

DOI: 10.11992/tis.201804058

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20180628.0904.002.html>

# 手机惯导与 RFID 的盲人导航系统设计与实现

郇战, 陈学杰, 梁久祯

(常州大学信息科学与工程学院, 江苏常州 213164)

**摘要:** 为了解决目前盲人自主出行困难的问题, 结合惯性导航与 RFID 技术各自的优势和特点, 提出一种基于手机惯性导航和 RFID 相结合的设计方案。该方案基于固定式 RFID 标签群, 生成盲人路线图, 将随身移动式 RFID 读卡器和个人智能手机相结合, 完成盲人定位、路径规划和导航提醒。实验结果表明: 该系统能够给盲人提供安全便捷的导航服务, 有助于解决盲人自主出行问题。

**关键词:** RFID 标签; 惯性导航; 室内定位; 盲人导航; 最短路径; Dijkstra 算法; 矩形限制区域; 动态时间规整  
**中图分类号:** TP391.7   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1673-4785(2019)03-0491-09

中文引用格式: 郇战, 陈学杰, 梁久祯. 手机惯导与 RFID 的盲人导航系统设计与实现[J]. 智能系统学报, 2019, 14(3): 491-499.

英文引用格式: HUAN Zhan, CHEN Xuejie, LIANG Jiuzhen. Design and implementation of blind-navigation system based on RFID and smartphones' inertial navigation[J]. CAAI transactions on intelligent systems, 2019, 14(3): 491-499.

## Design and implementation of blind-navigation system based on RFID and smartphones' inertial navigation

HUAN Zhan, CHEN Xuejie, LIANG Jiuzhen

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** To help the blind travel independently and conveniently, a design scheme is proposed by combining inertial navigation and radio-frequency identification (RFID) technology with their respective advantages and characteristics. The scheme, which is based on fixed RFID tags, can automatically generate the best route for the blind. With the help of a portable RFID reader installed in personal smartphones, the scheme can accomplish positioning, route planning, and voice prompting. The experimental results show that the system can provide a safe and convenient navigation service for the blind, thus solving their independent-traveling problems.

**Keywords:** RFID tags; inertial navigation; indoor positioning; blind navigation; shortest path; Dijkstra algorithm; restricted rectangle searching area; dynamic time warping

根据世界卫生组织数据, 目前盲人数量已超过 1 100 万。由于视力的缺失让他们出行十分困难。随着科学技术的不断发展, 用于常人的导航设备越来越多, 其中绝大多数的设备都是基于 GPS 的卫星导航<sup>[1]</sup>, 由于 GPS 的民用室外精度在 10 m 以上, 不能满足盲人对导航精度的要求, 而且在室内无法使用。目前, 盲人自主出行可以使

用的导航设备极为有限, 小范围应用的有 IBM 与卡内基梅隆大学合作开发的可做盲人眼睛的新型 APP(NavCog)。APP 可以将盲人周边环境处理成 3D 空间模型, 通过人脸扫描功能告诉盲人身边人的身份以及情绪, 依靠蓝牙设备 (蓝牙灯塔) 以及超声波提供准确的定位信息, 通过语音和震动两种方式为盲人提供信息并进行导航。但是, 由于需要布设大量蓝牙设备, 造价较高而不能大范围使用。

崔金琦等<sup>[2]</sup>设计出基于 RFID 的校园导航系

收稿日期: 2018-04-26. 网络出版日期: 2018-06-28.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61772248); 国家社会科学基金重点项目 (16AGL011).

通信作者: 郇战. E-mail: [hzh@cczu.edu.cn](mailto:hzh@cczu.edu.cn).

统,并且在南京大学校园得以应用。但该系统是为一般人设计的,如果直接移植到盲人导航系统,就需要在路径网络中任意相连的两个结点之间的 RFID 标签采用连续的标签码,所需 RFID 数量大,而且实施困难。

针对上述问题,提出一种基于智能手机惯性导航与 RFID 标签<sup>[3-5]</sup>的盲人导航系统<sup>[6-9]</sup>。该系统以惯性导航为主要导航方式,为了避免惯性导航的累积误差问题,采用 RFID 标签作为定标点,用于位置信息校准,从而解决了惯性导航累计误差和单纯 RFID 导航标签量巨大的问题,可以达到盲人导航的要求。

### 1 系统设计

#### 1.1 RFID 选型

如果 RFID 识别作用距离过长,盲人手中的 RFID 读写器在较远的距离很远就能扫描到 RFID 标签,会导致导航纠偏距离过长,致使系统误差增大;如果识别作用距离过短,就会使 RFID 读写器发现标签的距离变小,必须加大 RFID 标签的铺设密度,增加其部署数量,因此必须要选择识别距离适中的 RFID 标签。系统采用 PJM 13.56 MHz 的高频 RFID 技术,它能够在距离 1 m 以内(可以通过天线适当调整),运动速度在 4 m/s 以内进行识别,读写一个标签的平均耗时在 2 ms 以内,可以满足盲人导航的一般要求。

