

移动多 sink 传感器网络数据发布协议的 QoS 保障研究

林琳 闫述 年轶

(江苏大学计算机科学与通信工程学院 镇江 212013)

摘要 在移动多 sink 无线传感器网络应用中,传感器节点感知目标信息并暂存起来, sink 通过向网络发出查询来收集感知信息,如何保障数据发布过程中的服务质量(QoS)是具有挑战性的工作。首先分析数据发布过程的特点,提出将能量消耗、查询成功率和延时作为数据发布协议服务质量的核心指标。然后讨论了数据发布协议相关技术与 QoS 核心指标间的关联关系,给出数据发布协议的 QoS 协商过程。最后分析了未来的研究趋势,为 QoS 感知的数据发布协议设计提供参考。

关键词 无线传感器网络,数据发布,能量消耗,服务质量保障

中图分类号 TP393 文献标识码 A

QoS Guarantee for Data Dissemination Protocols of Wireless Sensor Networks with Mobile Multi-sink

LIN Lin YAN Shu NIAN Yi

(Department of Computer Science and Telecommunication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract In wireless sensor networks with mobile multi-sinks, mobile sinks roam in the network area and gather data about target via sending out request to network. How to guarantee the quality of service(QoS) in processing of data dissemination is a challenging work. Firstly, based on analyzing the features of data dissemination protocols, indicators system of QoS was presented. It regards energy consumption, query success rate and service delay as core indicators. Then the relation between technologies of data dissemination protocols and core indicators of QoS was discussed. And then a consultation mechanism of QoS was proposed which can provide reference for future work. Finally, the research trends were pointed out.

Keywords Wireless sensor networks, Data dissemination, Energy consumption, QoS guarantee

1 引言

无线传感器网络是一种面向应用、以数据为中心的任务型网络,通常采用的是多对一的通信方式,传感器节点将收集的数据通过多跳方式主动上传到静态 sink, sink 附近的传感器节点由于频繁的数据通信容易过早耗尽能量,从而缩短全网的服务时间。引入移动 sink 可以避免数据通信局部聚集,有效平衡传感器节点的能量消耗,从而延长网络寿命^[1]。在战场监视、灾区营救等传感器应用场景中,被监控区域稠密布置传感器节点,感知周围异常信息并暂存起来,起到数据源的作用;战士或者消防员携带能量充足的 sink 节点,在移动过程中会随时向网络发出查询要求,满足查询条件的数据源将感知数据传送给查询者。这是一种查询驱动的 MMS(Mobile Multi-Sink)型稠密传感器网络^[2]。这一类应用具有 3 层网络架构,如图 1 所示。

大量随机布置的静态传感器节点通过近距离通信协议(如 IEEE 802. 15. 4)自组织成基本传感器网络,实现数据感知和传递。基本网络的拓扑有平面和分层两种结构。分层拓扑下由选举出来的簇头节点进行簇内管理和簇外通信,平面

拓扑下各个节点的地位平等。网络中的 sink 在需要时发出查询并收集网络传回的感知数据。移动 sink 能量充足,它们通过远距离通信协议(如 IEEE 802. 11 或者蓝牙技术)自组织成中间覆盖网, sink 之间可以共享网络信息。与 sink 通信的 AP(Access Point)和 Base Station 构成网络的上层,完成信息的汇总和管理。

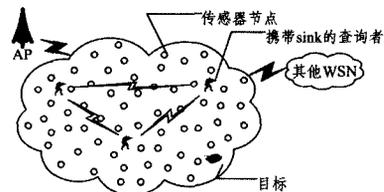


图 1 MMS 型传感器网络的网络架构

MMS 型传感器网络通常具有以下网络模型: N 个传感器节点均匀分布在平面区域中,在网络中有 $M(M \ll N)$ 个携带 sink 的随机游走的查询者。由于 sink 是可移动的,并且查询通常需要知道感知数据的位置,因此这一类应用要求传感器节点和 sink 都知道自己的坐标信息,这一假设可以通过节点定位方法^[3]或者 GPS 得到。查询者在接收数据包时不

