

面向智慧城市应急响应的异构传感器集成共享方法

胡楚丽^{1,2} 陈能成² 关庆锋¹ 李 佳² 王晓蕾² 杨训亮²

¹(中国地质大学(武汉)信息工程学院 武汉 430074)

²(测绘遥感信息工程国家重点实验室(武汉大学) 武汉 430079)

(andyhuli@tom.com)

An Integration and Sharing Method for Heterogeneous Sensors Oriented to Emergency Response in Smart City

Hu Chuli^{1,2}, Chen Nengcheng², Guan Qingfeng¹, Li Jia², Wang Xiaolei², and Yang Xunliang²

¹(Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074)

²(State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing (Wuhan University), Wuhan 430079)

Abstract It can be said that smart city will be built on the observations of sensors. Nowadays, city sensors have the features of being diverse in sensor type, different in observation mechanism and huge in quantity, and they represent a closed, isolated and autonomous observation scenario. Facing with complex city emergency events, it is inefficient to manage those heterogeneous city sensors via World Wide Web. The scarcity of the real-time, right and reliable data sourced from physical sensors and the inefficiency of emergency response decision-making seriously hinder the “smart” process of emergency response in smart city. We propose a framework for the integrating and sharing of heterogeneous city sensors oriented to emergency response. Firstly those heterogeneous sensors are uniformly described; Secondly we register them into a standard Web-based catalogue service and the registered sensor resources can be on-demand discovered; Thirdly, we construct an integration and sharing platform for city heterogeneous sensors. Last, we use waterlogging emergency response of Wuhan city as the disaster application to verify the feasibility and extensibility of integration and sharing method for heterogeneous flood-related sensors. The result shows that the proposed framework promotes the shift of heterogeneous waterlogging sensors from the observation island to integration management situation, which can lay a solid basis for sensor sharing and observation planning required in smart city emergency response.

Key words emergency response; smart city; sensor Web; waterlogging; sensor resources sharing; integration management

摘 要 智慧城市的实现是建立在传感器资源观测应用之上。城市传感器资源类型多样,观测机理各异,数量巨大,它们呈现出封闭、孤立和自治性。面对复合的城市应急事件时,基于万维网的城市异构传感器资源管理低效,导致城市应急响应的实时可靠数据来源匮乏与决策低效,严重阻碍了城市应急响应的“智慧化”。提出了面向智慧城市应急响应的异构传感器资源集成共享框架,通过将城市异构传感器资源

收稿日期:2013-07-29;修回日期:2013-11-18

基金项目:国家“八六三”高技术研究发展计划基金项目(2013AA01A608);国家“九七三”重点基础研究发展计划基金项目(2011CB7071);国家自然科学基金项目(41171315);教育部新世纪优秀人才基金项目(NCET-11-0394);教育部高等学校博士点新教师基金项目(20130145120013)

通信作者:胡楚丽(andyhuli@tom.com);陈能成(cnc@whu.edu.cn)

统一化描述,然后基于标准的网络目录服务进行传感器资源万维网注册与按需发现,构建了城市异构传感器资源集成共享平台,以武汉内涝型灾害应急响应为案例,验证了城市内涝监测传感器资源的集成共享的可行性和可扩展性,促使城市分布式异构传感器资源从“观测孤岛”到“集成共享”的转变,为智慧城市应急响应所需的传感器资源共享与观测规划提供依据。

关键词 应急响应;智慧城市;传感网;内涝;传感器共享;集成管理

中图法分类号 TP212.9; TP393.3

美国《商业周刊》1999年8月30日刊登的“21世纪的21种设想”中指出“地球将披上一层电子皮肤”,即全球泛在传感器。李德仁等人^[1]指出在智慧城市建设中,传感器技术作为现代信息技术的三大基础之一,它完成对城市观测信息的采集。世界无线研究论坛(wireless world research forum, WWRF)在2006年6月曾预测,到2017年将有7万亿传感器为地球上的70亿人口提供服务^[2]。2007年《Pervasive Computing》杂志文章^[3]指出,如何对这些密集型的传感器资源进行集成共享是一个大的挑战。

随着城市建设的高速发展,我们面临着多种应急突发情景:自然灾害、事故灾难、公共卫生、社会安全等。这些应急突发事件造成严重的人员伤亡和重大的财产损失。在智慧城市建设过程中,城市智慧化应急响应尤为重要。结合智慧城市应急响应资源管理需求^[4-7],胡楚丽^[8]指出及时、准确、全面与统一地发现和利用传感器资源是对分布式、海量与异构资源集成共享的全面体现。

随着传感器往微型化、网络化与低廉化方向发展,目前城市各部门各行业布设了形形色色的传感器,但这些传感器类型多样,观测机理各异,数量巨大,它们呈现出封闭、孤立和自治性。过去,国内外传感器资源管理研究^[9-10]主要是在传感器网络(sensor network)环境下,传感器管理分为3个级别:1)传感器级,侧重对传感器的工作模式或参数(如指向、频率)的调控;2)平台级,侧重于观测任务与多传感器之间的匹配与优化;3)网络级,继传感器级和平台级的延续,能实现对传感器的网络通信控制。但是,这3个级别都是针对已知或应用领域专属的传感器资源。在目前基于万维网的传感器网络环境下,海量的城市传感器资源必然是异构、跨领域、多部门与地理区域随机分布的,因此,针对复合的、需要协同观测的城市应急来说,必然存在还未被充分利用或单应用领域所不熟悉的传感器资源。由于缺乏统一、可共享的传感器资源描述模型和高效的管理方法,在面對城市复杂应急事件观测时,城市异构传感器资源

管理低效,表现在配置不准确、不全面与不及时,即传感器资源发现、规划与调度低效^[11],从而应急数据获取手段单一,质量低下与时间滞后,直接导致城市应急响应决策低效,严重阻碍了城市应急响应的“智慧化”。

应急响应所需的数据主要包括历史存档和实时观测两部分,本文侧重于实时观测部分。城市信息实时观测的范围大致包括气象数据、地震数据、交通数据、水文数据、环境、特重大安全事件等。2006年《自然》杂志发表的封面论文“2020 Vision”认为,观测网将首次大规模地实现实时获取现实世界的数据^[12]。传感器资源是收集、探测、记录一切实时感知信息的工具,针对城市应急时传感器资源管理低效,本文开展面向智慧城市应急响应的异构传感器资源集成共享研究。通过统一描述城市异构传感器资源,构建起万维网可访问的城市传感器资源注册中心,实现城市异构传感器的共享与集成化管理,为智慧城市应对灾害的全面观测、快速响应、高效决策奠定基础。

1 相关研究

1.1 传感器信息描述与共享元数据

为了克服异构传感器网络的连接和传感器资源共享所存在的问题,学术界作了大量的研究工作,如表1所示,目前主要存在的传感器信息描述标准^[13]有:SensorML(sensor markup language),IEEE1451, ECHONET(energy conservation and homecare network), Device Kit, TML(transducer markup language),DDL(device description language)等,它们从编码方式、设计模式与应用领域等都各有侧重点。其中,IEEE 1451与SensorML这两个标准存在很大的差别:IEEE 1451^[14]侧重于传感器硬件接口的标准化,且倾向于底层的设计,TEDS描述了传感器的基本功能(如硬件、校准、感测、属性),但它不能在逻辑意义上提供传感器的额外描述信息,它也不能描述高层的数据处理过程,得转换为应用层所需的

数据类型;而 SensorML^[15]正好可以克服 TEDS 这两方面的缺陷, SensorML 侧重于传感器的互联网

共享与互操作. 其他几种信息交换标准主要被应用于各自专属领域, 不具普适性.

Table 1 Comparison between Typical Sensor Information Expression Standards

表 1 传感器信息描述标准比较

Aspect	SensorML	IEEE 1451	ECHONET	DeviceKit Standard	DDL Standard
Sensor Information Description	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Encoding	XML	Interface Definition Language	TextClass	XML	XML
Supporting to Sensor Discovery	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Design Model	Process-Oriented	Modular-Oriented	Object-Oriented	Modular-Oriented	Data-Oriented
Parse Mechanism	DOM Parse	TEDS Parse in Binary	Instrument Specification Parse	DKML Language Parser and Eclipse Plug-in	DDL Processor and Atlas Bundle Generator
Supporting to Sensor Observation Processing	Yes	No	No	No	No
Supporting to Web Service	Yes	No	No	No	No
Application Domain	Sharing and Interoperability	Network Communication Interface Standardization	Home Sensor Integration	Virtual Sensor	Smart Device Integration

利用元数据的标准化来统一管理分散的数据资源, 并基于网络实现数据资源共享与服务, 该模式得到了普遍理解和认同^[16]. 基于这种技术背景, 为了尽快建立自身的共享系统, 国内外许多行业数据中

心纷纷制定自己的元数据标准, 服务于本行业或部门的数据交换与共享.

