

П. А. КОНОВАЛОВ

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

АЛГОРИТМ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ В СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ КОМАНДЫ РОБОТОВ-ФУТБОЛИСТОВ

Для участия в международных соревнованиях по футболу роботов RoboCup в Small Size League был разработан механизм принятия оптимального решения в типичных ситуациях робофутбола.

Введение. RoboCup это международные соревнования, по робототехнике которые проводятся с 1996 года [1]. Целью является создание автономных роботов-футболистов для содействия научным исследованиям в областях компьютерного зрения, навигации, искусственного интеллекта, мультиагентного взаимодействия. Соревнования RoboCup насчитывают множество лиг, из которых самой первой и, на взгляд авторов, наиболее интересной является Small Size League (SSL). Команды из России ни разу не принимали участия в такого рода соревнованиях. Но стоит отметить, что уже второй год подряд Российская команда URoboRus успешно проходит квалификационный этап этих соревнований [2, 3, 4, 5] и интенсивно готовится к соревнованиям 2021 года. Предлагаемый доклад посвящён алгоритму поиска наилучшего решения в типичных игровых ситуациях: перепасовках, ударах по воротам. Разработка алгоритма велась согласно правилам международных соревнований [6].

Модели роботов. Основой робота-футболиста является четырехколесная омниплатформа, позволяющая перемещаться в любом направлении (рис. 1). Робот оснащен двумя ударными устройствами (кикерами): для прямого удара и навеса мяча. Для связи с роботом используется радиомодуль. С торцевой стороны установлены лазерные датчики для определения мяча перед роботом. Верхняя часть роботов маркирована цветными кругами для идентификации на поле (координаты и направление) с помощью камеры и SSL-Vision.



Рис. 1. Внешний вид роботов

Система управления. Роботы контролируются единым вычислительным центром. Цикл управления состоит из следующих шагов: получение информации о положении роботов на поле и мяча и сенсорных данных роботов, вычисление управляющих сигналов робота (вектор скорости, угловая скорость, сигнал об ударе), передача на робота управляющих сигналов.

Постановка задачи. Упрощенно игру в робофутбол можно описать как последовательность передач мяча от робота к роботу и ударов по воротам. При этом оперировать с мячом надо таким образом, чтобы он не оказался у команды противника. Поэтому перед очередным ударом нужно как-то оценивать шансы на успех.

Перейдем к формальной постановке задачи. На плоскости в точке B расположен мяч, в точках $A_1, A_2, \dots, A_N$ расположены центры роботов команды противника (рис. 2). Роботы представлены кругами радиуса R . Имеется семейство вещественно значных функций $f_1, f_2, \dots, f_N$ заданных на множестве S векторов единичной длины. Для удобства обозначим

$$G(\bar{d}) := \{B + t \cdot \bar{d} \mid t \geq 0\} \quad (1)$$

луч выпущенный из точки B в направлении $\bar{d}$. Значение $f_r(\bar{d})$ где $\bar{d} \in S$ показывает насколько удобно роботу r поймать мяч если мяч начнёт двигаться вдоль траектории $G(\bar{d})$, то есть данная

постановка предполагает наличие некоторых априорных знаний о возможностях роботов команды противника, которые могут быть получены при наблюдении за ними в ходе игры. Функции f_r обладают следующим свойством: если $G(\bar{d}_1)$ проходит дальше от робота r чем $G(\bar{d}_2)$ тогда

$$f_r(\bar{d}_1) < f_r(\bar{d}_2) \quad (2)$$

В терминах введённых обозначений естественно определить функцию

$$f(\bar{d}) = \max_{r \in 1:N} f_r(\bar{d}) \quad (3)$$

значение которой будет характеризовать защищенность направления $\bar{d}$.

Таким образом, чем меньше значение $f(\bar{d})$ тем «безопаснее» пускать мяч в направлении $\bar{d}$. Предлагается найти:

$$\bar{d}^* = \arg \min_{\bar{d} \in S} f(\bar{d}) \quad (4)$$

Смысл поиска наилучшего решения состоит в том, чтобы определить может ли робот сделать рассматриваемое действие (ударить по воротам или передать пас) в сложившейся ситуации. Например, если значение $f(\bar{d}^*)$ окажется велико (больше некоторого заранее заданного порога), тогда можно считать, что робот не может сделать рассматриваемое действие и ему нужно действовать по-другому.

