

一种基于云计算的无线传感网体系结构*

孙韩林^{1a}, 张 鹏^{1b}, 闫 峥², 谢晓燕^{1a}

(1. 西安邮电大学 a. 计算机学院; b. 移动互联网研究所, 西安 710121; 2. 西安电子科技大学 综合业务网理论与关键技术国家重点实验室, 西安 710071)

摘 要: 提出了一种基于云计算的无线传感网体系结构。整个传感网被划分为若干个分区;云作为虚拟汇聚节点,有多个汇聚触点,每个触点负责一个分区中传感器的数据收集;每个分区中的传感器组成本地传感网,所有本地传感网通过云连接成一个整体;数据在云中分布存储、并行处理。模拟实验表明,新结构传感网的数据传输性能明显提升。该结构适用于以数据为中心的无线传感网。

关键词: 无线传感网;数据型网络;无线传感网体系结构;云计算

中图分类号: TP393.02 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)12-3720-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.052

Architecture for wireless sensor network based on cloud computing

SUN Han-lin^{1a}, ZHANG Peng^{1b}, YAN Zheng², XIE Xiao-yan^{1a}

(1. a. School of Compute Science & Technology, b. Research Institute of Mobile Internet, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710121, China; 2. State Key Laboratory on Theory & Chief Technology of Integrated Services Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: This paper proposed a novel architecture for WSN based on cloud computing. The whole WSN divided into several zones. A cloud acted as a virtual sink and had many sink points, each of which collected sensing data from sensors in a zone. The sensors of a zone constituted local wireless sensor networks (LWSNs). All LWSNs integrated together through the cloud. The cloud stored collected sensing data in distributed manner and processed them in parallel way. Simulation results show that the data transmission performance of sensors in the proposed architecture improved significantly. The proposed architecture is suitable for data centric wireless sensor network.

Key words: wireless sensor network (WSN); data centric network; wireless sensor network architecture; cloud computing

0 引言

无线传感网 (WSN) 是由大量传感器组成的自组织网络,传感器之间以多跳方式通过无线信道进行通信。传感器感知周围环境的信息,并把感知数据发送到汇聚节点 (sink) 进行处理。无线传感网自从出现就被应用在很多领域,如环境监测、军事、监控、灾难救援等。在物联网时代,WSN 必将获得更广泛的应用。传感器通常是一种低成本的简单设备,其所拥有的计算能力、内存、存储空间、无线带宽以及工作电池等资源有限。在设计无线传感网时,必须考虑这些限制,尤其是传感器电池的电量决定了网络的工作生命期。无线传感器涉及的所有通信协议都被优化以节约电能,包括 MAC 层^[1]、网络层 (路由协议)^[2]、传输层^[3] 以及跨层协议^[4]。数据传输是主要的能量消耗操作,文献[5]提出了网络中数据处理的方法以减少传输数据,进而减少电量消耗。文献[6]通过移动汇聚节点收集传感器数据的方法来减少数据传输操作。拓扑重构可减小端

到端路径长度 (从而减少传输操作) 以及均衡传感器能量消耗^[7-9],从而延长网络生命。

近年来出现了无线多媒体传感网 (wireless multimedia sensor network, WMSN) 和无线传感执行网 (wireless sensor and actor network, WSAN) 等新型无线传感网。WMSN 中,图像传感器、音频传感器和视频传感器被用于感知更丰富的多媒体信息^[10]。WSAN 在无线传感网中引入了执行器 (actor),它通常是可移动的机器人,在移动过程中可与附近的传感器进行信息交换^[11]。这些新型的传感网有更多的数据需要传输和处理,传感器资源有限的问题变得更为突出。数据压缩、高效图像编码、跨层通信协议、智能活动调度和高效路由等技术被用于解决这些问题^[12-16]。

云计算是一种灵活的 IT 资源组织和提供方式。Hadoop 云技术支持分布式存储和并行处理,其数据处理框架 Map Reduce 以本地计算方式处理大部分数据而无须大量远程传输这些数据。本文提出一种基于 Hadoop 的无线传感网体系结构。

