

基于传感网与 GIS 的智慧排水管网系统^①

吴星星¹, 王伟¹, 翁俊², 陈伟², 黄凌泓²

¹(武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

²(福州市勘测院, 福州 350000)

摘要: 针对城市排水设施复杂, 监控监管、规划及社会服务缺乏高效的管理手段的问题, 本文提出了基于传感网与 GIS 技术设计的排水防涝智慧管网系统的设计方案, 实现对排水管网的管理、规划、监控, 实时动态掌握管网管线的运行状态, 实现对排水管网“动态管理、预警预防、智慧决策”的最终目标, 提高排水防涝管理的效率、质量和水平。

关键词: 智慧管网; GIS; 传感网; 动态管理; 预警预防

引用格式: 吴星星, 王伟, 翁俊, 陈伟, 黄凌泓. 基于传感网与 GIS 的智慧排水管网系统. 计算机系统应用, 2017, 26(8): 43-48. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/5960.html>

Intelligent Drainage Pipe Network System Based on Sensor Network and GIS

WU Xing-Xing¹, WANG Wei¹, WENG Jun², CHEN Wei², HUANG Ling-Hong²

¹(State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying and Mapping, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

²(Fuzhou City Survey Institute, Fuzhou 350000, China)

Abstract: In view of the complexity of urban drainage facilities and the lack of effective management measures for supervision, planning and social services, this paper proposed a design scheme of intelligent drainage pipe network system based on sensor networks and GIS technology. The proposed design scheme achieved the management, planning and monitoring of the drainage pipe network as well as the controlling of the running state of the pipeline in real-time. In this study, the ultimate goal is to realize the “dynamic management, early warning and prevention, intelligent decision” of the drainage pipe networks, therefore to improve the efficiency, quality and management level of water logging drainage.

Key words: intelligent pipe network; GIS; sensor network; dynamic management; early warning and prevention

随着城市的发展, 城市排水管网的覆盖规模迅速扩张, 同时原有的排水管网日趋老化带来的管道堵塞和负荷过重等问题, 给排水管网的运行管理带来巨大压力^[1,2]. 另一方面, 目前对管网的监测大多采用人工监测采样的方法, 这种方法存在采集数据量小, 采样连续性差, 时间滞后等缺陷, 无法对排水管网进行及时的状态分析. 其次, 缺乏先进的管网运营监控软硬件技术对管道的运行状态进行实时监控和分析, 难以快速发现排水管网运营中的各类问题^[3](如管道堵塞、流量异常、节点溢流等), 无法分析这些问题产生的根源, 更

无法快速的做出及时有效的处理, 往往引发后续的溢流和污染事故.

为了解决上述问题, 需要建设一个融 GIS 系统和排水管网管理、监控一体的排水设施综合信息管理系统^[4,5], 提高城市排水设施的数字化、信息化管理和社会服务水平, 保障设施的安全稳定运行. 本系统采用传感网技术、在线监控技术、通讯传输技术、GIS 技术和动态模拟分析等技术构建城市排水管网监控系统, 将地下的网络结构及排水管道的运行状况以直观的图形或数据的形式快速准确的呈现在管理者面前. 实现

^① 收稿时间: 2016-12-12; 采用时间: 2017-01-20

对排水管网的“动态管理、预警预报、智慧决策”的目标^[6],有效的提高了排水防涝管理的效率、质量和水平。

同时,排水设施体现了一个城市的智慧与良心,其发展是城市发展的最直接和最简单的写照。因此,作为城市命脉和城市管理重要组成部分的排水设施的信息建设是智慧城市的基础,是提升城市信息化、智慧化以及民生服务化水平的重要措施。本文以福州排水管网作为研究对象展开研究,目标是将研究成果进行产品化推广,将为福州数字城市、智慧城市产业发展带来较好的推进^[7]。

