

# ISHSN:一种异构传感网融合系统

陈金凯,曹剑炜,陈庆奎\*

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院,上海 200093)

(\*通信作者电子邮箱 chenqingk@sohu.com)

**摘要:**针对异构传感网导致的系统融合问题,提出了一种异构传感网融合系统(ISHSN)。ISHSN由物联网关和接入代理构成,物联网关对于上行数据进行同一化转换,对于下行控制命令按照目的传感网控制协议进行转换;接入代理进行数据汇集、链路合并以及命令转发,并且运用基于历史增量信息预测的接入代理调度算法,有效分散传感网接入负载。实验表明 ISHSN 在异构传感网数据汇集以及传感网控制方面具有良好的可扩展性和可用性。

**关键词:**物联网;传感网;物联网关;接入代理;调度算法

**中图分类号:** TP311.52 **文献标志码:** A

## Integration system for heterogeneous sensor networks

CHEN Jinkai, CAO Jianwei, CHEN Qingkui\*

(College of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** To solve the system integration problem caused by heterogeneous sensor networks, this paper proposed a heterogeneous sensor networks integration system ISHSN (Integration System for Heterogeneous Sensor Network). ISHSN consisted of the gateway of the Internet of Things (IoT) and the access Agent. The gateway converted the data to the same format and converted the command to the customized format according to the target sensor network. The access Agent dealt with data collection, link merge and command forward, and balance loading of the access Agents with the scheduling algorithm. The experiment proves that the ISHSN has good scalability and availability in sensor networks data collection and sensor network control.

**Key words:** the Internet of Things (IoT); sensor network; Gateway of the Internet of Things (GWIOT); access Agent; scheduling algorithm

## 0 引言

国内外对于物联网(the Internet of Things, IOT)研究与建设都已经展开<sup>[1-2]</sup>,其中异构系统融合是物联网技术一个研究热点<sup>[3]</sup>。2009年,应上海嘉定马陆葡萄研究所需求,上海理工大学物联网实验室开发了葡萄园温室监控系统(Parallel Monitoring and Control System, PMCS)<sup>[4]</sup>。系统建设之初,传感器部署规模较小,并且种类单一。近年来由于马陆葡萄研究所发展需要,监控的规模及范围逐渐扩大,导致传感器数量日渐增多。这些传感器由不同的芯片厂家、板卡设备集成厂家、软件厂家生产,其明显特征是数据和控制协议异构性、数据链路和控制链路的异构性,有以纯字节形式的,也有XML、JSON(JavaScript Object Notation)等作为数据流及控制流格式。因此,PMCS已经不能满足多传感网融合的需求,这就为提出本课题提供了基础。现有异构数据融合通过特定的数据模型及数据转换中间件,将异构数据格式转换成统一的数据格式<sup>[5]</sup>。Wang等<sup>[6]</sup>研究了基于Web Service的物联网通信中间件,但是这种基于简单对象访问协议(Simple Object Access Protocol, SOAP)的方法实现较为复杂。Tan等<sup>[7]</sup>研究了物联网网关,但是没有涉及到异构传感网控制。文献[8-9]的研究规模较小,只提及了一些概念,而没有涉及具体实现。本文提出了一种异构传感网融合系统 ISHSN(Integration System for

Heterogeneous Sensor Network),能够有效融合传感网异构格式数据以及异构传感网传感器功能部件的控制。

## 1 系统架构

**定义1** 传感网(Sensing Network, SN)。随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信单元的微小节点,通过主动或者被动组织的方式构成的传感器网络。

**定义2** 物联网关(Gateway of the Internet of Things, GWIOT)。部署在SN的现场,为接入SN在数据上做预处理工作,由逻辑网关(Logic GWIOT, LGWIOT)、物理网关(Physical GWIOT, PGWIOT)构成,适配器(gw\_adaptor)通过读取配置文件适配PGWIOT,解决异构问题。

