

数据融合算法在 ZigBee 网络中的应用研究

吴 凡, 胡斌杰

(华南理工大学 电子信息学院, 广东 广州 510641)

摘 要:针对 ZigBee 网络中在节点空间占有率很大的情况下存在的数据冗余及能耗较大的现象,提出了将数据融合技术中的分批估计算法改进后应用在 ZigBee 技术中的思想。对 ZigBee 网络中时间域里的路由开销进行分析处理以及对空间域里的节点的光照强度数据进行融合,提出了一种从时间域的角度分析 ZigBee 网络性能指标的思想,并且在空间范围内既从传统的网络层角度考虑降低能耗的改进,又从应用层的角度出发,实现提高 ZigBee 网络的节点利用率以及降低节点能耗的目标。

关键词: 紫蜂技术;数据融合;分批估计;时间域;空间域

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)02-0226-04

Application Research of Data Fusion Algorithm in ZigBee Network

WU Fan, HU Bin-jie

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Considering the data redundancy and large energy consumption in the case of large share of node space, an improved batch estimation algorithm in data aggregation is proposed to be used in ZigBee network. This algorithm is processing routing overhead in ZigBee time domain and fusing light intensity data in ZigBee spatial domain, the algorithm indicates the traditional method to reduce node energy consumption in network layer, also indicates a method in the application layer, so as to achieve to improve node utilization and reduce node energy consumption.

Key words: ZigBee; data aggregation; batch estimate; time domain; spatial domain

0 引 言

近年来,无线传感器网络成为通信领域研究的一个热点。其中基于 IEEE 802.15.4 的 ZigBee 技术发展迅猛,由于其具有低成本、低速率、可靠性高等特点,这些特点使得 ZigBee 技术有着广阔的应用前景。

数据融合技术的基本原理是遵循特定的原则,整合单传感器系统在各个时间段的测量值以及多传感器系统的空间信息,从而达到评估观测对象以及获取对观测对象的一致性解释的目的。常用的数据融合技术包括 Bayes 序贯估计^[1]、加权数据融合^[2]、Kalman 滤波技术^[3]、神经网络技术^[4]等等。通过对多个观测目标的值进行相应的处理,得到了优化后的观测数据,从而达到融合的目的。

在 ZigBee 网络中,当节点数目相对较大,网络达

到一定规模时,势必产生很大的冗余,网络开销将会增大,节点的能耗也将增大,这将对整个网络的生存周期造成很大的影响,路由开销反映了一个网络的拥塞程度,开销越大,拥塞程度就越大。目前已经研究出来的降低路由开销的方法包括根据节点能量限制控制分组的发送,限制控制分组的转发方向等,文中对 ZigBee 网络不同网络密度情况下的路由开销指标进行了仿真,通过分析得到了节点空间占有率与路由开销的关系,并提出了在不影响路由建立过程的基础上,进一步限制 RREQ 分组的传输距离的策略,从而降低了路由开销,这对达到降低 ZigBee 网络的节点能耗,从而延长节点生存时间具有非常重要的意义。同时,文中在分析了 ZigBee 节点最小能量的基础上,提出了能量阈值的概念,并且将数据融合思想中的分批估计算法进行改进,将其应用到 ZigBee 网络,从而达到降低节点能耗的目的。

1 分批估计算法及其改进

1.1 分批估计算法

分批估计算法是数据融合算法其中的一种,其主

收稿日期:2010-06-22;修回日期:2010-09-16

基金项目:国家科技重大专项项目(2009ZX03006-003);广东省科技重大专项项目(2009A080207002)

作者简介:吴 凡(1983-),男,江西九江人,硕士研究生,研究方向为无线传感网络与应用;胡斌杰,博士后,教授,博士生导师,研究方向为无线传感网络、MIMO 系统中的多天理论等。

要思想如下^[5]:

将若干个数据分为两组,分别为 $a_1, a_2 \cdots a_m, b_1, b_2 \cdots b_n$, 两组数据平均值分别为 $\bar{a} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_i, \bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_j$, 方差分别为:

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (a_i - \bar{a})^2$$

$$\sigma_b^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (b_j - \bar{b})^2$$

测量方程的系数矩阵为 $H = [1, 1]^T$, 测量方程的协方差为:

$$R = E[V V^T] = \begin{bmatrix} E[V_1^2] & E[V_1 V_2] \\ E[V_2 V_1] & E[V_2^2] \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_a^2 & 0 \\ 0 & \sigma_b^2 \end{bmatrix}$$

由数理统计中的分批估计理论可以得出这若干组数据的融合值为:

$$C = \frac{\sigma_b^2 \bar{a} + \sigma_a^2 \bar{b}}{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$$

C 值即为经过融合处理后的优化值。

1.2 分批估计算法的改进

在数值统计中,中位数相较均值,更能反映数据的集中趋势,避免极端数据带来的影响。

中位数的定义:将 N 个数据排序后,位置在最中间的数值。即将数据分成两部分,一部分大于该数值,一部分小于该数值。中位数的位置:当样本数为奇数时,中位数 $M = (N+1)/2$; 当样本数为偶数时,中位数 $M = N/2$ 与 $1 + N/2$ 的均值。

由上可将融合值 C 改进为:

$$C = \frac{\sigma_b^2 M_a + \sigma_a^2 M_b}{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$$

2 路由开销以及节点能耗与节点空间占有率的关系验证

2.1 问题的提出

路由开销反映了一个网络的拥塞程度,开销越大,拥塞程度就越大。其计算公式为^[6]:

$$\text{load} = \frac{\text{发送和转发的路由包个数}}{\text{接收到的数据包个数}}$$

在 ZigBee 网络中,当网络规模较大,节点较多时,可以预见到,此时通过区域路由器节点转发的数据量会非常大,这样就会造成整个网络的路由开销很大,能耗随之增大。所以,如果能够在不影响网络运行及数据有效传播的前提下,降低路由器节点转发的数据量,

从而降低路由开销,就能降低整个网络的能耗,提高整个网络的性能。

2.2 NS2 下路由开销与节点空间占有率的关系验证

节点空间占有率是指单位数目的节点所占有的空间范围。为了验证上节提出的网络节点增多时整个网络的路由开销会增大,节点能耗也会相应增大这一预测,本节在 NS2 仿真软件下进行验证^[7]。

在网络仿真软件 NS2-2.31 下分别对 50 个节点处于以下空间范围内进行仿真^[8]:

250m×75m, 500m×150m, 1000m×300m

其他参数设置如下:

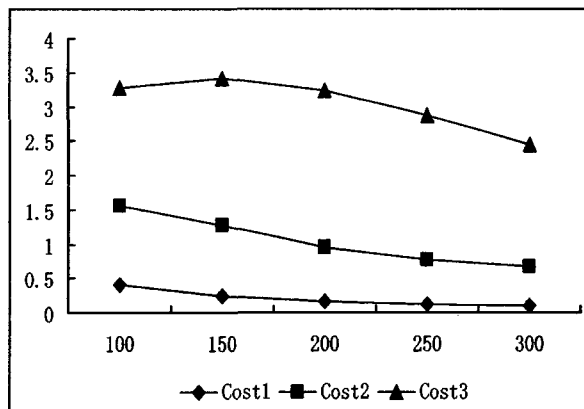
节点停留时间:0 秒

发送速率:2 分组/秒

业务流类型:cbr

最大移动速度:20 米/秒

暂停时间分别设置为 100 秒,150 秒,200 秒,250 秒,300 秒,进行仿真,测得路由开销见图 1。



Cost1: 250m×75m 空间内路由开销

Cost2: 500m×150m 空间内路由开销

Cost3: 1000m×300m 空间内路由开销

图 1 100 秒~300 秒内路由开销图

仿真结果表明:节点空间占有率越大,ZigBee 网络的路由开销就越大,从而导致网络性能降低。这是因为,节点空间占有率越大,即单位空间内的节点数目就越少,节点之间的距离就越大,致使整个网络的丢包率增大,导致整个网络的路由开销也将增大,节点的能耗也将增大。