#### 1.2 系统结构设计

系统分为 4 层结构:数据采集层、数据传输层、数据处理层和导航服务层。

数据采集层通过读卡器读取 RFID 标签的 ID 信息;数据传输层通过蓝牙模块将其交付给数据处理层;数据处理层连接数据库根据 ID 进行查询,并且将查询到的数据交付给导航服务层;导航服务层先进行路径规划再将获得的数据进行匹配并且通过语音给出导航提示。

根据上述分析得出:系统分为路径录入以及导航服务两大模块,具体流程如图 1 所示。

#### 1.3 路径绘制流程设计

系统路径绘制的基本流程为:首先在事先规划的路径节点采用双铺 RFID 标签方式布局定标点,再采用 GPS 定位机获取定标点准确的经纬度信息,由数据采集层通过读卡器读取 RFID 标签的 ID 信息,数据传输层通过蓝牙串口模块将 ID 信息传给数据处理层,最后由数据处理层连接

数据库完成定标信息的录入;当所有定标信息都录入完成后系统进入路径信息录入。路径绘制具体流程如图 2 所示。

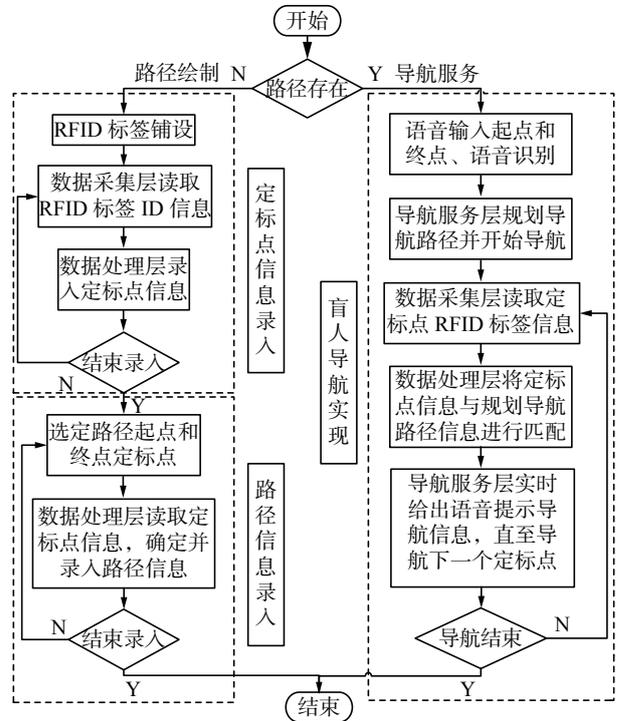


图 1 系统总体流程图

Fig. 1 System overall flow chart

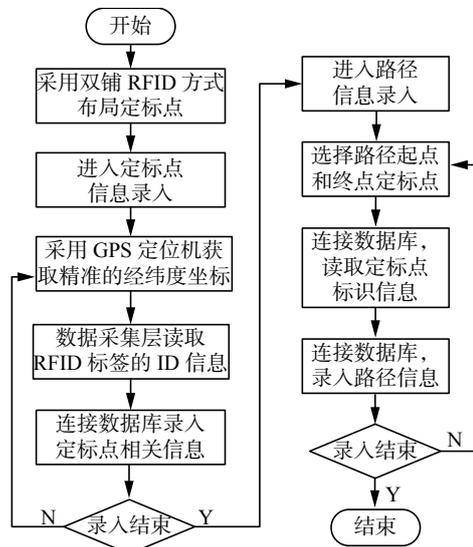


图 2 路径绘制流程图

Fig. 2 Path drawing flow chart

#### 1.4 导航流程设计

系统导航的基本流程为:盲人首先需要使用带有内置天线的导盲杖<sup>[10]</sup>扫描到 RFID 标签以确定当前位置,之后通过语音选择目的地。随后系统进行路径规划,进而进行惯性导航<sup>[11-16]</sup>,并且实时进行位置校准和语音提示,直至到达目的地。具体导航流程如图 3 所示。

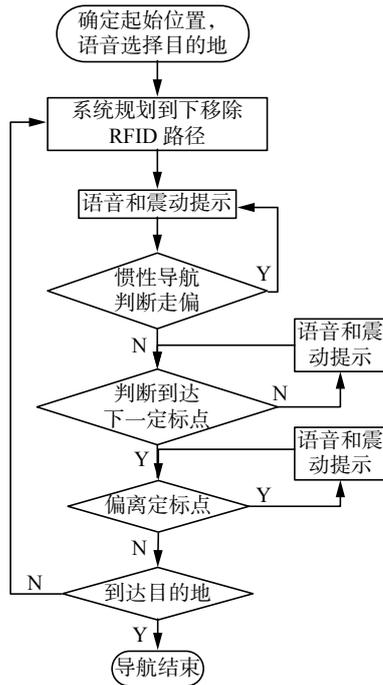


图 3 导航流程图

Fig. 3 Navigational flow chart

1.5 数据库设计

系统采用 SQLite 轻型数据库来存储路径信息和定标点信息, 为此设计两个数据表, 分别是路径信息表 (Route\_Info) 以及定标点信息表 (Label\_Info), 分别存储每条路径的信息和定标点信息, 具体包含的数据项分别如表 1、表 2 所示。

表 1 路径信息表 (Route\_Info)  
Table 1 Path information table(Route\_Info)