如表 2 所示, 地理空间或传感器相关元数据标准主要有 8 种^[17], 其包含的要素如下:

Table 2 Comparison between Typical Geospatial and Sensor-related Metadata Standards

表 2 地理空间与传感器相关的元数据标准

Features	NASA GCMD Keywords	GCMD DIF AD-I	GCMD DIF AD-P	FGDC-Remote Sensing Extension	ISO 19115	ISO 19115-2	ISO 19130	NGA CSM
Keywords	√	×	×	×	√	√	×	×
Identifier	×	√	√	√	√	√	○	○
Constrain	×	×	×	√	√	√	×	×
Quality	×	×	×	√	√	√	×	×
Sensor Info	×	√	×	○	×	○	○	○
Platform Info	×	×	√	○	×	○	○	○
Product Info	×	×	×	×	×	×	×	×
Spatial Reference	×	×	×	√	√	√	×	×
Temporal Reference	×	×	×	√	√	√	×	×
Acquisition	×	×	×	√	×	√	○	○
Accessibility	×	×	×	○	○	○	×	×
Geolocation	×	×	×	×	×	×	√	√
Domain	Keywords	Instrument	Platform	Satellite Date	Geography Data	Imagery and Grid Data	Imagery Sensor Model	Imagery Sensor Model Implementation
Usage	Data Set	Auxiliary Description	Auxiliary Description	Data Set	Data Set	Data Set	Geolocation of Imagery Data	Implementation of Geolocating of Imagery Data
Encoding	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

√: Support; ○: Partly Support; ×: None Support

2008年,Simonis和Echterhoff^[18]指出传感器、平台和传感器观测数据的元数据对应急响应时资源共享起着重要的作用.2009年,Di等人^[19]指出上述的元数据标准都没有完全满足万维网环境下传感器共享与互操作的需求.针对城市应急所需的传感器资源,目前没有任何关于城市传感器元数据标准的发布.

1.2 传感器资源注册与发现

2005年,开放地理空间信息联盟(Open Geospatial Consortium, OGC)开发了网络目录服务(catalogue service for Web, CSW)^[20].2007年,OGC/CSW宣布采用ebRIM(ebXML registry information model)作为其核心信息模型.基于CSW-ebRIM模式的目录服务已经广泛用于空间信息服务以及空间数据的发布与发现^[8],典型的空信息/数据共享中心包括:美国航空航天局对地观测数据交换系统(NASA EOS clearinghouse, ECHO);美国国家大气和海洋管理委员会(NOAA)的CLASS数据交换系统;美国地质调查局(USGS)的Landsat目录系统以及乔治梅森大学地球科学空间研究中心(GMU CSISS)的CWIC查询系统等.在城市应急响应中,传感器资源的时、空、观测属性尤为重要,它直接决定该资源是否适合于应急观测.在OGC背景下,传感器资源被当作一种地理空间信息资源.

随着近10年来OGC的发展,将传感器资源通过CSW进行管理的研究引起了人们的重视.Chen等人^[21]设计并实现了一个用来存储和查询传感器观测服务的网络目录服务系统.Houbie等人^[22]研究了OGC传感器信息模型与网络目录服务所采纳的注册信息模型间的扩展规则与机制.Jirka等人^[23]重点研究了网络目录服务中所需的传感器信息注册与发现所需的最小元数据集.欧盟52North组织设计并开发了一个基于Web的传感器注册框架,该框架为传感器以及相关观测资源的发现提供了传感器注册服务(sensor instance registry, SIR)和传感器观测注册服务(sensor observable registry, SOR).但SIR和SOR都不是基于OGC标准网络目录服务实现的,因此它们并不具有普适性.为了实现传感器资源的高效管理,Chen等人^[24]提出了一种基于能力匹配和本体推理的高精度Web地图服务发现方法,提高了服务发现效率和精度,可以获得更细粒度的查询内容.Yue等人^[25]提出了一种面向服务的地理空间要素发现方法,采用面向服务架构的

开放性和灵活性挖掘复杂要素的空间特征.虽然地理空间信息资源发现方法已有很多,但对于异构传感器资源来说,仍缺乏基于标准网络目录服务和统一传感器资源描述模型的细粒度发现方法^[26].总之,尽管OGC所发布的系列标准得到广泛认同和开发,但目前缺乏基于传感器资源描述模型和标准CSW的传感器资源注册机制,尤其是应急响应时,用户未能基于标准Web服务的传感器细粒度精确发现,导致城市传感器得不到广泛共享与合理利用.

1.3 城市传感器资源共享管理门户

目前迅猛发展的万维网技术是促使传感器资源在线应用的关键因素.传感器管理门户允许各级传感器提供者发布并共享管理传感器资源,它们都提供一种功能:基于B/S架构来实现浏览器端的传感器在线访问.现有的此类传感器管理门户包括:微软SensorMap^[27],US EarthCam, SensorBase^[28], Sensorpedia^[29],CEOS,STK以及武汉的“智慧之眼”^①等.但是现存的管理门户标准各异,它们各自支持专属的数据格式,所支持的传感器类型也不一致.如微软SensorMap主要用于发布现场(in-situ)传感器;US EarthCam支持城市视频网络的接入,CEOS统计了各类对地观测卫星及其搭载的传感器参数信息;美国AGI公司的STK工具可以支持对卫星的仿真;武汉“智慧之眼”平台是在数字城市基础框架上集成视频的智能应用,将武汉市25万多个视频传感器与地理信息平台进行融合,授权用户可以随时在感兴趣和触发报警的地理位置上共享并调用视频传感器.其实现主要是基于网络技术与地理空间地图;它们所支持的传感器资源发布不是采用统一标准的注册机制,而仅仅是一个标准各异的传感器资源发布门户,因此未能有效地为应急决策提供异构传感器观测能力信息.

2 基于OGC传感网的城市异构传感器资源集成共享架构

OGC是一个国际化、非盈利性与非强制性的标准组织,它引领地理空间信息服务标准的发展.OGC的主要对象是地理空间信息,它旨在将万维网与时空数据、服务一体化集成,使得地理数据与地理空间处理服务都能实现共享与互操作.OGC传感网使能体系^[30](sensor Web enablement, SWE)工作

①http://spe.cps.com.cn/secuspe/whspjk/

组成立于 2003 年,作为 OGC 联盟的一部分,它发布了一系列旨在将传感器集成到地理空间万维网的标准,包括传感器信息模型与传感器服务接口。

本文所提出的城市传感器资源集成共享旨在将城市异构、海量、离散的传感器资源通过标准统一的信息描述机制进行表达,然后基于标准的网络目录服务(CSW)进行万维网注册与按需发现. 总之,通过统一的信息模型和标准的目录服务,实现分布式

异构传感器资源的广泛共享,促使城市传感器资源从“观测孤岛”到“集成共享”的转变。

图 1 所示的城市异构传感器资源集成共享架构,核心是城市传感器资源目录服务中心,基础是城市异构传感器资源建模,关键是采用面向服务架构和事件驱动体系,在应急响应时,传感器资源请求者根据应急事件观测请求,按需在城市传感器资源目录服务中心中匹配符合应急观测请求的传感器资源。

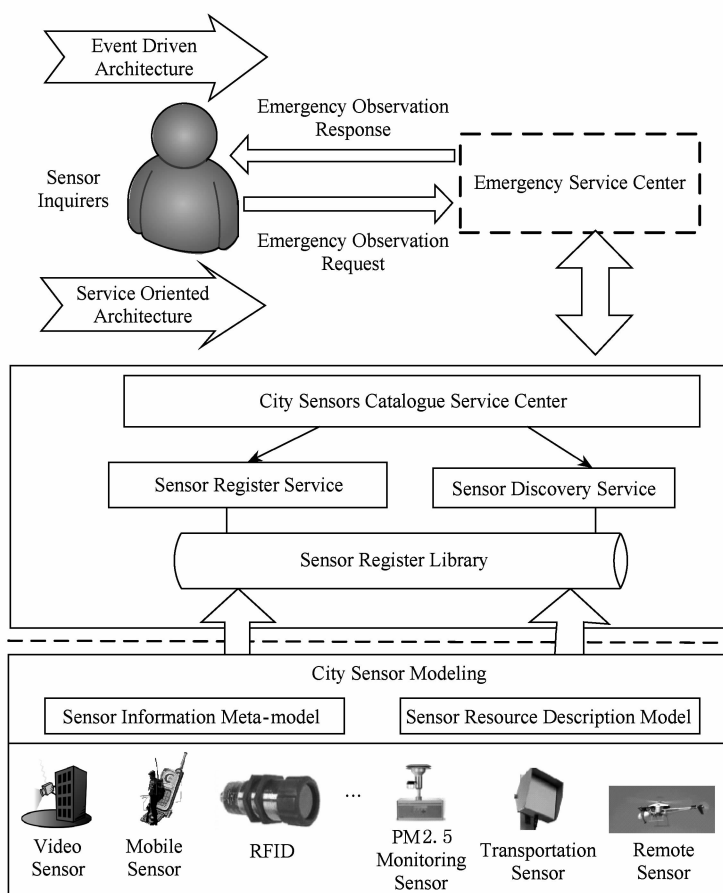


Fig. 1 City sensors integration and sharing architecture oriented to emergency response.

