

## 无线传感器网络协议研究

吴春婧<sup>1</sup>, 郑明春<sup>1,2</sup>, 秦继林<sup>1</sup>

(1. 山东师范大学, 山东 济南 250014;

2. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026)

**摘 要:**无线传感器网络是计算机科学技术的一个新的研究领域,因其巨大的发展前景而受到学术界和工业界的高度重视。文中介绍了简单传感器网络的概念,着重介绍了路由协议和 MAC 协议两大网络协议及其代表协议的特点,并对各自的代表协议进行了分析比较以及分析了各自的研究存在的难点和研究方向。

**关键词:**无线传感器网络;网络协议;路由协议;MAC 协议

**中图分类号:**TP393.02

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2006)08-0027-03

## Research about Protocol of Wireless Sensor Network

WU Chun-jing<sup>1</sup>, ZHENG Ming-chun<sup>1,2</sup>, QIN Ji-lin<sup>2</sup>

(1. Shandong Normal University, Jinan 250014, China;

2. China University of Science and Technology, Hefei 230026, China)

**Abstract:** Wireless sensor network is a new research area of computer science and technology. Many academic researchers and people from industries are interested in it because of its great development with various applications. This paper describes the concept for wireless sensor network simply and the traits of two main network protocols which are routing protocol and MAC protocol in detail. The main protocols are compared and analyzed in several research challenges.

**Key words:** wireless sensor networks; network protocol; routing protocol; MAC protocol

## 0 前言

近几年,在数字电路、无线通信、微电机系统等技术的基础上发展起来的无线传感器网络被认为是21世纪产生巨大影响力的技术之一。无线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,传感器网络具有广泛的应用前景,在军事国防、工农业、城市管理、医学等领域都有潜在的实用价值,是当前在国际上备受关注的涉及多学科高度交叉的前沿热点研究领域。

## 1 无线传感器网络的系统结构

一个典型的无线传感器网络系统如图1所示,是由大量的功能相同或不同的无线传感器节点、接收发送器(sink)、Internet或通信卫星、用户界面等<sup>[1]</sup>组成。其中传感器网络节点通常由4个模块组成:传感模块、处理模块、通信模块和能量供应模块。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 或通信卫星实现用户与传感器之间的通信。

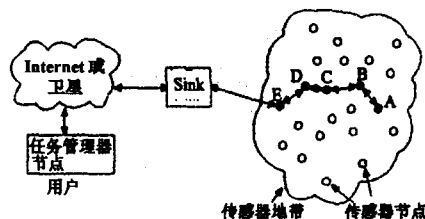


图1 传感器网络的系统结构

## 2 传感器网络协议

网络协议包括物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层上的协议。由于节能是无线传感器网络设计中最重要方面,而且大量的研究显示:网络层上的路由协议和数据链路层上的 MAC 协议对无线通信模块的能量消耗起着至关重要的影响。下面主要对这两个协议进行了分析。

## 2.1 路由协议

传统的无线网络路由协议设计的主要目的是为网络提供高的服务质量和高效的利用带宽,而对于节能的考虑只是一个次要的方面;但是传感器网络路由协议设计的首

收稿日期:2005-11-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60273041)

作者简介:吴春婧(1979-),女,山东临沂人,硕士研究生,主要从事传感器网络路由节能研究;郑明春,硕士研究生导师,教授,主要从事无线网络、传感器网络以及 QOS 组播等。

要目标是高效节能,延长整个的网络生命周期。路由协议的任务是在传感器节点和 Sink 节点之间建立路由,从而为用户可靠地传递数据。由于传感器网络资源严重受限,因此路由协议的设计必须遵守执行计算简单、节点保存信息少等原则。

### 2.1.1 路由协议的分类

传感器网络的路由协议是与传统网络的设计截然不同的。目前研究人员已经提出了多种路由算法。这些算法可以归纳如下几个类别:

#### (1) 基于层次的路由协议。

这类路由协议也可成为基于等级的路由协议。在这类路由协议中,将传感器节点划分到一个个的簇,簇头主要负责自己簇内的路由和对采样的数据进行融合,然后再转发到 Sink 节点,以用来减少网络流量。这类路由协议的典型代表包括 LEACH<sup>[2]</sup>, TEEN 和 PEGAGIS。其中 TEEN 和 PEGAGIS 是从 LEACH 发展而来的。文中以 LEACH 为例来说明该路由协议的基本思想。

