分类号： TP391.1 单位代码： 10335

密 级： 学 号： 21121157



硕士学位论文



|  |  |
| --- | --- |
| **中文论文题目：** | **面向视力残疾人的室内导航系统**  **的研究与实现** |
| **英文论文题目：** | **An Indoor Navigation System for**  **Visually Impaired People** |

|  |  |
| --- | --- |
| 申请人姓名： | 侍路登 |
| 指导教师： | 宋明黎 副教授 |
| 专业名称： | 计算机应用技术 |
| 研究方向： | 移动多媒体 |
| 所在学院： | 计算机科学与技术学院 |

**论文提交日期 二〇一四年一月**

**浙江大学研究生学位论文独创性声明**

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 **浙江大学** 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

|  |  |
| --- | --- |
| 学位论文作者签名： | 签字日期： 年 月 日 |

**学位论文版权使用授权书**

本学位论文作者完全了解 **浙江大学** 有权保留并向国家有关部门或机构送交本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 **浙江大学** 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索和传播，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 学位论文作者签名： | 导师签名： |  |
|  |  | |
| 签字日期： 年 月 日 | 签字日期： | 年 月 日 |

摘要

作为与日常生活息息相关的基础设施，办公楼、购物中心、地铁站、机场、医院等大型建筑物的内部结构日益复杂，使得人们在其中经常迷路或很难快速找到目的地，而对有视力障碍的人来说，这一问题显得更为突出。因此，研发一套针对视力残疾人的室内导航系统是很有必要的。

本文针对视力残疾人这一群体的特殊性，提出了一种根据视力残疾人的无障碍需求进行室内快速导航的系统。首先在大型建筑物的一些重要地理位置（如门、墙壁的拐角、楼梯的入口处）布设NFC标签，由此构建的NFC标签网络可以辅助用户进行精确的定位。在确定了用户的起始点和目的地之后，本文提出的导航系统可以快速地计算出最优的（最适合视力残疾人的）路线。该系统由服务器和客户端两部分组成：服务器部分主要包含构建室内地图和计算最优路径两部分工作，客户端提供TalkBack无障碍支持，通过语音将计算出的路径提示给用户，并指导用户到达目的地。

本文的一个核心问题就是构建室内地图。考虑到很多大型建筑物都有对应的CAD图，并有相应的组织对该图进行维护，为避免耗费大量的人力、物力进行室内地图数据的采集，本文从CAD图出发并结合视力残疾人的空间认知构建基于拓扑模型的室内地图。

在构建室内地图的基础之上，本文深入分析了影响视力残疾人室内出行的六个主要因素，并采用层次分析法得出了这些因素对路径权值的影响权重，给出了计算路径综合权值的公式。基于该综合权值，使用Dijkstra算法得出了最优路径。

最后，本文基于上述核心技术，设计了一套客户端—服务器架构的面向视力残疾人的室内导航系统，并在Android平台上做了实现。通过对系统的各个模块和整体的测试以及真实环境下的试用，证明了本系统的完整性、稳定性和有效性。

**关键词：**　无障碍，室内导航，层次分析法，NFC

Abstract

As our daily infrastructure, the internal structure of office buildings, shopping malls, subway stations, airports, hospitals and other large buildings have been increasing complexity, which makes people lost or way-finding difficult, while this problem has become more prominent to visually impaired people. So, it’s necessary to develop an indoor navigation system for them.

Considering the particularity of the group of visually impaired, we propose a fast indoor navigation system. Firstly, we set NFC tags to the important geographical location, such as doors, the corners of walls and the entries of stairs. Then, the built network of NFC tags can be used to obtain accurate position. After knowing the start and destination points, the proposed system can calculate the best path for the visually impaired. The system is consisting of server and client: the server is responsible for building indoor maps and calculating the best path, while the client provides accessibility services by TalkBack, and navigates user to destination by the path.

One important part of the system is building indoor maps. Considering that many buildings has their CAD floor-plans which many organizations keep maintaining, in order to avoid spending a lot of manpower and material for data collection of indoor maps, we combine the CAD floor-plans with the spatial cognition of the visually impaired to build the indoor maps based on the topological model.

Based on the generated maps, we also analyze 6 major factors that affect indoor walking of visually impaired people, use AHP to determine their weights in the path and present the formula to calculate the comprehensive weight of the path. Finally, the best path is determined using Dijkstra algorithm based the weight.

At last, based on the technology above, we design an indoor navigation system for the visually impaired people with a C/S architecture and implement it on Android. Finally, by testing each module and the overall system and a trial conducted under real environment, we prove its integrity, stability and effectiveness.

**Keywords：**Accessibility, Indoor Navigation, AHP, NFC

目录

[摘要 i](#_Toc377075590)

[Abstract ii](#_Toc377075591)

[第1章 绪论 7](#_Toc377075592)

[1.1 课题背景 7](#_Toc377075593)

[1.2 研究意义与目的 7](#_Toc377075594)

[1.3 论文组织 9](#_Toc377075595)

[1.4 本章小结 10](#_Toc377075596)

[第2章 相关技术综述 11](#_Toc377075597)

[2.1 无障碍研究综述 11](#_Toc377075598)

[2.1.1 物理环境的无障碍研究 11](#_Toc377075599)

[2.1.2 虚拟世界的无障碍研究 12](#_Toc377075600)

[2.1.3 Android系统的无障碍支持 14](#_Toc377075601)

[2.2 室内导航系统综述 17](#_Toc377075602)

[2.2.1 室内地图 17](#_Toc377075603)

[2.2.2 室内定位方法 18](#_Toc377075604)

[2.2.3 导航算法 19](#_Toc377075605)

[2.3 多目标决策方法综述 20](#_Toc377075606)

[2.3.1 多目标决策问题及其特点 21](#_Toc377075607)

[2.3.2 多目标决策的经典方法 21](#_Toc377075608)

[2.4 其他相关技术 23](#_Toc377075609)

[2.4.1 DXF格式 23](#_Toc377075610)

[2.4.2 NFC 23](#_Toc377075611)

[2.5 本章小结 24](#_Toc377075612)

[第3章 基于拓扑模型的室内地图构建 25](#_Toc377075613)

[3.1 拓扑模型 26](#_Toc377075614)

[3.2 CAD关键元素提取 27](#_Toc377075615)

[3.2.1 坐标系 27](#_Toc377075616)

[3.2.2 数据预处理 28](#_Toc377075617)

[3.2.3 元素提取 30](#_Toc377075618)

[3.3 基于盲人空间认知的室内地图建模 38](#_Toc377075619)

[3.3.1 盲人的空间认知 38](#_Toc377075620)

[3.3.2 节点标注 41](#_Toc377075621)

[3.3.3 链接建立 43](#_Toc377075622)

[3.3.4 节点间可达性验证 46](#_Toc377075623)

[3.4 拓扑模型展示 47](#_Toc377075624)

[3.5 本章小结 48](#_Toc377075625)

[第4章 基于综合权值的最优路径计算 49](#_Toc377075626)

[4.1 影响视力残疾人室内出行的主要因素 49](#_Toc377075627)

[4.1.1 链接沿墙距离 50](#_Toc377075628)

[4.1.2 链接自由距离 50](#_Toc377075629)

[4.1.3 链接中的直角弯数 50](#_Toc377075630)

[4.1.4 链接中的非直角弯数 51](#_Toc377075631)

[4.1.5 链接中的楼梯数 51](#_Toc377075632)

[4.1.6 链接中的电梯数 52](#_Toc377075633)

[4.2 各因素的无量纲化处理 52](#_Toc377075634)

[4.3 基于层次分析法的路径权值的确定 53](#_Toc377075635)

[4.3.1 层次分析法 53](#_Toc377075636)

[4.3.2 层次分析法模型的确定 58](#_Toc377075637)

[4.4 最优路径计算 63](#_Toc377075638)

[4.5 本章小结 64](#_Toc377075639)

[第5章 基于NFC的室内导航系统的实现 65](#_Toc377075640)

[5.1 室内导航系统架构 65](#_Toc377075641)

[5.2 导航服务器实现 65](#_Toc377075642)

[5.2.1 导航服务器架构 65](#_Toc377075643)

[5.2.2 导航请求处理 66](#_Toc377075644)

[5.3 Android客户端实现 69](#_Toc377075645)

[5.3.1 客户端架构 69](#_Toc377075646)

[5.3.2 客户端状态转换 70](#_Toc377075647)

[5.4 室内导航系统部署以及效果展示 71](#_Toc377075648)

[5.4.1 系统参数 71](#_Toc377075649)

[5.4.2 系统部署 72](#_Toc377075650)

[5.4.3 效果展示 72](#_Toc377075651)

[5.5 本章小结 74](#_Toc377075652)

[第6章 总结与展望 75](#_Toc377075653)

[6.1 总结 75](#_Toc377075654)

[6.2 展望 76](#_Toc377075655)

[附录 77](#_Toc377075656)

[参考文献 80](#_Toc377075657)

[致谢 84](#_Toc377075658)

图目录

[图 2.1 Android无障碍服务使用流程 15](#_Toc377680273)

[图 2.2 TalkBack开启后按钮单击事件触发流程 16](#_Toc377680274)

[图 3.1 LBS系统架构图 25](#_Toc377680275)

[图 3.2 CAD模型到节点/链接模型的转换 26](#_Toc377680276)

[图 3.3 CAD中门的表示 30](#_Toc377680277)

[图 3.4 CAD中门的更为实际的表示 30](#_Toc377680278)

[图 3.5 门提取算法伪代码 32](#_Toc377680279)

[图 3.6 示例CAD图 32](#_Toc377680280)

[图 3.7 示例CAD图的门的提取结果 33](#_Toc377680281)

[图 3.8 门的数据结构 33](#_Toc377680282)

[图 3.9 房间提取算法流程图 34](#_Toc377680283)

[图 3.10 房间提取算法得出CandidateRooms的过程示例 35](#_Toc377680284)

[图 3.11 示例CAD图的房间的提取结果 36](#_Toc377680285)

[图 3.12 房间的数据结构 36](#_Toc377680286)

[图 3.13 不同类型的楼梯和电梯 37](#_Toc377680287)

[图 3.14 示例CAD图的楼梯和电梯的提取结果 37](#_Toc377680288)

[图 3.15 楼梯和电梯的数据结构 38](#_Toc377680289)

[图 3.16 示例CAD图总的提取结果 38](#_Toc377680290)

[图 3.17 浙江省盲校中学生绘制的地图 40](#_Toc377680291)

[图 3.18 浙江省盲校中学生绘制的地图对应的矢量说明图 40](#_Toc377680292)

[图 3.19 根据卫星图绘制的盲校平面图 41](#_Toc377680293)

[图 3.20 经墙壁的顶点到达另一个节点的四种情况 42](#_Toc377680294)

[图 3.21 CAD图节点标注结果 43](#_Toc377680295)

[图 3.22 节点可直达的几种典型情况 44](#_Toc377680296)

[图 3.23 可直达节点的链接的数据结构 44](#_Toc377680297)

[图 3.24 可能出现直角链接的三种典型情况 45](#_Toc377680298)

[图 3.25 非可直达节点的链接的数据结构 45](#_Toc377680299)

[图 3.26 存在冗余链接的三种情况 46](#_Toc377680300)

[图 3.27 拓扑模型 47](#_Toc377680301)

[图 3.28 使用三角剖分提取的路径 47](#_Toc377680302)

[图 4.1 路径权值指标体系图 59](#_Toc377680303)

[图 4.2 最优路径对比1 63](#_Toc377680304)

[图 4.3 最优路径对比2 64](#_Toc377680305)

[图 5.1 室内导航系统架构图 65](#_Toc377680306)

[图 5.2 室内导航服务器架构 66](#_Toc377680307)

[图 5.3 服务器的导航处理流程图 67](#_Toc377680308)

[图 5.4 客户端向服务器发送导航请求的数据格式 68](#_Toc377680309)

[图 5.5 服务器向客户端发送导航结果的数据格式 69](#_Toc377680310)

[图 5.6 导航客户端架构 70](#_Toc377680311)

[图 5.7 导航客户端状态转换图 71](#_Toc377680312)

[图 5.8 NFC标签布设 72](#_Toc377680313)

[图 5.9 真实环境测试效果 73](#_Toc377680314)

[图 5.10 Android客户端截图 73](#_Toc377680315)

[图 5.11 评价结果统计 74](#_Toc377680316)

表目录

[表 3.1 节点到其他所有节点的可达性说明 46](#_Toc377680317)

[表 4.1 直角弯数目与直角弯系数之间的对应关系 51](#_Toc377680318)

[表 4.2 非直角弯数与非直角弯系数之间的对应关系 51](#_Toc377680319)

[表 4.3 楼梯数与楼梯系数之间的对应关系 52](#_Toc377680320)

[表 4.4 电梯数与电梯系数之间的对应关系 52](#_Toc377680321)

[表 4.5 层次分析法中1~9标度 56](#_Toc377680322)

[表 4.6 RI值 57](#_Toc377680323)

[表 4.7 判断矩阵*W-A*及相关权重 59](#_Toc377680324)

[表 4.8 判断矩阵及相关权重 60](#_Toc377680325)

[表 4.9 判断矩阵及相关权重 60](#_Toc377680326)

[表 4.10 判断矩阵及相关权重 61](#_Toc377680327)

[表 4.11 各因素组合权重及总排序 62](#_Toc377680328)

[表 5.1 系统参数 71](#_Toc377680329)

[表 5.2 系统评价 74](#_Toc377680330)

[表 6.1 调查表格1 78](#_Toc377680331)

[表 6.2 分值说明 78](#_Toc377680332)

[表 6.3 调查表格2 79](#_Toc377680333)

[表 6.4 调查表格3 79](#_Toc377680334)

[表 6.5 调查表格4 79](#_Toc377680335)

