文章编号:1001 - 9081(2005)08 - 1858 - 03

机器人足球比赛截球策略设计

顾晓锋,张代远
(南京邮电学院 计算机科学与技术系,江苏 南京 210003)
(gxffly@163. com)

摘 要:在机器人世界杯足球锦标赛(The Robot World Cup,简称 RoboCup)中,截球效率直接影响到比赛的结果。通过足球截球模型,建立方程,从而求出截球位置。解方程的根是提高截球效率的关键,本文采用高效的弦割法来快速计算方程的根。试验发现方程曲线的变化对弦割法解方程根的效率有很大影响,曲线的形状直接影响了弦割法的收敛速度。为加速收敛性,对弦割法进行了优化。最后与优化前的弦割法以及二分法进行了比较,结果表明优化后整体性更为高效,很好地满足了比赛的要求。

关键词:RoboCup;弦割法;截球

中图分类号: TP301.6 **文献标识码**:A

Design of intercepting ball in the robot soccer match

GU Xiao-feng, ZHANG Dai-yuan
(*Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu* 210003, *China*)

Abstract: The efficiency of the interception affects directly on the result of the soccer match in Robot World Cup. Base on the model of the intercepting soccer, the equation is deduced, then the position of the interception can be calculated with the root of the equation. Obtaining the root of the equation is the critical of improving the efficiency. Effective chord secant method(CSM) was used to determine the root of the quation quickly. Experiments results show that the efficiency of CSM is influenced greatly by the variation of the quation. The shape of the curves affects directly the speed of the convergence of CSM. In order to improve the convergence of CSM, an optimization is needed. Compared with the CSM before optimizing and dichotomy, the result has shown that the integrative effectiveness of the new method is much better. This new method also satisfies the need of the interception speed required in Robot World Cup.

Key words: RoboCup; chord secant method; interception

0 引言

举办机器人世界杯足球赛(RoboCup)[1]的目的是为了促进分布式人工智能研究与教育的发展。通过提供一个标准任务,使得研究人员利用各种技术(如带球,传球,截球,高速踢球等),取得比赛的胜利,从而促进各领域的发展。这些技术中,截球是关键。解决截球技术一般分为两种:1)不假设物理模型,通过神经网络来解决。2002 年清华大学足球队[2]在 RoboCup 中曾用前馈神经网络算法[3]来训练过如何截球;2)假设物理模型,建立方程,求出方程的根,最后算出截球位置,目前这种方法比较普遍。2004 年 RoboCup 全国冠军南京邮电学院 Apollo 队采用了二分法来计算截球位置的。本文也用第二种方法,考虑到二分法解方程的根的效率不是很高,从而用弦割法来求方程的根。

1 RoboCup 仿真环境的运动模型

1.1 RoboCup 截球物理模型

截球技术需要解决的就是对球运动的判断,从而作出正确的截球决策,它是其他决策的基础。把截球问题归纳成如图 1 的一个简单的场景[5]。

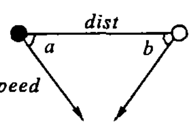

图 1 截球场景

左边黑色小圆代表球,右边的圆代表球员,*dist* 为球员到球的距离,*a* 为球到球员之间的连线和球运动方向的夹角,*speed* 为球的即时的运动速率,它随球不断运动而衰减,每周期衰减系数 *decay*,*b* 为球员截球角度。在 RoboCup 仿真环境中,时间被离散为周期,所以运动也是离散的。每周期 100ms,球员在这 100ms 内感知环境并作出决策。仿真环境中的截球问题,等价于解一个由上面公式确定的球的运动轨迹和球员运动轨迹的交点。要求交点,只需求出球员截到球的时间。为此我们提出一个关于球员截球的时间方程 $f(x)$。