**定义3** 接入代理(Access Agent, AA)。部署在一个指定区域,接入该区域内的GWIOT。AA由多个aa\_adaptor构成,每一个aa\_adaptor对应一个GWIOT,汇集该GWIOT数据和链路,分发控制命令。

**定义4** 本地管理器(Local Management, LM)。提供本地数据库(Local Database, LDB)操作接口,并且能够根据GWIOT的接入规模以及AA的负载状况进行合理调度,具体算法详见第3章。

ISHSN采用了集中式和分散式结合的存储方案,在每个接入区域内部署HBase<sup>[10]</sup>集群作为该接入区域的LDB;全局

**收稿日期:**2012-12-04;**修回日期:**2013-01-19。 **基金项目:**国家自然科学基金资助项目(60970012);教育部博士学科点专项科研博导基金资助项目(20113120110008);上海教委创新基金重点项目(13ZZ112);上海信息技术领域重点科技攻关计划基金资助项目(09511501000, 09220502800);上海市教育科学研究项目(B11042);上海市一流学科资助项目(XTKX2012)。

**作者简介:**陈金凯(1988-),男,上海人,硕士研究生,主要研究方向:物联网技术;曹剑炜(1979-),男,上海人,博士研究生,主要研究方向:网络计算;陈庆奎(1966-),男,上海人,教授,博士生导师,主要研究方向:网络计算、并行理论与并行数据库、物联网技术。

数据库(Grobal Database, GDB)存储接入区域与各个 LDB 之间的映射关系,如图 1 所示。

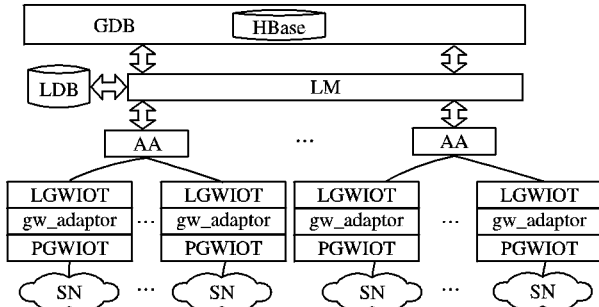


图1 ISHSN 系统架构

## 2 系统实现

### 2.1 标识符机制

标识符分为本地标识符(Local Identifier, LID)和全局标识符(Global Identifier, GID),形式上都表现为字符串。一套传感网各个传感器组件都会存在一个唯一的标识符,该标识符作为传感器的 LID, LID 最长为 15 个字符。GID 中包含着能够到达功能传感器的完整信息,其元组表示为 GID(zipcode, aa\_seqnum, aa\_adaptor\_seqnum, gwiot\_seqnum, LID)。其中:zipcode 表示该接入区域邮政编码,aa\_seqnum 表示此 AA 向 LDB 注册时获得的序号,aa\_adaptor\_seqnum 表示其被 AA 创建时赋予的序号,gwiot\_seqnum 表示其向 AA 注册时获得的序号,LID 为传感器本地标识符。这些序号长度都固定为 15 个字符,缺省位补“0”,因此 aa\_adaptor 按照格式定义,通过拼接和截取字符串,就可完成 GID 与 LID 之间的转换。

### 2.2 异构传感网接入

ISHSN 第一次接收到 SN 的数据视为该 SN 请求接入。PGWIOT 针对具体 SN 实现数据解析器,数据解析器解析来自 SN 的数据,并且将数据封装成基本数据格式(Basic Data Format, BDF),如图 2 所示。



图2 异构数据转换

BDF 的元组表示为 BDF(ID, SensorType, value, detail, time)。其中:LID 表示设备在本地的标识符,适用于 GWIOT 以及 SN 层;SensorType 表示传感器类型;value 表示传感器采样数值;detail 为 {key: value} 形式键值对,存储传感器其他信息;time 为时间戳。具体接入过程如下:

- 1) gw\_adaptor 根据配置文件描述的 PGWIOT 路径,并且运用 Java 反射机制动态实例化 PGWIOT,然后将其返回给 LGWIOT 持有的 PGWIOT 引用;
  - 2) PGWIOT 将异构数据按照 BDF 定义的格式转换,并将转换之后的数据存放在 LGWIOT 数据队列;
  - 3) LGWIOT 的多个 DataHandler 线程在数据队列同步阻塞,通过 socket 链接将数据发送到 aa\_adaptor;
  - 4) aa\_adaptor 将数据中 LID 转换成 GID,转换之后的数据存储在 AA 数据队列;
  - 5) AA 数据处理线程将 50 条数据合并为 1 条,通过 LM 接口批量写入 LDB;
- 为了防止 AA 长时间不向 LDB 写入数据,造成数据时延,AA 设计了超时机制,超过 30 s 自动将数据合并并且持久化。

### 2.3 异构传感网控制

应用层可以运用系统定义的基本命令格式(Basic Command Fromat, BCF)封装控制命令,过程如图 3 所示。

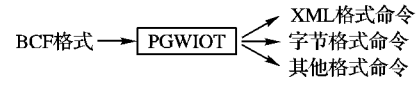


图3 控制命令转换

BCF 的元组表示为 BCF(GID, seq, command, arg<sub>1</sub>, arg<sub>2</sub>, ..., arg<sub>n</sub>)。其中:GID 为设备全局标识符;seq 为命令序号,标记命令顺序;command 表示具体命令;arg<sub>n</sub> 表示参数,一条 BCF 格式命令可以存在最多 20 个参数,同时 arg 也可作为扩展位来使用。具体控制过程如下:

- 1) 应用层首先在 GDB 检索目标接入区域 LM,然后通过 LM 检索出目标 AA,再向 AA 发送控制命令;
- 2) AA 收到命令后缓存在命令队列,截取 GID 的 aa\_adaptor 标识符部分,然后根据标识符向具体的分发控制命令;
- 3) aa\_adaptor 将命令中 GID 转换为 LID,再通过 socket 控制链路向 GWIOT 转发命令;
- 4) LGWIOT 将命令缓存在命令队列,接着调用 PGWIOT 命令解析器转化 BCF 命令为 SN 可识别的命令,然后执行命令;
- 5) 逐层写回响应,并且逐层断开控制链路。

由应用层根据命令执行响应结果来判断是否需要重新执行该命令,命令最多重传三次。这就避免因部分节点的失效而导致网络以及 IO 资源浪费。

## 3 AA 调度算法

考虑到在实际应用中,各个 GWIOT 的接入规模以及 AA 处理能力上的差异性,静态算法不能满足系统需求<sup>[11-12]</sup>。因此,提出了一种基于历史增量信息预测的 AA 调度算法,该算法通过综合服务器负载能力以及待接入 GWIOT 负载大小预测本次接入是否超出 AA 可承受的负载,以此达到负载均衡的目的。

定义了如下 4 个因素直接影响着 AA 的负载状况:CPU 利用率  $c$ 、内存利用率  $m$ 、数据队列利用率  $d$  和命令队列利用率  $o$ ,这些值都为代表资源使用率的百分比,其中 CPU 和内存反映服务器硬件的负载状况,而数据队列和命令队列反映出软件负载状况。

假设在某个接入区域有  $n$  台 AA 服务器,  $AA_i$  表示第  $i$  台服务器,本文用  $L_i (1 \leq i \leq n)$  来表示  $AA_i$  的负载系数。负载系数计算公式如下:

$$L_i = \omega_1 c_i + \omega_2 m_i + \omega_3 d_i + \omega_4 o_i; \sum_{i=1}^4 \omega_i = 1 \quad (1)$$

其中  $\omega_i$  分别表示 4 个负载因素的权重。 $L_i$  的值越大说明负载越大,反之则越小。负载因素中任意一个超过阈值  $\delta$ ,那么就将  $AA_i$  视为负载过重。