图 1 面向应急响应的城市传感器资源集成共享架构

在城市异构传感器资源建模模块,本文采用 OGC 传感网信息描述标准——传感器建模语言(SensorML)作为传感器资源信息形式化载体. 相比于其他传感器信息描述标准(如表 1 所示),OGC SensorML 具有非常清晰的描述层次, SensorML 可用于描述传感器及其观测系统相关的元数据信息,用作传感器资源的发现与共享。

在城市传感器资源目录服务中心模块,本文采用 OGC CSW 作为标准接口,在此基础上设计城市传感器资源万维网注册与发现方法. 传感器注册的核心是将基于 OGC SensorML 形式化表达的传感

器资源描述模型转换到基于 CSW-ebRIM 模式的注册信息模型,从而实现传感器资源信息的注册与存储. 传感器发现的核心是设计能全面、多层次、细粒度表达应急观测请求的元数据查询项,基于 OGC CSW 查询操作,实现“应急观测事件—传感器资源”的关联发现。

3 城市传感器资源建模

3.1 城市传感器资源分类

智慧城市的实现是建立在传感器资源观测应用

之上。城市传感器资源的种类繁多,原理各异,检测对象五花八门,为了更好地归纳、表达及共享传感器能力特征,首要任务是建立城市传感器的分类。然而,城市传感器资源的分类目前尚无统一规定,国内外研究机构及教育机构通常将传感器按下列原

则进行分类:1)按能量的传递方式;2)按被检测量;3)按工作原理;4)按传感器观测机理;5)按用途;6)按材质等,总之国内外没有统一的城市传感器分类标准。

图2所示为智慧城市应急响应观测场景:

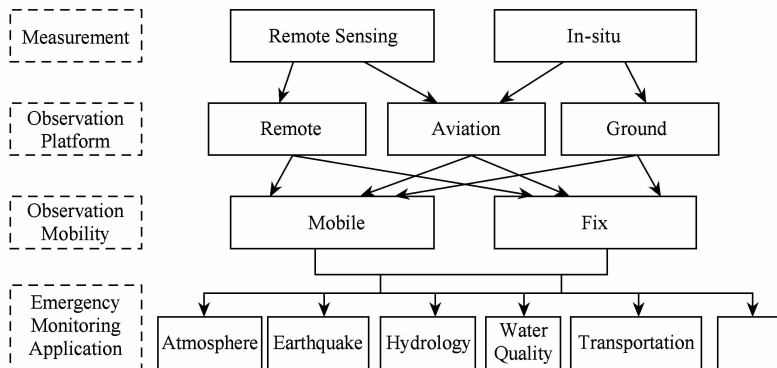


Fig. 2 Multi-hierarchical classification of city sensor resources.

图2 面向城市应急响应的传感器资源多层次分类体系

从所需实时监测的应用领域角度,城市传感器资源可以分为大气、地震、水文、水质、交通、环保、食品安全等种类;从观测测量标准角度可以分为遥感和现场类型,遥感传感器是非接触式、遥远地测量和记录被探测物体的电磁波特性的工具;现场传感器则是接触式测量目标所产生的地面振动波、声响、红外辐射、电磁或磁能的工具;从应急观测距离的不同,可以分为3种类型:航空、航天和地面传感器,地面传感器测量在传感器周围区域的物质属性,而航天遥感传感器通过目标物体反射或辐射的射线来测量离传感器有一定距离的物质属性,航空传感器观测应用则比较灵活;从观测平台移动性角度,可以分为固定传感器和移动传感器。固定传感器如气象观测站中的风速、温度和湿度传感器;移动传感器如车载、船载、机载和星载传感器。

3.2 传感器资源信息元数据模型

元数据是关于数据的数据(data about data),它为各种形态的信息资源提供规范、普遍的描述方法和检索方式,用于描述数据的内容、质量、管理方式、数据的所有者、覆盖范围、数据的提供方式等信息。元数据是分布式的、多源的信息资源实现共享、整合以及互操作的工具与纽带,是数据与数据用户之间的桥梁。要实现万维网环境下城市异构传感器资源标准地共享,就要确立传感器资源共享元数据,它应包含传感器资源的标识、分类、发现、访问控制等信息。

万维网环境下城市异构传感器资源共享的目的

如下:1)传感器能更好地被发现,即在所需的时空以及应急主题条件下,提供具有相应观测质量的所有合适传感器;2)有助于多传感器资源集成与协同观测,即针对一些特定的、复杂的观测任务,往往单一的传感器不能很好地满足观测需求,如存在观测盲点、观测数据质量低下等,因此,需要结合不同观测能力的传感器进行增加或互补协同观测。

传感器资源因不同观测平台其观测机理与处理过程不同,各自拥有其独特的观测信息与技术要求。但无论何种传感器,性能决定了其能力,如城市遥感传感器,其电磁波段的响应能力、传感器的空间分辨率、传感器获取地物信息量的大小和可靠程度、图像的几何特征等等,这些决定了它的观测能力。要实现传感器资源发现,传感器能力特征是所需考虑的因素之一。除此之外,传感器分类以及标识信息更是直接地决定了传感器资源本身能否被发现。当传感器资源用户已经获取到传感器的标签信息、观测能力特征信息后,该传感器资源是否可得、可用以及如何得到等信息内容则来源于传感器可得性服务信息,它保证了传感器及观测的可得性,即传感器调度时所应纳入考虑的信息,包括传感器观测的有效时间、传感器的负责单位、传感器观测与规划所对应的Web服务信息等。因此,传感器可得性服务也直接决定了传感器资源的发现。任何传感器资源都有其相关的观测处理,该处理用以描述因应用而动态可变的处理过程信息,比如城市遥感传感器观测、它的实时地理定位、几何纠正等过程是该观测数据可用之前

必不可少的一环. 综上所述, 城市传感器资源在共享时要表达的信息主要包括 4 个方面(如图 3 所示):

传感器通用标签、传感器能力特征、传感器可得性服务以及观测过程.

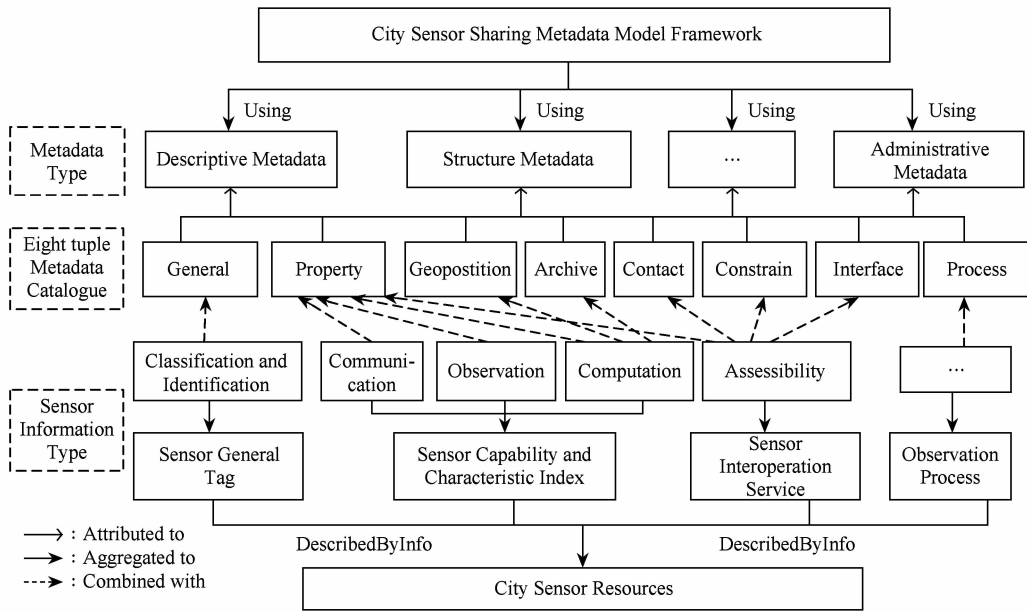


Fig. 3 Metadata model framework for city sensors sharing.

图 3 城市传感器资源共享元数据模型框架

本文提出了传感器资源共享八元组元数据(metadata, MD):

$$MD_i = \{MD_i^G, MD_i^{CS}, MD_i^{PP}, MD_i^{CT}, MD_i^A, MD_i^{GP}, MD_i^I, MD_i^{PC}\} \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

其中, MD_i^G 代表通用信息元数据; MD_i^{CS} 代表约束元数据; MD_i^{PP} 代表属性元数据; MD_i^{CT} 代表联系元数据; MD_i^A 代表存档元数据; MD_i^{GP} 代表地理定位元数据; MD_i^I 代表接口元数据; MD_i^{PC} 代表过程元数据.