1 系统架构设计

本系统基于福州市政务信息云平台,结合网络通信技术、GIS技术、北斗导航技术、移动技术及传感网等先进技术实现对排水设施的智慧化管理。通过水位、水质、流量、位置等不同感知设备的建设,实现对排水及排水设施运行状态的实时监控;利用大数据技术将基础地理信息数据、实时监控数据、排水设施数据、气象数据、历史经验数据等进行融合与挖掘,结合内涝模型分析内河水位变化情况以及管网排水情况,实现对城市内涝事件的预警预报、提供内涝应急预案,对城市内涝灾害的风险评估,为城市内涝的应急管理提供智能化的决策支持,降低或避免城市内涝造成的损失。

系统设计主要分为感知层、传输层、数据服务层、应用层。系统的架构设计如图1所示。

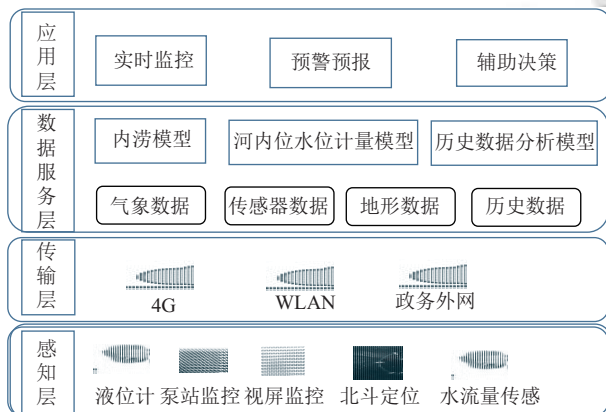


图1 系统架构设计图

(1) 感知层

感知层即通过感知设备获取监控区域环境信息,

感知层是信息采集的关键部分,是智慧管网的主要数据来源。项目中涉及到的感知设备包括巡查终端(排水管网巡查维护终端、群防群策巡查终端)、液位计、泵站监控设备(污水厂泵站、下穿通道泵站)、视频探头(污泥装卸点、易涝点)、北斗定位设备、电子标识。

(2) 传输层

传输层即为网络层,即通过通信网络进行数据信息传输,是感知层与数据服务层之间的桥梁。项目涉及到的网络类型包括4G网络、WLAN网、政务外网等网络。

(3) 数据服务层

数据服务层包括两部分,一部分是数据层,另外一部分是模型服务层。数据层,组织和管理感知层各种传感器实时感知的数据;服务层,接受应用层的数据处理请求,进行数据更新处理、预警防涝分析、辅助决策等过程的模型服务。本系统数据类型包括矢量地图、影像地图、排水管网数据、排涝设施数据、管网巡查维护数据、内涝模型数据等。模型服务层包括SWMM模型服务、内涝模型服务、内河水位计算模拟等模型服务。

(4) 应用层

为满足现有及未来福州市排水设施业务管理需要,实现动态管理、预警预报、智慧管网管理目标,本项目涉及的业务应用主要包括污水厂泵站在线监控及污泥处置跟踪、排水防涝在线监控预警预报、排水防涝应急处置管理、下穿通道防涝预警监控等应用。

2 关键技术

系统涉及传感网技术、网络通信技术、北斗导航技术、大数据技术及GIS等技术,主要的关键技术是传感器数据按需获取技术、排水管网三维建模技术、排水预警信息实时发布技术。

2.1 传感器数据按需获取技术

要实现视频、遥感影像数据的按需预订与获取(图2),主要需要两个步骤:第一,查找待监测区域需要的传感器(基于OGC/CSW规范实现);第二,对已经查找到的传感器分配规划任务,实现传感器在计划的时间段主动获取数据(基于SPS实现)。

传感网目录服务(OGC/CSW)用于查找在目录服务中注册的传感器,OGC/CSW提供的接口有: GetCapabilities、DescribeRecord、GetDomain、Get-

Records 与 GetRecordById 等. 其中, GetCapabilities 接口用于获取传感器网络目录服务中传感器元数据信息模型的所有类型, 其中包括传感器标识信息、传感器提供者、支持的操作等信息; DescribeRecord 接口用于描述传感器元数据信息模型的每一种类型的详细定义; GetDomain 接口用于获取元数据中各类参数的范围; GetRecords 与 GetRecordById 操作实现对符合 CSW 查询模式的查询语句返回传感器元数据的查询结果, 其中, GetRecordById 通过唯一标识 ID 查找传感器元数据结果, 通过 OGC/CSW 规范提供的各种查询操作可以实现传感器的按需获取.

