

低延迟和低能耗的无线传感器网络数据融合算法研究

徐艮凤, 张曦煌

(江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 提出了低延迟和低能耗的无线传感器网络数据融合算法. 该算法主要是将无线传感器网络节点分成多个不均匀簇, 每个簇采用自底向上的方法构建拓扑结构, 从而降低延迟和能耗. 仿真实验表明与同类算法相比, 该算法有效减少了数据延迟和数据能耗, 并延长了整个网络的生命周期.

关键词: 无线传感器网络; 数据融合; 低延迟; 低能耗

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)09-0011-04

Research on Data Fusion Algorithm for Wireless Sensor Networks with Low Delay and Low Energy Consumption

XU Gen-feng, ZHANG Xi-huang

(School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In this paper, a data fusion algorithm for wireless sensor networks with low delay and low energy consumption is proposed. In this algorithm, the nodes of wireless sensor networks are divided into several inhomogeneous clusters, and each cluster is constructed by a bottom-up approach to reduce the delay and energy consumption. The simulation results show that the algorithm can effectively reduce the data delay and energy consumption compared with other similar algorithms, and prolong the life cycle of the whole network.

Key words: wireless sensor network; data fusion; low delay; low energy consumption

1 引言

无线传感器网络 WSN (Wireless Sensor Network) 是由大量部署在感知环境内的传感器节点组成, 它主要用于对外界环境信息的采集以及处理, 并将采集的数据发送给观察者^[1]. 减少网络能耗和降低网络延迟是无线传感器网络数据融合算法研究中的一项重要内容.

针对以上问题, 文献[2]提出自适应分簇路由算法; 文献[3]提出延迟感知的数据收集结构, 该算法通过构造树结构来减少数据延迟, 但没有对各节点能耗的均衡问题进行有效控制; 文献[4]提出构造最小生成树的数据融合算法, 该算法使得能耗大大减少, 但其延迟较大; 文献[5]提出分布式延迟优化算法 DDOA (Distributed Delay Optimization Algorithm), 该算法不能有效均衡节点能耗. 本文针对文

献[5]的问题, 提出低延迟和低能耗的无线传感器网络数据融合算法, 有效控制整个网络的能耗, 使网络的生命周期得到延长.

2 网络结构设计

本文采用与文献[5]类似的网络模型. 在理想的情况下, 节点数据融合网络传输数据包大小的相同, 则假设每个节点与其他节点通信花费一个时隙的时间, 并且在这个时隙内, 每个节点只能接受或发送一个数据包. 假设每个传感器采用 RSSI 技术估算自己与邻接节点的距离. 传感器节点向外广播连接请求, 邻居节点根据信号的强度估算与连接请求节点的距离. 文献[5]提出最小延迟融合树结构, 该结构首先将所有节点看成一个节点的簇, 然后将相同等级的簇合并成一个合成簇, 重复此操作, 直至没有相同等级的簇可以合并, 然后将其与基站相连.

此种策略考虑了时间延迟的问题,但缺少对能耗问题的优化. 比如,在稀疏的环境下,该方法将会加快传感器节点的能耗,使网络的生命周期缩短. 本文针对此结构进行适当的调整,考虑节点与节点的距离以及节点与基站距离等因素,使数据延迟与能耗达到最优,从而使本文算法适用于更多应用场景中.

3 改进的 DDOA 数据融合算法

3.1 能量消耗

在无线传感器网络内,通过构建良好的数据融合网络结构,缩短数据通信的数据以及减少数据包的传输量来减少网络的能量消耗. 无线传感器网络节点一般由以下硬件模块组成,其中包括了电源模块、传感器模块、处理器模块以及无线通信模块等,其结构如图 1 所示.

