

# 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展\*

李建中<sup>1,2+</sup>, 李金宝<sup>1,2</sup>, 石胜飞<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

<sup>2</sup>(黑龙江大学 计算机科学技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

## Concepts, Issues and Advance of Sensor Networks and Data Management of Sensor Networks

LI Jian-Zhong<sup>1,2+</sup>, LI Jin-Bao<sup>1,2</sup>, SHI Sheng-Fei<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

<sup>2</sup>(School of Computer Science and Technology, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

+ Corresponding author: Phn: 86-451-86415827, Fax: 86-451-86415827, E-mail: lijzh@hit.edu.cn

<http://db.cs.hit.edu.cn>

Received 2003-01-26; Accepted 2003-03-06

Li JZ, Li JB, Shi SF. Concepts, issues and advance of sensor networks and data management of sensor networks. *Journal of Software*, 2003,14(10):1717~1727.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1717.htm>

**Abstract:** Sensor networks are integration of sensor techniques, nested computation techniques, distributed computation techniques and wireless communication techniques. They can be used for testing, sensing, collecting and processing information of monitored objects and transferring the processed information to users. Sensor network is a new research area of computer science and technology and has a wide application future. Both academia and industries are very interested in it. The concepts and characteristics of the sensor networks and the data in the networks are introduced, and the issues of the sensor networks and the data management of sensor networks are discussed. The advance of the research on sensor networks and the data management of sensor networks are also presented.

**Key words:** sensor; sensor network; data in sensor network; data management of sensor network

**摘 要:** 传感器网络综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和无线通信技术,能够协作地实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息,并对其进行处理,传送到这些信息的用户。传感器网络是计算机科学技术的一个新的研究领域,具有十分广阔的应用前景,引起了学术界和工业界的高度重视。介绍了传感器网络及其数据管理的概念和特点,探讨了传感器网络及其数据管理的研究问题,并综述了传感器网络及其数据管理的研究现状。

**关键词:** 传感器;传感器网络;传感器网络数据;传感器网络数据管理

**中图法分类号:** TP393      **文献标识码:** A

---

\* 第一作者简介: 李建中(1950 - ),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师,主要研究领域为数据库,并行计算。

随着通信技术、嵌入式计算技术和传感器技术的飞速发展和日益成熟,具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器开始在世界范围内出现.由这些微型传感器构成的传感器网络引起了人们的极大关注.这种传感器网络综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和通信技术,能够协作地实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种环境或监测对象的信息,并对这些信息进行处理,获得详尽而准确的信息,传送到需要这些信息的用户.例如,传感器网络可以向正在准备进行登陆作战的部队指挥官报告敌方岸滩的详实特征信息,如丛林地带的地面坚硬度、干湿度等,为制定作战方案提供可靠的信息.传感器网络可以使人们在任何时间、地点和任何环境条件下获取大量详实而可靠的信息.因此,这种网络系统可以被广泛地应用于国防军事、国家安全、环境监测、交通管理、医疗卫生、制造业、反恐抗灾等领域.传感器网络是信息感知和采集的一场革命.传感器网络作为一个全新的研究领域,在基础理论和工程技术两个层面向科技工作者提出了大量的挑战性研究课题.

由于传感器网络的巨大应用价值,它已经引起了世界许多国家的军事部门、工业界和学术界的极大关注.美国自然科学基金委员会2003年制定了传感器网络研究计划,投资34 000 000美元,支持相关基础理论的研究.美国国防部和各军事部门都对传感器网络给予了高度重视,在C4ISR的基础上提出了C4KISR计划,强调战场情报的感知能力、信息的综合能力和信息的利用能力,把传感器网络作为一个重要研究领域,设立了一系列的军事传感器网络研究项目.美国英特尔公司、美国微软公司等信息工业界巨头也开始了传感器网络方面的工作,纷纷设立或启动相应的行动计划.日本、英国、意大利、巴西等国家也对传感器网络表现出了极大的兴趣,纷纷展开了该领域的研究工作.

传感器网络的研究起步于20世纪90年代末期.从2000年起,国际上开始出现一些有关传感器网络研究结果的报道.但是,这些研究成果处于起步阶段,距离实际需求还相差甚远.我国在传感器网络方面的研究工作还很少.目前,哈尔滨工业大学和黑龙江大学已经开始了该领域的研究工作.一言以蔽之,传感器网络的研究任重而道远.

本文将分别介绍传感器网络及其数据管理的概念和特点、需要研究的问题以及目前的研究进展情况.

## 1 传感器网络

### 1.1 传感器网络的概念

我们可以如下定义传感器网络:传感器网络是由一组传感器以Ad Hoc方式构成的有线或无线网络,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖的地理区域中感知对象的信息,并发布给观察者<sup>[1]</sup>.

从上述定义可以看到,传感器、感知对象和观察者是传感器网络的3个基本要素;有线或无线网络是传感器之间、传感器与观察者之间的通信方式,用于在传感器与观察者之间建立通信路径;协作地感知、采集、处理、发布感知信息是传感器网络的基本功能.一组功能有限的传感器协作地完成大的感知任务是传感器网络的重要特点.传感器网络中的部分或全部节点可以移动.传感器网络的拓扑结构也会随着节点的移动而不断地动态变化.节点间以Ad Hoc方式进行通信,每个节点都可以充当路由器的角色,并且每个节点都具备动态搜索、定位和恢复连接的能力.下面,我们详细地来讨论传感器、感知对象和观察者.