列含义	列名	类型	约束
路径唯一标识	_RoadId	int	主键
路径起点定标点 Id	LableFrist	varchar(20)	非空
路径终点定标点 Id	LableEnd	varchar(20)	非空
方向	Direction	double	非空
距离	Distance	double	非空
权重	Weight	double	非空

表 2 定标点信息表 (Label\_Info)  
Table 2 Fixed punctuation information table

列含义	列名	类型	约束
定标点唯一标识	LableId	varchar(20)	主键
第一个 RFID 号	FirstRFID	varchar(20)	非空
第二个 RFID 号	SecondRFID	varchar(20)	非空
定标点经度	Longitude	double	非空
定标点纬度	Latitude	double	非空
定标点高度	Height	double	非空
定标点名称	LableName	varchar(20)	非空

2 系统实现

2.1 数据采集层实现

RFID 标签铺设: 最常见的 RFID 铺设方法有单排铺设和双排铺设方法, 如图 4、图 5 所示。

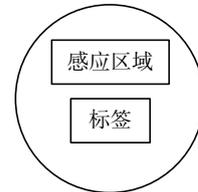


图 4 单排铺设  
Fig. 4 Single row laying

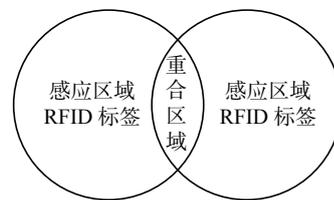


图 5 双排铺设  
Fig. 5 Double row laying

单排铺设方法感应半径较小, 盲人使用导盲杖较难找到, 并且相对于 RFID 具体方位具有不确定性, 所以系统采用双排铺设方法。双排铺设方法感应面积较大, 盲人使用导盲杖较容易找到。

测量发现, 手机惯性导航系统的误差范围在  $\pm 2\%$  以内, 即经过 20 m 距离后产生的偏差在  $\pm 0.4$  m 以内。实际应用中, RFID 的可靠感应距离在 0.5 m 左右 (可以通过天线调整好), 设双排铺设的标签间距为 0.75 m 时, 正面可感应的宽度为 1.75 m 左右, 两标签重合感应区域宽度为 0.25 m。当盲人同时读取到两张 RFID 卡时, 可以将惯性导航的累计误差减小到  $\pm 0.125$  m 以内, 若再经过 20 m 的距离, 累积误差不会超过  $\pm 0.525$  m (双排铺设时正面可感应的宽度为 1.75 m), 可以正确找到下一组标签。

数据采集方法: 采集 RFID 数据时, 使用内置天线的导盲杖作为数据采集工具。RFID 读写器通过天线与 RFID 电子标签进行无线通信, 实现对标签识别码和内存数据的读出或写入操作。

2.2 通信传输层实现

系统主要有两个方向的数据传输, 涉及两种数据通信格式: 首先是从智能手机到读写模块, 在这一过程主要是由蓝牙串口模块发送读卡指令给读写模块, 系统中使用的读卡命令是 0507FFF001006A50; 其次是从读写器到蓝牙串口模块, 在这一过程主要就是根据读卡器所读取到的相关信息返回响应的信息。

### 2.3 数据处理层实现

在数据处理层主要涉及两个方面的工作：一是信息录入，二是信息查询。

信息录入：首先是录入各定标点信息，其次是对路径信息的录入。

信息查询：在系统中涉及的数据查询主要是定标点以及路径信息，系统采取基于 SQLite 的数据查询方式予以实现。盲人进入导航系统，系统打开读卡器，根据读卡器串口模块返回的值进行相关信息的查询。具体流程如图 6 所示。

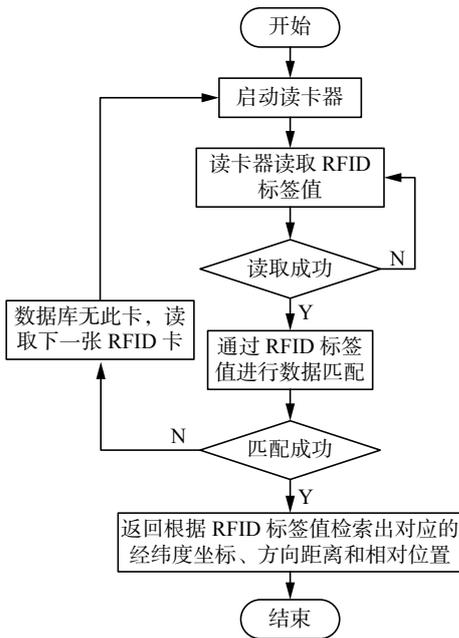


图 6 信息查询流程图

Fig. 6 Information query flow chart

### 2.4 导航服务层实现

#### 2.4.1 惯性导航

徐向军<sup>[17]</sup>提出一种惯性测量与航迹推算的室内定位方法，但其方法过于复杂，不容易和智能手机相结合。周婧等<sup>[18]</sup>提出一种基于惯性导航的平面航迹推算方案，该方案需要携带两个陀螺仪和一部智能手机，如果用于盲人导航肯定会增加硬件成本；而且该方案虽然可以解决平面轨迹的推算问题，但是却无法推算上下运动的轨迹，因此该方案无法用于盲人导航。徐鼎等<sup>[19]</sup>提出一种基于 Android 端的惯性导航算法，虽然其只需要一部 Android 手机，但是该方法只能推算平面轨迹，也不适用于盲人导航。

