

基于雾计算的医院信息服务系统

程冬梅¹ 李 志²

(解放军第三零五医院信息中心 北京 100017)¹

(中国科学院信息工程研究所物联网信息完全技术北京市重点实验室 北京 100093)²

摘 要 针对移动应用对本地信息的需求和云计算框架在支持移动应用方面的不足,提出了一种基于“智能前端化”思想的雾计算框架。该框架在云计算框架的云服务和移动终端之间扩展一个“雾层”,以便将云服务器上的数据和计算服务更快更经济地提供给移动终端。针对医院场景,设计并研发了能提供就医时相关信息浏览服务、排队时长查询服务和多媒体点播服务等信息服务系统,并提出了多频段负载均衡接入和基于本地信息融合的排队时长查询两项关键技术。通过真实场景中的测试实验验证了系统的可用性和关键技术的高效性。

关键词 云计算,雾计算,数据缓存,无线接入,物联网

中图法分类号 TP399 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.7.037

Fog Computing Based Hospital Information Service System

CHEN Dong-mei¹ LI Zhi²

(Information Center, PLA 305 Hospital, Beijing 100017, China)¹

(Beijing Key Laboratory of IOT Information Security Technology, Institute of Information Engineering, CAS, Beijing 100093, China)²

Abstract Due to local information requirements and the lack of the cloud computing framework support, this paper proposed a fog computing framework based on “intelligent front-terminal” for mobile applications. The framework extends a fog layer between cloud services and mobile devices, aiming at the smooth, low-latency and economical services delivery from cloud to mobile. In hospital scene, this paper designed and developed an information service system, which provides medical information, queuing waiting time and multimedia services. Moreover, the multi-band load balancing algorithm and queuing waiting time estimation based on local information algorithm were proposed in the system. The availability of the system and the efficiency of algorithms were verified in real-world experiments.

Keywords Cloud computing, Fog computing, Data caching, Wireless accessing, Internet of Things

1 引言

云计算已经成为互联网应用系统的主要计算框架。思科公司的分析数据显示,到2018年,78%的计算将在云服务器上完成,届时云服务器的数据流量将是2013年的3倍多^[1]。云计算通过建立大型计算中心和数据中心,为IT系统提供高效、安全且便宜的计算和存储服务,解决传统IT系统的零散性带来的低效率问题^[2]。但是近年来智能手机、可穿戴设备和车载终端等移动设备数量的爆发式增长,给传统的云计算框架带来了新的挑战。

首先,使用移动设备的用户通常对多媒体等具有大数据量的应用感兴趣,这给云计算服务器关联的移动宽带带来了极大挑战。有研究者预计到2018年,仅来自于智能手机端的数据量将占互联网总流量的50%以上,云服务器关联的移动宽带费用将急剧增长,互联网应用系统的服务质量可能受影响^[3]。其次,与传统互联网用户相比,移动用户更加关注本地信息。例如智能手机用户可能对周边的商场、医院和景点等

信息感兴趣,车载终端用户可能对附近交通和停车场信息感兴趣。本地化信息的来源通常在移动用户的附近区域,如果采用云计算框架先将数据集中存储在云端,再从云端发送到移动用户,数据传输的距离被增大,进而导致延迟和通信开销增大。最后,移动设备通过无线通信技术(WiFi、蓝牙、3G和4G等)接入互联网。受设备高移动性的影响,这些无线通信技术需要根据应用需求进行专门的优化以便提高服务质量。但在云计算框架中,提供应用服务的云服务器远离移动设备,无法对无线接入机制进行相应的优化。

为了使得云计算框架能够更好地适合移动设备,“雾计算”的概念在2012年被提出^[4]。雾计算的核心思想是“智能前端化”,即在云服务器和终端设备之间,利用网络设备或者专用设备提供计算、存储和网络通信服务,使得数据和计算更靠近终端设备,进而降低云服务器的计算和存储开销,并且提高了应用系统的响应速度和网络带宽,甚至在没有Internet连接的区域继续提供数据和计算服务。雾计算能够广泛应用于商城、酒店、学校、医院等人群聚集且有特定目标的地方,也