负载系数预测是基于实际负载系数加上一定规模的传感网接入所造成的负载系数的增加量。如式(2)所示:

$$L_i' = L_i (1 + \Delta L_i (X/x_i)) \quad (2)$$

其中:  $\Delta L_i = \sum_{n=1}^y \Delta L_i^n$  表示  $AA_i$  负载系数总增加量,  $X$  代表  $AA_i$

本次接入 GWIOT 的数据规模,  $x_i = \sum_{n=1}^y x_i^n$  表示总的接入规模。接入规模的具体数值为传感器的数量和采样间隔的乘积。

具体的算法如下所示:

- 1) GWIOT 向 LM 申请 AA,假设  $AA_i$  已经接入  $y$  个

GWIoT, 那么 LM 根据式(2)计算出预测负载系数。

2) 将那些负载系数  $L_i'$  大于  $\delta$  的 AA 从候选集合中移除, 剩余 AA 的数量为  $count$ 。

3) 如果  $count = 0$ , 那么 LM 发出警告, 直接结束; 否则, 程序继续。

4) 通过  $\min(L_i')$  选择出最小负载的 AA 进行调度。

5) GWIoT 成功接入后, 根据式(1)重新计算  $L_i$ 。

算法伪代码如下:

```
AA * dispatchAA(GWIOT gwiot, AACount count)
{
    AA * MrRight = NULL;
    for(int i = 1; i <= count; i++)
    {
        L[i] = calculateWeight(gwiot, X, AA[i]);
    }
    AA * AACandidates = getValidAA(L);
    if (AACandidates.count > 0)
        MrRight = getMinLAA(validAA);
    else
        Alert("no valid AA");
    return MrRight;
}
```

## 4 实验与分析

### 4.1 实验环境

实验所用设备如图4所示, 包括: Dell360 台式商务机。传感网分别为 Crossbow MIB520 无线传感器 (Crossbow WSN)、华东计算技术研究所无线传感器 (SC WSN)、深圳亿道 (Emdoor) 电子物联网实验平台。图4的右下角展示的是各传感网实时监控 Web 页面。



图4 实验设备

这些传感器的数据协议和控制协议都存在明显的异构特性。Crossbow 采用 XML 格式数据以及控制命令, SC 以及 Emdoor 均采用纯字节流格式。

### 4.2 现场环境

在嘉定马陆葡萄研究所部署了 ISHSN, 如图5所示。考虑到系统的部署规模较小, 因此, 将 GWIoT、AA 部署在同一台 Dell360 台式商务机, LDB、LM 部署在另外一台; 还有一台服务器运行 php 网站, 网站从 LDB 读取数据, 通过壁挂式 LED 实时展示 Crossbow Eko 在葡萄大棚的采样数据。



图5 嘉定现场

### 4.3 SN 控制实验

为了验证 ISHSN 在异构传感网功能模块控制上的可用性, 使用3组异构传感网, 总共30多个传感器, 做了 SN 有效控制实验。表1为实验结果, 编号前两位为组号, 后两位为节点号。

表1 多组感知设备控制实验结果

传感网	控制对象	编号	动作	结果
	LED	0101	开/关/闪断	成功/成功/成功
Crossbow	蜂鸣器	0113	开/关	成功/成功
	采样间隔	0127	设为 1 min	成功
SC	采样间隔	0204	设为 1 min	成功
Emdoor	采样间隔	0302	设为 1 min	成功

