

# 地空导弹武器系统仿真中目标与设定区域 (多边形)位置关系判别算法

王路<sup>1</sup>, 邢清华<sup>1</sup>, 曲婧华<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学防空反导学院, 陕西西安, 710051; 2. 航天局802所军事代表室, 上海, 200090)

**摘要** 将地空导弹武器系统仿真中诸多问题抽象为目标与设定区域(多边形)位置关系判别问题。提出旋转函数和相关边的概念, 设计了判断目标在多边形内外的新算法。综合运用旋转函数与相关边技术, 将目标与多边形之间的位置关系转化为目标与其相关边之间的位置关系, 首先找出目标点的相关边, 再计算该点与其相关边组成的有向三角形的旋转函数, 最后利用旋转函数值的正负性来判断目标与多边形的位置关系。在相关边的寻找过程中设计了算法, 避免了大量的求交运算, 从根本上提高了算法的效率。新算法还简单有效地解决了传统判别算法——射线法中的临界位置问题。程序验证表明: 新算法易于实现, 适用于简单多边形, 在地空导弹武器系统仿真中具有很强的重用性, 对避免重复的仿真研究和开发具有重要意义。

**关键词** 多边形; 相关边; 旋转函数

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.04.019

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)04-0061-04

在地空导弹武器系统仿真中, 指挥控制系统的建模仿真是一项重要工作, 而在指挥控制系统建模仿真中, 目标与所给定多边形位置关系(目标与杀伤区的位置关系、空中目标与禁飞区的位置关系以及在相控阵雷达系统功能级建模仿真中目标与雷达探测区域的关系等等)的判别算法是指控系统仿真的基础和难点。对于这类问题的解决, 计算机图形学中传统的经典算法——射线法应用最为广泛: 从检测点开始沿任一方向作射线(该射线可以是水平的或铅直的), 然后计算它所通过多边形的交点, 若交点的个数是奇数时, 该点位于多边形内; 若是偶数, 该点位于多边形外。虽然简单易懂, 但存在大量求交运算, 且对于临界情况, 即当监测点  $P$  的  $Y$  轴坐标值与多边形某一顶点的  $Y$  轴坐标值相等时, 该算法须对其进行特殊处理, 所以射线法存在较大的计算量, 且稳定性不理想。

针对传统射线法的不足, 人们尝试对射线法进行不同的改进, 郝建强等<sup>[1]</sup>从分析直线的正负性入手, 进一步全面描述了点与有向线段的各种相互位置关系及相应的处理步骤; 董秀山等<sup>[2]</sup>通过查找简单多边形所有顶点在确定区域内中斜率最小点, 以此点确定一条射线, 使得这条射线不穿过简单多边形的顶点, 使射线与简单多边形没有特殊的相交情况; 燕昊<sup>[3]</sup>首先在平面上加载栅格网, 通过判断栅格网与多边形的关系来间接判断点与多边形的关系; 文献[4-10]则是在射线法的基础上的讨论与各种改进, 以提高点与多边形位置关系判断的准确性和效率。

本文在前人研究的基础上, 提出了旋转函数和相关边的概念, 并设计了基于旋转函数和相关边的多边形内外点判别算法。

## 1 旋转函数及相关边

### 1.1 旋转函数

\* 收稿日期: 2012-01-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60773209)

作者简介: 王路(1987-), 男, 陕西咸阳人, 硕士生, 主要从事防空作战建模与仿真研究。

E-mail: 408191081@qq.com

对于有向三角形  $\Delta A_{i-1}A_iA_{i+1}$ ,  $X, Y$  分别表示横纵坐标, 构造函数  $f$  为旋转函数  $f = (x_i - x_{i-1})(y_{i+1} - y_i) - (x_{i+1} - x_i)(y_i - y_{i-1})$ 。

若  $f > 0$ , 表示有向三角形  $\Delta A_{i-1}A_iA_{i+1}$  的方向为逆时针; 若  $f < 0$ , 表示其方向为顺时针, 若  $f = 0$ , 表示其 3 个顶点在一条直线上。见图 1。

