

## پیاده سازی سیستم هوشمند پاس دهی برای ربات های فوتبالیست

### با استفاده از منطق فازی

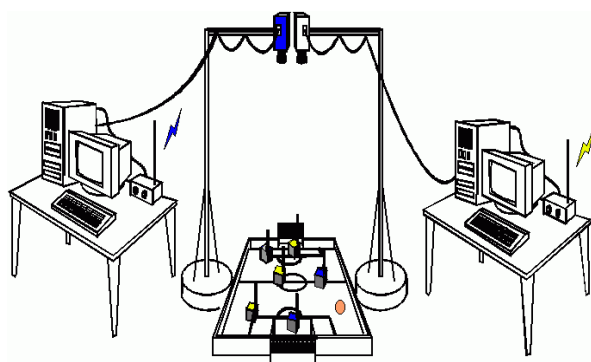
اسماعیل آتش پز گرگری

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران

e.atashpaz@ece.ut.ac.ir

چکیده - در این نوشتار، پیاده سازی سیستم هوشمند پاس دادن برای ربات های فوتبالیست، شامل شناسایی مناسب ترین بازیکن هدف برای دادن پاس و میزان اطمینان پاس و غیره ارائه می گردد. در پیاده سازی سیستم از منطق فازی استفاده شده است. در ابتدا مهمترین پارامترهای یک پاس خوب تعریف شده و با استفاده از آن ها *rule base* های فازی بصورت تجربی استخراج شده اند. سپس با استفاده از این *rule base* ها، سیستم ادراک فازی پیاده سازی شده است. یک محیط شبیه سازی نیز برای بررسی عملکرد سیستم تهیه شده است.

کلید واژه- پاس، ربات فوتبالیست، سیستم هوشمند، منطق فازی، *rule base*



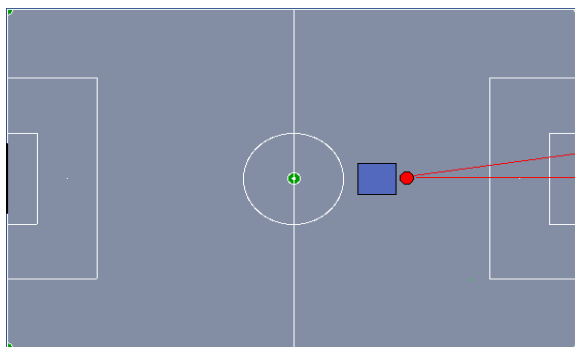
شکل 1: نمای کلی بازی فوتبال توسط ربات ها

با وجود پیشرفت های فراوان در قابلیت های فردی بازیکنان، عمده ترین پیشرفت های مربوط به سیستم ربات های فوتبالیست، در زمینه تاکتیک تیمی و افزایش هوشمندی آنها بوده است. یکی از دلایل افزایش مساحت زمین تا حدود دو برابر نیز ایجاد امکان پیاده سازی بهتر تاکتیک های تیمی، در میدان مسابقه بوده است.

یکی از مهم ترین ویژگی های یک تیم با تاکتیک بالا، توانایی آن تیم در امر پاس دادن می باشد. در این راستا، هر یک از بازیکنان باید بتوانند با داشتن شناخت کامل نسبت به زمین و موقعیت تک تک بازیکنان، مناسب ترین هدف را برای پاس دادن شناسایی کرده و پاس را ارسال دارند.

### 1- مقدمه

سیستم ربات فوتبالیست (SRS)، یک سیستم هوشمند پیچیده بوده و از بحث های روز سیستم های هوشمند به حساب می آید. شکل 1، نمای کلی بازی فوتبال توسط ربات ها را نشان می دهد. اهمیت پیشرفت سیستم ربات های فوتبالیست و تاثیر آن بر شاخه های دیگر علم و مهم تر از همه بحث سیستم های هوشمند به حدی است که همه ساله مسابقات ربوکاپ به منظور هماهنگ سازی تحقیقات و ایجاد یک رقابت سالم بین پژوهشگران فعال در این زمینه، برگزار می شود. پیشرفت تیم های شرکت کننده در این مسابقات به حدی است که همه ساله قوانین این مسابقات با توجه به سطح پیشرفت تیم ها تغییر می کند. به عنوان مثال در عرض چند سال گذشته تعداد بازیکنان حاضر در زمین ربات های فوتبالیست سائیز کوچک افزایش یافته و مساحت زمین نیز حدوداً دو برابر شده است.