收稿日期: 2013-03-15; **修回日期:** 2013-04-23 **基金项目:** 陕西省国际科技合作重点项目 (2012KW-03-01); 陕西省教育厅科研计划基金资助项目 (11JK1018, 12JK0938); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目 (K5051201032)

作者简介: 孙韩林 (1980-), 男, 陕西韩城人, 博士, 主要研究方向为网络测量、复杂网络、云计算等 (sunhanlin@xupt.edu.cn); 张鹏, 男, 教授, 博士, 主要研究方向为移动互联网、移动云计算; 闫峥, 女, 教授, 博士, 主要研究方向为安全与信任管理、普适计算; 谢晓燕, 女, 副教授, 硕士, 主要研究方向为无线传感网、网络通信协议、并行计算。

该结构中,Hadoop 云作为虚拟汇聚节点,从多个位置收集传感器数据,数据就近传输到云,因而传感器的数据传输性能会得到显著提升;收集的数据在 Hadoop 中存储和处理,避免了大量数据传输,同时提高了数据处理速度。

1 传统无线传感网体系结构

基本的无线传感网体系结构可分为平面体系结构(flat architecture)和层次体系结构(hierarchy architecture)两种类型。平面体系结构中,所有传感器地位平等,每个节点既是数据源(从周围环境感知信息),也是路由器(转发邻居发送的数据);传感器与汇聚节点以多跳方式通信。层次体系结构中,传感器被按照某种规则分为簇(cluster),每个簇选举一个成员作簇头(cluster head);所有簇头组成一个类似于平面 WSN 的上层网络。簇中的传感器将数据发送给簇头,簇头再将数据转发给汇聚节点。

多媒体传感网体系结构可分为三类,即单层(single-tier)结构、基于簇的单层(single-tier cluster based)结构和多层(multi-tier)结构^[10]。在单层结构中,所有传感器完成相同的工作,即感知数据、处理多媒体数据以及把数据发送给汇聚节点;在分簇单层结构中,同种类型传感器组成一个簇,不同类型传感器组成不同簇,簇头连接到汇聚节点(可通过网关),负责转发本簇中成员节点发送的数据;多层结构中,同种类型传感器被组织在同一个层次,不同类型传感器组织在不同层次。在典型的三层结构中,第一层(最低层)由普通传感器构成,负责收集简单环境信息(如温度、湿度、光强等);第二层由较复杂的传感器(如图像传感器)组成,可完成较复杂的任务,如图像感知、目标识别等;第三层则由更复杂的传感器(如高分辨率视频传感器)组成,完成如视频流、目标跟踪等任务。每一层次有一个中心节点(center hub),负责收集本层传感器数据,并与上下层通信。第三层的中心节点连接到汇聚节点。

无线传感执行网有三种类型节点:传感器、执行器和汇聚节点。传感器分布在监视区域,用于感知环境信息;执行器能够移动,在移动过程中能与附近传感器进行通信,收集传感器数据,同时执行器自身也能感知环境信息。执行器综合处理感知和收集到的信息,从而作出合理的决策。传感器或执行器通过多跳方式与汇聚节点进行远距离通信。

无线传感网中,限于数据集中处理的需求,往往只有一个汇聚节点,所有传感器都把自己的感知数据发送给这个汇聚节点。网络规模越大,端到端平均路径越长(跳数越多),转发操作越多。靠近汇聚节点的传感器还需要为其他传感器转发大量数据,其能量消耗会更快。此外,由于数据传输在这些节点上汇集,在这些节点上往往也会发生拥塞,导致数据丢失。

2 基于云计算的无线传感网

2.1 体系结构

基于云计算的无线传感网体系结构如图 1 所示。一组特殊节点分布于无线传感网区域,称为云节点。云节点具有比传感器更丰富的资源,有两个功能。一方面,这些节点组成云,是云的一部分;另一方面,它们还可与传感器进行通信,收集附件