传感器由电源、感知部件、嵌入式处理器、存储器、通信部件和软件这几部分构成,如图1所示<sup>[2]</sup>.电源为传感器提供正常工作所必需的能源.感知部件用于感知、获取外界的信息,并将其转换为数字信号.处理部件负责协调节点各部分的工作,如对感知部件获取的信息进行必要的处理、保存,控制感知部件和电源的工作模式等.通信部件负责与其他传感器或观察者的通信.软件则为传感器提供必要的软件支持,如嵌入式操作系统、嵌入式数据库系统等.

观察者是传感器网络的用户,是感知信息的接受和应用者.观察者可以是人,也可以是计算机或其他设备.例如,军队指挥官可以是传感器网络的观察者;一个由飞机携带的移动计算机也可以是传感器网络的观察者.一个传感器网络可以有多个观察者,一个观察者也可以是多个传感器网络的用户.观察者可以主动地查询或收集传感器网络的感知信息,也可以被动地接收传感器网络发布的信息.观察者将对感知信息进行观察、分析、挖

掘、制定决策,或对感知对象采取相应的行动。

感知对象是观察者感兴趣的监测目标,也是传感器网络的感知对象,如坦克、军队、动物、有害气体等。感知对象一般通过表示物理现象、化学现象或其他现象的数字量来表征,如温度、湿度等。一个传感器网络可以感知网络分布区域内的多个对象。一个对象也可以被多个传感器网络所感知。

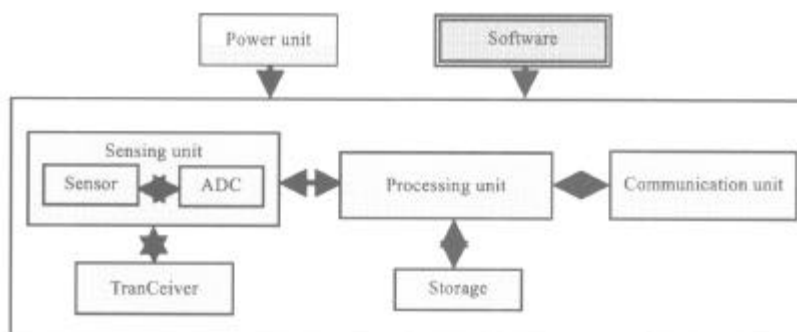


Fig.1 Picture of a sensor  
图1 传感器示意图

图2给出了一个典型的传感器网络的结构。这个网络由传感器节点、接收发送器(sink)、Internet或通信卫星、任务管理节点等部分构成<sup>[2]</sup>。传感器节点散布在指定的感知区域内,每个节点都可以收集数据,并通过“多跳”路由方式把数据传送到Sink。Sink也可以用同样的方式将信息发送给各节点。Sink直接与Internet或通信卫星相连,通过Internet或通信卫星实现任务管理节点(即观察者)与传感器之间的通信。

图3给出了另一种传感器网络的结构<sup>[3]</sup>。在这种传感器网络中,数据通过基站转送到有线网络。网络节点分为3类:基站节点(base station nodes)、固定节点(fixed node)和应用节点(application node)。基站节点担任无线传感器网络和有线网络的网关。固定节点通过多跳路由方式与基站进行数据通信。应用节点是可移动或者固定的节点。

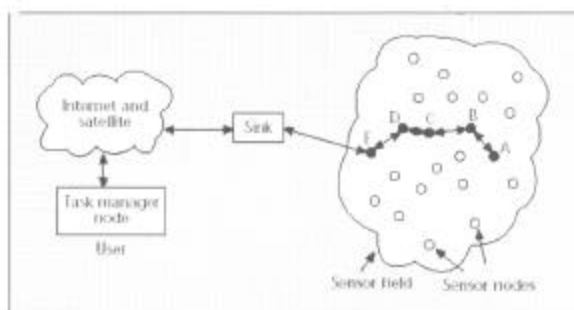


Fig.2 Structure of a typical sensor network  
图2 一个典型的传感器网络的结构

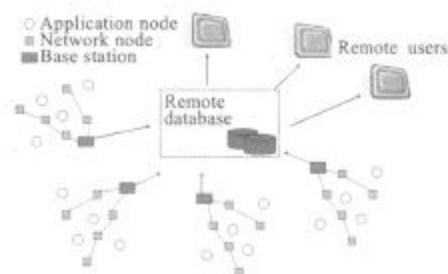


Fig.3 Structure of another sensor network  
图3 另一种传感器网络的结构

## 1.2 传感器网络的特点与挑战

传感器网络除了具有Ad Hoc网络的移动性、断接性、电源能力局限等共同特征以外,还具有很多其他鲜明的特点。这些特点向我们提出了一系列挑战性问题:

(1) 通信能力有限。传感器网络的传感器的通信带宽窄而且经常变化,通信覆盖范围只有几十到几百米。传感器之间的通信断接频繁,经常导致通信失败。由于传感器网络更多地受到高山、建筑物、障碍物等地势地貌以及风雨雷电等自然环境的影响,传感器可能会长时间脱离网络,离线工作。如何在有限通信能力的条件下高质量地完成感知信息的处理与传输,是我们面临的挑战之一。

(2) 电源能量有限。传感器的电源能量极其有限。网络中的传感器由于电源能量的原因经常失效或废弃。电

源能量约束是阻碍传感器网络应用的严重问题.商品化的无线发送接收器电源远远不能满足传感器网络的需要.传感器传输信息要比执行计算更消耗电能.传感器传输 1 位信息所需要的电能足以执行 3 000 条计算指令.如何在网络工作过程中节省能源,最大化网络的生命周期,是我们面临的第 2 个挑战.

(3) 计算能力有限.传感器网络中的传感器都具有嵌入式处理器和存储器.这些传感器都具有计算能力,可以完成一些信息处理工作.但是,由于嵌入式处理器和存储器的能力和容量有限,传感器的计算能力十分有限.如何使用大量具有有限计算能力的传感器进行协作分布式信息处理,是我们面临的第 3 个挑战.