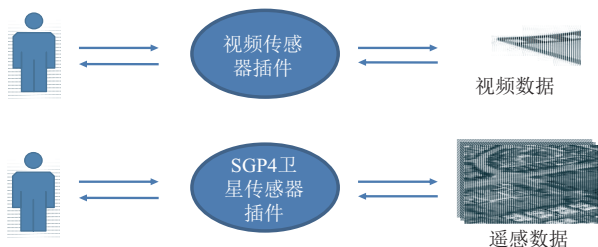


图2 视频、遥感影像数据的按需预订与获取

传感器规划服务(SPS)标准规范, 用于管理和规划多源异构的传感器. 其中 SPS 服务提供的接口有: GetCapabilities、Describe Tasking、submit、GetFeasibility. GetCapabilities 操作用于获取该服务元数据信息(即服务能力和支持的操作); Describe Tasking 操作用于对视屏传感器任务参数的描述, 为客户端提供视屏传感器构建规划服务的参考说明, 其中包括视屏传感器的转动角度的范围、光圈调节、镜头调焦参数的范围, 以及这些参数是否为必选等内容. 客户端根据 Describe Tasking 接口提供的任务参数描述后, 构建视屏传感器规划请求, 并通过 submit 操作将规划任务提交至传感器; GetFeasibility 用于判断用户构建的传感器规划服务是否可行、并且满足规划服务的要求. 基于以上规范要求开发视屏传感器插件, 将用户创建的规划服务提交给视屏传感器, 实现视频数据按需预定与在线获取; 同时利用 SGP4 算法及遥感传感器基本能力信息, 预测遥感数据的时空覆盖, 为遥感数据按需获取提供依据.

2.2 排水管网三维建模技术

对于数字流域这样的大型仿真系统, 要按照实体位置的分布情况, 对场景区域进行分割, 并由此划分场

景的层次结构, 综合每个实体的空间位置关系、模型间的结构关系、模型内部的结构关系来确定三维场景中所有实体模型的层次结构, 通过场景模型的层次结构和分块提高模型的可组织性和显示效率, 虚拟现实场景中场景的建模依据物体的几何特征、位置分类划分, 从而确定场景的总体层次, 再对实体按其结构进行层次分解, 利用建模软件建立对应的树状层次结构, 直到底层分解到基本图元结构, 最终生成多级静态 LOD, 在场景漫游过程中通过组织调配与实时生成的 DEM 地形场景动态融合在一起.

2.3 排水预警信息实时发布技术

动态信息发布, 即将各监测站点实时采集的数值数据, 通过网络传输, 在客户端或者网页上以数值、位图、矢量图的形式实时模拟现场的各种情况. 本文主要基于 Web Services 以及事件的机制, 实现排水预警信息实时发布. 技术的实现主要涉及到 Web 数据库访问技术, 信息实时刷新技术、ASP 邮件服务等技术.

基于 Web Services 事件机制的实时数据的发布, 首先, 需要将传感器感知数据通过网络传输至 Web 服务层, 其中, 传感器数据采集系统作为事件服务的数据提供端, Web 服务层作为事件服务数据的消费端, 之后这些数据作为数据服务注册到 UUDI, 不同的时间段的数据服务以不同的接口向外暴露, 系统可以通过 WSDL(网络服务描述语言)来绑定事件服务. 服务层的数据通过 SOAP 包传输至系统客户端, 同时为了保证系统客户端数据显示的实时有效性, 在 SOAP 包的头结点添加了两个子节点, 一个是数据采集的创建时间, 另外一个为过期时间. 当系统接收到数据的时候, 通过对比这两个节点, 可以判断数据是否有效.