شکل 2: تاثیر خطای جهت یابی

یک تفاوت عمده دیگر میان انسان و ربات فوتبالیست در امر سرعت ضربه زدن به توپ است. انسان می تواند توپ را به بازیکن نزدیک به خود با سرعت کمتر و به بازیکن دورتر با سرعت بیشتری ارسال کند. اما ربات های فوتبالیست در عمل، معمولاً به علت استفاده از مکانیزم فتر کشیده، سرعت ارسال توپ معمولاً ثابت یا چند مقداری دارند. علت این امر این است که برای ضربه زدن به توپ، باید فتر از قبل در حالت کشیده قرار داشته و ربات در لحظه ضربه زدن فقط آن را رها کند. پس یک محدودیت عمده دیگر، سرعت معمولاً ثابت ضربه زدن به توپ در ربات های فوتبالیست است. بنابراین پاس دادن به یک بازیکن خیلی نزدیک نیز منطقی نبوده و نمی تواند با موفقیت انجام شود. تفاوت های مذکور و بعضی تفاوت های دیگر می توانند در ارزیابی ما از عملکرد سیستم اختلال ایجاد کنند. بدین معنی که ممکن است یک پاس از دید ما و با در نظر گرفتن توانایی های انسان بهترین پاس نباشد اما در دنیای ربات ها و توجه به نقاط قوت و ضعف آنها بهترین عمل ممکن باشد. حال با در نظر گرفتن محدودیت های فوق می توان یک پاس خوب را برای یک ربات فوتبالیست تعریف نمود.

## 2-2- ویژگی های پاس خوب

مهمترین ویژگی های یک پاس خوب را می توان به صورت زیر خلاصه کرد.

- ربات مقصد باید نه خیلی نزدیک باشد و نه خیلی دور (محدودیت ارسال).
- بازیکنان حریف تا حد ممکن از خط امتداد ربات مبدأ و مقصد دور باشند.
- بازیکنان حریف تا حد ممکن از ربات مقصد دور باشند.
- با دادن پاس تا حد ممکن به دروازه حریف نزدیک تر شویم.

در این نوشتار پیاده سازی عمل پاس دادن، برای سیستم ربات های فوتبالیست Mono Brain بررسی می گردد. در ابتدا ویژگی های یک پاس خوب تعریف شده و پس از استخراج rule base های مناسب، سیستم ادراک فازی برای تصمیم گیری در عمل پاس دادن، پیاده سازی می شود. یک محیط شبیه سازی کاربرپسند نیز توسط محیط GUI برنامه MATLAB فراهم شده و سیستم فازی تهیه شده در آن به کار گرفته شده است.