3 能量阈值的提出

3.1 ZigBee 节点的最小能量

ZigBee 网络节点的最小剩余能量值定义为^[9]:

$E_{\min} = \frac{1}{t} \times \sqrt{E_0} \times \frac{\alpha}{d_i + 1}$, 其中 α 为一特定值,已有的节点节能策略为当节点的剩余能量值到达 E_{\min} 时减少或停止该节点的数据传输,以提高节点生存时间,但由于特定值 α 并未有明确限制, E_{\min} 并不一定能明确反

映节点当时能量情况,因此,有必要进一步设置一个能量阈值,当节点能量到达该阈值时就对节点实施节能策略,这样能够保证在节点能量耗尽前节能策略充分进行,从而能更有效地延长节点生存时间。

3.2 能量阈值的提出

在 ZigBee 路由协议^[10]中,包括树状拓扑^[11]和网状拓扑,为了降低路由开销,提高节点生存时间,同时为了达到能量均衡^[12]的目的已有的协议改进策略是将 RREQ 分组的传输距离限制为 $2L$,即最大网络深度 L 的 2 倍,超过 $2L$ 的距离节点就不发送 RREQ 分组,从而降低路由开销,降低节点能耗,延长节点生存时间。但此策略还存在进一步改进的可能,如图 2 所示。

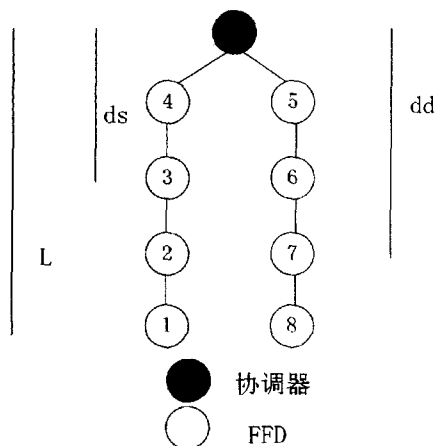


图 2 节点深度示意图

假设节点 5 为协调器,节点 2 要找到到达节点 7 的路由路径,如果将 RREQ 的传输距离限制为 $2L$,实际上仍有冗余的 RREQ 分组传输,如节点 2 发向节点 8 的 RREQ 就是冗余的,这会导致网络的路由开销增大,从而增大节点能耗,降低节点生存时间。因此,可以进一步将 RREQ 分组的传输距离限制为 $ds+dd$,超过此范围的 RREQ 分组均不再转发,从而能够更大幅度地降低网络开销,提高节点剩余能量。

综合考虑以上两点策略,可以定义 ZigBee 网络的节点的能量阈值。

若在 RREQ 传输距离限制为 $2L$ 时定义能量阈值,

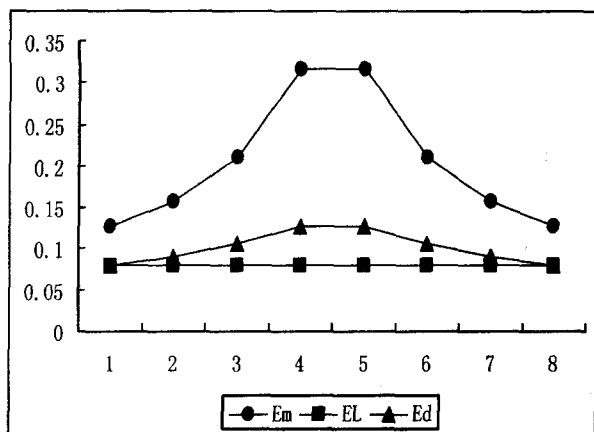
$$\text{可得 } E_{2L} = \frac{1}{t} \times \sqrt{E_0} \times \frac{\alpha}{2L}$$

若在 RREQ 传输距离限制为 $ds+dd$ 时定义能量

$$\text{阈值,可得 } E_{ds+dd} = \frac{1}{t} \times \sqrt{E_0} \times \frac{\alpha}{ds+dd}$$

