

- 宁夏大学西部一流专业建设项目
- 国家自然科学基金项目 (41461098)
- 自治区地理科学重点专业建设项目

移动位置服务 及其在嵌入式移动终端的 应用实践

YIDONG WEIZHI FUWU

Jiqi zai qianrushishi yidong zhongduan de
YINGYONG SHIJIAN

张明鑫 冯涛 陈涛 郭建忠 著



黄河出版传媒集团
阳光出版社

移动位置服务 及其在嵌入式移动终端的 应用实践

YIDONG WEIZHI FUWU

Jiqi zai qianrushì yidong zhongduan de

YINGYONG SHIJIAN

张明鑫 冯涛 陈涛 郭建忠 著



黄河出版传媒集团
阳光出版社

图书在版编目(CIP)数据

移动位置服务及其在嵌入式移动终端的应用实践 /
张明鑫等著. —银川: 阳光出版社: 宁夏人民出版社,
2017.9

ISBN 978-7-5525-3874-8

I. ①移… II. ①张… III. ①移动终端—研究 IV.
①TN87

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 250078 号

移动位置服务及其在嵌入式移动终端的应用实践

张明鑫 冯涛 陈涛 郭建忠 著

责任编辑 周淑芸 李少敏

封面设计 陈冰融

责任印制 岳建宁



黄河出版传媒集团

阳光出版社 出版发行
宁夏人民出版社

出版人 王杨宝

地址 宁夏银川市北京东路 139 号出版大厦 (750001)

网址 <http://www.ygchbs.com>

网上书店 <http://shop129132959.taobao.com>

电子信箱 yangguangchubanshe@163.com

邮购电话 0951-5014139

经销 全国新华书店

印刷装订 宁夏银报印务有限公司

印刷委托书号 (宁) 0006874

开 本 720 mm × 980 mm 1/16

印 张 12.25

字 数 200 千字

版 次 2017 年 11 月第 1 版

印 次 2017 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5525-3874-8

定 价 36.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

随着宽带无线接入技术和移动终端技术（尤其是智能手机）的飞速发展与普及应用，人们迫切希望能够随时随地乃至在移动过程中都能方便地获取信息和服务，移动互联网应运而生并迅猛发展。在移动互联网大发展的趋势下，嵌入了位置服务功能的微信、微博、移动阅读、移动游戏等各类应用也实现了爆发式增长，为百姓生活提供了极大的便利，也推动了移动位置服务的繁荣。移动位置服务（也叫基于位置的服务），是通过电信移动运营商的无线电通信网络（如 GSM 网、CDMA 网）或外部定位方式（如 GPS）获取移动终端用户的位置信息（地理坐标或大地坐标），在 GIS（Geographic Information System，地理信息系统）平台的支持下，为用户提供相应服务的一种增值业务。它有两层含义：首先是确定移动设备或用户所在的地理位置，其次是提供与位置相关的各类信息服务。移动位置服务的基础是嵌入式 GIS 系统，而空间数据组织与管理，多源数据转换与处理，多尺度、多模式电子地图显示，以及实时路径规划等是支撑移动位置服务的关键技术。

本书共分 10 章，从地理信息系统的角度系统介绍了移动位置服务的关键技术与示范性的应用实践。其中，第 1 章综述了移动位置服务的基本情况和电力线路巡检管理中的移动位置服务问题；第 2 章系统介绍了移动位置服务的原理、嵌入式 GIS 基础，以及相关关键技术；第 3 章分析了移动位置服务对空间数据组织和管理的要求，从空间数据的组织模型、存储结构、索引管理等方面介绍了面向移动位置服务的空间矢量数据模型；第

4章介绍了面向移动位置服务的空间矢量数据预处理系统的设计与关键技术；第5章从空间数据的引擎、动态加载与卸载、查询和访问、压缩和拓扑维护等方面，介绍了移动位置服务的空间数据调度和管理方法；第6章分析了嵌入式GIS地图显示实现策略，然后从显示引擎的跨平台设计、基于多缓存的并行调度显示算法等方面系统介绍了移动位置服务的地图调度与显示方法；第7章分析了移动位置服务实时路径规划的特点，然后从体系结构、路网数据的组织与存储结构、满足实时导航应用的路径规划算法等方面介绍了移动位置服务的实时路径规划技术；第8、9、10章以电力线路巡检管理中的移动位置服务为例，介绍了移动位置服务在嵌入式移动终端的应用实践。

