

# 顾及地标与道路分支的行人导航路径选择算法

张 星<sup>1</sup> 李清泉<sup>1,2</sup> 方志祥<sup>2</sup> 黄 玲<sup>3</sup>

(1 深圳大学深圳市空间信息智能感知与服务重点实验室,深圳市南海大道 3688 号,518060)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(3 国家科技部高技术研究发展中心,北京市三里河路 1 号,100044)

**摘 要:**提出顾及地标与道路分支的行人导航路径选择算法。该算法能够利用地标降低导航路径的复杂程度,帮助视觉正常的行人确认当前位置以及是否偏离了当前路径。实验表明,本算法能够较好地平衡导航路径的三种优化目标:行程距离、路径复杂度以及路径地标数量。与最短路径算法相比,该算法选择的路径具有较低的复杂度与较高的路径地标密度。

**关键词:**行人导航;基于位置服务;路径选择;地标  
中图分类号:P208

导航路径是引导寻路行为的关键要素。现有的导航应用主要采用最短或最快作为导航路径规划的标准<sup>[1-2]</sup>,除此之外还有最少转向、最易于识别等标准<sup>[3-4]</sup>。路径中决策点的数量和每个决策点道路分支的数量的增加会使寻路难度增大<sup>[5-7]</sup>,进而形成认知负担<sup>[7]</sup>。目前已有研究从更易于描述、更可靠等角度提出了能降低行人寻路负担的导航路径算法<sup>[5-6,10-11]</sup>,但这些方法并未考虑路径整体的复杂程度以及路径地标密度对导航任务的影响。地标能够辅助视觉正常的行人完成寻路决策<sup>[8]</sup>,增强行人对路径的信任与空间安全感<sup>[9]</sup>,降低认知负担<sup>[7]</sup>。位于决策点的地标能够降低路径选择难度。本文提出一种顾及地标与道路分支的行人路径选择算法,在保持行程距离不显著增加的前提下,降低路径的复杂程度。

## 1 顾及地标与道路分支的路径复杂度

### 1.1 路径复杂度

在同等的寻路能力与路径引导条件下,路径越复杂,出现错误决策的可能性越高。影响路径复杂度的因素包括决策点、道路分支、地标与路径引导方法等。本文主要考虑决策点、道路分支与

地标对路径复杂度的影响。决策点是路径上行人需进行方向决策的位置。存在许多决策点的路径会使行人寻路难度加大<sup>[7]</sup>。路径上决策点处道路分支的数量会影响到该次路径选择的困难程度<sup>[5]</sup>。如图 1(a)所示,路径  $OD$  的决策点集合  $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ 。决策点  $p_1$  的道路分支集合  $E_1 = \{e_{10}, e_{14}\}$ ,  $e_{13}$  为沿路径到达  $p_1$  前所经道路,对行人在  $p_1$  的决策造成的影响较小,在本文中忽略不计。 $E_i$  中道路分支数量越多,  $p_i$  的决策难度越大。本文将路径复杂度定义为路径上所有决策点的复杂度之和。假设某路径包含  $n$  个决策点 ( $n \in N$ ), 其中决策点  $p_i$  ( $i < n, i \in N$ ) 的复杂度为:

$$C(i) = N_i - 1 \quad (1)$$

式中,  $C(i)$  为  $p_i$  的复杂度;  $N_i$  为  $p_i$  的道路分支数量。路径的复杂度  $RC(n)$  为:

$$RC(n) = \sum_{i=0}^n C(i) \quad (2)$$

如图 1(b)所示,  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_D$  分别为行人从起点出发沿路径  $OD$  到达  $p_1, p_2, p_3, p_4, D$  的距离。可见,决策点与道路分支数量越多,路径复杂度越大。

### 1.2 顾及地标与道路分支的路径复杂度

地标在行人导航过程中有着重要的作用。如

收稿日期:2013-06-21。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(40971233, 60872132, 40830530); 国家教育部博士点专项基金资助项目(20070486001)。