在图 2 所示的 ZigBee 网络中,利用路由协议的分组中的空余字段可得节点当前能量值 E ,设节点初始能量均为 $1000J$,取 $\alpha=2$,得到该网络在 $100s$ 时三者的能量指标仿真图,如图 3 所示(横坐标:节点序号,纵坐标:能量值)。

由图 3 分析可得 $E_{\min} \geq E_{ds+dd} \geq E_{2L}$,式中 E_{ds+dd} 的值始终介于 E_{\min} 与 E_{2L} 之间,其相较于另两个值更能反映节点当时的能量状况,从而提高节点节能的成功率,并且, E_{ds+dd} 相较 E_{2L} 减少了冗余 RREQ 分组的发送,降低了网络开销。因此,将 ZigBee 网络的节点能量阈值定义为 $E_{ds+dd} = \frac{1}{t} \times \sqrt{E_0} \times \frac{\alpha}{ds+dd}$,当节点能量到达能量阈值时即采取节能措施。能量阈值能够较好地反应本节点此刻的能量状况,为节能措施的进行提供了标准。



Em: E_{\min} ; Ed: E_{ds+dd} ; EL: E_{2L}

图 3 能量指标仿真图

4 分批估计改进算法在 ZigBee 网络中应用

4.1 改进算法在 ZigBee 网络中的应用分析

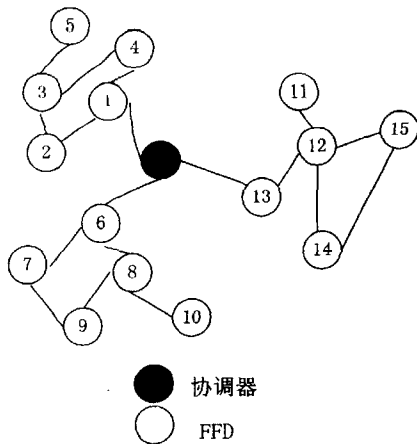


图 4 ZigBee 节点网络拓扑图

如图 4 所示,在 ZigBee 网络中,节点之间相互通信将消耗大部分能量,并且,有时候某个节点并不需要知道所有的节点的数据,只需要知道整个区域的数据统计值即可。基于以上考虑,可将分批估计改进算法应用在 ZigBee 网络中,当整个区域一半以上节点到达能量阈值时,协调器启用分批估计改进算法,将所有节点的数据进行融合,得到融合值,再将其发送给区域中

的各个节点。这样,可以减少节点数据转发次数,降低冗余数据的发送,提高节点数据发送效率,延长节点生存时间。

在上图所示 ZigBee 网络中,一个节点的数据如要全部转发给其他节点,如节点 5 的数据要转发给包括协调器在内的其他所有节点,则转发次数共需 15 次,同理,可计算出整个区域内所有节点的数据转发次数总和为 15 乘以 15=225 次,但每个节点没必要都需要知道其余所有节点某一时刻的数据值,并且这将产生很大的数据冗余,消耗相当大一部分节点能量,因此,可以启用分批估计改进算法,将所有节点数据在协调器处汇总并进行数据融合,再发送给各个节点,例如节点 1 到协调器,次数为 1,节点 2 到协调器,次数为 2,节点 3 到协调器,次数为 3,节点 5 到协调器,次数为 4,同理可算得整个区域 FFD 节点转发数据至协调器的次数为 35 次;融合数据从协调器转发给各个节点的总次数为 15 次,则整个数据融合的过程节点数据发送总次数为 35+15=50 次,相较之前,融合后的数据转发次数仅为融合前数据转发次数的 $50/225=22.2\%$,大大减少了数据转发次数,降低了节点能耗。

4.2 改进算法的仿真

在图 4 所示 ZigBee 网络中,网络由协调器和 RFD 组成,每个节点分别测量本节点的光照强度,并将一天内不同时刻本节点光照强度的数据传送给协调器,假设该区域中的节点空间占有率很大,则整个网络必然将出现许多冗余数据,网络的路由开销将会变得很大,能耗也将变得很大,并且在 ZigBee 网络中,距离中心协调器越近的节点,转发的数据量越大,能耗也就越大,在该网络中,距离中心协调器只有一跳的距离的节点能耗势必很大,并且本区域内的每个节点每一时刻的光照强度都要转发给中心协调器,这样必然产生极大的路由开销,导致能耗过大,节点寿命受到很大影响。