收到日期:2010-04-28 返修日期:2010-11-12 本文受国家自然科学基金(60703115),江苏大学博士研究生创新基金(CX10B_015X)资助。

林琳(1977—),男,博士生,讲师,主要研究方向为无线传感器网络、软件工程, E-mail: linlin@ujs.edu.cn; 闫述(1953—),女,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为无线传感器网络和电磁场。

会移动到节点通信范围之外,以避免数据丢失。

传感器网络的重要任务是收集网络感知数据,这一过程称为数据发布(Data Dissemination)^[4],是一种介于应用层和网络层之间的数据管理技术,受到研究人员的广泛关注。MMS型传感器网络的数据发布过程具有以下一些特点,使得其 QoS 保障与传统传感器网络既有共性又有不同。

(1)能量约束严格:传感器节点的存储和处理能力有限,通过电池供电且不可补充,能量耗尽时节点即告死亡,因此节省能量是设计数据发布协议的首要原则。

(2)大量的数据冗余:传感器节点被密集部署在监控区域,因此会产生大量的冗余感知数据,冗余在提高数据可靠性的同时也会消耗有限的网络资源。采用局部数据融合方法和节点休眠机制可以减少数据冗余,但又会对数据的精度和查询的实时性产生影响。

(3)sink 移动性支持:移动 sink 可以提高网络的覆盖率,减少热点发生,但也给数据的收集带来了新的挑战。难点之一是传感器网络如何跟踪移动的 sink,从而把查询到的数据传给它。sink 的移动方式可以分为可预测的移动、可控制的移动和随机移动 3 种。前两种方式下,查询到的数据可以采用基于地理信息的路由协议回传给 sink。对随机移动的情况,需要随时跟踪 sink 的位置信息。此外,sink 移动的速度对数据传送也有影响:移动速度太快时,数据包不能太大,否则会出现数据包未传完 sink 就移出通信范围的情况;若数据包太小,不可避免会带来更大的传输时延,但目前的研究还很少涉及这一问题。

(4)多 sink 的数据查询^[5]:网络中的多个移动 sink 可能需要查询的是不同的感知信息,例如某个 sink 需要知道某区域的平均温度,而另一个 sink 只需要知道某区域感知到的最高温度和具体坐标。网络应该能够根据不同的 QoS 服务需求提供不同的 QoS 服务等级。

(5)实时性要求:作为查询驱动的传感器网络,对数据传输的实时性具有较高的要求。当查询者发出查询请求后,他需要根据查询信息进行下一步的行动,因此查询结果需要及时反馈。

(6)网络层次间的协作:移动 sink 构成覆盖网,互相之间可以共享信息,因此需要在覆盖网和基本网之间进行协作,尽量减少感知数据的重复传输。

目前对数据发布协议的研究多偏重于发布过程的设计,只考虑到某一方面指标的约束,缺乏系统化的 QoS 指标分析和多指标约束保障协商机制。本文试图通过分析数据发布协议中的关键技术与服务质量指标的关系,来构建数据发布 QoS 感知的指标体系,以为进一步工作提供参考。

2 数据发布协议中的 QoS 指标

传统网络中的服务质量是指网络在传输数据流时要满足的一系列服务请求,具体可以量化为带宽、时延、抖动、丢失率、吞吐量等性能指标,强调端到端(end to end)或网络边界到边界的整体性^[6],但并不适用于以数据为中心的传感器网络。无线传感器网络差异巨大的应用环境对 QoS 保障提出了不同要求,需要结合实际情况进行分析。

MMS 型传感器网络数据发布过程通常采用副本存储与规定查询路径相结合的方式,即将感知到的数据以副本的形式存储在网络中的某些节点上,sink 发出的查询请求沿指定的路径进行转发,避免盲目转发造成能量浪费。查询信