传感器的数据,也称为汇聚触点(point sink)。传感器将感知数据发送到某一个汇聚触点(以多跳方式),汇聚点再将数据存储在云中。把数据发往同一个汇聚触点的传感器组成一个组,为了与 WSN 中簇的概念相区分,本文称这种组为分区(zone)。对传感器而言,整个云表现为一个虚拟汇聚节点(virtual sink)。

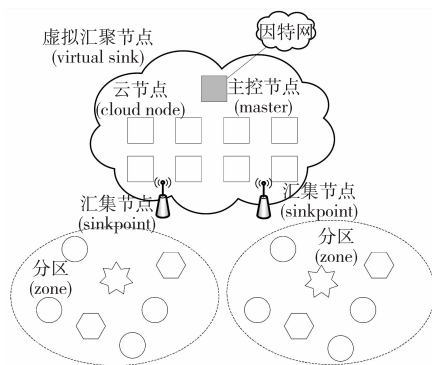


图 1 基于云计算的 WSN 体系结构

2.2 分区传感器组织

传感器按照某种规则归属于一个分区。例如,传感器可以加入到距离最近的汇聚触点所代表的分区。每个分区中的传感器可以是相同类型或不同类型,它们构成本地无线传感网,且独立于其他分区。所有本地无线传感网通过云连接成一个整体。分区中传感器可以采用平面结构或层次结构进行组织。

多层 WMSN 结构中,同种传感器被组织在同一个层次,构成一个 WSN;低层 WSN 通过中心节点连接到高层,高层的中心节点为低层转发数据。同时,高层的中心节点也可以对转发的数据进行处理,从而调度本层传感器的活动,如休眠或激活等。与传感器一直处于激活状态相比,这种工作方式减少了传感器能量消耗。但另一方面使传感器软件的设计、维护变得更复杂。此外,中心节点要处理和转发大量数据,其能量消耗将更快。

在基于云的体系结构上,本文提出分区传感器的另一种组织方式如图 2 所示。同种传感器各自组成一个 WSN,并将它们的数据发送到汇聚触点(若同类传感器无法直接通信,也可借助不同类型传感器作网关)。每种类型的传感器构成一个逻辑上独立但物理区域重叠的 WSN,这些 WSN 连接到同一个汇聚触点。数据处理软件部署在云中(不仅仅是这些 WSN 所连接的汇聚触点)。收集各类感知数据并处理后,云可以(通过汇聚触点)调度每个独立 WSN 中的传感器以合理方式运行。与基于簇的单层结构相比,这种组织方式在分区中实现,独立 WSN 的规模更小,传输效率更高,且控制信息仍具有全网视角。

2.3 云组织

云节点组成云时需要考虑下列问题:a)云节点如何部署在 WSN 区域中;b)云节点之间如何通信;c)节点如何组织成云;d)汇聚触点收集的数据如何存储到云中,在云中处理。

云节点(汇聚触点)位置的选择依赖于无线传感网中传感器的分布状况。理想情况下,汇聚触点位置可以使整个网络中的数据传输操作最小化,可采用类似文献[9]中的复杂算法进行位置选择。但由于 WSN 的动态特性(拓扑变化、路由变化、

数据生成位置和模式多样等),理想目标很难达到。在传感器均匀分布的情况下,一种简单的方法是使每个汇聚触点负责大体相等数量的传感器的数据收集。

云节点必须相互通信以构成云。云节点需要合理部署在 WSN 区域中,工作在可管理的环境下,因此可能存在网络基础设施。若存在有线网络,节点可使用 VPN 等方式进行安全通信;若存在移动通信网络(如 2.5 G、3 G、LTE 等),云节点也可以用这些网络实现互连。但无线传感网通常部署在无基础设施的环境中,自组织无线网络是唯一可利用的通信方式。例如,可给云节点配置 IEEE 802.11 协议栈,组成 Ad hoc 网络。