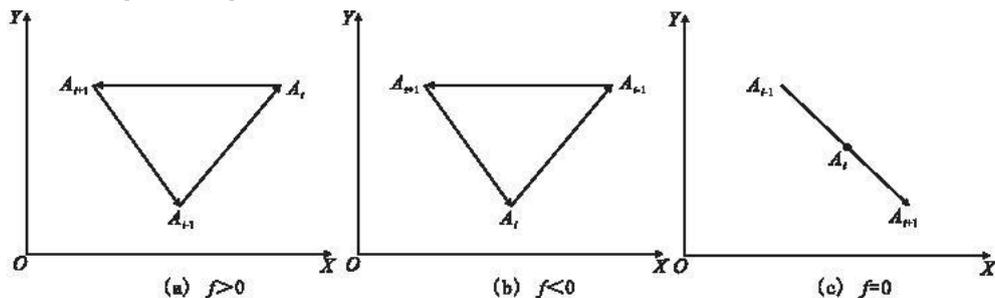


图 1 旋转函数的 3 种情况

Fig. 1 Three kinds of correlative edges

## 1.2 相关边

对于有向多边形, 从某顶点  $O$  向目标点  $P$  引射线, 射线与多边形存在交点, 依次记为  $M_1, M_2, \dots, M_n$ , 2 点之间的距离用  $R$  表示, 如果  $R_{OM_i} \leq R_{OP} \leq R_{OM_j}$ , 则  $M_i$  所在边与  $M_j$  所在边都为点  $P$  的相关边。见图 2。

在图 2 中, 目标点位于射线  $OP$  上,  $OP$  与多边形 ( $OAB C D E F$ ) 的交点依次记录为  $M_1, M_2, M_3$ , 当点  $P$  位于  $P_1$  位置时,  $0 \leq R_{OP} \leq R_{OM_1}$ ,  $M_1$  所在边  $AB$  为待测点  $P$  的相关边; 当点  $P$  位于  $P_2$  位置时,  $R_{OM_1} \leq R_{OP} \leq R_{OM_2}$ ,  $M_1$  所在边  $AB$  及  $M_2$  所在边  $BC$  为待测点  $P$  的相关边; 当点  $P$  位于  $P_3$  位置时,  $R_{OM_2} \leq R_{OP} \leq R_{OM_3}$ ,  $M_2$  所在边  $BC$  及  $M_3$  所在边  $CD$  为待测点  $P$  的相关边; 当点  $P$  位于  $P_4$  位置时,  $R_{OM_3} \leq R_{OP} < +\infty$ ,  $M_3$  所在边  $CD$  为待测点  $P$  的相关边。

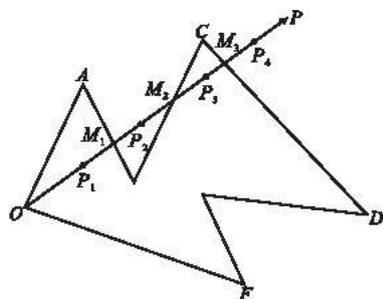


图 2 待检测点与相关边示意图

Fig. 2 Sketch map of correlative edges and the point

## 2 基于旋转函数及相关边的新算法

### 2.1 算法设计思想

距离判别法的具体算法思路为: 给多边形的顶点按顺时针方向依次编号, 从多边形的第 1 个顶点  $O$  向目标点  $P$  引射线, 寻找点  $P$  的相关边, 将点  $P$  与各相关边连接构成有向三角形, 如果所构成的三角形旋转函数  $f$  值都为负, 则点  $P$  在外部; 如果有一个三角形旋转函数  $f$  值为零, 则点  $P$  在边上; 否则点  $P$  在内部。为了便于理解, 举例说明如下:

见图 3, 先找到点  $P$  的相关边, 途中相关为边  $AB$  与边  $BC$ , 多边形的旋转方向为顺时针, 所以顺次连接  $AB, BP, PA$ , 构成有向三角形  $ABP$ , 计算三角形  $ABP$  的旋转函数值, 图中的三角形  $ABP$  旋转方向为逆时针, 所以旋转函数的计算结果应为负; 由于点  $P$  还有一条相关边  $BC$ , 按上述方法构造有向三角形  $B C P$ , 并计算其旋转函数值, 结果同样应为负, 按照下文介绍算法可知, 当待测点  $P$  有 2 条相关边, 并且构成的有向三角形的旋转函数值都为负时, 判别结果为点  $P$  在外部。