息和感知信息副本在某个传感器节点上匹配成功后,将感知数据回传给 sink。这一过程符合分布式系统中的 Publish/Subscribe 模型。传感器节点将感知到的数据发布到网络中,sink 订阅需要的目标信息。通过分析 MMS 型传感器网络数据发布协议的特点,本文提出使用能量开销、查询成功率和服务器时延作为数据发布协议的 QoS 核心度量指标,辅以抖动、吞吐量、数据完整性、数据安全性等补充指标,如图 2 所示。

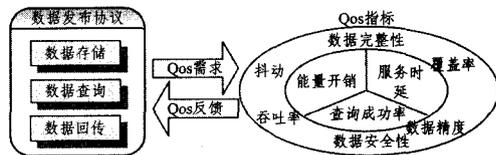


图 2 数据发布协议中的 QoS 指标

(1)能量开销

从应用感知的角度考虑,能量开销主要体现在网络的寿命上,在网络感知的角度则体现为节点的能量消耗和负载平衡。传感器节点失效,会直接影响网络的服务时间,而使用移动 sink 则可以有效平衡节点的能量消耗。现有的文献多以第一个节点的死亡时间、一半节点的死亡时间或者最后一个节点的死亡时间作为网络寿命的度量标准。但以死亡节点数量来定义网络寿命有其局限之处,不能体现死亡节点在网络内的分布情况,因此本文引入一段时间内的查询成功率阈值作为网络寿命的有益补充。

在 MMS 型传感器网络中,移动 sink 通过自组织的方式形成覆盖网,互相之间可以共享信息,因此可以通过覆盖网与基本传感网的协作,减少基本网络中的信息传输量,最大限度地延长网络寿命。

(2)查询成功率

MMS 型传感器网络是一种查询驱动的网络,因此查询成功率是衡量数据发布协议服务质量的重要指标。它是指在查询对象存在的情况下,单位时间内查询者得到所需查询结果次数与发出的查询次数的比率。当查询成功率降到某个阈值以下,即认为网络不能满足服务质量的要求。

准确跟踪 sink 移动轨迹,是查询能否成功的关键。特别是在 sink 随机移动的情况下,对查询成功率有较大影响。由于多个 sink 形成了覆盖网络,因此可以在 sink 位置难以跟踪时,通过 sink 的相互通信实现数据的有效传递。

(3)服务器时延

查询者发出查询请求后,查询信息在网络中转发。当与被查询信息在某个传感器节点上匹配成功后,再将数据回传给查询者,这一过程的时间间隔称为服务器时延。服务器时延主要包括查询转发时延、处理时延、传输时延等。

在 sink 移动的情况下,需要及时定位 sink 的新位置,并建立新的路由,其服务器时延比 sink 静止时更长。因此在设计数据发布协议时,需要使用有效 sink 跟踪与路由建立机制,降低服务器时延。

数据发布协议中的 QoS 指标既互相独立又相互联系,例如建立大量感知数据副本能够降低服务器时延、提高查询成功率,就但随之而来的是能量代价大幅提高。因此需要在 QoS 各指标间寻找平衡,针对不同类型查询请求提供分等级的查询服务。

3 数据发布协议的 QoS 技术

数据发布过程主要包括数据存储、数据查询以及查询回

配成功后的数据回传 3 个阶段,根据数据存储的方法可以将现有研究分为非结构化存储^[7,8]、基于骨架(backbone)^[9,10]与基于会合区(rendezvous)^[11-23]的存储。非结构化的方法不需要事先知道副本位置,也不基于任何存储结构,查询和存储灵活性较强,但要保证查询成功率,就需要构造较多的副本,能量开销较大。基于骨架的方法通过自组织的方式构造感知数据的聚集区,这类方法的缺点是需要为保持 backbone 进行通信,骨架节点容易形成热点。基于会合区的存储方法预先设定数据副本存储区域,查询请求也向这一区域转发,两者在会合区节点相交,则查询成功。基于会合区的数据发布实现有目的的数据转发,可以有效节省能量和降低服务时延,因此成为研究的热点。

