

# 杭州电子科技大学

## 硕 士 学 位 论 文 详 细 摘 要

题 目： 电动自行车智能充电系统设计实现及  
关键技术研究

研 究 生 周雪梅

专 业 电子科学与技术

指导教师 陈科明 副教授

完成日期 2020 年 3 月

电动自行车从面世到现在发展了二十多年，已经成为我国重要的交通工具，在市场上占有很大份额。大量的车辆伴随巨大的充电需求，以往，很多居民会私拉电线进行充电，或者拆卸电池放在房屋中充电，这些行为都带来极大的安全隐患。近几年因电动自行车电气线路老化、充电线路过负荷等原因造成的火灾事故频发，带来人员伤亡和财产损失，这引起了政府的高度重视。2017 年 12 月公安部就已发布“规范电动车停放充电加强火灾防范”的通告，强调要加强对电动车充电的规范管理。

在这样的大背景下，电动自行车充电桩行业开始兴起并快速发展。早期，市面上的充电桩以投币式和刷卡式为主，充电桩只是一个充电设备，功能单一。近年来，物联网快速发展，各个企业纷纷推出联网式电动自行车充电桩，将设备入网的同时为用户提供多种交互服务，受到了人们的广泛欢迎，也符合时代发展的趋势。

但是，目前市场上的联网式电动自行车充电桩智能化程度不够，存在充电过程不安全、用户服务不完善、系统性能差等问题，无法对人们形成很强的吸引力。因此，设计一种能够保障充电安全，且具有远程控制、智能管理、报警监控等功能的电动自行车充电服务系统十分有必要。实现系统功能的同时，要保证系统的高可靠高可用，这样才能增加用户粘性，真正起到解决充电乱象的作用，实现社会效益。

本文在对电动自行车充电桩行业充分调研后，明确了当前行业存在的硬件落后、配套软件设计落后、业务平台设计不完善等问题，设计实现了一套电动自行车智能充电系统。涵盖硬件设计、云平台构建及客户端开发，实现了对充电桩的远程智能控制、可视化管理，同时为用户和企业提供智慧服务。

硬件系统分为主控芯片、充电检测模块、继电器控制模块、电源模块、GPRS 通信模块五个模块。主控芯片与 GPRS 模块相连，接收到 GPRS 模块发来的充电命令后，主控芯片控制对应线路的继电器模块，打开插座开关，进行充电。充电检测模块在充电过程中实时检测电流、功率等数据，数据传递给主控芯片，主程序进行过流、过载、掉电、浮充等状态判断。GPRS 模块将主控芯片收集到的充电数据上报到云平台。充电结束后，继电器模块控制开关关闭，GPRS 模块将状态变更推送到云平台。

云平台分为设备云和业务云两大模块。设备云与充电桩建立连接，实现充电数据采集、数据监控和指令下发；业务云负责具体业务服务接口，进行业务数据存储和管理，通过 RESTful API (Application Programming Interface, 应用程序接口) 对客户端软件提供调用功能。

设备云选用中国移动 OneNET 物理网云平台，进行设备通信、设备数据存储与管理。业务云由负载均衡、云服务器和数据库构成。采用两台阿里云服务器组成业务服务器集群，负载均衡对前端请求进行转发分配，缓解单台服务器压力；云服务器进行业务逻辑处理，为应用软件提供可靠功能接口；使用 MySQL 数据库进行数据存储。

客户端通过调用 API 来完成具体交互功能。Web 管理平台为企业管理者提供设备管理、可视化分析等功能；移动用户端实现扫码充电，实时推送充电信息，提供多样化智慧服务；移动运维端支持随时随地录入设备、测试通信，为管理者、运维人员提供便捷的设备管理、

收益分析服务。其中，移动用户端基于微信生态开发网页应用，具有轻便、快捷、安全的优势。

本文设计的电动自行车智能充电系统可进行充电安全防护，提供过流、过载、漏电保护，实现充电异常自动断电、电池充满自停、充电器插头拔出自动断电。在客户端上充电状态实时显示，费用实时结算，充电完成及充电异常实时微信通知。用户可一键导航，快速找到邻近充电桩。企业管理员、运维人员可通过软件应用进行高效的系统管理和远程运维。

在实现系统功能和安全充电的基础下，本文对软件服务中的两个关键问题进行了优化：

(1) 用户服务中的邻近充电桩搜索，充电桩数量越多，从中筛选出所需数据的时间越长，为了不影响用户体验，需要设计高性能的搜索算法替代常规的计算两点间距离的过滤方式；(2) 频繁的数据库操作，大量用户同时访问系统，并且伴随相同数据库操作时，会带来很多开销，影响系统性能，需要设计相关机制减小重复的资源消耗。

用户查找附近可达范围的充电桩时，后端程序根据前端传入的用户坐标及数据库中的已有充电桩位置信息，采用常规的计算两点间距离的方式进行筛选，在数据量大的情况下会发生响应延迟，影响系统性能和用户体验。

本文引入空间查询的相关技术，将用户及充电桩的经纬度数据作为空间信息处理，借鉴四叉树的思想，设计了一种高效的查找机制。首先设计 B-GeoHash 编码，对充电桩经纬度二维数据进行降维处理。搜索时分为剪枝和过滤两个阶段，剪枝阶段根据空间近似形体与网格的空间关系，对网格区域基于四叉树原理进行自适应非均匀划分，找到满足条件的网格后，用网格编码做前缀匹配查询，得到粗筛的充电桩数据集合；过滤阶段用球面距离对目标集合进行精准过滤。

