

# 基于 RFID 手持式盲人导航系统的路径规划

王 震, 方漫琳, 林欣农

(北京理工大学 珠海学院计算机学院, 广东 珠海 519085)

**摘 要:** 提出了一种物联网技术下盲人导航系统的路径规划算法。采用 Dijkstra 最短路径算法作为基础算法, 以关系数据库作为存储模式, 通过多因素模糊算法来确定道路网络中的权值, 并根据道路网络的空间分布特性, 合理利用矩形限制搜索算法来限制搜索范围。结合算法在盲人导航系统中的应用, 给出了算法的应用实例, 仿真实验和实例分析结果表明了算法的正确性。

**关键词:** 物联网; 最短路径算法; 关系数据库; 多因素模糊算法; 限制搜索区域

**中图法分类号:** TP301.6 **文献标识号:** A **文章编号:** 1000-7024 (2012) 05-2063-05

## Route planning in handheld blind navigation system based on RFID

WANG Zhen, FANG Man-lin, LIN Xin-nong

(School of Computer Science and Technology, Zhuhai Campus, Beijing Institute of Technology, Zhuhai 519085, China)

**Abstract:** A route planning algorithm for blind navigation system with internet of things technolog is proposed. By using shortest-path algorithm as a basic algorithm, relational database as the storage mode, combining with the multi-factor fuzzy algorithm to determine the road network weights, and using the spatial distribution feature of the real road network, the searching area is restricted reasonably with restricted rectangle searching area algorithm. Combining with its practical applications in blind navigation system. An actual example is given, and this method is validated by an example and emulator.

**Key words:** internet of things; shortest-path algorithm; relational database; multi-factor fuzzy algorithm; restricted searching area

### 0 引 言

最短路径规划问题一直是计算机科学、运筹学、交通工程学、地理信息学等学科的研究热点<sup>[1]</sup>。其也是导航系统的重要组成部分。随着经典图论与不断发展完善的计算机数据结构及算法的有效结合, 使得新的最短路径规划问题的求解算法到达几十种, 甚至更多, 且他们各具特色。但是大多数算法由于诞生于计算机学科及运筹学的领域, 力求通过先进的计算机数据结构和运筹学的方法, 只考虑了抽象网络的拓扑特性, 却忽略了区别实际交通网络和其他平面网络的最根本特性——空间分布特性。而最短路径规划算法主要是基于道路网络, 其权值是进行路径规划的最重要依据, 而权值往往为道路长度, 它求解的是不考虑多种影响因素的最短路径, 而不是综合了多种影响因素的最优路径; 而尽管现在的很多车载导航系统都综合了多个因素去求解出最优路径, 但是这些因素和各个因素的侧重程度往往并不利于盲人的行走。同时, 考虑目前用户需求

的多样化和道路的复杂化, 最短路径规划算法实施过程采用传统邻接矩阵、邻接表等存储模式, 已经很难满足系统的各项要求并存在大量的数据冗余。

鉴于上述方法中存在的问题, 本文构建出了一种针对盲人导航系统的路劲规划算法。该算法利用空间网络分布特性对经典最短路径规划算法进行改进, 同时综合了多个对盲人行走至关重要的因素去评价道路网权值, 并采用关系数据库优化了道路网存储模式。

### 1 盲道标签数据分析及数据库结构设计

本文所述的盲人导航系统, 是通过盲人手杖的 RFID 模块读取埋设于盲道上的 RFID 标签信息, 并由终端进行处理给出响应的提示; 所以盲道网络的存储和 RFID 标签的铺设显得尤其重要。而针对本系统所涉及的盲道网络, 用邻接矩阵表示最为简单明了。但是矩阵数据冗余太大, 增加了算法的无效循环次数, 存储上也占用了大量的空间<sup>[2]</sup>。而本系统所涉及的盲道网络数据和情况过于复杂,

收稿日期: 2011-05-18; 修订日期: 2011-11-16

基金项目: 北京理工大学珠海学院科研发展基金项目 (ky-2010-0017)