在综合多方面考虑后，系统将文献<sup>[20]</sup>提出的 M5\_DTW 计步方法和文献<sup>[19]</sup>的惯导算法相结合，完成该系统惯性导航算法的设计。该算法分为模型建立和实时导航两部分。

在模型建立时，会采用 M5 模型树，其构造方法是：假设有样本集  $T$ ，先计算  $T$  的标准差  $sd(T)$ ，之后依据不同的  $sd(T)$  将  $T$  进行划分，如果  $T$  的值波动很小或者  $T$  本身包含的实例就少也不需要再对  $T$  进行进一步的划分。第  $i$  个测试将样本集  $T$  划分成子集  $T_j$ ，并对该子集求标准差  $sd(T_i)$ ，并且按照式 (1) 计算期望误差的减少量 (SDR)。

$$SDR = sd(T) - \sum_i \frac{|T_i|}{|T|} \times sd(T_i) \quad (1)$$

在计算完样本所有的可能标准差之后，在其中选择期望误差的减少量 (所有计算的误差减少量中最大的) 作为最终期望误差的减少量。最后对每一个所划分出的子集建立回归模型，按照式 (2) 生成回归等式  $LM(T_i)$ 。

$$LM(T_i) = \sum_{i=1}^N (k_i \times C_i) \quad (2)$$

式中： $C$  为样本中的属性值； $N$  为属性的个数； $k$  为属性相关系数。

模型建立具体步骤如下：

1) 标记状态：盲人在监护人的陪同下采集不同行走状态下的加速度数据，系统会给不同状态标记相对应的值。在平时出行过程中盲人一般产生 4 种运动状态数据，即噪声、静止、步行、上下楼梯，系统分别给它们标记 -10、0、10、20。

2) 数据预处理：为了达到对加速度数据去噪的目的，系统采用 10 点的平滑滤波对数据进行预处理。

3) 特征提取：提取波峰均值、波峰方差、单步间隔均值、单步间隔方差以及波峰之间的时间间隔方差。

4) 模型建立：利用 M5 模型树根据所选取的特征进行有监督的机器学习，最后输出分类模型。

在实时导航时，系统先要采集盲人正常行走的步长，然后根据步数、步长以及方向来确定盲人的位置，在计步时会用到动态时间规整算法 (dynamic time warping, DTW)。

DTW 是一种衡量两个时间序列之间相似度的算法，其算法思想是：令要计算相似度的两个时间列为  $X$  和  $Y$ ，长度分别为  $|X|$  和  $|Y|$ ；把路径规整成  $W = w_1, w_2, \dots, w_k$ 。  $\text{Max}(|X|, |Y|) \leq K \leq |X| + |Y|$ ， $w_k$  的形式为  $(i, j)$ ，式中  $i, j$  分别为  $X$  和  $Y$  中的坐标，规整路径  $W$  必须从  $w_1 = (1, 1)$  开始到  $w_k = (|X|, |Y|)$  结束。另外， $W$  中的  $(i, j)$  的  $i, j$  必须是单调的，即  $w_k = (i, j), w_{k+1} = (i', j'), i \leq i' \leq i+1, j \leq j' \leq j+1$ ；最后需要得到最短的一个规整路径， $\text{Dist}(W) = \sum_{k=1}^{k=K} \text{Dist}(w_{ki}, w_{kj})$ ，系统中  $\text{Dist}(w_{ki}, w_{kj})$  为欧

式距离; 在实现 DTW 算法时采用动态规划的思想, 其核心见式 (3):

$$D(i, j) = \text{Dist}(i, j) + \min[D(i-1, j), D(i, j-1), 2D(i-1, j-1)] \quad (3)$$

式中  $D(i, j)$  表示长度为  $i$  和  $j$  的两个时间序列之间的规整路径距离。

实时导航具体步骤如下:

1) 步长提取: 盲人在监护人陪同下采用多次采样取平均的方法采集盲人在正常行走下的步长。

2) 数据采集: 智能手机采集实时数据, 由于统计步数一般需要在实时的状态, 采用时间窗口的方式对数据进行采集, 每次统计一个时间窗口的步数以及该时间窗口内的方向。

3) 数据预处理: 与训练模型过程一样, 采用 10 点平滑滤波对数据进行预处理。

4) 特征提取与分类输出: 提取波峰均值、波峰方差、单步间隔均值、单步间隔方差以及波峰之间的时间间隔方差, 将这些特征输入已经建立好的 M5 分类器中, 得到所属分类。

5) 计步: 使用 DTW 算法, 选择与之相似度最高的状态, 如果不是噪声则记为一步, 并且记录该步的状态。

6) 位置推算: 结合步幅的属性、步长以及方向推算出实时位置。

### 2.4.2 矩形限制区域 Dijkstra 算法的描述

路径规划作为导航服务层的核心环节。系统将路径规划问题抽象成从起点到终点的单源最短路径问题, 为此系统采用常用的矩形限制区域的 Dijkstra 算法解决这一问题。首先, 由录入的定标点以及路径信息构成带权值的有向图  $G(V, E)$ , 其中定标点视为图中的顶点  $V$ , 路径视为边, 并且路径的权重 (Weight) 设置为对应边的权值  $W$ ; 其次, 在相应的矩形区域内使用 Dijkstra 算法产生该带权值有向图从指定起点到终点权值最小的路径; 最后, 实时导航并给出语音提示。