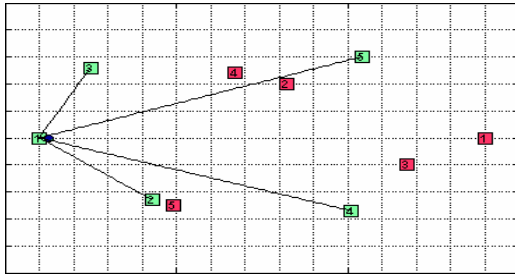
## 2- تعریف ویژگی های یک پاس خوب

### 1-2- تفاوت های میان انسان و ربات در بازی فوتبال

قبل از تعریف یک پاس خوب، باید به تفاوت های میان انسان و ربات در بازی فوتبال توجه نمود. ربات ها در امر ضربه زدن به توپ برای رسیدن به یک مقصد معین دارای دقت محدودی می باشند. این امر به علت خطاهای جهت یابی (orientation) ناشی از عدم کالیبراسیون تصویر حاصل از دوربین و خطاهای سنسوری و غیره روی می دهد. گرچه برای کاهش این خطاها روشهایی مانند استفاده از ژيروسکوپ برای تک تک ربات ها (و کالیبراسیون متناوب آنها توسط دوربین)، به کار می روند، اما با این حال باز هم دقت جهت یابی در این ربات ها محدود باقی مانده است. برای بررسی تاثیر خطای جهت یابی، شکل 2 را در نظر می گیریم. در این شکل فاصله ربات تا دروازه 2 متر فرض می شود و خطای جهت یابی موجب شده است تا ربات دقیقاً رو به دروازه نبوده و 4 درجه انحراف داشته باشد. با وجود این انحراف ناچیز در جهت یابی، در صورت زدن ضربه به توپ، توپ به جای برخورد به مرکز دروازه، به فاصله ی

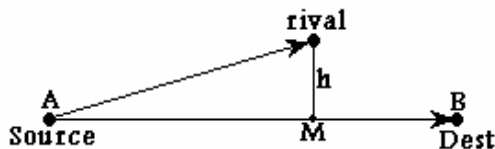
$$2m * \tan(4^\circ) * 100 = 14 \text{ cm}$$

از مرکز دروازه برخورد خواهد کرد. بنابراین برخلاف بازی فوتبال توسط انسان ها، پاس دادن به یک بازیکن خیلی دور، برای یک ربات فوتبالیست مشکل بوده و بنابراین ارسال این پاس منطقی نمی باشد.



شکل 4: خطر نزدیک بودن بازیکنان حریف به خط امتداد مبدأ و مقصد

با توجه به شکل 5 و اینکه سرعت بیشینه ربات‌ها تقریباً یک سوم سرعت توپ در نظر گرفته شده است، (اگر برای ساده سازی، فرض کنیم که rival توپ را در بهترین شرایط در نقطه M می‌گیرد) در این صورت، اگر فاصله rival تا نقطه M کمتر از یک حد معین باشد، rival می‌تواند توپ را بگیرد و در غیر این صورت، نمی‌تواند این کار را انجام دهد.



شکل 5: محاسبه میزان خطر بازیکن واقع در مسیر پاس

برای محاسبه فاصله آستانه گرفتن توپ داریم

$V_p$  : Player Speed

$V_b$  : Ball Speed

$$V_b = 3V_p \quad (1)$$

زمان لازم برای رسیدن rival به نقطه M برابر است با

$$t_{rM} = \frac{h}{V_p} \quad (2)$$

مسافتی که توپ در این مدت می‌پیماید برابر است با

$$D_b = V_b \cdot t_{rM} = V_b \cdot \frac{h}{V_p} \quad (3)$$

اگر مسافت طی شده توسط توپ در این مدت کمتر از فاصله Source تا نقطه M باشد، rival می‌تواند (نه حتماً) توپ را بگیرد. در غیر این صورت rival نخواهد توانست (نه حتماً) توپ را بگیرد. بنابراین

$$T.C. = \frac{AM}{D_b} = \frac{AM}{h} \cdot \frac{V_p}{V_b} = \frac{1}{3} \cdot \frac{AM}{h} \quad (4)$$

را می‌توان به عنوان یک ضریب خطر برای بازیکنان حریف نزدیک به خط واصل Source و Dest در نظر گرفت. در حالت کریسپ خواهیم داشت

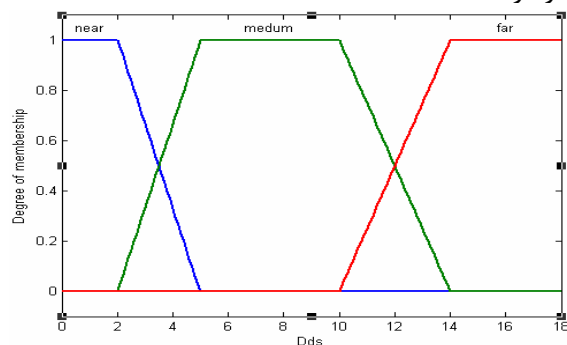
• اگر  $(T.C. > 1 \Leftrightarrow AM/h > 3)$ ، آنگاه بازیکن حریف خطرساز است.