数据发布过程中的网络服务质量与每个阶段采取的技术密切相关。下面分析数据发布每个阶段的关键技术与 QoS 核心指标的关系。

3.1 数据存储 QoS 相关技术

(1) 副本构造

感知数据的副本暂存在多个传感器节点上,副本的构造方法和副本数量对网络服务质量有很大影响。构造少量的副本,数据转发的通信代价小,可以有效节省能量,但查询成功率和服务器时延会受到影响。TTDD^[11]方法中,每个数据源主动建立一个数据网格,数据副本发布到网格中的每个交叉点上,因此网络中存在大量的副本,从而保证较高的查询成功率。对于事件频繁发生的网络,大量的网格建立过程会造成不必要的能量浪费。LBDD^[12]在网络中间定义一个条状区域作为会合区,会合区内的节点称为线内节点,感知信息转发到某个线内节点上。使用极少的会合区内的节点存储感知数据能够有效节省网络能量,但其查询的时延会大幅提高。

构造副本时还需要考虑节点的热点问题,负载不平衡会导致某些节点过早死亡,从而降低网络可用性。GHT^[13]基于哈希映射构造数据存储位置,查询时通过同样的哈希函数就能得到数据存储位置,其查询时延很小,但 hash 地址的频繁冲突会使一些节点过早失效。会合区内的节点由于承担着频繁的数据存储和查询转发任务,容易过早失效,因此需要尽量使会合区节点负载平衡。文献[14]将传感器网络划分为多个环,在网络工作的某个时间段内,数据被分散存储在当前活动环内的多个节点上,并通过周期性的迁移活动环来实现平衡节点负载的目的。

(2) 数据聚合

数据聚合是指利用传感器节点的本地计算和存储处理能力,先对采集到的或接收到的其他传感器节点发送的多个数据进行网内处理,消除冗余信息,然后再传输处理后的数据。稠密传感器网络会产生大量感知信息,需要对这些信息进行筛选和聚合,减少通信数据量,以节省能量。但数据聚合会增加时延。文献[15]首先将感知数据进行分类,对每一类的数据建立一张网格,同类的数据经过聚合后暂存在相应的网格上,从而有效减少通信数据量。

3.2 数据查询 QoS 相关技术

(1) 查询转发方式

Rumor^[16]采用随机游走的方式转发查询,查询成功率较低。后来的研究多采用指定转发路径的方式进行,以提高查询转发的有效性。XYLS^[17]规定感知数据沿南北方向转发和存储,查询转发则沿东西方向进行,以十字交叉的方式保证查询的成功,但当感知节点和 sink 节点位于网络边缘时查询成

功率较低。DCS(diameter-chord scheme)^[18]改进 XY 查询的缺点,采用两阶段查询方式,如果第一阶段查询失败,就沿着垂直直径的方向(称为转发轴)进行第二阶段转发,进一步提高查询成功率。

(2) 多查询优化

当网络中有新的查询请求时,可以利用已有的查询结果优化查询。文献[19]用 Base Station 比较新查询和已有查询的相似度,通过优化查询请求和共享已有的查询结果来节省能量。此外,多感知信息在网络中发布,用数据相关的主动兴趣管理进行信息的裁剪和推送,可以有效减少通信数据量。

(3) 网间协作机制

sink 节点能量充足,具有较强的通信能力,多 sink 之间通过自组织方式形成覆盖网,sink 之间能够实现感知信息的共享。因此,可以在覆盖网和传感网之间建立协作机制,避免感知数据重复传输,节省传感器网络能量。目前对这一问题的研究较少。

3.3 数据回传 QoS 相关技术

(1) 回传路由建立

查询到所需数据后,需要进行数据回传。可以沿着查询转发的逆路径返回,也可以直接依靠基于地理信息的路由协议返回。文献[20]采用多路径树的回传机制,在源节点和 sink 之间建立多条路由。回传时节点通过计算路径代价选择最短路由,通过动态路由分散转发节点负载,以减少热点现象的发生。