(4) 传感器数量大、分布范围广.传感器网络中传感器节点密集,数量巨大,可能达到几百、几千万,甚至更多.此外,传感器网络可以分布在很广泛的地理区域.传感器的数量与用户数量比通常也非常大.传感器数量大、分布广的特点使得网络的维护十分困难甚至不可维护,传感器网络的软、硬件必须具有高强壮性和容错性.这是我们面临的第 4 个挑战.

(5) 网络动态性强.传感器网络具有很强的动态性.网络中的传感器、感知对象和观察者这三要素都可能具有移动性,并且经常有新节点加入或已有节点失效.因此,网络的拓扑结构动态变化,传感器、感知对象和观察者三者之间的路径也随之变化.传感器网络必须具有可重构和自调整性.这是我们面临的第 5 个挑战.

(6) 大规模分布式触发器.很多传感器网络需要对感知对象进行控制,如温度控制.这样,很多传感器具有回控装置和控制软件.我们称回控装置和控制软件为触发器.成千上万的动态触发器的管理是我们面临的第 6 个挑战.

(7) 感知数据流巨大.传感器网络中的每个传感器通常都产生较大的流式数据,并具有实时性.每个传感器仅仅具有有限的计算资源,难以处理巨大的实时数据流.我们需要研究强有力的分布式数据流管理、查询、分析和挖掘方法.这是我们面临的第 7 个挑战.

### 1.3 传感器网络的性能评价

传感器网络的性能直接影响其可用性,至关重要.如何评价一个传感器网络的性能是一个需要深入研究的问题.下面,我们讨论几个评价传感器网络性能的标准.这些标准还没有达到实用的程度,需要进一步地模型化和量化.

(1) 能源有效性.传感器网络的能源有效性是指该网络在有限的能源条件下能够处理的请求数量.能源有效性是传感器网络的重要性能指标.到目前为止,传感器网络的能源有效性还没有被模型化和量化,还不具有被普遍接受的标准,需要进行深入研究.

(2) 生命周期.传感器网络的生命周期是指从网络启动到不能为观察者提供需要的信息为止所持续的时间.影响传感器网络生命周期的因素很多,既包括硬件因素也包括软件因素,需要进行深入研究.在设计传感器网络的软、硬件时,我们必须充分考虑能源有效性,最大化网络的生命周期.

(3) 时间延迟.传感器网络的延迟时间是指当观察者发出请求到其接收到回答信息所需要的时间.影响传感器网络时间延迟的因素也有很多.时间延迟与应用密切相关,直接影响传感器网络的可用性和应用范围.目前的相关研究还很少,需要进行深入研究.

(4) 感知精度.传感器网络的感知精度是指观察者接收到的感知信息的精度.传感器的精度、信息处理方法、网络通信协议等都对感知精度有所影响.感知精度、时间延迟和能量消耗之间具有密切的关系.在传感器网络设计中,我们需要权衡三者的得失,使系统能在最小能源开销条件下最大限度地提高感知精度、降低时间延迟.

(5) 可扩展性.传感器网络可扩展性表现在传感器数量、网络覆盖区域、生命周期、时间延迟、感知精度等方面的可扩展极限.给定可扩展性级别,传感器网络必须提供支持该可扩展性级别的机制和方法.目前不存在可扩展性的精确描述和标准,还需要进一步的深入研究.

(6) 容错性.传感器网络中的传感器经常会由于周围环境或电源耗尽等原因而失效.由于环境或其他原因,物理地维护或替换失效传感器常常是十分困难或不可能的.这样,传感器网络的软、硬件必须具有很强的容错性,以保证系统具有高强壮性.当网络的软、硬件出现故障时,系统能够通过自动调整或自动重构纠正错误,保证

网络正常工作.传感器网络容错性需要进一步地模型化和定量化.容错性和能源有效性之间存在着密切关系.我们在设计传感器网络时,需要权衡两者的利弊.

上述 6 个传感器网络的性能指标不仅是评价传感器网络的标准,也是传感器网络设计的优化目标.为了达到这些目标的优化,我们有大量的研究工作需要完成.

#### 1.4 数据管理与处理是传感器网络的核心技术

基于传感器网络的任何应用系统都离不开感知数据的管理和处理技术.不言而喻,感知网数据管理和处理技术是确定感知网可用性和有效性的关键技术,关系到感知网的成败.对于观察者来说,传感器网络的核心是感知数据,而不是网络硬件.观察者感兴趣的是传感器产生的数据,而不是传感器本身.观察者不会提出这样的查询:“从 A 节点到 B 节点的连接是如何实现的?”,他们经常会提出如下的查询:“网络覆盖区域中哪些地区出现毒气?”.在传感器网络中,传感器节点不需要地址之类的标识.观察者不会提出查询:“地址为 27 的传感器的温度是多少?”,他们感兴趣的查询是,“某个地理位置的温度是多少?”.综上所述,传感器网络是一种以数据为中心的网络.

以数据为中心的传感器网络的基本思想是,把传感器视为感知数据流或感知数据源,把传感器网络视为感知数据空间或感知数据库,把数据管理和处理作为网络的应用目标.传感器网络以数据为中心的特点使得其设计方法不同于其他计算机网络(包括 Internet).传感器网络的设计必须以感知数据管理和处理为中心,把数据库技术和网络技术紧密结合,从逻辑概念和软、硬件技术两个方面实现一个高性能的以数据为中心的网络系统,为用户或观察者提供一个有效的感知数据空间或感知数据库管理和处理系统,使用户如同使用通常的数据库管理系统和数据处理系统一样自如地在传感器网络上进行感知数据的管理和处理.