مطئناً پارامترهای فوق تنها پارامترهای مربوط به یک پاس خوب نمی‌باشند و پارامترهای دیگری همچون نتیجه بازی، تاکتیک حریف و غیره را می‌توان وارد سیستم تصمیم‌گیری فازی نمود. ولی برای داشتن یک سیستم ادراک فازی ساده که کارایی قابل قبولی دارد، پارامترهای مذکور کافی خواهند بود.

### 3- تعریف توابع عضویت فازی

#### 3-1- فاصله ربات مبدأ و مقصد

این فاصله، نرم اقلیدسی بردار واصل ربات مبدأ به ربات مقصد می‌باشد. با توجه به ابعاد در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی، برای زمین مسابقه، این فاصله در بازه [0 18] قرار دارد. برای این فاصله، سه مجموعه near، medium و far را می‌توان با توابع عضویت نشان داده شده در شکل 3 در نظر گرفت.



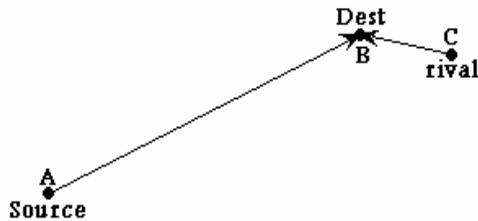
شکل 3: توابع عضویت فاصله بین بازیکن مبدأ و مقصد

با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در بخش 2-1، هر قدر که فاصله بین ربات مقصد و ربات مبدأ عضویت بیشتری در مجموعه medium داشته باشد، موقعیت بازیکن مقصد بهتر است.

#### 3-2- فاصله بازیکنان حریف از خط امتداد مبدأ و مقصد

نزدیک بودن ربات حریف به خط امتداد مبدأ و مقصد می‌تواند خطرساز باشد. این خطر ساز بودن در شکل 4 نشان داده شده است. در این شکل بازیکن شماره 5، بازیکن مناسبی برای پاس دادن نمی‌باشد زیرا بازیکن‌های شماره 2 و 4 حریف در مسیر پاس قرار دارند.

در حالت کریسپ اگر فاصله حریف و مقصد کمتر از یک حد معین باشد، حریف می‌تواند توپ را بگیرد و در غیر اینصورت نمی‌تواند این کار را انجام دهد. این فاصله آستانه با توجه شکل 8 به صورت زیر محاسبه می‌شود.



شکل 8: محاسبه میزان خطر بازیکن حریف نزدیک به بازیکن مقصد

$V_p$  : Player Speed

$V_b$  : Ball Speed

$$V_b = 3V_p$$

زمان لازم برای رسیدن توپ از Source به نقطه Dest برابر است با

$$t_b = \frac{d_{AB}}{V_b} \quad (5)$$

مسافتی که rival می‌تواند در این مدت بپیماید برابر است با

$$d_r = V_p \cdot t_b = \frac{V_p}{V_b} \cdot d_{AB} \quad (6)$$

در حالت کریسپ اگر مسافت  $d_r$  بیشتر از فاصله rival و Dest باشد، حریف می‌تواند به توپ برسد و در غیر اینصورت نمی‌تواند. بنابراین

$$T.C. = \frac{d_r}{d_{BC}} = \frac{V_p}{V_b} \cdot \frac{d_{AB}}{d_{BC}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{d_{AB}}{d_{BC}} \quad (7)$$

را می‌توان به عنوان یک ضریب خطر در نظر گرفت. در حالت کریسپ خواهیم داشت

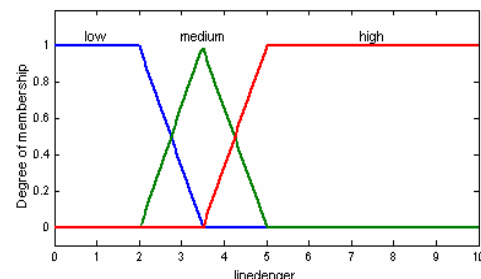
▪ اگر  $(T.C. > 1 \Leftrightarrow d_{AB}/d_{BC} > 3)$  باشد، آنگاه بازیکن حریف خطرساز است.