(2) sink 移动支持

sink 发出查询请求后,如果原地等待查询结果,则回传就在查询节点和感知节点间直接进行。如果 sink 移动到新的位置,则需要源节点和 sink 的新位置之间建立路由,这对数据回传过程提出了新的挑战。文献[21]研究了可预测移动情况下的数据发布过程,在源节点和预计 sink 将要到达区域之间建立路由。sink 移动可控的情况下,通过指定 sink 移动方向,最大程度地平衡节点的能量消耗,提高网络生存时间,目前已有许多相关研究。

在大多数情况下,sink 的移动是随机的,Shen^[22]等人提出采用 progressive footprint chaining strategy 将数据回传给 sink,这种方法也为多数后续研究者所采用。文献[23]在网络中运行称为 TinyBee 的轻量级移动代理进行数据收集,当 sink 移动到代理节点通信范围内时传送数据,从而减少盲目转发,浪费能量。这样做的缺点是难以保证查询的实时性。

3.4 指标关联

数据发布协议的各项技术与 QoS 的核心指标之间具有一定的关联,数据发布协议常常需要保障多个 QoS 指标。但指标间的关系纷繁复杂,改变某一技术的参数可能影响到多个 QoS 指标,因此需要进行多指标的优化和折衷。图 3 给出了数据发布主要技术与 QoS 指标的关联关系。在设计 QoS 感知的数据发布协议时,需要根据情况综合考虑各指标的影响。

数据发布技术	QoS 核心指标		
	能量消耗	查询成功率	服务时延
副本数量	+	+	-
聚合算法	+	Δ	+
二次查询	+	+	Δ
多查询优化	-	Δ	-
多路回传	+	Δ	-

+ 正相关影响 - 负相关影响 Δ 不确定影响

图 3 数据发布关键技术与 QoS 核心指标的关联性

在设计数据发布协议时,通常采用 Push(存储)和 Pull(查询)相结合的策略,需在数据的 Push 和 Pull 之间寻找平衡点,以满足 QoS 要求。如果感知数据频繁产生,则大量的副本会使网络性能急剧恶化,需要抑制 Push。如果 sink 数目众多,查询频繁,则为了缩短服务时延,应加强 Push 过程。

3.5 QoS 协商机制

在 QoS 体系中,QoS 指标与网络资源密切相关,网络通过资源的分配和调度完成用户的查询。当网络资源无法满足用户请求时,需要通过协商来确定是降低服务等级还是终止服务。网络资源的分配有集中式、分层式和分散式 3 种模式。传感器网络的自组织特点不适合采用集中式的资源调度模式,分散模式则具有管理复杂难以协同的特点,因此传感器网络资源管理可以采用分层调度的方式。在分簇拓扑网络中,簇头负责资源调度和 QoS 协商。对于非层次拓扑的网络,由节点协作进行。

目前对数据发布协议的研究多偏重于某一方面指标的约束,缺少复杂任务中的多 QoS 指标约束保障协商机制。在 QoS 感知的服务中,首先需要根据 QoS 的多个指标将服务层次进行分级,不同层次对应不同的 QoS 量化指标,区分出不同服务对资源要求的程度。当查询者发出查询请求后,移动 sink 节点将含有 QoS 服务层次要求的查询发送到网络中,网络中负责 QoS 协商的节点对 QoS 请求与网络具有的资源进行评估。如果能够保证所需服务质量,则继续提供服务;如果网络资源无法保证服务质量,则向 sink 发出要求降低 QoS 服务等级的消息,由查询者决定是重新进行 QoS 协商还是终止查询。这一过程如图 4 所示。

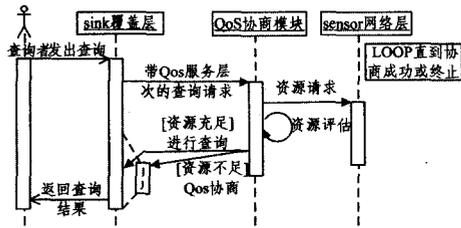


图 4 QoS 协商过程

4 进一步研究方向

在传感器网络中,需要充分考虑资源的有效利用,减少不必要的能量消耗,在网络拓扑动态变化的情况下,依然能够提供满足 QoS 需求的服务。因此,我们认为,MMS 传感器网络中数据发布 QoS 保障有以下一些可能的研究方向。

