

战术导弹发射车最优路径规划算法研究

刘 伟, 王雪梅, 张 博, 吴春龙

(第二炮兵工程学院, 西安 710025)

摘 要: 介绍了战时情况下, 能使战术导弹发射车顺利、安全、高效进入发射阵地的最优路径算法, 并提出了两种新的算法: 基于图论的多重运算法、首轮淘汰法, 基于模糊理论的算法。运用这两种算法可以有效地解决导弹发射车道路寻优问题。

关键词: 最优路径; 最短路径; 模糊理论

中图分类号: TJ768.2⁺8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5048(2006)05-0019-04

Research on Programming of Optimal Path Algorithm for Tactics Missiles Launch Vehicles

LU Wei, WANG Xue-mei, ZHANG Bo, WU Chun-long

(Second Artillery Engineering Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract This paper introduces some optimal path algorithms which ensure that tactics missiles launch vehicles can get to launch positions successfully, safely and efficiently, and gives two new algorithms: these are multiple algorithms and elimination in first round based on graph theory, and the algorithms based on fuzzy theory. By means of studying of these algorithms, the battle efficiency can be enhanced.

Keywords optimal path; shortest path; fuzzy theory

0 引 言

要想解决导弹发射车道路的寻优问题, 必须首先确定路径最优的目标, 并且还要充分考虑道路的属性信息。

路径最优目标包括: 最快速(最短时间)、最隐蔽、仪器最安全(即最低影响设备性能)、生存能力最强(遭空袭或伏击时, 逃生路线最合理)的单目标或两个以上单目标的组合。通常把单目标组合起来作为路径最优目标, 既要保证快速、隐蔽, 又要保证仪器最安全。

道路属性包括: 路段的等级、长度、载重、宽度、质料(沥青、水泥)、桥梁等。

在实际应用过程中, 尤其是在战时导弹发射车最优路径规划的过程中, 最短路径必然不单纯是路程最短的路径, 其实是在寻求时间最优的算法。导弹发射车最优路径规划问题从本质上说属于图论中的最短路径问题, 因为可以将节点之间的距离换成诸如时间等表示其他属性的权值, 故图论中的最短路径算法也可用于实现某些最优目标的问题中。

现在国内外学者都对此进行了大量的研究。如经典 Dijkstra 算法^[1]和 Floyd 算法^[2], 还出现了一些诸如利用节点——弧段联合结构来表示图, 并利用深度有限算法实现最短路径的自动判断与获取的方法^[3]等算法。Dijkstra 最短路径算法是求解这一问题的基本方法, 但在战车导航系统中通常不能直接使用。因为战场环境瞬息万变, 道路的许多属性会随着战斗的变化而变化, 所以要求车载

收稿日期: 2005-12-13

作者简介: 刘伟, 男, 硕士研究生, 研究方向是导航与控制。

路径规划系统本身具有实时性的特征,对最优路径规划算法的执行效率要求较高,而且导航电子地图的规模往往十分庞大,使得对存储空间的要求也很高。而负责处理路径规划任务的导航计算机由于受成本和车载环境限制,其处理能力和系统存储资源都十分有限,难以负担繁重的计算任务,因此必须寻求最短路径算法。

1 最短路径算法

在高效的算法中,改进 Dijkstra 算法^[4]、遗传算法^[5]、树修剪算法^[6]在实际应用中效果较为明显。

1.1 改进 Dijkstra 算法

根据 Dijkstra 算法本身和道路网的一些特点,文献[7]提出了椭圆搜索框算法,文献[8]对椭圆搜索框算法进行了改进,提出了矩形限制区域搜索算法。不管是椭圆算法还是矩形算法,其关键都是要得到合适的最短路径所对应的大致极限。椭圆搜索框算法如图1所示,在确定起点A和终点B后,由于道路网自身的特点,最短路径必定存在一个对应的大致极限距离,以终点和起点作为焦点,以最短路径对应的极限距离为长轴,这样就可以确定一个椭圆,这个椭圆就成为了 Dijkstra 算法的搜索区域。由于判断路段是否在椭圆内比较繁琐,文献[8]的矩形算法使用求出的椭圆来确定一个矩形作为搜索区域,简化了判断路段是否在区域内的过程,从而提高了效率。