到稿日期:2014-07-08 返修日期:2014-10-09 本文受国家自然科学基金(61202066,61472418)资助。

程冬梅(1964—),女,高级工程师,主要研究方向为计算机网络、信息管理系统;李志(1985—),男,博士,助理研究员,主要研究方向为物联网及其安全,E-mail:lizhi@iie.ac.cn(通信作者)。

可以应用于对延迟要求高的系统,如电网中的感知控制闭环系统、车联网中的车路协同系统等。此外,雾计算在扩大云计算服务覆盖的区域方面具有较大前景,例如能够在偏远山区、客车、高铁和飞机等区域提供高可用的数据和计算服务。雾计算提出后逐渐受到越来越多研究者的关注,学术界开始研究雾计算安全^[5,6]、雾计算的编程框架^[7]等具体关键技术。

本文首先提出一个通用的雾计算框架,然后介绍研究雾计算的主要特点和关键技术,重点结合医院场景的具体需求,给出了相应雾计算系统的设计、关键技术和测试,最后是结束语。

2 雾计算框架

当移动设备的用户处于一个特定的环境时,其需要的信息主要是与本地相关的各种信息。如在医院环境下,用户希望了解医院的就诊信息、就诊过程的状态或进程信息、医院周围的衣食住行等相关信息。利用移动用户对本地化信息的需求,雾计算基于智能前端化的核心思想,把大量与特定环境相关的信息存储在本地,并在本地进行优化和计算。相对于云端而言,其通信的传输量大大降低;传输延迟也大大减少,增强了用户体验;特别是在如火车、长途客车、酒店等相对独立的环境中,即使没有互联网或接入带宽很低,也能够提供很好的服务。

本文根据雾计算智能前端化的思想,提出了如图1所示的雾计算框架,在云服务器和终端设备之间扩展一个更靠近移动用户的服务器层,称为“雾层”。雾层由部署在现场(如:客车、酒店、商场和医院等)的雾服务器组成,这些雾服务器处于网络的最边缘,通过一跳无线链路直接与附近的移动设备相连接。

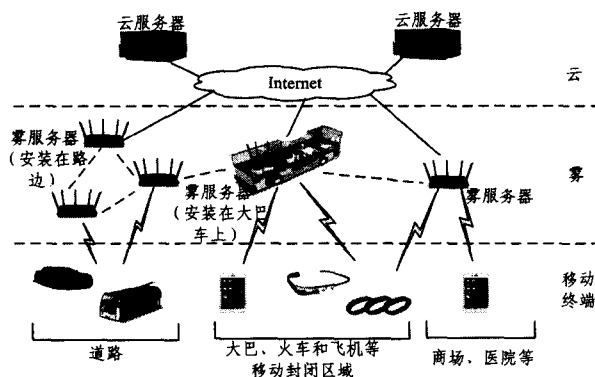


图1 通用的雾计算框架

在硬件上,雾服务器比传统的无线网络接入设备具有更大的存储和计算能力。在软件功能上,雾服务器除了为移动设备提供Internet接入服务,它们之间还需要相互协作,将云服务器上的数据协作地缓存在本地,且能够将终端设备请求的计算任务进行分解,尽可能地将计算任务在本地进行处理。另外,雾服务器还能够根据应用的数据传输需求和终端设备的移动特性进行跨层优化无线接入技术。概括来说,雾计算框架通过在云服务器和终端设备之间扩展具有存储和计算能力的雾层,将云服务器上本地化需求的关键数据和计算服务移到更靠近终端设备的雾服务器上,通过提供数据缓存、本地化计算和无线接入3大主要功能,更好地适应了移动设备的高移动性,并更好地满足了移动应用高流量和低延迟的需求。

2.1 数据缓存

雾服务器根据其无线覆盖区域的社会属性,预测移动用

户对信息的需求特点,通过主动缓存的方式从云服务器上下载相应数据,或者通过被动缓存的方式存储流经它的相关数据。例如:部署在商场内的雾服务器可以缓存该商场所有商品的介绍信息,以及该商场附近的交通和餐饮信息;而安装在餐厅的雾服务器可以缓存该餐厅的菜单、打折和周边等信息。因此设计雾计算中数据缓存机制的核心是如何根据部署场景的特点,选择合适的数据缓存在雾服务器上。