本书由宁夏大学资源环境学院张明鑫博士负责选题和结构确定，并与西安测绘信息技术总站冯涛博士、西安测绘研究所陈涛博士、解放军信息工程大学郭建忠教授共同撰写。由于近年来技术快速发展，以及作者水平有限，其中难免出现疏漏甚至不准确的地方，恳请广大读者提出批评和指导意见。

目 录

前 言

第一章 绪 论	001
1.1 从地理信息系统到地理信息服务	001
1.1.1 地理信息系统发展阶段	001
1.1.2 从地理信息系统走向地理信息服务	003
1.2 移动位置服务的兴起与繁荣	005
1.2.1 移动位置服务的定义	005
1.2.2 移动位置服务的起源	006
1.2.3 移动位置服务的发展历史	006
1.2.4 移动位置服务的应用	008
1.3 电力线路巡检管理中的移动位置服务问题	010
第二章 移动位置服务的原理与关键技术	012
2.1 移动位置服务的基本原理	012
2.1.1 移动位置服务的系统组成	012
2.1.2 定位系统实现方案	013
2.2 移动位置服务的基础：嵌入式 GIS	014
2.2.1 嵌入式 GIS 组成及特点	014
2.2.2 嵌入式 GIS 运行平台分析	017
2.2.3 嵌入式 GIS 与桌面 GIS 技术差异分析	021
2.2.4 嵌入式 GIS 设计原则	022
2.3 移动位置服务的其他关键技术	024

2.3.1	传统无线定位技术	024
2.3.2	全球定位系统技术 (GPS)	025
2.3.3	无线通信技术	028
2.3.4	嵌入式移动数据库技术	032
2.3.5	移动互联技术	033
2.3.6	物联网技术	033
第三章 面向移动位置服务的空间矢量数据模型		035
3.1	移动位置服务系统对空间数据组织和管理的特殊要求	035
3.1.1	适应一体化地理信息服务的特殊要求	035
3.1.2	适应有限硬件资源的特殊要求	036
3.1.3	适应应用的特殊要求	038
3.1.4	适应嵌入式操作系统的特殊要求	040
3.2	移动位置服务的空间数据组织模型	040
3.2.1	GIS 空间数据模型概述	040
3.2.2	空间数据组织模型	045
3.2.3	空间数据模型的特点分析	046
3.3	空间数据存储结构	050
3.3.1	元数据的存储结构	051
3.3.2	几何和属性数据的存储结构	052
3.3.3	DEM 数据的存储结构	052
3.4	空间数据三级索引的实现	054
3.4.1	索引存储结构	055
3.4.2	索引内存结构	055
3.4.3	索引信息的生成	056
第四章 面向移动位置服务的空间矢量数据预处理系统		058
4.1	预处理系统设计的依据与目标	058
4.1.1	设计的依据	058
4.1.2	设计的目标	059

4.2 设计的内容与系统构成	059
4.2.1 设计的内容	059
4.2.2 系统构成	060
4.3 数据处理模型的选择及其设计	061
4.3.1 空间数据语义一致性处理模型	061
4.3.2 属性数据选取模型	062
4.3.3 坐标转换模型	062
4.3.4 索引处理模型	062
4.3.5 LOD 构建模型	063
4.3.6 空间数据压缩模型	064
4.3.7 面、链拓扑信息维护和管理模型	065
4.3.8 跨图幅要素拼接处理模型	066
4.4 移动位置服务空间数据组织管理的关键技术	067
4.4.1 多源空间数据的融合	067
4.4.2 高效的空間数据索引	067
4.4.3 空间数据的 LOD 建模	067
4.4.4 跨图幅数据的无缝拼接	068
4.4.5 空间数据压缩技术	068
第五章 移动位置服务的空间矢量数据调度	069
5.1 空间数据引擎	069
5.1.1 空间数据引擎	069
5.1.2 空间数据的多种访问方式	070
5.2 空间数据动态加载、卸载的实现	071
5.2.1 基于区域范围的动态加载、卸载	071
5.2.2 基于图层的动态加载、卸载	072
5.2.3 基于 LOD 建模的动态加载、卸载	072
5.3 空间数据的调度策略	072
5.3.1 空间数据调度要解决的问题	072