# 绪论

## 课题背景

随着经济社会的快速发展，一座座大型建筑如雨后春笋般出现，诸如大型办公楼、购物中心、机场、医院等基础实施与人们的日常生活息息相关，已成为人们日常生活、工作的重要组成部分。而大型建筑物内部结构的日益复杂使得人们在其中很容易迷路或很难快速地到达目的地。而对有视力障碍的人来说，这一问题显得更为突出。据世界卫生组织统计，全球约有2.85亿视力残疾人，其中3900万是盲人，2.46亿是低视力人群[[1](#_ENREF_1)]。在室外行走，视力残疾人可以借助于导盲犬或者盲杖，而在室内则寸步难行。因此，一套智能的室内导航系统显得尤为重要。

随着WLAN的日益普及以及3G智能手机等个人移动设备的快速发展，导航系统日益成熟。但是，现有的导航系统多是基于GPS（全球定位系统）的室外导航，例如车载导航、智能手机导航，它们依靠GPS提供可靠的地理位置信息，这个过程几乎可在任何天气条件下、地表或靠近地表的任何时间进行。然而，由于GPS本身的精度不足，不能提供高度信息，且在室内GPS信号受到墙壁等因素影响大大衰减，导致GPS无法应用到室内导航系统中。

随着研究的逐步展开，已有一些室内导航系统出现，如基于RFID的室内导航[[2](#_ENREF_2)]。然而，这些系统大都针对视力完好的群体设计实现，并没有考虑到视障人群。虽然也有一些系统针对存在视力障碍的人群，但它们只是作了交互上的设计[[3](#_ENREF_3)]，而并未充分考虑这一群体的特殊性，未能深入分析这一群体的特殊需求。另外，现有的室内导航系统的价格也超出了视力残疾人的购买能力。

在这样的背景下，本文着力研究基于Android平台的面向视力残疾人的室内导航系统。

## 研究意义与目的

在大型建筑室内结构日益复杂的大环境下，室内导航系统对于人们出行的重要性不言而喻。对于视力残疾人来说，其重要性则更为凸显。比如，一个盲人需要到某个大楼的某个房间取一份文件，他可以先通过室外导航到达这个大楼，但是他对该大楼的室内建筑环境不熟悉，这时他便很难继续行进，而且如果指定房间不在一层的话，则想要到达目的地难度更大。因此，研发针对视力残疾人特殊需求的室内导航系统是有重要意义的。然而，现有的室内导航系统还不完善，还存在以下几个方面的问题：

* “胖”终端

计算最优路径是导航的核心。“胖”终端系统将该计算任务集中到了用户使用的移动终端。一方面，导航过程需要提前下载室内地图可能消耗大量的流量；另一方面，复杂的计算对终端的电量也是一个很大的挑战。

* 高成本

室内导航系统的成本涉及两方面，其一在于系统架设的成本，实现系统本身使用成本较高的材料或者设备，其二在于使用系统的成本，用户在使用系统之前需购买昂贵的设备。

* 低针对性

已有的室内导航系统大都针对视力完好的正常人设计实现，而忽略了有视力障碍人群的存在。少数针对视力残疾人设计的室内导航系统未能充分考虑该群体的特殊性。

本文针对现有室内导航系统存在的主要问题，设计并实现了面向视力残疾人的室内导航系统，该系统主要有以下几个特点：

1）利用遍布大型建筑的NFC标签网络取代GPS进行精确定位。符合无障碍标准的建筑一般都会沿墙设置扶手，NFC标签恰恰可以布设其上以用于辅助视力残疾人进行室内精确定位。另外NFC标签也很便宜，可以降低系统成本。

2）从CAD图获取建筑物内部空间结构数据，基于盲人的空间认知构建室内地图。考虑很多大型建筑物都有对应的CAD图，并有相应的组织对该图进行维护[[4](#_ENREF_4)]，为避免耗费大量的人力、物力进行室内地图数据的采集，本文从CAD图出发并结合盲人的空间认知构建基于拓扑模型的室内地图。

3）深入分析了影响视力残疾人室内出行的主要因素，在计算最优路径时使用了全面考虑了各个影响因素的综合权值，使得计算结果更能符合视力残疾人的无障碍出行需求。

4）采用客户端—服务器架构实现，将计算最优路径的核心任务交由服务器完成，客户端仅负责必要的导航任务，一则可以加快最优路径的计算速度，二则可以最大限度节省手机的流量和电量。另外，客户端基于Android系统实现，而现在已有很多Android手机支持NFC，用户只需拥有一部支持NFC的Android手机而无需购买额外的设备，使得用户成本大大降低。

## 论文组织

本文针对现有室内导航系统存在的主要问题以及视力残疾人对室内导航的需求进行了深入分析，给出了一种室内地图构建方案和一种基于综合权值的最优路径计算方法，最终对整个系统的实现以及有效性做出了完整介绍。

本文总共分为6章，按照由分析、实现到评估的结构顺序组织。

第一章，即本章主要介绍了导航系统的相关背景，简要说明了室内导航系统存在的主要问题，分析了本文所提系统的可行性，并指出了研究的意义与目的，最后描述了本文的组织结构。

第二章是本文所提系统的相关技术综述，主要介绍了无障碍相关技术、室内导航系统相关技术，并对系统实现部分将用到的CAD元素提取、NFC相关技术作了简要的介绍说明。

第三章提出了一种室内地图构建方案，首先介绍了室内地图模型，而后说明了该模型的建立过程，包括从CAD图中提取关键元素和基于盲人空间认知进行室内地图建模两个阶段。

第四章深入分析了影响视力残疾人室内出行的6个主要因素服务，使用层次分析法确定了这个6个因素的影响权重，并基于该权重使用Dijkstra算法计算出了最优路径。

第五章介绍了面向视力残疾人的室内导航系统的实现方案，说明了系统的整体架构以及各个组件的实现细节，并且最终给出了系统测试、试用的结果，证明了系统在为视力残疾人提供室内导航服务的完整性、稳定性及有效性。

第六章总结了全文做的相关工作，说明了系统中存在的不足，并对未来的工作做出了展望。

## 本章小结

本章首先介绍了面向视力残疾人的室内导航系统的相关背景，并简单叙述了本文的研究意义与目的，最后给出了全文各个章节的安排以及所完成的工作。

# 相关技术综述

面向视力残疾人的室内导航系统是专门针对视力残疾人的无障碍需求而设计实现的。现有的室内导航系统多是为视力完好的人设计的，即使有少数系统为视力残疾人设计，它们的成本也较高。本文设计的室内导航系统综合考虑了影响视力残疾人室内出行的各个主要因素，且架设和使用成本较低。

为深入了解视力残疾人的无障碍需求，本章将先对无障碍方面的相关研究作了总结。接着，将介绍了现有的室内导航系统的相关技术。为确定影响视力残疾人室内出行的各因素的权重，本章也将对多目标决策方法做介绍。最后，对CAD图元素提取涉及的DXF格式及系统实现涉及的NFC技术做介绍。

## 无障碍研究综述

由于自身残疾和社会无障碍环境欠缺等条件的限制，残疾人群体很难平等地参与社会各项活动，甚至更易于沦为社会弱势群体。无障碍设计、无障碍环境、信息无障碍等理念就是在这样的情况下提出的，以消除残疾人参与社会活动时可能遇到的各种障碍，从而使他们能够更好地融入主流社会。

无障碍环境可分为物理环境的无障碍与信息和交流无障碍。在互联网时代，人们的学习、生活和工作已和网络息息相关，信息和交流无障碍已将无障碍运动从现实世界拓展到了虚拟世界。

### 物理环境的无障碍研究

物理环境的无障碍核心在于各类建筑和公共基础设施要坚持“以人为本”的原则，体现对每个人的关怀和服务。

早在1974年，联合国就提出无障碍设计（Barrier Free Design）这个新概念，强调现代社会科学技术高度发展，一切有关人类衣食住行的公共空间环境以及各类建筑设施、设备的设计规划都必须充分考虑生理伤残群体、正常活动能力衰退群体的使用需求，配备能够应答、满足这些需求的服务功能和装置，营造一个充满爱与关怀、安全、方便、舒适的现代生活环境。而在20世纪80年代之前，我国建筑设计中还没有融入无障碍设计理念。直到1989年，建设部、民政部、中国残疾人联合会联合发布了我国第一部《方便残疾人使用的城市道路和建筑物设计规范（试行）》，以此保障建筑产品设计能够被残疾人无障碍使用。从2001年8月1日起，《城市道路和建筑物无障碍设计规范》作为行业标准开始施行。本规范对原规范进行了重要的修改，并在此基础上做了一些补充。

国际上也形成了一套通用的无障碍设计标准，大致涉及公共建筑的入口、盲道、门、建筑物走廊、公共卫生间、电梯入口等6个方面，且在每个方面都给出了具体的量化要求。

### 虚拟世界的无障碍研究

#### 网站无障碍

网站无障碍，即网站的易访问性（Web Accessibility），是指网站按照一定的规范设计以保证包括具有生理残疾缺陷的人群在内的所有人都可以很容易地访问网站，所有用户均可以平等地网站提供的信息和功能。

为了使网站设计遵循一定的规则，已经有很多组织做出了努力，其中第一个也是最重要的一个是网页无障碍倡议组织（Web Accessibility Initiative, WAI）。WAI是万维网联盟（World Wide Web Consortium, W3C）的一部分，它发布了WCAG 1.0标准，该标准被广泛接受，用于指导如何建立无障碍网站，使包括文本、图片、表单、声音在内的所有网站内容可被所有人访问。2008年12月，WAI发布WCAG 2.0标准提议。WCAG标准分为A、AA和AAA三个等级，每个等级都是一个严格的一致性规则集合，比如在网站被批注上线之前，不同的HTML版本和其他相关技术必须和代码相兼容。在线工具可以帮助用户在提交网站之前进行WCAG标准检测，并给出一个检测报告，说明网站是否符合相应等级的无障碍要求。

根据WCAG标准，无障碍网站应包含以下特性[[5](#_ENREF_5)]：

1. 至少达到WAI-AA等级（AAA更好）以兼容WAI的WCAG标准；
2. 做语义网页标记；
3. 对网页的内容做W3C的(X)HTML验证；
4. 对网页的布局做W3C的CSS验证；

5）为低视力群体提供一个网站的高对比度版本，为失读症群体提供一个网站的低对比度版本；

1. 为网站的任何多媒体元素（包括视频、Flash、音频等）提供替代媒体；

7）简单而一致的导航模式；

8）设备独立性。

为确保网站和在线服务的无障碍访问，发达国家已将无障碍设计作为义务写入了国家的政策法规，如英国的反歧视法例（Disability Discrimination Act, DDA）[[6](#_ENREF_6)], 特殊教育需要和残障法例（Special Educational Needs and Disability Act, SENDA）[[7](#_ENREF_7)],美国的Section 508[[8](#_ENREF_8)]等。中国通信标准化协会也在2008年发布了《信息无障碍——身体机能差异人群——网站无障碍技术要求》[[9](#_ENREF_9)],并且从网站设计的可感知性、可操作性、可理解性和兼容性等四个方面定义了网络无障碍设计要求。

我国网站无障碍设计的实现呈纵深扩展态势，在各大官方网站、企事业单位网站、社会团体网站乃至个人博客都可见其踪迹。国内无障碍网站的设计都遵循了WCAG 2.0标准，符合XHTML 1.0技术规则，采用网站自动发声、信息自动抓取技术，并提供网站浏览辅助工具（Easy Web Browsing）[[10](#_ENREF_10)],极大地方便了视障人群，提升了国内网站无障碍服务能力。

#### 移动电话无障碍

移动电话的无障碍设计涉及硬件设计和软件设计两个方面。从硬件角度来看，已有的设计主要遵循了便于携带、尽量避免误操作、充分发挥视障人群的感觉补偿优势等设计原则，对市场上的盲用手机进行分析可发现它们具有一些共同特征[[11](#_ENREF_11)]：手机外形要符合人机工程，充分考虑使用时的手感、握持方便等，便于视障者尤其是盲人把握方向；缩小了显示屏幕，可以留出足够的空间来布置按钮；按钮上有盲文的设计，便于使用者找准相关数字；按钮采用方圆相间的设计方式，并拉大按钮之间的距离，减少了偶发触动的可能。尽管硬件设计可以有效促进视障者与产品无障碍地进行沟通，然而毕竟硬件的设计成本相对较高，并且不利于大范围推广，软件设计正好作为对此的补充。

与网站无障碍服务不同的是，移动电话上软件应用的无障碍设计还没有形成一个统一的标准。不过，考虑到他它们之前存在相通之处，移动电话上软件应用的无障碍设计可以参考网站无障碍标准的相关理念，比如图片要有相应的替代文本，字体要足够大，前景、背景对比要足够明显，导航方式要简单一致等。

### Android系统的无障碍支持

#### Android系统的无障碍服务

无障碍服务（Accessibility Service）是Android框架的一个特性，它的设计是为了让已经安装在Android设备上的应用程序能够为用户提供一种导航式回应。无障碍服务能够将应用程序的信息传递给用户，如将文字转为语音或当用户按住屏幕的特定区域时给出触觉反馈。使用Android框架提供的无障碍服务的过程如下图 2.1所示。



图 2.1 Android无障碍服务使用流程

#### TalkBack和TTS

TalkBack是一套Android环境下的免费且开放源代码的读屏软件，是Google公司的eyes-free项目的产品之一，也是一种Android平台上的无障碍服务，用来协助视障者无障碍地使用Android设备。TalkBack从Android 2.2版开始提供服务。除了提供语音反馈外，TalkBack同时整合了振动反馈（KickBack）、音效反馈（SoundBack）与触摸浏览（Explore by Touch）等特性。

安装并开启了TalkBack功能的Android手机使用过程不同于一般手机，这里以触发一个标准Android控件——按钮为例进行说明。普通在使用手机时只需点击按钮即可触发按钮点击事件，而对于视障人群来说，他们不知道按钮的位置，也不能确认自己所做的操作，这种情况下极容易出现误操作。安装并开启TalkBack后，视障者可按如下图 2.2所示流程进行操作。



图 2.2 TalkBack开启后按钮单击事件触发流程

对于非标准Android控件，TalkBack无法起作用，这时可通过TTS（Text to Speech）提供反馈信息，改善程序的可访问性和可操作性。

## 室内导航系统综述

### 室内地图

目前，很多公司通过绘制大型商场、会议中心和机场的室内地图以避免人们迷路。2011年10月13日，百度地图室内地图功能正式上线，当前应用范围主要集中在北上广深，且以商场室内地图为主。同年11月20日，Google公司也发布了新版移动地图服务，新增了大型商场、机场的室内地图功能。