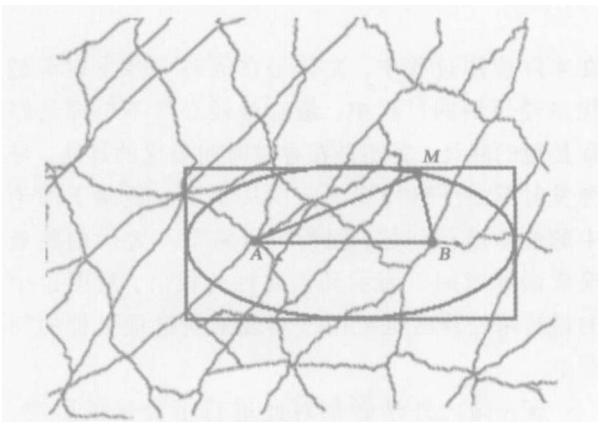


图1 在道路网上设置搜索区域

1.2 遗传算法

遗传算法用于最优路径规划可分为以下几个步骤。遗传算法的一般方法参见文献[9~11]。

初始化。采用一维整数染色体编码,根据已知的交通网络的邻接矩阵,在起点和终点之间随机地选取一条基本通路,从而获得初始种

群。

杂交。采用赌轮方式随机选择参加杂交的父代,然后随机产生杂交点。判断第一个父代的前半部分是否与第二个父代的后半部分路径前后相通,若相通,则将它们连接起来。否则在两断点间随机地找出一条通路来连接,再将剩余的两部分用同样的方法连接。为了避免子代路径中存在路径循环而降低子代个体的适应能力,对新产生的子代个体进行去循环处理,将相同节点之间的节点删除以形成一条基本通路。将当前种群中适应值最差的个体与新产生的个体进行比较,如果前者小于后者,则进行替换操作;否则,不进行任何操作。

变异。对父代个体分别进行变异条件的判断,即产生一个随机数 r ,若 $r < P_m$,则是变异。变异方法如下:随机产生一个变异点,然后在变异点和终点间随机找出一条通路。为了避免变异个体路径中存在路径循环而降低变异个体的适应能力,对变异个体进行去循环处理,即将相同节点之间的节点删除以形成一条基本通路。然后将变异前个体的适应值与变异后个体的适应值进行比较,如果前者小于后者,则进行替换操作;否则,不进行任何操作。

1.3 树修剪算法

树修剪算法是用来求取最短时间的方法,分为“先排序,后修剪”和“树排序和修剪同时进行”两种方法,但这些都是 Dijkstra 最短路径算法基础上改进而来的。而图论中的最短路径定理则是此算法的理论基础。“先排序,后修剪”基本步骤如下:

(1) 将起点作为树的根节点,记为0层。按计算机网络中的节点间跨距的定义,按起点到各节点所经过的路线跨距值将各节点分到各层中去。

(2) 根节点到每个子节点的用时为根节点到该节点经历的所有节点数据域(节点用时)和所有边的权值(路段用时)的和。将用时标注在每个节点旁边。

(3) 在同一层中,对每个节点的若干子节点按起点到节点所用时间的长短从左到右升序排列。节点有重复时,标记层次最小的节点为可扩展节点,其他所处层次位置高于它的重复节点为不可扩展节点。不可扩展节点的后续路径借用可扩展节点的后续路径。

(4) 如果在同一层中出现重复节点,则标记重复节点中距起点用时最短的节点为可扩展节点。

将所有存在的路段都在图中表示出来, 这样就将图转化为等价树。

(5) 对树中出现的重复节点进行修剪。如果路径 $(A \rightarrow A_1 \rightarrow \dots \rightarrow P \rightarrow \dots \rightarrow B)$ 是起点 A 到 B 点的最短路径, 那么路径 $(A \rightarrow A_1 \rightarrow \dots \rightarrow P)$ 必是从节点 A 到节点 P 的最短路径。也就是说, 如果存在重复节点且该重复节点在最后所求最短路径经过的节点集中, 根节点到该节点用时最短时所经过的路径必定是起点到终点的最短路径所经过的一段路径。因此修剪重复节点时所用判据可表述如下:

如果该重复节点为 k , $\text{road}(A, \dots, k, i) (i=1, 2, 3, \dots)$ 为第 i 条 A 到 k 经过的路径, 则 $T(A, k, \text{road}(A, \dots, k, i))$ 为第 i 条 A 到 k 的路径的用时, 当 T 最小时, 保留对应路径上的 k 节点, 删去其他重复 k 节点及所连树枝。

(6) 用上述方法修剪所有重复节点。

1.4 最短路径算法小结

以上三种算法是以图论理论为基础的, 国内外的很多专家学者利用有向图的有关理论研究交通网络, 获得了很多的成果。这三种算法, 在实际应用中可以避免“维数灾”的问题。如前所述, 可以将路径最短的算法应用于路径最优算法中, 所不同之处是将路径最短算法中的节点间路径的长度换成道路其他属性的权值。

