

足球机器人分区域拦截防御方法的研究

柳云山^{1,2}, 阳春华²

(1. 湖南工业大学, 湖南 株洲 412008; 2. 中南大学, 湖南 长沙 410083)

摘要: 从防御策略规划的角度出发, 通过建立非线性规划数学模型, 运用运筹学理论对“拦截—拦截”和“拦截—评估—拦截”2种基本的防御拦截方法进行分析, 以防御策略对机器人小球的漏截率和拦截机器人的消耗量为指标, 比较分区域的2种防御拦截方法的优缺点, 并提出了给定条件下的最优防御拦截方法。

关键词: 分区域拦截; 防御策略; 评估; 漏截率

中图分类号: TP242.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)06-0024-04

Research on Defense and Interception Method of Soccer Robot in Different Zones

Liu Yunshan^{1,2}, Yang Chunhua²

(1. Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China; 2. Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: From the perspective of strategic plan for defence and through the mathematical modeling of Non-linear programming, analysed the two basic defense and interception methods of ‘defense-defense’ and ‘defense-evaluate-defense’ with the theory of operations research. With defense strategy to the leakage rate of robot ball and robot consumption as indicators, made a comparison of the advantages and disadvantages of the two defense and interception methods in different zones, and putforward a best defense and interception method under the given conditions.

Keywords: defense in different zones; strategic plan for defence; evaluate; leakage rate

0 引言

机器人足球赛涉及人工智能、机器人学、通讯、传感、精密机械和仿生材料等诸多领域的前沿研究和系统集成, 实际上是高技术的对抗赛, 有严格的比赛规则。在足球机器人的比赛中, 目的是在规定比赛时间里将球踢进对方球门, 哪方进球多, 哪方胜利。目前对足球机器人防御策略的研究方法众多, 有的采用推算定位 (dead reckoning, 简称 DR) 模型作为仿真实体动力学模型的简化模型, 在分布交互式仿真 (distributed inter-active simulation, 简称 DIS) 系统中进行模拟^[1], 对拦截方案进行分析和评估; 有的建立二维运动模型, 基于极大值原理推导 Bang-Bang 控制形式的最优规律, 对拦截方法进行研究^[2-3]。迄今为止,

对足球机器人系统的攻防分析研究还使用了概率分析、统计分析、数学规划、排队论和博弈论等多种理论, 并形成多种形式的分析模型及方法^[4-5]。

非线性规划是在一组等式和不等式约束条件下, 求函数的极值问题。本文从防御策略规划的角度出发, 通过建立非线性规划数学模型, 运用运筹学理论对“拦截—拦截”和“拦截—评估—拦截”2种基本的防御拦截方法进行分析。研究中采用了人类球队比赛的攻防策略, 每个球队基本上采用1~2种布阵办法, 将比赛场地划分为前场 (敌方区域)、中场、后场 (我方区域), 根据球的位置及掌控权来具体执行不同的策略, 或进攻、或防守。本文主要针对足球机器人的防守策略进行研究^[6], 并以防御策略中机器人小球的漏截率和拦截机器人的消耗量为指标, 比较2种防

收稿日期: 2009-10-15

作者简介: 柳云山 (1978-), 男, 湖南常德人, 湖南工业大学讲师, 中南大学硕士研究生, 主要研究方向为过程控制,

E-mail: yunshan_liu@126.com

御拦截方法的优缺点, 提出在防御策略满足一定条件下的最优防御拦截方法^[7]。

1 分区域拦截方法简介

所谓多区域拦截, 指对方机器人控制球我方机器人对其进行的前场、中场、后场拦截或抢断, 其目的是降低敌方机器人带球的突防概率。采用分区域防御拦截方案, 是在现有机器条件下, 形成阻断进攻的一种较为有效的方法。在进行机器人拦截时, “拦截—拦截”和“拦截—评估—拦截”是2种最基本的防御拦截模式。“拦截—拦截”模式是指当发现预定目标时防御方出动机器人实施拦截, 不管再次拦截的路径中是否出现真目标, 这种拦截模式常在前场、中场拦截过程采用, 由于再次拦截时没有进行目标拦截成功与否的评估^[8], 容易发生“过拦截”现象, 不但浪费机器人的能量, 而且贻误战机。“拦截—评估—拦截”也是一种多区域防御拦截方法, 拦截过程是当发现预定目标时防御方出动一个机器人进行拦截, 然后立即实施拦截成功与否的评估, 如果依然有预定目标出现则防御方再出动一个或多个机器人进行拦截, 这种防御方法的特点是: 实施第2次拦截的依据是经过防御策略评估后确认还存在着漏截的对方带球机器人, 这种拦截策略需要以一定可靠性对上一次拦截的成败情况进行评估, 而评估的过程需要消耗一定时间。