我们进一步对前面的传感器信息按属性归类于元数据类型: 传感器分类与标识信息主要为通用型元数据; 传感器观测有效时间、传感器共享级别与合法性等属于约束型元数据; 传感器固有特征以及观测、通信、计算能力等为属性元数据; 传感器负责单位或个人、传感器在线引用等信息为联系型元数据; 传感器或传感器数据服务发布时间、传感器在线文档链接等信息为存档型元数据, 传感器及其搭载平

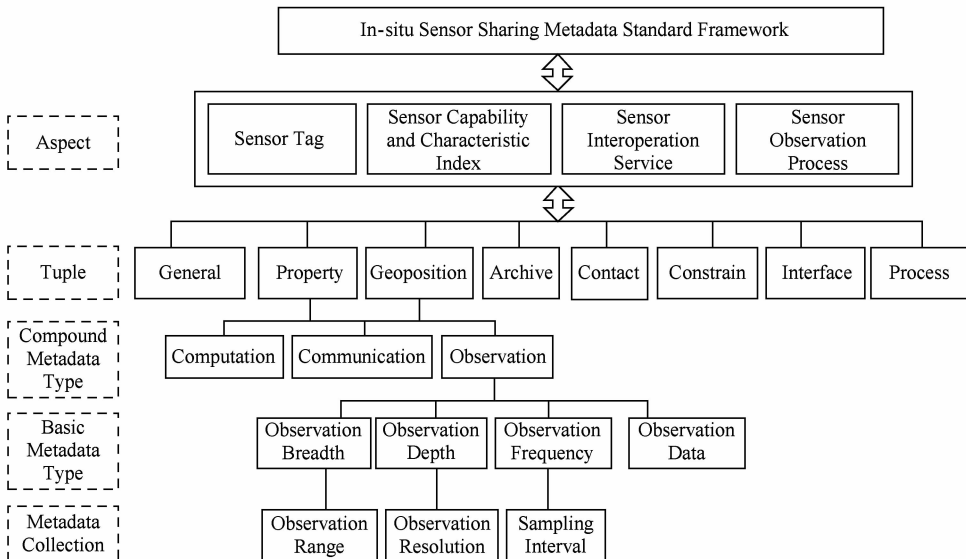


Fig. 4 Metadata extension scheme of in-situ city sensors.

图 4 现场传感器资源共享元数据扩展模式

台所在时空坐标系、传感器观测系统的动态或静态空间观测位置信息为地理定位元数据;传感器可得性服务,如传感器规划服务与传感器观测服务为接口型元数据,传感器观测数据所涉及到的处理,包括输入、输出、参数以及处理方法信息为过程型元数据。

依据 3.1 节的城市传感器资源分类,制订专项传感器资源共享全集元数据,图 4 为现场传感器资源元数据扩展模式,从上往下逐层细化,最终确定现场式传感器资源共享全集元数据项。类似地,其他专项传感器资源全集元数据项也是在通用八元组元数据目录下逐一细化。

3.3 传感器资源描述模型

如图 5 所示,传感器资源描述模型是连通用户与传感器资源实例的中间“桥梁”,该描述模型的内核是 3.2 节阐述的传感器资源共享八元组元数据模型,它是将八元组元数据集形式化表达的结果,具体的流程为:1)八元组元数据模型通过采用 SWE CommonData Model 进行封装与编码;2)对于封装好的元数据模型,则通过 SensorML 标准描述框架进行形式化表达。基于该描述模型,编制其元数据搜索引擎(第 4,5 节),用户可以精确地发现并共享到这些传感器资源。

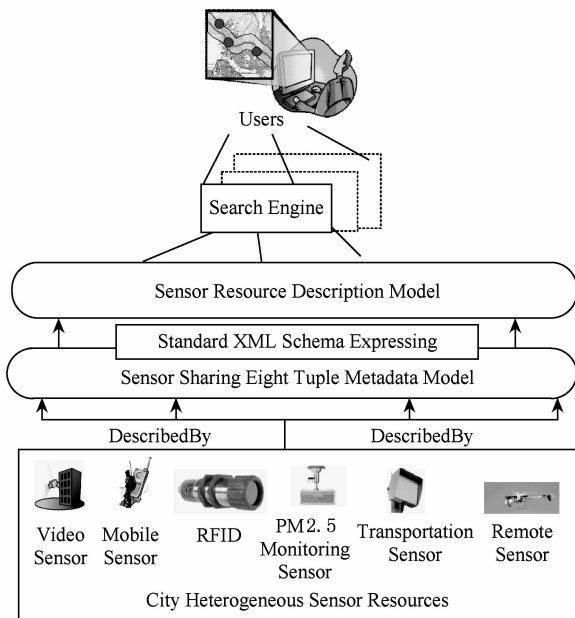


Fig. 5 City sensor resources' description model framework.
图 5 城市传感器资源描述模型框架

SWE Common Data Model^[31]是 OGC SWE 框架下的信息模型之一,它是一种底层的数据模型,通过提供统一的、可互操作的方式来定义任意数据字段和数据集合,它支持各种各样的数据类型,例如数

量、个数、布尔、类别、时间以及集合类型(如数据记录、阵列、矢量和矩阵)。因此,它可以描述传感器资源中几乎所有的元数据属性以及输入输出参数。图 6 为基于 SWE Common Data Model 数据记录 (swe:DataRecord)来编码现场式传感器资源的“量程范围”,该量程范围的组成为<纬度,经度,辐射半径>。类似地,其他全集元数据项也可以通过 SWE Common Data Model 的其他数据类型进行封装与编码。

```

<swe:DataRecord>
  <swe:field name="量程范围">
    <swe:Envelope
      definition="urn:ogc:def:property:OGC:1.0:observedRange"
      referenceFrame="urn:ogc:def:crs:EPSG:4326">
      <swe:lowerCorner>
        <swe:Vector>
          <swe:coordinate name="纬度">
            <swe:Quantity axisID="y">
              <swe:uom
                code="deg" xlink:href="urn:ogc:def:uom:UCUM::deg"/>
              <swe:value/>
            </swe:Quantity>
          </swe:coordinate>
          <swe:coordinate name="经度">
            <swe:Quantity axisID="x">
              <swe:uom
                code="deg" xlink:href="urn:ogc:def:uom:UCUM::deg"/>
              <swe:value/>
            </swe:Quantity>
          </swe:coordinate>
          <swe:coordinate name="辐射半径">
            <swe:Quantity axisID="r">
              <swe:uom
                code="m" xlink:href="urn:ogc:def:uom:UCUM::m"/>
              <swe:value/>
            </swe:Quantity>
          </swe:coordinate>
        </swe:Vector>
      </swe:lowerCorner>
    </swe:Envelope>
  </swe:field>
</swe:DataRecord>
    
```

Fig. 6 ObservedRange encoding of in-situ sensor resource sample.

图 6 现场式传感器资源测量范围编码样例

SensorML 同样作为 OGC SWE 框架下的信息模型,它基于 XML 模式编码,其框架要素包括: {keywords, identification, classification, validTime, securityConstraint, legalConstraint, characteristics, capabilities, contact, documentations, history,

inputs, outputs, parameters, method}, 它提供一个灵活与宽泛的框架, 用于描述传感器本身、观测系统和相关处理过程. 以城市现场式某水位传感器资源为例(如图 7 所示), 通过建立基于 SWE Common Data Model 编码的八元组元数据项与 SensorML 框架要素的映射关系, 如“量程范围”(如图 6 所示)映射到 SensorML 中的 capabilities 结构中, 完成嵌套共享元数据的传感器资源描述模型.

```

1  <SensorML version="1.0.1" >
2  <member>
3  <!-- 现场传感器 -->
4  <System gml:id="投入式水位传感器">
5  <!-- 传感器标签==>关键词 -->
6  <keywords>
7  <!-- 传感器通用标签==>标识符 -->
19 <!-- 传感器通用标签==>标识符 -->
20 <identification>
49 <!-- 传感器通用标签==>分类器 -->
50 <classification>
94 <!-- 传感器互操作服务==>有效时间 -->
95 <validtime>
101 <!-- 传感器能力特征==>物理特征 -->
102 <characteristics>
154 <capabilities>
155 <swe:DataRecord>
156 <!-- 传感器观测能力==>观测广度 -->
157 <swe:field name="量程范围">
193 <!-- 传感器观测能力==>观测广度 -->
194 <!-- 传感器观测能力==>观测深度 -->
195 <!-- 传感器观测能力==>观测质量 -->
196 .....
197 <swe:field name="探测精度">
203 <!-- 传感器观测能力==>观测频率 -->
204 <swe:field name="重访周期">
210 <!-- 传感器观测能力==>观测质量 -->
211 <swe:field name="定位精度">
217 <!-- 传感器观测能力==>观测数据 -->
218 <swe:field name="数据格式">
223 <swe:field name="数据质量等级">
228 <swe:field name="数据获取等级">
233 </swe:DataRecord>
234 </capabilities>
235 <!-- 传感器可得性服务==>联系单位 -->
236 <contact xlink:arcrole="urn:ogc:def:role:opera
255 <!-- 传感器可得性服务==>传感器空间相对位置 -->
256 <position name="sensor_position">
283 </System>
284 </member>
285 </SensorML>

```

Fig. 7 In-situ sensor resource description model sample.

图 7 现场式水位传感器资源描述模型样例

4 城市传感器资源万维网注册

ebRIM 标准于 2007 年 1 月被 OGC 正式采纳, 成为 CSW 规范所推荐的信息模型. ebRIM 定义了可以用于目录服务的通用元数据架构, 并建立了不同元数据间的关系机制和分类机制^[32].

如图 8 所示, 其根节点类型为 RegistryObject, 所有其他的元数据类型都继承于该 RegistryObject. ebRIM 模型定义了多种数据类型, 包括分类(classification)、服务(service)、关联(association)关系和其他通用元数据. 目前来说, ebRIM 是一套较为成熟的技术规范, 基于 ebRIM 的 CSW 能有效应用于地理空间信息资源, 通过在 RegistryObject 中的 ExtrinsicObject 要素中扩展“dataType”和“serviceType”外部类, 用来分别管理地理空间数据和服务

资源. 但是, 直接采用灵活、通用的 ebRIM 仍无法完成传感器资源的注册, 需要利用 ebRIM 的可扩展性, 构建基于 ebRIM 扩展的传感器资源注册信息模型, 从而实现传感器注册.