Internet上已经存在一些缓存技术,如内容分发网络(Content Distribution Networks, CDN)^[8]和信息中心网络(Information Centric Networks, ICN)^[9]。CDN通过在多地部署缓存服务器,将数据请求分散到各个服务器上,在减少单个服务器负载的同时一定程度上缩短了数据传输路径。但是CDN的缓存服务器通常离移动设备具有一定距离,难以了解和预测移动用户的需求。ICN允许网络的所有设备缓存数据,数据缓存的位置进一步靠近了移动设备。与ICN中的数据缓存设备不同,雾服务器更智能化,能够感知其部署的环境,进而推测出附近移动用户的数据需求特性,针对附近用户的共同兴趣进行数据缓存。

2.2 无线接入

雾服务器通常配备多种无线通讯接口,以便满足不同移动终端和不同应用的需求。由于雾服务器缓存了大量的应用层数据,且具有较强的计算能力,因此雾服务器能够提供比传统的无线接入设备更好的无线接入服务,主要表现在下面两方面:1)跨层设计:传统的无线接入设备只提供网络层服务,对应用层的数据毫无了解。而雾服务器对其缓存的数据,以及周边环境都有一定的认知能力,能够综合各层次的信息,提供更适合应用需求的高效接入机制。2)移动感知:移动设备的移动性在不同环境中具有显著的区别,例如在大巴车上,移动设备只会在大巴车到站的时候移出和移入雾服务器的覆盖访问,而商场等开放环境中移动设备趋于随机游走的移动模式。不同的移动模式导致移动设备在单个雾服务器内的时长具有差异性。利用这种差异性,调节各移动设备的接入时机,能够更好地满足所有移动设备的应用需求。

2.3 本地化计算

雾服务器在提供数据缓存和无线接入的同时能够给移动设备和云服务器提供双向的本地化计算服务。例如:部署在商场的雾服务器能够缓存一份周围的地图数据,并通过无线定位技术为接入的移动设备提供导航服务。又如,在物联网^[10]应用中,雾服务器能够收集移动设备采集的数据,邻居雾服务器通过协作对各自收集的元素数据进行清洗、过滤和融合等操作,最后再将处理之后的少量数据传输给云服务器。

云计算通过建立大规模计算中心和虚拟化技术使得大量的计算任务共享高速的硬件资源,能够有效降低计算成本和硬件维护成本。但网络带宽和无线网络覆盖区域等的限制,使得云计算框架难以满足实时性和可靠性要求高的应用。雾计算将计算任务尽可能地转移至部署在应用现场的雾服务器上,不仅降低了总的响应延迟,而且能够在没有Internet连接的环境中仍然提供计算服务。

3 基于雾计算的医院辅助信息服务系统

本文以医院场景为例,设计并研发了一套基于雾计算框架的服务于就医患者和家属的信息系统。针对患者和家属的

信息需求,系统主要提供以下3类服务:首先,提供详细的就医流程、科室和医生介绍、周边交通和住宿等详细信息的浏览服务;其次,针对患者想缩短交费 and 取药的排队时间的需求,提供了排队时间查询服务;最后,提供丰富的多媒体点播等娱乐服务,以便患者和家属在等待化验结果和排队时打发枯燥时间。

3.1 系统简介

大量低价的雾服务器部署在医院流动人员多和各个科室附近。雾服务器之间通过有线局域网连接在一起,并通过互联网连接云服务器。另外,每个雾服务器都基于WiFi技术建立各自的无线局域网(WLAN),医院内的移动终端通过WiFi连接附近的雾服务器。

在就医相关信息浏览和多媒体点播应用中,雾服务器预先从云服务器下载相应的数据,并将这些数据进行整理,最终以网页的形式展现给用户。用户将移动设备连接雾服务器的无线局域网之后,利用浏览器访问相应的网址便可浏览各类信息和多媒体资源。

在排队时间查询应用中,雾服务器通过监听移动设备的WiFi信号强度,并通过三边定位算法^[11]计算出每个移动设备的位置,再根据移动设备位置的变化规律识别出排队现象和计算排队时间^[12]。各个排队的位置和时长被发送给附近的其他雾服务器和云服务器。在医院内,用户可以连接任意雾服务器,并访问相应网址来查询所有的排队时长。在医院外,用户可以直接通过Internet访问云服务器上的相应网址以便查询特定医院的各个排队时长。