若云节点采用无线方式通信,节点间的带宽仍然是首要的考虑因素。文献[17]以智能手机为硬件设施,移植 Hadoop 作为管理软件构成移动云,节点间使用无线信道通信,这与本文中的需求类似。本文中也采用 Hadoop 组织云节点。Hadoop 适宜于存储和处理海量数据,其设计原则之一就是移动计算比移动数据代价小,大部分数据处理在本地完成而无须通过网络进行传输。Hadoop 的存储系统(hadoop distributed file system, HDFS)和数据处理系统(Map Reduce 框架)都是主从式结构,主节点负责存储文件系统元数据或工作(job)调度,从节点负责存储文件数据或执行任务(task,任务是工作划分后的一部分)。这两种主节点可以部署在同一个物理设备上,也可以各自部署在不同的物理设备上。在其存储系统中,用户读写文件时,首先与主节点连接,获取文件元数据(如文件位置),然后直接与存储文件内容的从节点建立连接,写入或读取文件数据。在数据处理系统中,用户提交程序代码到主节点,主节点将代码发送到被处理数据所在的若干从节点或距离被处理数据最近的若干从节点,并调度、协调任务运行,即大量数据的处理发生在本地。因此,在构建 WSN 的虚拟汇聚节点云时,还需要一个主节点作为 HDFS 或 Map Reduce 的控制节点。它也是系统的访问入口,具有 Internet 连接。同样,Hadoop 并不能直接用到本文所提的结构中,其配置参数甚至代码都需要针对无线传感网进行优化。

云节点不仅是 Hadoop 云的一个从节点,它还是一个分区的汇聚触点,负责收集该分区传感器的数据,并作为一个用户将数据存储在 Hadoop 中。实际上,通过优化 Hadoop,数据存储时可不进行远程传输,存储在本地,汇聚触点只需要与主节点协商更新文件元数据即可;而基于 Map Reduce 框架处理这些数据也不需要大量的数据传输。图 3 给出了云节点以 Ad hoc 方式通信组成虚拟汇聚节点云的一个例子。

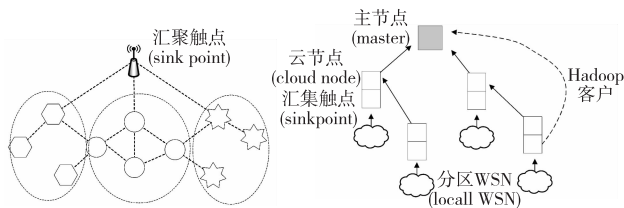


图 2 分区传感器组织

图 3 云的组织

3 仿真及分析

本文提出的无线传感网体系结构以虚拟汇聚节点云从多个位置(汇聚触点)收集传感器数据,相当于将整个传感网划

分为若干规模较小的传感网,分别实现数据采集。因此,数据传输平均路径长度将减小,数据转发操作减少,从而传感器能量消耗会降低;同时因转发大量数据而引起的拥塞现象也会减轻。数据在云中以分布式方式存储,可并行处理,且多数处理操作可在数据存储位置(或存储位置附近)完成。

为验证该体系结构的性能,用 NS2 进行了仿真实验。云存储和处理性能与分布式算法、所采用的通信方式等有关,实验主要针对传感网的数据传输性能进行模拟。在 200 m × 200 m 范围内,采用规则拓扑部署传感器,每 10 m × 10 m 放置一个传感器,均匀放置 1、4 或 8 个汇聚触点(云节点)。所有节点采用 IEEE 802.15.4 协议构成多跳自组织网络。节点通信范围 15 m,采用 AODV 路由协议。每个传感器上部署 CBR 或 Poisson 流量发生器,在仿真开始的前 10 s 内随机启动,传感器将生成的分组发往离自己最近的汇聚触点。CBR 流量每隔 5 s 发送一个分组;Poisson 流量分组平均到达间隔为 5 s。分组长度均为 70 Byte。