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)是 MIT 的 Chandrakasan 等人为无线传感器网络设计的低功耗自适应聚类路由算法。其关键之处在于如何选取簇头。选取簇头采用了“轮”的方法,其运行分为两个阶段:启动阶段和稳定阶段,稳定阶段的持续时间要比启动阶段长。一个启动阶段和一个稳定阶段就构成了一轮。在启动阶段,传感器节点选择 0 和 1 之间的随机数,如果这个随机数小于阈值  $T(n)$ ,那么这个节点就被选为簇首。 $T(n)$  的计算公式如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p[r \bmod (1/p)]} & \forall n \in G \\ 0 & \forall n \notin G \end{cases}$$

其中,  $p$  是节点成为簇头的概率,  $r$  是目前进行的轮数,  $G$  是在最后  $1/p$  轮时还没有被选为簇头的节点集合。在选举了簇头后,簇头就向网络中的所有节点宣布这一消息,通过接收信号的强度,节点选择所要加入的簇并通知该簇头,簇头就用基于时分复用的方式给节点分配传输数据的时间片。在稳定阶段,节点持续采集数据并向簇头传输数据,簇头将该簇中的节点传来的数据进行融合处理后发送到 Sink 节点。经过一段时间后,整个网络再次进入启动阶段开始新一轮的簇头选举。

LEACH 可以在一定程度上节省能量,与一般的协议相比,有利于延长整个网络的生命周期,至少延长 15%,其特点是分层和数据融合,分层利于网络的扩展性,数据融合能够减少通信量。但是它的局限性是所需的信息是全局的。

#### (2) 以数据为中心的路由协议。

这类路由协议基于数据查询服务,对检测数据按照属性命名,对属性相同的数据在传输过程中进行数据融合,从而减少冗余数据的传输。这类协议同时继承了网络层路由任务和应用层数据管理任务,这类路由协议的代表有 Flooding 与 Gossiping, SPIN<sup>[3]</sup>, DD 协议。

SPIN(Sensor Protocol for Information via Negotiation)协议使用 ADV, REQ 和 DATA 三种类型的消息进行数据转发,如图 2 所示。当节点由新的数据要转发时,节点通过一个 ADV 报文广播给其邻居节点(step 1),邻居节点通过 REQ 报文响应。如果邻居节点愿意接收该报文(step 2),节点就将数据发送给邻居节点(step 3),然后邻居节点就以同样的方式发送其数据到愿意接收的节点中。SPIN 的主要思想是通过协商的方式进行数据转发,如果节点不希望接收数据,节点只需要不发送 REQ 报文即可实现。

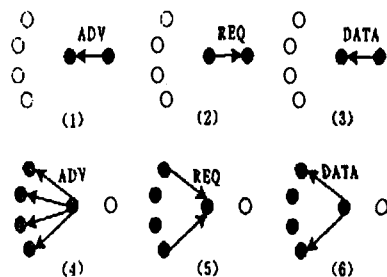


图 2 SPIN 数据转发

#### (3) 基于位置的路由协议。

这类路由协议首先假设整个网络内的每个节点都知道其精确的位置信息,然后利用位置信息将数据转发到目标区域,这样就不必为了找到目标节点而向这个网络广播数据。由于 GPS 定位技术的发展,才使得研究人员设计出了一些基于位置的路由算法。在大多数的情况下,利用位置信息可测量一对多节点之间的距离,以便为数据报选择更节省能量的传输路径。这类路由协议的典型代表是 RR<sup>[4]</sup> 和 GEAR。文中以 RR 为例来简单说明此协议的基本思想。RR(Roumor Routing)的主要思想是在传感区域内的源节点探测到数据后就产生的代理随机路由形成到达源结点的路径, Sink 节点的查询消息随机在整个网络中传送以发现相应的事件路径。当这两条路径相交时就找到了一条从 Sink 节点到目标节点的路径。

此类路由协议一般具有算法简单、扩展性好、易于实现的特点,相对于其他的协议来讲,此协议是一种比较理想的路由协议,但是它必须在一定的条件下才能实现,并且其数据汇集能力比较差。