控制动作包括传感器功能模块的开启与关闭、LED 灯闪断以及传感器采样间隔设置。实验结果表明系统能够满足异构传感网控制。

### 4.4 系统可扩展性实验

系统接入了300个传感器做了系统可扩展性实验, AA 集群规模从10个增加到50个, 每次增加5个, 图6为实验结果。

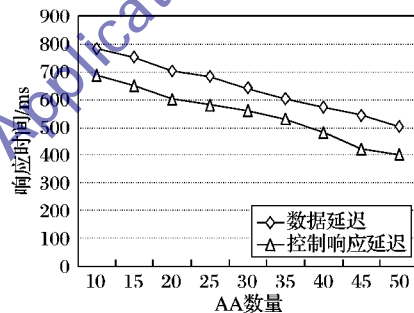


图6 集群延迟实验

其中数据延迟为 GWIoT 和 AA 处理数据延迟之和, 控制响应延迟为上层应用从发出命令到获得响应所经过的时间。

可以看出, 随着 AA 数量的增加, 数据延迟和控制的响应时间都相应减少。可见, ISHSN 具有良好的可扩展性。

### 4.5 负载实验

为了验证 AA 调度算法的可用性, 使用了3组异构传感网, 300个传感器进行负载实验。取  $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 0.25$ ,  $\delta = 60\%$  计算 GWIoT 以及 AA 负载系数值, 结果如表2所示。

第1列为 PC 编号, 其中1、2、3和4、5、6、7和8、9、10号 GWIoT 分别为三类传感数据源的接入网关。而10台 AA 中只有1、2、3号被启用, 其他均处于待分配状态, 并且1、2、3的负载均匀。

实验证明 AA 能够有效地汇集数据及合并链路, AA 调度算法能够均匀分散来自 GWIoT 接入负载, 该算法具有较好的可用性。

表2 AA 以及 GWIoT 负载系数

PC 编号	GWIoT	AA	PC 编号	GWIoT	AA
1	0.46	0.56	6	0.54	0.23
2	0.45	0.57	7	0.52	0.23
3	0.43	0.55	8	0.44	0.21
4	0.53	0.23	9	0.43	0.22
5	0.51	0.24	10	0.41	0.22



就必须保证  $\frac{1}{n} \in (\frac{2}{W}, \frac{2}{1+2^m W})$ , 即  $n \in (\frac{W}{2}, \frac{1+2^m W}{2})$ , 当  $n$  较小时  $W$  (即  $CW_{\min}$ ) 也必须减小, 且满足  $W < 2n$ 。假若节点数为 2, 为保证系统能获得最大系统吞吐量,  $W$  的取值应该小于 4。另一方面, 当节点数较大时, 又必须保证  $n < (1+2^m W)/2$ , 当系统节点数为 200 时,  $CW_{\max} = 2^m W \geq 2 \times 200 - 1 \approx 400$ , 即  $CW_{\max}$  必须大于 400, 由于 BEB 算法是按 2 的指数次方增长的, 因此  $W$  和  $CW_{\max}$  尽可能取 2 的幂次方。但是当  $CW_{\max}$  增大时, 必然会增大系统的调节时间。另外, 当一个节点传输成功后, 其回退窗口值将设置为最小值  $W$ , 增大该节点数据传输的概率, 造成了系统公平性下降。

### 3 结语

通过数值分析和仿真测试表明在时隙 ALOHA 协议中应用二进制指数回退 (BEB) 算法可以保证系统的稳定性。当最小窗口值  $CW_{\min}$  偏大时, 若节点数较小, 则系统吞吐量明显低于理论最大极限值 0.368; 若减小  $CW_{\min}$  值, 若节点数较大, 系统吞吐量明显又低于理论最大极限值 0.368。同伪贝叶斯算法相比, 当节点数目过大或过小时, BEB 算法性能明显降低。在实际应用中应该考虑使用一种动态调整  $CW_{\min}$  的机制来保证系统在各种节点情况均能获得最大稳定吞吐量。

#### 参考文献:

- [1] RIVEST R L. Network control by Bayesian broadcast [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1987, 33(3): 323–328.
- [2] RICHARD T B M, VISHAL M, DAN R. An analysis of generalized slotted-Aloha protocols [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2009, 17(3): 936–949.
- [3] CLARE L P. Control procedures for slotted Aloha systems that achieve stability [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1986, 16(3): 302–309.
- [4] SARKER J H, MOUFTAH H T. A retransmission cut-off-random access protocol with multi-packet reception capability for wireless networks [C]// SENSORCOMM'09: Proceedings of the 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications.

Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 217–222.