3.2 雾服务器

雾服务器的硬件通常包括:存储模块、处理器模块、电源管理模块、通信模块。本系统的雾服务器采用250G Byte的固态硬盘和Cortex A8处理器芯片,并配备了以太网口和3G/4G扩展口,以便能够在室内和移动环境中接入Internet。为了支持更多的移动设备同时接入,微服务器配备了2.4GHz和5.8GHz两个频段上的双天线无线局域网通信模块,如图2(a)所示。雾服务器的主要软件包括操作系统、用于数据展示的Web系统以及排队时间计算模块,如图2(b)所示。其中,操作系统采用Linux 3.0内核;Web系统的服务器采用Apache,服务器编程语言采用PHP,数据库采用MySQL;排队时长计算模块包含3个子模块:基于WiFi的定位模块、排队行为识别模块和排队时长计算模块。

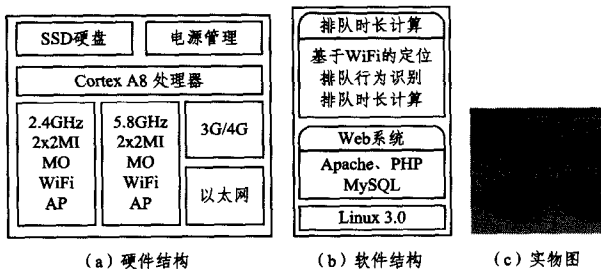


图2 雾服务器

4 关键技术

4.1 多频段负载均衡的接入机制

WiFi接入网络是移动设备使用雾服务器上各种应用服务的基础。由于医院场景下人员密集,同时接入雾服务器的

移动设备多,且多媒体点播应用的带宽要求高,因此设计一个能够充分利用无线频谱资源的接入机制十分关键。如上节所述,本系统中的雾服务器分别在2.4GHz和5.8GHz两个ISM频段上建立了WiFi接入网络。由于所有移动设备都支持2.4GHz频段,而只有部分移动设备支持5.8GHz频段,因此如果让移动用户自主选择接入哪个频段,势必导致2.4GHz频段的用户较多,且网络较拥挤。为此,雾服务器将两个WiFi网络的服务集标识(Service Set Identifier, SSID)设置成相同,并设计了多频段负载均衡的接入机制来控制移动设备接入哪个频段。该接入机制主要包括信道占空比检测模块、Beacon周期调节模块和Probe Request控制模块,如图3所示。

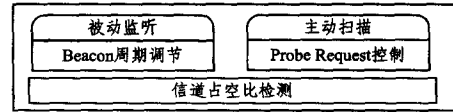


图3 多频段负载均衡接入机制的主要模块

信道占空比检测模块:工作在两个频段上的网卡分别周期性地检测信道的能量,并计算出各自的占空比 r_1 和 r_2 。如果 r_1 大于 r_2 ,说明2.4GHz频段比5.8GHz频段空闲,为此需要控制新的移动设备接入到2.4GHz频段;反之亦然。

移动设备发现WiFi网络的方法有两种:被动监听和主动扫描。WiFi接入点会周期地广播Beacon数据包,以便将该接入点的SSID告知周围移动设备。在被动监听中,移动设备循环地监听其支持的各个信道,将接收到的SSID呈现在WiFi接入控制界面,以便用户可选择接入哪个SSID。由于雾服务器的两个WiFi接入网络拥有相同的SSID,支持两个频段的移动设备将接收到两类具有相同SSID的Beacon数据包。这两类Beacon数据包分别包含了两个不同的基础服务集标识(Basic Service Set Identifier, BSSID),用以区分两个不同频段的WiFi接入网络。在每轮监听之后,移动设备通常会将这轮监听过程中先收到的BSSID呈现给用户。为此本文提出通过调节两个WiFi接入网络的Beacon发送周期来控制新移动设备接入对应网络的概率。具体来说,如果 r_1 大于 r_2 ,则将5.8GHz网络的Beacon的发送周期设置得更大,使得新的移动设备接入2.4GHz的概率更高。