1.2 根据截球模型建立方程

根据物理模型,建立关于时间的截球方程:

$$f(x) = g(x) - x \tag{1}$$

其物理意义解释如下:设球一开始的位置为 O 点,以角度 a,最大速率 $vb0$ 射出。经过 x 个周期后球到达 M 点,$g(x)$ 为球员从初试位置 P 跑到 M 点所需时间。如果方程存在解,说明两者跑到 M 点所需时间相等,球员即能截到球,否则截球失败。

为简化方程,建立如下坐标系。以球为中心,球与球员之间连线为 x 轴,设球员位置为 (x_1, y_1),其中 $y_1 = 0$,M 位置为 (x_2, y_2),球位置为 $(0,0)$,见图2。设球与 M 距离为 l,球员与 M 距离为 d。因为球的速率每个周期都会下降,下降系数为 $decay$。则经过 x 个周期,速度大小为为 $vb0 \times decay^x$,不难求出

收稿日期:2005 - 02 - 26
作者简介:顾晓锋(1972 -),男,江苏常州人,硕士,主要研究方向:神经网络; 张代远(1957 -),江苏南京人,副教授,博士,主要研究方向:人工智能.

经过 x 个周期后，球经过的距离为：

$$l = vb0 \times \frac{1 - decay^x}{1 - decay} \quad (2)$$

则 M 点为位置即可求出：

$$x_2 = l \times \cos(a) \quad (3)$$

$$y_2 = l \times \sin(a) \quad (4)$$

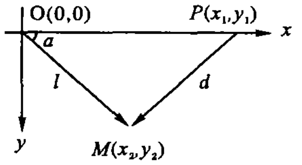

图 2　截球场景

球员到 M 点距离：

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (5)$$

假设球员恒以最大速度 $vp0$ 截球，则球员跑到 M 所需时间为：

$$g(x) = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{vp\ \max} \quad (6)$$

由(3) ~ (6) 可得 $f(x)$ 方程为：

$$f(x) = \frac{\sqrt{\left(vb0 \times \frac{1 - decay^x}{decay} \times \cos(a) - x_1\right)^2 + \left(vb0 \times \frac{1 - decay^x}{1 - decay} \times \sin(a) - y_1\right)^2}}{vp0} \quad (7)$$

2　弦割法求截球方程的根

2.1　弦割法思路

弦割法求根思路[4]：方程 $y = f(x)$ 如图 3 所示，设在 $f(x)$ 上取两点 x_0 和 x_1，使 $f(x_0) > 0$，$f(x_1) < 0$（根据截球的实际情况，本文只讨论 $f(x_0)$，$f(x_1)$ 异号情况）。用直线联接点 $(x_0, f(x_0))$ 和 $(x_1, f(x_1))$，期望直线与 x 轴相割的点 x_2 为根的估计值。

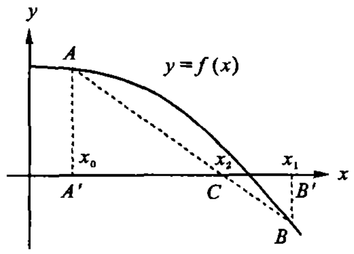

图 3　弦割法示意图

用已经求得的 x_2 来代替 x_0 或 x_1，如果 $f(x_2)$ 与 $f(x_0)$ 同号，则 x_2 代替 x_0，如果 $f(x_2)$ 与 $f(x_1)$ 同号，则 x_2 代替 x_1。直至满足精度要求，其迭代公式为：

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)(x_k - x_{k-1})}{f(x_k) - f(x_{k-1})} \quad (8)$$

2.2　二分法思路

二分法求根方法[5]：

设 $[x_1, x_2]$ 是方程的有根区间，且不妨设 $f(x_1) < 0$，$f(x_2) > 0$，用区间的中点 $(x_1 + x_2)/2$ 平分区间 (x_1, x_2) 为两个区间，计算 $f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)$，根据 $f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)$ 的值分两种情况：

① $\left|f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)\right| < \varepsilon$，$\varepsilon$ 是预先给定的精度，则 $(x_1 + x_2)/2$ 即为所求的根，过程停止。