Ciavarella 和 Patern为博物馆开发的类似室内导航的移动系统[[12](#_ENREF_12)]使用了“详细”和“粗略”两种地图类型，但是根据用户反馈，这些图没有充分考虑用户的需求，实际使用效果并不好。Müller等开发的系统[[13](#_ENREF_13)]使用的地图并不显示在移动设备上，而是通过在纸质地图上叠加路径信息的方式实现室内地图。

Klippel等参照建筑图的表现方式提出了室内地图设计的YAH地图原则[[14](#_ENREF_14)]，但这些原则仅是为了应对某些特定的紧急情况，并不适用于设计有其他目的或一宗全新形式的地图。另外，遵照YAH地图原则设计的地图也缺乏美观。Lorenz提出了一种混合的空间室内模型[[15](#_ENREF_15)]，该模型能够支持室内路径查询并提供了路径的描述性信息。Nossum提出了一种简洁的、可以在一幅图上包含所有楼层信息的2D及3D室内地图[[16](#_ENREF_16)]，其中2D室内地图适合从建筑物比较熟悉的人群，而3D地图则相反。Nakajima提出了一种室内地图数据创建方法[[17](#_ENREF_17)]，并通过该方式解决了室内环境与室外环境的路径拼接问题。同时，Nakajima还以日本和法国的50幅室内地图为基础探讨了室内地图环境的六种表达要素：注记、说明、符号、比例尺、入口和颜色。

基于智能手机的室内导航系统FootPath[[18](#_ENREF_18)]集成了OpenStreetMap以获取位置信息。OpenStreetMap致力于创建并分发免费的地理位置信息，除了街道地图外，OpenStreetMap也提供大型公共建筑的室内地图，然而该室内地图刚起步，发展尚未成熟。

Tomono和Yuta提出一种不准确的地图表示方式，简称TG地图[[19](#_ENREF_19)]。TG地图被定义成一个图，图中的节点表示一个几何实体，可以是环境中的一个物体或一块区域，比如书桌、房门或者房间，图中的边表示实体之间的相对关系，该关系不需要非常准确。

Gilliéron和Merminod提出的导航系统[[20](#_ENREF_20)]包含的地图模块的基本思路同Miu[[21](#_ENREF_21)]一致，两个系统所需的地图信息都从建筑CAD楼层平面图中提取。在这两个系统中，室内环境CAD绘图被分成若干幅独立的楼层平面图，每幅楼层平面图可进一步转化得到具体的空间信息，如墙、门、电梯和楼梯等。在每幅独立的楼层平面图中，参考点用二维笛卡尔坐标系的空间向量表示。所有经提取得到的参考点及参考点之间的路径构成一张拓扑图，导航系统的最短路径计算工作正是这张图上完成的。为减小生成室内地图信息的成本，本文采用这两个系统使用的获取室内空间信息的方法以避免耗费大量的人力成本对室内空间结构数据进行采集。然而，原有的方法只是对CAD图中的基本元素进行识别，这并不能满足本文的要求，本文深入分析CAD图，从中提取拓扑结构，并在得到的拓扑图上布设NFC节点以构成导航网络。

### 室内定位方法

现有的室内定位方法主要可分为两种：一种是基于网络的定位方法[[2](#_ENREF_2)]，如可通过布设传感器网络来定位；另一种是通过航位推算的方法来进行定位[[22](#_ENREF_22)]，这种方法可独立提供用户位置。另外，辅助的GPS系统通过放大工作区GPS信号的方法也可用于室内定位。使用辅助GPS系统，室内GPS信号可通过一个连接到参考GPS接收器的辅助性数据服务器进行高效处理，从而达到定位的目的。然而，有时室内GPS信号的强度过低可能导致该方案失效。

#### 网络定位法

网络定位法使用的技术涉及蓝牙（Bluetooth）、超宽带（Ultra Wide Band, UWB）、无线网络连接（Wi-Fi）、无线射频识别（Radio Frequently Identification, RFID）等，定位的精度取决于使用的具体技术。Wi-Fi和UWB定位的精度高于蓝牙和RFID。蓝牙是一种简单的兼容短距离通信技术，它需要昂贵的接收器，而且它的定位精度取决于蓝牙设备布设的数量的多少。

在使用RFID进行定位的情况下，定位精度取决于RFID标签的类型（主动型或者被动型）以及标签的数量。现有的使用RFID进行定位的系统一般使用主动标签，并且需要使用大量的RFID标签以取得良好的定位精度。与被动标签不同的是，主动标签可以内嵌电池以增加传输距离。使用主动标签的最大缺点是需要花费高额的成本。这方面的研究[[2](#_ENREF_2)]也表明它并不能提供一个高效的位置跟踪系统。

Wi-Fi和UWB技术也有自身的局限性。在任何需要实现定位的区域，Wi-Fi技术都需要架设昂贵的接入点[[2](#_ENREF_2)]。使用UWB技术进行定位可能不能保证系统的稳定性，主要因为技术问题，如天线的不匹配、低功耗的发射信号以及来自外部其他系统的干扰。

#### 航位推算法

使用航位推算法进行定位时，需要定义两种位置：确定的位置和估计的当前位置。确定的位置可以由足够数量的卫星来计算确定。与此相反，估计的当前位置是根据最新的确定的位置、行进路线、行进速度以及从确定位置的计算时间到当前的时间差来计算的。

航位推算法使用同时可作为电子加速计、磁力计、气压计使用的微机电传感器（MEMS）进行定位。使用航位推算法进行定位的系统的最大的缺点在于系统的性能会受到定位过程出现的误差的影响，主要是因为在基于前一个估计位置进行当前位置的推算时，推算过程的误差是累积的。

### 导航算法

导航算法的目的是找出从起点到目的点的路径，通常使用最短路径算法。最短路径问题是图论中的一个经典问题，目的是在一个图中找出源点和目的点的最短路径。最短路径算法一方面要求找出最优路径，另一方面要求在计算的过程中尽可能地降低时间复杂度和空间复杂度。常见的导航算法Dijkstra和A\*两种。

Dijkstra算法是20世纪50年代由荷兰科学家Dijkstra提出的。Dijkstra算法解决了非负权重有向图的单源最短路径问题，算法最终得到一个最短路径树。该算法常用于路由算法或者作为其他图算法的一个子模块。Dijkstra算法的输入包含了一个有权重的有向图和图中的一个源节点，算法从这个源节点出发选择一个到该源节点最近的节点，将其标记为已访问。此时，从源节点到该节点的最短路径已求出，更新和该节点相邻的所有节点。一旦目标被标记为已访问，则最短路径即被求出，可通过反向遍历推算出最短路径。该算法的时间复杂度是,其中n是有向图节点的数目，经过堆优化可将其降为。

1968年，斯坦福研究院的Peter Hart，Nils Nilsson和Bertram Raphael第一次描述了A\*算法[[23](#_ENREF_23)]。A\*算法是Dijkstra算法的一个扩展，它采用启发式搜索方式提高了算法性能。A\*算法是在广度优先搜索的基础上引入了估价函数，每次并非把所有可展开的节点展开，而是利用这个估价函数计算所有未展开的节点的估价值，选取估价值最小的节点，将其展开，直到找到目标节点为止。其估价函数定义为，其中表示在状态空间中从源节点到当前节点的实际代价，而表示从当前节点到达目标节点最佳路径的估计代价。该估价函数必须同时以下两个条件[[24](#_ENREF_24)]：（1）必须小于等于从当前节点到达目标节点的实际代价的最小值；（2）必须保持单调递增。

Dijkstra算法的搜索过程是盲目的，并没有考虑目标节点的具体情况，其实质是同概率搜索，类似一系列以源节点为圆心的同心圆的搜索。相比之下，加入了启发式搜索方法后，A\*算法的搜索方向更快地趋向于目标节点，可近似为一系列椭圆的搜索。计算涉及的节点从源节点逐渐向目标节点方向扩展，涉及的节点数量明显比Dijkstra算法少，效率大大提高，且最终能得到最优解。因此，A\*算法能用较为高效的方法（主要在于加入了估价函数）得出最优解。一个好的估价函数可以有效提高算法的效率，然而构造一个好的估价函数很难，它没有什么规律可循，需要开发人员对求解问题领域有很深的认识和丰富的编程经验。

## 多目标决策方法综述

决策是人类的基本活动，通常所说的决策是狭义的决策，指人们面临不同的方案时做出选择的行为，而广义的决策则指人们解决一切问题的思维过程。随着人类社会的发展，决策问题从简单向复杂发展，决策分析技术从定性向定量发展，并进一步向定性与定量相结合发展。在日常生活与实际工作中，我们常常会遇到各种各样需要做成恰当判断并做出合理选择的问题。这些问题往往具有一个共同的特征就是同时涉及对多个目标的诉求，如既要考虑投入等相关方面的影响，也要考虑效益等相关方面的影响。这就是多目标决策问题。

### 多目标决策问题及其特点

根据决策环境中候选方案的数量，多目标决策问题可以分为有限方案多目标决策（Multi-Objective Decision Making Problems with Finite Alternative）和无限方案多目标决策（Multi-Objective Decision Making Problems with Infinite Alternative）两类[[25](#_ENREF_25)]。有限方案多目标决策问题又被称为多属性决策问题（Multi-Attribute Decision Making Problem），在求解该类问题的过程中，关键在于对候选方案集按照一定的规则进行评价，最终得出各方案综合效用的优先性排序。对于无限方案多目标决策问题，求解的主要途径则是通过数学规划建模。也有一些国内外学者认为，两类多目标决策问题可以统称为多准则决策问题（Multi-Criteria Decision Making Problems）。

对多目标决策问题进行总结，可以发现它们具有以下特点[[25](#_ENREF_25),[26](#_ENREF_26)]：一、人们在一组项目中进行选择，或在对一个项目进行评估时，通常会从多个角度来观察和度量；二、由于一个项目被考察的多个目标反应的是问题的不同层面、不同角度，使得难以用统一的标准对其进行度量，因而就较难直接比较不同子目标的优劣，这一特点又被称为目标间的不可公度性（Non-Commensurable）；三、多个目标间也存在着矛盾性，它们之间互相博弈。

### 多目标决策的经典方法

决策算法可分为优先性算法和可接受算法两类。优先性算法依据综合效用值将备选方案集中的所有方案排成完全序,综合效用最大的方案即为最终选定的方案;另一类决策算法首先以“满意”为原则把方案集划分成容易理解的若干个有序子集,如可接受与不可接受两个子集,而后不同子集之间相互比较并确定其优先性,相同子集内的方案不再严格区分,视之具有相同的综合效用水平[[27](#_ENREF_27),[28](#_ENREF_28)]。

TOPSIS[[29](#_ENREF_29)]（Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution）方法是由Hwang和Yoon于1981年提出来的。该方法设定了多目标决策问题中的理想解和最劣解两个参考点,通过计算各候选方案与参考点之间相对距离的方式对各方案进行优劣评价。

PROMETHEE[[30](#_ENREF_30)]方法通过使用两两比较和定义级别高于关系来选择最佳方案。具体而言,该方法计算各个方案效用的流入量、流出量及净流量,以此帮助决策者作出选择。

Opricovic于1998年提出来的VIKOR方法[[31](#_ENREF_31)]是一种复杂系统的多准则优化方法，特别适用于在系统设计的初期,决策者无法或不知道怎样有效地表达其偏好的情况。

层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）[[32](#_ENREF_32)]产生于19世纪70年代，是由美国匹兹堡大学（University of Pittsburgh）的著名教授Saaty提出的，是一项基于数学和心理学的多准则决策方法。该方法可用于解决定性和定量因素相结合，特别是定性因素占据主导地位的决策问题，它整理并综合了人们的主观判断，是一种实用、灵活而且很简洁的客观方法。1971年，Satty使用层次分析法为美国国防部研究所制定了所谓“应急计划”。之后的两年，他又使用该方法对电力在工业部门中的分配问题及苏丹运输问题进行了研究。1977年，Satty在第一届数据建模会议上发表了题为《无结构决策问题的建模—层次分析法》的一篇文章，正式将层次分析法带入大众的视野[[33](#_ENREF_33)]。从那时起，层次分析法便引起了人们的注意，得到了广泛的研究，它的理论也因而得到了不断的发展并逐步完善。近年来，学术界在层次分析法的应用方面也做了大量工作，发表了几百篇论文。现在层次分析法已在决策预报、方案排序、资源分配、冲突求解、计划制定及政策分析等众多领域得到应用。本文使用层次分析法确定影响视力残疾人室内出行的因素的权重。

## 其他相关技术

### DXF格式

DXF（Drawing Interchange Format）格式是AutoDesk公司发布CAD文件的一种格式。DXF是一项开放标准，专门设计用来提供一种商业CAD工具可解析的私人CAD文件交换方式。几乎所有的CAD文件都可以转换成DXF格式，鉴于此希望装配室内导航系统的权威组织或部门可以使用CAD文件生成室内地图以用于导航。

以DXF格式组织的CAD数据由不相连的线、弧或者折线构成，这些元素可能跨越几个图层。用于表示门的线通常被分到一个或两个组里。房间的轮廓被组织在一起，通常带有标签、支柱及其他相关线的信息，这些信息可能跨越几个图层。另外，我们导航所需要的实体信息可能没有被区分开来，用于划定房间轮廓的线上通常会叠加有关楼层基底、天花板、附加标签等信息。为简单起见，本文假设CAD数据被组织成一个文件代表一层楼信息的形式。本节所讲述的CAD解析器只提取门、房间的二维结构以及楼梯的二维投影。

### NFC

NFC是一种短距离通信技术，使用该技术的两个设备可在10厘米距离内交换数据。NFC运行频率为13.56MHz，无线射频带宽不受监管，数据传输速率可达424Kbit/s。ISO 14443近距离卡通信标准综合考虑了智能卡和读卡器，而NFC是ISO 14443标准的扩展，所以NFC设备不仅可与其他NFC设备进行通信，同样也可与已有的符合ISO 14443标准的智能卡和读卡器通信，这使得NFC技术可兼容现有的公共交通、支付终端等基础设施。NFC的简易性非常有利于用户之间方便快捷地进行交易、交互名片以及连接设备，这些过程只需将两个NFC靠近到一定距离即可完成。

