

# 无线传感器网络数据传输及融合技术

章书勤,郭迪,肖明波

(厦门大学 福建 厦门 361005)

**摘要:**多跳传输原始测量数据的能耗较大,将数据进行分布式网内压缩后再传输的节能方案逐渐为人们所关注。在此从数据融合的角度,对无线传感器网络中各种数据传输技术进行了较全面的考察,着重介绍网内分布式小波变换算法(DWT\_IRR)。最后,列表分析比较了几种常见的数据融合技术,并对该领域的进一步发展提出了一些思路。

**关键词:**无线传感器网络;节能;分布式;数据传输;数据融合

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-373X(2009)18-188-04

## Technology of Data Transmission and Aggregation in Wireless Sensor Network

ZHANG Shuqin, GUO Di, XIAO Mingbo

(Xiamen University, Xiamen, 361005, China)

**Abstract:** It wastes a lot of energy to dump all measurements to Sink with multi-hop method, and now a promising way is to do distributed in-network data aggregation before transmission. In this paper, a thorough survey of data transmission technology in WSN is provided in the perspective of data aggregation, particularly the algorithm of DWT\_IRR. Typical algorithms are compared in a table, and some directions of future work are proposed.

**Keywords:** wireless sensor network; energy saving; distributed; data transmission; data aggregation

## 0 引言

如今无线传感器网络已经成为一种极具潜力的测量工具。它是一个由微型、廉价、能量受限的传感器节点所组成,通过无线方式进行通信的多跳网络,其目的是对所覆盖区域内的信息进行采集、处理和传递。然而,传感器节点体积小,依靠电池供电,且更换电池不便,如何高效使用能量,提高节点生命周期,是传感器网络面临的首要问题。这里讨论传感器网络的数据传输,并列举了几种通过网络内部的数据压缩机制(数据在网络内部通过链路传输时,进行汇聚和压缩)来减少数据传输量的节能算法。

## 1 传统的无线传感器网络数据传输

### 1.1 直接传输模型

直接传输模型是指传感器节点将采集到的数据通过较大的功率直接一跳传输到 Sink 节点上,进行集中式处理,如图 1 所示。

这种方法的缺点在于:距离 Sink 节点较远的传感器节点需要很大的发送功率才可以达到与 Sink 节点通

信的目的,而传感器节点的通信距离有限,因此距离 Sink 较远的节点往往无法与 Sink 节点进行可靠的通信,这是不能被接受的。且在较大通信距离上的节点需耗费很大的能量才能完成与 Sink 节点的通信,容易造成有关节点的能量很快耗尽,这样的传感器网络在实际中难以得到应用。

### 1.2 多跳传输模型

这种方式类似于 AD-Hoc 网络模型<sup>[1]</sup>,如图 2 所示。每个节点自身不对数据进行任何处理,而是调整发送功率,以较小功率经过多跳将测量数据传输到 Sink 节点中再进行集中处理。多跳传输模型很好地改善了直接传输的缺陷,使得能量得到了较有效的利用,这是传感器网络得到广泛利用的前提。

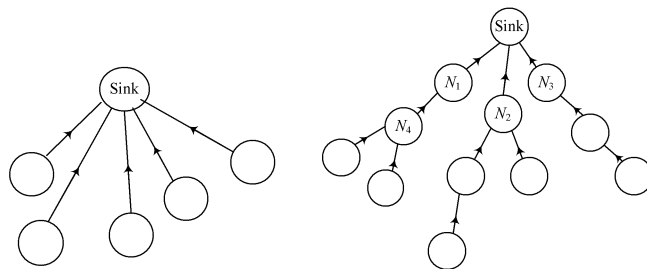


图 1 直接传输模型

图 2 多跳传输模型

这种方法的缺点在于:当网络规模较大时,会出现热点问题,即位于两条或多条路径交叉处的节点,以及距

收稿日期:2009-03-11

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2007J0036)