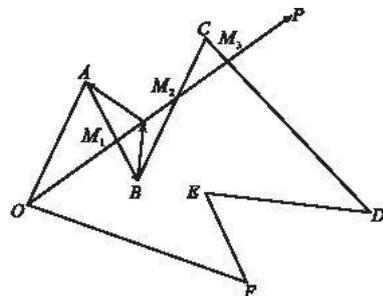


图 3 待测点与相关边构成有向三角形

Fig. 3 The polygon that assembled by the point and its correlative edges

### 2.2 算法描述

#### 2.2.1 相关边的寻找算法

1) 判断射线  $OP$  与多边形哪条边相交。

在判断射线  $OP$  与多边形哪条边相交时, 通过角度来判断, 见图 4。

判断  $AB$  边是否与射线相交,通过计算射线  $OA$ 、 $OB$ 、 $OP$  的角度,如果  $\angle AOX < \angle POX < \angle BOX$  或  $\angle BOX < \angle POX < \angle AOX$ ,认为  $OP$  与边  $AB$  相交,否则认为不相交。

2) 计算交点坐标(依次记为  $M_1, M_2, \dots, M_n$ )。

3) 计算各交点至原点的距离  $R_{OM_i} (i = 1, 2, \dots, n)$  及目标点至原点的距离  $R_{OP}$ 。

4) 将  $R_{OP}$  加入  $R_{OM_i} (i = 1, 2, \dots, n)$  队列,并进行队列内各距离值  $R$  的从小到大排序。

5) 确定相关边。

相关边的寻找结果可能有 3 种情况:①  $0 \leq R_{OP} \leq R_{OM_i}, (0 < i \leq n)$ , 则  $M_i$  所在边为点  $P$  的相关边;②  $R_{OM_i} \leq R_{OP} < +\infty, (0 < i \leq n)$ , 则  $M_i$  所在边为点  $P$  的相关边;③  $R_{OM_i} \leq R_{OP} \leq R_{OM_j}, (0 < i, j \leq n)$ , 则  $M_i$  所在边与  $M_j$  所在边都为点  $P$  的相关边。

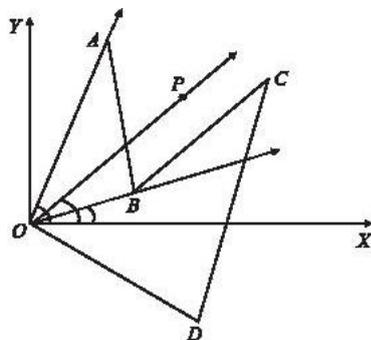


图 4 射线与多边形关系判别示意图  
Fig. 4 Sketch map of relationship between radial and polygon

### 2.2.2 基于相关边判断点 P 是否是多边形内部算法

1) 将点  $P$  与相关边连接成有向三角形,三角形旋转方向依据相关边的走向;

2) 计算所构成有向三角形的旋转函数;

3) 判断点与三角形的内外关系,分 3 种情况:①如果所构成的三角形旋转函数  $f$  值都为负,则判别为点  $P$  在多边形外部;②如果有一个三角形旋转函数  $f$  值为零,则点  $P$  在多边形上;③不满足上述 2 种情况,则判别为点  $P$  在多边形内部。

## 3 实验设计

本文在 VC + +6.0 环境下设计了算法的验证程序,见图 5,通过任意设定目标点位置及多边形形状,程序结果验证了算法的可靠性与稳定性。另外,本算法结合 vsTASKER 仿真软件的可视化特性,通过将算法植入仿真软件中雷达探测模块,较好的将算法应用在防空反导作战仿真中,见图 6,设定目标与某型制导雷达的部署位置,以及目标的进攻路线,当目标进入雷达预先设定的区域,雷达发现目标,进而进行后续行为。

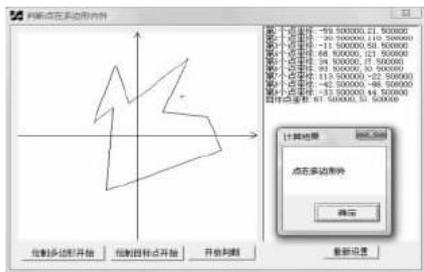


图 5 VC + +6.0 环境下的算法验证实例

Fig. 5 Instance of algorithm under VC + +6.0



图 6 vsTASKER 环境下的算法应用实例

Fig. 6 Instance of algorithm under vsTASKER

## 4 结束语

在地空导弹武器系统仿真中,目标与多边形位置关系判别算法适用于多种场合。本文介绍了针对这类问题的传统解决方法——射线法及目前学者提出的不同算法,提出了旋转函数和相关边的概念,并设计了基于旋转函数和相关边的多边形内外关系判别算法,最后设计实验对一般情况以及传统射线法不能有效判别的情况进行了验证,算法简单易懂,并避免大量求交计算,同时更好地解决了传统射线法不能处理的特殊情况,在各类点与平面关系的判别中有应用价值。

### 参考文献 (References):

[1] 郝建强,宫官战,叶红. 点对多边形位置检测的稳定串行最优与并行的算法[J]. 计算机应用研究,2010,27(7):1342 -

1348.

