

WSAN 中任务智能执行的 SDN 控制模型

吴鸿玲¹, 程耕国², 程 骅³

(1 武汉科技大学 信息科学与工程学院, 湖北 武汉 430081;

2 武汉科技大学 冶金自动化与检测技术教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430081;

3 武汉科技大学 冶金工业过程系统科学湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430081)

摘 要: 软件定义网络(SDN)是一种新技术, 为了提高 WSAN 的通信效率以及可扩展性, 讨论了将 SDN 应用于 WSAN 的模型上. 具体模型包括一个具有全新控制平面的三层架构、相应的系统实体以及加强了协议栈. 实验结果表明, SDN 采用控制和转发相分离的架构, 使复杂的网络管理变得简单和方便.

关键词: 软件定义网络; 无线传感器执行网络; 协同通信; 协议栈

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2016)12—0108—05

SDN Control Model for Intelligent Task Execution in WSAN

WU Hong-ling¹, CHENG Geng-guo², CHENG Hua³

(1 Institute of Information Science and Technology, Wuhan University of Science and Technology,

Wuhan 430081, China; 2 Engineering Research Center of for Metallurgical Automation and

Detecting Technology of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology,

Wuhan 430081, China; 3 Hubei Province Key Laboratory of Systems Science in Metallurgical

Process, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: Wireless sensor and actor network (WSAN) has good prospects for application, it is widely used in many fields, such as industry, traffic-transportation and health care. However, its heterogeneity, mobility, energy consumption, topology and other issues will be a challenge to the effective operation of the WSAN. Software Defined Network (SDN) is a new technology that it can configure networks and solve the conflict of rules in the distributed system easily and effectively in a centralized and programmable pattern. In order to improve the communication efficiency and scalability of WSAN, this paper studies the model that applying SDN to the WSAN model. The specific model includes three-layer architecture with a new control plane, the corresponding system entities and strengthened protocol stack. The experimental results show that the architecture of the separation of control and forwarding that SDN has adopted can make the complex network management become simple and convenient.

Key words: software defined networks; wireless sensor and actor networks; cooperative communication; protocol stack

1 引言

无线传感器和执行器网络(wireless sensor and actor network, WSAN)是由大量的感知器和少量的执行器组成. 它不仅从环境中感知和收集信息, 而且能对环境变化做出积极的响应. 因此它在工业、军

事、交通、环境保护以及医疗保健^[1]等领域中具有广阔的应用价值. 为了在 WSAN 中有效的处理任务, 存在以下几个性能要求^[2]: (1)实时动作; (2)能耗低; (3)任务能按正确的顺序被执行; (4)选择合适的节点用于消除冗余信息和行动. 然而, 在 WSAN 中, 任务执行期间的协同通信存在如下严峻的挑战:

收稿日期: 2016—03—23; **修回日期:** 2016—05—11

基金项目: 国家自然科学基金项目(61304129); 湖北教育科研项目(Q20121107); 武汉科技大学基金会项目(2012x2009)

(1)节点以分布式的方式运行,从全局优化角度^[3]来看,很难管理这些对象、开启时间以及通信方式.这样会导致频繁的通信冲突.

(2)节点动态的加入或者退出通信很难被其他节点发觉.对于网络来说,很难同步获取状态和功能的更新.

(3)传感器网络的固有传输速率会导致效率低下.

(4)在协同通信中,处理任务的复杂过程会导致节点产生复杂的关系.

以上所有这些会导致能耗高、可靠性低、处理时延长以及网络规模和性能的可扩展性差.

基于分层的思想,软件定义网络^[4](software defined network,SDN)分离了最初集成在同一节点上的转发控制功能以及数据传输功能.控制面包含逻辑集中以及可编程的SDN控制器,它可以获取整个网络的信息.因此对操作人员和开发人员来说,非常方便配置网络和部署新的协议.

同时,在数据面中,节点为了传输数据包,仅仅只需要简单的数据转发功能,因此网络可以轻松地处理大量增加的网络流量.用于处理两个平面间相互作用的接口是开放及统一的.SDN控制器通过这些接口发送统一的转发规则给数据面中的节点,然而节点仅仅只需要根据这些规则来执行任务.因此SDN能降低转发节点的负载以及有效发挥网络基础设施的控制.通过可编程接口对功能设置,它也能对传统设备提供良好的兼容性以及实现灵活的更新和优化.