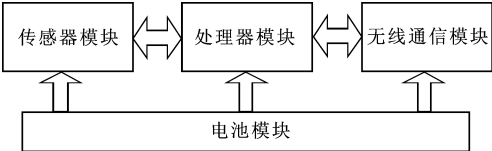


图 1 无线传感器网络节点结构

无线传感器网络节点的能耗可表示为:

$$E_i = E_{i_SB} + E_{i_MCU} + E_{i_TCR} \tag{1}$$

式中, E_{i_SB} 表示为传感器模块能量消耗,其主要用于获取监测对象的相关信息; E_{i_MCU} 表示为处理器模块能量消耗,其主要用于协调,调度和控制与其他模块的通信; E_{i_TCR} 表示为无线通信模块的能量消耗,主要用于节点与节点之间的通信,并将感知数据通过无线信道传送给基站. 在无线通信模块中, E_{i_TCR} 可进一步表示为:

$$E_{i_TCR} = E_{tx}(k, d) + E_{rx}(k) \tag{2}$$

式中, $E_{tx}(k, d)$ 表示为节点的发送能耗; $E_{rx}(k)$ 表示为节点的接收能耗. 当发送节点与接收节点的通信距离大于 d_0 , 则发送方的能量消耗与通信距离的四次方成正比; 若通信距离小于等于 d_0 , 则发送方的能耗与通信距离的平方成正比^[5]. 发送节点与接收节点根据通信距离的大小计算节点的通信能耗, 则对应的节点发送和接收距离为 d 的 k -bit 数据包的消耗公式如表 1, 其中 E_{elec} 表示为发送 1 bit 数据进行编码的能量消耗, E_{fs} , E_{fs} 为传输放大器类型, $d_0 = \sqrt{E_{fs}/E_{mp}}$. 因此, N 个节点的总能耗可表示为:

$$\sum_{i=1}^N E_i = \sum_{i=1}^N (E_{i_SB} + E_{i_MCU} + E_{i_TCR}) \tag{3}$$

表 1 节点通信能耗计算

能耗计算公式	
发送能耗	$E_{tx}(k, d) = E_{elec} * k + E_{fs} * k * d^2, d \leq d_0$
	$E_{tx}(k, d) = E_{elec} * k + E_{mp} * k * d^4, d > d_0$
接收能耗	$E_{rx}(k) = E_{elec} * k$

在数据融合过程中,当一个节点选择邻接节点进行连接时,如果邻接节点已经有连接,则该节点选择较远的节点进行连接. 若在连接过程中,距离基站较近的节点先连接,则距离基站较远的节点后连接,从而使连接后数据传输能量消耗较大. 为了避免距离基站较近的节点先连接,则采用与距离成正比的函数关系选择节点的优先级,如公式(4) 所示:

$$P(d_{X,BS}) = C_1 * d_{X,BS} + \text{rand}(0, C_2) \tag{4}$$

式中, $d_{X,BS}$ 表示节点 X 到基站的距离, C_1 , C_2 为常数, $\text{rand}(0, C_2)$ 为避免与基站距离相等节点的冲突.

3.2 传输延迟

在本文网络结构中,在理想情况下, N 个节点的簇的最高等级可表示为 $\text{Rank} = \lceil \log_2 N \rceil$, 节点等级与节点数目关系见表 2 所示, 则该结构的时间延迟可表示为公式(5) 所示:

$$t(N)_{\min} = \lceil \log_2 N \rceil + 1 \tag{5}$$

表 2 节点最高等级与节点数目关系

节点数目	4	8	...	N
节点最高等级	$\lceil \log_2 4 \rceil$	$\lceil \log_2 8 \rceil$	...	$\lceil \log_2 N \rceil$

3.3 数据融合算法步骤

本文的算法流程如图 2 所示.

(1) 初始化网络节点. 理想情况下,簇头的等级 rank 由 $\log_2 N$ 决定, 其中 N 为每个簇中节点的个数. 初始化时, 每个节点代表一个节点的簇, 每个节点的初始等级 rank 为 0.

(2) 每个候选簇头节点向外广播连接请求, 并将落入辐射范围内的节点添加到邻接节点列表中.

①判断邻接列表是否为空, 若为空, 则扩大辐射范围直至辐射邻接列表不为空.

②判断辐射范围超过限定的阈值, 若辐射范围超过限定的阈值, 则将节点 CH 直接与基站连接.

(3) 从邻接列表中选择最优的邻接节点.

①判断最优邻接节点是否为基站, 若为基站则直接与基站相连, 否则向目标最优邻接节点发送连接请求.

