_p(i)) = 0 \\ 0 & \text{gdy } \sum_{i=1}^{N_p} W(x,y,x_p(i),y_p(i)) > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Funkcja  $O_s(x,y)$  określa obszar dopuszczalny dla punktu docelowego piłki związany z obecnością ścian boiska:

$$O_s(x,y) = \begin{cases} \infty & \text{gdy } (x,y) \notin B \\ 0 & \text{gdy } (x,y) \in B \end{cases} \quad (8)$$

$$B \subset R^2 = \{(x,y) : x > -a_b + g_x \quad i \quad x < a_b - g_x \quad i \quad y > -b_b + g_y \quad i \quad y < b_b\}$$

gdzie  $a_b$  i  $b_b$  oznaczają odpowiednio szerokość i długość boiska. Obszar  $B$  zawiera całą powierzchnię boiska oprócz obszaru wokół jego ścian zdefiniowanego przez parametry  $g_x$  oraz  $g_y$ . Obszar boiska przy bramce przeciwnika ( $y = b_b$ ) nie jest ograniczony przez parametr  $g_y$ , gdyż obszar ten został już uwzględniony przez składnik  $J_b(x,y)$  funkcji  $J(x,y)$ .

#### 4.3. Kryterium oceniające możliwość posłania piłki do punktu docelowego $(x,y)$ związane z obecnością przeszkód między naszym robotem a punktem przejścia piłki. (rys.3c)

$$J_q(x,y) = \sum_{i=1}^{N_p} k_q \cdot W(x_d(i),y_d(i),x_p(i),y_p(i)) + O_q(x,y) \quad (9)$$

$N_p$  oznacza liczbę punktów trajektorii piłki uwzględnianą przy szacowaniu możliwości posłania piłki z punktu  $(x_p(i),y_p(i))$ , leżącego na trajektorii, do punktu docelowego  $(x,y)$ . Punkt  $(x_d(i),y_d(i))$  jest punktem oddalonym od punktu  $(x_p(i),y_p(i))$  na odległość  $d$  w kierunku przeciwnym do kierunku najazdu robota na punkt uderzenia piłki, zapewniającym po odbiciu, ruch piłki w kierunku punktu  $(x,y)$ . Podczas wyznaczania odpowiedniego kierunku uderzenia piłki, uwzględniana jest przewidywana w punkcie  $(x_p(i),y_p(i))$  prędkość piłki oraz przyjęta prędkość robota. Funkcja  $O_q(x,y)$  określa obszar dopuszczalny dla punktu docelowego piłki:



$$O_p(x, y) = \begin{cases} \infty & \text{gdy } \sum_{i=1}^{N_p} W(x_d(i), y_d(i), x_p(i), y_p(i)) = 0 \\ 0 & \text{gdy } \sum_{i=1}^{N_p} W(x_d(i), y_d(i), x_p(i), y_p(i)) > 0 \end{cases} \quad (10)$$

#### 4.4. Kryterium oceniające różnicę czasu dojazdu do punktu $(x, y)$ naszego robota i najbliższego robota przeciwnika. (rys.4a)

$$J_r(x, y) = k_r \cdot \xi_r(x, y) \cdot (t_{w \min}(x, y) - t_{p \min}(x, y) + t_{zap}) \quad (11)$$

$t_{w \min}(x, y)$  oznacza minimalny czas, jaki jest potrzebny robotowi naszej drużyny na dojechanie do punktu  $(x, y)$ , przy czym pomijany jest robot podający piłkę. Czas dojazdu robota pełniącego aktualnie funkcję bramkarza jest dodatkowo wydłużany o 1s, gdyż mniej korzystne jest podanie piłki do własnego bramkarza.  $t_{p \min}(x, y)$  oznacza minimalny czas, jaki jest potrzebny robotowi przeciwnej drużyny na dojechanie do punktu  $(x, y)$ .  $t_{zap}$  jest czasem zapasu, jaki ma nasz robot w stosunku do robota przeciwnika.  $n_r$  jest numerem robota naszej drużyny, dla którego czas dojazdu do punktu  $(x, y)$  wynosi  $t_{w \min}(x, y)$ . Gdy robot taki nie został znaleziony (np. gra 1 na 1)  $n_r = -1$ .