在主动扫描中,移动设备会在其所有支持的信道上发出Probe Request数据包,来查询该信道上的WiFi接入点。对于同时支持2.4GHz和5.8GHz的移动设备,在主动扫描中将收到来自两个频段的具有相同SSID的Probe Response。为了控制移动设备能够均匀地接入到雾服务器的两个WiFi网络,当 r_1 大于 r_2 时,雾服务器将禁止5.8GHz的网卡回复Probe Response数据包;相反,当 r_1 小于 r_2 时,雾服务器将禁止2.4GHz网卡回复Probe Response数据包。

4.2 基于本地信息融合的排队时长查询机制

在医院里,患者通常会在排队过程中浪费较长的时间。一个医院会有多个不同地方的窗口都可以完成相同的业务。但由于人们缺少全局信息,无法了解哪一个窗口的排队时间最短,进而导致一些窗口人满为患,而一些窗口却无人排队。本系统提出了如图4所示的基于本地信息融合的排队时长查询机制。雾服务器监听各自附近移动设备的WiFi信号强度,并相互共享监听结果。通过基于信号强度的三边定位算

法^[11]计算出每个移动设备的位置。通常在一个队列内的移动设备的位置在空间上呈现连续性,且平均移动速度近似。利用该特点进一步识别出排队行为。最后将各移动设备在队列中逗留的平均时间作为该队列的排队时间。计算结果被同时发送给附近的其他雾服务器和云服务器,分别供雾服务器覆盖范围内和外的移动设备查询。

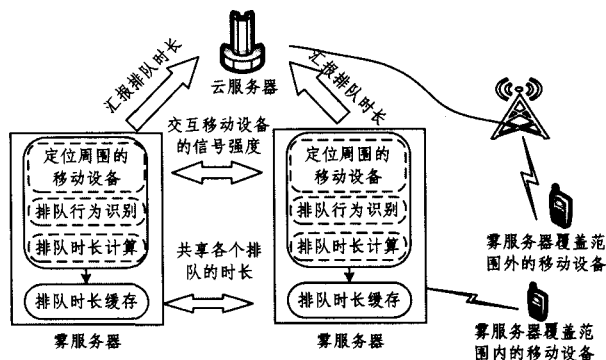


图4 基于本地信息融合的排队时长查询机制

在传统的云计算框架下,为了提供排队时长查询服务,需要移动设备主动汇报自己的位置信息给云服务器。云服务器根据所有移动设备的位置信息进行排队行为的识别和排队时长计算。当移动设备需要查询某个医院内的各个窗口排队时长时,需要从云服务器上获取。考虑到数据的产生和消费都是在同一个区域(医院内),利用局部信息和本地计算资源便可完成排队时长计算,这样不但可以避免大量的原始数据传输到云服务器,同时能够降低云服务器的计算负担,而且在查询排队时长时,数据能够通过一跳传输直接到达移动用户。

5 系统测试与性能验证

为了在真实场景中测试系统各个功能和验证关键技术性能,在医院实验部署了20台雾服务器,进行了5个星期的功能性测试,并对多频段负载均衡接入机制的传输延迟和排队时长查询响应延迟进行了测试。

5.1 多频段负载均衡接入

选取5台仅支持2.4GHz的智能手机和5台支持两个频段的智能手机进行实验。雾服务器被部署在一楼大厅。每次实验两类手机交替接入同一个雾服务器。手机接入之后不断地以相同的速率发送数据给雾服务器。图5显示在随机接入机制和多频段负载均衡接入机制下,2.4GHz频段的延迟均高于5.8GHz频段的延迟。这是因为实验环境中大量的其他无线设备使用了2.4GHz频段,造成该频段比较繁忙。比较两种机制在两个频段时的与总的平均延时发现,本文提出的多频段负载均衡接入机制的延迟远优于随机接入机制。这是因为本文所提的接入机制能够有效地将智能手机调度到更好的频段上。