NFC是在综合考虑了无接触、身份识别和网络等技术的基础上发展而来的。根据NFC论坛的定义，NFC有三种操作模式：点对点、读者/写者和卡模拟。

在卡模拟模式中，数据从NFC设备传输到NFC读卡器。这种模式的好处在于支付过程可免去物理支付介质的参与。MasterCard PayPass、Google钱包和ISIS移动钱包就提供了这样的服务，用户无需携带信用卡、借记卡和现金。另一个该模式的应用是电子钥匙，有了电子钥匙用户便无需随身带着笨重的物理钥匙。Isomursu等人提出了一种使用该模式的考勤门禁系统[[34](#_ENREF_34)]。

在点对点模式中，两个NFC设备之间互相交互数据。根据Kerem等人描述[[35](#_ENREF_35)]，交换名片、结交新朋友等应用可以采用该模式。MFC设备互连可在瞬间完成，节省了大量的时间。这种模式尤其适用于设备配对。

在读者/写者模式中，NFC设备可以以主动或被动两种模式工作。NFC读卡器或者打开NFC的设备工作在主动模式下，它们可以产生一个字段以发起通信，所以如果用户手上有一个可打开NFC的设备，他就不需要购买其他的NFC读卡器。与主动NFC设备相对，被动NFC设备，如低沉本的NFC标签，不需要电源，它们只是等待通信请求。通过打开NFC的设备或NFC写入器，数字内容可以很容易地嵌入到这些NFC标签中。常见的一个应用就是智能海报。比如，Miraz等人就实现了一个智能海报系统[[36](#_ENREF_36)]，通过该系统学生们可以方便地获取各学院教职员工的相关信息。这种模式的好处在于用户可以很方便地携带相关信息，同时，与其他两种模式相比，这种模式也更容易实现。

简而言之，NFC是用户可负担得起、易于实现的技术，并且提供了一种高效的交互方式。正是NFC的这些优点为采用NFC技术实现成本较低且有效的室内导航系统提供了机会。文献[[37](#_ENREF_37)]中使用NFC技术实现了一种室内导航系统，但并未考虑NFC节点具体布设方案，也未针对视力残疾人的特殊需求作特殊设计。

## 本章小结

本章首先介绍了国内外关于无障碍方面的研究，主要涉及物理环境和虚拟世界两个方面，并说明了Android系统在无障碍方面的支持。然后，对现有的室内导航系统做了介绍，分别从室内地图研究与发展、室内定位方法以及常用的导航算法等三个方面做了讨论，为后文介绍的使用NFC进行室内导航提供了背景和理论支持。最后，介绍了本文所提系统实现需要用到的相关技术。

# 基于拓扑模型的室内地图构建

旅游路线规划、搜索周边这些基于地理位置的服务已成为现代化生活的重要组成部分，地点交友、电子签到也在不断地改变着我们的社交及休闲娱乐方式，这些都离不开LBS的发展。现有的LBS大都采用以下架构，如图 3.1所示。



图 3.1 LBS系统架构图

从图 3.1可以看出，电子地图是LBS的重要组成部分，不仅存储着空间位置信息，也关联着基于地理位置的服务信息。

近几年，尽管手机导航和电子地图得到了长足发展，而室内导航却发展缓慢，这很大程度上归咎于室内地图设计缺乏相关理论与方法的研究。室内地图属于网络电子地图的一种，但又与一般的网络电子地图存在不同之处[[38](#_ENREF_38)]：1）一般的网络电子地图多是二维的，而室内地图则多是三维的；2）室内地图描述的对象是有边界的，并且比例尺的意义并不明显；3）室内地图（如大型购物中心、医院、机场、室内运动场等）的表达方式与描述的空间环境存在更大的关联性；4）不同场所的室内地图用途更加清晰，并且不同用户对地图要求的差异性也更凸显，如室内运动场的运动员与观众。

上述种种原因导致了室内地图的设计与表达有别于一般网络地图，然而，户外导航的一些基本思路仍然可以应用到室内导航上来，建立以室内地图为中心的室内导航系统。

据调查[[4](#_ENREF_4)]，单在美国就有约205亿平方英尺的办公、看病和教学场所，而且几乎全部这些场所都存在对应的CAD格式的图纸。使用这些场所的成千上万的各种组织都投入大量的时间和金钱来维护CAD数据，他们希望通过这种方式从一定程度上取代他们公文包里的图纸。这些大量的CAD图纸为室内空间地图提供了很好的基础。

本章通过大型建筑的CAD设计图提取建筑物内部的主要空间元素，并对视力残疾人出行习惯和偏好进行深入分析。在此基础上，架设NFC标签导航网络，从而得到面向视力残疾人的基于拓扑模型的室内导航地图。

## 拓扑模型

CAD文件包含了很多对室内导航系统来说无用的特性，因此有必要对其进行数据筛选、转换提取出室内导航可能需要用到的信息。经过去除冗余信息的过程，剩余的CAD数据仍需经过如图 3.2所示的处理过程，从CAD模型转化为节点/链接模型，即拓扑模型。



图 3.2 CAD模型到节点/链接模型的转换

按照一定的算法进行检测提取，CAD文件涉及的相关对象可被清晰地标记为门、房间、走道、大楼等，并且所有其他无用的元素被去除。为更方便地讲述整个系统，本文将仅对CAD文件中的门、房间、楼梯和电梯进行提取，并将检测到的门、房间、楼梯和电梯作为上述拓扑模型中的节点。考虑到CAD数据库中的所有元素通常都含有一个属性的列表，且房间对应的属性列表中通常含有房间号这一属性，本文所提系统便将房间号室内导航的目标属性关联到上述节点。考虑到视力残疾人的特殊需求，除上述节点外，拓扑模型中还将包括其他节点（在墙壁的两端布设NFC节点），下文将详述。

拓扑模型中的边即对应从一个地方到另一个地方的室内路径，关于边的建立方法，下文将详述。

## CAD关键元素提取

为减小生成室内地图的成本，我们不是通过人工采集的方式获取室内空间数据而是通过开发一套工具的方式从CAD绘图中自动提取数据。原始的CAD绘图中可能包含线段、顶点和文本标签等信息，经过工具转换可得到诸如墙壁、门、电梯、楼梯等结构化特性，这些特性便构成一幅空间结构地图。

### 坐标系

空间信息地图中的点必须在某一个坐标系下进行表示，但是我们应该选择哪一种坐标系呢？

坐标系被定义为一个坐标表示法（如笛卡尔坐标、极坐标以及经纬度坐标）和一个参考框架（即原点）。比如，航空、陆上及水上运输使用的全球定位系统使用经纬度坐标，以本初子午线上的一个点作为参考点。当然，建筑物中某些位置可以使用经纬度坐标进行标记。但是，在这种情况下，当用户从户内移动到户外时，其对应的坐标表示看上去是不变的。 相比之下，以局部参考框架作为标准配置位置坐标则更为实际。另外，在参考框架处于移动状态的情况下局部参考框架也有可能是必要的，比如在一艘游轮上架设定位系统。在每个局部参考框架内部，我们仍然可以以经纬度的形式表示位置坐标。然而，对室内应用来说，笛卡尔坐标提供了比经纬度坐标更有意义的表示方法。比如，绝大多数应用程序编写者都能很容易地知道坐标分别是（1m,1m）和（1m,2m）的两个物体之间的距离为1m，但是在使用经纬度坐标系的情况下就没那么容易了（除非你是专业的制图师）。

基于以上分析，本文决定使用笛卡尔坐标系。

### 数据预处理

在解析CAD数据之前，用户必须指明被打开文件所对应楼层的基底信息以及最容易辨析的可视化图层。CAD的设计不可能完全没有错误，此外，从私人CAD文件格式到DXF文件格式的转换过程也可能引入错误，比如数字的不精确或者逻辑错误。考虑到这些，本文使用的提取算法[[39](#_ENREF_39)]采用允许误差的计算，而不是严格的代数运算。一个点被定义为一个二维向量。为了表示方便，将连接点和点的向量表示成。一条线被定义成一个有序的两个点的集合。

基于以上定义的两个类型，我们定义如下几个关系：

1）近似相等的点：两个点近似相等当且仅当它们之间的距离小于预先设定的一个值，即如公式（3.1）所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.1） |

2）近似相等的线：两条线近似相等当且仅当这两条线上的点近似相等（起点和终点可互换），即如公式（3.2）所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.2） |

3）点与线相邻：点p与线L相邻当且仅当L上一个点q近似等于p，即如公式（3.3）所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.3） |

4）两条线相邻：与相邻当且仅当的一个端点与相邻，即如公式（3.4）所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.4） |

5)两条线平行：与近似平行当且仅当与对应向量的点积近似等于二者长度的乘积，即如公式（3.5）所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.5） |

6）两条线正交：与近似正交当且仅当与对应向量的点积近似等于0,即如公式（3.6）所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.6） |

7)包含：包含当且仅当点和被覆盖，无需匹配点和，即如公式（3.7）所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.7） |

为减少冗余数据，下列步骤将自动作用于每一个需要进行元素提取的图层超集之上：

1）如果若干个图层同时包含需要在同一个提取例程里用到的数据，这些图层将被合并为一个超集；

2）近似相等的两条线，其中一条将被从超集中移除；

3）若包含且无其他线与相邻，将被从超集中移除；

4）相邻且平行的两条线，若没有其他相邻的线（即可以在不丢失信息的情况下看成一条线），将被拼接起来合成一条线，即如公式（3.8）所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.8） |

### 元素提取

#### 门的提取

在格式良好的CAD平面图中，墙壁在门槛的位置会有一段开口，并且对应的门会由一条线来表示。开门的路径通常会接触到墙壁，用以表示门关闭状态所处的位置，如图 3.3所示。对地图匹配来说，重要的是门槛部分。然而，实际上，图 3.3所示的门的表示只是一种理想情况。与之相比，图 3.4给出了来自CAD数据实际表示。



图 3.3 CAD中门的表示

在图 3.4中，有四个门，但是没有一个能够清晰地辨认门槛，其中两个门似乎朝着墙的里面打开。



图 3.4 CAD中门的更为实际的表示

进一步调查发现，门的打开路径有时候表示为一个圆弧，有时候则表示为一段可近似为圆弧的折线。考虑到这些因素，本文将焦点集中到门的打开路径的提取上，提取了门的打开路径便不难提取出门的相关信息。如果在识别了门的打开路径的情况下，又发现一条线，这条线通常表示门，若为两条线，则其中一条表示门，另一条表示门槛。

在暂不考虑门槛的情况下，本文采取以下步骤识别门：

1）查找连续的若干条线，这些线近似构成以门阶为半径的1/4圆；

2）将这些线转化为圆弧，圆弧由它对应的原点、圆弧的起点和圆弧的终点表示；

3）查找近似以门阶为半径的1/4圆的圆弧；

4）对上述过程查找到每个1/4圆的圆弧，搜索与圆弧原点相邻且与圆弧某一个端点相邻的线，每发现一条就将其保存为候选门槛。

5）考虑存在多个候选门槛的情况：对每一个候选门槛L，尝试查找一条表示墙的包含L的线，若查找成功，则将L标记为有效的候选门槛。若经过该操作没有有效的候选门槛或者有效候选门槛多余一个，则需要人为地进行标注。

经以上描述，可得出门的提取的伪代码，如图 3.5所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Algorithm** Door-Extraction  **for** all **do**  **//** skip the arcs that not fit  **if**  **then**  **continue;**  **end if**  **for** all **do**  // skip the line that not fit  **if**  **then**  **continue;**  **end if**    **if** **then**      **else if** **then**      **end if**  **end for**  **if** **then**    **else if** **then**  **for** all **do**  cand.setInvalid();  **for** all **do**  **if** **then**  cand.setValid();  **break;**  **end if**  **end for**  **if** !cand.isVaild() **then**  doorCandidates.remove(cand);  **end if**  **end for**  **if**  **then**    **end if**  **end if**  **end for**  treatInteractively(problems); |  |

图 3.5 门提取算法伪代码

对图 3.6所示的CAD图进行门的提取，其结果如图 3.7所示。



图 3.6 示例CAD图



图 3.7 示例CAD图的门的提取结果

对门的提取结果进行存储，其数据结构表示如图 3.8所示。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | DoorsArray |  | Door[0] | | Door[0] | ID: 0 | | Door[1] | Coord:(40, 0) | | … | Contained in wall:{(30, 0), (50, 0)} | | Door[9] | RoomID: |   图 3.8 门的数据结构 |

#### 房间的提取

相比门的提取过程来说，房间的提取过程则显得更为复杂，原因在于门在CAD文件的表示变种很多，可能是四边形、五边形甚至是更多条边组成的多边形，有些房间还存在共享边的情况。

为简单起见，本文仅考虑将封闭的或者近似封闭的线的序列看成房间候选者。房间候选者经过进一步去重、错误检测等操作筛选后得到最后的房间提取结果。整个房间提取算法流程如图 3.9所示。



图 3.9 房间提取算法流程图

为便于更深入地理解房间提取算法，现以图 3.10所示的一个例子进一步说明得出CandidateRooms的算法运行过程。



图 3.10 房间提取算法得出CandidateRooms的过程示例

值得注意的是，得出CandidateRooms的过程可能引入一些错误从而导致CandidateRooms集合中存在无效的房间，比如一个原本表示一根比较大的房屋支柱的多边形可能被检测为房间。因此，我们按照以下规则对CandidateRooms作进一步的验证筛选：

1）删除所有面积小于指定值（通常为1至2）的多边形；

2）删除所有没有包含用于指示门所在边的多边形；

3）删除所有包含于其他更大的多边形的多边形。

对图 3.6所示的CAD图进行房间的提取，其结果如图 3.11所示。



图 3.11 示例CAD图的房间的提取结果

对房间的提取结果进行存储，其数据结构表示如图 3.12所示。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | RoomsArray |  | Room[0] |  | wallLineArray | | Room[0] | ID: 0 | Wall[0] | | Room[1] | RoomName:Room101 | Wall[1] | | … | WallLineNum:4 | Wall[2] | | Room[9] | WallLineArray: wallLineArray | Wall[3] | |