5.3.2	同比例尺内空间数据的查询和访问	073
5.3.3	跨比例尺空间数据的查询和访问	073
5.4	空间数据的压缩和拓扑信息维护	075
5.4.1	移动位置服务终端的空间数据压缩	075
5.4.2	移动位置服务终端的拓扑信息维护与管理	076
第六章	移动位置服务的瓦片地图显示	077
6.1	嵌入式 GIS 地图显示实现策略	077
6.1.1	电子地图及其特点分析	077
6.1.2	平台相关性分析	078
6.1.3	地图显示实现策略	080
6.2	地图显示引擎的跨平台设计	080
6.2.1	EGIS_MW 中间件平台	080
6.2.2	基于 EGIS_MW 显示引擎体系结构设计	082
6.2.3	跨平台电子地图显示符号库设计	082
6.3	基于多缓存的并行调度显示算法	087
6.3.1	常规地图显示算法分析	087
6.3.2	地图显示的系列优化算法	088
6.3.3	基于多缓存的并行调度显示算法	091
6.3.4	显示算法性能分析	096
第七章	移动位置服务的实时路径规划技术	100
7.1	路径规划特点分析	100
7.1.1	模块设计与实现时尽量做到与平台无关	100
7.1.2	数据组织时对存储空间占用应尽可能少	100
7.1.3	对路径规划算法求解的时效性要求很高	101
7.1.4	路径规划算法能够识别并处理各种交通管制信息	101
7.1.5	路径规划算法能够识别并处理交叉口延误的影响	101
7.2	路径规划模块的体系结构	102
7.3	路网数据的组织与存储结构设计	103

7.3.1 路网数据的物理存储结构	103
7.3.2 路径计算中的路网存储结构	107
7.4 满足实时导航应用的路径规划算法设计	111
7.4.1 路径规划策略研究	111
7.4.2 常用路径规划算法分析	112
7.4.3 路径规划中必须考虑的问题及解决方案	117
7.4.4 基于转换路网的分层搜索 A* 算法	122
7.4.5 算法分析与评估	125
第八章 电力线路巡检管理的业务流程	128
8.1 电力线路巡检管理	128
8.1.1 常见的电力线路管理方式	128
8.1.2 电力线路巡检管理的分类	129
8.2 电力线路巡检管理业务流程	130
8.2.1 电力线路巡检管理的业务流程	130
8.2.2 电力设备缺陷管理的内容	131
8.3 电力线路巡检管理中的移动位置服务问题	133
8.3.1 电力线路巡检中的移动位置服务	133
8.3.2 移动位置服务的功能需求	135
第九章 基于移动位置服务的电力线路巡检管理系统设计	136
9.1 电力线路巡检管理系统的设计原则	136
9.1.1 先进性	136
9.1.2 可靠性	136
9.1.3 易用性	137
9.1.4 安全性	137
9.2 电力线路巡检管理系统的体系结构	137
9.2.1 台式机服务器部分	137
9.2.2 移动终端部分	138
9.2.3 线路巡检系统部分	139

9.2.4 GPS 定位功能模块	140
9.2.5 无线网络通信部分	140
9.3 电力线路巡检管理系统中移动位置服务体系结构	140
9.4 电力线路巡检管理系统的实现策略	141
9.4.1 基于胖客户端的移动地理信息系统	141
9.4.2 基于瘦客户端的移动地理信息系统	143
9.4.3 基于移动位置服务的电力线路巡检管理系统实现策略 ...	144
第十章 基于移动位置服务的电力线路巡检管理系统实现	148
10.1 系统网络结构及流程	148
10.1.1 系统网络结构模型	148
10.1.2 系统主要逻辑表结构	149
10.2 基于移动位置服务的电力线路巡检管理系统功能设计	158
10.2.1 系统功能构成	159
10.2.2 线路巡检模块设计	160
10.2.3 GPS 信号接收模块设计	160
10.2.4 移动数据库管理模块设计	161
10.3 系统开发中主要问题的解决	161
10.3.1 数据定位精度问题的解决	161
10.3.2 通信接口问题的解决	163
10.3.3 数据组织与管理问题的解决	167
10.4 电力线路巡检管理系统功能的实现	169
10.4.1 电力线路巡检管理系统移动端功能的实现	169
10.4.2 电力线路巡检管理系统服务器端功能的实现	172
10.5 系统软、硬件环境	178
10.5.1 系统的软、硬件选型	179
10.5.2 系统开发硬件环境	179
10.5.3 系统开发软件环境	180
参考文献	181