(1) QoS 指标的量化:数据发布协议的 QoS 指标数量巨大,它们之间的关系纷繁复杂,需要进行合理的指标量化,提供分层次的查询服务。

(2) 提供 QoS 保障的中间件:中间件技术可以有效屏蔽底层的技术细节,提供灵活的服务。但目前的中间件系统对硬件的要求较高,不适合资源极度受限的传感器网络,因此需要针对特定的应用环境,设计灵活简化的 QoS 保障中间件。

(3) QoS 感知的路由机制:无线传感器网络的路由负责为 sink 节点和传感器节点间通信选择适合的优化路径,并依据选定路径正确转发数据。网络路由不仅关心单个节点的能量消耗,更关心整个网能量的均衡消耗,这样才能延长整个网络的生存期。随机移动 sink 给数据发布的回传路由带来了新的挑战,准确跟踪 sink 运动轨迹,是查询成功的关键,对网络服务质量有很大影响。

(4) 自适应的 QoS 保障算法:针对多 sink 查询要求多样化的特点,设计自适应的 QoS 保障算法,自动调整 Push 与 Pull 的尺度,希望以最小代价最大限度地满足不同查询对网络资源的需求。

结束语 MMS 型传感器网络是一种查询驱动的应用,其数据发布过程具有不同于传统传感器网络的特点。本文研究了 QoS 感知的数据发布协议的主要特点,提出了数据发布协议的指标体系。通过对现有数据发布协议的介绍,分析了数据发布协议各阶段相关技术与 QoS 核心指标的关系,并给出了 QoS 感知的数据发布协议的服务质量协商过程。最后提出了可能的研究方向,期望能够引起同行学者对移动传感器网络环境下数据发布 QoS 问题的关注与研究。

参考文献

- [1] Munir S A, Ren Biao, Jiao Wei-wei, et al. Mobile Wireless Sensor Network Architecture and Enabling Technologies for Ubiquitous Computing[J]. IEEE AINAW, 2007(3):122-126
- [2] 石高涛,赵增华. 移动多 sink 传感器网络数据查询和收集技术研究现状[J]. 计算机科学, 2009(5):12-15
- [3] Boukerche A, de Oliveira H A B F, Nakamura E F, et al. Localization Systems for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Wireless Comm., special issue on wireless sensor networks, 2007, 14(6)
- [4] Hamida E B, Chelius G. Strategies for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks[J]. Wireless Communications, 2008, 15(6):31-37
- [5] Chen D, Varshney P K. QoS support in wireless sensor networks: a survey [C] // Proc. of International Conference on Wireless Networks, Las Vegas, 2004:227-233
- [6] 林闯,单志广,任丰原. 计算机网络的服务质量[M]. 北京:清华大学出版社, 2004:21-56
- [7] Ahn J, Krishnamachari B. Fundamental scaling laws for energy efficient storage and querying in wireless sensor networks[C]// MobiHoc, New York, USA, 2006:334-343
- [8] 彭绍亮,李姗姗,彭宇行,等. 无线传感器网络中一种实时高效的数据存储和查询方法[J]. 通信学报, 2008, 9(11):128-138
- [9] Lin Ching-ju, Chou Po-lin, Chou Cheng-fu. Hcdd: hierarchical clusterbased data dissemination in wireless sensor networks with mobile sink [C] // Proceedings of the 2006 International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing, New York, USA: ACM, 2006:1189-1194
- [10] Lu Jia-liang, Valois F. On the data dissemination in wsns [C] // The 3rd International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), New York, USA, October 2007
- [11] Ye Fan, Luo Hai-yun, Cheng J, et al. A Two-tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks [C] // Proceedings of the Eighth International ACM Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 2002
- [12] Ben H E, Chelius G. A Line-based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks with Mobile Sink [C] // IEEE International Conference on Communications, Beijing, China, 2008:2201-2205
- [13] Sylvia Ratnasamy, Brad Karp, Li Yin, et al. GHT: A geographic hash table for data-centric storage [C] // Proc. 1st ACM Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, 2002
- [14] 李贵林,高宏. 传感器网络中基于环的负载均衡数据存储方法[J]. 软件学报, 2007, 18(5):1173-1185
- [15] Youn Jong-hoon, Kalva R R, Park S. Efficient data dissemination