针对经典 Dijkstra 算法在搜索过程中存在缺乏导航方向性以及大量冗余计算等诸多问题, 文献[21]-[22]提出矩形限制搜索区域算法, 其基本思想是: 首先, 以导航的起点 ( $S$ ) 和终点 ( $D$ ) 为焦点, 选取合适的椭圆区域; 其次, 根据所确定的椭圆区域求出最小包含矩形, 并以此为限制区域。在求限制区域时, 最为关键的就是要确定椭圆长轴的长度, 由文献[17]可知, 定义比例系数  $\theta = P_{sd}/E_{sd}$ , 其中  $P_{sd}$  为起点和终点的最短路径,  $E_{sd}$  为起点和终点的欧氏距离, 通过统计分析方法得到置信水平达到 95% 的比例系数  $\theta$ ; 设起点坐

标为  $S(x_s, y_s)$ , 终点坐标为  $D(x_d, y_d)$  由此得椭圆中心点坐标为  $(a, b)$ , 其中,  $a = (x_s + x_d)/2$ ,  $b = (y_s + y_d)/2$ 。  $\varphi$  为长轴与  $x$ 、 $y$  轴正方向的夹角,  $\varphi = \arctan((y_s - y_d)/(x_s - x_d))$ 。椭圆长轴为  $2A = \theta \times E_{sd}$ ; 椭圆短轴为  $B = \sqrt{A^2 - ((y_d - y_s)^2 + (x_d - x_s)^2)/4}$ , 由此可得椭圆的方程为

$$\frac{[(x-a)\cos\varphi + (y-b)\sin\varphi]^2}{A^2} + \frac{[-(x-a)\sin\varphi + (y-b)\cos\varphi]^2}{B^2} = 1 \quad (4)$$

再对椭圆方程式 (4) 分别对  $x$  和  $y$  求偏导数, 得到  $x$  和  $y$  的极值分别为

$$x_m = a \pm \sqrt{A^2 \cos^2 \varphi + B^2 \sin^2 \varphi} \quad (5)$$

$$y_m = b \pm \sqrt{A^2 \sin^2 \varphi + B^2 \cos^2 \varphi} \quad (6)$$

由式 (2)、式 (3) 可以分别得到  $x$  和  $y$  的最小值  $x_{\min}$ 、 $y_{\min}$  和最大值  $x_{\max}$ 、 $y_{\max}$ , 由此构成椭圆的最小外接矩形, 如图 7 所示。

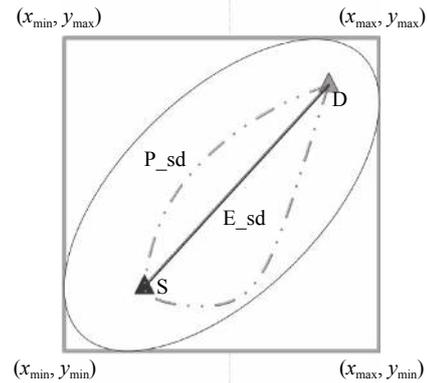


图 7 椭圆及矩形限制搜索区域

Fig. 7 Ellipse and rectangle-restricted search area

系统利用矩形限制搜索区域算法求起点和终点间最短路径的算法步骤如下:

1) 初始时,  $C$  只包含起点, 即  $C = \{S\}$ ,  $v$  的距离为 0。  $U$  包含除  $S$  外的其他顶点, 即  $U = \{\text{其余顶点}\}$ 。若  $S$  与  $U$  中顶点  $u$  有边, 则  $\langle u, S \rangle$  正常有权值  $W$ ; 若  $u$  不是  $S$  的邻接点, 则  $\langle u, S \rangle$  权值为  $\infty$ 。

2) 根据起点  $S(x_s, y_s)$  和终点  $D(x_d, y_d)$ , 计算  $A$ 、 $B$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $\varphi$ , 构造椭圆方程, 确定椭圆区域。

3) 根据已经确定的椭圆方程计算  $x_{\min}$ 、 $x_{\max}$ 、 $y_{\min}$ 、 $y_{\max}$ , 确定最后搜索的矩形区域。

4) 从  $U$  中选取一个在矩形区域内且权值最小的顶点  $k$ , 把  $k$  加入  $C$  中 (在初始状态下权值按照式 (7) 计算)。

5) 以  $k$  为新考虑的中间点, 修改  $U$  中各顶点的权值; 若从起点  $S$  到顶点  $u$  的权值 (经过顶点  $k$ ) 比原来权值 (不经过顶点  $k$ ) 小, 则修改顶点  $u$  的权值。