感知数据管理与处理技术是实现以数据为中心的传感器网络的核心技术.感知数据管理与处理技术包括感知网数据的存储、查询、分析、挖掘、理解以及基于感知数据决策和行为的理论和技术.传感器网络的各种实现技术必须与这些技术密切结合,融为一体,而不是像目前其他网络设计那样分而治之.只有这样,我们才能够设计实现高效率的以数据为中心的传感器网络系统.

显然,感知数据管理和处理技术的研究是一项实现高效率传感器网络的重要和关键的任务.遗憾的是,到目前为止,感知数据管理和处理技术的研究还不多,还有大量的问题需要解决.感知数据管理与处理技术的研究是数据库界面临的新任务和新挑战,也为数据库界提供了新机遇.

## 2 传感器网络的研究问题

在讨论传感器网络的研究问题之前,我们需要介绍一下传感器网络的功能结构.由于传感器网络的设计一般都面向应用,我们很难在比较详细的级别上给出它的功能结构.在此,我们在一个比较抽象的级别上讨论传感器网络的功能结构,如图 4 所示.

基础层以传感器集合为核心,包括每个传感器的软、硬件资源,如感知器件、嵌入式处理器与存储器、通信器件、嵌入式操作系统、嵌入式数据库系统等.基础层的功能包括监测感知对象、采集感知对象的信息、传输发布感知信息以及初步的信息处理.

网络层以通信网络为核心,实现传感器与传感器、传感器与观察者之间的通信,支持多传感器协作完成大型感知任务.网络层包括通信网络、支持网络通信的各种协议和软、硬件资源.

数据管理与处理层以传感器数据管理与处理软件为核心,包括支持感知数据的采集、存储、查询、分析、挖掘等各种数据管理和分析处理软件系统,有效地支持感知数据的存储、查询、分析和挖掘,为用户决策提供有效的支持.

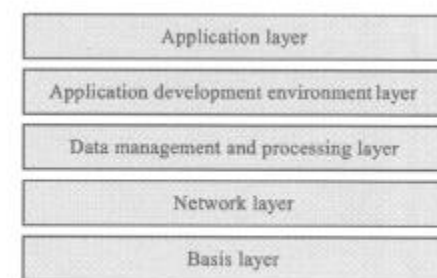


Fig.4 Abstract structure of sensor networks  
图 4 传感器网络的抽象结构

应用开发环境层为用户能够在基础层、网络层和数据管理与处理层的基础上开发各种传感器网络应用软件提供有效的软件开发环境和软件工具.

应用层由各种传感器网络应用软件系统构成.

下面,我们以如图 4 所示的传感器网络功能结构为主线,讨论有关传感器网络的研究问题.

## 2.1 基础层研究问题

基础层研究问题的核心是传感器软、硬件技术的研究,主要包括:新传感器概念、理论和技术的研究;新型传感器材料和新型传感器装置的研究,如化学物质感知材料和装置、生物物质感知材料和装置等;恶劣环境下可操作的传感器技术的研究;把多个传感器、计算部件、行为部件集成为一个单集成电路片的微型传感器技术的研究;增强传感器计算能力、感知能力和感知精度的研究;提高传感器强壮性和容错性的研究;缩小传感器体积和重量的研究;传感器电源技术的研究;模拟技术和工具的研究;传感器自校准和自测试技术的研究;传感器制造和封装技术的研究;适应于传感器的嵌入式容错操作系统、嵌入式容错信号处理、嵌入式容错数据库等嵌入式软件系统的研究.

## 2.2 网络层研究问题

网络层主要研究传感器网络通信协议和各种传感器网络技术.传感器通信网络协议第 1 方面的研究是通过分析模拟,研究现有通信协议的性能,确定各种现有协议对于传感器网络的可用性及其优缺点.

传感器通信网络协议第 2 方面的研究是以数据为中心的新的通信协议的研究,包括通用能源有效性路由算法的研究、面向应用的能源有效性路由算法的研究、动态传感器网络的路径重构技术的研究.

除了上述两个方面的研究问题,网络层还有很多其他方面的研究问题,如可扩展的强壮传感器网络结构的研究、传感器节点的自适应管理和自适应控制技术的研究、资源受限的传感器网络设计策略和性能优化技术的研究、具有局部信息管理能力的能源极低的传感器节点的设计与管理技术的研究、感知数据处理策略的研究、异构传感器网络技术的研究、传感器网络的安全与认证机制的研究、嵌入与组合系统技术的研究、能源有效的介质存取、错误控制和流量管理技术的研究、移动传感器网络技术的研究、传感器网络的自扩展、自适应和自重构技术的研究、传感器网络中传感器节点协作和分组管理技术的研究、传感器网络中传感器节点能源管理技术的研究、传感器网络拓扑结构管理技术的研究、传感器网络中的时间同步技术的研究、数据分发、融合和信息处理技术的研究、仿真技术与仿真系统的研究等.

## 2.3 数据管理与处理层研究问题

数据管理与处理层提供支持感知数据存储、存取、查询、分析和挖掘的软件工具.因此,该层的研究内容主要包括感知数据管理技术的研究、感知数据查询处理技术的研究、感知数据分析技术的研究、感知数据挖掘技术的研究以及感知数据管理系统的研究.

感知数据管理技术的研究主要包括传感器网络和感知数据的模型的研究、感知数据存储技术的研究、感知数据存取方法与索引的研究、元数据管理技术的研究、传感器数据处理策略的研究、面向应用的感知数据管理技术的研究.

