

学校编码: 10384

分类号密级

学号: X2013232164

UDC

廈門大學

工程硕士学位论文

基于物联网的城市内涝监测预警系统的  
设计与实现

Design and Implementation of Urban Waterlogging Monitoring  
Management System Based on Internet of Things

陈博嘉

指导教师: 王鸿吉副教授

专业名称: 软件工程

论文提交日期: 2016年9月

论文答辩日期: 2016年11月

学位授予日期: 年 月

指导教师:

答辩委员会主席:

2016年9月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘 要

近几年，中国城镇化进程推进加速，但是城市基础设施建设相对滞后，城市规划工作跟不上城市变化的节奏，造成许多城市受内涝问题困扰。要解决城市内涝问题需要依靠工程措施及相应的非工程措施，但短期内难以进行大规模的工程措施建设，因此需要通过内涝监测预警系统的研究与建设，提升城市内涝监测预警能力，一定程度上缓解城市内涝所带来的影响。

本课题的研究目标是开发适用于内涝监测的专用硬件设备，进行适用于城区环境的一体化内涝监测站点设计，采用无线网络信息传输技术实现传感设备监测数据的汇集，并采用 GIS 技术和 WEBSERVICE 技术，基于 B/S 架构开发内涝监测预警系统，为保障城市安全、降低内涝对城市的破坏提供技术解决方案。课题从以下几方面展开了研究：监测设备设计、信息查询功能设计、涝情预测功能设计、预警发布功能设计、应急指挥调度功能设计、灾情统计设计，以及数据汇集子系统及数据库设计。

通过系统的建设，能够及时监测发现城市涝点积水情况并发布预警，协助调度人员开展内涝治理工作，减少内涝给城市人民生活生产带来的影响。

**关键词：**内涝监测；预警；物联网

## Abstract

In recent years, the urbanization process is accelerating in China. But the construction of urban infrastructure is relatively backward. Urban planning doesn't fit with the rhythm of urban change, resulting in many cities plagued by the problem of waterlogging. Solving urban waterlogging problems need to rely on engineering measures and corresponding non-engineering measures. In the short term, it's difficult to carry out large-scale measures construction. Therefore, it is necessary to improve the Urban Waterlogging Monitoring and early warning capabilities through the research and construction of Waterlogging Monitoring and early warning system. In some extent, this will alleviate bad impact caused by urban waterlogging.

The purpose of this thesis is to develop suitable hardware equipment for waterlogging monitoring, to design integrated waterlogging monitoring site for the urban environment, to use wireless network information transmission technology to achieve monitoring data, and to develop waterlogging monitoring and early warning system based on B / S architecture by using GIS technology and WEBSERVIECE technology for protecting urban safety and reducing waterlogging damage. The research contents are as follows: monitoring equipment design, information query function design, flood forecasting function design, early warning release function design, emergency command dispatching function design, disaster statistics function design, and data collection subsystem and database design.

The system can timely monitor urban waterlogging and release early warning, can help dispatchers to control waterlogging for reducing waterlogging impact of the people's life and production.

**Keywords:** Waterlogging Monitoring; Early Warning; Internet of Things

## 目录

<b>第一章绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 课题研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状分析.....	2
1.3 主要研究内容.....	3
1.4 论文结构安排.....	3
<b>第二章系统相关技术介绍</b> .....	<b>4</b>
2.1 内涝监测设备.....	4
2.2 B/S 架构.....	5
2.3 GIS 平台.....	7
2.4 Web Service 技术.....	7
2.5 前后端分离与跨平台技术.....	8
2.6 本章小结.....	9
<b>第三章系统需求分析</b> .....	<b>10</b>
3.1 系统的业务流程与用例分析.....	10
3.1.1 业务流程.....	10
3.1.2 用例分析.....	11
3.2 系统功能性需求.....	14
3.3 系统非功能性需求.....	15
3.4 本章小节.....	16
<b>第四章系统设计</b> .....	<b>17</b>
4.1 系统架构设计.....	17
4.3.1 软件架构设计.....	17