第一章 绪 论

移动位置服务是地理信息服务的重要发展方向，电力线路巡检管理是移动位置服务的一个典型应用领域。

1.1 从地理信息系统到地理信息服务

地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 通常被定义为在计算机软、硬件支持下，运用系统工程和信息科学的理论与方法，综合地、动态地获取、存储、管理、分析和描述整个或部分地球表面与地理空间分布有关的数据的空间信息系统 (黄杏元, 1989, 李德仁, 1995)。与地图一样, GIS 是地理或空间问题研究的工具, 可认为是地图学在信息时代的延伸。同时, GIS 又是 IT 关联度最紧密的学科, 最新的 IT 技术产生后往往能快速嵌入到 GIS, 成为推动 GIS 学科发展和进步的主要推动力。当加拿大人 Roger F. Tomlinson 在 20 世纪 60 年代初命名“地理信息系统”时, 他可能也没想到 30 多年后有如此深远的结果, GIS 已经“作为信息产业的重要组成部分进入信息社会, 并作为一个学科而被确立” (王家耀, 1998)。而随着互联网时代的到来, GIS 与云计算、大数据、移动互联等技术结合, 正成为连接网络虚拟世界和现实世界的纽带、智慧城市建设的支撑技术。

1.1.1 地理信息系统发展阶段

GIS 萌芽于 20 世纪 60 年代初期, 加拿大的 Roger F. Tomlinson 和美国

的Duanice F. Marble 在不同地方、从不同角度提出了 GIS 的概念。随着计算机技术、空间技术和现代信息基础设施的飞速发展, GIS 在国家经济信息化进程中的重要性与日俱增。特别是“数字地球”“智慧地球”概念提出后, 人们更加体会到了 GIS 的重要性。纵观 GIS 的发展, 传统意义上可分为开拓发展、巩固发展、突破阶段和社会化四个阶段。

20 世纪 60 年代是 GIS 的开拓发展阶段, 该阶段主要是关注空间地学数据的处理问题。计算机硬件系统功能较弱, 极大地制约了 GIS 的发展。

20 世纪 70 年代是 GIS 的巩固发展阶段, 该阶段关注的主要是空间信息的管理。计算机硬件和软件技术的飞速发展, 尤其是大容量存取设备——硬盘的使用, 为空间数据的录入、存储、检索和输出提供了强有力的手段。用户屏幕和图形、图像卡的发展增强了人机对话和高质量图形显示功能, 促使 GIS 朝着实用方向迅速发展。

20 世纪 80 年代是 GIS 的突破阶段, 该阶段关注的主要是空间决策支持。计算机价格的大幅度下降, 功能较强的微型计算机系统的普及和图形输入、输出及存储设备的快速发展, 使得地理信息系统技术全面推向应用, 商业化实用系统开始进入市场。

从 20 世纪 90 年代起, GIS 进入社会化阶段。随着地理信息产业的建立和数字化信息产品在全世界的普及, 地理信息系统深入到各行各业乃至各家各户, 成为人们生产、生活、学习和工作中不可缺少的工具和助手。地理信息系统已成为许多机构必备的工作系统, 尤其是政府决策部门在一定程度上由于受地理信息系统影响而改变了现有机构的设置、运行方式与工作计划等。而且, 社会对地理信息系统的认识普遍提高, 需求大幅度增加, 从而促进了地理信息系统应用的扩大与深化。

近年来, 云计算、大数据、移动互联、物联网等技术发展对地理信息产业链的各个环节产生了全方位的影响, 也催生了 GIS 系统自身技术体系的重构。例如, 将云计算的各种特征应用于支撑地理空间信息的各要素, 包括建模、存储、处理等, 就产生了云 GIS。云 GIS 改变用户传统的 GIS