感知数据查询技术的研究主要包括感知数据查询语言的研究、感知数据操作算法的研究、感知数据查询优化技术的研究、感知数据查询的分布式处理技术的研究.

感知数据分析技术的研究主要包括 OLAP 分析处理技术的研究、统计分析技术的研究以及其他复杂分析技术的研究.

感知数据挖掘技术的研究主要包括相关规则等传统类型知识的挖掘、与感知数据相关的新知识模型及其挖掘技术的研究、感知数据的分布式挖掘技术的研究.

感知数据管理系统的研究主要包括感知数据管理系统的体系结构和感知数据管理系统的实现技术的研究.

## 2.4 应用开发环境层研究问题

应用开发环境层旨在为各种传感器网络应用系统的开发提供有效的软件开发环境和软件工具,需要研究的问题包括:传感器网络程序设计语言的研究;传感器网络程序设计方法学的研究;传感器网络软件开发环境和工具的研究;传感器网络软件测试工具的研究;面向应用的网络和系统服务的研究,如基于属性的编址方法、位置管理和发现等;基于感知数据的理解、决策和举动的理论和技术,如智能应用感知数据的决策理论、监测报警的监测和识别技术、基于感知数据的反馈理论、适用于传感器网络应用的新统计算法、抽样理论和监控系统、监控大规模传感器阵列的数学组合系统工具、适用于传感器网络的模式识别和状态估计理论与技术。

## 2.5 应用层研究问题

应用层由各种面向应用的软件系统构成。应用层的研究主要是各种传感器网络应用系统的开发,如作战环境侦查与监控系统、军事侦查系统、情报获取系统、战场监测与指挥系统、环境监测系统、交通管理系统、灾难预防系统、危险区域监测系统、有灭绝危险或珍贵动物的跟踪监护系统、民用和工程设施的安全性监测系统、生物医学监测、诊断或治疗系统等。

# 3 传感器网络的研究进展

## 3.1 军事领域的研究进展情况

美国陆军 2001 年提出了“灵巧传感器网络通信”计划,已被批准为 2001 财政年度的一项科学技术研究计划,并在 2001~2005 财政年度期间实施。灵巧传感器网络通信的目标是建设一个通用通信基础设施,支援前方部署,将无人值守式弹药、传感器和未来战斗系统所用的机器人系统连成网络,成倍地提高单一传感器的能力,使作战指挥员能更好、更快地作出决策,从而改进未来战斗系统的生存能力。

美国陆军近期又确立了“无人值守地面传感器群”项目,其主要目标是使基层部队指挥员具有在他们所希望部署传感器的任何地方灵活地部署传感器的能力。该项目是支持陆军“更广阔视野”的 3 个项目之一。

美国陆军最近还确立了“战场环境侦察与监视系统”项目。该系统是一个智能化传感器网络,可以更为详尽、准确地探测到精确信息,如一些特殊地形地域的特种信息(登陆作战中敌方岸滩的翔实地理特征信息,丛林地带的地面硬度、干湿度)等,为更准确地制定战斗行动方案提供情报依据。它通过“数字化路标”作为传输工具,为各作战平台与单位提供“各取所需”的情报服务,使情报侦察与获取能力产生质的飞跃。该系统组由撒布型微传感器网络系统、机载和车载型侦察与探测设备等构成。

美国海军最近也确立了“传感器组网系统”研究项目。传感器组网系统的核心是一套实时数据库管理系统。该系统可以利用现有的通信机制对从战术级到战略级的传感器信息进行管理,而管理工作只需通过一台专用的商用便携机即可,不需要其他专用设备。该系统以现有的带宽进行通信,并可协调来自地面和空中监视传感器以及太空监视设备的信息。该系统可以部署到各级指挥单位。

2002 年 5 月,美国 Sandia 国家实验室与美国能源部合作,共同研究能够尽早发现以地铁、车站等场所为目标的生化武器袭击,并及时采取防范对策的系统。该研究属于美国能源部恐怖对策项目的重要一环。该系统融检测有毒气体的化学传感器和网络技术于一体。安装在车站的传感器一旦检测到某种有害物质,就会自动向管理中心通报,自动进行引导旅客避难的广播,并封锁有关入口等。该系统除了能够在专用管理中心进行监视之外,还可以通过 WWW 进行远程监视。

美国海军最近开展的网状传感器系统 CEC(cooperative engagement capability)是一项革命性的技术。CEC 是一个无线网络,其感知数据是原始的雷达数据。该系统适用于舰船或飞机战斗群携带的电脑进行感知数据的处理。每艘战船不但依赖于自己的雷达,还依靠其他战船或者装载 CEC 的战机来获取感知数据。例如,一艘战船除了从自己的雷达获取数据以外,还从舰船战斗群的 20 个以上的雷达中获取数据,也可以从鸟瞰战场的战机上获取数据。空中的传感器负责侦察更大范围的低空目标,这些传感器也是网络中重要的一部分。利用这些数据合成图片具有很高的精度。由于 CEC 可以从多方面探测目标,极大地提高了测量精度。利用 CEC 数据可以准确地

击中目标.CEC 还可以快速而准确地跟踪混乱战争环境中的敌机和导弹,使战船可以击中多个地平线或地平线以上近海面飞行的超声波目标.因此,即使是今天最先进的反舰巡航导弹也会被实时地监测到并被击中.

2000 年,美国国防部把 Smart Sensor Web 定为国防部科学技术 5 个尖端研究领域之一.Smart Sensor Web 的基本思想是在整个作战空间中放置大量的传感器节点来收集、传递信息,并且将信息汇集到融合点,在那里综合成一张图片,并分发给需要该信息的作战者.Smart Sensor Web 将为军队提供大覆盖面、及时、高分辨率信息的能力.Smart Sensor Web 是智能、安全、以 Web 为中心的传感器信息分发和融合网络,可以提高军队的敏感度.