通过将SDN应用到WSAN上,可以对协同通信和任务执行的整个处理过程实现最佳规划和控制,同时可以降低能量消耗,提高效率和可靠性.更重要的是,SDN控制器可以提供各种不同的管理功能,并且支持移动无线传感器网络节点,因此它提高了WSAN规模和功能上的可扩展性.现在这个研究才刚刚开始,该文探讨了使用SDN优化WSAN的框架和方法,主要贡献如下:

(1)提出了一个SDN支持的WSAN框架,标记为SD-SAN,并且绘图说明了实现的相关细节,包括实体和协议栈.

(2)基于以上框架,从多个方面,诸如移动性、安全性、异构性、拓扑结构以及SDN控制器负载等,探索了优化系统管理的挑战和策略.

(3)进一步提出了资源分配的模型以及该如何在WSAN中高效处理任务的相关设计问题.

2 相关工作

目前,只有少部分工作在研究将SDN应用到WSAN上.作为早期工作,文献[5]提出了一个软件定义的无线传感器网络框架,并为它的核心部件解决了关键技术问题.对于无线传感器网络智能化管理,文献[6]提出了软件定义的无线传感器网络的总体框架,其中,SDN控制器以基站的形式被实现.此外,文献[7]还列出了将来要被处理的重要事务,包括分布式控制器,状态同步,Openflow的适用性以及中央控制器的安全性.文献[8]在物联网环境中设计了一种软件定义方法,这种方法旨在为在异构环境下的不同物联网任务,提供不同的任务等级.该原型系统已在智能电网,自动驾驶和电子收费中得到应用.

文献[9]分析了物联网中SDN的未来趋势,包括智能家居、移动网络、多媒体、安全性、虚拟性以及可靠性.实施方面的问题和挑战也已经被讨论了,包括硬件和软件功能的平衡,数据面和控制面的功能集成,安全性以及部署控制器的位置和数量.文献[10]中,为了管理网络的能量,提出了一种基于SDN的睡眠调度算法(SDN-ECCKN).在里面,每一次计算不是在控制器中完成的,而是感知器本身完成的,并且节点之间没有广播,这是传统ECCKN技术的主要特征.SDN-ECCKN显示了它在能量管理方面的优势,如网络的生命周期.在考虑能耗和负载均衡的前提下,文献[11]提出了一种基于Openflow无线传感器优化调度方案,无线传感器网络被分为许多拥有簇头的簇,SDN控制器的目标是负责转发策略的制定以及控制每一个簇头.

3 框架和功能

3.1 实体和框架

三层的SD-SAN框架如图1所示,它的主要特征是在应用面与数据面之间有一个控制面.在控制面中,SDN控制器取代分布式无线传感器网络节点负责转发控制.实体被描述如下:

(1)任务来自于应用面,用户指定任务的属性,如类型、容量、时延限制以及Qos约束等,并且把它们发送到控制面.

(2)控制面的北向接口接收和分析来自于应用面的任务请求,并且根据工序将任务分解为子任务.它也能将任务执行后的结果反馈给应用面.

(3)控制面中的子任务作为任务执行的最小单

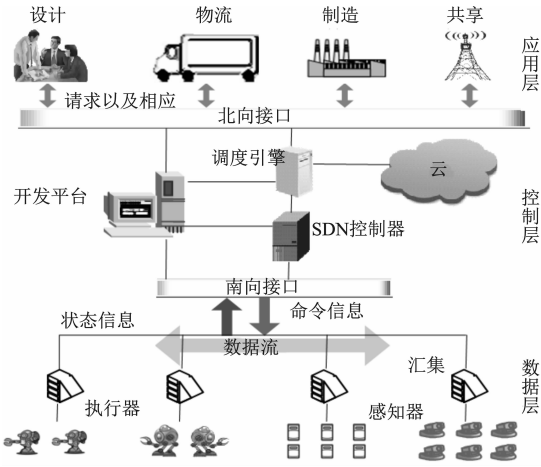


图1 基于SDN的WSAN框架

位,会被执行器处理.

(4)基于数据面的通信状态以及应用面的任务需求,控制面中的调度引擎会选择合适的感知器和执行器的数目以及类型,并且为了优化整体性能,指定了它们的合作模式.

(5)控制面中的云平台为北向接口中的任务分解以及调度引擎中的子任务调度,提供策略和知识.