信息实时刷新是解决动态显示的关键, 需要页面显示的内容随着 Web 数据库中数据的变化而实时变化. 为了保证用户界面实时效果和页面的美观、稳定性, 因此需要实现局部内容刷新. ASP 邮件服务能为动态信息发布的用户提供在线咨询、信息订阅等功能. 不同的用户根据业务需求订阅相关信息, 提高数据的针对性和实用性.

3 系统实现

根据系统的架构设计以及关键技术, 基于 ArcGIS 二次开发平台开发了基于传感网与 GIS 的智慧排水管网系统. 系统的主要功能有: GIS、实时监控、实时数

据、历史数据、设备管理、报警信息、报警管理、系统日志、用户管理、系统设置管理。系统的主界面如图3所示,其中实时动态监测、预警预报以及辅助决策是系统的核心功能,下面主要围绕核心功能进行介绍。



图3 系统主界面

3.1 实时监控

监控系统实时监控的对象包括泵站的运行情况、易涝点水位、重点路段的水位、下穿通道水位。其中泵站运行情况通过前端感知设备(PLC、智能箱)实时监控;易涝点水位、重点路段、下穿通道等通过前端感知设备(视频、液位计、泵站)进行监控。这些感知设备的实时监控数据作为内涝分析的重要输入参数和参考数据,能提高内涝预警预报准确性和实时性。通过网络将实时监控数据传输到系统,系统对感知的数据处理换算转化为系统数据,实现感知数据的具体形象化,便于用户理解并采取相应的措施,实现对易涝点、重点监控路段等重点监控位置的实时监测,并对流量、液位、视频等实时数据进行可视化显示;如图4所示,是三环路福飞路口泵1、泵2、泵3的实时监控数据,系统对传感器的数据换算后,可以看到实际水池高度4米,液位计离行车路面高度:3.3米,泵的最低保护液位:1.5米,1号泵工作位置:1.8米,2号泵工作位置:2米,3号泵工作位置:2.3米,预警水位:3.3米,警戒水位:3.6米。通过该传感器的实时监控数据,为预警预报提供数据支撑,可以有效的起到预警预防的作用。

除了实时的在线监控数据,系统也提供了历史数据的查询功能,查询的方式是以小时为单位,可以查询任意一个时间段的监控数据,如图5所示是2017年1月1日11:45至12:40时间段福飞路下穿通道、迎宾路雨水泵房、首山路雨水泵房、桂山路泵房以及福飞路雨水泵房监测的水位高度情况,用户可以查询任意目标位置(泵站布置位置)、任意时间节点的实际水

位情况,方便用户了解每个区域的历史水位情况。除了实时在线监控数据,历史监控数据同样是防涝预警预报的重要输入参数。另外,可以对历史的水位情况做统计分析,通过灰色预测的数学方法预测将来的水位变化趋势,所以水位历史数据的保存和查找功能具有重要的意义。



图4 传感器实时监控数据

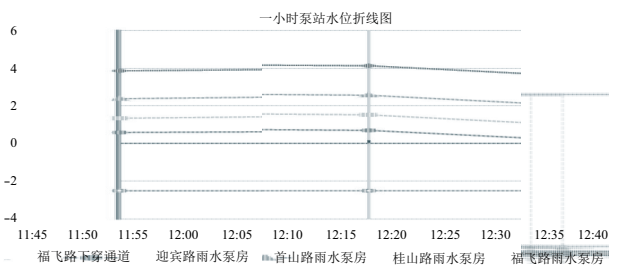


图5 泵站实时监控历史数据

3.2 预警预报

排水防涝预警预报可以实现在内涝发生前及时发出预警,为抢险准备工作争取时间,在内涝发生时迅速发出报警,可第一时间开展应急抢险工作。如图6所示是排水防涝预警流程图,系统集成城市内涝分析模型,内涝模型需要多种输入参数,包括气象雨情数据、内河水位、管网水位等在线监控数据、城市排水管网情况、下垫面数据、高程数据、关键点位水位水量数据等,模型根据输入参数,自动计算出在一个雨情时间内城市内涝变化情况。由于城市内涝分析模型受限条件很多,如基础排水设施数据准确性、城市其他排涝设施数据准确性、关键水位感知点数量等,因此模型分析结果只能作为初步参考,还需结合福州市历史内涝经验数据进行综合分析,最后得出城市是否进行内涝预警报警的结果,如图7所示为水位监测点超过阈值发出智能报警,排水在线监控值班人员将第一时间发现警情,并通知相关部门及人员,进行相应内涝处置。