4.3.2 网络架构设计 .....	18
<b>4.2 系统功能结构设计 .....</b>	<b>18</b>
<b>4.4 监测系统设计 .....</b>	<b>19</b>
4.4.1 监测设备设计 .....	19
4.4.2 监测站点设计 .....	21
<b>4.5 业务系统功能详细设计 .....</b>	<b>23</b>
4.5.1 信息查询 .....	23
4.5.2 涝情预测 .....	27
4.5.3 预警发布 .....	27
4.5.4 应急指挥调度 .....	28
4.5.5 灾情统计 .....	28
4.5.6 系统管理 .....	29
<b>4.6 数据汇集及数据库设计 .....</b>	<b>29</b>
4.6.1 数据汇集系统 .....	29
4.6.2 数据库设计 .....	30
<b>4.7 本章小结 .....</b>	<b>33</b>
<b>第五章系统实现.....</b>	<b>34</b>
<b>5.1 系统的开发环境与运行环境 .....</b>	<b>34</b>
<b>5.2 系统功能实现 .....</b>	<b>34</b>
5.2.1 信息查询 .....	34
5.2.2 涝情预测 .....	47
5.2.3 预警发布 .....	51
5.2.4 应急指挥调度 .....	60
5.2.5 灾情统计 .....	66
<b>5.3 本章小结 .....</b>	<b>71</b>
<b>第六章系统测试.....</b>	<b>72</b>
<b>6.1 测试计划 .....</b>	<b>72</b>

<b>6.2 测试方法与测试工具</b> .....	<b>72</b>
<b>6.3 测试内容</b> .....	<b>73</b>
6.3.1 单项测试 .....	73
6.3.2 网络联机测试 .....	73
6.3.3 软件运行测试 .....	73
<b>6.4 测试结果分析</b> .....	<b>78</b>
<b>6.5 本章小结</b> .....	<b>78</b>
<b>第七章总结与展望</b> .....	<b>79</b>
7.1 总结 .....	79
7.2 不足与展望 .....	79
<b>参考文献</b> .....	<b>81</b>
<b>致谢</b> .....	<b>83</b>



## Contents

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Research Background and Significance.....	1
1.2 Analysis of Domestic and Foreign Research Status .....	2
1.3 Main Research Contents.....	3
1.4 Structure of the Thesis.....	3
<b>Chapter 2 Related Technologies .....</b>	<b>4</b>
2.1 Waterlogging Monitoring Equipment.....	4
2.2 B/S Architecture .....	5
2.3 GIS Platform.....	7
2.4 Web Service .....	7
2.5 Midway Framework and Cross Platform Technology .....	8
2.6 Summary .....	9
<b>Chapter 3 System Requirement Analysis .....</b>	<b>10</b>
3.1 Business Processes and Use Case Analysis.....	10
3.1.1 Business Processes .....	10
3.1.2 Use Case Analysis .....	11
3.2 Functional Requirements .....	14
3.3 Unfunctional Requirements .....	15
3.4 Summary .....	16
<b>Chapter 4 System Design.....</b>	<b>17</b>
4.1 System Functional Structure Design .....	17
4.2 System Architecture Design .....	17

4.2.1 Software Architecture Design .....	17
4.2.2 Network Architecture Design.....	18
<b>4.3 Design of Monitoring System .....</b>	<b>19</b>
4.3.1 Design of Monitoring Equipment.....	19
4.3.2 Design of Monitoring Site .....	21
<b>4.4 Software System Detailed Function Design .....</b>	<b>23</b>
4.4.1 Information Service .....	23
4.4.2 Waterlogging Forecast.....	27
4.4.3 Early Warning Information Release .....	27
4.4.4 Emergency Command and Dispatch .....	28
4.4.5 Disaster Statistics.....	28
<b>4.5 Data Collection and Database Design.....</b>	<b>29</b>
4.5.1 Data Collection System .....	29
4.5.2 Database Design .....	30
<b>4.6 Summary .....</b>	<b>33</b>
<b>Chapter 5 System Implementation.....</b>	<b>34</b>
<b>5.1 System Development Environment and Operating Environment.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2 Functional Implementation .....</b>	<b>34</b>
5.2.1 Information Service .....	34
5.2.2 Waterlogging Forecast.....	47
5.2.3 Early Warning Information Release .....	52
5.2.4 Emergency Command and Dispatch .....	60
5.2.5 Disaster Statistics.....	65
<b>5.3 Summary .....</b>	<b>71</b>
<b>Chapter 6 System Test.....</b>	<b>72</b>
<b>6.1 Test Plan.....</b>	<b>72</b>
<b>6.2 Test Methods and Tools.....</b>	<b>72</b>

<b>6.3 Test Content</b> .....	<b>73</b>
<b>6.3.1 Single Test</b> .....	<b>73</b>
<b>6.3.2 Network On-line Test</b> .....	<b>73</b>
<b>6.3.3 Software Running Test</b> .....	<b>73</b>
<b>6.4 Test Result</b> .....	<b>78</b>
<b>6.5 Summary</b> .....	<b>78</b>
<b>Chapter 7 Conclusion and Future Work</b> .....	<b>79</b>
<b>7.1 Conclusion</b> .....	<b>79</b>
<b>7.2 Future Work</b> .....	<b>79</b>
<b>References</b> .....	<b>81</b>
<b>Acknowledgements</b> .....	<b>83</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 课题研究背景及意义