作者简介: 王震 (1980-), 男, 河南泌阳人, 硕士, 讲师, CCF 会员, 研究方向为嵌入式系统设计与应用; 方漫琳 (1988-), 男, 广东惠来人, CCF 会员, 研究方向为嵌入式系统; 林欣农 (1989-), 男, 福建平潭人, 研究方向为嵌入式系统。E-mail: Chavezwang@gmail.com

不单单只是盲道网络中的权值，还涉及到铺设在盲道上的 RFID 标签的标签码等复杂数据，采用邻接矩阵存储盲道网络，其表示能力明显不足。针对上述问题，故采用关系数据库的存储模式。

为了最小化盲道网络中的 RFID 标签码的存储空间和处理时间，RFID 标签的铺设至关重要。我们将盲道网络中任意相邻的两个结点之间的 RFID 标签，采用连续的标签码。如图 1 所示。



图 1 RFID 标签铺设

图 1 中带圈的 RFID 标签码为结点；而这样的铺设使得存储变得简单。RFID 标签可以根据标志性建筑的密集程度来铺设，但是相邻的两个 RFID 标签的距离不低于 1m，这样有利于识别距离的设定（识别距离设定为 0.5-1.0m，约为成年人行走一步至两步的距离）。基于盲道网络拓扑结构的特点，采用数据库建立道路信息表和地点信息表来描述盲道网络。

表 1 采用 4 个 RFID 标签码来描述盲道网络中的一条道路，相邻结点间所有 RFID 标签码信息只需通过简单的加减运算即可得到。

表 1 道路信息

列名	说明	数据类型	约束
Roadno	道路标识码	int	主码
Roadfirst	起点 RFID 标签码（结点）	int	非空
Roadsecond	第 2 个 RFID 标签码	int	非空
Roadthird	倒数第 2 个 RFID 标签码	int	非空
Roadend	终点 RFID 标签码（结点）	int	非空

表 2 采用了 3 个有序的 RFID 标签码作为主码；避免了交叉路口不同行走方向，提示信息不一致的混淆。同时，

该表还描述了地名信息和 RFID 标签码唯一的对应关系。

表 2 地点信息表

列名	说明	数据类型	约束
Prompbef	前驱 RFID 标签码	int	主码
Prompno	当前 RFID 标签码	int	
Prompend	后继 RFID 标签码	int	
Promppy	地名信息/提示信息路径	varchar (20)	
Prompcf	地名重复标识	varchar (20)	

## 2 Dijkstra 算法的基本思想

解决单源最短路径问题的一个常用算法是 Dijkstra 算法<sup>[2-5]</sup>，它由著名数学家 E. W. Dijkstra 于 1959 年提出，是按路径权值递增的次序产生最短路径的算法；可将本系统所涉及的盲道网络简化抽象为赋权网络，其中盲道被视为网络中的边，并以盲道的相关参数作为边的权值，算法产生了该赋权网络从指定的起点到终点权值最小的路径。其也是目前解决最短路径问题采用最多的理论基础。

Dijkstra 算法描述如下：

(1) 将网络结点分为最短距离已确定的结点集合（简称：确定结点集合）、最短距离未确定的结点集合（简称：未确定结点集合）；在搜索过程中，和确定结点相连通的未确定结点称为边缘结点<sup>[6]</sup>；算法的过程就是设置并逐步扩充确定结点集合。

(2) 确定结点集合在初始状态下只包含源结点，算法不断从边缘结点中搜索距源点路径权值最小的未确定结点加入确定结点集合，直至找到目标结点或者所有结点都加入确定结点才结束算法。

(3) 算法在将未确定结点  $v$  加入确定结点集合时，还需考虑如下问题：①对于任意节点  $u$  有一对标记  $(d_u, p_u)$ <sup>[7]</sup>，其中  $d_u$  是从起源结点  $s$  到结点  $u$  的最短路径权值（当  $s=u$  时， $d_u=0$ ）， $p_u$  则是从源点  $s$  到  $u$  的最短路径中  $u$  点的前驱结点。②对于余下的每一个边缘结点  $u$ ，如果通过权值为  $w(v, u)$  的边和  $v$  相连，当  $d_v + w(v, u) < d_u$  时，把  $u$  的标记  $(d_u, p_u)$  分别更新为  $(d_v + w(v, u), v)$ <sup>[8]</sup>。