#### (4) 基于 QoS 要求的路由协议。

这类协议在提供数据路由功能的同时也满足了一定 QoS 要求。其中最典型的协议是 SAR 协议,还有近几年 M. Younis 等提出来的协议,该协议借用与 Internet 中相似的 QoS 措施,为数据流选择能保证传输延时的路径。文中以 SAR 为例简单介绍基于 QoS 要求的路由协议的基本思想。

SAR (Sequential Assignment Routing)在选择路径时,有序分配路由(SAR)策略充分考虑了功耗、QoS 和分组优先权等特殊要求,采用局部路径恢复和多路径备份策略,避免节点或链路失败时进行路由重计算需要的过量计算开销。为了在每个节点与 Sink 节点间生成多条路径,需要维护多个树结构,每个树以落在 Sink 节点有效传输半

径内的节点为根向外生长,枝干的选择需满足一定 QoS 要求并要有一定的能量储备。这一处理使大多数传感器节点可能同时属于多个树,可任选其一将采集数据回传到 Sink 节点。

### 2.1.2 几种路由协议的比较

这几种路由协议都克服了信息爆炸和数据重发的现象,在设计上考虑到了节能问题,表 1 中的路由协议都属于能效高的路由协议。但是,这几个路由协议从路由优化和扩展性等方面又有不同的特点,具体如表 1 所示。

表 1 几种路由协议的比较

比较参数	LEACH	SPIN	DD	RR	SAR
路由策略	主动	按需	按需	按需	主动
扩展性	好	不好	好	不好	不好
处理冗余能力	有	有	有	有	没有
路由优化能力	没有	没有	有	有	有
提供 QoS 支持	否	否	否	否	是

## 2.2 传感器网络 MAC 协议

传统无线网络技术中的 MAC 协议只考虑如何满足用户的 QoS 要求和节省带宽资源,其次才考虑到节能的问题,因此这样的 MAC 协议不适合无线传感器网络,因无线传感器网络研究的核心问题是如何节能。通过对现有的系统分析,射频模块是节点中最大的耗能部件。MAC 协议直接控制射频模块,对节点的功耗有一定的影响。

### 2.2.1 几个代表性 MAC 协议

早期提出的 MAC 协议,像 SMACS,大多采用了多信道模式。在多信道模式中,控制信道和数据信道分离,节点的射频模块在不同的信道采用了不同的频率,这样就有效地减少了冲突,但是也增加了节点的成本和功耗。为了解决这一个问题,研究人员提出了 MAC 协议采用单一信道的原理。下面介绍几个比较有代表性的协议。

(1) SMACS(Self-Organizing Medium Access Control for Sensor Network)协议<sup>[5]</sup>。

SMACS 协议是分布式的,该协议不需任何局部或全局主节点的调度便能让传感器节点发现相邻节点,并安排合理信道占用时间。相邻节点的发现和信道的分配是一起实现完成的,因此,当节点发现其所有的相邻节点时,也就意味着已经建立相应的通信子网,链路由固定频率、随机选择的时隙组成。SMACS 不用整网的时间同步机制,但在各子网内部保持同步是必要的。在竞争信道资源时,带延时的随机唤醒机制有效地减小了能量的损耗。SMACS 的缺点是时隙分配方案不够严密,属于不同子网的节点之间有可能永远得不到通信机会。

### (2) TDM-FDM 协议。

TDM-FDM 协议<sup>[6]</sup>是由 Sohrabi 和 Pottie 设计的传感器网络自组织 MAC 协议,它利用时分复用(TDMA)和频分复用(FDMA)混合方案,具有一定的代表性。传感器节点上维护着一个特殊的结构帧,类似于 TDMA 中的时隙分配表,节点据此调度它与相邻节点间的通信。FDMA 技术提供的多信道,使多个节点之间可以同时通信,有效