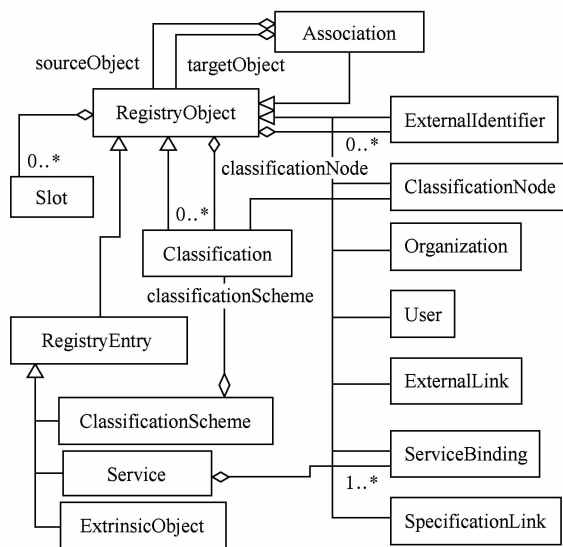


Fig. 8 Metadata organization of ebRIM.

图 8 ebRIM 元数据结构

4.1 ebRIM 通用注册信息模型扩展

现存的传感器共享管理门户标准各异, 它们各自支持专属的传感器注册格式与内容. 因此, 要实现传感器标准注册与统一发现, 明确传感器注册内容是必要的. 著名的欧盟 52North 传感器注册框架 SIR^[33], 它支持基于 SensorML 所描述的传感器信息模型注册, 但是存在的缺陷是传感器注册对象属性不统一, 只能注册传感器以下属性: ID, longName, ShortName, description, ObservedBBBox, input, output, location, validtime. 因此, 不能很好地满足传感器共享与发现的要求. 针对此缺陷, 前文所提出的传感器资源共享八元组元数据集是实现传感器对象全面、统一且标准化注册的重要指标.

由于基于 SensorML 表达的传感器资源描述模型和 ebRIM 通用注册信息模型两者元数据组织方式不同, 因此, 要采用 ebRIM 信息模型来表达传感器资源信息, 就得寻找两者间的映射关系, 即基于传感器资源描述模型扩展出 ebRIM 模式的传感器注册信息模型.

构建基于 ebRIM 扩展的传感器注册信息模型包括以下 5 个步骤:

1) 创建扩展注册包. 针对传感器所需存储的相关信息, 在所构建的注册扩展包中存储定义的注册要素类, 主要包括外部对象类、关系类、分类和属性.

2) 定义存储传感器注册对象的外部对象类 ExtrinsicObject,由外部对象类继承.包括两个外部传感器对象类:Component 和 System. Component 表示真实世界中的组件,例如温度计;System 可以由多组件组成,如气象站或卫星平台.

3) 定义注册对象的关系类 Association,由 rim: Association 类继承.包括 ComposedOf, InputConnection, OutputConnection 和 AccessibleThrough 关系.具体描述如下:“ComposedOf”关系类型表示 System 与 Component 之间的关系,可以用于构建传感器平台和传感器之间的连接(connections)关系.这些关系可以通过输入和输出值进行链接,分别采用“InputConnection”,“OutputConnection”进行描述.“AccessibleThrough”关系用于链接传感器描述模型的相关服务.

4) 定义注册对象的分类架构 ClassificationScheme.依据传感器类型和应用领域的不同,新增分类架构(ClassificationScheme)、分类节点 ClassificationNode)和分类关系(Classification).构建4个分类架构:①预期应用(IntendedApplication),用于描述传感器可用的应用领域,如传感器资源可应用于洪水监测时,会添加分类节点“water”及其子类“flood detection”来标识该传感器资源描述模型;②服务类型(ServiceType),如传感器观测服务(SOS)和传感器规划服务(SPS);③系统类型(SystemType),包

括两个分类节点:(i)传感器的观测平台类型(PlatformType),例如卫星平台;(ii)传感器类型(SensorType);④轨道类型(OrbitType),用于描述卫星平台的轨道类型,如太阳同步轨道.

5) 定义注册对象的扩展属性类(Slot). ebRIM 允许用户对元数据信息模型进行领域相关和实例相关的扩展,Slot 提供了一个动态的方法来增加 RegistryObject 相应的扩展属性,例如,用户想增加一个名称为“ValidTimeBegin”的元数据项,只需要添加一个名(name)为“ValidTimeBegin”的 Slot,其值(value)则为该 Slot 对应的说明文字.在实际 Slot 扩展时,除了上述 Association 和 ClassificationSchema 类型中所扩展的要素外,其他所有项都应该在 Slots 中进行扩展,如:系统(System)中的输入(inputs)、输出(outputs)、有效时间结束节点(ValidTimeEnd),观测范围(ObservedBoundingBox)和传感器位置(location)等.

4.2 传感器资源描述模型与注册信息模型映射

构建传感器资源描述模型与注册信息模型两者之间的映射关系,其映射流程如图9所示.

1) 判断描述传感器资源描述模型的类型.若传感器在传感器资源描述模型中描述为 System,则转换为外部对象类(ExtrinsicObject@ Object Type) System;若描述为 Component,则转换为外部对象类 Component,进行注册对象的存储.

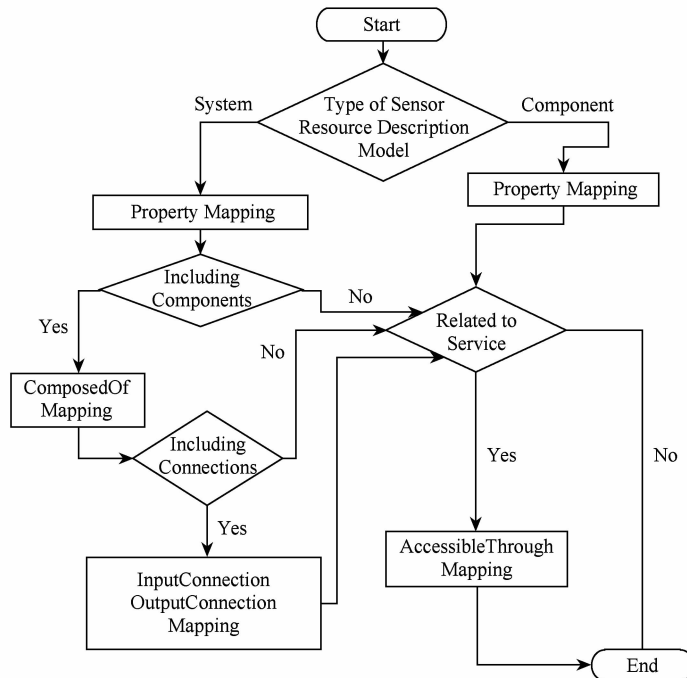


Fig. 9 Mapping from sensor description model to register information model.

图9 传感器资源描述模型到注册模型映射

2) 依据外部对象类的类型,进行传感器资源描述属性到注册对象属性的映射,包括标识符、名称、描述、分类、联系信息和转换为 Slot 的映射,属性映射流程如图 10 所示.判断是否属性为标识符 ID,是则映射到注册信息模型的标识符 Identifier;否则判断是否属性有名称 name 和描述 description,是则分别映射到注册信息模型的名称 name 和描述

description 属性中;否则判断是否属性为联系信息 contact,是则分别映射到注册信息模型的组织信息属性 Organization 和个人信息属性 person;否则判断是否属性为服务信息 Service,是则映射到注册信息模型的服务 Service;否则判断是否属性分类信息 classification,是则映射到分类节点 ClassificationNode 和分类关系 classification,否则映射到扩展属性 Slot.

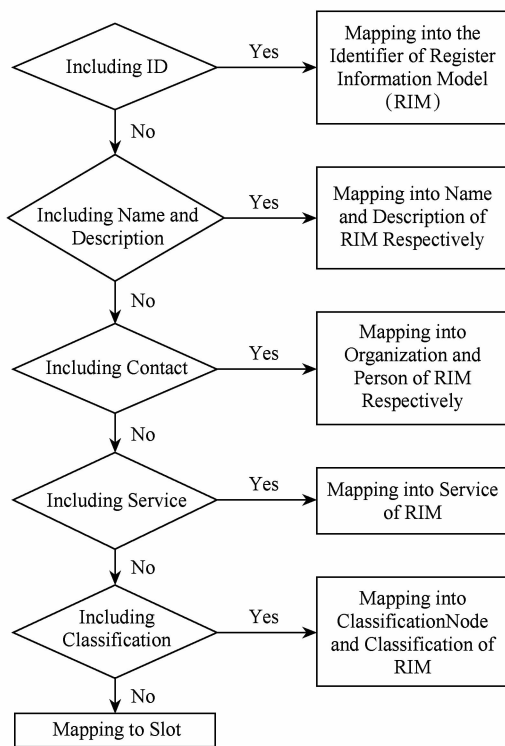


Fig. 10 Slots mapping from physical sensors to register objects.