6) 重复步骤 4)、5), 直到找到从 S 到 D 的一条路径 (即所规划路径)。

### 2.4.3 路径权重初始与更新

路径权重的初始化和更新, 决定着最终导航路径成败, 各自算法如下。

系统初始的权重:

$$w = \frac{D_{Ai}}{\min_{1 \leq i \leq k}(D_{Ak})} \quad (7)$$

式中:  $D_{Ai}$  为起点 A 到终点  $i$  路径的距离;  $\min_{1 \leq i \leq k}(D_{Ak})$  为起点 A 到终点  $k$  的最小距离。

系统提供两种更新权重的方法, 即手动更新和自动更新。手动更新是由盲人监护人根据实际的路径情况进行赋值: 如果是增加路径权重, 监护人只能赋值三类值 (原始权重的 1.5 倍、2 倍以及无穷); 如果是减少路径权重, 系统则会先判断当前路径权重是否为 0, 如果为 0 则不再进行权重更新, 若不为 0 则每次减少初始权重的五分之一。自动更新时, 系统会先判断上次该路径权重更新时间是否超过一天, 即判断当前时间 (NowT) 减去上次更新时间 (LastT) 是否大于 1, 如果大于 1 则增加权重, 小于 1 则减少权重。自动更新减少权重的算法和手动更新一致, 但在增加权重时, 会先判断当前权重是否大于初始权重, 若大于则不进行权重更新, 若不大于则每次增加初始权重的五分之一。具体的算法流程如图 8 所示。

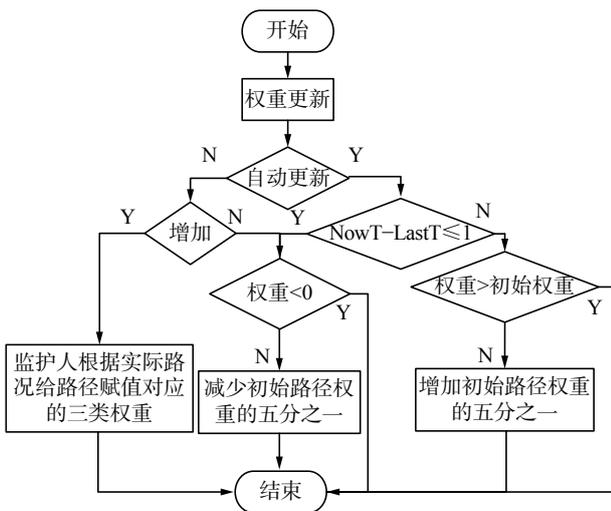


图 8 权重更新算法

Fig. 8 Weight updating algorithm

### 2.4.4 导航纠偏

数据处理层提取读卡器返回的 ID 信息, 并进行数据库匹配检索, 再根据数据库返回的定标点

经纬度、路径地磁方向提示用户进行位置纠偏与方向矫正。当用户成功读取到两张 RFID 标签时, 视为位置正确, 即纠偏成功; 否则, 定义方位纠偏事件。纠偏成功后, 利用惯性导航系统进行对下一目标点的导航, 直至导航结束。

### 2.4.5 语音提示及反馈

鉴于盲人这一特殊群体, 语音提示是系统必不可少的部分。系统主要在两个方面需要用到语音技术: 首先是系统通过盲人发出的语音信息来确定需要导航的起点和终点; 其次是导航时的语音提示信息。为了避免给系统带来过多的复杂性, 在系统中选用已经得到广泛使用的讯飞语音 API<sup>[23]</sup> 开发出适合于系统的语音提示及反馈。

## 3 实验与结果分析

为了验证系统的可行性, 在盲校选取 20 名盲人学生进行导航实验。图 9 为盲人在测试中所穿戴设备的效果图; 图 10、图 11 分别是简单和复杂路径导航图, 测试结果分别见表 3、表 4。