$$\xi_r(x, y) = \begin{cases} 1 & : t_{w \min}(x, y) > t_{p \min}(x, y) - t_{zap} \quad \text{i} \quad n_r(x, y) \geq 0 \\ 0 & : t_{w \min}(x, y) \leq t_{p \min}(x, y) - t_{zap} \quad \text{lub} \quad n_r(x, y) < 0 \end{cases} \quad (12)$$

#### 4.5. Kryterium związane z możliwością dojazdu naszego robota do punktu $(x, y)$ zanim znajdzie się w nim piłka (rys.4b).

$$J_o(x, y) = k_{o1} \cdot \xi_{o1}(x, y) + k_{o2} \cdot (1 - \xi_{o1}(x, y)) \cdot \xi_{o2}(x, y) \quad (13)$$

Funkcja  $\xi_{o1}(x, y)$  przyjmuje wartość 1, gdy robot należący do naszej drużyny nie jest w stanie dojechać do punktu  $(x, y)$  przed planowanym czasem dotarcia tam piłki  $t_p(x, y)$ . Składnik  $\xi_{o2}(x, y)$  przyjmuje wartość 1, gdy robot należący do naszej drużyny nie jest w stanie zakończyć manewru uderzenia piłki w punkcie  $(x, y)$ , zapewniającego podażenie piłki w kierunku bramki przeciwnika, przed przybyciem piłki do punktu  $(x, y)$ .  $t_o(x, y)$  oznacza czas wykonania manewru uderzenia piłki.  $t_o(x, y) \geq t_{w \min}(x, y)$ .

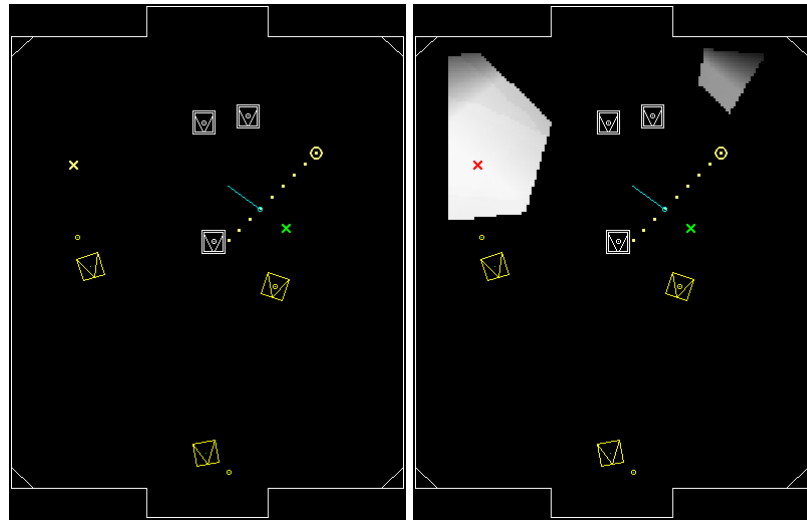
$$\xi_{o1}(x, y) = \begin{cases} 1 & : t_{w \min}(x, y) \geq t_p(x, y) - t_{zap} \quad \text{lub} \quad n_r(x, y) < 0 \\ 0 & : t_{w \min}(x, y) < t_p(x, y) - t_{zap} \quad \text{i} \quad n_r(x, y) \geq 0 \end{cases} \quad (14)$$

$$\xi_{o2}(x, y) = \begin{cases} 1 & : t_o(x, y) > t_p(x, y) - t_{zap} \\ 0 & : t_o(x, y) \leq t_p(x, y) - t_{zap} \end{cases} \quad (15)$$