▪ اگر  $(T.C. < 1 \Leftrightarrow d_{AB}/d_{BC} < 3)$  باشد، آنگاه بازیکن حریف خطرساز نیست.

اما به همان دلایل ذکر شده در بند قبل، تعیین مرز فوق به صورت کریسپ مشکل‌ساز بوده و بنابراین باید برای این پارامتر توابع عضویت فازی را در نظر گرفت. با توجه به رابطه (7) و با در نظر گرفتن  $d_{AB}/d_{BC}$  به جای  $T.C.$  می‌توان سه مجموعه عضویت Low, Medium, High، را برای این پارامتر تعیین کرد. توابع عضویت این پارامتر در مجموعه‌های مذکور در

• اگر  $(AM/h < 3) \Leftrightarrow (T.C. < 1)$ ، آنگاه بازیکن حریف خطرساز نیست.

اما هر بازیکن با  $T.C.$  بزرگتر از یک لزوماً نخواهد توانست توپ را بگیرد. زیرا گرفتن توپ علاوه بر قرار داشتن در موقعیت خوب به پارامترهای دیگری همچون تشخیص به موقع مسیر توپ و چرخش به موقع و غیره بستگی دارد. بنابراین تعیین مرز فوق به صورت کریسپ درست نبوده و بهتر است از توابع عضویت فازی برای این پارامتر استفاده کنیم. با توجه به رابطه (4) و با در نظر گرفتن  $AM/h$  به جای  $T.C.$ ، به عنوان پارامتری که خطر را نشان می‌دهد، می‌توان سه تابع عضویت Low, Medium, High، را برای این پارامتر در نظر گرفت. این توابع عضویت در شکل 6 نشان داده شده‌اند.

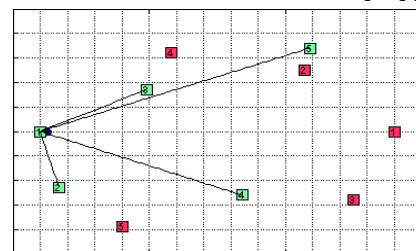


شکل 6: توابع عضویت مربوط به خطر بازیکن نزدیک به مسیر توپ

هرچه پارامتر  $AM/h$  عضویت بیشتری در Low، داشته باشد، وضعیت بهتر است و با افزایش عضویت این پارامتر در Medium و High، وضعیت بد و بدتر می‌شود.

### 3-3- فاصله بازیکنان حریف از بازیکن مقصد

نزدیک بودن ربات‌های حریف به بازیکن مقصد می‌تواند خطرساز باشد. اگر یک بازیکن حریف به بازیکن مقصد خیلی نزدیک باشد، می‌تواند قبل از رسیدن توپ به مقصد، در یک موقعیت مناسب توپ را به چنگ آورد. شکل 7 خطر نزدیک بودن بازیکن حریف به بازیکن مقصد را نشان می‌دهد. در این شکل بازیکن شماره 5، بازیکن مناسبی برای پاس دادن نمی‌باشد زیرا بازیکن شماره 2 حریف نزدیک این بازیکن قرار دارد.