应用方法和建设模式，以一种更加友好的方式，高效率、低成本地使用地理信息资源。

1.1.2 从地理信息系统走向地理信息服务

BillGates 提到，“现在的 Internet 是以 Web 浏览器为中心构成的”。Internet 逐渐成为了 Web 服务的媒介，越来越多的供应商把自己的业务以 Web 服务的形式放在了 Internet 之上，其中包括 GIS 供应商。GIS 和 Web 服务的结合，使得不同地域、不同平台、使用不同格式空间数据的服务可以在网上任意节点上分别实现并对外提供服务。Web 服务概念为地理信息服务展现了一种新的模式，人们可以自由地根据自己的需要，请求网上的基于 Web 的地理信息服务，也可以将不同的 Web 服务集成为一个满足自己需要的应用，或提供功能更强大的服务。

微软公司通过“一切都是服务”来概括 Web 服务将给 IT 业带来的冲击。Web 服务为地理信息服务提供了一种新的途径，要完成一些需要借助地理信息解决的工作，用户无需自己准备所有的数据和开发所有的功能，只要到网上寻找地理信息服务机构（或商家）提供的服务即可。同样，由于不同的功能是以不同的 Web 服务的形式在网上发布并被调用的，因而，网络中不同的节点上并不需要平台统一，而是通过 SOAP（Simple Object Access Protocol，简单对象访问协议）等包裹协议，将不同的平台“黏合”到一起，完成互操作。

随着信息技术的发展，传统 GIS 正在向基于互联网的面向服务的架构演化。在面向服务的框架下，用户可以对分布于互联网的地理数据和功能组件资源进行访问、装配和集成。其中 Google Maps 最具代表，它的推出预示着全球化地理信息服务的开始。2004 年 10 月，Google 收购了总部位于美国加州山景城（Mountain View）、以数字地图测绘为主业的 Keyhole 公司。2005 年 4 月，Google 正式推出基于 AJAX 模型、XML 和 HTTP 等技术和海量空间数据的 Google Maps，以地图、卫星、混合 3 种服务模式向全球提供地图搜索和逐级缩放功能地图服务。2005 年 6 月，Google 推出地图搜

索服务 Google Earth。Google Earth 整合了本地搜索与驾车指南两项服务，具有地图注释功能，并采用 3D 地图定位技术，将 Google Maps 卫星影像应用提升到一个新水平。2005 年 9 月，Google 在中国推出本地搜索服务，这是 Google 继在美国、加拿大、英国和日本之后开通的第 5 个集黄页、网页、地图于一体的本地搜索地图服务。

目前，WebGIS 开发面临两大困难：昂贵而又很难兼容的空间数据和复杂难用的平台。Google 通过地图服务应用程序接口 Google Maps API（免费工具包，开发人员可用 JavaScript 脚本语言将 Google Maps 服务嵌入网页）将平台与地理数据捆绑，从地图服务和开发两个层面降低了 GIS 开发门槛，提升了地理信息服务水平，对于延伸地理信息服务有重要意义。尽管以 Google Maps 为代表的互联网地理信息服务功能还比较简单，但这种以地图和高分辨率卫星影像为主要数据源，以 Web 为依托，开发平台与地理数据捆绑实现搜索引擎与地理信息服务完美结合，面向全球用户提供普通地理信息服务的模式，已预示着全球化地理信息服务时代的到来。

Google Maps 被大众快速地接受无疑说明了 GIS 网络化的趋势已不可阻挡。在未来，功能与数据将从 GIS 中以一定程度分离开来，GIS 将演变成成为网络上不同的数据服务和功能服务。GIS 数据服务将提供各种地理信息数据，GIS 功能服务将把灵活高效的计算分析功能提供给用户。用户需要地理信息服务时，就像加工机器一样，一边从数据服务机构获取数据，另一边用功能服务机构提供的各种软件对数据进行分析，最终得到满意的结果。

随着移动互联时代的来临，GIS 服务得到了更加广泛的应用。一方面，地理信息产业链不断延伸。目前，地理信息产业链环节主要为地理信息数据采集、处理和应用（包括服务）。大数据时代，地理大数据分析与挖掘可以直接创造价值，其结果可以直接为用户提供服务，而地理大数据分析和挖掘需要掌握专门的技术，有的可能还需要一定的行业背景，因此很可能发展成为一个独立增值的产业链环节。此外，地理数据与其他大数据的