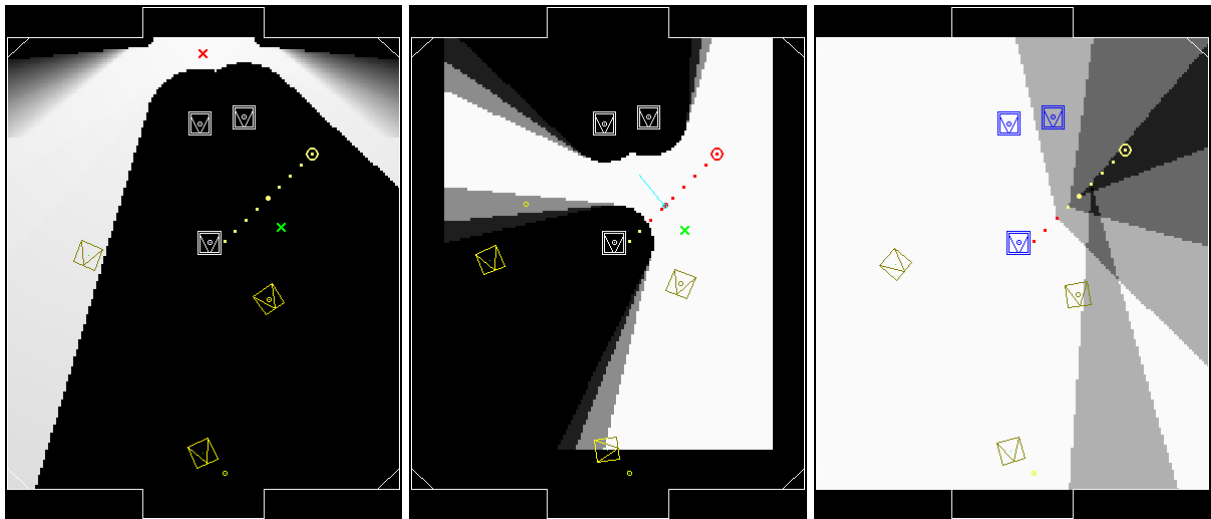
#### 4.6. Kryterium związane z utrudnieniem posłania piłki do punktu $(x, y)$ , wynikającym z położenia robota względem potencjalnego punktu uderzenia piłki (rys.4c).

$$J_k(x, y) = k_k \cdot \text{MIN}(\beta(x, y) - \beta_{gr}, 0) \quad (16)$$

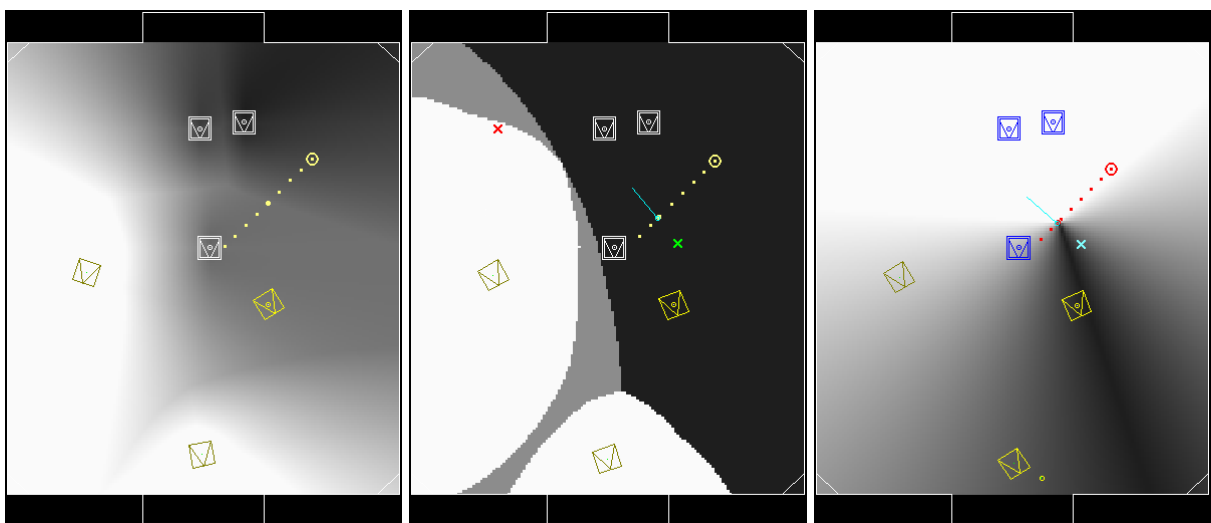
W pierwszej kolejności wyznaczany jest kierunek ruchu piłki po uderzeniu, gdyby robot jechał bezpośrednio w kierunku piłki (kierunek, w którym najłatwiej posłać piłkę). Następnie wyznaczany jest kąt  $\beta(x, y)$ , który jest kątem pomiędzy trajektorią ruchu piłki po odbiciu a odcinkiem łączącym punkt  $(x, y)$  z punktem uderzenia  $(x_p, y_p)$ .