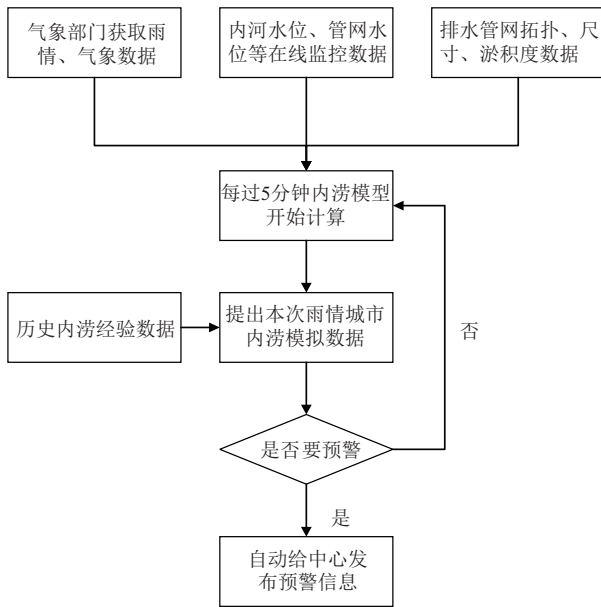


图6 排水防涝预警流程图



图7 水位监测点超过阈值报警

3.3 应急处置

系统利用 GIS 强大的空间分析能力可以辅助排水防涝指挥人员、现场作业人员, 实现对排水防涝应急抢险工作快速处理、结果反馈、信息交互联动^[8-10]。图8所示是内涝预警报警处理流程图, 系统事先设定相应的阈值, 通过实时监控泵房、通道水位、视频等关键节点的数据, 当监测的数值接近预警值, 系统会自动发送预警信息和视屏信息到处理中心, 排水防涝应急调度指挥员通过大屏监控涝情点水位、涝点现场画面, 通过排水防涝应急管理系统实时了解排涝应急车辆、人员等资源的存量、调度、抢险情况。系统根据气象、雨情实时预报数据, 自动调出不同等级的排涝应急抢险预案和抢险工作流程, 排水防涝应急调度指挥员根据应急工作流程, 通过系统调度排涝应急资源, 包括抢险班组通知调动、抽水车调用、抽水泵和清淤工

具配备等, 通过电子地图指明险情发生地, 获取周边相关涝情信息及相关资料, 实现相关人员和设备的及时到场和有效抢险。排水防涝应急现场处理人员将现场处理方案、险情处理情况及时反馈给排水防涝应急管理系统, 实现与中心指挥人员间信息实时互通。如图9所示为警报应急详细措施方案。

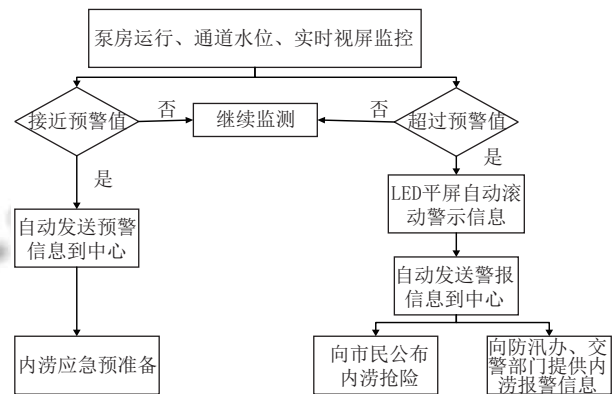


图8 内涝预警报警处理流程图

时间	等级	状态
2016-09-30 08:10	IV级预案	IV级
2016-09-29 15:46	IV级	IV级
2016-09-29 15:46	IV级	IV级
2016-09-29 09:27	IV级	IV级
2016-09-29 08:16	IV级	IV级
2016-09-29 08:16	IV级	IV级
2016-09-28 07:49	IV级	IV级
2016-09-27 23:30	IV级	IV级
2016-09-27 11:18	IV级	IV级
2016-09-27 11:17	IV级	IV级