图 10 传感器属性到注册对象属性的映射

3) 进行关系映射时其转换流程分为两种情况:

① 外部对象类为 System,需要针对传感器信息模型判断是否包含“components”,判断结果为“否”则进行“与服务相关”的判断.若“包含 components”的判断结果为“是”,则生成关系“ComposedOf”,并进行包含“connections”的判断.若传感器的描述中存在 connections,依据系统与组件之间输入和输出链接,生成关系“OutputConnection”和“InputConnection”.进入“与服务相关”的判断,则生成关系“AccessibleThrough”,实现传感器与服务的相连,完成映射流程.若不与服务相关,直接结束映射流程.

② 外部对象类为 Component,判断是否与服务相关,是则生成关系“AccessibleThrough”,否则完成映射.

根据上述映射关系,设定两种模型间的扩展样式表语言(extensible stylesheet language, XSLT)

转换文档,需注册的传感器资源描述模型会通过相应的 XSLT 转换文件转换为基于 ebRIM 的注册信息模型.运用 OGC/CSW 的管理操作中的 Transaction 接口,Transaction 操作用于创建、修改和删除目标网络目录服务中的元数据记录.Transaction 采用“推(push)”的方式可以在目标 CSW 中创建新的元数据记录.也就是说,上述建立的 ebRIM 注册信息模型直接可以通过 Transaction 操作的“推(push)”方式,完成基于 OGC/CSW 的传感器标准存储与注册,从而将现实物理传感器资源发布到基于万维网的传感器目录服务中心.

5 城市传感器资源按需发现

5.1 城市应急事件观测请求

实时的应急观测信息都直接或间接地源自传感

器.因此,从观测的角度,几乎所有城市应急事件都需要进行实时观测,该观测具有特定的时间、空间与主题特征.每一个复杂的应急观测,它可以分解为一系列可指派到具体观测现象的细粒度应急事件,如洪涝应急可以分解为洪水态势和洪水淹没等观测事件.每一个细粒度应急事件都有其所需的观测主题(Th),要实现对其的监测与响应,可以理解为要感知一系列观测现象,即 $Th=(P_1, P_2, \dots, P_n)$, P_n 表示第 n 个观测现象,如洪水态势应急观测的主题为水情和雨情,其中雨情需要指派的观测现象为降雨强度和降雨范围.

5.2 细粒度多层次元数据项设计

由于将传感器通用信息、传感器能力特征、传感器可得性服务以及传感器观测过程在传感器目录服务中心进行了注册,这使得其入库注册的传感器资

源具有完备的元数据信息.本文并没有在底层数据库的基础之上构建传感器发现的其他应用程序接口或网络服务,我们遵循 OGC/CSW 的查询接口,但是我们可以基于 SQL 的丰富语法来构建细粒度的查询请求.

为了便于让传感器请求者更好地查询该传感器目录服务中心的传感器资源,需要抽取出一部分传感器元数据项作为查询语言的参数.为了最大程度满足传感器查询者可能会用到的传感器元数据组合查询条件,但又不能让整个查询界面信息繁杂无章,本文选取如下元数据项作为传感器目录服务中心客户端的查询语言,表 3 简要展示了所支持的元数据查询项名称、CSW 查询语言路径以及查询项的多重性与定义:

Table 3 Design of Multi-level and Fine-grained Metadata Query Items in “City LiveSensors CSW”

表 3 细粒度多层次传感器网络目录服务元数据查询项设计

The First Query Directory	The Second Query Item	CSW Query Path	Multiplicity	Definition of Query Item
Sensor Basic Information Query	Related Keywords	/SensorGranule/Keywords	Optional	Query by the Sensor-related Keywords
	Sensor Short Name	/SensorGranule/SensorShortName	Optional	Query by the Sensor Short Name
	Sensor Long Name	/SensorGranule/SensorLongName	Optional	Query by Sensor Long Name
	Sensor Type	/SensorGranule/SensorType	Optional	Query by Sensor Type
“Temporal-Spatial-Thematic” Query	Intended Application	/SensorGranule/IntendedApplication	Optional	Query by Sensor Intended Application
	Valid Observation Start Time	/SensorGranule/ValidBeginning observationTime	Optional	Query by Valid Observation Start Time
	Valid Observation End Time	/SensorGranule/ValidEnding observationTime	Optional	Query by Valid Observation End Time
	Observation Range-North Latitude Coordinates	/SensorGranule/Northlatitude coordinates	Optional	Query by Specified Observation Range
	Observation Range-South Latitude Coordinates	/SensorGranule/Southlatitude coordinates	Optional	Query by Specified Observation Range
	Observation Range-East Longitude Coordinates	/SensorGranule/Eastlongitude coordinates	Optional	Query by Specified Observation Range
	Observation Range-West Longitude Coordinates	/SensorGranule/Westlongitude Coordinates	Optional	Query by Specified Observation Range
	Observation Capability Query	Observation Data Format	/SensorGranule/ObservationdataFormat	Optional
Band Category		/SensorGranule/BandCategory	Optional	Query by Specified Band
Physical Characteristic Query	Sensor Weight	/SensorGranule/SensorWeight	Optional	Query by Sensor Weight
Accessibility Query	Sensor Administer	/SensorGranule/ DisciplineKeyword	Optional	Query by Sensor Administrator
:	:	:	:	:

表 3 给出了传感器资源的通用信息、主要时、空、专题特性、传感器观测系统的其他物理特征等. 通过设计上述元数据查询项,多层次细粒度构造传感器查询语句,能充分满足应急响应时传感器查询的需求.

5.3 传感器网络目录服务查询实现

在具体实现传感器网络目录服务查询操作时,首先需要正确解析该网络目录服务前端的查询语言;其次,提取出用户所组合的查询项,并在底层构建相应的 SQL 查询语句;然后,通过在目录服务数据库中解析与匹配,返回处理的结果;最后,用户得到满足需求的传感器集.

查询语言采用 XML 编码,目录服务需要正确的解析查询语言的内容,例如基于上表的元数据查询项,我们设计传感器查询语句为“关键字=城市应用”,“潜在应用=洪水监测”“起始观测时间=2009-09-09 12:12:12”,“终止观测时间=2009-09-09 13:12:12”,“北方向纬度坐标=32”,“南方向纬度坐标=

28”,“东方向经度坐标=116”与“西方向经度坐标=111”,基于 OGC/CSW 查询接口的 GetRecords 操作,生成 POST 请求文档(如图 11 所示).

根据 GetRecords 请求中逻辑操作符的组合方式和顺序,将其翻译成相对应的 SQL 查询语句,这样就能将用户查询所需的语义信息正确映射到底层数据中去,从而找到满足查询条件的传感器集.如图 12 所示,基于上述 SQL 查询语句,GetRecords 操作进行响应,并生成了 GetRecordsResponse 操作所指定的 XML 模式文档.在该返回的 XML 文档中,总共返回 3 个传感器查询结果.每个传感器结果都是用 一个 `<urn:RegistryPackage>` `</urn:RegistryPackage>` 标签对来描述,如传感器结果 ID 为 `urn:ogc:feature:remotesensor:platform:DMSP-F15:package`. 每一个属性项都由一个 `<urn:Slot>` 结构对表示,其显示值为对应的属性值,如该传感器所拥有的观测服务“ServiceURL=http://swe.whu.edu.cn:9000/SOS/sos”.

```

<GetRecords>
  <Query typeNames="csw:Record">
    <ElementSetName typeNames="csw:Record">full</ElementSetName>
    <Constraint version="1.1.0">
      <ogc:Filter>
        <ogc:And>
          <ogc:PropertyIsLike escapeChar="\ " singleChar="?" wildCard="*" >
            <ogc:PropertyName>dc:keywords</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>城市应用</ogc:Literal>
          </ogc:PropertyIsLike>
          <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
            <ogc:PropertyName>dc:start</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>2009-09-09 12:12:12</ogc:Literal>
          </ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
          <ogc:PropertyIsLessThanOrEqualTo>
            <ogc:PropertyName>dc:end</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>2009-09-09 13:12:12</ogc:Literal>
          </ogc:PropertyIsLessThanOrEqualTo>
          <ogc:PropertyIsLike escapeChar="\ " singleChar="?" wildCard="*" >
            <ogc:PropertyName>dc:IntendApplication</ogc:PropertyName>
            <ogc:Literal>洪水监测</ogc:Literal>
          </ogc:PropertyIsLike>
          <ogc:Contains>
            <ogc:PropertyName>ows:BoundingBox</ogc:PropertyName>
            <gml:Envelope>
              <gml:lowerCorner>28 111</gml:lowerCorner>
              <gml:upperCorner>32 116</gml:upperCorner>
            </gml:Envelope>
          </ogc:Contains>
        </ogc:And>
      </ogc:Filter>
    </Constraint>
  </Query>
</GetRecords>

```

Fig. 11 Sensor query request toward CSW interface.