(6)控制面中的SDN控制器负责通信的调度以及所有管理功能分类的执行.

(7)控制面中的南向接口分析来自于调度器用于通信、感知以及任务执行的命令,并且为相关的感知器和执行器生成消息.另一方面,它接收和分析任务执行和网络的状态信息.

(8)控制面中的开发平台具有灵活的可编程接口,它能够使系统管理员或者开发人员,根据用户需求,定制和提高实体的功能,如北向接口、调度引擎、SDN控制器以及南向接口.

(9)数据面中的汇聚节点能实现数据面中的信息收集以及数据融合,并且根据协议集和接口集,能将整个WSAN分解为许多区域通信.

(10)数据面中的感知器节点负责感知环境和监测任务执行的状态,并且转发状态信息给相应的执行器节点.

(11)数据面中的执行器节点接收来自于感知器节点的状态信息,独立或合作执行,并且将执行结果反馈给上一层.

数据面中的实体不用再关心终端到终端的路由途径和策略,并且数据通信尽可能地被限制在数据面中.通过流量统计,SDN能获得网络状态的全局视图,并且为所有正在执行的任务选择不相交的优化传输路径,因此它能避免通信冲突和消除冗余的

流量包传输.

3.2 协议栈

传统的协议栈如图2所示,其中,协作面决定了节点如何响应事件.同时,管理面负责维护系统,以及为协作提供必要的信息.在每一个无线传感网络节点中都部署了五层协议栈,包括应用层、传输层、网络层、多媒体访问控制层以及物理层.最重要的是,每一个节点都保存有分布式管理与协作的功能.

通过引入SDN的控制面,可以简化大部分WSAN节点的功能,提高系统的可扩展性.相应的协议栈如图3所示,这个协议栈的主要特征是将网络层中WSAN节点的功能拆分.将这些功能分为两类,包括本地功能和全局功能,因此WSAN节点和SDN控制器拥有不同的协议栈.网络层的本地功能部署在WSAN节点上,包括网络连接的激活或终止、数据包的分组和合并、错误检测以及服务订购.基于网络拓扑结构和节点状态的认知,网络层的全局功能部署在SDN控制器上,包括流量控制、路由发现、路由选择以及路由表的维护.基于网络和任务执行状态的收集,SDN控制器以快速收敛和代价最小为目标,动态的为相关节点设置路由表.同时,SDN控制器也能为传输层、多媒体访问控制层以及物理层设置正确的参数,实现全网管理的功能,取代分布式WSAN节点. WSAN节点中的轻量级协议栈会产生更高的工作效率.

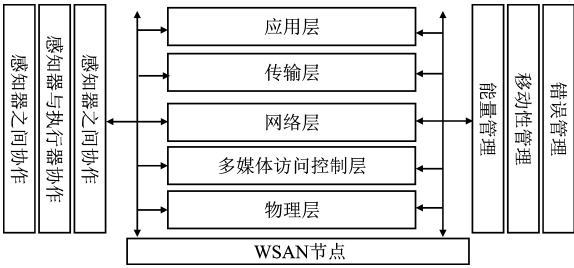


图2 传统WSAN协议栈

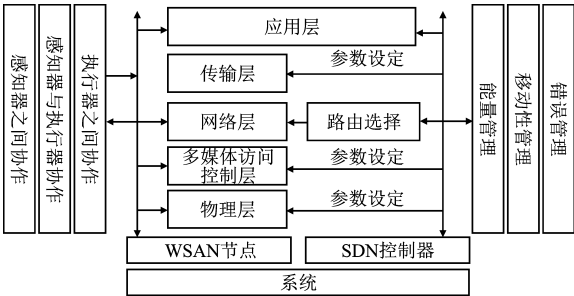


图3 WSN中基于SDN的协议栈

4 系统管理的问题

在分布式WSAN中,为了管理有效以及考虑有

关优化问题,如能量消耗、移动性以及拓扑结构,对SDN 控制器进行集中管理式非常有必要的.

4.1 移动性管理

WSAN 中的节点可以移动,并会导致网络拓扑结构的频繁改变,这样节点的移动可以影响任务的执行. SDN 控制器中移动性管理的关键在于以下几个方面:(1)如何检测新进入 WSAN 中的感知器或者执行器以及它们的执行功能,并且如何注册和管理新的节点.(2)在不影响任务进行的情况下,如何处理剩余的感知器和执行器.