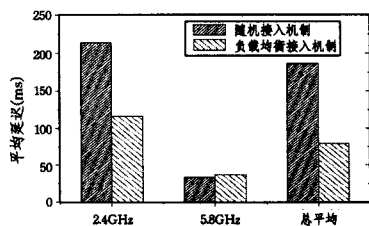


图5 不同接入机制的传输延迟比较

5.2 排队时长查询延迟比较

由于本文提出的基于雾服务器的排队时长计算策略和基于传统云计算框架的排队时长计算策略仅在通信开销上存在差异,而移动终端与云服务器之间的通信开销通常难以测量,为此本实验仅比较排队时长查询的响应延迟。在医院的多个地方同时部署了雾服务器和通用的WiFi AP(Access Point)。为了减少其他无线网络对实验结果的影响,本实验的WiFi通信都使用较为空闲的5.8GHz频段。基于传统云计算框架的机制中,智能手机通过通用的WiFi AP与云服务器通信。图6示出了20次实验的平均响应延迟,可以看出本文提出的基于雾计算框架的响应延迟远小于基于云计算框架的响应延迟。

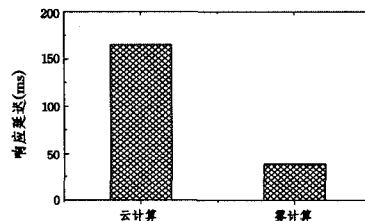


图6 排队时长查询响应延迟的比较

结束语 针对云计算框架在支持移动应用方面的不足,基于雾计算的智能前端化思想,提出了一个在云服务器和移动设备之间扩展一层雾层的新计算框架。组成雾层的雾服务器通过一跳无线链路直接与移动设备相连接,且缓存大量与其部署环境相关的数据信息,并实现本地优化和计算。该雾计算框架利用雾服务器的存储和计算能力,通过提供数据缓存、本地化计算和无线接入3大主要功能,更好地适应了移动设备的高移动性,并更好地满足了移动应用高流量和低延迟的需求。针对医院场景,本文利用所提出的雾计算框架开发了提供就医时相关信息的浏览服务、排队时长查询服务和多媒体点播服务的信息系统,并提出了多频段负载均衡接入机制和基于本地信息融合的排队时长查询机制。通过在真实场景中的功能和性能测试,验证了所研发系统的可用性和所提关键技术的高效性。

参考文献

- [1] Cisco, Cisco Global Cloud Index, Forecast and Methodology 2013-2018 white Paper[OL]. http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/Cloud_Index_White_Paper.html
- [2] 孙利民,沈杰,朱红松.从云计算到海计算:论物联网的体系结构[J].中兴通讯技术,2011,17(1):3-7
Sun Li-ming, Shen Jie, Zhu Hong-song. From Cloud Computing to Sea Computing: The Architecture of the Internet of things [J]. ZTE Communications, 2011, 17(1): 3-7
- [3] Li Z, Liu Y, Zhu H, et al. Coff: Contact Duration Aware Cellular Traffic Offloading Over DTN[J/OL]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/labs_all.jsp?arnumber=6987350
- [4] Bonomi F, Milito R, Zhu J, et al. Fog computing and its role in the internet of things[C]//Proceedings of First Edition of MCC Workshop on Mobile Cloud Computing. ACM, 2012: 13-16
- [5] Stojmenovic I, Wen S. The Fog computing paradigm: Scenarios and security issues[C]//2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). IEEE, 2014: 1-8

(下转第190页)

示。其中,方案运行时间包括协议系统初始化时间(系统参数初始化时间、参数交换)、节点认证、会话密钥生成和消息加、解密时间。

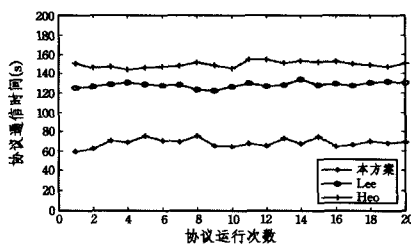


图5 协议运行时间曲线

如图5所示, Lee方案^[7]、Heo方案^[6]的运行时间曲线较平稳,而本方案的运行曲线有波折,尤其是在协议运行第8次、第15次时。曲线不平稳的原因是本方案加入了基于点乘的节点认证机制,节点计算认证信息的时间波动较大,尤其是计算具有身份信息的临时密钥,从而影响了整个协议的运行时间。本方案的平均运行时间约为68s, Lee方案^[7]约为128s, Heo方案^[6]约为147s。可以看出,运行本方案所花时间最少, Lee方案^[7]其次, Heo方案^[6]最多。