离 Sink 节点一跳的节点(将它称之为瓶颈节点<sup>[2]</sup>),如图 2 中  $N_1, N_2, N_3, N_4$ , 它们除了自身的传输之外,还要在多跳传递中充当中介。在这种情况下,这些节点的能量将会很快耗尽。对于以节能为前提的传感器网络而言,这显然不是一种很有效的方式。

## 2 无线传感器网络数据融合技术

在大规模的无线传感器网络中,由于每个传感器的监测范围以及可靠性都是有限的,在放置传感器节点时,有时要使传感器节点的监测范围互相重叠,以增强整个网络所采集的信息的鲁棒性和准确性。那么,在无线传感器网络中的感测数据就会具有一定的空间相关性,即距离相近的节点所传输的数据具有一定的冗余度。在传统的数据传输模式下,每个节点都将传输全部的感测信息,这其中就包含了大量的冗余信息,即有相当一部分的能量用于不必要的数据传输。而传感器网络中传输数据的能耗远大于处理数据的能耗<sup>[3]</sup>。因此,在大规模无线传感器网络中,使各个节点多跳传输感测数据到 Sink 节点前,先对数据进行融合处理是非常有必要的,数据融合技术应运而生。

### 2.1 集中式数据融合算法

#### 2.1.1 分簇模型的 LEACH 算法

为了改善热点问题,Wendi Rabiner Heinzelman 等提出了在无线传感器网络中使用分簇概念,其将网络分为不同层次的 LEACH 算法<sup>[4]</sup>:通过某种方式周期性随机选举簇头,簇头在无线信道中广播信息,其余节点检测信号并选择信号最强的簇头加入,从而形成不同的簇。簇头之间的连接构成上层骨干网,所有簇间通信都通过骨干网进行转发。簇内成员将数据传输给簇头节点,簇头节点再向上一级簇头传输,直至 Sink 节点<sup>[5]</sup>。图 3 所示为两层分簇结构。这种方式降低了节点发送功率,减少了不必要的链路,减少节点间干扰,达到保持网络内部能量消耗的均衡,延长网络寿命的目的。

该算法的缺点在于:分簇的实现以及簇头的选择都需要相当一部分的开销,且簇内成员过多地依赖簇头进行数据传输与处理,使得簇头的能量消耗很快。为避免簇头能量耗尽,需频繁选择簇头。同时,簇头与簇内成员为点对多点的一跳通信,可扩展性差,不适用于大规模网络。

#### 2.1.2 PEGASIS 算法

Stephanie Lindsey 等人在 LEACH 的基础上,提出了 PEGASIS 算法<sup>[6]</sup>。此算法假定网络中的每个节点都是同构的且静止不动,节点通过通信来获得与其他节点之间的位置关系。每个节点通过贪婪算法找到与其最近的邻居并连接,从而整个网络形成一个链,同时

设定一个距离 Sink 最近的节点为链头节点,它与 Sink 进行一跳通信。数据总是在某个节点与其邻居之间传输,节点通过多跳方式轮流传输数据到 Sink 处。如图 4 所示。

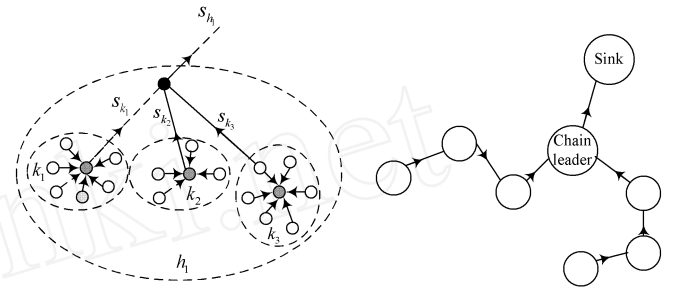


图 3 LEACH 算法

图 4 PEGASIS 算法

该算法缺点也很明显,首先每个节点必须知道网络中其他各节点的位置信息。其次,链头节点为瓶颈节点,它的存在至关重要,若它的能量耗尽则有关路由将会失效。再次,较长的链会造成较大的传输时延。