4.2 安全性管理

在 WSAN 中,可能存在恶意用户或节点对控制面造成破坏. 一旦一个业务流建立,拥有相同流的数据包都会被当做真实的,并且没有对数据包的注入式攻击做检测,因此需要一个健全的安全机制. 当节点或用户加入验证过程中时,SDN 控制器应该从节点或用户辨别异常行为,并通过端口控制、黑名单来限制可疑实体进入控制面.

4.3 异构性管理

在能耗模式、通信协议、传输速率以及执行任务的功能上,节点之间存在极大差异. 对于分布式异构节点来说,很难去协调协作通信和执行. 然而,基于属性、网络状态以及任务执行状态的收集,SDN 控制器能有效地管理节点行为,特别是拥有多个接口的汇集节点的越区切换,使得不同的通信区域能平滑传输.

4.4 拓扑结构管理

为了达到最佳的协作通信性能,不同任务的实现需要不同的网络连接和感知覆盖模式,因此为了不同的任务类型,需要合适的拓扑结构. 对于不同的任务类型,典型的动态拓扑组织结构包括平面拓扑、分层拓扑以及覆盖拓扑.

平面拓扑没有网络性能瓶颈,非常容易部署. 然而,它只能提供有限的可扩展性,并且仅仅只能被应用于短距离感知器或执行器的协作,如产品装配车间. 分层网络能提供良好的可扩展性,但是业务以簇头的方式及集中,这样易于被攻击或称为系统瓶颈. 它能被应用于多层控制方案中,即城市中的智能交通控制系统. 基于物理网络,覆盖拓扑能根据一定规范构建虚拟网络,它能提供定义的灵活性和可适应性以及智能功能的实现,并且能被应用于多功能执行器调度的场景中.

4.5 SDN 控制器的负载管理

最关键的问题是,SDN 控制器需要承受全局路

由以及许多管理功能的负担. 因此它不能毫无限制地接收任务请求,并且需要一个动态负载的调整方法以保证 SDN 控制器处于健康状态. 相关方法包括任务请求的高速缓存、拥塞控制、限制传入消息类型以及多 SDN 控制器的优化部署.

5 资源分配的模型

根据应用程序的特征,需要选择合适的感知器节点用于信息收集,选择合适的执行器节点作为任务执行的资源. 因此需要考虑以下问题:

(1)感知目标的选择和分类. 由于任务的分解以及分析,SDN 控制器能得到相关处理步骤的必要输入信息,并派生相关的约束参数,包括执行效果、网络通信的 Qos. 基于这些,SDN 控制器进一步设置了信息收集的详细类型、位置以及频率,并且将这些对象按照重要性、时间或地点进行分类.

(2)任务执行中实体的选择. 基于以上分析和集中决策功能,SDN 控制器选择相关实体用于任务执行(感知器和执行器),并动态设置它们的角色.

(3)实体与感知目标的动态映射. SDN 控制器智能检测任务执行的过程以及 WSAN 节点动态的加入和退出,并在实体与感知目标之间建立合适的关系.

资源调度的映射关系如图 4 所示,对于每一个子任务,SDN 控制器指定相关的候选执行器用于执行,对于每一个目标,SDN 控制器指定相关的候选感知器以及执行器用于感知. 如果子任务存在目标检测时,在两者之间存在链接(图中黑色的节点). 接下来,基于智能算法的优化模型生成最优调度方案.

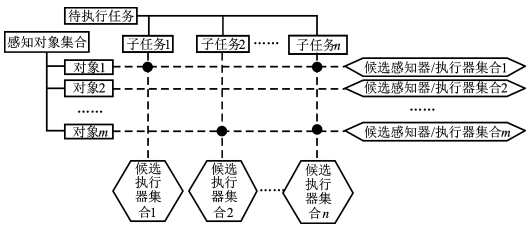


图 4 资源分配模型

6 结束语

WSAN 未来有以下发展趋势:

(1)大数据和认知方法

毫无疑问,数据将以多样性、真实性和价值等特性出现,特别是视频数据和加工数据. 对于结构化或非结构化数据,存在如异构性、不完备性、私密性以及冗余性等挑战,因此必须采取有效的认知方法来

处理它们,并且可以通过认知方法来提升服务或预测实体的行为.用于认知的目标包括节点状态、通信状态、网络状态、任务状态以及用户行为.