② $\left|f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)\right| \geq \varepsilon$，根据 $f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)$ 的符号形成新的有根区间 (a_1, b_1)，当 $f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right) > 0$ 时，取 $a_1 = \frac{(x_1 + x_2)}{2}$，$b_1 = b$；当 $f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right) < 0$，取 $a_1 = a$，$b_1 = f\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)$，这时 $f(a_1)(b_1) < 0$ 且 $(a_1, b_1) \subset (x_1, x_2)$，用 (a_1, b_1) 代替 (x_1, x_2) 继续上述过程，直至解出方程的解。

2.3　仿真结果

用 Matlab 分别对弦割法和二分法进行了仿真试验。方法如下：假设球员与球的距离为 18，即球员位置为(18,0)，球以最大速度 $vb0$，角度 a 在[0,90°]内从 0° 开始每隔 0.5° 射出，统计每次实验需要的迭代次数，共 180 次。弦割法和二分法仿真结果见图 4。图 4 中虚线为弦割法迭代次数曲线，实线为二分法迭代次数曲线。横坐标为球射出的角度，纵坐标为迭代次数。结果为弦割法平均迭代次数为 9.3837，二分法为 9.7384，效率并没有提高多少。

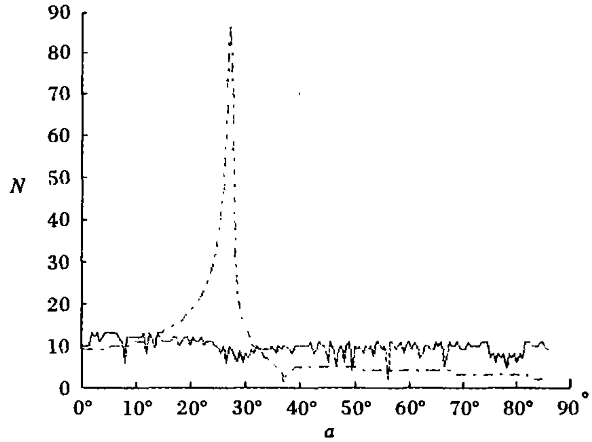

图 4　弦割法与二分法迭代仿真图

试验发现，在[11.5°,31.5°]弦割法迭代次数明显高于二分法，尤其当球的角度为 27° 时达到 87 次。其原因在于当球的角度在[11.5°,31.5°]时，方程的曲线在接近方程根的时候非常平缓，使得方程迭代次数明显增加，影响了收敛速度，图 5 为球角度为 27° 时的方程曲线图，横坐标为时间周期，纵坐标为方程 $f(x)$。

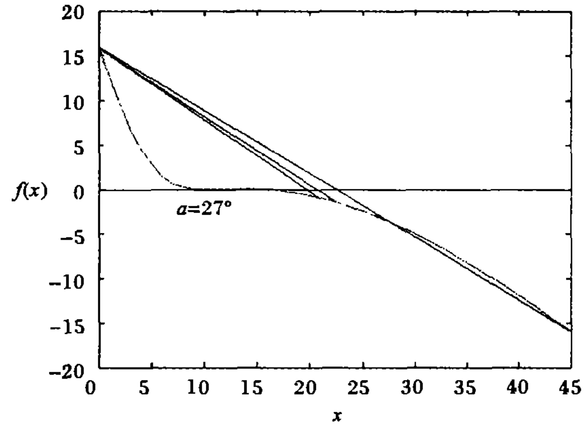

图 5　方程曲线迭代过程图

3　弦割法优化

在[11.5°,31.5°]区间内仍采用弦割法，但对其作了改进，即除了用动点 x_2 代替需要替代的点外，把另一个不变点 x 的 $f(x)$ 值缩小一半。例如：当球角度为 20° 时 $f(x_2)$ 与 $f(x_1)$ 同号，则除了让 x_1 代替 x_2 外，同时把 $f(x_0)$ 的值缩小一半，见图 6。