### 2.2 分布式数据融合算法

可以将一个规则传感器网络拓扑图等效于一幅图像,获得一种将小波变换应用到无线传感器网络中的分布式数据融合技术。这方面的研究已取得了一些阶段性成果,下面就对其进行介绍。

#### 2.2.1 规则网络情况

Servetto 首先研究了小波变换的分布式实现,并将其用于解决无线传感器网络中的广播问题<sup>[7]</sup>。南加州大学的 A. Ciancio 进一步研究了无线传感器网络中的分布式数据融合算法,引入 lifting 变换<sup>[8]</sup>,提出一种基于 lifting 的规则网络中分布式小波变换数据融合算法(DWT\_RE)<sup>[9,10]</sup>,并将其应用于规则网络中。如图 5 所示,网络中节点规则分布,每个节点只与其相邻的左右两个邻居进行通信,对数据进行去相关计算。

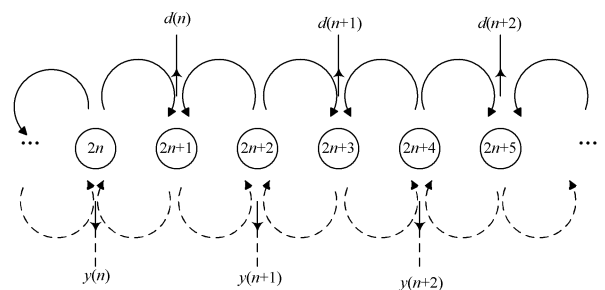


图 5 DWT\_RE 算法

DWT\_RE 算法的实现分为两步,第一步,奇数节点接收到来自它们偶数邻居节点的感测数据,并经过计算得出细节小波系数;第二步,奇数节点把这些系数送至它们的偶数邻居节点以及 Sink 节点中,偶数邻居节点利用这些信息计算出近似小波系数,也将这些系数送至

Sink 节点中。

小波变换在规则分布网络中的应用是数据融合算法的重要突破,但是实际应用中节点分布是不规则的,因此需要找到一种算法解决不规则网络的数据融合问题。

2.2.2 不规则网络情况

莱斯大学的 R Wagner 在其博士论文中首次提出了一种不规则网络环境下的分布式小波变换方案即 Distributed Wavelet Transform \_ IRR (DWT \_ IRR)<sup>[11,12]</sup>,并将其扩展到三维情况。莱斯大学的 COMPASS 项目组已经对此算法进行了检验<sup>[13]</sup>,下面对其进行介绍。DWT\_IRR 算法是建立在 lifting 算法的基础上,它的具体思想如图 6~图 8 所示,分成三步:分裂,预测和更新。