### 3.2 民用领域的研究进展情况

1995 年,美国交通部提出了“国家智能交通系统项目规划”,预计到 2025 年全面投入使用.该计划试图把先进的信息技术、数据通信技术、传感器技术、控制技术及计算机处理技术有效地集成运用于整个地面交通管理,建立一个在大范围内、全方位发挥作用的,实时、准确、高效的综合交通运输管理系统.这种新型系统将有效地使用传感器网络进行交通管理,不仅可以使汽车按照一定的速度行驶、前后车距自动地保持一定的距离,而且还可以提供有关道路堵塞的最新消息,推荐最佳行车路线以及提醒驾驶员避免交通事故等.由于该系统将应用大量的传感器与各种车辆保持联系,人们可以利用计算机来监视每一辆汽车的运行状况,如制动质量、发动机调速时间等.根据具体情况,计算机可以自动进行调整,使车辆保持在高效低耗的最佳运行状态,并就潜在的故障发出警告,或直接与事故抢救中心取得联系.

2002 年 10 月 24 日,美国英特尔公司发布了“基于微型传感器网络的新型计算发展规划”.今后,英特尔将致力于微型传感器网络在预防医学、环境监测、森林灭火乃至海底板块调查、行星探查等领域的应用.实现该计划需要 3 个阶段,即物理阶段、实现阶段和应用阶段.物理阶段主要开发集成感知、计算和通信功能的超微型传感器(也被称作尘粒(MOTE)或智能微尘(smart dust)).实现阶段将在实际商务中使用来自传感器网络的感知数据.应用阶段将应用传感器网络于预防医学、环境监测及灾害对策等领域.英特尔研究中心伯克利实验室和大西洋学院的研究人员计划部署和使用无线传感器网络来研究岛上环境.这些传感器由温度、湿度、气压等芯片和红外线传感器组成.科学家们使用这些设备可以在不干扰野生动植物正常生活的情况下监视它们及其生存环境.

### 3.3 学术界的研究进展

在美国自然科学基金委员会的推动下,美国的加州大学伯克利分校、麻省理工学院、康奈尔大学、加州大学洛杉矶分校等学校开始了传感器网络的基础理论和关键技术的研究.英国、日本、意大利等国家的一些大学和研究机构也纷纷开展了该领域的研究工作.我国的哈尔滨工业大学和黑龙江大学也从 2002 年起开始了对传感器网络的研究.

学术界的研究主要集中在传感器网络技术和通信协议的研究上,也开展了一些感知数据查询处理技术的研究,取得了一些初步研究结果.目前的研究工作还处于起步阶段,大量的问题还没有涉及到.未来的研究工作任重而道远.下面,我们介绍一下目前的主要研究进展.

#### 3.3.1 传感器网络技术的研究

加州大学伯克利分校提出了应用网络连通性重构传感器位置的方法、基于相关性的 Sensor 数据编码模式、用稀疏传感器网络重构跟踪移动对象路线的方法、传感器网络上随时间变化的连续流可视化方法、允许系统级优化时有效通信机制的一般化解、传感器网络上的数据分布式存储的地理 Hash 表方法、确定传感器网络中节点位置的分布式算法等,并研制了一个传感器操作系统 TinyOS<sup>[4-8]</sup>.

加州大学洛杉矶分校开发了一个无线传感器网络和一个无线传感器网络模拟环境,用于考察传感器网络各方面的问题<sup>[9,10]</sup>.他们提出了低级通信不依赖于网络拓扑结构的分布式系统技术、支持多应用传感器网络中命名数据和网内数据处理的软件结构、变换初始感知为高级数据流的层次系统结构、传感器网络的时间同步的解决方法、自组织传感器网络的设计问题和解决方法、新的多路径模式等<sup>[11-16]</sup>.

南加州大学提出了在生疏环境部署移动传感器的方法、传感器网络监视结构及其聚集函数计算方法、节



省能源的计算聚集的树构造算法等<sup>[17~19]</sup>。

斯坦福大学提出了在传感器网络中事件跟踪和传感器资源管理的对偶空间方法以及由无线网连接的传感器和控制器构成的闭环控制系统的框架<sup>[20,21]</sup>。

麻省理工学院开始研究超低能源无线传感器网络的问题,试图解决超低能源无线传感器系统的方法学和技术问题<sup>[22]</sup>。

### 3.3.2 传感器网络通信协议的研究

人们首先对已有的因特网和 Ad Hoc 无线网络的通信协议进行了研究,发现这些协议不适用于传感器网络,其原因如下:

- (1) 传感器网络中的传感器节点数量远大于 Ad Hoc 网络中的节点数;
- (2) 感知节点出现故障的频率要大于 Ad Hoc 网络;
- (3) 感知节点要比因特网和 Ad Hoc 网络中的节点简单;
- (4) 感知节点的能量有限;
- (5) 因特网的数据报头对于传感器网络来说太长,例如,每个节点必须有一个永久的地址。

针对这些问题,康奈尔大学、南加州大学等很多大学开展了传感器网络通信协议的研究,先后提出了几类新的通信协议,包括基于谈判类协议(如 SPIN-PP 协议、SPIN-EC 协议、SPIN-BC 协议、SPIN-RL 协议)、定向发布类协议、能源敏感类协议、多路径类协议、传播路由类协议、介质存取控制类协议、基于 cluster 的协议、以数据为中心的路由算法<sup>[23]</sup>。