图 3.12 房间的数据结构

#### 楼梯和电梯的提取

直线楼梯通常表示为被若干条相等长度的平行线划分的矩形，有时也会额外地标记一个箭头以表示楼梯的方向。曲尺楼梯或者盘梯则表示为被等分的弧线（如图 3.13所示）。通过检测分隔线的边界的形状，楼梯的轮廓就能被检测出来。电梯通常被画在楼梯的同一图层，看上去是一个带条纹的或者交叉线的盒子。如果在一个楼层的CAD图中检测到电梯或者楼梯，那么在该楼层的相邻两层的对应位置都应有电梯或者楼梯，这些区域应该作为相邻两层楼的出入口。



图 3.13 不同类型的楼梯和电梯

对图 3.6所示的CAD图进行楼梯和电梯的提取，其结果如图 3.14所示。



图 3.14 示例CAD图的楼梯和电梯的提取结果

对楼梯和电梯的提取结果进行存储，其数据结构表示如图 3.15所示。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | StairElevatorArray |  | StairElevator [0] | | StairElevator[0] | ID: 0 | | StairElevator[1] | Coord：(15, 20) | | … | Outline[0]:{(14, 20),(16 20)} | |  | Outline[1]:{(16 20), (16, 23)} | |  | Outline[2]:{(16, 23), (14, 23)} | |  | Outline[3]:{(14, 23), (14, 20)} | |

图 3.15 楼梯和电梯的数据结构

#### 总的提取结果

按照数据预处理—提取门—提取房间—提取楼梯和电梯的处理过程，对图 3.6所示的CAD图进行相关元素的提取后，得到如所示总的提取结果。



图 3.16 示例CAD图总的提取结果

## 基于盲人空间认知的室内地图建模

### 盲人的空间认知

文献[[40](#_ENREF_40)]中对盲人所认知的空间进行了调查，并做了一系列实验，发现盲人偏爱直角和狭窄的道路。

首先，一个很普遍的现象是盲童对大型建筑物内的走廊或者带有明显边缘的走道比较熟悉，并且在空间还原的实验中也能将其非常准确的表现出来。而相反的是，室外的较为宽阔的道路则明显受到了冷落，这一点也在对很多盲童的采访中得到了证实。关于这个问题得到的较为普遍的回答是因为他们室外觉得室外的道路比较“松散”。实际上这个“松散”的意思是室外道路的宽阔反而使得盲童们在行进的过程中容易迷失方向，无法抓住正确的路线。对此，他们解释到室外的道路缺少一定的限制设施来提醒盲人正确的方向。此外，室外的道路有很多不规律的岔口，使得他们在面临众多选择时容易不知所措。据此，盲童所说的“松散”的更为具体的解释应当为“容易产生迷失感”。

其次，转弯也是困扰盲人的较为常见的一个问题。通过同盲童们的交谈，也可以发现他们对这个问题的担忧。转弯的困扰主要表现在所转角度的量的问题上。由于视觉上的缺陷，盲人无法通过观察转弯的具体情况来判断转弯的准确性。所以在行进过程中遇到转弯（特别对于室外环境）的时候，也会出现盲人因为转弯角度太大或者太小而走到路边上的情况。相对于室外的这种环境，室内或者带有明显边缘的路则更容易行走，因为这些地方的转弯往往以规律的直角为主，这给盲人带来了转弯的明确性和一定区域内的一致性，而这二者都能使盲人更容易地行进。

提到空间认知，绘制地图无疑为该方面的研究提供了一种很好的方式。文献[[40](#_ENREF_40)]做了一个让盲人绘制地图的实验。

在该实验中，浙江省盲校中学部的三名学生在课余时间绘制了他们学校的平面图。地图的绘制工作是利用平时作业用的约A4大小的牛皮纸盒和打制盲点用的盲字板完成的。三名学生所绘制的地图如图 3.17所示。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | (a) | (b) | (c) |   图 3.17 浙江省盲校中学生绘制的地图 |

为便于说明，对以上中学生所绘制的地图做矢量转换，得到图 3.18。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | (a) | (b) | (c) |   图 3.18 浙江省盲校中学生绘制的地图对应的矢量说明图 |

对比图 3.19所示的浙江省盲校的平面图，不难发现，盲人无法定位他们想表达的角度，因此基本上都用直角来替代了。



图 3.19 根据卫星图绘制的盲校平面图

### 节点标注

根据如图 3.16所示的总的提取结果，对CAD图进行节点标注。

**1）从目的地的角度考虑**

选择门和楼梯的出入口作为进行标注，标注结果如图 3.21中大红点所示。在误差允许的情况下，标注节点坐标等价于门或者楼梯、电梯出入口的中心。

**2）从习惯沿着墙走的角度考虑**

考虑以下四种情况：

A.从一个门经该门对应房间的一个顶点直达另一个门，如图 3.20中（a）所示；

B.从一个门经目的地对应房间的顶点到达目的地，如图 3.20中（b）所示；

C.从一个门经该门所在房间的顶点，再经目的地对应房间的顶点到达目的地，如图 3.20中（c）所示；

D.从一个门经墙壁的顶点到达目的地，如图 3.20中（d）所示。

|  |  |
| --- | --- |
| （a） | （b） |
| （c） | （d） |

图 3.20 经墙壁的顶点到达另一个节点的四种情况

从上述四种情况可以看出，墙壁的顶点在视力残疾人用户出行中的重要性。为进一步降低视力残疾人出行的难度，在房间、墙壁、电梯的角上也布设辅助节点，如图 3.21中小红点所示（为简洁考虑，图中只显示了部分辅助节点）。



图 3.21 CAD图节点标注结果

为方便说明需要的NFC标签数，将楼梯和电梯看成由四堵墙围成的“房间”，记每层的房间数（包括楼梯和电梯）为N，每个房间平均可达的墙壁数为k，外墙内侧可达的顶点数为M，楼层数为f（假设大楼每层的结构布局相同），大楼入口数为E，则部署NFC标签网络所需的NFC标签数T约可表示为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（3.9） |

例如，一座大楼每层的结构如图 3.6所示，共有三层，则根据公式（3.9）部署NFC标签网络共需NFC标签约 个。

### 链接建立

为了下文描述的方便，现定义几个相关概念，包括两节点可直达、链接沿墙长度、链接自由长度。

**1）两节点可直达（Vertex Direct to Vertex）**

对任意两个节点、，可直达当且仅当不存在任何表示墙的线段与线段相交，其中、分别为节点、的等价坐标。可直达等价于可直达。

**2）链接沿墙长度（The Length of the Path that’s along with Wall）**

链接沿墙长度是指从一个节点到另一个节点的路径中沿着的墙的那部分的长度。

**3）链接自由长度（The Free Length of the Path）**

链接自由长度是指从一个节点到另一个节点的路径中路径两侧没有墙的那部分的长度。

对于任意两个节点、，按如下规则建立节点、之间的链接：

**1）从偏爱直线的角度考虑**

若可直达（如图 3.22所示），则在节点、之间增加一条链接，并以如图 3.23所示的数据结构对链接加以说明。



图 3.22 节点可直达的几种典型情况

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Struct DirectLink {  Point point1；// 链接顶点1坐标  Point point2；// 链接顶点2坐标  Double totalLength；// 链接总长度  Double alongWallLength； // 链接沿墙长度  Double freeLength；// 链接自由长度  } |   图 3.23 可直达节点的链接的数据结构 |

**2）从偏爱直角的角度考虑**

如图 3.24所示，给出了可能出现直角链接的三种情况，图里给出了目的地节点的情况，对于辅助节点，情况也是类似的。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  |  |   图 3.24 可能出现直角链接的三种典型情况 |

这三种情况都能“保证”直角链接，这里的“保证”是指从目标节点向起始节点所在的墙壁作垂线，垂足都落在了对应的上。为保证盲人确实能到达垂足所对应的位置，可在该位置布置辅助节点。符合这三种情况时，在节点和之间增加一条链接，该链接需记录起始节点、目标节点、垂足、链接总长度、链接沿墙长度、链接自由长度等信息，数据结构如图 3.25所示。

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Struct IndirectLink {  Point point1；// 链接顶点1坐标  Point point2；// 链接顶点2坐标  Point middlePoint；// 中间节点坐标  Double totalLength；// 链接总长度  Double alongWallLength； // 链接沿墙长度  Double freeLength；// 链接自由长度  } |   图 3.25 非可直达节点的链接的数据结构 |

按照上述规则建立链接后，节点之间可能存在冗余链接（如图 3.26所示），从节点到存在经过节点V的链接，而这条链接是多余的，为减小计算量，将这样的链接删除。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

图 3.26 存在冗余链接的三种情况

### 节点间可达性验证

为验证上述链接建立规则的可行性，现对如图 3.21所示的被标注节点间的可达性进行验证，验证结果为图中标注的节点间两两可达，表 3.1对从到其他所有节点的可达性作了说明，表中所给出的路径并不一定为最优路径。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 3.1 节点到其他所有节点的可达性说明   |  |  | | --- | --- | | 目标节点 | 路径说明 | |  | 可经节点后直达 | |  | 可经房间102的墙壁到达 | |  | 可直达 | |  | 可经节点、后直达 | |  | 可经节点后，再沿房间105的墙壁到达 | |  | 可直达 | |  | 可直达 | |  | 可经节点、、后，再经房间104的墙壁到达 | |  | 可经节点、后直达 | |  | 可经节点、后直达 | |  | 可经节点后，再经房间106的墙壁到达 | |  | 可经节点后直达 | |

## 拓扑模型展示

经过上述讨论，可得出如图 3.27所示的拓扑模型（为简单起见，图中仅显示了部分节点、部分链接）。与图 3.28所示的使用三角剖分[[21](#_ENREF_21)]提取的路径相比，拓扑模型中的路径更适合视力残疾人。



图 3.27 拓扑模型



图 3.28 使用三角剖分提取的路径

## 本章小结

本章提出了一种面向视力残疾人的基于CAD图的室内地图构建方案，方案主要包括两个方面。一方面，分析了以CAD图为基础构建室内地图的可能性，而后介绍了从CAD图中提取门、房间、楼梯和电梯等关键元素的算法，以一个CAD图为例，给出了各类元素的提取结果，根据该结果进行地图中目的地节点布设；另一方面，分析了盲人的空间认知，了解到盲人偏爱直角、直线，习惯沿着墙行走，结合这点发现增加了辅助节点的布设，提出了一种基于盲人空间认知的室内地图构建方法，并验证了这种建模方法的可行性。

# 基于综合权值的最优路径计算

一般情况下，从一个地方开车前往另一个地方，我们考虑的不仅仅的是路程最短的问题，也就是我们最终选择的不一定是最短路径，而是综合考虑了道路的路面质量、车道宽度、纵向坡度、交通状况以及道路的服务水平等多个因素，有时心理因素也是要考虑的因素之一[[41](#_ENREF_41)]。

同样地，对视力残疾人来说，当他们在室内行走时，从一个地方到另一个地方的最短路径并不一定是最佳选择，而在综合考虑了路径的长短、路径的方便性等多个因素后选择的路径才是最优路径。而路径的方便性等因素是模糊的，难以定量、准确地描述的，于是，如何综合考虑多种模糊因素的影响并确定每个影响因素的大小就成为了进行最佳路径选择时需要解决的一个关键问题。

本章通过对影响视力残疾人选择路径的各种因素的分析，确定了影响室内路径权值的六个因素，并使用层次分析法进一步确定了各影响要素的权重。最后，得出计算路径综合权值的公式。

## 影响视力残疾人室内出行的主要因素

在路径规划算法中，搜寻最优路径的算法往往是以路径的加权和最优为原则的，因此，对路径规划算法来说，确定道路的权值是至关重要的。从前文对最优路径的讨论中，我们不难发现，单处地把路径的长短作为衡量路径优劣的标准是不能满足导航的需求的，我们必须把影响出行的各个主要因素都考虑进来。在一个复杂的大型建筑物内，路径的权值代表了其可选择、方便通行能力的高低，是一个综合了路径长度、路径相关特点（如是否沿墙）、路径方向变化（主要指路径中的转弯数）等多方面因素的综合指标。下文归纳了对视力残疾人来说，影响路径权值的六个主要因素，并通过调查问卷的方式对各影响因素作了评估。

本文委托中国盲文出版社对视力残疾人进行了问卷调查（调查问卷见附录），共收回问卷1500份，其中有效问卷1387份。从问卷中分析出，视力残疾人对这六个因素的综合评价排序结果为链接中的楼梯数、链接自由距离、链接中的电梯数、链接中的非直角弯数、链接沿墙距离、链接中的直角弯数。

### 链接沿墙距离

在上文关于室内地图构建的讨论中，我们采用了二维笛卡尔坐标系，并清楚地记录了每条路段对应的坐标，因此我们可以通过欧式距离公式，即公式（4.1）

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（4.1） |

计算出每条路段的长度。在路径权重的众多影响因素中，路径长度是非常重要的一个，对明眼人来说，几乎不用考虑其他因素，在这样的情况下，路径的权值就是由路径的长度来决定的。而对视力残疾人来说，这一因素也同样重要，特别地，这一群体偏爱有明显边缘的道路，作为决定路径长短的一部分，链接沿墙距离自然是影响视力残疾人室内出行的主要因素之一。

### 链接自由距离

链接自由距离是决定路径长短的另一个重要部分，可将其对应到普通的道路。视力残疾人在室内行走时不可避免地需要经过这种道路，这里将其作为这一群体影响室内主要因素之一。和链接沿墙距离相同，链接自由距离也可以通过二维欧式距离公式对其进行量化。

### 链接中的直角弯数

对视力残疾人来说，确定转弯的角度是一件比较难的事，而对90度这个特殊的角度，他们则是非常的熟悉，从对几个盲童所画地图的分析及与他们的交谈中，我们不难发现这一点。很多针对盲人做的行走训练中也包括了垂直定位这一项，可见直角对盲人的重要性。