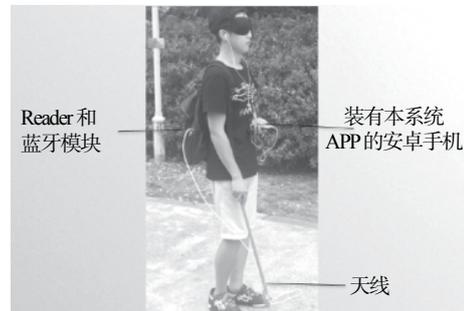


图 9 穿戴效果图

Fig. 9 Wearable effect diagram

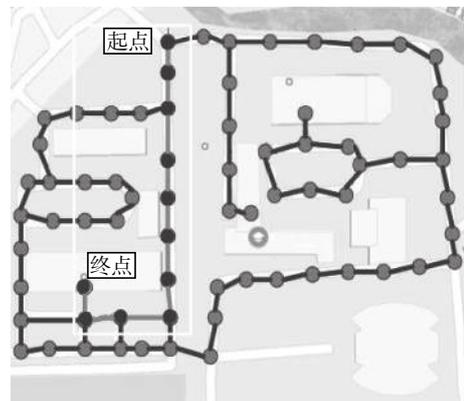


图 10 简单路径效果图

Fig. 10 Simple path effect diagram

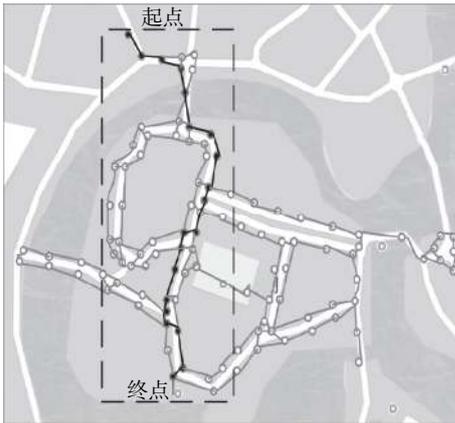


图 11 复杂路径效果图

Fig. 11 Complex path effect diagram

通过表 3 的数据分析得出: 20 名测试人员一共进行了 204 次导航测试, 一共走过 3 580 个定标

点, 一共发生 6 次错失标签的情况, 走失率为 0.17%, 盲人导航的成功率为 97.06%。通过表 4 的数据分析得出: 20 名测试人员一共进行了 164 次导航测试, 一共走过 5 840 个定标点, 一共发生 11 次错失标签的情况, 走失率为 0.188%, 盲人导航的成功率为 96.34%, 整体导航精度为 0.469 7 m。鉴于盲人群体的特殊性, 在系统设计之初就提出定标点的导航精度要小于 0.5 m, 因为在这一范围内盲人可以较好地辨别出方向和距离, 如果超出这一范围盲人极易发生走失情况, 测试结果显示没有任何一组测试的平均导航精度超过 0.5 m; 同时, 简单路径以及复杂路径导航规划成功率分别为 97.06%、96.34%, 都大于 95%, 达到基于矩形区域限制 Dijkstra 导航算法的设计要求。

表 3 简单路径测试结果

Table 3 Simple path test results

测试编号	走过定标点数目	测试人数	平均导航次数	错失标签次数	定标点平均导航精度/m	导航规划次数	规划有误次数
1	10	4	15	2	0.415	60	2
2	15	4	13	1	0.456	52	1
3	20	4	10	1	0.494	40	2
4	25	4	8	0	0.481	32	0
5	30	4	5	2	0.487	20	1

表 4 复杂路径测试结果

Table 4 Complex path test results

测试编号	走过定标点数目	测试人数	平均导航次数	错失标签次数	定标点平均导航精度/m	导航规划次数	规划有误次数
1	20	4	12	2	0.455	48	1
2	30	4	10	3	0.487	40	1
3	40	4	8	1	0.473	32	1
4	50	4	6	2	0.467	24	2
5	60	4	5	3	0.482	20	2

NavCog3<sup>[24]</sup>利用低功耗蓝牙作为信标点(蓝牙灯塔), 结合惯性导航为盲人自主出行提供导航服务; 为了达到更高的精度, 蓝牙灯塔之间的间隔为 7~10 m, 而且为了让无线电波有更好的可到达性, 灯塔的高度为 2~3.5 m。最终的实验结果表明: NavCog3 的平均导航误差为 1.65 m。相对于 NavCog3, 系统采用纯 RFID 标签路径布局方式(每隔 20 m 布局一组)RFID 标签, 1 km 需要 100 个 RFID 标签, 每个标签的成本为 0.3 元, 1 km 的成本为 30 元), 成本低廉利于大范围推广, 并且平均导航误差为 0.467 9 m 优越于 NavCog3。

## 4 结束语

系统采用手机惯性导航结合 RFID 射频识别技术, 不仅解决了惯性导航无法消除的累计误差问题, 而且解决了纯 RFID 导航标签过多铺设困难的问题。为了扩大感应范围提高导航精度, 采用了 RFID 双铺布局方式; 为了体现导航的方向性、降低系统计算冗余, 采用修正了的 Dijkstra 导航算法, 可以根据盲人路径行走频率以及路况等实际情形动态地变更路径的权值, 使系统导航出来的路径更加安全可靠。实验结果表明: 系统简

单和复杂路径导航成功率分别为 97.06% 和 96.34, 定标点平均导航误差为 0.467 9 m, 可以胜任盲人日常自主出行的导航服务。在未来可以将 RFID 标签嵌入盲道砖中, 在进一步提高导航精度的同时, 还可以大幅度减少标签使用量。