②判断当前节点与目标节点的等级是否相等, 若相等则目标节点发送连接应答, 否则发送拒绝

应答。

③判断当前节点收到连接应答还是拒绝应答,若为连接应答,则当前节点与目标节点建立连接,并将目标节点设置为候选簇头且等级 rank 值加 1,否则从邻接列表中删除目标节点,再重复第(2)、(3)步骤操作。

(4)选择合适的簇建立连接并生成更大的簇。

(5)重复(2)、(3)、(4)步骤直至所有节点连接完成。

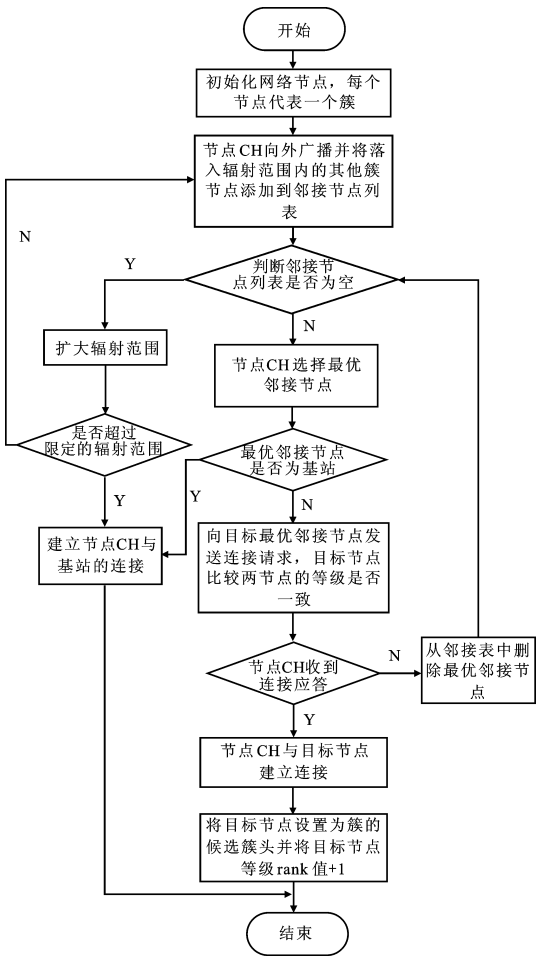


图 2 数据融合算法流程图

4 算法仿真及分析

4.1 仿真环境

本文采用 Java 构建算法仿真环境,并将实验数据采用 MATLAB 仿真对比. N 个传感器节点随机分布在 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ 的网络中, N 的变化范围为 $4 \sim 100$, 基站坐标位于 $(25, 25)$, 节点的初始能量为 E_0 为 50 J , 控制包大小为 64 byte , 数据包大小为 $1\,024\text{ byte}$, $E_{fs} = 10\text{ pJ}/(\text{b} \times \text{m}^{-2})$, $E_{mp} = 0.001\,3\text{ pJ}/(\text{b} \times \text{m}^{-4})$, $E_{tr} = E_{rx} = E_{elec} = 50\text{ nJ/bit}$.

4.2 仿真结果

为了分析本文算法的性能,将本文算法与

LEACH 算法以及 DDOA 算法进行仿真比较。

图 3 为网络生命周期比较. 本文随机分布 N 个传感器节点在 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ 的网络区域中, 比较相同区域中不同网络节点数的生命周期, 假设网络生命周期为网络中出现第一个节点死亡的总轮询次数. 从图中可以看出, 本文算法中的生命周期随着节点数的增多, 网络的生命周期呈逐渐下降趋势, 并相比 PEDAP 算法、LEACH 算法和 DDOA 算法, 生命周期有了明显的提高。

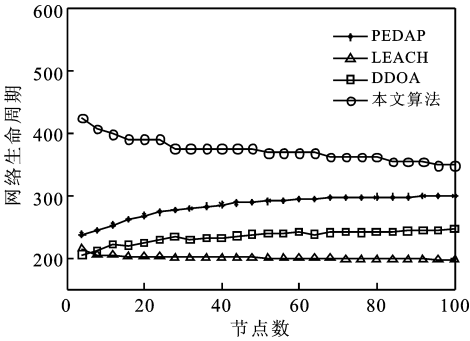


图 3 网络生命周期的比较

图 4 为数据融合延迟的比较. 从图中可以看出, 本文算法所需时隙数随着节点数的增加呈缓慢增加的趋势, 本文算法中的数据延迟远小于 PEDAP 算法和 LEACH 算法的数据延迟, 但略高于 DDOA 算法, 本文综合考虑网络的能耗及延迟问题, 使网络的能耗及延迟达到最高的效果。