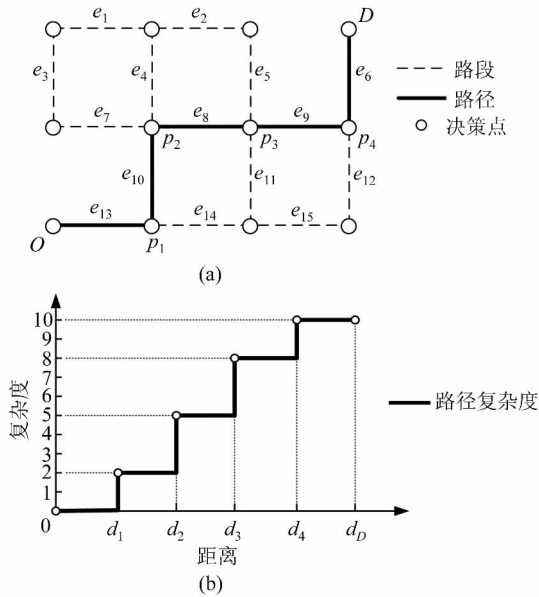


图1 行人路径的复杂度

Fig. 1 Complexity of Pedestrian Route

图2(a)所示,路段地标  $l_{m_i}$  能帮助行人确认在  $p_1$  所作决策的正确性,  $l_{m_3}$  能确认行人在  $p_2$ 、 $p_3$  所作决策的正确性。决策点地标  $l_{m_2}$ 、 $l_{m_4}$  能降低行人在  $p_2$ 、 $p_4$  的路径选择难度。若  $p_i$  可视范围内存在地标 ( $i \in N$ ), 记为  $l_m(p_i) = \text{true}$ ; 若  $p_i$  可视范围内不存在地标, 则记为  $l_m(p_i) = \text{false}$ 。因此, 公式(1)可转换为:

$$C(i) = \begin{cases} N_i - 1, & (l_m(p_i) = \text{false}) \\ 0, & (l_m(p_i) = \text{true}) \end{cases} \quad (3)$$

如图2(b)所示, 由于  $p_2$ 、 $p_4$  的可视范围存在地标, 因此在距离  $d_2$ 、 $d_4$  处路径复杂度未增加, 路径复杂度明显小于图1(b)。

## 2 行人路径选择算法

### 2.1 算法描述

本文行人路径选择算法的主要目的是: 选择

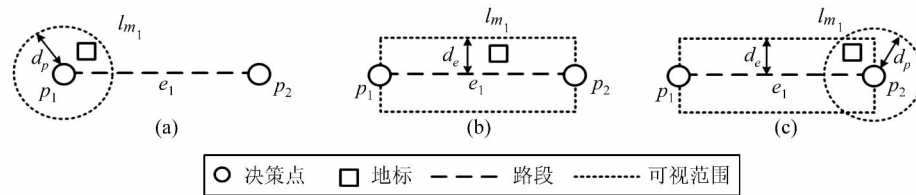


图3 地标的可视关系构建

Fig. 3 Generating the Visibility Relations of Landmarks

公式如下:

$$\min(W) = w_1 * D + w_2 * RC + w_3 * M \quad (4)$$

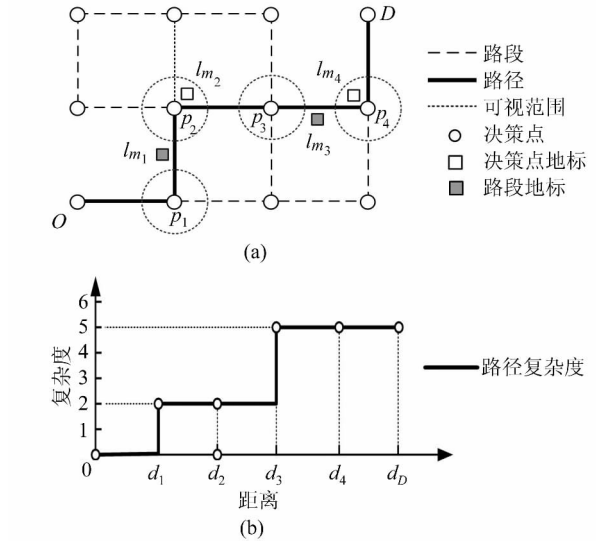


图2 地标标识下的行人路径复杂度

Fig. 2 Complexity of Pedestrian Route Including Landmarks

复杂度较低的行人导航路径, 并提高路径地标密度。算法主要包含3个步骤: 地标与决策点以及路段的可视(visibility)关系构建; 决策点复杂度计算; 行人路径规划。

由于计算路径复杂度与地标密度需要利用地标的可视关系, 因此本文采用缓冲区算法构建地标可视关系。首先, 对所有决策点搜索距离阈值  $d_p$  范围内的地标, 构建地标与决策点的可视关系。其次, 对所有路段, 搜索距离阈值  $d_e$  范围内的地标, 构建地标与路段的可视关系。在完成地标的可视关系构建后, 可以利用公式(3)计算每一个决策点的复杂度, 从而应用到下一步的路径选择算法中, 如图3所示。