图9 警报应急措施

图9为福州市气象台2016年9月30日6时10分变更发布暴雨蓝色预警信号的应急预案, 从表中可以看出, 预案等级: IV级预案; 警情接入:13; 积水点:110; 启动长:70:14:23; 并且在不同的时间段根据降雨量的不同以及实际的排水情况采用不同的预案等级, 同时不同的预案等级配备不同的设备和人员, 使设备和人员都能得到高效和充分的利用。

为了验证系统预警预报的可行性, 本文基于系统提供的涝情统计分析功能, 列举了不同地区的预警预报与实际的积水原因, 如图表1为涝情统计分析表, 通过实时监控的数据, 系统自动创建预警信息, 同时生成相应的预案等级, 以及预警预报采取应急处理时统计的实际情况(如积水原因)。从表1可以看出积水情况同是15CM40 m²以上的仓山区福州海峡奥林匹克体育中心体育场与晋安区五四北亿力秀山内(满洋路南), 但

是预案等级不一样,分别是II级预案和III级预案.原因是一个是管道堵塞,另外一个是因为排水不急,两者的积水原因不一样,造成的积水效果也不一样,所以对应

于不同的预案等级.同时,系统每次的预警预报都有相对应的实际原因,可见系统的预警预报以及预案等级的设计,具有一定的可行性.

表1 涝情统计分析

预警地址	创建时间	预案等级	实际积水原因	积水情况
仓山区福州海峡奥林匹克体育中心体育场	2017-01-03 09:38	II级预案	管道堵塞	15CM40 m ² 以上
中国福建省福州市仓山区奥体路	2016-12-16 11:44	IV级预案	雨量太大排水不及	15CM40 m ² 以上
鼓楼区西二环柳桥(医大口腔医院)公交站北	2016-10-08 19:23	V级预案	其他原因	15CM40 m ² 以下
晋安区五四北亿力秀山内(满洋路南)	2016-10-08 18:29	III级预案	雨量太大排水不及	15CM40 m ² 以上

4 结语

系统提供专业的业务管理和辅助支撑,从排水设施日常维护、动态监控,到整个城市排水防涝事件处理、预警预报.从排水管理专业出发,用先进的智能感知、GIS、时空定位技术,改变了传统排水设施管理工作模式,提升了管理工作水平.并且各个子系统模块之间实现了系统的互通合作,数据消息互为应用和支撑,实现重要信息的快速网络传递,进一步提升了排水管理工作效率,实现对排水管网的动态管理、预警预报以及对警情的智慧处理等功能.

参考文献

- 章媛.城市排水管网业务信息系统的研究与开发[硕士学位论文].武汉:中国地质大学,2007.
- 谢莹莹.城市排水管网系统模拟方法和应用[硕士学位论文].上海:同济大学,2007.
- 吉乔伟.时用水量预测及供水管网节点流量反分析研究[硕士学位论文].杭州:浙江大学,2007.
- 吴荣安.基于GIS城市排水管网管理系统设计与实现[硕士学位论文].济南:山东大学,2015.
- 刘瑜,王玮.排水设施Gis数据成功实施的几个问题.天津市政工程,2007,(3):26-28.
- 陈泽强.传感网整合关键技术研究[博士学位论文].武汉:武汉大学,2012.
- 杨堂堂.从数字城市到智慧城市的建设思路与技术方法研究.地理信息世界,2013,20(1):63-67.
- 陈叶.基于GIS和空间关联规则的警情研判分析系统的研究与设计[硕士学位论文].武汉:中国地质大学,2010.
- 肖锋,朱琦.GIS支持下应急指挥辅助决策系统的研究与实现.测绘与空间地理信息,2015,38(3):119-120,124.
- 汪艳红,何世杰,张洪军.基于GIS的决策指挥信息系统设计与实现.测绘与空间地理信息,2010,33(4):128-129,132.