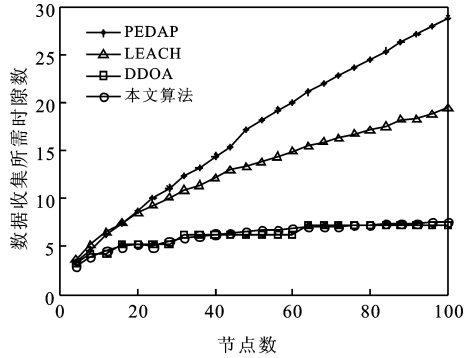


图 4 数据融合延迟的比较

5 结束语

针对数据融合中能量消耗过快以及延迟高的问题, 本文在分布式延迟优化算法基础上, 提出了低延迟和低能耗的无线传感器网络数据融合算法^[6]. 针对实时性要求以及延迟要求比较高的应用中, 本文算法能够有效均衡能耗和延迟问题. 仿真实验表明该算法相比 PEDAP 算法、LEACH 算法以及

DDOA 算法,在减少能耗以及减少延迟方面更具优势,从而延长了整个网络的生命周期.

参考文献:

[1] Gupta M, Saraswat L. Energy aware data collection in wireless sensor network using chain based PEGASIS [C]//Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), 2014. Jaipur, India. IEEE, 2014; 1-5.

[2] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]//System sciences, 2000. Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on. Hawaii, IEEE, 2000(2); 10.

[3] Cheng C T, Chi K T, Lau F C M. A delay-aware data collection network structure for wireless sensor networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11 (3): 699-710.

[4] Tan H Ö, KÖrpeolu I. Power efficient data gathering and aggregation in wireless sensor networks[J]. ACM Sigmod Record, 2003, 32(4): 66-71.

[5] 韩伟伟,降爱莲. 面向无线传感器网络数据融合的延迟优化算法[J]. 小型微型计算机系统, 2015, 35 (5): 949-953.

[6] 陶志勇,王雪. 基于分簇与自适应加权的 WSN 数据融合算法 [J]. 微 电 子 学 与 计 算 机, 2013, 31 (11): 136-138.

作者简介:

徐艮凤 女,(1990-),硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络、嵌入式系统、计算机网络.
E-mail:2467933944@qq. com.

张曦煌 男,(1962-),教授. 研究方向为无线传感网、嵌入式系统、计算机网络、图形与图像处理、计算机分布式控制与智能控制.

(上接第 10 页)

[11] Yan J, Lei Z, Yi D, et al. Learn to combine multiple hypotheses for accurate face alignment[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops. Barcelona, Spain,2013;392-396.

[12] Basak D, Pal S, Patranabis D C. Support vector regression [J]. Neural Information Processing-Letters and Reviews, 2007,11(10): 203-224.

[13] Le V, Brandt J, Lin Z, et al. Interactive facial feature localization[C]//Proceedings of European Conference on Computer Vision. Crete, Greece, 2012;679-692.

[14] Belhumeur P, Jacobs D, Kriegman D,et al. Localizing parts of faces using a consensus of exemplars [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. South Carolina, 2011;

545-552.

作者简介:

谭暑秋 女,(1982-),博士研究生. 研究方向为人脸识别.
E-mail: tanshuqiul23136@hotmail. com.

陈东义 男,(1956-),教授,博士生导师. 研究方向为计算机视觉、增强现实、身体传感网络.

郭承刚 男,(1990-),博士研究生. 研究方向为计算机视觉、增强现实.

黄志奇 男,(1977-),博士,副教授. 研究方向为人机交互、可穿戴性.

熊小锋 男,(1992-),硕士研究生. 研究方向为人机交互、可穿戴性.