2 数学模型的建立

2.1 非线性规划模型原理

目标函数或约束条件中至少有1个是非线性函数的最优化问题叫做非线性规划问题。建立优化问题的数学模型, 首先要确定问题的决策向量, 用 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 表示 n 维向量, 然后构造模型的目标函数 $f(X)$, X 的取值范围为 $X \in D$, 其中 D 称为可行域, 常用一组不等式(也可以有等式) $g_i(X) \leq 0 (i=0, 1, 2, \dots, m)$ 来界定, 称为约束条件。一般地, 这类模型可表示为:

$$\begin{aligned} \min f(X) \quad & (X \in D), \\ \text{s.t. } g_i(X) \leq 0 \quad & (i=1, 2, \dots, m). \end{aligned}$$

下面分别以拦截机器人的漏截率和拦截机器人消耗量最小为约束条件, 进行数学建模和计算, 对防御策略的最优拦截方法进行分析和研究。

2.2 数学建模

对预定目标进行拦截时, 设定防御策略优化的目标是: 1) 在给定漏截率的前提下使拦截机器人消耗为最少; 2) 在给定拦截机器人消耗的前提下使漏截率最小。下面针对设定的2种情况进行非线性规划和建模。

2.2.1 约束条件

以漏截率和拦截机器人消耗量最小为约束条件。

$$\begin{cases} \min LR, \\ \min IC, \end{cases} \quad \text{s.t.} \begin{cases} n > 0, \\ n_1 > 0, \\ n_2 > 0, \end{cases} \quad (1)$$

式中: LR (leakage rate, 简称 LR) 为针对单个预定目标拦截的漏截率, 体现了防御策略的防御水平;

IC (interceptor robot-consumption, 简称 IC) 为针对单个预定目标拦截的拦截机器人消耗量;

n 为针对1次预定目标拦截, 采用“拦截—拦截”模式需要的拦截机器人个数;

n_i 为针对1次预定目标拦截, 采用“拦截—评估—拦截”模式时第 i 次出动的拦截机器人个数 ($i=1, 2$)。

2.2.2 计算公式的建立

根据2种不同的拦截方法针对单个预定目标的拦截, 可分别建立如下2组公式, 计算单次预定目标漏截率 LR 和拦截机器人的消耗量 IC 。

1) 在“拦截—拦截”模式下 (模式1)

$$LR_1 = (1 - P_k)^n, \quad (2)$$

$$IC_1 = n, \quad (3)$$

式中: P_k 为单个机器人成功拦截预定目标的概率。

2) 在“拦截—评估—拦截”模式下 (模式2)

在给定防御策略评估时出现错判的概率条件下可建立如下计算公式:

$$LR_2 = (1 - P_k)^{n_1} P_M + (1 - P_k)^{n_1 + n_2}, \quad (4)$$

$$IC_2 = n_1 + (1 - P_k)^{n_1} (1 - P_M) n_2 + (1 - (1 - P_k)^{n_1}) P_F n_2, \quad (5)$$

式中: P_M 为将“未成功拦截预定目标”错判成“成功拦截预定目标”的概率, 如果将一个未被成功拦截的预定目标判断为“拦截成功”, 将导致防御策略不进行第2次拦截, 使得对预定目标的漏截率增大;

P_F 为将“已拦截目标”错判成“未拦截预定目标”的概率, 如果错误地将预定目标评估为“未成功拦截”, 将导致第2次拦截, 会引起拦截机器人的消耗量增加。

在式(4)、(5)中, 考虑了防御策略在对预定目标“评估”过程中可能出现“虚警或漏报”的错误判决情况。

为方便分析, 在计算时对参数做如下设定: 1) 在“拦截—拦截”和“拦截—评估—拦截”2种模式下单个机器人的拦截成功率均相同, 且为常量; 2) 预定目标攻击次数为100次, 单个机器人成功拦截预定目标的概率 $P_k=0.8$, 允许的预定目标漏截率 $LR=10\%$, 防御策略的2种错判概率分别为 $P_M=0.01$, $P_F=0.1$ 。

3 计算与分析

由上述2种拦截模式的计算公式 (式(2)~(5)) 可见, 漏截率 LR 和拦截机器人消耗量 IC 是相互制约的, 欲使 LR 最小, 则需增加拦截机器人个数 n 的值, 相

应的 IC 也增大, 因此, 要想同时获得漏截率最小和拦截机器人个数最少是难以办到的。下面为了便于分析, 针对以上 2 种模式, 在基本设定条件下, 将多目标约束条件转化为 2 个单独指标分别进行分析比较。