通常关心的只是一个区域的光照强度而并非该区域内每个节点的光照强度,因此,可采用分批估计改进算法,在区域协调器处对本区域内每一时刻各个节点的光照强度进行数据融合,这样能极大地降低网络开销以及能耗,很大程度提高路由器节点的寿命,从而提高了整个 ZigBee 网络的性能。

以某一时刻节点的光照强度数据为例,如表 1 所示,将区域的 15 个节点数据,按 1,3,5,7,9,11,13,15 分为第一组;2,4,6,8,10,12,14 分为第二组,分别计算两组的均值,方差及中位数。根据分批估计改进算法,计算出融合值,融合结果见表 1。

如表 1 所示,在每个区域的协调器上将本区域内所有节点(包括路由器)的光照强度进行数据融合,得

到该区域某一时刻的光照强度融合值,从而达到减少路由器数据发送次数,减少数据转发量,降低整个网络的路由开销,节约能耗的目的。

表 1 分批估计改进算法融合节点光照强度数据表

节点	1	2	3	4	5
光照强度(lx)	95	102	94	100	96
节点	6	7	8	9	10
光照强度(lx)	97	103	97	100	104
节点	11	12	13	14	15
光照强度(lx)	102	97	98	101	100
融合值(lx)	99.5787				

仿真表明,在 ZigBee 网络采用改进的分批估计算法,可以较大程度上降低 ZigBee 节点能耗,延长节点生存时间。

5 结束语

现有的 ZigBee 技术虽然具有低成本、低速率、可靠性高等特点,但是同时还有许多可以进一步改进的地方。

降低节点能耗是 ZigBee 技术急需解决的一大课题,已有的降低节点能耗的措施主要集中在物理层以及 MAC 层,在网络层也有一定的措施,文中将 ZigBee 网络在时间域及空间域中用多传感器系统的思想来处理数据,在网络层的角度提出了进一步限制 RREQ 分组的传输距离的思想,并提出了能量阈值的概念,同时,对数据融合中的分批估计算法进行了改进,从应用层的角度将改进算法应用到 ZigBee 网络中,从而达到提高节点数据发送效率,降低节点能耗,延长节点生存时间,提高 ZigBee 网络性能的目的。

参考文献:

[1] 张书奎,崔志明,龚声蓉,等.基于 Bayes 序贯估计的无线传感器网络数据融合算法[J].电子与信息学报,2009,31(3):716-719.

[2] 刘叶玲,朱艳伟.加权数据融合算法及其应用举例[J].西安科技大学学报,2005,25(2):253-255.

[3] 胡宏灿,郭立,朱俊株.联合卡尔曼滤波器在数据融合中的应用[J].火控雷达技术,2005,34:1-4.

[4] 吴辉,于军琪.基于 ZigBee 的温室房间温度传感器数据融合技术[J].农机化研究,2009(4):158-160.

[5] 邱爽,吴巍.无线传感器网络数据融合算法研究[J].武汉理工大学学报,2008,30(7):119-122.

[6] 张远,张宏宵,刘洛琨,等.一种降低开销及时延的自组网 AODV 改进算法[J].电视技术,2005(2):165-168.

[7] 于斌,孙斌,温暖.NS2 与网络模拟[M].北京:人民邮电出版社,2007.

[8] 王永胜,吴德伟,刘勇.基于 NS2 网络仿真研究[J].计算机仿真,2004,21(11):257-259.