链接中的直角弯数其实是用来衡量路径中方向变化的特点，相对来说比较抽象，一般都是进行定性的描述，而要在路径权值中使用它的话，就需要对其进行量化处理，引入[0, 1]之间的直角弯系数，使之可以在路径取值中表现出来。通过对视力残疾人进行调查（调查问卷见附录），得出链接中的直角弯数目与直角弯系数的对应关系，如表 4.1所示。

表 4.1 直角弯数目与直角弯系数之间的对应关系

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 直角弯数目 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | >4 |
| 直角弯系数 | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 |

### 链接中的非直角弯数

和链接中的直角弯数这一影响因素类似，链接中的非直角弯数也反应了导航路径中的方向变化。这里采用与链接中的直角弯数类似的处理方式，引入[0, 1]之间的非直角弯系数，通过对视力残疾人进行调查得出非直角弯和非直角弯系数的对应关系，如表 4.2所示。

表 4.2 非直角弯数与非直角弯系数之间的对应关系

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 非直角弯数目 | 0 | 1 | 2 | 3 | >3 |
| 非直角弯系数 | 0 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1 |

### 链接中的楼梯数

楼梯是建筑物中作为楼层间垂直交通用的构件。用于楼层之间和高差较大时的交通联系。在设有电梯、自动梯作为主要垂直交通手段的多层和高层建筑中也要设置楼梯。高层建筑尽管采用电梯作为主要垂直交通工具，但仍然要保留楼梯供火灾时逃生之用。可见楼梯在大型建筑中的作用。另外，对于楼梯的设计，《城市道路和建筑物无障碍设计规范》[[42](#_ENREF_42)]中也给出了明确的无障碍要求，这样对于视力残疾人来说，楼梯也成为了他们室内出行的重要选择之一。

相比平地来说，楼梯对视力残疾人的出行形成了一定程度的障碍。这里将其作为影响最优路径选择的一个因素加以考虑。这里说的楼梯数是指用户通过楼梯经过的楼层数，如从一层经楼梯到达二层，则楼梯数为1。同样地，引入[0, 1]之间的楼梯系数，通过对视力残疾人的调查得出链接中的楼梯数与楼梯系数之间的对应关系，如表 4.3所示。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 4.3 楼梯数与楼梯系数之间的对应关系   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 楼梯数 | 0 | 1 | 2 | 3 | >3 | | 楼梯系数 | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | |

### 链接中的电梯数

电梯（这里主要指垂直升降电梯）是大型高层建筑的主要垂直交通工具，国家规定无论是住宅楼还是办公楼，七层及七层以上的建筑必须安装电梯。同样的，《城市道路和建筑物无障碍设计规范》[[42](#_ENREF_42)]对电梯的无障碍设计也提出了明确要求。

尽管对电梯的障碍设计要求被提出，但是现在有盲文的电梯如凤毛麟角，在这种情况下，我们将电梯也作为影响最优路径选择的因素加以考虑。这里的电梯数是指用户通过换乘电梯的次数。同样地，引入[0, 1]之间的电梯系数，通过对视力残疾人的调查并结合建筑中电梯的实际安装情况，得出链接中的电梯数与电梯系数之间的对应关系，如表 4.4所示。

表 4.4 电梯数与电梯系数之间的对应关系

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 电梯数 | 0 | 1 | >1 |
| 电梯系数 | 0 | 0.5 | 1 |

## 各因素的无量纲化处理

以上讨论的各项影响因素度量单位不一致，想要在路径规划中使用它们必须对这些不同因素不同量纲的数据进行整合，对它们进行无量纲化处理[[33](#_ENREF_33)]。

对不同量纲的数据进行无量纲化处理，就是通过某种变换将所有的属性数据映射到一个固定的区间，一般将其定为[0, 1]。这里的[0, 1]区间是为了简单而设的，其实这个固定的区间可以是任意的，重要的是要将所有的属性值都映射到这个区间上。

对于任一属性，假设它的取值范围为，无量纲化值为，则可通过公式（4.2）进行计算。该公式使用线性变换的方式对属性数据进行处理，其实可以使用其他的变换方式，如二次变换，但是考虑到二次变换的映射函数具有不唯一性，且计算相对复杂一些。为简化问题，这里选用了线性变换的方式。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（4.2） |

## 基于层次分析法的路径权值的确定

最佳路径的选取实际上是一个多目标决策问题，以往的一些研究[[43](#_ENREF_43),[44](#_ENREF_44)]没有做到全面分析问题，只注重在单个因素影响下的最优路径，这使得最后并不能得出最优结果。有些路径权值确定方法则综合了多种影响因素，但在确定影响因素的权重时常用专家评估的方法，这种方法带有很大的主观性和随意性，有时则会偏离客观实际，致使结果缺乏真实性。

本文采用层次分析法，在对影响最优路径的几个重要因素深入分析的基础上，构建路径层次模型，确定各个因素的权系数，最后综合各影响因素的权系数得出路径的综合权值。这种方法将定量分析与定性分析结合，利用严密的数学理论，能够去除主观性和随意性，使影响因素的权值更符合客观实际，并且依据判断矩阵的一致性来检验权值的合理性，使结论更准确可靠。

### 层次分析法

#### 相关定义和定理

为便于下文叙述，先给出几个相关概念和定理的介绍。

**定义1 正互反矩阵**

若矩阵满足：

1）;

2）。

则把称为正互反矩阵。

**定义2 一致矩阵**

如果正互反矩阵A中的元素满足式（4.1）

|  |  |
| --- | --- |
|  | 式（4.1） |

则称矩阵A为一致矩阵。

**定理1**

如果矩阵A为正互反矩阵，则它的最大特征值必定为正实数，且对应特征向量的所有分量均是正实数，且其余特征值的模均严格小于。

**定理2**

若矩阵A为一致矩阵，则有：

1）A必定为正互反矩阵；

2）A的转置矩阵也为一致矩阵；

3）A的任意两行、任意两列成比例，且比例因子大于0，所以；

4）A的最大特征值，其中*n*为矩阵A的阶。A的其他特征值均等于0；

5）若A的最大特征值对应的特征向量为，则，即有式（4.2）：

|  |  |
| --- | --- |
|  | 式（4.2） |

**定理3**

*n*阶正互反矩阵*A*为一致矩阵当且仅当其最大特征值，且当正互反矩阵*A*非一致时，必有。

#### 层次分析法的步骤

在日常生活中，人们常常会碰到一些由多个因素构成的复杂系统，而且这些因素之间又相互关联、相互制约，更重要的是这些因素很多是定性的，不具有定量数据。没有定量数据，对这些系统进行分析就显得非常困难。层次分析法的诞生就是为了解决这些问题。

使用层次分析法来分析问题有固定的步骤进行建模、分析。以下对这些步骤进行详细介绍和说明。

**1）建立递阶层次结构**

这一步的关键在于要分解所需分析的问题，进而构建一个层次模型。一般来说，要使用层次分析法解决的问题都是比较复杂的，因此，在分析这些复杂的问题之前，首先要做的是把它们进行分解，得到若干个元素，并使其层次化。也就是说要把分解后的各个元素按它们之间的相互关系分成若干层次。

根据层次分析法的思想，问题的层次结构可分为三层，分别是最高层、中间层和最底层。最高层对中间层、中间层对最底层分别有支配作用。最高层为目标层，在这一层中，只有一个元素，即通过分析问题希望达到的结果或者目标。中间层有时也成为准则层，在这一层中，还可以包含若干个层次以表示分析问题时的准则。可以将中间层看成是为了达到目标所必须经过的中间环节。最底层又称为措施层或方案层，其中包括了为达到目标而使用的各种措施。

在层次分析法中，一个问题可以分成的层数是没有限制的，主要受其复杂程度等因素的影响。通常问题越复杂，分的层数越多，同样地问题需要分析得越详细，分的层数也要越多。不过，为了方便计算，层次分析法通常要求每个元素的影响因素不要超过9个。

**2）构建判断矩阵**

准则层中通常包含多个准则，而且这些准则对所期望达到的目标所起的作用是不同的。怎样对这些准则进行量化不是一件容易的事。除此以外，当多个影响因素进行比较的时候，常常会出现自相矛盾、顾此失彼的情况，原因在于影响因素太多而导致决策者考虑不周全。为进一步说明这一情况，以下给出一个例子。将一条长度为500米的绳子分割成n段，通过对这n段绳子的单独测量，我们很容易知道每一段的精确长度。但是如果在不知道每一段长度的情况下让你估计每一段占原来绳子长度的比例，那么估计你是很难给出这些精确的比值的，而且很可能发生的是你最后给出了一组自相矛盾的比值数据。

假设现有某元素E，它有n个影响因素，记为。现在的问题是怎样估计每个因素对E的影响。层次分析法中使用比较矩阵的方法来表示各个因素产生影响的大小，即对n个影响因素进行两两比较。设任意两个影响因素和，它们对E的影响的比值为，则与对E的影响的比值为。将所有比较结果构成的矩阵记为。相关实验结果表明的值用1~9标度来表示是合适的。表 4.5列出了1~9标度的含义。

表 4.5 层次分析法中1~9标度

|  |  |
| --- | --- |
| 标度 | 含义 |
| 1 | 表示两个因素相比，具有相同的重要性 |
| 3 | 表示两个因素相比，前者比后者稍显重要 |
| 5 | 表示两个因素相比，前者比后者明显重要 |
| 7 | 表示两个因素相比，前者比后者强烈重要 |
| 9 | 表示两个因素相比，前者比后者极端重要 |
| 2,4,6,8 | 表示上述相邻判断的中间值 |
| 倒数 | 若因素*i*与因素*j*的重要之比为，则*j*与*i*重要性之比为。 |

**3）层次单排序及一致性检验**

层次单排序就是对判断矩阵A的特征向量W作归一化处理，其作用在于对因素的重要性进行排序。如果在计算过程中发现矩阵A不一致的话，则说明该矩阵的构造是错误的。在使用层次分析法分析问题时，可以使用上述定理3来判断矩阵A是否为一致矩阵。如果等于*n*的话，则A为一致矩阵，反之则不是。因此，只有对判断矩阵作一致性检验，才能说明判断矩阵的构造是正确的。

可通过下述公式（3.1）和公式（4.4）计算CR的值来判断矩阵A是否通过一致性检验。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（4.3） |
|  | 公式（4.4） |

公式（3.1）中的*RI*即随机一致性指标，可通过查表得到，表 4.6列出了对，时的*RI*值。这些数据是使用随机构造500个样本矩阵的方法得到的。

表 4.6 RI值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| *RI* | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

当时，表示所构造的判断矩阵通过了一致性检验。否则，必须重新构造判断矩阵。

**4）层次总排序及一致性检验**

经过层次单排序可以得出某个元素的诸多影响因素对该元素的影响大小关系。但是要达到最终目标，必须要知道各个元素在目标结果中的权重大小。因此，必须进行层次总排序对单排序得到的结果进行合并。同单排序一样，可使用相同的方法来检验层次总排序的一致性。这次的一致性检验是对各个层次的一致性作最终检验，从而防止其他层次中的非一致性的累积，保证最终分析结果的合理性。

假设问题被分成了两个层次，分别为A层和B层，其中A层为B层的上一层次，A层中共包含m个元素，分别记为，对应的层次总排序权重分别为，B层中共包含n个元素，分别记为，各个元素在关于的层次单排序中的权重分别为，并且当与无关时，。假设对应的层次总排序的权重分别为，则可按公式（4.5）对它们进行计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（4.5） |

设B层中与对应的单排序一致性指标为，相应的平均随机一致性指标为，则可通过公式（4.6）得到B层的总排序一致性指标：

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（4.6） |

同理，当时，表示层次总排序通过了一致性检验，最终分析结果比较合理，应当予以接受。

### 层次分析法模型的确定

#### 确定指标

上文已详细讨论了影响视力残疾人进行路径选择时的6个影响因素。在实际情况中，路径导航系统的用户通常会要求系统根据设置的起点和终点的位置，综合考虑距离、时间、费用等因素给出一条最优路径。因此，本文针对视力残疾人的特殊需求，综合考虑距离、时间、出行不方便性等因素，即将这三者定为一级指标，把路径权值的六个主要影响因素（链接沿墙距离、链接自由距离、链接中的直角弯数、链接中的非直角弯数、链接中的楼梯数、链接中的电梯数）定为二级指标。

路径综合权值W为最高层，即目标层，中间层A=（距离，时间，出行不方便性），最底层B=（链接沿墙距离，链接自由距离，链接中的直角弯数，链接中的非直角弯数，链接中的楼梯数，链接中的电梯数）。

#### 建立加权层次结构模型

根据上文对各种影响路径权值的因素的讨论，构建如图 4.1所示的加权层次结构体系图。



图 4.1 路径权值指标体系图

#### 构建判断矩阵

依据如图 4.1所示的路径权值指标体系图，构建A、B两个层次的判断矩阵。判断矩阵的值是根据对视力残疾人用户的调查结果（调查问卷见附录），通过采用上文提出的两两比较并结合1~9标度的方法而设置的。

首先对路径的总加权目标W构造判断矩阵并计算权重（如表 4.7所示）。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 4.7 判断矩阵*W-A*及相关权重   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | W |  |  |  | 权重 | |  | 1 | 2 | 1/6 | 0.1435 | |  | 1/2 | 1 | 1/9 | 0.0790 | |  | 6 | 9 | 1 | 0.7775 | |