Rys. 2. a) Przykładowa sytuacja na boisku. b) Wykres funkcji celu  $J(x,y)$ .



Rys. 3. a) Składowa  $J_b(x,y)$ . b) Składowa  $J_p(x,y)$ . c) Składowa  $J_q(x,y)$ .



Rys. 4. a) Składowa  $J_r(x,y)$ . b) Składowa  $J_o(x,y)$ . c) Składowa  $J_k(x,y)$ .



Proponowane wartości współczynników:

$$\begin{aligned}k_{b1} &= -3; & k_{b2} &= 10; & k_{b3} &= 500; & \alpha_{gr} &= 0,7rad; & k_p &= -3; \\g_x &= 2R; & g_y &= 2,5R; & k_q &= -5; & d &= 2,5R; & k_r &= 60; \\t_{zap} &= 0,5s; & k_{o1} &= 30; & k_{o2} &= 15; & k_k &= 30; & \beta_{gr} &= 1,2rad;\end{aligned}$$

Gdzie  $R$  jest minimalną długością promienia okręgu w którym zmieści się nasz robot.

Ponieważ funkcja  $J(x,y)$  posiada wiele minimów lokalnych, do wyznaczenia minimum funkcji zastosowano metodę Monte Carlo. Poszukiwanie minimum polega na wykonaniu serii trzech kolejnych losowań punktów, wyznaczeniu wartości współczynnika  $J(x,y)$  dla każdego wylosowanego punktu a następnie wybraniu punktu, dla którego funkcja przyjmuje najmniejszą wartość. Punktem środkowym pierwszej serii jest aktualne położenie piłki. Znaleziony punkt jest punktem środkowym dla następnej serii losowań. W kolejnych seriach współrzędne punktów losowane są w coraz mniejszym zakresie zmienności zmiennej losowej o rozkładzie równomiernym. Obszar poszukiwań ma kształt kwadratu o boku długości odpowiednio  $1,5a_b$ ,  $0,25a_b$  i  $0,06a_b$ , gdzie  $a_b$  jest połową szerokości boiska. W pierwszej serii losowanych jest 50 punktów, w następnych 30 i 20. Dla każdej kolejnej serii losowań wybierane są punkty znajdujące się wewnątrz boiska i oddalone od ścian o odległość zapewniającą możliwość przechwycenia piłki przez robota  $(x,y) \in B$ .

## 5. WNIOSKI

Przedstawiony w pracy mechanizm współpracy robotów mobilnych i związana z nim funkcja kryterialna  $J(x,y)$  zostały wpięrow zaimplementowane i przetestowane w środowisku symulacyjnym gry robotów. Po uzyskaniu zadowalających rezultatów, opracowane algorytmy posłużyły do sterowania rzeczywistymi robotami grającymi w piłkę. Z powodu występowania zakłóceń w torze sprzężenia zwrotnego, związanym z stosowanym systemem wizyjnym (aktualna pozycja robotów i piłki obciążona jest błędem pomiarowym), realizacja manewru strzału pośredniego charakteryzuje się mniejszą skutecznością niż ma to miejsce w środowisku symulacyjnym.

W wyniku doświadczeń wyniesionych z przeprowadzonych testów, można podać dwa główne czynniki wpływające na prawidłową realizację manewru strzału pośredniego. Pierwszym z czynników jest błąd predykcji przyszłego położenia i prędkości piłki. Na błąd predykcji położenia piłki wpływa niedokładność pomiaru położenia piłki zwielokrotniana przez długi horyzont czasowy predykcji oraz nierówności powierzchni boiska powodujące nieprzewidywalne zakrzywienie trajektorii poruszającej się piłki. Drugim czynnikiem mającym istotny wpływ na skuteczność realizacji strzału pośredniego jest dokładność wyznaczenia wartości współczynników, związanych z wypadkową prędkością liniową i obrotową robota i wykorzystywanych do wyznaczenia czasu dotarcia robota do danego punktu docelowego. Niewłaściwa wartość tych współczynników powoduje, że robot nie dociera do punktu odbicia piłki w odpowiednim czasie. Sytuacja taka jest wykrywana i na bieżąco wyznaczany jest nowy punkt przejścia piłki. Częsta zmiana położenia planowanego punktu odbicia piłki i tym samym kierunku jej uderzenia, powoduje zmniejszenie precyzji odbicia piłki lub w skrajnych przypadkach przepuszczenie piłki bez jej odbicia.