近几年，中国城镇化进程推进加速，但是相对于城市面积的快速扩张，城区雨水可渗透地面越来越少，而市区降水汇集面却越来越大，城市管网建设、管理不到位，使得城市规划工作往往跟不上城市变化的节奏，造成许多城市深受内涝问题困扰<sup>[1]</sup>。当内涝发生时，造成交通阻塞甚至中断、污水乱流、物品被淹，还有可能造成传染疾病的流行等，极大的影响了社会公众的日常生活与工作<sup>[2]</sup>。根据住建部 2010 年针对国内 351 个城市所做的内涝问题的调研结果，在 2008 年到 2010 年 3 年的时间中，高达 62% 的城市出现过内涝问题，其中一年中出现过 3 次以上内涝问题的有 137 个城市。另据国家防汛抗旱总指挥部办公室统计，仅仅 2010 年，就有 258 座城市出现了内涝，中国城市内涝问题分布广泛，亟需受到重视<sup>[3]</sup>。

内涝已逐步成为我国频繁发生、损失严重并且影响较大自然灾害。当前防汛部门业务重点还侧重于大江大河及郊区野外方面，在城区内涝部分还处于起步阶段，随着内涝灾害发生频度越来越高，内涝对防汛部门的业务提出了新的需求。

要解决城市内涝问题需要依靠工程措施及相应的非工程措施进行合理结合，国务院办公厅已经出台“关于推进海绵城市建设的指导意见”指出，采用渗、滞、蓄、净、用、排等措施，到 2020 年将 70% 的降雨就地消纳和利用。

国家于 2015 年公布了厦门等 16 个“海绵城市”建设试点城市，通过政策、资金等多种方式支持各地开展城市内涝治理工作。但是，短期内在更大范围内开展大规模的工程措施建设，显然不是十分科学，因此需要先通过非工程措施的研究与建设，缓解城市内涝所带来的影响。内涝监测预警系统便是当下可行性较高的一种做法，其可以有效提升城市内涝监测预警能力。

城市内涝监测预警工作重点在于对城市内涝的监测，及时发现涝情并向民众发布预警，同时通过内部会商，做出相应的应对措施，减少涝情给城市带来的破坏。不同于传统防汛业务开展，城市往往具有变迁迅速、人口密集、交通量大等特点，传统的

水文监测预警方式将不能直接应用于城市内涝业务，2014年，从国家政策层面提出城市水文监测工作的重要性，也在一定层面上分析了城市水文监测业务的相关需求<sup>[4][5]</sup>。内涝监测预警系统的研究与设计可以借鉴相关标准，并在国内进行广泛推广。

此次将通过课题研究，梳理内涝监测预警业务流程，并提出合理的内涝监测预警解决方案，具体地，将开发适用于城市内涝的传感设备，构建城市内涝监测预警系统，提升城市内涝监测和内涝预警水平，实现城市内涝防治的科学管理。

## 1.2 国内外研究现状分析

内涝随着城市建设而产生，发达国家城市化进程推进的较早，对城市内涝风险特性和演变规律、城市内涝灾害防治的研究起步较早，已取得不少可借鉴学习的成果。而国内近几十年城市才开始发展，起步晚，对内涝的研究也相对较少，因此在内涝问题解决方面的经验与措施也十分有限。

传统的内涝监测多通过群众通过电话进行上报，或通过派遣相关车辆人员前往涝点进行巡查，然后通过电话设备上报涝点灾情，相关指挥部门需要对涝情上报利用各种方式审核确认后，通过电视媒体或广播进行预警发布，该种模式存在速度慢、信息量少、工作确认繁琐，而内涝来得快去的快，时间滞后的处理措施将直接影响相关防涝工作的效能。

因此，国内目前也有学者提出通过将传统水文设备安装与城市中，通过信息化手段来提升对内涝监测与内涝预警的实时性。显然，这种模式能够给内涝防治带来不少好处，但由于相关设备仅仅将内涝监测设备进行套用，其在内涝监测方面不一定适用，市面上鲜有针对内涝监测特点，专门开发的内涝监测设备。

软件系统层面，由于内涝防治信息化工作开展起步晚，因此信息化系统解决方案也十分有限，大多是通过涝点的监测，并在 Web 端进行水位提醒，未见有根据内涝防治业务流程的每个环节有针对性的开发信息系统模块。

为此提出本课题研究，希望通过课题研究得到更加满足内涝监测特点的系统硬件，并为内涝的有效监测预警提供一整套合理的软件解决方案。

### 1.3 主要研究内容

本文主要从系统开发角度，对课题研究工作进行梳理总结，主要分为四个部分：梳理内涝监测预警系统的实际需求以及相应业务流程，从宏观层面提出系统的设计思路与想法，结合内涝防治业务，对系统每个环节的详细设计进行说明，并就研究成果进行总结，提出系统未来可能发展方向。