- and aggregation in large wireless sensor networks[C]// Vehicular Technology Conference. Vol. 7, 2004;4602-4606
- [16] Braginsky D, Estrin D. Rumor routing algorithm for sensor networks[C]// Proc. of the 1st Workshop on Sensor Networks and Applications. New York; ACM Press, 2002; 1-12
- [17] Das Y H S, Pucha H. Performance comparison of scalable location services for geographic ad hoc routing[C]// Proceedings of IEEE INFOCOM 2005, Miami, FL, March 2005; 1228-1239
- [18] 石高涛, 廖明宏. 一种大规模传感器网络节能数据发布协议[J]. 软件学报, 2006, 17(8): 1785-1795
- [19] Lee Yu Won, Lee Ki Yong, Kim Myoung Ho. Energy-efficient Multiple Query Optimization for Wireless Sensor Networks[C]// Third International Conference on Sensor Technologies and Applications. Athens, Glyfada, 2009; 531-538
- [20] Lu Ke-zhong, Lin Xiao-hui. A Multiple Trees-based Data Dissemination Scheme in Wireless Sensor Networks[C]// WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering. Los Angeles, CA, 2009; 1-4
- [21] Lee Euisin, Park Soochang, Lee Donghun, et al. A Predictable Mobility-based Communication Paradigm for Wireless Sensor Networks[C]// Asia-Pacific Conference on Communications. Bangkok, 2007; 373-376
- [22] Shen Chien-chung, Srisathapornphat C, Jaikaeo C. Sensor Information Networking Architecture and Applications [J]. IEEE Personal Communication Magazine, 2001, 8(4): 52-59
- [23] Ota K, Dong Mian-xiong, Li Xiao-lin. TinyBee: Mobile-Agent-Based Data Gathering System in Wireless Sensor Networks[C]// IEEE International Conference on Networking, Architecture, and Storage. Human, China, 2009; 24-31

(上接第 99 页)