### 3.3.3 感知数据查询处理技术的研究

康奈尔大学在感知数据查询处理技术方面开展的研究工作较多<sup>[24~29]</sup>,他们研制了一个测试感知数据查询技术性能的 COUGAR 系统,提出了在传感器网络上计算聚集函数的容错和可扩展算法,并探索了把传感器网络表示为数据库的思想,探讨了如何把分布式查询处理技术应用于感知数据查询的处理。

加州大学伯克利分校研究了传感器网络的数据查询技术,提出了实现可动态调整的连续查询的处理方法和管理传感器网络上多查询的方法,应用数据库技术实现了传感器网络上的数据聚集函数,提出了在低能源、分布式无线传感器网络环境下实现聚集函数的方法,并研制了一个感知数据库系统 TinyDB<sup>[30~34]</sup>。

南加州大学研究了传感器网络上的聚集函数的计算方法,提出了节省能源的计算聚集的树构造算法,并通过实验证明了无线通信机制对聚集计算的性能有很大的影响<sup>[35~37]</sup>。

哈尔滨工业大学和黑龙江大学在传感器数据管理系统方面开展了研究工作,提出了以数据为中心的传感器网络的数据模型、一系列的能源有效的感知数据操作算法和感知数据查询处理技术,并研制了一个传感器网络数据管理系统<sup>[38~41]</sup>。

## References:

- [1] Tilak S, Abu-Ghazaleh NB, Heinzelman W. A taxonomy of wireless micro-sensor network models. *Mobile Computing and Communications Review*, 2002,1(2):1~8.
- [2] Akyildiz LF, Su WL, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(8):102~114.
- [3] Pister K, Hohlt B, Jeong J, Doherty L, Vainio JP. Ivy—A sensor network infrastructure. 2003. <http://www-bsac.eecs.berkeley.edu/projects/ivy>.
- [4] Savarese C, Rabaey J. Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks. In: Park Y, ed. *Proceedings of the USENIX Technical Annual Conference*. Monterey: USENIX, 2001. 317~328.
- [5] Ratnasamy S, Karp B. GHT: A geographic hash table for data-centric storage. In: Reghavendrv CS, ed. *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*. New York: ACM Press, 2002. 94~103.
- [6] Hong W, Madden S. TinySchema: Creating attributes and commands in TinyOS. <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/>.
- [7] University of California at Berkeley. TinyOS. <http://webs.cs.berkeley.edu/tos>.

- [8] Doherty L. Algorithms for position and data recovery in wireless sensor networks [MS. Thesis]. Department of Electronic Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, 2000.
- [9] University of California at Los Angeles. SenSorSim. <http://nes.lee.ucla.edu/projects/sensorsim>.
- [10] University of California at Los Angeles. WINS: Wireless integrated network sensors. <http://www.janet.ucla.edu/WINS/biblio.htm>.
- [11] Ganesan D, Govindan R, Shenker S, Estrin D. Highly-Resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks. *Mobile Computing and Communications Review*, 2002,1(2):295~298.
- [12] Braginsky D, Estrin D. Rumor routing algorithm for sensor networks. In: Raghavendra CS, ed. *Proceedings of the 1st Workshop on Sensor Networks and Applications*. New York: ACM Press, 2002.
- [13] Girod L, Bychkovskiy V, Elson J, Estrin D. Locating tiny sensors in time and space: A case study. In: Manoli Y, Kim KS, eds. *Proceedings of the International Conference on Computer Design*. Piscataway: IEEE Press, 2002. 195~204.
- [14] Bulusu N, Estrin D, Girod L, Heidemann J. Scalable coordination for wireless sensor networks: Self-Configuring localization systems. 2001. <http://ecs.cs.ucla.edu/~bulusu/papers/Bulusu01c.html>.
- [15] Cerpa A, Estrin D. ASCENT: Adaptive self-configuring sensor networks topologies. In: Kermani P, ed. *Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Piscataway: IEEE Press, 2002. 101~111.
- [16] Elson J. Time synchronization services for wireless sensor networks. In: Kumar V, ed. *Proceedings of the 15th International Parallel & Distributed Processing Symposium*. 2001. Los Alamitos: IEEE Computer Press, 2001. 1965~1970.
- [17] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks. In: Kermani P, ed. *Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Piscataway: IEEE Press, 2002. 91~100.
- [18] Heidemann J, Silva F, Intanagonwiwat C. Building efficient wireless sensor networks with low level naming. In: Marzullo K, ed. *Proceedings of the 18th ACM Symposium on Operating System Principles*. New York: ACM Press, 2001. 146~159.
- [19] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D, Heidemann J, Silva F. Directed diffusion for wireless sensor networking. *ACM/IEEE Transactions on Networking*, 2002,11(1):2~16.
- [20] Liu J, Cheung P, Guibas L, Zhao F. A dual-space approach to tracking and sensor management in wireless sensor networks. In: Raghavendra CS, ed. *Proceedings of the ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*. New York: ACM Press, 2002. 162~173.
- [21] Guibas LJ. Sensing, tracking, and reasoning with relations. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2002,19(2):73~85.
- [22] Heinzelman WR. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks. In: Kodesh H, ed. *Proceedings of the 5th ACM/IEEE MobiCom*. New York: ACM Press, 1999. 174~185.
- [23] Rentala P, Musunuri R, Gandham S, Saxena U. Survey on sensor networks. Technical Report, UTDCS-33-02, University of Texas at Dallas, 2002.
- [24] Gehrke J. COUGAR design and implementation. <http://cougar.cs.cornell.edu/>.
- [25] Yao Y, Gehrke J. The cougar approach to in-network query processing in sensor networks. *SIGMOD Record*, 2002,31(3):9~18.
- [26] Bonnet P, Gehrke JE, Seshadri P. Towards sensor database systems. In: Tan K-L, Franklin MJ, Lui JCS, eds. *Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile Data Management*. Hong Kong: Springer-Verlag, 2001. 3~14.
- [27] Gehrke J. COUGAR design and implementation. <http://www.cs.cornell.edu/database/cougar/>.
- [28] Krishnamachari B. Impact of data aggregation in wireless sensor networks. In: Bacon J, ed. *Proceedings of the International Workshop of Distributed Event Based Systems*. Los Alamitos: IEEE Computer Press, 2002. 1~11.
- [29] Cornell University. The cougar sensor database project. <http://www.cs.cornell.edu/database/cougar/>.
- [30] Madden SR, Szewczyk R, Franklin MJ, Culler D. Supporting aggregate queries over ad-hoc wireless sensor networks. In: Kindberg T, ed. *Proceedings of the Workshop on Mobile Computing and Systems Applications*. Los Alamitos: IEEE Computer Press, 2002. 49~58.
- [31] Madden SR, Franklin MJ. Fjording the stream: An architecture for queries over streaming sensor data. In: Ceri S, di Milano P, eds. *Proceedings of the ICDE Conference*. Los Alamitos: IEEE Computer Press, 2002. 555~666.
- [32] Madden SR, Shah MA, Hellerstein JM, Raman V. Continuously adaptive continuous queries over streams. In: Franklin MJ, Moon B, Ailamaki A, eds. *Proceedings of the SIGMOD Conference*. New York: ACM Press, 2002. 49~60.