多维数据的处理是复杂的，所以在优化查找时首先对二维数据进行降维。GeoHash 是一种具有网格划分思想的地理编码，它的基本思想是将经度和纬度分别按照二分法不断逼近编码，再整合加密，最后得到一维编码表示地球上的二维坐标。对经度和纬度不断二分，只要保证经纬度的划分次数一致，对应到二维空间平面上就是对空间的不断四分，与四叉树的原理相似，所以可以借助 GeoHash 编码对空间四叉树的叶子结点进行编码，来表示空间对象。但是 GeoHash 编码从全球范围开始划分编码，而目前我们的充电桩业务只在中国大陆范围内，GeoHash 编码会造成编码位的浪费和编码精度的降低。本文改进了 GeoHash 编码，并将新的编码命名为 B-GeoHash (Based GeoHash)。B-GeoHash 码由两部分组成，前 4 位表示空间点的基础经纬度，后几位编码基于 GeoHash 思想，表示更精确的范围。B-GeoHash 码具有唯一性、递归性、一维性的特点，根据 B-GeoHash 码，我们就可以知道该点的空间范围。其前缀包含的特性将大大提高我们的数据检索效率。

我们需要检索以用户位置为中心，半径为  $R$  的圆形区域。圆形区域的查找是比较复杂的，而矩形区域的查找较为简单。本文将查找过程进行分段，先查找目标圆形区域外切矩形内的数据，再精确过滤。这样避免查找过程遍历所有数据，大大提高了检索效率。

首先根据四叉树原理划分多级空间网格，利用网格和目标区域的空间关系查找。四叉树划分网格过程与 B-GeoHash 编码过程是基于相同原理的，用 B-GeoHash 编码的思想对划分的网格区域进行编码，就可以利用 B-GeoHash 编码前缀匹配的特性，直接找出该区域内的充电桩。接着，对矩形区域内的数据使用地球球面距离公式进行过滤。

为了验证该方法的可行性与性能优势，本文进行了两个方面的测试：（1）准确性测试，以常规的计算用户与充电桩之间距离筛选的方法为标准，测试本章提出的搜索方法的搜索准确性；（2）耗时测试，对比相同场景下常规方法与本章提出的算法得到结果所用时间，分析算法性能。实验结果表明，本文提出的邻近充电桩搜索方法接近完全准确，比传统查询方法减少了 84% 的时间，具有很高的查询效率。

本文设计的电动自行车智能充电系统，存在高并发的情况。如早晨上班时间段，大量用户同时访问，给服务器带来较大压力，降低系统性能。表现在前端层面就是页面的加载慢，用户长时间得不到响应，影响使用体验。在手机网速不稳定的情况下，问题更加严重。提高页面响应速度、减少用户等待时间是系统优化的重点。

本文从服务器缓存入手，借助 JDBC 技术，设计了一种改进的 JDBC 查询缓存机制。首先对 JDBC 接口进行扩展，设计合理的数据组织和存储结构，将 SQL 结果集缓存在业务服务器的内存中，采用 HashTable 数据存储结构，下次请求时，对请求进行过滤，如果缓存中存在对应结果集则直接读取，避免重复的数据库操作，减轻了系统压力。

同时，对缓存容量达到阈值时的缓存置换策略进行研究，改进了 LRU (Least Recently Used, 最久未被使用) 算法，采用两个双向链表进行缓存置换管理，两个链表分别表示热数据区和冷数据区，用链表 H、链表 C 指代。当有新增缓存项时，将该缓存项放入链表 C 的头部，缓存项中的 hitTimes 属性记为 1。链表 C 按照 LRU 规则进行缓存淘汰。每次命中缓存项时将该项的 hitTimes 加 1，当某个缓存项的 hitTimes 达到设定的值 k 时，从链表 C 中删除该项，放入链表 H 的头部。如果命中的缓存项在链表 H 中，按照 LRU 规则进行管理和淘汰，但是淘汰出的缓存项不是从内存中删除了，而是插入到链表 C 的头部。缓存只从链表 C 的尾部删除，k 的值根据具体业务需求确定。改进的缓存置换机制根据缓存命中次数，分成冷热数据区存储数据，只从冷数据区淘汰数据，尽量避免置换出热数据，提高了整体的缓存命中率。

另外，设计了缓存一致性维护策略，将多次更新操作收集起来一起批量执行，保证缓存数据准确的同时，减少了频繁与数据库建立连接的开销，节省了资源，提高了一致性维护的效率。

改进的 JDBC 缓存机制缩短了请求路径，减少了服务器连接数据库的次数，有着更高的缓存命中率。实验表明，本文设计的 JDBC 缓存机制可以保持 40% 的命中率，在 1000 条请求量下响应时间能够稳定缩短一倍，可以有效提高系统响应速度。

针对当前电动自行车充电桩行业的实际需求，本文设计的智能充电系统达到项目最初的设计目标，为电动自行车充电桩产业转型升级提供了合理的解决方案。但是由于本人研究水平和研究实际有限，本系统还有很大的改进空间，如下：

（1）系统的业务还有可扩展的地方，本系统虽然收集了电池的实时充电功率，但没有做进一步的数据挖掘，后续可调研电动自行车电池充电模式，建立一些通用模型，对比功率曲线，为用户提供电池性能建议。

（2）邻近充电桩快速搜索算法中，采用地球球面公式计算用户与充电桩的距离，但这并不代表用户到达充电桩的实际里程，后续可以结合路网信息，为用户提供更精准的服务。