四线制和桥式以及三线制不同,它不构成电桥电路。这种电路在测量电压时漏电流较少,它的高阻抗电压计是不可缺少的部分。测量误差远小于热电阻测量温度计电压降引起的误差可忽略不计。在工业现场中,热电阻通常为三线制输出,所以四线制通常应用极少。

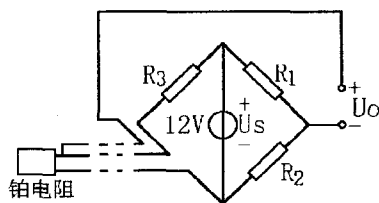


图6 三线制测试电桥

三线制电桥连接方法如图6所示^[12],一根导线连接铂电阻桥臂,一根导线连接平衡电桥桥臂 R_3 ,第三根导线连接输出。这样当零度时, U_o 输出就会为零,在测量温度时,电桥不再平衡,产生输出电压 U_o :

$$U_o = \frac{1}{2} U_s \times \frac{\Delta R}{(2R_0 + \Delta R + 2R_L)}$$

在测量温度不超过200℃时,误差不超过0.01,这完全满足工业上要求。

5 结束语

在智能数据检测管理系统中采用芯片ICL7107后,由于它有测量精度高,集成性强且价格适中等特点,使智能数据检测管理系统在总的造价中降低了成本,同时在生产线上发生意外的情况下,可以通过人为读取LED显示的数据,保证了该系统的长时间正常运行。在智能数据检测管理系统中采用三线制电桥法后,使测量结果不再受导线电阻的影响,使测量更加精

密、准确,这样大大提高了生产效率。

参考文献:

- [1] 李志全. 智能仪表设计原理及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1995.
- [2] 焦 阳,王德奎,王亚芳. 智能数据检测管理系统的研制[J]. 河北科技大学学报,2005(6):153-155.
- [3] 张辉宜,陶 陶,赵海军. S3C44B0X 嵌入式处理器与ADS7864的接口技术[J]. 计算机技术与发展,2007,17(8):84-86.
- [4] Stock S. High-speed data recording and playback with PXI [C]//Autotestcon,2007. [s. l.]:IEEE,2007:455-461.
- [5] 王金长. 采用ICL7107的小型数字温控表[J]. 电测与仪表,1998(4):33-36.
- [6] 焦 阳,王德奎,孙玉杰. 智能油压监测系统的研制[J]. 电工技术杂志,2001(10):49-50.
- [7] ICL7106, ICL7107, ICL7107S Data Sheet[M]. Intersil Instruments Corporation,2001.
- [8] 王永青,陈明霞. ICL7106/7107型ADC量程迁移与零点迁移功能的开发应用[J]. 河北大学学报(自然科学版),2005(3):326-328.
- [9] Barthelemy H, Koudobine I, Van Landeghem D. Bipolar low-power operational transresistance amplifier based on first generation current conveyor [M]//Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on, 2001:620-625.
- [10] 徐振斌,朱大奇,衣承斌. 智能热电偶温度测试仪研制[J]. 电子测量技术,1999(1):44-46.
- [11] 姚爱琴,马忠亮,孙运强. 热敏电阻测量法的比较研究[J]. 测试技术学报,2002(1):61-63.
- [12] 段晓杰. 基于虚拟仪器技术的远程多路温度检测系统的开发与研究[D]. 天津:河北工业大学,2006.

(上接第225页)

- [J]. 科学通报,1999,44(22):961-969.
- [11] Wagsta K, Cardie C. Clustering with instance-level constraints[C]//Proceedings of the Seventeenth International Conference on Machine Learning. Palo Alto, CA: Morgan

Kaufmann,2000:1103-1110.

- [12] 张 敏,于 剑. 基于划分的模糊聚类算法[J]. 软件学报,2004,15(6):858-868.

(上接第229页)

- [9] 班艳丽,柴乔林,王 芳. 改进的 ZigBee 网络路由算法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(5):95-97.
- [10] Chakeres I D, Klein-Berndt. AODVjr, AODV simplified[J]. Mobile Computing and Communication Review,2002,6(3):100-101.
- [11] Kim T, Kim D, Park N, et al. Shortcut tree routing in ZigBee network[EB/OL]. [2008-02-16]. http://resl.icu.ac.kr/~damiano/proc/iswpc2007_1.pdf.

- [12] Ran Peng, Sun Maoheng, Zou Youmin. ZigBee routing selection strategy based on data services and energy-balanced zigbee routing[C]//Proceedings of the 2006 IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing. Washington DC: IEEE Computer Society,2006:400-404.