计算权重的方法有和法、根法、特征根法等，本文选用和法进行计算。如对W-A判断矩阵的权重计算如下：

同理可得，

同理构造判断矩阵（表 4.8）、（表 4.9）、（表 4.10）并计算权值。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 4.8 判断矩阵及相关权重   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  |  | 权重 | |  | 1 | 1/2 | 6 | 5 | 3 | 8 | 0.2774 | |  | 2 | 1 | 9 | 9 | 6 | 9 | 0.4751 | |  | 1/6 | 1/9 | 1 | 1 | 1/2 | 2 | 0.0543 | |  | 1/5 | 1/9 | 1 | 1 | 1/2 | 3 | 0.0622 | |  | 1/3 | 1/6 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0.0976 | |  | 1/8 | 1/9 | 1/2 | 1/3 | 1/3 | 1 | 0.0333 | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 4.9 判断矩阵及相关权重   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  | 权重 | |  | 1 | 1/2 | 1/5 | 0.1222 | |  | 2 | 1 | 1/3 | 0.2299 | |  | 5 | 3 | 1 | 0.6479 | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 4.10 判断矩阵及相关权重   |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  |  |  |  |  |  |  | 权重 | |  | 1 | 1/5 | 1 | 1/6 | 1/9 | 1/8 | 0.0334 | |  | 5 | 1 | 5 | 1 | 1/2 | 1/2 | 0.1625 | |  | 1 | 1/5 | 1 | 1/6 | 1/6 | 1/5 | 0.0398 | |  | 6 | 1 | 6 | 1 | 1/3 | 1/2 | 0.1643 | |  | 9 | 2 | 6 | 3 | 1 | 2 | 0.3528 | |  | 8 | 2 | 5 | 2 | 1/2 | 1 | 0.2472 | |

#### 层次单排序和一致性检验

对*W-A*进行一致性检验：

由，得：

由表 4.6可知，，代入得

所以，判断矩阵*W-A*通过一致性检验。

以下分别对判断矩阵、和进行一致性检验。

对判断矩阵：

对判断矩阵：

对判断矩阵：

所以判断矩阵、和都符合一致性原理。

#### 计算组合权值及一致性检验

上文求得了各个影响因素相对于上层指标因素的权重。以上层元素的权重为权数，计算对应本层各个因素的加权和，得出的结果即为该层因素的组合权重。经计算，各因素的组合权重及层次总排序如表 4.11所示。层次总排序结果与调查问卷分析结果一致。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 表 4.11 各因素组合权重及总排序   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 因素 |  |  |  | 组合权重 | 总排序 | |  | 0.2774 | 0.1222 | 0.0334 | 0.0754 | 5 | |  | 0.4751 | 0.2299 | 0.1625 | 0.2126 | 2 | |  | 0.0543 | 0 | 0.0398 | 0.0388 | 6 | |  | 0.0622 | 0 | 0.1643 | 0.1367 | 4 | |  | 0.0976 | 0.6479 | 0.3528 | 0.3395 | 1 | |  | 0.0333 | 0 | 0.2472 | 0.1970 | 3 | |

做总排序的一致性检验：

所以总排序的一致性检验通过。

#### 路径综合权值的计算

经过以上的讨论，路径综合权值的各个影响因素的组合权值及总排序结果均已通过计算得出。假设影响路径综合权值的各影响因素经无量纲转化后的值分别为，则可按公式（4.7）计算路径的综合权值。

|  |  |
| --- | --- |
|  | 公式（4.7） |

## 最优路径计算

分别以公式（4.7）计算出的路径综合权值和路径长度这一单一因素作为拓扑图中边的权值，在如图 3.6所示的CAD图上运行Dijkstra算法得出的从入口到房间107的最优路径如图 4.2所示。



图 4.2 最优路径对比1

假设图 3.6对应的建筑的1层、2层和3层布局相同，则从入口到房间307的最优路径如图 4.3所示。



图 4.3 最优路径对比2

## 本章小结

本章说明讨论了影响视力残疾人室内出行的六个主要因素：链接沿墙距离、链接自由距离、链接中的直角弯数、链接中的非直角弯数、链接中的楼梯数、链接中的电梯数，接着说明了对这些因素的无量纲化处理。最后，详细介绍了层次分析法，并使用该方法确定了上述六个因素在路径综合权值中的权重，给出了路径综合权值的计算公式，对比了使用综合权值和距离单一权值计算得出的最优路径。

# 基于NFC的室内导航系统的实现

第三章和第四章已经详细介绍了本系统在实现过程中遇到的难点问题以及针对这些问题最终使用的技术。本章将在此基础上给出整个室内导航系统的实现方式，主要从系统的整体架构、服务器端实现、客户端实现等三个方面进行阐述，最后对本系统的运行效果进行展示。

## 室内导航系统架构

本系统的主要功能是利用Android手机的NFC功能为视力残疾人提供室内导航服务，系统的总体架构如图 5.1所示。



图 5.1 室内导航系统架构图

从图 5.1中可以看出整个导航系统分为导航服务器和Android客户端两个部分，其中导航服务器主要负责处理CAD建筑平面图数据、构建NFC标签网络、计算最优路径等工作，Android客户端则从NFC标签读取数据，并将该数据会同用户的目的地名称等信息通过Wi-Fi一起发送给导航服务器。

## 导航服务器实现

### 导航服务器架构

在整个室内导航系统中，导航服务器模块主要提供了CAD建筑平面图数据处理、构建室内地图和计算最优路径等功能。从设计模式[[45](#_ENREF_45)]的角度考虑，服务器模块的设计要注重可扩展性。一是对客户端提供的服务具有可扩展性。目前，导航服务器仅提供基础的导航服务，实际上，这项服务往往不能满足用户的需求，在后续的扩展中可加入其它基于位置的服务，如周边信息搜索等。二是对室内地图信息的更新提供可扩展性。允许其它系统接入该系统更新室内地图信息，如在大型商场内允许商家将商品信息链接到室内地图上。考虑到以上两点，导航服务器模块架构可按图 5.2所示设计。



图 5.2 室内导航服务器架构

### 导航请求处理

#### 导航请求处理流程

为实现服务器的可扩展性，每次客户端的网络请求都会指明请求类型。对于导航请求，服务器的具体处理流程如图 5.3所示。



图 5.3 服务器的导航处理流程图

#### 消息通信格式

考虑到XML用于数据交换的可扩展性，本系统采用XML作为服务器和客户端之间的通信格式。由于本系统仅为用户提供了基础的导航服务，这里仅介绍客户端向服务器请求导航服务时，两者之间的数据通信格式。客户端发送给服务器的服务请求格式如图 5.4所示。

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | <?xml version=”1.0” encoding=”UTF-8”?>  <Message>  <MessageType>Navigation</MessageType>  <Parameters>  <!--当前所在位置的NFC标签ID -->  <StartPoint>1</StartPoint>  <Destination>  <!--目的地为303房间-->  <RoomNumber>303</RoomNumber>  </Destination>  </Parameters>  </Message> |   图 5.4 客户端向服务器发送导航请求的数据格式 |

为简单起见，这里仅使用房间号作为目的地的索引，如需进一步完善系统，可将目的地其他相关信息关联到NFC标签，如对应房间的办公人员、负责人等。

在分析出用户的请求类型后，服务器对请求作相应的处理，如当服务器解析XML信息得到消息类型为“Navigation”时，服务器立即将相关参数传递给最优路径计算模块，该模块将计算结果以如图 5.5所示格式返回给客户端。

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | <?xml version=”1.0” encoding=”UTF-8”?>  <Message>  <MessageType>NavigationResult</MessageType>  <Parameters>  <Segments>  <Segment>  <!—路段起点坐标-->  <Start><x>10.0</x><y>10.0</y></Start>  <!—路段终点坐标-->  <End><x>10.0</x><y>20.0</y></End>  <!—路段是否沿墙-->  <AlongWithWall>yes</AlongWithWall>  </Segment>  <!—导航结果一般由多条路段构成-->  …  </Segments>  </Parameters>  </Message> |   图 5.5 服务器向客户端发送导航结果的数据格式 |

## Android客户端实现

### 客户端架构

本系统的客户端采用Java语言编写，在Android平台上开发，具体的客户端架构如图 5.6所示。



图 5.6 导航客户端架构

其中，上层UI模块控制除电子罗盘外的所有模块；网络请求模块负责统一发送客户端的所有网络请求，并对得到的最优路径信息进行缓存以避免重复请求网络造成流量的浪费；NFC标签读取模块实现读取NFC节点的信息，并与语音提示模块通信以告知用户当前位置信息；目的地信息设置模块保存用户输入的目的地相关信息，避免用户重复输入；语音提示模块除了负责告知用户当前位置信息外，还用于提示从网络请求模块返回的所有导航信息，包括转弯的角度、前方路径是否沿墙、前方节点是否是电梯等；电子罗盘模块帮助用户在行进的过程中确定行进方向的变化。

### 客户端状态转换

客户端实现可分为两大部分：一是导航的初始化部分，包括客户端与服务器约定导航系统使用的坐标系、用户输入目的地并发送导航请求、客户端接收经服务器计算返回的最优路径等过程；二是客户端通过语音提示指导用户到达目的地。整个客户端的状态转换如图 5.7所示。



图 5.7 导航客户端状态转换图

## 室内导航系统部署以及效果展示

### 系统参数

本系统的服务器、客户端及所处的网络环境等相关参数如表 5.1所示。

表 5.1 系统参数

|  |  |
| --- | --- |
| 服务器 | OS：Windows 8  CPU：Pentium(R) Dual-Core T4200@2.00GHz  RAM：3G |
| 客户端Galaxy S3 | OS：Android 4.1.1  CPU：三星 Exynos 4412 1.4GHz  RAM：1G  TalkBack：Version 3.1.1\_r68 |
| 网络环境 | ZJUWLAN |

### 系统部署

为了进一步验证该系统的可用性，在曹光彪主楼（下称曹楼）进行了NFC节点网络的布设，根据前文的讨论，在曹楼的东门门框上、楼梯的出入口、电梯口及各层房间的房门上贴上了NFC标签（如图 5.8所示）。为简单考虑，只在曹楼1至4层的东半部分贴了共50个NFC标签（其中每层10个房门共40个、曹楼东门入口处1个、楼梯口共6个、电梯口共3个）由于无法获得该建筑的CAD设计图，本文对对应的室内地图数据进行了手动设置。

|  |  |
| --- | --- |
| E:\Study\M.S. Thesis\实验图片\IMG_20140102_164641.jpg | E:\Study\M.S. Thesis\实验图片\IMG_20140102_165643.jpg |

图 5.8 NFC标签布设

### 效果展示

在布设好NFC标签网络后，我们让测试人员带上眼罩，对系统进行了真实环境下的测试。图 5.9展示了系统指导用户到达曹主404的过程。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\azure\Desktop\【批量下载】IMG_20140102_165259等\IMG_20140102_170547.jpg | C:\Users\azure\Desktop\IMG_20140102_164443.jpg | C:\Users\azure\Desktop\【批量下载】IMG_20140102_165259等\IMG_20140102_164823.jpg | C:\Users\azure\Desktop\【批量下载】IMG_20140102_165259等\IMG_20140102_170107.jpg |

图 5.9 真实环境测试效果

Android客户端截图如图 5.10所示。当用户达到曹楼东门并刷了NFC标签后，客户端如图 5.10中（a）所示进行初始化；初始化完成后，进入图 5.10中（b）所示界面，在TalkBack的辅助下，用户输入目的地房间号；用户点击导航按钮后，进入图 5.10中（c）所示界面，提示用户当前位置并指导用户前往目的地；到达目的地并刷了NFC标签后，显示图 5.10中（d）所示界面。在TalkBack的辅助下，客户端的整个操作过程都有语音提示。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\azure\Desktop\Screenshot_2014-01-02-23-54-56.png  （a） | C:\Users\azure\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\Screenshot_2014-01-05-14-32-15.png  （b） | C:\Users\azure\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\Screenshot_2014-01-05-14-33-33.png  （c） | C:\Users\azure\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\Screenshot_2014-01-05-14-41-11.png  （d） |

图 5.10 Android客户端截图

为更好地证明系统的可用性，我们也请中国盲文出版社帮忙邀请了30位真正的盲人对我们的系统进行了试用（系统部署在中国盲人出版社大楼的1~4层，共334个NFC标签），并让这些用户从表 5.2所示的四个方面对我们的系统进行了评价。

表 5.2 系统评价

|  |  |
| --- | --- |
| 评价角度 | 评价说明 |
| 客户端操作的方便性 | 1分 很不满意  2分 不 满 意  3分 一 般  4分 满 意  5分 很 满 意 |
| 导航路径计算的时效性 |
| 语音提示的可理解性 |
| 导航路径的便捷性 |

对30个盲人的评价数据进行统计，结果如图 5.11所示，可见我们的系统具有很好的可用性。

图 5.11 评价结果统计

## 本章小结

本章在前面两章的基础上，详细介绍了面向视力残疾人的室内导航系统的实现细节。首先介绍了系统的整体架构及涉及的模块间的关系，然而分别说明了导航服务器与客户端的具体实现。最后，给出了系统的部署环境及实际的使用效果展示。

# 总结与展望

## 总结

本文在介绍了当前室内导航系统的发展以及无障碍相关研究之后，提出了一种室内地图创建方法，并详细介绍了该方法的具体过程。接着，深入分析了视力残疾人的特殊需求，采用层次分析法计算出了路径的综合权值，基于该综合权值做了路径导航。最后，给出了整个室内导航系统的实现方案。

在技术综述部分，本文主要介绍了室内导航系统涉及的室内地图设计、定位方法及导航算法等相关技术和已有的相关研究成果，同时指出了当前的室内导航系统存在的问题。本文在此基础之上，针对视力残疾人的特殊需求，提出了一种基于NFC的室内导航系统的实现方案。

该实现方案主要分为室内地图构建和基于综合权值的最优路径计算两个部分。

本文首先介绍了室内地图构建方法。考虑到很多大型建筑都有对应的CAD设计图，且相关组织花费大量的人力、物力对该格式的建筑结构数据进行了维护，本系统以此为基础创建室内地图。室内地图的构建过程实际上是CAD图到拓扑图的一个转换过程，可分为关键元素提取和路径构建两个阶段。关键元素提取包括对CAD图中门、房间、楼梯和电梯的提取，本文详细介绍了这些元素的提取过程，并给出了提取结果的相应的表示结构。关于拓扑图的路径构建，本文首先深入分析了视力残疾人的出行习惯和偏好，而后基于该分析结果定义一套路径构建规则，并通过实例说明了该规则的可行性，通过与使用三角剖分法提取的路径进行对比，说明了该方法的有效性。