下次迭代时 $f(x_0)/2$ 与 $f(x_2)$ 的连线与 x 轴的交点 x_3' 与优化前取得的交点 x_3 更靠近精确值，这样迭代次数就会降低，从而加速收敛。但这种优化算法在[15°,35°]区间外效率并没有提高。如当球角度为 60° 时，方程迭代示意图见图 7，不

难看出，x_3' 与精确值更远了。因此我们对这两种算法进行了合并，[11.5°,31.5°] 中采用优化后的弦割法，其他区间仍采用优化前的弦割法。优化后，平均迭代次数为 5.8779。

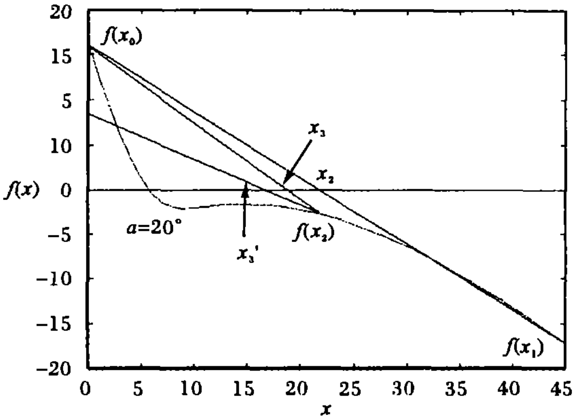

图6 球射出角度 20° 时的优化示意图

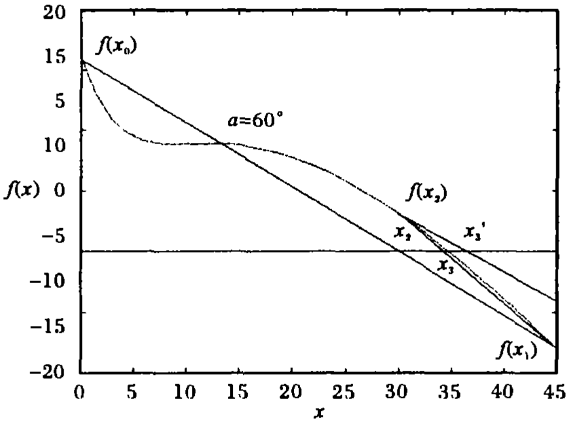

图7 球射出角度 60° 时的优化示意图

4 结语

从学习算法的角度来说，弦割法是一种搜索算法，它利用了人类常识作为启发信息，加速了搜索，它的物理意义比较直观，便于在决策中运用；在截球算法中，如果 $f(mrt) > 0$，认为失败。结合实际情况，认为该队员是追不上球的，即球员跑到球停止的地方所需时间超过了 45 个周期，认为截球失败，不进行计算，毕竟在比赛中，注重的是整体配合，由其他策略解决。当 $f(x) < 0$ 时，运动模型不是单调递减情况下，有可能出现多解的情况，因为多解情况仅限于特定条件，且出现情况不是很多，采用了其他算法来获取最佳解。通过实验发现由于方程 $f(x)$ 在 0 到 45 个周期内曲线斜率变化，在某些区间严重影响弦割法的收敛速度，造成震荡，最高迭代次数甚至达到 87。为此在迭代次数较高的区间对弦割法进行了优化。优化后，弦割法平均迭代次数 5.877 9 次，效率比优化前弦割法快 37.3%，比二分法快 39.6%，很好满足了比赛截球要求。

致谢：东南大学李伟博士和南京邮电学院韦龙凤对本文的工作提供了好的建议和思路，在此一并表示感谢。

参考文献：

[1] HIROKI K, MINORU A, YASUO K, *et al*. RoboCup: A Challenge Problem for AI and Robotics[A]. RoboCup-97: Robot Soccer World Cup I[C]. Berlin: Springer, 1998. 1 - 19.