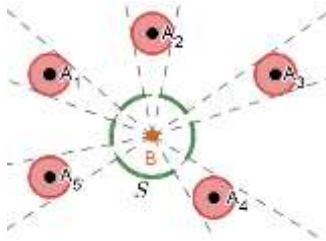


Рис. 2. Демонстрация обозначений. Множество S_g обозначено зеленым цветом

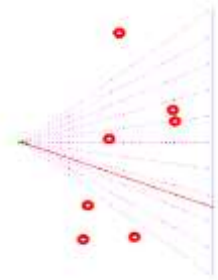


Рис. 3. Демонстрация работы алгоритма

Также оценка $f(\bar{d}^*)$ полезна, когда робот, владеющий мячом, решает кому передать пас, в таком случае, эта оценка может быть вычислена для всех роботов которым можно передать пас (так как будто у них есть мяч и они собираются ударить по воротам) и из всех возможностей разумно выбрать робота, для которого значение этой оценки минимально.

Алгоритм.

1. Выбросим из множества S направления, для которых траектория мяча будет направлена на какого-нибудь робота команды противника. Обозначим полученное множество S_g (рис. 2).

2. Множество S_g разбивается на K непрерывных участков. Можно показать, что на каждом таком участке функция f оказывается унимодальной благодаря свойству (2). Поэтому, методом золотого сечения, на каждом участке можно найти ее минимальное значение. Сделаем это. Получим K кандидатов в решение: $\bar{d}_1, \bar{d}_2, \dots, \bar{d}_K$.

3. Вычислим ответ $\bar{d}^* = \arg \min_{\bar{d} \in \{\bar{d}_1, \bar{d}_2, \dots, \bar{d}_K\}} f(\bar{d})$

Апробация алгоритма.

Описанный алгоритм был реализован для случая, когда скорость мяча и робота предполагаются постоянными. Обозначим u – скорость мяча, v – скорость роботов, $k = \frac{u}{v}$. Предполагаем, что $k > 1$. Функции удобства были взяты следующими:

$$f_r(\bar{d}) = \max_{P \in G(\bar{d})} \{\rho(B, P) - k \cdot \rho(A_r, P)\} \quad (5)$$

где ρ – Евклидова метрика. Можно показать, что функции (5) обладают свойством (2).

Этот алгоритм был использован в качестве вспомогательного алгоритма атаки ворот, для вычисления оптимального направления для удара (рис. 3).

Стоит отметить, что представленный алгоритм позволяет адаптивно подбирать параметр k , что полезно в игре против неизвестного противника.

Заключение. Описанный в работе алгоритм был использован для записи квалификационного видео [7] и подготовки документа описания команды URoboRus [8] при подаче заявки на

участие в финале RoboCup SSL, который был запланирован на 2020 год, но перенесён в связи с напряженной эпидемиологической обстановкой на 2021 год.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://robocup.org/>
2. https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2019/03/2019_TDP_URoboRus.pdf
3. <https://www.youtube.com/watch?v=W6JNlaXGRRk>
4. **Коновалов П.А., Корнилова А.В., Королев Д.М., Ренева Г.В., Фрадков А.Л., Широколов И.Ю., Ярош Д.С.** Команда роботов-футболистов для соревнований RoboCup в лиге SSL: система и алгоритмы. Информационно-управляющие системы, 2019, № 2, с. 19-25
5. **Iarosh D., Reneva G., Kornilova A. and Konovalov P.** "Multiagent System of Mobile Robots for Robotic Football," *2019 26th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS)*, Saint Petersburg, Russia, 2019, pp. 1-3, doi: 10.23919/ICINS.2019.8769365
6. <https://ssl.robocup.org/rules/>
7. https://www.youtube.com/watch?v=Ph_ohcxli1M
8. https://ssl.robocup.org/wp-content/uploads/2020/03/2020_TDP_RoboRus.pdf

P.A. Konovalov (Saint Petersburg State University, St. Petersburg)

Algorithm for Making an Optimal Decision in a Complex Dynamic Environment for the Football Robots Team

To participate in the international RoboCup football competitions in the Small Size League, an algorithm for making the optimal decision in typical robot football conditions was developed.