表 1 和 2 分别给出了 CBR 流量和 Poisson 流量的仿真结果统计(每种场景模拟五次,取平均值),其中,每成功分组平均发送次数是分组总的发送次数除以成功到达汇聚触点的分组总数。可以看出,随着汇聚触点数目的增加,成功到达分组的比例显著增加;成功分组的端到端平均路径长度(跳数)和平均时延均明显减小;每成功分组平均发送次数也减少,意味着发送同样数据量所消耗的能量也减少。

表 1 CBR 流量仿真结果统计

汇聚触点个数	生成分组总数	发送操作总数	成功到达分组总数	发送成功率/%	成功分组平均跳数	成功分组平均时延/s	每成功分组平均发送次数
1	4022.8	40944.2	2452.8	60.97	9.90	0.7373	10.18
4	7617.2	47670.4	6673.8	87.61	5.76	0.2458	6.26
8	6853.6	32868	6565.2	95.79	4.54	0.1354	4.80

表 2 Poisson 流量仿真结果统计

汇聚触点个数	生成分组总数	发送操作总数	成功到达分组总数	发送成功率/%	成功分组平均跳数	成功分组平均时延/s	每成功分组平均发送次数
1	16970.6	240216.2	11037.8	65.04	12.40	0.0850	14.15
4	12205.8	90306	11348	92.97	6.79	0.0433	7.40
8	6816	31347.6	6550.4	96.10	4.20	0.0281	4.60

图 4、5 分别是端到端时延和跳数的统计分布(只统计成功发送分组),其中时延数据进行了过滤,只取小于 0.2 s 的数据(占有效数据的 90% 以上)。

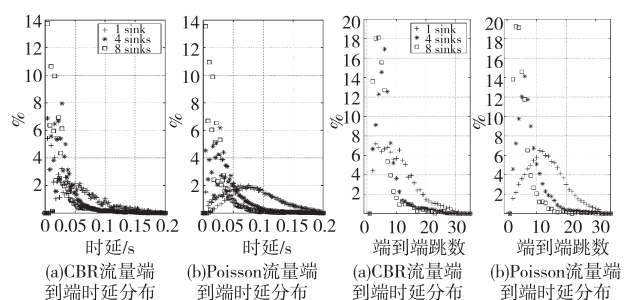


图 4 端到端时延分布

图 5 端到端跳数分布

从图中也可以看出,当汇聚节点数目增加后,小时延和跳数的比例有很大上升。

采用本文的体系结构组织无线传感网,需要以 Map Reduce 框架(重新)设计并实现传感数据处理算法。此外,还必须对云节点进行管理,尤其要以合理方式把云节点部署在无线传感网区域。在某些情况下,通过对少量云节点的有限管理来换取无线传感网工作生命期的延长是可接受的。

与 Hadoop 相关的一些开源项目在 HDFS 之上构建了数据库存储系统,如 HBase 和 Hive。数据库隐藏了文件管理细节,支持细粒度数据访问。而无线传感网中传感器通常周期性地采集环境信息,具有数据量小且持续的特点,若采用数据库存储数据,可省去繁琐的文件管理操作。此外,这两种数据库都以表结构组织数据,不同云节点上的同类数据可以建立起统一的逻辑视图;HBase 支持 Map Reduce 并行处理框架,而 Hive 本身就运行在 Map Reduce 之上,支持 HiveQL 查询语言(类似于 SQL)进行数据操作。这些特性使得数据处理变得更加简单、灵活。因此,也可考虑将 HBase 或 Hive 优化后引入到无线传感网云中。