3.1 漏截率相同时 2 种模式拦截机器人消耗量比较

当给定漏截率时机器人消耗量的计算过程如下:

在 2 种拦截模式下要求防御策略的漏截率相同, 则等式 $LR_1=LR_2$ 成立, 即

$$(1-P_K)^n = (1-P_K)^{n_1} P_M + (1-P_K)^{n_1+n_2}. \quad (6)$$

将前文设定的数据代入式 (3)、(5)、(6) 可得:

$$\begin{cases} 0.2^n = 0.2^{n_1} \times 0.01 + 0.2^{n_1+n_2}, \\ IC_1 = n, \\ IC_2 = n_1 + 0.2^{n_1} \times 0.99 \times n_2 + (1-0.2^{n_1}) \times 0.1 \times n_2, \end{cases} \quad (7)$$

然后给定不同拦截模式下的拦截机器人数量 n 、 n_1 和 n_2 的值, 解方程组 (7), 得到不同拦截模式下拦截机器人的消耗量, 其结果如表 1 所示。

表 1 给定漏截率时机器人消耗量比较

Table 1 The robot consumption in two intercept modes

序号	模式	拦截机器人数量 / 台	拦截机器人消耗量 / 台	漏截率
1	模式 1	2	200	0.04
	模式 2	1	121	
		1.03		
2	模式 1	3	300	0.008
	模式 2	1	160	
		2.17		
3	模式 1	3	300	0.008
	模式 2	2	214	
		1.03		
4	模式 1	4	400	0.001 6
	模式 2	2	229	
		2.17		
5	模式 1	4	400	0.001 6
	模式 2	3	311	
		1.03		

当 2 种模式的漏截率相同, 预定目标攻击次数为 100 次时, 在给定拦截机器人个数 n 的情况下, 分析表 1 可知, 如果在第 1 次出动拦截机器人拦截后进行成败评估, 根据评估结果再决定是否进行第 2 次拦截 (即采用“拦截—评估—拦截”模式), 将比直接采用“拦截—拦截”模式节省拦截机器人数量。在给定错误判决概率 P_M 、 P_F 的情况下, 如果 2 次出动的拦截机器人数量 n_1 和 n_2 取值合适, 也就是说防御策略的拦截策略得当的话, 还可进一步节省拦截机器人的消耗量, 可见通过使用成败评估和多区域拦截, 可有效降低防御策略所用拦截机器人的数量。

3.2 拦截机器人消耗量相同时漏截率比较

当拦截机器人消耗量相同时, 漏截率的计算过程如下:

在 2 种拦截模式下要求防御策略的拦截机器人消耗量相同, 则等式 $IC_1=IC_2$ 成立, 即

$$n = n_1 + (1-P_K)^{n_1} (1-P_M) n_2 + (1-(1-P_K)^{n_1}) P_F n_2. \quad (8)$$

将前文设定的数据代入式 (2)、(4)、(8) 可得:

$$\begin{cases} n = n_1 + 0.2^{n_1} \times 0.99 \times n_2 + (1-0.2^{n_1}) \times 0.1 \times n_2, \\ LR_1 = 0.2^n, \\ LR_2 = 0.2^{n_1} \times 0.01 + 0.2^{n_1+n_2}, \end{cases} \quad (9)$$

同样, 给出不同拦截模式下的拦截机器人数量 n 、 n_1 和 n_2 并解方程组 (9), 可得到在拦截机器人消耗量相同时对应的漏截率, 如表 2 所示。

表 2 给定机器人消耗量时漏截率比较

Table 2 The leakage rate of the given robot consumption

序号	模式	拦截机器人数量 / 台	拦截机器人消耗量 / 台	漏截率
1	模式 1	2	200	0.04
	模式 2	1	200	0.002 6
		3.6		
2	模式 1	2	200	0.04
	模式 2	1	156	0.012
		2		
3	模式 1	3	300	0.008
	模式 2	1	183	0.003 6
		3		
4	模式 1	3	300	0.008
	模式 2	1	211	0.002 32
		4		
5	模式 1	3	300	0.008
	模式 2	2	227	0.002
		2		
6	模式 1	3	300	0.008
	模式 2	2	241	0.000 72
		3		

分析表 2 数据可得: 1) 当 2 种模式的拦截机器人消耗量相同时, 配置合适的 n_1 和 n_2 的值, 就能使得“拦截—评估—拦截”模式的漏截率比“拦截—拦截”模式的漏截率低; 2) 当 2 种模式的拦截机器人消耗量相同时, n_2 的取值较大, 这是因为在给定错误判决概率 P_M 、 P_F 的情况下, 第 2 次拦截对拦截机器人消耗的影响不显著, 只有当 n_2 取值很大时才会与“拦截—拦截”模式具有相同的消耗量。所以, 考虑到实际应用, 不妨尝试对 n_2 取较小的值, 如表 2 所列, 只要 n_1 、 n_2 取值合适, 防御策略的拦截策略合理, 就可以得到“拦截—评估—拦截”模式的漏截率和拦截机器人消耗量相对“拦截—拦截”模式都低的情况。