- [9] Conti M, Pietro D, et al. A Randomized, Efficient, and Distributed Protocol for the Detection of Node Replication Attacks in Wireless Sensor Networks[C]// ACM Mobihoc. 2007; 80-89
- [10] Ho Jun-won, Liu Donggang, et al. Distributed detection of replica node attacks with group deployment knowledge in wireless sensor networks[J]. Ad Hoc Networks, 2009(7); 1476-1488
- [11] Ho Jun-Wwn, Wright M, Sajal D. Fast Detection of Replica Node Attacks in Mobile Sensor Networks Using Sequential Analysis[C]// IEEE INFOCOM 2009
- [12] Munir A, Ren Biao, et al. Mobile Wireless Sensor Network; Architecture and Enabling Technologies for Ubiquitous Computing [C]// 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. AINAW '07
- [13] Pietro R, Mancini L, et al. Playing hide-and-seek with a focused mobile adversary in unattended wireless sensor networks[J]. Ad Hoc Networks, 2009, 7(8): 1463-1475
- [14] Ma D, Soriente C, Tsudik G. New adversary and new threats: security in unattended sensor networks[J]. IEEE Network, 2009, 23(2): 43-48
- [15] Pietro R, Mancini L, et al. Data Security in Unattended Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Trans. Computers, 2009, 58(11): 1500-1511
- [16] Ngai E, Liu J, et al. An efficient intruder detection algorithm against sinkhole attacks in wireless sensor networks[J]. Computer Communications, 2007, 30(11/12): 2353-2364
- [17] 庞辽军, 李慧贤, 等. Directed Diffusion 协议的安全性分析及改进[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(9): 135-138
- [18] Zhang Qinghua, Wang Pan, et al. Defending against Sybil Attacks in Sensor Networks[C]// ICDSC Workshops. 2005; 185-191
- [19] 张建明, 余群, 王良民. 基于地理信息的传感器网络 Sybil 攻击检测方法[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(1): 259-264
- [20] 冯涛, 马建峰. 防御无线传感器网络 Sybil 攻击的新方法[J]. 通信学报, 2008, 29(6): 13-19
- [21] 俞波, 杨珉, 王治, 等. 选择传递攻击中的异常丢包检测[J]. 计算机学报, 2006, 29(09): 1542-1552
- [22] 王新胜, 詹永照, 王良民. 无线传感器网络中的选择转发攻击检测[J]. 江苏大学学报, 2009
- [23] 张书奎, 崔志明, 等. 传感器网络病毒感染传播局域控制研究[J]. 电子学报, 2009, 37(04): 877-883
- [24] 陈鸿龙, 李鸿斌, 王智. 基于 TD0A 测距的传感器网络安全定位研究[J]. 通信学报, 2008, 29(8): 11-21
- [25] 曹晓梅, 韩志杰, 陈贵海. 基于流量预测的传感器网络拒绝服务攻击检测方案[J]. 计算机学报, 2007, 30(10): 1798-1805
- [26] Raymond D, Midkiff F. Denial of Service in Wireless Sensor Network; Attacks and Defenses [J]. IEEE Pervasive Computing, 2008, 7(1): 74-81
- [27] Chan Hao wen, Perrig A, Song Xiaodong. Secure hierarchical in-network aggregation in sensor networks[C]// ACM Conference on Computer and Communications Security. 2006; 278-287
- [28] Zhu Sencun, Setia S, et al. Interleaved hop-by-hop authentication against false data injection attacks in sensor networks[J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2007, 3(3): 14: 1-14; 33
- [29] Chan Hao wen, Adrian P. Efficient security primitives derived from a secure aggregation algorithm[C]// ACM Conference on Computer and Communications Security. 2008; 521-534
- [30] 荆琦, 唐礼勇, 陈钟. 无线传感器网络中的信任管理[J]. 软件学报, 2008, 19(7): 1716-1730
- [31] 杨光, 印桂生, 杨武, 等. 无线传感器网络基于节点行为的信誉评测模型[J]. 通信学报, 2009, 30(12): 18-26
- [32] Zahariadis T, Leligou H, et al. Mobile Networks Trust management in wireless sensor networks [J]. European Transactions on Telecommunications, Apr. 2010
- [33] Chang Wuyu, Chen E, et al. Deploying Mobile Nodes to Connect Wireless Sensor Networks Using Novel Algorithms[C]// Proceedings of the International Conference on Wireless Algorithms, Systems and Applications table of contents. 2007; 199-204
- [34] Zhang Hui, Lei Lin. The Study on Dynamic Topology Structure of Wireless Sensor Networks[C]// Second International Conference on Computer Modeling and Simulation. 2010, 4; 127-129
- [35] Nguyen L, Defago X, et al. An Energy Efficient Routing Scheme for Mobile Wireless Sensor Networks[C]// 5th IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2008). Reykjavik, Iceland, October 2008; 568-572
- [36] Bajwa S. A Survey on Intrusion Detection Systems in Manets [R]. Pakistan Air Force-Karachi Institute of Economics and Technology. Juan. 2010
- [37] Mauro C, Pietro R, et al. Mobility and Cooperation to Thwart Node Capture Attacks in MANETs[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Article ID 945943, 2009; 13
- [38] Oligeri G, Pietro R, et al. Intrusion Resilience in Mobile Unattended WSNs[C]// IEEE Infocom2010