## 3 多因素模糊算法的道路网权值确定

盲道网络的权值是进行路径分析和规划的重要依据，而针对本系统的应用，显然不能将道路长度做为权值。而权值应该看作由距离因素和其他需要采用模糊隶属度来表示的盲道因素两部分组成<sup>[9]</sup>

$$W(x_1, x_2, \dots, x_n) = a \text{Dist}(x_1) + b \text{Fuzz}(x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$
 式中：Dist( $x_1$ )——道路距离函数，Fuzz( $x_2, x_3, \dots$ ,

$x_n$ )——如路面状况, 环境情况等非数值因素的模糊综合函数,  $a, b$ ——系数常量, 由实际情况调整。考虑到篇幅的问题, 对于多因素模糊综合评价的数学模型、算法描述, 以及道路非数值因素的模糊隶属度等将不在此处赘述, 具体可参见文献 [9-10], 而关于因素的量化可参见文献 [11]。

针对本系统所涉及到的情况, 经过多次分析、调研和考证, 确定出多因素模糊综合评价算法所需的如下集合:

因素集  $U = \{\text{路面状况, 环境情况, 道路繁忙程度, 红绿灯情况}\}$

评价集  $V = \{\text{优} = 100, \text{良} = 90, \text{中} = 80, \text{可} = 70, \text{差} = 60\}$

因素集  $U$  的模糊子集 (即权重分配集)  $A = \{0.3, 0.3, 0.3, 0.1\}$

对于每条道路, 分别对其 4 个因素进行评分, 得到它的评分向量  $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ , 对于各个因素评分的标准如下:

(1) 路面状况 (城市道路类型): 优——高级-水泥混凝土、沥青混凝土、整齐石块或石条。良——次高级-热拌沥青碎石混合料、沥青贯入碎 (砾) 石、乳化沥青沥青碎石混合料、沥青表面处治。中——中级-结、泥结碎石或级配碎 (砾) 石、半整齐石块路面。差——低级-粒料加固土、其他当地材料改善土。

(2) 环境情况 (城市区域环境噪声等级): 优——噪声  $\leq 50.0$  dB (好)。良—— $50.0$  dB  $<$  噪声  $\leq 55.0$  dB (较好)。中—— $55.0$  dB  $<$  噪声  $\leq 60.0$  dB (轻度污染)。差——噪声  $> 60.0$  dB (中度及重度污染)。

(3) 道路繁忙程度 (人流量, 单位: 人/h): 优—— $100 \leq \text{人流量} \leq 250$ 。良—— $\text{人流量} < 100$  或  $250 < \text{人流量} \leq 400$ 。中—— $\text{人流量} < 75$  或  $400 < \text{人流量} \leq 550$ 。差—— $\text{人流量} < 50$  或  $\text{人流量} > 550$ 。

(4) 红绿灯情况: 优——无红绿灯。差——有红绿灯。

对每条道路进行评分计算, 得到式 (1) 中非数值因素的模糊综合函数值

$$S = \sum A_i C_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

对于式 (1), 假设最简单的情况下  $a=1, b=-1$ ; 则道路最后权值为

$$W(x_1, x_2, \dots, x_n) = \text{Dist}(x_1) - S \quad (3)$$

此处, 还需要说明, 对于每一条道路的评分向量  $C$ , 采用数据库建立路况信息表 (见表 3) 进行描述; 并在算法实施过程中, 采用多表连接查询的方式。

#### 4 限制搜索区域的 Dijkstra 算法

Dijkstra 算法产生于计算机科学及运筹学<sup>[12-13]</sup>, 只考虑网络的拓扑特征或阶段特征, 而忽略了网络的空间分布特性, 使其搜索过程缺乏方向性, 得到的是一棵以源点为根