[2] 李实，陈江、清华机器人足球队的结构设计与实现[J]、清华大学学报，2001，41(7)：94 - 97.

[3] Hagan mt. 神经网络设计[M]. 北京：机械工业出版社，2002. 197 - 211.

[4] 菲利普斯，泰勒. 数值分析的理论及其应用[M]. 上海：上海科学技术出版社，1972. 164 - 167.

[5] 何光渝. Visual C++ 常用数值算法集[M]. 北京：科学出版社，2002. 528 - 530.

（上接第 1857 页）

这样一直下去，直到有某个 r 值使得 L_r 为空。对于刚开始，从外存中读入事务数据库，最后，写关联规则，经典 Apriori 算法与 ACL 算法一样。测试结果如表 2（设 support = 10%，confidence = 50%）。

表 2 ACL 算法与 Apriori 的比较

数据量	运行时间/s		数据量	运行时间/s	
	经典 Apriori	ACL 算法		经典 Apriori	ACL 算法
5000	0.53	0.04	20000	2.23	0.14
6000	0.65	0.05	50000	5.60	0.34
8000	0.88	0.06	80000	8.86	0.54
10000	1.10	0.07	100000	11.00	0.68
15000	1.68	0.11	150000	16.73	1.01

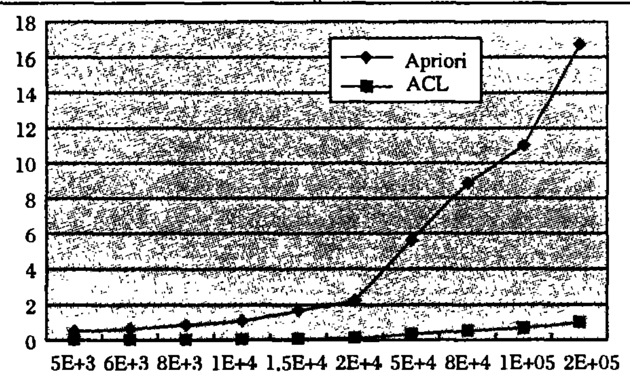

图 3 两种算法运行时间曲线

以上测试是在 P4 1.6G，内存为 128M 的 PC 机上进行的。

参考文献：

[1] AGRAWAL R, IMIELINSKI T, SWAMI A. Mining association rules between sets of items in large databases[A]. Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of data[C]. Washington, DC, USA: ACM Press, 1993. 207 - 216.

[2] BASTIDE PY, TAOUIL R, LAKHAL L. Discovering frequent closed itemsets for association rules[A]. Proceedings of 7th International Conferece Database Theory (ICDT99) [C]. Jerusalem, Israel: Springer-Verlag, 1999. 398 - 416.

[3] SAVASERE A, OMIECINSKI E, NAVATHE S. An efficient algorithm for mining association rules in large databases[A]. Proceedings of the 21st International Conference on Very large Database [C]. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann, 1995. 432 - 444.

[4] PARK JS, CHEN MS, YU PS. An effective hash-based algorithm for mining association rules[A]. Proceedings of 1995 ACM-SIGMOD International Conference Management of Data[C]. San Jose: ACM Press, 1995. 175 - 186.

[5] KLEINBERG J, PAPADIMITRIOU C, RAGHAVAN P. Segmentation problems[A]. Proceedings of the 30th Annual Symposium on Theory of Computing[C]. NY, USA: ACM, 1998. 473 - 482.

[6] OOSTHUIZEN GD. Rough Sets and Concept Lattices [A]. Rough Sets, and Fuzzy Sets and Knowledge Discovery (RSKD'93) [C]. London: Springer-Verlag, 1993. 24 - 31.

[7] WILLE R. Restructuring lattice theory: An approach based on hierarchies of concepts[A]. Ordered Sets[C]. Dordrecht Boston: Reidel, 1982. 445 - 470.