图 11 传感器网络目录服务传感器集查询请求

```

<ns:GetRecordsResponse xmlns:ns="http://www.opengis.net/cat/csw/2.0.2" version="1.0">
  <ns:SearchResults numberOfRecordsReturned="3">
    <urn:RegistryPackage xmlns:urn="urn:oasis:names:tc:ebxml-regrep:xsd:rim:3.0" id="urn:ogc:feature:remotesensor:platform:
      DMSP-F15:package">
      <urn:RegistryObjectList>
        <urn:ExtrinsicObject id="urn:ogc:feature:remotesensor:platform:DMSP-F15">
          <urn:Slot name="urn:ogc:def:slot:OGC-CSW-ebRIM-Sensor::Keywords" slotType="urn:oasis:names:tc:ebxml-regrep:
            DataType:String">
            <urn:ValueList>
              <urn:Value>城市应用</urn:Value>
              <urn:Value>云覆盖监测</urn:Value>
            </urn:ValueList>
          </urn:Slot>
          :
          <urn:Slot name="urn:ogc:def:slot:OGC-CSW-ebRIM-Sensor::SensorType" slotType="urn:oasis:names:tc:ebxml-regrep:
            DataType:String">
            <urn:ValueList>
              <urn:Value>城市遥感传感器平台</urn:Value>
            </urn:ValueList>
          </urn:Slot>
          <urn:Slot name="urn:ogc:def:slot:OGC-CSW-ebRIM-Sensor::BoundedBy" slotType="urn:ogc:def:dataType:ISO-19107:
            2003:GM_Envelope">
            <urn:ValueList xmlns:ns="http://www.opengis.net/cat/wrs/1.0" xsi:type="ns:ValueListType">
              <ns:AnyValue srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:4326">
                <gml:lowerCorner xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml">90-180</gml:lowerCorner>
                <gml:upperCorner xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml">90 180</gml:upperCorner>
              </ns:AnyValue>
            </urn:ValueList>
          </urn:Slot>
          <urn:Slot name="urn:ogc:def:interface:OGC:1.0:ServiceURL" slotType="urn:oasis:names:tc:ebxml-regrep:DataType:
            String">
            <urn:ValueList>
              <urn:Value>http://swe.whu.edu.cn:9000/SOS/sos</urn:Value>
            </urn:ValueList>
          </urn:Slot>
          :
        </urn:RegistryObjectList>
      </urn:RegistryPackage>
    <urn:RegistryPackage xmlns:urn="urn:oasis:names:tc:ebxml-regrep:xsd:rim:3.0"
      id="urn:ogc:feature:insituSensor:platform:Rainfall_JDZ05-02-1:package">.....</urn:RegistryPackage>
    :
  </ns:SearchResults>
</ns:GetRecordsResponse>

```

Fig. 12 Sensor query response from CSW interface.

图 12 传感器网络目录服务传感器集查询实现

6 面向城市应急响应的异构传感器资源集成共享平台及应用

传感器资源集成共享平台分为两大模块——传感器建模和传感器目录服务中心。

传感器建模工具(SensorModel)由武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室设计,采用 C# 语言、.NET Framework 3.5 控件、DOM 类库、SensorML 模式,主要功能是供传感器资源建模者向导式、统一地构建相应的传感器资源描述模型。

Aqua 卫星中的传感器装置——中分辨率成像光谱仪 MODIS,它是可用于洪涝监测的城市遥感传感器资源之一。如图 13 所示,本文以 MODIS 传感器作为建模资源,在 SensorModel 工具中向导式地建立 MODIS 基本标签信息、能力特征、可得性服务以及定位过程描述,详细的描述内容遵循前文的八元组全集元数据项。

向导式建模完成后,基于第 4,5 节阐述的方法,MODIS 传感器资源描述模型可以标准地注册到传感器目录服务中心(City LiveSensors CSW)^①,

① <http://swe.whu.edu.cn:8080/CityCswPro/jsps/login.jsp>

该中心采用基于 MVC 的 B/S 架构, XMLBeans, JSP 以及 Hibernate 技术实现. 如图 14 所示, City

LiveSensors CSW 主要包括传感器注册、传感器发现与相关的操作功能.

Fig. 13 Sample of wizard modeling of city remote sensing sensor: sensor tag modeling.

图 13 城市遥感传感器向导式建模样例:传感器标签信息建模

City LiveSensors CSW

传感器网络目录服务中心

Now: 2013-9-24 9:39:27 User: [admin] | login out

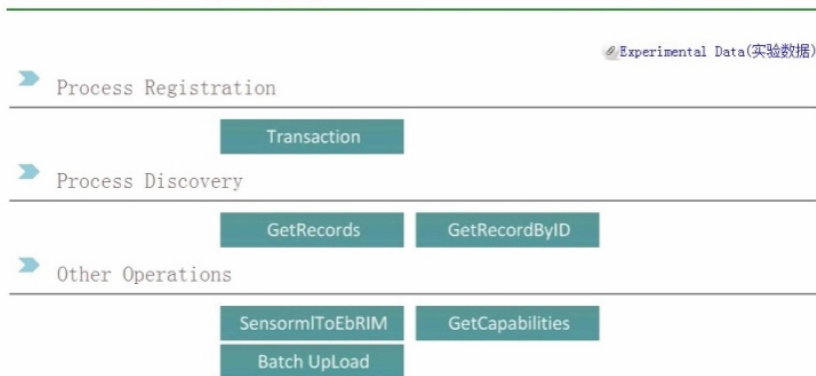


Fig. 14 Main interface of City Sensors CSW center.

图 14 City Sensors CSW 中心

在传感器注册模块中, 将所构建的基于 SensorML 的 MODIS 传感器资源描述模型转换成 City LiveSensors CSW 中心所支持的传感器注册信息模型. 然后将该转换过的注册信息模型通过传感器注册模块中的“Transaction → insert”接口完成 MODIS 传感器注册, 并返回注册结果.

根据以上步骤, 实现城市异构传感器资源的统一描述, 并完成基于 OGC/CSW 的城市异构传感器

资源向 City LiveSensors CSW 的标准注册.

由于城市过快发展而基础设施建设滞后、湖泊消失、路面硬化、以及垃圾油污堵塞排水管道等原因, 近些年, 武汉因为经常内涝而被称为“看海”名城. 本研究团队调研并积累了武汉市域 39 处水文、水位、雨量和气象观测站点(如武昌、汉阳、柳子港、长轩岭、金口、汉口)信息, 共 400 多个异构传感器资源, 包括现场式的流量、水位、雨量、蒸发量、水质、河

流泥沙量及颗粒级配、地下水位、水温及蒸发、湿度、风速风向、温度传感器以及 137 个适合于洪涝监测的遥感传感器. 基于前文的方法实现了这些异构传感器的统一建模与标准注册.

本文给定特定的武汉市城区内涝型洪涝事件作为应急案例, 并拟从降雨量、积水深度、积水面积、风速风向监测方面为内涝应急决策提供数据支持. 如

图 15 所示, 构建内涝应急观测事件查询请求: 观测开始时间为 2013-07-07T13:00:00.0Z, 观测结束时间为 2013-07-07T14:00:00.0Z, 观测包括盒中北纬为 30.42°~30.67°(十进制), 东经为 114.09°~114.52°(十进制), 细粒度的观测现象选择为水位、水面积、风速风向以及降雨; 按传感器信息查询, 我们设置传感器预期应用为“洪涝”作为辅助条件.



Fig. 15 Sensor query entry of city waterlogging emergency.

图 15 “城市内涝应急观测事件—传感器”关联查询入口

如图 16 所示, 符合指定内涝型洪涝应急事件观测需求的传感器总共有 18 个, 其中用于水面积监测的城市遥感传感器 2 个, 标记 SensorID 为: “urn: ogc: object: feature: liesmars: sensor: remote: viis”, “urn: ogc: feature: sensor: liesmars: remote: modis”; 其余为现场传感器, 包括 8 个降雨传感器, 8 个水位传感器、3 个风速风向传感器, 标记 SensorID

如: “urn: liesmars: object: feature: 汉口红旗渠路: 现场: 风速风向传感器: HCXPJWD”, “urn: liesmars: object: feature: 武昌秦园路: 现场: 水位传感器: WL16U-003-025”. 选中其中的传感器子集, 查询者可以查看该传感器资源元数据信息, 如传感器能力特征. 至此, 完成武汉市分布式异构的内涝监测相关的传感器资源集成共享. 本方法具有可扩展性, 即对于

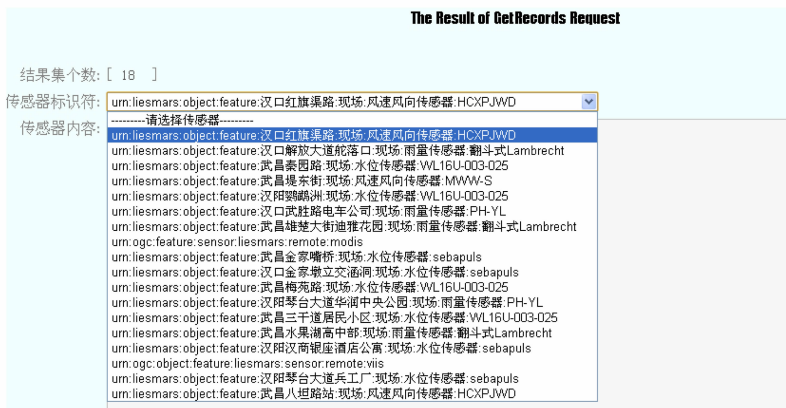


Fig. 16 Collection of satisfied sensors.