- [33] Madden SR, Franklin MJ, Hellerstein JM, Hong W. The design of an acquisitional query processor for sensor networks. In: Halevy AY, Ives ZG, Doan AH, eds. Proceedings of the SIGMOD Conference. New York: ACM Press, 2003. 491~502.
- [34] University of California at Berkeley. TinyDB. <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/>.
- [35] Intanagonwiwat C. Impact of network density on data aggregation in wireless sensor networks. Technical Report, 01-750, Computer Science Department, University of Southern California, 2001.
- [36] Zhao J, Govindan R. Computing aggregates for monitoring wireless sensor networks. In: Ekici E, ed. Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications. Piscataway: IEEE Press, 2003. 37~48.
- [37] Govindan R, Hellerstein J, Hong W, Madden S, Franklin M, Shenker S. The sensor network as a database. Technical Report, 02-771, Computer Science Department, University of Southern California, 2002.
- [38] Li JZ, Li JB, Gao H. Data model of data-centric sensor networks. Technical Report, DB-Technical Report 02-011, Database Research Center, Harbin Institute of Technology, 2002 (in Chinese).
- [39] Wang WP, Li JZ, Li JB. Energy-Efficient aggregation algorithms in sensor networks. Technical Report, DB-Technical Report 02-031, Database Research Center, Harbin Institute of Technology, 2002 (in Chinese).
- [40] Li JB, Li JZ. Energy-Efficient query processing techniques in sensor networks. Technical Report, DB-Technical Report 03-023, Database Research Center, Harbin Institute of Technology, 2003 (in Chinese).
- [41] Li JZ, Li JB. HSDMS: A prototype sensor data management system. 2003. <http://db.cs.hit.edu.cn> (in Chinese).

#### 附中文参考文献:

- [38] 李建中, 李金宝, 高宏. 以数据为中心的传感器网络的数据模型. 科技报告, DB-Technical Report 02-011, 哈尔滨工业大学数据库研究中心, 2002.
- [39] 王伟平, 李建中, 李金宝. 传感器网络上的能源有效性聚集算法. 科技报告, DB-Technical Report 02-031, 哈尔滨工业大学数据库研究中心, 2002.
- [40] 李金宝, 李建中. 传感器网络上能源有效的查询处理技术. 科技报告, DB-Technical Report 03-023, 哈尔滨工业大学数据库研究中心, 2003.
- [41] 李建中, 李金宝. HSDMS: 一个传感器数据管理系统原型. 2003. <http://db.cs.hit.edu.cn>.

\*\*\*\*\*

### 第 4 届中国信息和通信安全学术会议(CCICS 2005)

#### 征 文 通 知

中国信息和通信安全学术会议(CCICS)是国际信息和通信安全学术会议(International Conference on Information and Communications Security, 简称 ICICS)的地方版, 已成功举办了 3 届, 第 1 届中国科学院信息安全技术工程研究中心主办, 于 1999 年 12 月召开; 第 2 届由上海交通大学计算机学院主办, 于 2001 年 5 月召开; 第 3 届由武汉大学计算机学院主办, 于 2003 年 3 月召开。该会的规模和影响逐届扩大。第 4 届中国信息和通信安全学术会议(CCICS 2005)拟定于 2005 年 5 月在陕西西安举行。热忱欢迎所有涉及信息安全、通信安全理论和技术方面的研究论文提交本次会议进行交流。会议论文集将由科学出版社出版, 会议的优秀论文将被推荐到《软件学报》。

#### 一. 征文要求

论文须为未公开发表并且未向学术刊物和其他学术会议投稿的最新研究成果。文稿使用中文或英文书写, 字数一般不超过 6000 字。请将论文(word 文档)全文(注明作者的联系电话和 E-mail 地址)发送到 yangbo@mail.xidian.edu.cn。

#### 二. 重要日期

征文截止日期: 2004 年 7 月 31 日

文章录用通知: 2004 年 9 月 31 日

录用论文定稿: 2004 年 10 月 31 日

#### 三. 联系方式

联系人: 西安电子科技大学通信工程学院 杨波 教授

通信地址: (710071)西安电子科技大学 106 信箱

电话: 029-8203028

E-mail: yangbo@mail.xidian.edu.cn