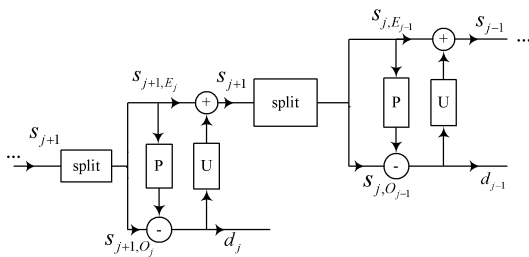


图 6 总体思想图

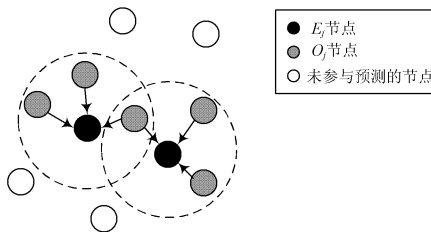


图 7 预测过程

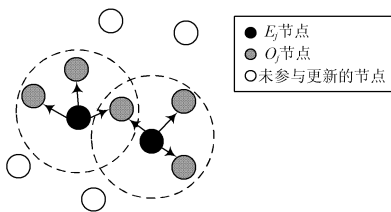


图 8 更新过程

首先根据节点之间的不同距离(数据相关性不同)按一定算法将节点分为偶数集合  $E_j$  和奇数集合  $O_j$ 。以  $O_j$  中的数据进行预测,根据  $O_j$  节点与其相邻的  $E_j$  节点进行通信后,用  $E_j$  节点信息预测出  $O_j$  节点信息,将该信息与原来  $O_j$  中的信息相减,从而得到细节分量  $d_j$ 。然后,  $O_j$  发送  $d_j$  至参与预测的  $E_j$  中,  $E_j$  节点将原来信息与  $d_j$  相加,从而得到近似分量  $s_j$ ,该分量将参与下一轮的迭代。以此类推,直到  $j = 0$  为止。

该算法依靠节点与一定范围内的邻居进行通信。经过多次迭代后,节点之间的距离进一步扩大,小波也由精细尺度变换到了粗糙尺度,近似信息被集中在了少数节点中,细节信息被集中在了多数节点中,从而实现了网络数据的稀疏变换。通过对小波系数进行筛选,将所需信息进行 lifting 逆变换,可以应用于有损压缩处理。它的优点是:充分利用感测数据的相关性,进行有效的压缩变换;分布式计算,无中心节点,避免热点问题;将原来网络中瓶颈节点以及簇头节点的能量平均到整个网络中,充分起到了节能作用,延长了整个网络的寿命。

然而,该算法也有其自身的一些设计缺陷:首先,节点必须知道全网位置信息;其次,虽然最终与 Sink 节点的通信数据量是减少了,但是有很多额外开销用于了邻居节点之间的局部信号处理上,即很多能量消耗在了局部通信上。对于越密集、相关性越强的网络,该算法的效果越好。

在此基础上,南加州大学的 Godwin Shen 考虑到 DWT\_IRR 算法中没有讨论的关于计算反向链路所需的开销,从而对该算法进行了优化<sup>[14]</sup>。由于反向链路加重了不必要的通信开销,Godwin Shen 提出预先为整个网络建立一棵最优路由树,使节点记录通信路由,从而消除反向链路开销。

3 总结

基于应用领域的不同,以上算法各有其优缺点,如表 1 所示。

表 1 各类算法比较

	分布式	无需预知位置信息	可扩展性良好	传输时延较短	消除反向链路	是否节能
一跳直接传输						
多跳传输						
LEACH						
PEGASIS						
DWT_RE						
DWT_IIR						
优化的 DWT_IIR						

4 结语

这里介绍了几类常用的无线传感器网络数据融合算法,并比较了其优缺点。数据融合是实现无线传感器节点节能目的的重要手段之一,目前的各种研究技术都还未成熟,新技术正不断涌现。例如当传感器节点具有移动能力时,网络拓扑如何保持实时更新;当环境恶劣时,如何保障通信的安全;如何进一步降低能耗;以及如

何更好地借助数据稀疏性理论(如 Compressed Sensing)<sup>[15]</sup>在图像处理中的应用,而将其引入到传感器网络数据压缩中改善融合效果,以上都是待解决的问题。未来还会有更多、更好、更全面的算法被不断提出。