的最短路径树, 也可视为以源点为中心向外层扩展, 其搜索空间可以近似看成圆形。由于其全向搜索, 依然有大量的冗余计算。

表 3 路况信息

列名	说明	数据类型	约束
<i>Roadno</i>	道路标识码	int	主码, 引用道路信息表的外码
<i>Roadcircs1</i>	路面状况	int	非空
<i>Roadcircs2</i>	环境情况	int	非空
<i>Roadcircs3</i>	道路繁忙程度	int	非空
<i>Roadcircs4</i>	红绿灯情况	int	非空
<i>Roadweight</i>	道路长度	int	非空

但是, 对实际道路网络中任意给定的两点进行路径规划时, 最短路径的大致走向基本上与这两点的连线方向相仿<sup>[13]</sup>。鉴于这个原因, 一些学者提出了椭圆限制搜索区域的最短路径算法<sup>[6,14]</sup>, 以起始点和目标点作为椭圆的两个焦点, 画出一个合适的椭圆, 当判断是否扩展某个边缘结点时, 以是否落在椭圆内为依据。然而算法在判断边缘结点是否在椭圆内, 需要执行大量的乘积和开方计算, 同时还需采用更为精细的数据结构, 存在着一定的局限性。

针对上述的问题, 文献 [1] 和文献 [15] 提出了矩形限制搜索区域算法。其基本思想是求出限制椭圆的最小包含矩阵, 以此作为限制区域, 既减少了搜索的规模, 又避免了大量复杂的运算。如图 2 所示。

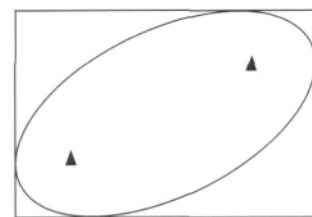


图 2 矩形限制搜索区域

这样判断边缘结点是否在限制区域, 只需将边缘结点的坐标与矩形边界进行简单的比较即可。对此我们还有两个问题需要解决: 其一, 结点的坐标从何而来; 其二, 限制区域如何求得。

对于第一个问题, 结点的坐标即为结点的经纬度, 通过数据库建立结点坐标表 (见表 4) 来描述。

对于第二个问题, 不妨定义比例系数  $\gamma = E/P$ , 其中  $P$  为起始点和目标点两点间的直线距离,  $E$  则为两点的大致极限距离; 而  $\gamma$  的值由文献 [15] 可知, 其可以通过抽样分析统计得到。

设起点和终点坐标分别为  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ ; 由此可

表 4 结点坐标

列名	说明	数据类型	约束
Roadno	结点的 RFID 标签码	int	主码
Longitude	结点的经度	double	非空
Latitude	结点的纬度	double	非空

得, 椭圆中心为  $(u, v) = ((x_1 + x_2) / 2, (y_1 + y_2) / 2)$ , 椭圆长轴与  $x$  轴的夹角为  $\theta = \arctan((y_2 - y_1) / (x_2 - x_1))$ 。同时, 根据文献 [15] 可得, 椭圆长短轴分别为  $a = \gamma [(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2]^{1/2} / 2$ ,  $b = [a^2 - ((y_2 - y_1)^2 - (x_2 - x_1)^2)]^{1/2} / 4$ 。则椭圆方程为

$$x_0^2/a^2 + y_0^2/b^2 = 1 \quad (4)$$

式 (4) 中,  $x_0 = \cos\theta (x-u) + \sin\theta (y-v)$ ,  $y_0 = -\sin\theta (x-u) + \cos\theta (y-v)$ 。

将  $x_0$ 、 $y_0$  代入式 (4) 中, 展开并整理为如下

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0 \quad (5)$$

式 (5) 中,  $A = a^2 \sin^2\theta + b^2 \cos^2\theta$ ,  $B = \sin\theta \cos\theta (b^2 - a^2)$ ,  $C = a^2 \cos^2\theta + b^2 \sin^2\theta$ ,  $D = -2uA - 2vB$ ,  $E = -2vC - 2uB$ ,  $F = u^2A + v^2C + 2uvB - a^2b^2$ 。