结束语 本文提出一种WSN中基于非双线性对的无证书群组密钥协商协议,协议引入基于点乘的节点认证机制,生成会话密钥时运用点乘替换双线性对运算。本协议既有效认证了节点身份信息,又降低了计算开销,并简易分析了协议的安全性。将来的研究重点是随机预言模型下证明协议安全性。本协议适用于军事对战,例如节点先初始化,接着节点被炮弹发射到敌友双方零界区域;节点部署之后,节点各自组成群组,各个群组中的节点进入会话密钥协商阶段,生成会话密钥;接着,节点若监测到敌军具体位置、动向及敌军设备等机密信息,则通过会话密钥加密信息传递给汇聚节点,最终传递给友方数据中心;友方通过数据分析,准确定位敌方目标位置,从而提供精准的火力控制进行打击。

参考文献

- [1] Islam K, Shen W, Wang X. Wireless sensor network reliability and security in factory automation: A survey[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2012, 42(6): 1243-1256
- [2] Wei G, Yang X, Shao J. Efficient certificateless authenticated asymmetric group key agreement protocol[J]. KSII Transactions on Internet and Information Systems, 2012, 6(12): 3352-3365
- [3] Lu C F, Wu T C, Hsu C L. Certificateless authenticated group key agreement scheme with privacy-preservation for resource-limited mobile devices[J]. International Journal of Innovative Computing Information and Control, 2012, 8(1B): 599-615
- [4] Al-Riyami S, Paterson K. Certificateless public key cryptography [C]//Proc of 9th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security. Taipei, Taiwan, 2003: 205-217
- [5] Cao C, Ma J, Moon S. Provable efficient certificateless group key exchange protocol[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2007, 12(1): 41-45
- [6] Heo S, Kim Z, Kim K. Certificateless authenticated group key agreement protocol for dynamic groups[C]//Proc of Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'07). Washington, USA, 2007: 464-468
- [7] Lee E J, Lee S E, Yoo K Y. A certificateless authenticated group key agreement protocol providing forward secrecy[C]//Proc of International Symposium on Ubiquitous Multimedia Computing (UMC'08). Hobart, Australia, 2008: 124-129
- [8] Geng M, Zhang F, Gao M. A secure certificateless authenticated group key agreement protocol[C]//Proc of International Conference on Multimedia Information Networking and Security (MINES'09). Wuhan, China, 2009: 342-346
- [9] Teng J, Wu C. A provable authenticated certificateless group key agreement with constant rounds[J]. Journal of Communications and Networks, 2012, 14(1): 104-110
- [10] Yang G, Tan C H. Certificateless public key encryption: A new generic construction and two pairing-free schemes[J]. Theoretical Computer Science, 2011, 412(8): 662-674
- [11] Kim Y, Perrig A, Tsudik G. Tree based group key agreement [J]. ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC), 2004, 7(1): 60-96
- [12] Kalpakis K. Everywhere sparse approximately optimal minimum energy data gathering and aggregation in sensor networks[J]. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2010, 7(1): 12-37
- [13] Stolfo S J, Salem M B, Keromytis A D. Fog computing: Mitigating insider data theft attacks in the cloud[C]//2012 IEEE Symposium on Security and Privacy Workshops (SPW). IEEE, 2012: 125-128
- [14] Hong K, Lillethun D, Ramachandran U, et al. Mobile fog: A programming model for large-scale applications on the internet of things[C]//Proceedings of the second ACM SIGCOMM Workshop on Mobile Cloud Computing. ACM, 2013: 15-20
- [15] Gkantsidis C, Rodriguez P R. Network coding for large scale content distribution[C]//INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE, 2005, 4: 2235-2245
- [16] Ahlgren B, Dannewitz C, Imbrenda C, et al. A survey of information-centric networking [J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(7): 26-36
- [17] 刘云浩. 物联网导论[M]. 北京: 科学出版社, 2011
- [18] Liu Yun-hao. Introduction to Internet of Things [M]. Beijing: Science Press, 2011
- [19] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [20] Sun Li-min, Li Jian-zhong, Chen Yu, et al. Wireless Sensor Networks [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005
- [21] Li Q, Han Q, Cheng X, et al. QueueSense: Collaborative recognition of queuing on mobile phones [C]//2014 Eleventh Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON). IEEE, 2014: 230-238

(上接第173页)