3.3 结果分析

通过比较2种不同规划条件下的漏截率和拦截机器人消耗量, 可以看到“拦截—评估—拦截”模式是比较好的拦截模式, 这种模式既减少了拦截机器人的消耗量又提高了成功拦截敌方进攻的防御水平。但在实际应用中, 要保证“拦截—评估—拦截”方法的有效性, 防御策略必须具备以下特性: 1) 防御策略必须具有在足够靠前的中前场区域对预定目标进行拦截的能力, 因为当预定目标第1次没被成功拦截时, 这种能力可以给第2次在后场拦截提供时间保障; 2) 在第1次拦截完成后, 防御策略具有用最短时间和一定可靠性对成败情况进行评估的效能评估能力, 这种特性要求防御策略具有比较完善的评估算法。

4 结语

分区域拦截是一种有效地对抗进攻方法, 本文通过建立非线性规划数学模型并结合具体计算实例对拦截方法进行了研究, 其结论是: “拦截—评估—拦截”模式是分区域拦截方法中的最优防御拦截方法, 但该方法必须在防御策略具备拦截成败评估能力的条件下才能实现, 而拦截成败评估能力的形成必须依靠硬件系统之间的协同工作, 以便获得提示信息, 从而提高防御策略反应速度, 通过使用评估和分区域拦截, 在不降低防御策略防御水平的前提下, 能显著地降低防御策略所用拦截机器人的数量。因此, 本文的结论为进一步提升机器人足球防御策略规划提供了一定的理论依据, 具有较好的参考价值。

参考文献:

- [1] 邹杰, 邹峥嵘, 周春艳. 大范围城市VR仿真系统的研究与实现[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(8): 2199-2202.
Zou Jie, Zou Zhengrong, Zhou Chunyan. Study on Large-Scale City VR Simulation System and Its Realization[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(8): 2199-2202.
- [2] 陈丽娅. 三维和二维平移运动估计算法分析研究[J]. 杭州师范大学学报: 自然科学版, 2007, 6(6): 435-439.
Chen Liya. Research on Analyzing 3-Dimensional and 2-Dimensional Translational Motion Estimation Algorithms[J]. Journal of Hangzhou Teachers College: Natural Sciences Edition, 2007, 6(6): 435-439.
- [3] 江全元. 基于极大极小值原理的电力系统稳定器的设计[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2005, 39(12): 1979-1983.
Jiang Quanyuan. Design of Power System Stabilizer Based on Minimax Principle[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2005, 39(12): 1979-1983.
- [4] 丁洪波, 张士峰, 胡正东. 支持作战的天基信息系统效能分析的排队论模型[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(4): 79-82.
Ding Hongbo, Zhang Shifeng, Hu Zhengdong. A Queuing Theory Model for Effectiveness Analysis of Missile Operation Based on Space-Based Information System[J]. Fire Control and Command Control, 2008, 33(4): 79-82.
- [5] 马炜. 基于博弈论的MAS决策支持系统结构研究[J]. 南京财经大学学报, 2007, 148(6): 74-76.
Ma Wei. An Architecture for DSS Based Game Theory[J]. Journal of Nanjing University of Finance and Economics, 2007, 148(6): 74-76.
- [6] 章小兵, 乔茹, 赵光兴. 基于改进蚁群算法的移动机器人全局路径规划[J]. 机电工程, 2009, 26(3): 90-93.
Zhang Xiaobing, Qiao Ru, Zhao Guangxing. Global Path Planning of Mobile Robot Based on Improved Ant Colony Algorithm[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2009, 26(3): 90-93.
- [7] 袁文亮, 钟宝荣. 对非线性规划问题的并行求解与分析[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(23): 6175-6180.
Yuan Wenliang, Zhong Baorong. Parallel Solution and Analysis on Nonlinear Programming[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(23): 6175-6180.
- [8] 鲁智勇, 张磊, 柯宏发, 等. 基于AHP的指控装备信息网络仿真可信度评估[J]. 系统仿真学报, 2008, 21(17): 5357-5360.
Lu Zhiyong, Zhang Lei, Ke Hongfa, et al. AHP-Based Evaluation on Credibility to Information Network Simulation of Command Control Equipment[J]. Journal of System Simulation, 2008, 21(17): 5357-5360.

(责任编辑: 李玉珍)