### 1.4 论文结构安排

论文共有七章，分别从研究背景、意义，国内外现状，与系统相关技术、需求分析、系统详细设计及实现、系统测试、总结与展望几个部分展开描述，具体内容如下：

第一章绪论，本章介绍本课题研究的背景及意义，同时对当前国内外内涝监测预警系统的设计的研究现状进行分析，并简要描述本文的主要研究内容以及全文的结构安排。

第二章系统相关技术介绍，针对与内涝监测设备的设计、内涝监测预警系统的开发用到的关键技术进行介绍，具体包括内涝监测设备、B/S 架构、GIS 平台、Web Service 技术、前后端分离与跨平台技术。

第三章系统需求分析，对内涝监测预警系统的业务流程、用例、功能性需求及非功能性需求进行分析。

第四章系统设计，首先对系统的设计原则进行阐述，进而对系统的功能结构、软件架构、网络架构进行设计，对内涝监测设备及系统中涉及的各项功能进行详细说明，最后对系统涉及的数据汇集子系统及系统数据库进行设计。

第五章系统实现，主要介绍系统的开发环境与运行环境，说明系统各项功能如何实现。

第六章系统测试，介绍了系统的测试计划、测试方法与测试工具、测试内容，并进行了测试结果分析。

第七章总结与展望，对此次课题研究成果进行总结，并对系统存在的不足进行分析，对未来研究进行展望。

## 第二章 系统相关技术介绍

### 2.1 内涝监测设备

内涝监测预警系统通过在城市各重要节点布设传感设备，实现涝情的及时监测并基于监测结果发布实时预警。内涝监测本质上是实现对城市内积水点水位的监测。随着无线和有线通信技术的快速发展，采集传感器的种类越来越丰富，传统的水位监测设备较常见的有：浮子式水位计、超声波式/雷达水位计、压力式水位计、触点式水位计等，各种水位计的应用特点如下。

#### 1. 浮子式水位计

浮子式水位计应用广泛，通过在水环境中建设测井，利用井中浮子感应水位的升降，将水位变化转换成旋转运动，并通过将升降量借由转交量转换成设备可识别记录的信号，实现监测数据的采集与传输<sup>[6]</sup>。浮子式水位计由于测井建设，监测结果不易受天气、波浪、漂浮物等影响，监测性能较稳定，但由于需要建设测井，建设较为麻烦，投入高，同时该监测方式适用于长期有大量积水的水环境，且要求积水能在最短时间内进入测井。

#### 2. 超声波式/雷达水位计

超声波式/雷达式的水位计是最常见的非接触式水位计，其通过监测端向水环境发射能量波段，通过接收由水面反射回来的回波，测定监测端与水面间的距离<sup>[7][8]</sup>。超声波式/雷达水位计其最大优势在于其不需要开展土建工作，同时其体积小，安装方便，为现代水位监测站建设广泛采用。

#### 3. 压力式水位计

压力式水位计是基于压力与水深成正比例关系，实现水位的监测<sup>[9]</sup>。根据传感器的结构，可分为气泡压力式、电测压力式。压力式水位计由于其应用范围广泛，被广泛应用于适用于不便建测井的水位观测点。但是，压力式水位计需要对其在水环境中进行预埋，同时需要进行配套建设大量附属设备，其安装不便，也不利于城市景观。

#### 4. 触点式水位计

触点式水位计是远离最简单的水位计，其通过在竖直水尺上布设大量金属触点，利用水的导电性，当水漫过金属触点时导通电路的原理进行设计。触点式水位计安装方便，结构简单，应用范围广，可以根据精度要求选用不同分辨力的水位尺，不会因为环境产生误差。其应用难点在于内部程序的编辑，实现对多个不同触点的独立识别，安装应用时还需要考虑避免杂物对触点的影响。

通过分析，显然对于浮子式水位计和压力式水位计，其更适用于水量较大的河流、湖泊等传统水位监测环境，不适合城市内涝监测，超声波/雷达式水位计、压力式水位计由于其安装便捷，可以采纳，但目前的设备多根据河道、湖泊监控进行设计，需要根据内涝监测的实际需求对其进行改进。

## 2.2 B/S 架构

近年来，随着互联网用户数量的不断增加以及互联网技术的飞速发展，对信息系统平台的设计和开发提出了更加严格的要求。传统 C/S 结构的开发模式已经不能适用于当今人们对于信息系统使用环境。近年来流行的 B/S 结构开发模式，即浏览器和服务端结构，相较于 C/S 结构优势在于极大程度地简化了用户 PC 机的载荷，降低了系统安装、调试、使用、维护与升级的时间和难度。因此，本系统将遵循 B/S 结构进行开发设计，具体示意图如下：



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.