HAO Jianqiang, GONG Yunzhan, YE Hong. Stable serial optimal and parallel algorithm of point-in-polygon test[J]. Application research of computers, 2010, 27(7): 1342-1348. (in Chinese)

- [2] 董秀山, 刘润涛. 判断点与简单多边形位置关系的新算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(2): 185-186.  
DONG Xiushan, LIU Runtao. New algorithm for determining position relation between simple polygon and point[J]. Computer engineering and applications, 2009, 45(2): 185-186. (in Chinese)
- [3] 燕昊. 一种判断点在多边形内的新方法[J]. 河南科学, 2010, 28(11): 1469-1471.  
YAN Hao. A new method for the decision of a point whether in or not in a polygon[J]. Henan science, 2010, 28(11): 1469-1471. (in Chinese)
- [4] 陈瑞卿, 周健, 虞烈. 一种判断点与多边形关系的快速算法[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(1): 60-63.  
CHEN Ruiqing, ZHOU Jian, YU Lie. Fast method to determine spatial relationship between point and polygon[J]. Journal of Xi'an jiaotong university, 2007, 41(1): 60-63. (in Chinese)
- [5] 赵京东. 再论映射相关边概念的多边形内外点判别算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(1): 69-72.  
ZHAO Jingdong. Further discussion on point inclusion test of simple polygons in terms of the nearest relevant edge[J]. Journal of computer-aided design & computer graphics, 2007, 19(1): 69-72. (in Chinese)
- [6] Rosalee Wolfe. Teaching visual aspects in an introductory computer graphics course[J]. Computers & graphics, 2002, 26(1): 163-168
- [7] Feito F, Torres J C, Urena A. Orientation, simplicity and inclusion test for planar polygons [J]. Computers & graphics, 1995, 19(4): 595-600.
- [8] Zhu F. Information transparency of business-to-business electronic markets: a game-theoretic analysis[J]. Management science, 2004, 50(5): 670-685.
- [9] Zhu K, Kraemer K, Xu S. Electronic business adoption by euro-pean firms: a cross-country assessment of the facilitators and inhibitors[J]. European journal of information systems, 2003, 12(4): 251-268.
- [10] Chatterjee D, Grewal R, Sambamurthy V. Shaping up for e-commerce: institutional enablers of the organizational assimilation of e-commerce[J]. MIS quarterly, 2002, 26(2): 65-89.

(编辑: 田新华)

## A New Algorithm of Target in-out Given Region (Polygon) Test for Land-to-air Missile Weapon System Simulation

WANG Lu<sup>1</sup>, XING Qing-hua<sup>1</sup>, QU Jing-hua<sup>2</sup>

(1. School of Air and Missile Defense, Air force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Military Representative Office by Air Force in the NO. 802 Institute of SAST, Shanghai, 200090)

**Abstract:** For land-to-air missile weapon system simulation, most problems can be abstracted as the problems on the relationship between the target and the given region (polygon). In this paper, the conceptions of Rotary Function and correlative edges are proposed. By integrating rotary function with correlative edges, a new algorithm of point in-out polygon is put forward. The new algorithm transforms the relationship between a point and a polygon into that between a point and its correlative edges. This paper firstly finds the correlative edges of the point, then, calculates the value of the rotary function of the polygon that assembled by the point and its correlative edges. Finally, by analyzing the value of the rotary function, the relationship between point and polygon can be sure. Because lots of operations of intersection are avoided, the efficiency of the algorithm is raised radically. The use of the new algorithm can effectively and simply solve the critical position problems in the traditional algorithm. Software implementation verifies the high robustness and efficiency of the new algorithm. The model constructed in the paper is strong in reuse for multi-type land-to-air missile weapon system simulation, and the study in this paper is important to avoid overlapped study and development.

**Key words:** polygon; correlative edges; rotary function