在进行最优路径规划时, 可以采用许多与此相关的算法或方法。

数据融合技术。数据融合技术是信息科学领域内的一项技术, 该技术是新一代智能信息技术的重要基础。这种技术是研究多种信息的获取、传输与处理的基本方法、手段以及信息的表示、内在联系和运动规律的一门技术。数据融合是指: 多种类型的信息经过复杂的处理得到一种或多种结果的过程。在导弹发射车最优路径规划算法研究中, 道路的各种属性就是需要被融合的多种类型的信息, 而目标就是这些信息经融合处理后得出的结果。

2 解决战时导弹发射车寻求最优路径的两种新型算法

基于图论的多重运算法、首轮淘汰法和基于模糊理论的算法是解决导弹发射车最优路径规划算法问题的有效算法。

2.1 基于图论的多重运算法、首轮淘汰法

以上介绍的方法仅仅是在军事用途上寻求最

优路径的基础, 因为导弹发射车所走道路不仅包括山、河、沟(在平面图论中无法体现), 而且要考虑道路的宽度、战车的转弯半径在节点处转弯是否可行。所以, 导弹发射车在战时利用最短路径算法按照需要目标寻找最优路径时, 可有两个方案: 多重运算、首轮淘汰。

多重运算的思想为: 在军事用途上, 通常不以单目标作为最优目标进行路径规划, 而是以两种或两种以上的目标的组合作为路径最优目标。因此, 可以将组合目标中的各项单目标分别进行运算, 得出各条路径属于不同目标的目标值; 然后, 按照一定的关系(加权)算出各条路径的组合目标值。

例如: 从 A 点到 B 点, 有两条路径(d_1 和 d_2), 组合目标为: 时间最短和车内设备安全度最高, 两者的加权系数分别为 $\alpha_1=0.3$ 和 $\alpha_2=0.7$ ($\alpha_1+\alpha_2=1$), 按照前述的最短路径的算法可得 d_1 路径消耗时间为 35 min , 车内设备安全度为 5 ; d_2 路径消耗时间为 55 min , 车内设备安全度为 7 。将其时间换算成单位速度分别为: $V_1=1.7153$ 和 $V_2=1.0909$ 。进行归一化处理得: $V_{g1}=0.6112$ 和 $V_{g2}=0.3888$ 。同时将安全度归一化得: $\lambda_1=0.4167$ 和 $\lambda_2=0.5833$ 。按照目标值 $J_x = V_{gx}\alpha_1 + \lambda_x\alpha_2$, 可得出 $J_1=0.3834$, $J_2=0.4166$, $J_2 > J_1$ 。所以, d_2 在时间最短和能更好保证车内设备安全的目标下更符合要求。

此方法配合首轮淘汰法使用, 效果会更加有效。

首轮淘汰的思想是: 根据导弹发射车的特殊性, 可以在第一轮选取路径时淘汰许多不适合的路径, 删除许多节点, 最后将计算维数降低。如因导弹发射车为重量高的车辆, 故排除掉许多承重低的道路或桥梁的路径; 又因作战需要, 导弹发射车不可能在城市中穿行, 故又可以排除城市道路; 再因导弹发射车为高级战斗单元, 为保证其安全性, 不可使其在隐蔽性极差的高速公路上行驶, 故又可将高速公路网排除。按照此方法就可以将公路网简化, 减少节点和路径, 达到简化计算的目的。

2.2 基于模糊理论的算法

由以上讨论可知, 权值可以是路径长, 也可以是其他属性值, 其中只有路径是确定性的, 其他属性都有一定的模糊性, 因此它们的确定需要引入模糊理论的知识。为了综合路径长度和交通状况以及隐蔽度几个属性, 对规划路径的选取做出一个合理的评判, 应采用模糊理论^[13]的处理方法。

建立属性等级 U , 令 $U = \{U_1, U_2, U_3\}$ 。

(1) 建立隶属度函数

首先, 建立路程差决定的隶属度函数。 U_1 表示路径路程因素, 代表了车辆从起点到终点的路径长度与最短路径路程之差。设 d 表示最短路径的路程, 以路径路程差为论域 X , 以 $u_{ll}(x)$, $u_{lm}(x)$, $u_{lh}(x)$, $u_{ls}(x)$ 分别表示 x 隶属于模糊子集路径路程差“小”、“中”、“大”、“很大”的隶属度, 建立相应的隶属度函数。