在得出室内地图后，本文接着介绍了基于综合权值的最优路径计算，而在这部分则重点讨论了路径综合权值的计算方法。针对当前很多导航系统把路径最短作为最佳路径标准的这一现状，本文首先分析了影响视力残疾人室内出行的主要影响因素，包括链接沿墙距离、链接自由距离、链接直角弯数、链接非直角弯数、链接中楼梯数和链接中电梯数等。为了综合考虑这6个主要因素，本文采用层次分析法计算出了各个影响因素的组合权重，并给出了计算路径综合权值的公式，利用该综合权值得出了最佳路径。同样地，本文也通过实例证明了最佳路径的正确性。

最后，本文在上述技术研究的基础上，详细介绍了室内导航系统的架构与实现，并从服务器和客户端两个方面说明了实现细节。

## 展望

虽然本文所提出的系统实现了面向视力残疾人的室内导航系统的基本功能，但仍存在不足之处，还可以从以下几个方面考虑，做进一步的改进与扩展：

1）现在的NFC节点布设主要考虑的是门和墙的端点处，如果两个NFC节点之间相距太远，则可能造成视力残疾人用户在使用系统的过程中出现“行进迟疑”的情况，考虑到这一点，可以在以后的工作中对视力残疾人的距离感[[46](#_ENREF_46)]作进一步研究，以便对NFC节点的布设算法做优化。

2）该系统考虑的影响视力残疾人室内出行因素多是静态因素，缺少对动态因素，如室内动态路况的考虑。可对这方面因素作进一步研究，以便为用户提供更好的路径选择。

3）室内导航只能满足用户最基本的室内出行需求，为进一步提升系统的用户体验，还需对视力残疾人的室内需求作更深入的分析。

4）本系统解决的是视力残疾人室内环境的导航问题，在持续的开发过程中可考虑将其与室外导航相结合，提供更好的导航服务。

附录

室内环境中视力残疾人出行的影响因素调查问卷

**一、调查目的**

出于硕士论文的需要，本问卷以选择题的形式调查影响视力残疾人室内出行的主要因素以及相关影响因素的影响程度大小，以此为视力残疾人开发室内导航系统。

**二、问题及选项**

1.您是否有在大型建筑中迷失的经历？

A．是 B.不是

2.您是否经常需要在大型建筑物内活动？

A．是 B.不是

3.您觉得当前在大型建筑物内行走方便程度如何？

A.方便 B.较不方便 C.很不方便

4.您是否觉得楼梯对您的室内出行造成了不便？（选“是”请继续回答第5题，否则请跳过第5题）

A.是 B.不是

5.您最多可以接受爬几层楼的楼梯？

A．1层 B.2层 C.3层 D.4层 E.更多

6.您是否觉得电梯对您的室内出行造成了不便？（选“是”请继续回答第7题，否则请跳过第7题）

A．是 B.不是

7.您最多可以接受换乘几次电梯？

A．1次 B.2次 C.3次 D更多

8.在没有任何提示的情况下，在室内行走，您最多接受几次直角转弯？

A.1次 B.2次 C.3次 D.4次 E.更多

9.在没有任何提示的情况下，在室内行走，您最多接受几次非直角弯？

A.1次 B.2次 C.3次 D.4次 E.更多

10.在室内行走，您对距离、时间和出行的不方便性考虑是怎样的，您觉得哪个更重要，请对它们进行两两比较并进行打分（分值说明见表 6.2），填写下列调查表格1：

表 6.1 调查表格1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分值 | 距离 | 时间 | 不方便性 |
| 距离 |  |  |  |
| 时间 |  |  |  |
| 不方便性 |  |  |  |

表 6.2 分值说明

|  |  |
| --- | --- |
| 标度 | 含义 |
| 1 | 表示两个因素相比，具有相同的重要性 |
| 3 | 表示两个因素相比，前者比后者稍显重要 |
| 5 | 表示两个因素相比，前者比后者明显重要 |
| 7 | 表示两个因素相比，前者比后者强烈重要 |
| 9 | 表示两个因素相比，前者比后者极端重要 |
| 2,4,6,8 | 表示上述相邻判断的中间值 |
| 倒数 | 若前者没有后者重要，则取后者与前者比较分值的倒数 |

11.对影响出行时间的几个因素，您觉得哪个更重要，请对它们进行两两比较并进行打分（分值说明同上），填写下列调查表格2：（表中路径自由指路径没有明显边缘）

表 6.3 调查表格2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分值 | 路径沿墙 | 路径自由 | 直角弯 | 非直角弯 | 楼梯 | 电梯 |
| 路径沿墙 |  |  |  |  |  |  |
| 路径自由 |  |  |  |  |  |  |
| 直角弯 |  |  |  |  |  |  |
| 非直角弯 |  |  |  |  |  |  |
| 楼梯 |  |  |  |  |  |  |
| 电梯 |  |  |  |  |  |  |

12.对影响出行距离的几个因素，您觉得哪个更重要，请对它们进行两两比较并进行打分（分值说明同上），填写下列调查表格3：

表 6.4 调查表格3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分值 | 路径沿墙 | 路径自由 | 楼梯 |
| 路径沿墙 |  |  |  |
| 路径自由 |  |  |  |
| 楼梯 |  |  |  |

13.对影响出行不方便性的几个因素，您觉得哪个更重要，请对它们进行两两比较并进行打分（分值说明同上），填写下列调查表格4：

表 6.5 调查表格4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分值 | 路径沿墙 | 路径自由 | 直角弯 | 非直角弯 | 楼梯 | 电梯 |
| 路径沿墙 |  |  |  |  |  |  |
| 路径自由 |  |  |  |  |  |  |
| 直角弯 |  |  |  |  |  |  |
| 非直角弯 |  |  |  |  |  |  |
| 楼梯 |  |  |  |  |  |  |
| 电梯 |  |  |  |  |  |  |

14.您觉得其他的影响室内出行的因素还有\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

谢谢您的参与！

参考文献

[1] Visual impairment and blindness[EB/OL]. http://www.who.int/mediacentre /factsheets/fs282/en. 2013.12

[2] Renaudin V, Yalak O, Tomé P, Merminod B. Indoor navigation of emergency agents[J]. European Journal of Navigation, 2007, 5(3): 36-45.

[3] Shah P, Mehta P, Kant P, Roy A K. VI-Navi: A Novel Indoor Navigation System for Visually Impaired People[C]. International Conference on Computer Systems and Technologies, 2011.

[4] Lisle S, Atkinson F. Mobile Drawings: The Art of Turning CAD Plans into Interactive Indoor Maps[J].

[5] Accessibility[EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Accessibility. 2013.12

[6] 张赟玥, 赵英, 徐恩元, 李蓉, 李娜. 面向视障用户信息需求的国际研究案例探析[J]. 图书馆建设, 2009, 6: 022.

[7] Davies J E, Wisdom S, Creaser C. Out of sight but not out of mind: visually impaired people's perspectives of library & information services[M]. Library & Information Statistics Unit, Loughborough University, 2001.

[8] Martínez C C, Martínez-Normand L, Olsen M G: Is It Possible to Predict the Manual Web Accessibility Result Using the Automatic Result?, Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services, Springer, 2009: 645-653.

[9] YD/T 1800-2008. 中华人民共和国通信行业标准: 信息安全运行管理系统总体架构[S], 2008

[10] 中国盲人数字图书馆. 无障碍声明[EB/OL]. http://www.cdlvi.cn/wzasm /node\_149891.htm. 2013.12

[11] 陈思宇, 陈朝斌, 金慧娜. 无障碍产品设计初探——针对视障者的手机设计[C]. Proceedings of the 2006 International Conference on Industrial Design & The 11th China Industrial Design Annual Meeting (Volume 2/2), 2006.

[12] Ciavarella C, Paternò F. The design of a handheld, location-aware guide for indoor environments[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2004, 8(2): 82-91.

[13] Müller H J, Schöning J, Krüger A. Mobile Map Interaction-Evaluation in an indoor scenario[C]. GI Jahrestagung (2), 2006 : 403-410.

[14] Klippel A, Freksa C, Winter S. You‐are‐here maps in emergencies–the danger of getting lost[J]. Journal of spatial science, 2006, 51(1): 117-131.

[15] Lorenz B, Ohlbach H J, Stoffel E-P: A hybrid spatial model for representing indoor environments, Web and Wireless Geographical Information Systems, Springer, 2006: 102-112.

[16] Nossum A S. IndoorTubes a novel design for indoor maps[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2011, 38(2): 192-200.

[17] Nagao T, Agui T, Nakajima M. An automatic road vector extraction method from maps[C]. Pattern Recognition, 1988., 9th International Conference on, 1988 : 585-587.

[18] Link J a B, Smith P, Viol N, Wehrle K. Footpath: Accurate map-based indoor navigation using smartphones[C]. Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on, 2011 : 1-8.

[19] Tomono M, Yuta S. Indoor navigation based on an inaccurate map using object recognition[C]. Intelligent Robots and Systems, 2002. IEEE/RSJ International Conference on, 2002 : 619-624.

[20] Gilliéron P-Y, Merminod B. Personal navigation system for indoor applications[C]. 11th IAIN world congress, 2003 : 21-24.

[21] Miu A K L. Design and implementation of an indoor mobile navigation system[D]. Citeseer, 2002.

[22] Beauregard S, Haas H. Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning[C]. Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC’06), 2006 : 27-35.

[23] A\* search algorithm[EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/A\*\_search\_algorithm. 2013.12

[24] 陈圣群, 董林飞. Dijkstra 和 A-star 算法在智能导航中的应用分析[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2010(006): 159-161.

[25] 岳超源, 系统工程. 决策理论与方法[M]. 科学出版社, 2003.

[26] 陈埏. 决策分析[M]. 北京: 科学出版杜, 1987: 258-284.

[27] 夏洪胜, 盛昭瀚, 徐南荣. 多层多目标决策方法的综述[J]. 系统工程与电子技术, 1992, 7: 27-32.

[28] 顾基发. 多目标决策问题[J]. 自然杂志, 1980, 2: 014.

[29] Hwang C-L, Yoon K. Multiple attribute decision making[M]. Springer, 1981.

[30] Brans J-P, Vincke P, Mareschal B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method[J]. European journal of operational research, 1986, 24(2): 228-238.

[31] Opricovic S, Tzeng G-H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 156(2): 445-455.

[32] Saaty T L. What is the analytic hierarchy process?[M]. Springer, 1988.

[33] 张静. 面向路径规划的导航路网数据模型研究[D]. 中国矿业大学 (北京), 2009.

[34] Isomursu M, Ervasti M, Isomursu P, Kinnula M. Evaluating Human Values in the Adoption of New Technology in School Environment[C]. System Sciences (HICSS), 2010 43rd Hawaii International Conference on, 2010 : 1-10.

[35] Ok K, Coskun V, Aydin M N, Ozdenizci B. Current benefits and future directions of NFC services[C]. Education and Management Technology (ICEMT), 2010 International Conference on, 2010 : 334-338.

[36] Miraz G M, Ruiz I L, Gómez-Nieto M. How NFC can be used for the compliance of European higher education area guidelines in European universities[C]. Near Field Communication, 2009. NFC'09. First International Workshop on, 2009 : 3-8.

[37] Ozdenizci B, Ok K, Coskun V, Aydin M N. Development of an indoor navigation system using NFC technology[C]. Information and Computing (ICIC), 2011 Fourth International Conference on, 2011 : 11-14.

[38] 齐晓飞, 崔秀飞, 李怀树. 室内地图设计现状分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2013, 36(2).

[39] Schafer M, Knapp C, Chakraborty S. Automatic generation of topological indoor maps for real-time map-based localization and tracking[C]. Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on, 2011 : 1-8.

[40] 张璟. 公共设施导示信息的“触觉传达”研究[D]. 中国美术学院, 2012.

[41] 赵春燕, 王国华, 周军. 支持城市多种交通方式的最佳路径分析[J]. 测绘信息与工程, 2009, 34(4): 8-10.

[42] JGJ 50-2001. 城市道路和建筑物无障碍设计规范[S], 2001

[43] 武舫, 王家耀, 熊伟, 田智慧. 基于公路普查数据面向最短时间的最优路径分析研究[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2006, 25(3): 218-221.

[44] 段莉琼, 刘立国. 基于车辆导航的路径分析与应用[J]. 地理信息世界, 2005, 4: 44-47.

[45] Johnson R, Helm R, Vlissides J, Gamma E. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software[M]. Addison-Wesley Professional, 1995.

[46] Jones B. Spatial perception in the blind[J]. British Journal of Psychology, 1975, 66(4): 461-472.

致谢

岁月如梭，不知不觉我的研究生生涯已然接近尾声。在本文完成之时，我也即将告别大学校园，踏上工作岗位，真正走上社会，此时此刻，心中不免有无限感慨。在两年多的研究生学习期间，我收获了很多，也成长了很多，这些都离不开很多人的关心与帮助，在这里我要感谢你们。

首先我要感谢实验室卜佳俊教授以及我的导师宋明黎副教授，是你们对我的教导与关怀让我圆满地完成了研究生阶段的学习，是你们科学、严谨的治学态度鼓舞了我，使我养成了良好的科研习惯，是你们认真、负责的工作作风感染了我，使我在生活方面也受益非浅。

其次，我要感谢王炜、王灿两位老师，你们在我的整个研究生阶段都给了我很大的帮助。还有李娜老师，尽管您并没有陪我一起度过整个研究生阶段，但是您对我的帮助是巨大的，是您让我明确了研究生的学习方向。

另外，我还要衷心感谢的是王银廷师兄和刘钊师兄，是你们在我最困惑的时候帮助了我。在论文写作期间，同样对我帮助很大的还有Eagle实验室MMG组的其他成员，他们是陈飞、汪海峰、张志勇、仇卓、廖新辉、徐筝，我要感谢你们，没有你们的支持和鼓励，我不可能完成本文的相关研究与写作。还有一些人我需要感谢，他们是洪朝群、郝保平、韩啸、王元凯、陈敏、王羲中、芦维波、韩冲，尽管在本文写作之时，你们已经毕业离校，但你们曾经对我的帮助，我将永远铭记于心。

最后，我还要感谢的是我的父亲、母亲和哥哥，没有你们的默默关心和爱，我无法坚持奋斗，是你们给了我前行的力量。

侍路登

2014年1月于求是园