集成,地理信息大数据的存储、管理和运营都需要专门的设备和技术,在下游地理信息服务大量增多、小微企业迅速发展的大数据时代,也很有可能发展成为一个独立的产业链环节。另一方面,地理信息产业链结构将会更加合理,地理信息产业链上下游较小的纺锤形产业链结构将逐步改善。上游数据采集环节将更加丰富,地理大数据采集内容不断增多,采集方式也更为多样,从传统测量、航空航天遥感、卫星导航定位等采集方式,发展到基于互联网终端的众包地理数据采集,从视频、社交文本、语音中采集地理数据等。地理信息产业链下游服务环节也将更加丰富。大数据时代,地理信息服务的主要形式、主要内容和潜在用户都较互联网和移动互联网时代有所拓展,提供服务的主要内容包括提取地理信息、揭示空间分布规律、提取和显示事物与现象的空间相关信息等,主要潜在客户群变大,应用服务的广度和深度都将得到很大提升。

1.2 移动位置服务的兴起与繁荣

1.2.1 移动位置服务的定义

随着移动互联网的飞速发展和不断进步,人们对地理空间信息的 4A (anytime, anywhere, anybody, anything) 服务的需求日益增大。而无线移动服务与空间信息服务的结合,则进一步催生了移动位置服务的兴起和繁荣。移动位置服务,也叫基于位置的服务 (LBS, Location Based Service),它是通过电信移动运营商的无线电通信网络 (如 GSM 网、CDMA 网) 或外部定位方式 (如 GPS) 获取移动终端用户的位置信息 (地理坐标,或大地坐标),在 GIS 平台的支持下,为用户提供相应服务的一种增值业务。它有两层含义:首先是确定移动设备或用户所在的地理位置,其次是提供与位置相关的各类信息服务。

技术、服务和用户构成了移动位置服务的 3 个基本要素,而以用户为中心的自适应个性化服务将是未来移动位置服务的一个重要特征。移动位置服务通过 GPS (全球定位系统) 或移动通信网络 (基站定位) 获取终端的基础地理位置,再通过终端的 GIS 的辅助,为用户本人或他人提供与位

置相关的服务信息。目前,移动位置服务业务多是通过无线通信网络获取无线用户的位置信息,在地理信息系统平台的支持下提供相应服务的一种无线增值业务。但在移动通信网中,移动位置服务业务应用最多的还是与终端持有者本身的位置紧密相关的业务。

1.2.2 移动位置服务的起源

移动位置服务首先从美国发展起来。移动位置服务的提出源于用户在紧急呼叫时,无法知道自己所处的位置,给救援工作带来很多不便。1996年,美国联邦通信委员会(FCC)颁布E-911(Emergency call“911”),法规要求移动运营商为手机用户提供E-911服务,极大地促进了美国移动位置服务产业的快速发展。调查表明,约有25%的移动用户在发起紧急呼叫时不知道所处的确切位置,因而1996年美国联邦通信委员会公布了E-911定位需求,要求在2001年10月1日前,各种无线蜂窝网络必须能对发出E-911紧急呼叫的移动台提供精度在125 m内的定位服务,而且满足此定位精度的概率应不低于67%;并在2001年以后,提供更高的定位精度及三维位置信息。

在我国,基于移动位置服务的研究和应用已经开展,如国内的移动运营商中国移动的“移动梦网”和中国联通的“联通在线”都为基于位置的服务提供了接入平台,国家“863计划项目”也将其作为支持项目。但目前来看,国内的移动位置服务内容简单,功能单一,各个单位或公司各行其是,并没有形成完整的应用模式和系统框架。

1.2.3 移动位置服务的发展历史

(1) 美国、欧洲移动位置服务的发展

1999年,美国FCC对E-911法进行修订,对定位精度提出新的要求,极大地促进了美国移动位置服务产业的快速发展。Sprint PCS和VoiceStream等移动运营商都在积极开辟交通、安全等多方面的应用。

欧洲颁布法律遵循“US FCC”标准,于2003年1月1日开始实施。欧洲电信标准化组织(ETSI)建议使用E-OTD,即“增强型观测时间差”