- [5] SARKER J H. Stability of random access protocol with newly generated packet rejection and retransmission cut-off [C]// WTS'06: Proceedings of the 2006 Wireless Telecommunications Symposium. Piscataway: IEEE, 2006: 1–7.
- [6] SARKER J H. Stable and unstable operating regions of slotted ALOHA with number of retransmission attempts and number of power levels [J]. IEEE Proceedings Communications, 2006, 153(3): 355–364.
- [7] PARK J, van der SCHAAR M. Medium access control protocols with memory [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2010, 18(6): 1921–1934.
- [8] HU YINGBO, YANG WEIWEI. Throughput analysis of slotted ALOHA with cooperative transmission using successive interference cancellation [J]. Science in China Series F: Information Sciences, 2009, 52(12): 2354–2359.
- [9] WANG S-H, HONG Y-W P. Transmission control with imperfect CSI information in channel-aware slotted ALOHA networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(10): 5214–5224.
- [10] PIETRABISSA A, FIASCHETTI A. An innovative optimal approach to slotted-Aloha random access protocol [C] // Advanced Satellite Multimedia Systems Conference and the 11th Signal Processing for Space Communications Workshop. Piscataway: IEEE, 2010: 462–468.
- [11] IVANOVICH M, ZUKERMAN M, CAMERON F. A study of deadlock models for a multiservice medium access protocol employing a slotted Aloha signalling channel [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(6): 800–811.
- [12] CALI F, CONTI M, GREGORI E. Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(6): 785–799.
- [13] BIANCHI G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535–547.

(上接第 1193 页)

### 5 结语

本文设计并实现了一个异构传感网融合系统 ISHSN, 实验证明 ISHSN 能够有效融合传感网异构格式数据并且有效控制异构传感网传感器部件, 系统具有良好的可扩展性和可用性。由于本文提出 AA 调度算法基于线性方法实现, 在预测精度上还能有所改进, 因此下阶段主要工作集中在算法改进。

#### 参考文献:

- [1] 宁焕生, 徐群玉. 全国物联网发展及中国物联网建设若干思考 [J]. 电子学报, 2010, 38(11): 2590–2599.
- [2] 钱志鸿, 王义君. 物联网技术与应用研究 [J]. 电子学报, 2012, 40(5): 1023–1029.
- [3] HURLBURN G F, VOAS J, MILLER K W. The Internet of things: a reality check [J]. IT Professional, 2012, 14(03): 56–59.
- [4] 陈庆奎, 范雄男. Crossbow 平台上的 PMCS 机制实现 [J]. 计算机工程, 2011, 37(18): 225–227.
- [5] 丁治明, 高需. 面向物联网海量传感器采样数据管理的数据库集群系统框架 [J]. 计算机学报, 2012, 35(6): 1175–1191.
- [6] WANG Z L, YANG Y, WANG L, et al. A SOA based IOT communication middleware [C]// 2011 International Conference on Mecha-

tronic Science, Electric Engineering and Computer. Piscataway: IEEE, 2011: 2555–2558.

- [7] TAN L, WANG N. Future Internet: the Internet of things [C]// The 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering. Piscataway: IEEE, 2010, 5: 376–380.
- [8] XU X L, ZUO Y B, WU G X. Design of intelligent Internet of things for equipment maintenance [C]// The Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. Piscataway: IEEE, 2011: 509–511.
- [9] VORA M N. Hadoop-HBase for large-scale data [C]// 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. Piscataway: IEEE, 2011: 601–605.
- [10] VORA M N. Hadoop-HBase for large-scale data [C]// 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology. Piscataway: IEEE, 2011, 1: 601–605.
- [11] TONG R X, ZHU X F. A load balancing strategy based on the combination of static and dynamic [C]// The 2nd International Workshop on Database Technology and Applications. Piscataway: IEEE, 2010: 1–4.
- [12] FANG Y Q, WANG L Z. An algorithm of static load balance based on topology for MPLS traffic engineering [C]// WASE 2009: International Conference on Information Engineering. Piscataway: IEEE, 2009: 26–28.