在式 (5) 中分别对  $x$ 、 $y$  求偏导<sup>[1,15]</sup>, 得

$$x_{\max} = \{ (BE - CD) + C [D^2 - 4AF - (2BDE - AE^2 - 4B^2F) / C]^{1/2} \} / 2 (AC - B^2)$$

$$x_{\min} = \{ (BE - CD) - C [D^2 - 4AF - (2BDE - AE^2 - 4B^2F) / C]^{1/2} \} / 2 (AC - B^2)$$

$$y_{\max} = \{ (BD - AE) + A [E^2 - 4CF - (2BDE - CD^2 - 4B^2F) / A]^{1/2} \} / 2 (AC - B^2)$$

$$y_{\min} = \{ (BD - AE) - A [E^2 - 4CF - (2BDE - CD^2 - 4B^2F) / A]^{1/2} \} / 2 (AC - B^2)$$

这样矩形限制搜索区域如下:  $\{ (x, y) \mid x_{\min} \leq x \leq x_{\max}, y_{\min} \leq y \leq y_{\max} \}$ 。

## 5 仿真实验及结果分析

由于本系统的设想为采用 RFID 标签进行导航, 不同于普通的车载导航系统, 没有现成的城市地图数据可供实验仿真, 所以采用我校地图进行仿真测试。而仿真测试判断的依据是, 该路径是否为大多数人所认可。

对于不同的起点和终点进行最短路径搜索比较, 限于篇幅有限, 无法一一列出我校任意两点之间搜索情况, 此处只给出了我校学生一饭堂到化工楼的搜索情况, 如图 3、图 4 所示。

图 3、图 4 中的线条表示响应算法在搜索最短路径过程中所考虑过的盲道, 而其中加粗的线条则为搜索到的最短路径。对比图 3 和图 4 可知, 为了搜索从我校学生一饭堂到化工楼的最短路径, 经典 Dijkstra 算法搜索规模几乎涵盖了我校的全部道路。而优化的 Dijkstra 算法的大的简化



图 3 经典 Dijkstra 算法的搜索结果



图 4 优化的 Dijkstra 算法的搜索结果

了搜索的过程, 其搜索规模和搜索时间分别为经典 Dijkstra 算法的 41.38% 和 19.57%。而值得一提的, 在图 3 中, 经典 Dijkstra 算法的权值为道路长度, 其搜索出来的路径长度虽然最短, 但是存在着很大的局限性, 该路径在我校几乎无人行走; 针对图 4 中优化的 Dijkstra 算法权值考虑了多种因素, 其搜索出来的路径为我校绝大部分师生的首选路径。

## 6 结束语

与以往的大多是路径规划相比较, 本文所述的情况比较特殊——采用的技术不单是 GPS 技术, 而是采用 RFID 射频识别技术; 同时本系统的使用者也是存在一定生理缺陷的盲人, 路径的规划考虑的问题往往和车载导航存在差别。而系统采用了 Dijkstra 算法, 使用关系数据库来存储盲道网络中的数据, 结合其他算法对原始算法进行优化, 使得最终改进后的算法对于本系统有较强的针对性、实用性以及可靠性。而该算法也已经应用于盲人导航系统中, 并取得了良好的效果。

## 参考文献:

- [1] WANG Yawen, WANG Xili, CAO Han, et al. Shortest route-planning algorithm within dynamic restricted searching area [J]. Application Research of Computers, 2007, 24 (7): 89-91 (in Chinese). [王亚文, 汪西利, 曹涵, 等. 一