## 参考文献:

- [1] CAO Lin, HUANG Xiaoli. GPS-based navigation for the blind[J]. *Advanced materials research*, 2012, 433-440: 4184-4188.
- [2] 崔金琦, 陶先平. 基于 RFID 的校园导航系统的设计与实现[J]. *计算机科学*, 2015, 42(12): 92-94,119.  
CUI Jinqi, TAO Xianping. Design and implementation of RFID-based campus navigation system[J]. *Computer science*, 2015, 42(12): 92-94,119.
- [3] 谢磊, 殷亚凤, 陈曦, 等. RFID 数据管理: 算法、协议与性能评测[J]. *计算机学报*, 2013, 36(3): 457-470.  
XIE Lei, YIN Yafeng, CHEN Xi, et al. RFID data management: algorithms, protocols and performance evaluation[J]. *Chinese journal of computers*, 2013, 36(3): 457-470.
- [4] 曹敏. 基于 DSP 的高频远距离 RFID 读写器的研究与实现[D]. 济南: 山东大学, 2013.  
CAO Min. The research and implementation of the long range HF RFID reader based on DSP[D]. Ji'nan: Shandong University, 2013.
- [5] 张文杰. 基于 RFID 和地磁场联合的室内定位技术研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2015.  
ZHANG Wenjie. Research on hybrid indoor positioning with RFID and magnetic field[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2015.
- [6] 高佩, 刘洪星, 张朋, 等. 基于 Android 平台的盲人手机系统设计与开发[J]. *电脑知识与技术*, 2014, 10(19): 4447-4449, 4459.  
GAO Pei, LIU Hongxing, ZHANG Peng, et al. Design and implementation of mobile phone system for the blind based on android[J]. *Computer knowledge and technology*, 2014, 10(19): 4447-4449, 4459.
- [7] 万骏炜, 曾庆化, 陈磊江, 等. 行人惯性导航系统平台设计与实现[J]. *计算机应用与软件*, 2015, 32(2): 45-47, 170.  
WAN Junwei, ZENG Qinghua, CHEN Leijiang, et al. Design and implementation of pedestrian inertial navigation system[J]. *Computer applications and software*, 2015, 32(2): 45-47, 170.
- [8] ERIC S. Navigation system for blind pedestrians and public transport users[J]. *I-com*, 2014, 13(3): 12-18.
- [9] BARATI F, DELAVAR M R. Design and development of a mobile sensor based the blind assistance wayfinding system[J]. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 2015, XL-1(W5): 91-96.
- [10] 聂元祥. 多功能导航盲杖[P]. 中国: 203425209, 2014-02-12.
- [11] 叶海波. 基于智能手机的室内标签定位技术研究[D]. 南京: 南京大学, 2016.  
YE Haibo. Smartphone based indoor localization for symbolic position[D]. Nanjing: Nanjing University, 2016.
- [12] 邢珍珍. 基于地磁传感器的室内导航解决方案[J]. *软件工程*, 2016, 19(4): 13-15.  
XING Zhenzhen. Indoor navigation solution based on geomagnetic sensor[J]. *Software engineering*, 2016, 19(4): 13-15.
- [13] 范荣双, 王继周, 房慎冲, 等. 室内地磁导航基准图生成方法及系统[P]. 中国: 104807462, 2015-07-29.
- [14] 郭才发, 胡正东, 张士峰, 等. 地磁导航综述[J]. *宇航学报*, 2009, 30(4): 1314-1319, 1389.  
GUO Caifa, HU Zhengdong, ZHANG Shifeng, et al. A survey of geomagnetic navigation[J]. *Journal of astronautics*, 2009, 30(4): 1314-1319, 1389.
- [15] GALLAGHER T, WISE E, YAM H C, et al. Indoor navigation for people who are blind or vision impaired: where are we and where are we going?[J]. *Journal of location based services*, 2014, 8(1): 54-73.
- [16] RIEHLE T H, ANDERSON S M, LICHTER P A, et al. Indoor magnetic navigation for the blind[C]//*Proceedings of Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. San Diego, CA, USA, 2012: 1972.
- [17] 徐向军. 惯性测量与航迹推算的室内定位方法[D]. 无锡: 江南大学, 2016.  
XU Xiangjun. The indoor location method based on inertial measurement and dead reckoning[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.
- [18] 周婧, 陈庙红, 吴豪杰. 基于惯性导航的平面航迹推算的研究[J]. *计算机科学*, 2017, 44(6A): 582-586.  
ZHOU Jing, CHEN Miaohong, WU Haojie. Research on plane dead reckoning based on inertial navigation system[J]. *Computer science*, 2017, 44(6A): 582-586.
- [19] 徐鼎, 孟坤, 李尚同. 基于 Android 端的惯性导航算法研究[J]. *软件导刊*, 2017, 16(4): 35-37.  
XU Ding, MENG Kun, LI Shangtong. Research on inertial navigation algorithm based on Android[J]. *Software guide*, 2017, 16(4): 35-37.
- [20] 黄政, 韩立新, 肖艳. 基于 M5 和 DTW 的计步方法设计[J]. *计算机学报*, 2017, 40(08): 1856-1871.

HUANG Zheng, HAN Lixin, XIAO Yan. Step detection design approach based on M5 and DTW[J]. Chinese journal of computers, 2017, 40(08): 1856–1871.

- [21] 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.

WANG Haimei, ZHOU Xianzhong. Improved shortest path algorithm for restricted searching area[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology (natural science), 2009, 33(5): 638–642.

- [22] 王亚文, 汪西莉, 曹菡, 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.

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.

- [23] 石婷. 基于 Android 的 LBS 应用研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2014.

SHI Ting. Research on application of LBS based on Android[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.

- [24] SATO D, OH U, NAITO K, et al. NavCog3: an evaluation of a smartphone-based blind indoor navigation as-

sistant with semantic features in a large-scale environment[C]//The International ACM Sig Access Conference. Baltimore, MD, USA, 2017: 270-279.

### 作者简介:



郇战,男,1969年生,副教授,主要研究方向为物联网及智能控制技术。主持国家自然科学基金项目1项,授权与申请专利13项。发表学术论文30余篇。



陈学杰,男,1994年生,主要研究方向为物联网及智能控制技术。



梁久祯,男,1968年生,教授,主要研究方向为计算机视觉。发表学术论文190余篇,出版专著2部。