شکل 7: خطر نزدیک بودن بازیکنان حریف به بازیکن مقصد

#### 4- پیاده سازی سیستم ادراک فازی

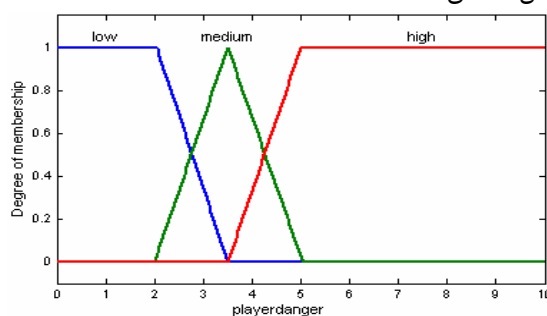
##### 1-4- استخراج Rule Base ها

در طی فرایند تکمیل این طرح، Rule Base ها تغییرات زیادی کرده و در نهایت با انجام بررسی های بیشتر و جویا شدن نظرات افراد مختلف و انجام تست های متنوع، قوانین نهایی به صورت جدول 1 انتخاب شدند. در این جدول حروف N، M، F، L و H به ترتیب معادل Near، Medium، Far، Low و High هستند.

جدول 1: rule base سیستم ادراک فازی

امتیاز پاس	خطر حریف نزدیک به مقصد	خطر حریف نزدیک به خط	فاصله مبدأ و مقصد	فاصله از دروازه حریف
g4	*	H	*	N
g4	H	*	*	N
g15	L	M	F	N
g15	M	L	F	N
g13	L	M	N	N
g13	M	L	N	N
g16	M	L	M	N
g16	L	M	M	N
g17	L	L	F	N
g15	L	L	N	N
g20	L	L	M	N
g14	M	M	F	N
g13	M	M	N	N
g15	M	M	M	N
g2	*	H	*	M
g2	H	*	*	M
g12	L	M	F	M
g12	M	L	F	M
g9	L	M	N	M
g9	M	L	N	M
g14	M	L	M	M
g14	L	M	M	M
g14	L	L	F	M
g13	L	L	N	M
g18	L	L	M	M
g10	M	M	F	M
g9	M	M	N	M
g12	M	M	M	M
g0	*	H	*	F
g0	H	*	*	F
g9	L	M	F	F
g9	M	L	F	F
g6	L	M	N	F

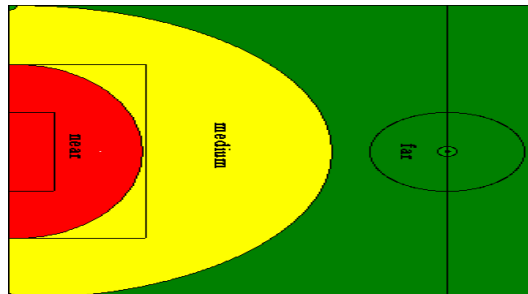
شکل 9 نشان داده شده است.



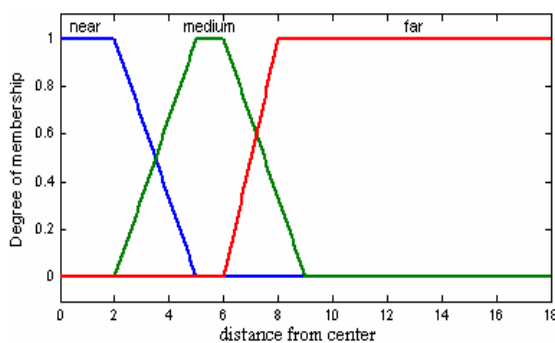
شکل 9: توابع عضویت مربوط به خطر بازیکن نزدیک به بازیکن مقصد هرچه پارامتر  $dAB/dBC$  عضویت بیشتری در Low داشته باشد، وضعیت بهتر است و با افزایش عضویت این پارامتر در High و Medium، وضعیت بد و بدتر می شود.

##### 3-4- فاصله از دروازه حریف

برای امتیاز دهی به بازیکن دارای موقعیت بهتر نسبت به دروازه، باید پارامتر دیگری را نیز وارد پروسه سیستم ادراک فازی نمود. شکل 10، سه ناحیه Near، Medium و Far را در حالت کریسپ نشان می دهد. در حالت فازی نیز توابع عضویت شکل 11 را می توان در نظر گرفت.