其次, 以同样的方法建立交通状况决定的隶属度函数。以路径综合速度为论域 Y , 以 $u_{lp}(y)$, $u_{lg}(y)$, $u_{jl}(y)$, $u_{ji}(y)$ 分别表示 y 隶属于模糊子集路径交通状况“优”、“中”、“差”、“很差”的隶属度, 建立相应的隶属度函数。

最后, 以同样的方法建立隐蔽度决定的隶属度函数。以道路被周围环境遮掩的部分所占的比例为论域 Z , 以 $u_{ys}(z)$, $u_{yh}(z)$, $u_{ym}(z)$, $u_{yl}(z)$ 分别表示 z 隶属于模糊子集隐蔽度“很高”、“高”、“中”、“低”的隶属度, 建立相应的隶属度函数。

(2) 对路径论域 U 作综合评判

对路径论域 U 作综合评判时, 令 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$ 。这里 u_1, u_2, u_3, u_4 分别表示路径的“优”、“中”、“差”、“很差”。综合评判方法如下:

a 分别以 X, Y, Z 为因素进行评价, 建立模糊向量 R_1, R_2, R_3 , 然后建立模糊矩阵 R 。

$$R_1 = [u_{ll}(x) \quad u_{lm}(x) \quad u_{lh}(x) \quad u_{ls}(x)]$$

$$R_2 = [u_{lp}(y) \quad u_{lg}(y) \quad u_{jl}(y) \quad u_{ji}(y)]$$

$$R_3 = [u_{ys}(z) \quad u_{yh}(z) \quad u_{ym}(z) \quad u_{yl}(z)]$$

$$R = [R_1 \quad R_2 \quad R_3]^T$$

b. 建立权重向量。由于在具体应用时, 路径路程长度、路径交通状况和隐蔽度在路径选取时考虑的重要程度不一样, 为了反映他们各自的重要程度, 对因素集 $\{U_1, U_2, U_3\}$ 赋予相应的权重 $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ 。令

$$P = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3]$$

c 做最佳选择

$$Q = PR$$

模糊向量 Q 就是对 U 所做的评判结果, 其各分量分别表示路径的“优”、“中”、“差”、“很差”的程度。以路径作为被评判对象, Q 的各分量作为路径的指标, 取权向量 $\lambda = [\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3 \quad \lambda_4]$,

λ_i 为 Q 的相应分量的权重, 且 $\sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1$ 。则路径选取度为

$$u = \lambda Q^T$$

3 结 束 语

为使导弹发射车在战时可以迅速寻找到最优路径, 对一些算法进行了研究, 并且提出了一些新的算法, 这些算法可以有效地解决导弹发射车寻求最优路径的问题。

参考文献:

- [1] Andrew S. Tanenbaum. 计算机网络. 第三版 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [2] 陈宝林. 最优化理论与算法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1989.
- [3] 王杰臣, 毛海城, 杨得志. 图的节点——弧段联合结构表示法及其在 GIS 最优路径选区中的应用 [J]. 测绘学报, 2000 29(1): 47-51.
- [4] 王建宇, 许震洪, 周献中. 基于数字地图的多属性最优路径问题的算法研究 [J]. 测绘信息与工程, 2003 28(4).
- [5] 陈壁峰, 陆昊娟, 黄樟灿. 车辆导航系统的动态最优路径搜索模型及算法 [J]. 武汉理工大学学报, 2002 24(3).
- [6] 王咏梅, 朱胜华, 胡福乔. 城市交通网络中的最优路径搜索的树修剪算法 [J]. 交通与计算机, 2003 (5).
- [7] Nordbeck S, Rystech B. Computer Cartography Shortest Route Programs [M]. Sweden: The Royal University of Lund, 1969.
- [8] 陆峰, 崔伟宏, 卢冬梅. 交通网络限制搜索区域时间最短路径算法 [J]. 中国图像图形学报, 2002 10(4A).
- [9] 潘正君, 康立山, 陈毓平. 演化计算 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [10] 刘勇, 康立山, 陈毓平. 非数值并行算法——遗传算法 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [11] Z 米凯利维茨. 演化程序——遗传算法和数据编码的结合 [M]. 周家俊, 何险峰, 译. 北京: 科学出版社, 2000
- [12] 王磊, 王维民. 模糊控制理论及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- [13] 关桂霞, 赵剡, 刘莹青. 一种基于模糊理论的最佳路径选择方法 [J]. 华北工学院学报, 2001 22(1).
- [14] 李洪志, 陈冬清. 数据融合技术 [J]. 高技术通讯, 1994 (6).