图 16 传感器返回集合

其他类型的传感器资源,遵循本方法的统一建模与标准注册即可实现集成共享。

7 结束语

面对复合的城市应急观测事件时,城市异构传感器资源管理低效,严重阻碍了城市应急响应的“智慧化”水平。因此,如何对这些异构的城市传感器资源集成共享成为一个需要解决的问题。本文提出了城市异构传感器资源集成共享方法,通过将异构的城市传感器资源统一化描述,基于 OGC 网络目录服务,实现统一描述的传感器资源万维网标准注册。根据城市应急观测事件,实现及时、准确、全面与统一地发现并因此能促使充分合理地利用城市异构的传感器资源,从而为智慧城市应急响应的决策提供数据支持。

下一步将会在本文基础上,研究以应急事件为中心的传感器关联方法,求解出以关联度为评价指标的“特定应急事件—城市传感器”定量关联,进一步保证智慧城市应急响应时最优传感器规划与协同调度的决策生成。

致谢 感谢《计算机研究与发展》审稿专家对本文提出宝贵的修改意见和帮助!

参 考 文 献

- [1] Li Deren, Shao Zhenfeng, Yang Xiaomin. Theory and practice from digital city to smart city [J]. Geospatial Information, 2011, 9(6): 1-6 (in Chinese)
(李德仁, 邵振峰, 杨小敏. 从数字城市到智慧城市的理论与实践[J]. 地理空间信息, 2011, 9(6): 1-6)
- [2] Uusitalo M A. Global visions for the future wireless world from the WWRF [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2006, 1(2): 4-8
- [3] Balazinska M, Deshpande A, Franklin M J. Data management in the worldwide sensor Web [J]. IEEE Pervasive Computing, 2010, 6(2): 30-40
- [4] Dong Fangpeng, Gong Yili, Li Wei, et al. Research on resource discovery mechanisms in grids [J]. Journal of Computer Research and Development, 2003, 40(12): 1749-1755 (in Chinese)
(董方鹏, 龚奕利, 李伟, 等. 网格环境中资源发现机制的研究[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(12): 1749-1755)
- [5] Chen Ruming. Pragmatic development strategic thinking about cloud computing, intelligence and wisdom of the city emergency response [J]. Mobile Communications, 2012, 36(3): 5-10 (in Chinese)
(陈如明. 云计算, 智慧应急联动及智慧城市务实发展策略思考[J]. 移动通信, 2012, 36(3): 5-10)
- [6] Zeng Liming, Han Ruizhu. Modeling and analyzing of simulation in emergency resource scheduling [J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(6): 1298-1302 (in Chinese)
(曾丽明, 韩瑞珠. 城市应急资源调度系统建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(6): 1298-1302)
- [7] Bao Xuenü. Research on city emergency resources management [D]. Shanghai: Tongji University, 2007 (in Chinese)
(鲍雪女. 城市应急资源管理系统的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007)
- [8] Hu Chuli. Research on model and method of sensor resources' sharing management under Earth Observation Web [D]. Wuhan: Wuhan University, 2013 (in Chinese)
(胡楚丽. 对地观测网传感器资源共享管理模型与方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013, 180)
- [9] Luo Kaiping, Jiang Wei, Li Yijun. Review of sensor management [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(8): 1900-1907 (in Chinese)
(罗开平, 姜维, 李一军. 传感器管理述评[J]. 电子学报, 2010, 38(8): 1900-1907)
- [10] Li Jianzhong, Gao Hong. Survey on sensor network research [J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(1): 1-15 (in Chinese)
(李建中, 高宏. 无线传感器网络的研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(1): 1-15)
- [11] Hu C, Chen N. Geospatial sensor Web for smart disaster emergency processing [C] //Proc of Geoinformatics 2011. Piscataway, NJ: IEEE, 2011: 1-5
- [12] Butler D. 2020 Computing: Everything, everywhere [J]. Nature, 2006, 440(7083): 402-405
- [13] Chen C, Helal S. Sifting through the jungle of sensor standards [J]. IEEE Pervasive Computing, 2008, 7(4): 84-88
- [14] Lee K. IEEE 1451: A standard in support of smart transducer networking [C] //Proc of IMTC/2000. Piscataway, NJ: IEEE, 2000: 525-528
- [15] Botts M. OpenGIS sensor model language (SensorML) implementation specification, Version 1.0.0 [S]. Maryland: Open Geospatial Consortium, 2007
- [16] Wang Juanle, You Songcai, Xie Chuanjie. Analysis and design of metadata standard structure for geosciences data sharing [J]. Geography and Geo-information Science, 2005, 21(1): 16-21 (in Chinese)
(王卷乐, 游松财, 谢传节. 地学数据共享中的元数据标准结构分析与设计[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1): 16-21)
- [17] Chen N, Hu C. A sharable and interoperable meta-model for atmospheric satellite sensors and observations [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing, 2012, 5(5): 1519-1530

- [18] Simonis I, Echterhoff J. *GEOSS and the sensor Web* [R]. Maryland: Open Geospatial Consortium, 2008
- [19] Di L, Moe K, Yu G. Metadata requirements analysis for the emerging sensor Web [J]. *International Journal of Digital Earth*, 2009, 2(S1): 3-17
- [20] Martell R. *CSW-ebRIM registry service-part 1: ebRIM profile of CSW* [S]. Maryland: Open Geospatial Consortium, 2007
- [21] Chen N, Di L, Yu G, et al. Use of ebRIM-based CSW with sensor observation services for registry and discovery of remote-sensing observations [J]. *Computers & Geosciences*, 2009 (35): 360-372
- [22] Houbie F, Skivée F, Jirka S. *OGC catalogue services specification 2. 0 extension package for ebRIM application profile: SensorML, Version 0.3.0* [S]. Maryland: Open Geospatial Consortium, 2007
- [23] Jirka S, Nist D, Schulte J, et al. Integrating the OGC sensor Web enablement framework into the OGC catalogue [C] // *Proc of the 1st Int Workshop on Pervasive Web Mapping, Geoprocessing and Services*. Berlin: Springer, 2010: 26-27
- [24] Chen N, Chen Z, Hu C. A capability matching and ontology reasoning method for high precision OGC Web service discovery [J]. *International Journal of Digital Earth*, 2011, 4 (6): 449-470
- [25] Yue P, Di L, Han W, et al. Service-oriented approach geospatial feature discovery [J]. *Earth Science Information*, 2012, 5(3): 153-165
- [26] Jirka S, Broring A, Stasch C. Discovery mechanisms for the sensor Web [J]. *Sensors*, 2009, 9(4): 2661-2681
- [27] Santanche S, Nath J, Liu B, et al. Senseweb: Browsing the physical world in real time [C] // *Proc of Int Conf on Information Processing in Sensor Networks*. Piscataway, NJ: IEEE, 2009: 1-2
- [28] Chang K, Yau N, Hansen M, et al. A centralized repository to slog sensor network data [C] // *Proc of Int Conf on Distributed Computing in Sensor Networks (DCOSS)/EAWMS*. Los Angeles: UCLA, 2006: 1-12
- [29] Gorman B, Resseguie D, Tomkins T. Information sharing across incompatible sensor systems [C] // *Proc of Int Symp on Collaborative Technologies and Systems*. Piscataway, NJ: IEEE, 2009: 448-454
- [30] Simonis I. *OGC® sensor Web enablement architecture, Version 0.4.0* [S]. Maryland: Open Geospatial Consortium, 2008
- [31] Robin A. *OpenGIS SWE common data model encoding standard, Version 2.0.0* [S]. Maryland: Open Geospatial Consortium, 2011
- [32] Breininger K. *OASIS/ebXML registry information model V2.5-committee approved specification* [R]. Billerica: Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS), 2003
- [33] Jirka S, Nuest D. *OGC® sensor instance registry discussion paper* [EB/OL]. (2010-10-12) [2013-07-12]. [https://portal.opengeospatial.org/modules/admin/license_agreement.php?](https://portal.opengeospatial.org/modules/admin/license_agreement.php?suppressHeaders=0&access_license_id=3&target=http://portal.opengeospatial.org/files/%3fartifact_id=40609)

[suppressHeaders=0&access_license_id=3&target=http://portal.opengeospatial.org/files/%3fartifact_id=40609](https://portal.opengeospatial.org/files/%3fartifact_id=40609)



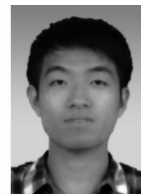
Hu Chuli, born in 1984. Post-doctoral researcher in China University of Geosciences (Wuhan) since 2013. He has received his PhD degree in photogrammetry and remote sensing from the State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing (LIESMARS) at Wuhan University (WHU) in 2013. His research interests include sensor Web, smart city, and sensor sharing and integration management.



Chen Nengcheng, born in 1974. Received his PhD degree in photogrammetry and remote sensing from Wuhan University in 2003. Professor and PhD supervisor of LIESMARS at Wuhan University (WHU) in China. His research interests include sensor Web, model Web, Web GIS and smart city.



Guan Qingfeng, born in 1977. Professor and PhD supervisor of the School of Information Engineering at China University of Geosciences (Wuhan) in China. His main interests include smart city, GeoComputational intelligence, high-performance geospatial computing, etc.



Li Jia, born in 1988. PhD candidate at Wuhan University. His main research interests include sensor sharing and interoperability in smart city, sensor modeling, sensor capability representation, sensor planning, etc.



Wang Xiaolei, born in 1988. PhD candidate at Wuhan University. Her main research interests include smart city, semantic sensor Web, sensor registry and discovery, etc.



Yang Xunliang, born in 1989. Master at Wuhan University. His main research interests include sensor Web, sensor registry and discovery, etc.