行人路径选择算法考虑的因素包括行程距离  $D$ 、路径复杂度  $RC$  和路段地标数量  $M$ 。在相同的距离下,  $M$  越大, 路径上路段地标的空间密度越高。设  $D$ 、 $RC$  与  $M$  的权重分别为  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ , 且  $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ , 则路径选择算法的权值计算

其中,  $W$  为算法的权值。由于  $D$ 、 $RC$  与  $M$  的量纲均不相同, 因此需要进行单位化(normaliza-

tion)处理,即通过界定各目标的变化范围而将目标转换为统一量纲。因此公式(4)可转换为:

$$\min(W') = \omega_1 \cdot \frac{D - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} + \omega_2 \cdot \frac{RC - RC_{\min}}{RC_{\max} - RC_{\min}} + \omega_3 \cdot \frac{M_{\max} - M}{M_{\max} - M_{\min}} \quad (5)$$

其中,  $W'$  为单位化后的权值;  $D_{\max}$ 、 $RC_{\max}$ 、 $M_{\max}$  分别为给定区域内  $D$ 、 $RC$ 、 $M$  的最大值;  $D_{\min}$ 、 $RC_{\min}$ 、 $M_{\min}$  分别为  $D$ 、 $RC$ 、 $M$  的最小值。通过公式(5)可利用 Dijkstra 算法搜索  $W'$  最小的行人路径:假设道路网的每个决策点都有一对标号( $W_i$ ,  $F_i$ ),其中  $W_i$  是从路径起点  $O$  到决策点  $i$  的最小  $W'$ ,可用式(5)计算;  $F_i$  是从  $O$  到  $i$  的行人路径中的前一点。路径计算主要步骤为:① 标记起点  $S$ ;② 检验所有已标记点  $k$  的直接连接点的权值  $W'$ ;③ 从这些直接连接点中选择  $W'$  最小的点,并将其标记;④ 检验标记点中是否有终点  $E$ ,若有则算法结束;若无则转到②再继续,直到  $E$  被标记。本文算法与 Dijkstra 算法的不同在于:在上述步骤②与③中扩展标记点时,待检验点的权值的计算无需与其直接连接的已标记点的权值参与,而是直接利用式(5)计算权值  $W'$ 。

### 2.2 整体算法流程

本文采用图表达行人道路网络,其顶点表示决策点,边缘表示路段。设行人道路网络  $G$  包含一组决策点  $P$  与路段  $E$ ,地标集合记为  $L$ 。对于以  $G$  中任意两个顶点作为起点  $O$  与终点  $D$  的行人路径,选择算法流程如下:

- 1) 对于所有  $p_i \in P (i \in N)$ ,在  $L$  内搜索  $d_p$  范围内的地标,构建地标可视关系。
- 2) 对于所有  $e_j \in E (j \in N)$ ,在  $L$  内搜索  $d_e$  范围内的地标,构建地标可视关系。

$OD_1$  的路径选择结果如图 5 所示。图中的白色路径为 SDA 算法计算的最短路径;黑色路径为本文算法计算的行人路径。

### 3.2 实验结果分析

图 4 中 4 组  $OD$  的路径选择结果如表 2 所示,SDA 算法所选择路径的距离均比本文算法更短,但不超过 150 m。表 2 中的平均复杂度表示单位距离下路径复杂度的大小;地标密度表示单位距离下地标的数量。可见,本文算法所选择路

3) 对于所有  $p_i \in P (i \in N)$ ,利用公式(3)计算决策点复杂度  $C(i)$ 。

4) 输入起点与终点( $OD$ ),按照行人对  $D$ 、 $RC$ 、 $N$  的侧重确定权重  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 。

5) 通过式(5)利用 Dijkstra 算法计算行人路径,其中  $RC$  可利用式(2)计算。

6) 若输出路径不满足行人的导航需求,则返回步骤 4)调整权重并重新计算路径。

## 3 算法实验分析

### 3.1 算法实现

本文选择武汉古琴台作为实验区域,4 组不同的  $OD$  如图 4 所示。对 4 组  $OD$  分别以本文算法与最短路径算法(SDA)计算行人路径,实验参数如表 1 所示。其中  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$  取值相当,表示本实验对目标  $D$ 、 $RC$ 、 $M$  给予相同的权重。 $D_{\max}$ 、 $RC_{\max}$ 、 $M_{\max}$  的取值由实验区域的范围、决策点的密度以及地标的密度决定。区域覆盖范围越大、决策点与地标的密度越高, $D_{\max}$ 、 $RC_{\max}$ 、 $M_{\max}$  的取值也越大。本文算法以及 SDA 算法均在 Visual C++ 6.0 平台上实现。