4 结束语

本文提出了一种基于云计算技术 Hadoop 的无线传感网体系结构。该结构传感网从多个位置收集传感器数据,分组就近传输到云虚拟汇聚节点。仿真实验分析表明,与单个汇聚节点的传统传感网相比,新结构网络中的传感器数据传输性能得到明显提升:分组平均传输路径长度减小,意味着分组平均转发次数(即平均传输能耗)和平均端到端传输时延也会减小;因数据汇集拥塞而导致的分组丢失现象也明显减少,分组传输有效性得到提升。感知数据分布存储在云中;在 Map Reduce 并行计算框架下,数据处理也不需要大量地移动。本文后续的工作将具体研究虚拟汇聚节点云的组织,从典型无线传感网数据处理算法出发,细化 Hadoop 的移植方案,并在此基础上考虑把 HBase 或 Hive 引入到无线传感网云中。

参考文献:

- [1] GAJJAR S H, DASGUPTA K S, PRADHAN S N, *et al.* Comparative analysis of medium access control protocols for wireless sensor networks[C]//Proc of Annual IEEE India Conference (INDICON). Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 1-4.
- [2] RAGHUNANDAN G H, LAKSHMI B N. A comparative analysis of routing techniques for wireless sensor networks[C]//Proc of National Conference on Innovations in Emerging Technology. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 17-22.
- [3] LIU Su, TANG Yan, LIU Yong-hua. A survey of transport protocol for wireless sensor networks[C]//Proc of the 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2012: 2338-2341.
- [4] GAJJAR S H, PRADHAN S N, DASGUPTA K S. Cross layer architectural approaches for wireless sensor networks[C]//Proc of Recent Advances in Intelligent Computational Systems. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 557-562.
- [5] SORNIOTTI A, GOMEZ L, WRONA K, *et al.* Secure and trusted in-network data processing in wireless sensor networks: a survey[J]. *Journal of Information Assurance and Security*, 2007, 2(3): 189-199.
- [6] WANG Bin, XIE Dong-liang, CHEN Can-feng, *et al.* Employing mobile sink in event-driven wireless sensor networks[C]//Proc of the 67th IEEE Vehicular Technology Conference. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 188-192.
- [7] BAI Ri-dong. Topological optimization based on small world network model in wireless sensor network[C]//Proc of the 2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation. 2011: 254-257.
- [8] XU Jiu-qiang, WANG Hong-chuan, LANG Feng-gao, *et al.* Study on WSN topology division and lifetime[C]//Proc of IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 380-384.
- [9] FOTUE D, MELAKESSOU F, LABIOD H, *et al.* Effect of sink location on aggregation based on degree of connectivity for wireless sensor networks[C]//Proc of the 5th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 271-276.
- [10] ALNUAIMI M, SALLABI F, SHUAIB K. A survey of wireless multimedia sensor networks challenges and solutions[C]//Proc of International Conference on Innovations in Information Technology. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 191-196.
- [11] CAI Zi-xing, REN Xiao-ping, HAO Guo-dong, *et al.* Survey on wireless sensor and actor network[C]//Proc of the 9th World Congress on Intelligent Control and Automation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 788-793.
- [12] CHEN Cheng, TIAN Bin, LI Ye, *et al.* Data aggregation technologies of wireless multimedia sensor networks: a survey[C]//Proc of IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010: 83-88.
- [13] XIONG Zhe-yuan, FAN Xiao-ping, LIU Shao-qiang, *et al.* Distributed image coding in wireless multimedia sensor networks: a survey[C]//Proc of the 3rd International Workshop on Advanced Computational Intelligence. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010: 618-622.
- [14] MA Tao, HEMPEL M, PENG Dong-ming, *et al.* A survey of energy-efficient compression and communication techniques for multimedia in resource constrained systems[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2012, 14(99): 1-10.
- [15] EHSAN S, HAMDAOUI B. A survey on energy-efficient routing techniques with QoS assurances for wireless multimedia sensor networks[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2012, 14(2): 265-278.
- [16] ALAEI M, MARIA B J. Priority-based node selection and scheduling for wireless multimedia sensor networks[C]//Proc of the 6th IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010: 151-158.
- [17] MARINELLI E E. Hyrax: cloud computing on mobile devices using MapReduce[D]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2009.