## 参 考 文 献

- [1] Xu Ya, John Heidemann, Deborah Estrin. Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing [A]. MOBICOM: Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking [C]. Rome. ACM, 2001:70-84.
- [2] Yung Yi, Sanjay, Shakkottai. Hop-by-Hop Congestion Control over a Wireless Multi-hop Network [J]. IEEE/ACM Trans. on Networking, 2007, 15(1):133-144.
- [3] Mani Srivastava. Energy-aware Wireless Sensor and Actuator Networks [R]. Workshop on Wireless Sensor Networks for Enterprise Information Infrastructure. Sydney, Australia: University of Sydney, 2006.
- [4] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application-specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks [J]. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2002, 1(4):660-670.
- [5] Mhatre V, Rosenberg C. Design Guidelines for Wireless Sensor Networks: Communication, Clustering and Aggregation [J]. Ad hoc Networks Journal, 2004, 2(1):45-63.
- [6] Stephanie Lindsey, Cauligi Raghavendra. PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems [A]. IEEE Aerospace Conference [C]. Montana: IEEE, 2002: 1125-1130.
- [7] Servetto S D. Distributed Signal Processing Algorithms for the Sensor Broadcast Problem [A]. Proceedings of the 37th Annual Conference on Information Sciences and Systems [C]. Baltimore: Princeton University, 2003.
- [8] Sweldens W. The Lifting Scheme: A Construction of Second Generation Wavelets [R]. California: University of South California, 1995.
- [9] Ciancio A, Ortega A. A Distributed Wavelet Compression Algorithm for Wireless Sensor Networks Using Lifting [A]. IEEE Int. Conf. on Acoustic and Speech Sig. Proc. [C]. Quebec, Canada: IEEE, 2004:633-636.
- [10] Ciancio A, Patten S, Ortega A, et al. Energy-efficient Data Representation and Routing for Wireless Sensor Networks Based on a Distributed Wavelet Compression Algorithm [A]. Proceedings of the Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks [C]. New York: ACM Press, 2006:309-316.
- [11] Wagner R, Baraniuk R, Du S, et al. An Architecture for Distributed Wavelet Analysis and Processing in Sensor Networks [A]. The Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks [C]. Nashville: ACM, 2006:243-250.
- [12] Wagner R, Sarvotham S, Choi H, et al. Distributed Multi-scale Data Analysis and Processing for Sensor Networks [R]. Texas: Rice University, 2005.
- [13] www.owl.net.rice.edu/~jryans/wt\_tinyos.html.
- [14] Shen G, Ortega A. Optimized Distributed 2D Transforms for Irregularly Sampled Sensor Network Grids using Wavelet Lifting [A]. Proc. of 2008 IEEE Intl. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing [C]. Las Vegas: IEEE, 2008:2513-2516.
- [15] Donoho D L. Compressed Sensing [J]. IEEE Trans. on Information Theory, 2006, 52(4):1289-1306.

**作者简介** 章书勤 男, 1986 年出生, 福建宁德人, 厦门大学通信工程系, 硕士研究生。主要研究方向为无线传感器网络。  
郭迪 女, 1982 年出生, 浙江舟山人, 博士研究生。主要研究方向为传感器网络、无线通信和网络信号处理。  
肖明波 男, 1971 年出生, 厦门大学通信工程系教授, 博士生导师。主要研究领域包括无线网络资源管理与优化、无线网络跨层设计、QoS 技术等。

(上接第 187 页)

- [4] Yang S, Cho K. High Dynamic Range CMOS Image Sensor with Conditional Reset [A]. Custom Integrated Circuits Conference, 2002. Proceedings of the IEEE [C]. 2002:12-15.
- [5] Pecht O, Yadid, Fossum E. Wide Intra-scene Dynamic Range CMOS APS Using Dual Sampling [J]. IEEE Trans. on Electron. Devices, 1997(44):1721-1723.
- [6] Behzad Razavi. Design of Analog CMOS Integrated Circuits [M]. First Edition. McGraw-Hill, 2000.
- [7] Phillip E Allen, Douglas R Holberg. CMOS Analog Circuit Design [M]. Second Edition. Oxford University Press, 2002.
- [8] Paul R Gray, Paul J Hurst, Stephen H Lewis, et al. Analysis and Design of Analog Integrated Circuits [M]. Fourth Edition. Wiley, 2001.
- [9] Baker R Jacob, Harry W Li, David E Boyee. CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation [M]. First Edition. Wiley-IEEE Press, 1997.
- [10] Phang K. CMOS Optical Pre-amplifier Design Using Graphical Circuit Analysis [D]. University of Toronto, 2001.

**作者简介** 余有芳 女, 1976 年出生, 安徽金寨人, 硕士研究生, 工程师。研究方向为电子技术、智能检测与控制。