شکل 10: تقسیم بندی زمین بازی در حالت کریسپ با توجه به نزدیکی به دروازه حریف



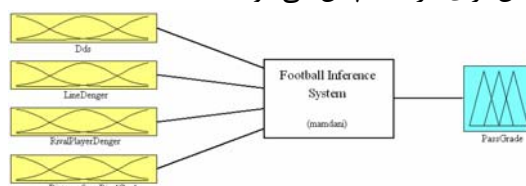
شکل 11: توابع عضویت مربوط به پارامتر نزدیکی به دروازه حریف

این محیط با داشتن گرافیک بالا به سادگی امکان تغییر موقعیت تک تک بازیکنان و مشاهده نتیجه محاسبات و بهترین بازیکن برای ارسال پاس و غیره را می‌دهد. همانگونه که در شکل 13 مشاهده می‌شود، سیستم ادراک فازی بازیکن شماره 4 را به عنوان بهترین بازیکن برای تصاحب توپ با نمره 14.8 از 20 شناسایی کرده است که انتخاب درستی به نظر می‌رسد.

F	N	L	M	g6
F	M	L	M	g11
F	M	M	L	g11
F	F	L	L	g11
F	N	L	L	g10
F	M	L	L	g15
F	F	M	M	g6
F	N	M	M	g5
F	M	M	M	g9

## 2-4- ایجاد سیستم ادراک فازی

شکل 12 بلوک دیاگرام سیستم ادراک فازی مورد استفاده برای پیاده‌سازی عمل پاس دادن را نشان می‌دهد. در این سیستم چهار ورودی فازی وارد بخش ادراکی سیستم شده و خروجی موسوم به PassGrade را ایجاد می‌کنند. این خروجی پس از دیفازیفای شدن برای ارزیابی میزان خوب بودن موقعیت بازیکنان مورد استفاده قرار می‌گیرد و هر بازیکنی که بیشترین امتیاز را کسب کند شایسته‌ترین بازیکن برای دریافت پاس می‌شود.



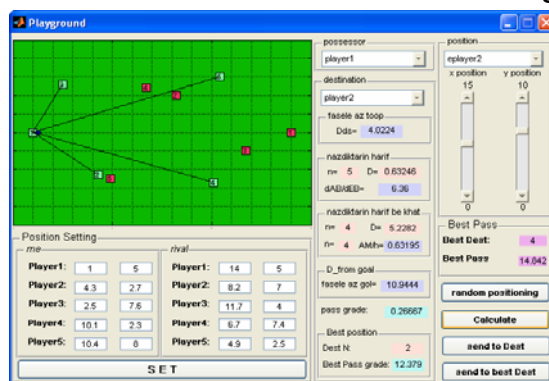
شکل 12: بلوک دیاگرام سیستم ادراک فازی مورد استفاده برای پیاده‌سازی عمل پاس دادن

## مراجع

- [1] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control 8, 338-353.
- [2] Zadeh, L.A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics 3, 28-44.
- [3] Zade, L.A. (1975). The Concept of a linguistic variable its applications to approximate reasoning. parts I, II and III. Information Sciences 8-9, 199-249, 301-357, 43, 80.
- [4] Yager, R.R. and L.A. Zadeh (Eds.) (1992). An Information to fuzzy logic application in intelligent systems. Kluwer Academic Press.
- [5] Mamdani, E.H. and S. Assilian (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies 7, 1-13.
- [6] C.C. Lee. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part I, II. IEEE trans. Syst. Man Cybern., Vol. 20, pp. 404-435, Mar/Apr. 1990.
- [7] T.J. Ross. Fuzzy logic with engineering application. Second edition, WILEY-INTERSCIENCE. A JOHN WILEY & SONS, INC. Publication.

## 5- محیط شبیه‌سازی

برای بررسی عملکرد سیستم، یک محیط شبیه‌سازی نیز تهیه شده است. شکل 13، نمای کلی این محیط را نشان می‌دهد.



شکل 13: نمای کلی محیط شبیه‌سازی تهیه شده، برای پیاده‌سازی عمل پاس دادن