(2)平台的演变

随着 WSA 的蓬勃发展,各种 WSA 平台的有效组织和融合将成为一个重要课题.通过合适的部署和调度,能更加有效地利用感知器和执行器,因此能节省过多部署和维护的冗余成本.从 SDN 控制器的角度来看,为了更高的可扩展性以及可靠性,多层 SDN 控制器应该协同工作.此外,SDN 控制器云可能会出现,并且会产生虚拟化以及发布等问题.

从 WSA 节点的角度来看,有必要采取措施,通过 SDN 智能控制来促进传统 WSA 转变为 SAN 云.因此可以通过提升性能处理各种任务,并且实现各种资源和负载的最佳配置.

参考文献:

- [1] Aaseer Sabri, Syed Alwee Aljunid, Muhammed Sabri Salim, et al. Cognitive wireless sensor actor network: An agricultural perspective[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2014,10(2):631-658.
- [2] Zhu Chunsheng, Victor C M Leung, Lei Shu, et al. Green internet of things for smart world[J]. IEEE Access, 2015,3:2151-2162.
- [3] Irfan Al-Anbagi, Melike Erol-Kantarci, Mouftah Hussein T. Priority- and delay-aware medium access for wireless sensor networks in the smart grid[J]. IEEE Systems Journal, 2014,8(2):1-11.
- [4] Zhu Chunsheng, Laurence T Yang, Shu Lei, et al. Insights of Top-k query in duty-cycled wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015,62(2):1317-1328.
- [5] Lionel Bertaux, Samir Medjah, Pascal Berthou, et al. Software defined networking and virtualization for

broadband satellite networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2015,53(3):54-60.

- [6] Tie Luo, Tan Hwee-Pink, Quek T Q S. Sensor open-flow: Enabling software-defined wireless sensor networks[J]. IEEE Communications Letters, 2012, 16(11):1896-1899.
- [7] De Gante Alejandro, Aslan Mohamed, Matrawy Ashraf. Smart wireless sensor network management based on software-defined networking[C]//Proc. of 27th Biennial Symposium on Communications, Ontario:IEEE, 2014:71-75.
- [8] Qin Zhijing, Denker Grit, Giannelli Carlo, et al. A software defined networking architecture for the internet-of-things[C]// Proc. of IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium: Management in a Software Defined World. Krakow:IEEE,2014.
- [9] Valdivieso Caraguay Angel Leonardo, Benito Peral Alberto, Barona Lopez Lorena Isabel, et al. SDN: Evolution and opportunities in the development IoT applications[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2014,10(5):1-10.
- [10] Wang Yanwen, Chen Hainan, Wu Xiaoling, et al. An energy-efficient SDN based sleep scheduling algorithm for WSNs[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2016,59:39-45.
- [11] Han Zhi-Jie, Ren Wanli. A novel wireless sensor networks structure based on the SDN[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2014,10(3):1-7.

作者简介:

吴鸿玲 女,(1990-),硕士研究生.研究方向为事云计算任务调度,无线传感网络的研究.

E-mail:2442361223@qq.com.

程耕国 男,(1949-),教授,硕士生导师.研究方向为计算机控制系统、基于网络的计算机应用.

程 骅 女,(1976-),博士,副教授.研究方向为多维系统分析与实现、网络计算与信号传输.

(上接第 107 页)

- [6] Jung S, Park H, Woo T, et al. Data pushing using IPT in content-centric networking [C] // Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2014 Sixth International Conf on. Shanghai,China:IEEE, 2014: 164-165.
- [7] 闵二龙,陈震,许宏峰,等. 内容中心网络 CCN 研究进展探析[J]. 2012,12(2):6-10.
- [8] Shen H, Xu SH. Coordinated en-route Web caching in multiserver networks[J]. IEEE Trans on Computers, 2009, 58(5):605-619.

- [9] 刘外喜,余顺争,蔡君,等. ICN 中的一种协作缓存机制 [J]. Journal of Software, 2013, 24(8): 1947-1962.

作者简介:

夏 莹 女,(1992-),硕士研究生.研究方向为未来网络.

E-mail:love11@mail.ustc.edu.cn.

王 雷 男,(1972-),副教授.研究方向为未来网络.

侯方杰 男,(1991-),硕士研究生.研究方向为未来网络.