地避免了冲突。只是在业务量较小的传感器网络中,该组合协议的信道利用率较低,因为事先定义的信道和时隙分配方案限制了对空闲时隙的有效利用。

### (3) S-MAC(Sensor-MAC)。

S-MAC 协议<sup>[7]</sup>将时间分帧,帧内分为同步阶段、活动阶段和睡眠阶段,在睡眠阶段,节点关闭射频模块,缓存这期间采集到的数据,在活动阶段集中发送。然后进入同步阶段,节点发送同步消息,在活动阶段通过 RTS/CTS/DATA/ACK 机制发送数据,避免了冲突造成的浪费。在同步阶段,协议中提出了“虚拟簇”的机制,它主要是使所有的节点工作在一个共同的“帧结构”。S-MAC 中帧的长度可以有应用程序适当调整。S-MAC 协议能很好地支持长消息,它将长消息分为若干短包,采用一次 RTS/CTS 握手机制,集中连续发送全部短包。这不但可以提高发送包的成功率,而且也大大减少了控制开销。

该协议减少了空闲侦听所消耗的能源,而且还具有消息分析的功能,在传送分段消息时能减少网络的协议控制消耗。该协议扩展性较好,可以适应网络拓扑结构的变化;其不足之处在于:协议的实现复杂,占用了大量存储空间,在资源受限的传感器节点中尤为突出。

### (4) T-MAC(Timeout-MAC)。

T-MAC 协议<sup>[8]</sup>是在 S-MAC 协议的基础上提出来的,二者的工作方式大致相同。T-MAC 协议沿用了 S-MAC 协议中的“虚拟簇”的方法,使各节点同步工作。T-MAC 协议使用了固定长度的工作阶段(615 ms),并使用了一个计时器 TA 控制节点处于活动阶段的时间长度。在设定的时间内,如果节点在共享信道上没有检测到发送来的数据和冲突,节点就假定这时信道进入空闲状态,然后节点关闭射频模块转入睡眠阶段;反之,节点开始通信或退避此次通信,节点在此次通信结束后,重新开启定时功能。S-MAC 和 T-MAC 协议不同之处在于,各自使节点从激活状态转变到睡眠状态的方法不同。

### 2.2.2 几种协议的比较

在分析了上述几种主要 MAC 协议之后,文中在网络性能延迟、吞吐量等网络性能和能源有效性之间进行不同的比较。从节能方面看,S-MAC 和 T-MAC 具有比较好的潜能,但是从应用推广角度来看,还有待于进一步的改进。表 2 就是这几种主要 MAC 协议的比较。

表 2 MAC 协议性能的比较

比较参数	SMACS	TDM-FDM	S-MAC	T-MAC
能量有效性	不好	不好	好	较好
可扩展性	不好	好	较好	较好
信道利用率	好	较好	不好	较好
延迟	好	好	较好	不好
吞吐量	不好	好	不好	好

## 3 总 结

对影响无线传感器网络的能源方面的主要网络协议

(下转第 34 页)

出次数为:  $\frac{1}{d_j} \prod_{i=1}^n \frac{|D_i|}{c_j}$ , 将第  $j$  层的所有 cubid 计算出来需要的输出次数为:

$$\sum_{k=1}^{j+1} \left( \frac{1}{d} \cdot \prod_{i=1}^j \frac{|D_{ki}|}{c_{ki}} \right) \quad (4)$$

式中,  $d$  为父结点  $j$  个维中聚集维对应的 chunk 数。图 1 中, 设分块中各维含 chunk 数为 (1, 2, 5), 则沿维  $B$  聚集得到 AC, 需要输出次数为 30 次, 而将第二层计算完毕需要输出次数为:  $60 + 30 + 12 = 102$ 。

同时, 两种方法输出的数据大小单位也是相同的。并且 MMST 的结构也是相同的。但是, 多次扫描多路算法是以每个 cubid 的 chunk 大小作为输出单位, 文中算法是以每个 cubid 的压缩后的 chunk 大小作为输出单位。

通过一层计算的比较可以看出, 文中算法需要更少的 I/O 次数, 其他层次与之相似。不但充分利用了所有的内存, 而且直接对压缩 chunk 进行存取, 进一步节约了占用的内存量。该算法多了一个分块过程, 而分块也只是按公式 (2) 计算一下所需要的内存量, 其他方面则完全相同。因此, 通过分析, 文中算法要优于文献 [5] 的算法。

### 3 小 结

提出了在内存中直接对压缩数据进行有效计算的算法。并提出了更高效的 CUBE 算法, 该算法用维序及 MMST 保证了最小父亲, 用 MMST、分块及相应 CUBE 算法保证了缓冲结果的使用及最少磁盘扫描, 而分块与 ROLAP 中的分片技术相似。数组是有序的, 从而不需要共享排序。直接对压缩数据的操作也极大地节约了内存的