- 种动态限制搜索区域的最短路径规划算法 [J]. 计算机应用研究, 2007, 24 (7): 89-91.]
- [2] CHENG Si, LI Yuan, CHEN Xuegong. Research and application of dijkstra algorithm in GIS [J]. Journal of Anyang Institute of Technology, 2010, 9 (2): 43-45 (in Chinese). [程思, 李源, 陈学工. Dijkstra 算法在 GIS 中的研究与应用 [J]. 安阳工学院学报, 2010, 9 (2): 43-45.]
- [3] HUANG Jianmei, ZHANG Xingming, ZHU Xuanyong. Multi-next hop routing based on shortest path searching sequence numbering [J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31 (14): 3147-3168 (in Chinese). [黄健美, 张兴明, 朱宣勇. 基于最短路径搜索序列编码的多下一跳路由 [J]. 计算机工程与设计, 2010, 31 (14): 3147-3168.]
- [4] Mark Allen Weiss. Data structures and algorithm analysis in C++ [M]. ZHANG Haiyong, transl. 3th ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2007: 257-262 (in Chinese). [Mark Allen Weiss. 数据结构与算法分析 C++ 描述 [M]. 张怀勇, 译. 3 版. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 257-262.]
- [5] HUANG Dongmei, FANG Qian. Application of improved dijkstra algorithm in storm surge system [J]. Computer Engineering, 2010, 36 (20): 275-276, 280 (in Chinese). [黄冬梅, 方钱. 改进的 Dijkstra 算法在风暴潮系统中的应用 [J]. 计算机工程, 2010, 36 (20): 275-276.]
- [6] CHEN Wenjie. The research and application of reasonable route set of route choice [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2008 (in Chinese). [陈文杰. 路径选择中合理路径集的研究与应用 [D]. 广州: 中山大学, 2008.]
- [7] ZHANG Yi, ZHANG Meng, LIANG Yanchun. Application of an improved dijkstra algorithm in multicast routing problem [J]. Computer Science, 2009, 36 (8): 205-207 (in Chinese). [张毅, 张猛, 梁艳春. 改进的最短路径算法在多点路由上的应用 [J]. 计算机科学, 2009, 36 (8): 205-207.]
- [8] Anany Levitin. Introduction to the design and analysis of algorithms [M]. PAN Yan, transl. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 246-247 (in Chinese). [Anany Levitin. 算法设计与分析基础 [M]. 潘彦, 译. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2007: 246-247.]
- [9] CHEN Yumin, GONG Jianya. Multi-factor weight determination algorithm for road network based on fuzzy mathematic [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32 (10): 928-931 (in Chinese). [陈玉敏, 龚健雅. 基于模糊数学的多因素道路网络权值确定算法 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2007, 32 (10): 928-931.]
- [10] WU Qichang, CHEN Tianze, SU Yi. The best path analysis based on multi-target fuzzy decision-making [J]. Computer Simulation, 2005, 22 (12): 106-109 (in Chinese). [吴其昌, 陈天泽, 栗毅. 基于多目标模糊决策的最佳路径分析 [J]. 计算机仿真, 2005, 22 (12): 106-109.]
- [11] ZHANG Yizhi, LIU Jianfeng, SUN Bo. The research of network model quantitative analysis based on the improved algorithm of multi-factor fuzzy [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science), 2010, 35 (4): 125-129 (in Chinese). [张裔智, 刘建峰, 孙波. 基于改进的多因素模糊算法的网络模型定量分析 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2010, 35 (4): 125-129.]
- [12] SONG Jiuyuan, TENG Guoku, HU Lixia. Route planning algorithm and use in vehicle location and navigation system [J]. Computer & Digital Engineering, 2010, 38 (8): 95-98 (in Chinese). [宋久元, 滕国库, 胡丽霞. 路径规划算法的改进及在车载导航中的应用 [J]. 计算机与数字工程, 2010, 38 (8): 95-98.]
- [13] FU Mengyin, LI Jie, DENG Zhihong. A hierarchical route planning algorithm with restricted search area [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17 (8): 1773-1777 (in Chinese). [付梦印, 李杰, 邓志红. 限制搜索区域的分层路径规划算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17 (8): 1773-1777.]
- [14] SU Haibin, ZHANG Jitao. A new algorithm of hierarchical route planning with restricted search area [J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2008, 38 (1): 81-84 (in Chinese). [苏海滨, 张继涛. 限制搜索区域的分层路径规划新算法 [J]. 河南大学学报: 自然科学版, 2008, 38 (1): 81-84.]
- [15] WANG Haimei, ZHOU Xianzhong. Improved shortest path algorithm for restricted searching area [J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology (Nature Science), 2009, 33 (5): 638-642 (in Chinese). [王海梅, 周献中. 一种限制搜索区域的最短路径改进算法 [J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2009, 33 (5): 638-642.]