Występujące niedokładności podczas realizacji manewru strzału pośredniego związane są przede wszystkim z niedostateczną precyzją wykonania manewru podania piłki (odbicie piłki będącej w ruchu i skierowanie jej w wymaganym kierunku). Sam mechanizm podejmowania decyzji dotyczący wyznaczenia położenia punktu docelowego piłki działał prawidłowo.

## 6. PODSUMOWANIE

Niniejsza praca poświęcona została przedstawieniu mechanizmu współpracy dwóch robotów mobilnych z punktu widzenia modułu podejmowania decyzji przez agentów. Jako przykład współpracy robotów rozwiązano problem realizacji strzału pośredniego na bramkę przeciwnika. Zadaniem modułu podejmowania decyzji było, na podstawie znajomości aktualnego stanu obiektów występujących na boisku, wyznaczenie położenia punktu docelowego piłki, optymalnego z punktu widzenia realizowanego przez oba roboty zadania..

Zaproponowane rozwiązanie zostało przetestowane w symulatorze oraz zaimplementowane w rzeczywistym środowisku gry robotów w piłkę. W następnym etapie planowane jest zwiększenie skuteczności wykonywanych manewrów poprzez udoskonalenie algorytmu odbicia poruszającej się piłki. Rozwijana będzie również postać funkcji celu, używanej do wyznaczenia punkt docelowego piłki, w celu uwzględnienia możliwych akcji podejmowanych przez drużynę przeciwną.

### Literatura:

- [1] Fiertek P., *Współpraca grupy robotów na przykładzie gry zespołowej w piłkę nożną*, TECHNICON'05, Seminarium naukowo techniczne, 20 października 2005, Gdańsk.
- [2] Tews A., Wyeth G., *Thinking as One: Coordination of Multiple Mobile Robots by Shared Representation*, International Conference on Robotics and Systems (IROS 2000), vol. 2, pp.1391-1396, Takamatsu, Japan.
- [3] Gupta S.G., Messom C.H., Sng H.L., *State Transition Based Supervisory Control for a Robot Soccer System*, 1st IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications (DELTA 2002), 29-31 January 2002, Christchurch, New Zealand.
- [4] Liang T.Ch., Liu J.S., *Motion Controller Realizing Cyclic Ball Passing Strategy among Multiple Mobile Robots in Robot Soccer Games*, 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 2002, Washington D.C.
- [5] Bruce J., Bowling M., Browning B., Veloso M., *Multi-Robot Team Response to a Multi-Robot Opponent Team*, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2003, September 14-19, 2003, Taipei, Taiwan.
- [6] Chen Ch. Y., Li. T. H. S., *A Real-Time Role Assignment Mechanism for Five-on-Five Robot Soccer Competition*, Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing & Control, March 21-23, 2004, Taipei, Taiwan.
- [7] Veloso M., Stone P., Han K., *The CMUnited-97 robotic soccer team: Perception and multi-agent control*, Robotics and Autonomous Systems 29 (1999) 133-143.
- [8] Shim H. S., Sung Y. G., Kim S. H., Kim J. H., *Design of Action Level In a Hybrid Control Structure for Vision Based Soccer Robot System*, Proceeding of the 1999 IEEE/RSJ, Intelligent Robots and Systems, 1406-1411 vol.3, October 1999, Location: Kyongju, South Korea.
- [9] Song K. T., Tang C. C., *A Distributed Architecture for Effective Multirobot Cooperation in Team Competitions*, In Proceedings of IEEE IECON'99, pp. 686-691, Nov. 30-Dec. 2, 1999, San Jose, CA, USA.