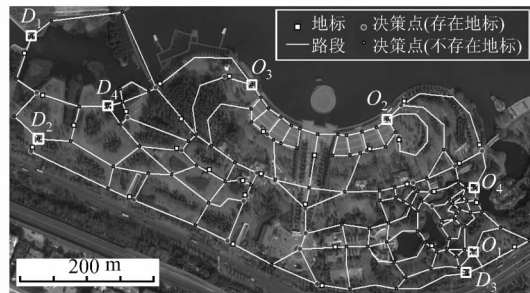


图 4 实验区域中的 4 组  $OD$   
Fig. 4 Four  $OD$  Pairs in the Study Area

表 1 实验参数

Tab. 1 Parameters of the Proposed Algorithm

$d_p/m$	$d_e/m$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$D_{\max}/m$	$D_{\min}/m$	$RC_{\max}$	$RC_{\min}$	$M_{\max}$	$M_{\min}$
10	10	1/3	1/3	1/3	2 000	0	100	0	30	0

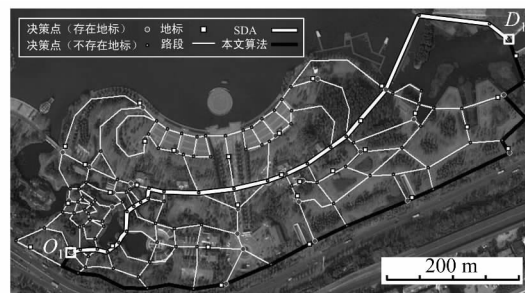


图 5 路径选择结果  
Fig. 5 Route Selection Results

径的复杂度与平均复杂度均明显小于 SDA 算法。对于  $OD_1$ 、 $OD_3$ 、 $OD_4$ ，本文算法所选择路径的地标数量与地标密度均高于 SDA 算法；对于  $OD_2$ ，本文算法所选择路径的地标数量与 SDA 算法相同，地标密度略低于 SDA 算法。可见，若  $OD$  的最短路径上地标数量较多，SDA 算法所选择路径的地标密度会略高于本文算法；若最短路径上地标数量较少，本文算法所选择路径的地标数量与密度明显高于 SDA 算法。因此，本文算法能较稳定地选择路径复杂度较低且地标数量较多的导航路径，能适用于具有不同路网结构与地标分布的导航区域。

表 2 4 组行人路径比较结果

Tab. 2 Comparison Results of Four Pedestrian Routes

OD	算法	距离/m	路径复杂度	地标数量	平均复杂度	地标密度
1	SDA	871	40	3	0.046 0	0.003 4
	本文算法	998	14	5	0.014 0	0.005 0
2	SDA	648	36	4	0.055 6	0.006 2
	本文算法	752	18	4	0.023 9	0.005 3
3	SDA	545	44	2	0.080 7	0.003 7
	本文算法	690	21	5	0.030 4	0.007 2
4	SDA	634	35	4	0.055 2	0.006 3
	本文算法	726	27	6	0.037 2	0.008 3

表 3 为本文算法在 3 种不同权重组合下对  $OD_1$  的路径计算结果。当  $D$  具有较高权重时 ( $\omega_1 = 1/2$ )，路径的距离在 3 种权重组合中最短。当  $RC$  具有较高权重时 ( $\omega_2 = 1/2$ )，路径的复杂度与平均复杂度最小。当  $M$  具有较高权重时 ( $\omega_3 = 1/2$ )，路径的地标数量与地标密度最高。由此可见，通过调整目标  $D$ 、 $RC$ 、 $M$  的权重组合能够使本文算法选择的路径偏重不同的目标。对于寻路能力较强的行人，可以提高  $\omega_1$ ；对于方位判断能力较弱的行人，可以提高  $\omega_2$ ；对于希望提高空间安全感的行人，可以提高  $\omega_3$ 。

表 3 不同权重组合的行人路径比较结果

Tab. 3 Comparison Results of Different Weight Combinations

权重组合			距离/m	路径复杂度	地标数量	平均复杂度	地标密度
$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$					
1/2	1/4	1/4	973	19	6	0.019 5	0.006 2
1/4	1/2	1/4	998	14	5	0.014 0	0.005 0
1/4	1/4	1/2	1134	41	12	0.036 2	0.010 6