使用。因此, 该算法将 ROLAP 中各种优化方法与数组的优点结合在一起, 达到较高的性能要求。

### 参考文献:

- [1] Gray J, Bosworth A, Layman A, et al. Data Cube: A Relational Operator Generalizing Group - By, Cross - Tab and Sub - Totals[A]. Proc. of the 12th Int. Conf. on Data Engineering[C]. [s.l.]:[s.n.], 1996. 152 - 159.
- [2] Agarwal S, Agarwal R, Deshpande P M, et al. On the Computation of Multidimensional Aggregates[A]. VLDB'96[C]. [s.l.]:[s.n.], 1996. 506 - 521.
- [3] Sarawagi S, Agarwal R, Gupta A. On Computing the Data Cube[R]. Technical Report RJ10026. San Jose, CA: IBM Almaden Research Center, 1996.
- [4] Ross K A, Srivastava D. Fast Computation of Sparse Datacubes[A]. VLDB'97[C]. [s.l.]:[s.n.], 1997. 116 - 125.
- [5] Zhao YiHong, Deshpande P M, Naughton J F. An Array - Based Algorithm for Simultaneous Multidimensional Aggregates[A]. SIGMOD'97[C]. [s.l.]:[s.n.], 1997.
- [6] Sarawagi S, Stonebraker M. Efficient Organization of Large Multidimensional ARRAYS[A]. ICDE'94[C]. [s.l.]:[s.n.], 1994.
- [7] Li Jianzhong, Lawrence Berkeley National Laboratory, Srivastava J. Aggregation Algorithms for Very Large Compressed Data Warehouse[A]. VLDB'80[C]. [s.l.]:[s.n.], 1980.
- [8] Eggers S, Shoshani A. Efficient Access of Compressed Data[A]. VLDB'80[C]. [s.l.]:[s.n.], 1980.

(上接第 29 页)

进行了总结, 不管路由协议还是 MAC 协议在设计时都注重了能效问题, 根据应用背景的不同设计或者改进一些满足它们不同要求的路由算法, 这些都需要进一步的研究和探索。MAC 协议进一步的研究方向包括交叉层的优化路由协议、数据融合协议及提高网络扩展性能、增强网络的健壮性。为了节能也可以跨层设计协议, 就是将 MAC 层和路由层协议捆绑设计, 用跨层优化技术来进一步节省能源。相信随着节能问题的逐渐解决, 传感器网络将在各个领域发挥更大的作用。

### 参考文献:

- [1] Akyildiz I W, Sanakarasubramaniam Y. Wireless Sensor networks[J]. A Survey Computer Networks, 2002, 38(4): 393 - 422.
- [2] Heinzelman W, Chandrakasan A. Energy - efficient communication protocol for wireless sensor networks[A]. The Hawaii Int'l Conf. System Sciences[C]. Hawaii: [s.n.], 2000. 265 - 274.
- [3] Heinzelman W, Kulik J, Balakrishnan H. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks[A].

The 5th Annual ACM/IEEE Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking[C]. BOSTON, MA: [s.n.], 1999. 174 - 185.

- [4] Braginsky D, Estrin D. Rumour routing algorithm for sensor networks[A]. WSNA[C]. Atlanta, USA: [s.n.], 2003. 293 - 315.
- [5] Sohrabi K, Ailawadhi V. Protocols for self - organization of a wireless sensor networks[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 16 - 27.
- [6] Sohrabi K, Pottie G. Performance of a novel self - organization protocol with signaling for wireless Ad hoc sensor networks[A]. In: Proceedings of the IEEE 50th Vehicular Technology Conference Amsterdam[C]. New York, USA: [s.n.], 1999. 1222 - 1226.
- [7] Heidemann W, Estrin D. Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks[J]. IEEE, 2004, 12(3): 493 - 506.
- [8] Dam T V, Langendoen K. An adaptive energy efficient mac protocol for wireless sensor networks[A]. The 1st ACM Conf. on Embedded Networked Sensor Systems[C]. Los Angeles, California, USA: [s.n.], 2003. 171 - 180.