## 参 考 文 献

- [1] 郑年波,李清泉,徐敬海,等. 基于转向限制和延误的双向启发式最短路径算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2006,33(4):397-401
- [2] 方志祥,宋莺. 嵌入式环境基于实时交通信息的多层次路径规划算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2008,31(3):256-259
- [3] Golledge R. Path Selection and Route Preference in Human Navigation; A Progress Report[M]//Frank A, Kuhn W. Spatial Information Theory; A Theoretical Basis for GIS. Springer-Verlag,1995:207-222
- [4] Jiang Bin, Liu Xintao. Computing the Fewest-turn Map Directions Based on the Connectivity of Natural Roads[J]. International Journal of Geographical Information Science,2011,25(7): 1 069-1 082
- [5] Richter K F. Adaptable Path Planning in Regionalized Environments[M]//Hornsby K S, Claramunt C, Denis M, et al. Ed. Spatial Information Theory. Springer-Verlag, 2009:453-470
- [6] Haque S, Kulik L, Klippel A. Algorithms for Reliable Navigation and Wayfinding [M]//Barkowsky T, Knauff M, Ligozat G, et al. Ed. Spatial Cognition V-Reasoning, Action, Interaction. Springer-Verlag,2007:308-326
- [7] Millonig A, Schechtner K. Decision Loads and Route Qualities for Pedestrians—Key Requirements for the Design of Pedestrian Navigation Services [C]. The 3rd Int Conf Pedestrian and Evacuation Dynamics, 2005
- [8] Deakin A. Landmarks as Navigational Aids on Street Maps[J]. Cartography and Geographic Information Systems,1996,23(1): 21-36
- [9] Andrew J M, Ross T, Steven H B, et al. Pedestrian Navigation Aids; Information Requirements and Design Implications[J]. Personal Ubiquitous Computing,2003,7(6): 331-338
- [10] 张星,李清泉,方志祥,等. 面向行人导航的地标链生成方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2010,35(10):1 240-1 244
- [11] Fang Zhixiang, Li Qingquan, Zhang Xing. A Multiobjective Model for Generating Optimal Landmark Sequences in Pedestrian Navigation Applications [J]. International Journal of Geographical Information Science,2011,25(5): 785-805

第一作者简介:张星,博士,研究方向为行人导航方法。

E-mail:zhangxing\_cn@126.com

(下转第 1252 页)

[1] 郑年波,李清泉,徐敬海,等. 基于转向限制和延误

Wide Web[C]. The Twenty-Ninth Annual ACM Symposium on Theory of Computing, 1997

第一作者简介:刘小俊,博士生,讲师,主要从事多媒体信息传输、处理和存储等方面的研究工作。  
E-mail:liuxiaojun@whu.edu.cn

## A Distributed Metadata Management Method Based on Separation of Read and Write ——Taking “Digital City” Applications as an Example

LIU Xiaojun<sup>1,2</sup> XU Zhengquan<sup>1</sup> PAN Shaoming<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Huanggang Normal University, 146 Xinganger Road, Huanggang 438000, China)

**Abstract:** Aimed to the requirement of dynamic mass storage of “digital city”, and based on analysis of the load characteristics of its storage, a separation of read and write distributed metadata management method is proposed. This method integrates the directory sub-tree partitioning with Hash algorithm together. On the one hand, the full development of the directory storage locality. On the other hand the efficient protection of the system load balancing. At the same time, in order to ensure writ performance of system, release control algorithm based on service demand is taken between the separation of the two types of metadata server. The experimental results of prototype system show that the proposed method has obvious advantages in improving the system performance, equalizing metadata distribution.

**Key words:** metadata management; directory sub-tree; Hash; digital city

---

**About the first author:** LIU Xiaojun, Ph. D candidate, lecturer, majors in multimedia Information transmission, processing and storage.  
E-mail: liuxiaojun@whu.edu.cn

---

(上接第 1242 页)

## Landmark and Branch-based Pedestrian Route Complexity and Selection Algorithm

ZHANG Xing<sup>1</sup> LI Qingquan<sup>1,2</sup> FANG Zhixiang<sup>2</sup> HUANG Ling<sup>3</sup>

(1 Shenzhen Key Laboratory of Spatial Smart Sensing and Services, Shenzhen University, 3688 Nanhai Avenue, Shenzhen 518060, China)

(2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 National High-tech R&D Center of China, 1 Sanlihe Road, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Pedestrian route is an important part in human wayfinding and navigation tasks. The routes with many decision points and branches will spend pedestrian much time on spatial decisions. This paper proposes a landmark and branch-based pedestrian route complexity and selection algorithm, in which landmarks are included to reduce the complexity of route and help people to confirm route choice decisions. Results show that this algorithm can balance the three objectives: travel distance, route complexity and the number of landmarks. Compared to the shortest route, the selected route of this algorithm has lower complexity and higher landmark density.

**Key words:** pedestrian navigation; LBS; route selection; landmark

---

**About the first author:** ZHANG Xing, Ph. D, majors in pedestrian navigation methods.  
E-mail: zhangxing\_cn@126.com