

文章编号:1004-9037(2013)06-0000-05

数据集成技术在树型 WSN 中的应用与研究

朱 林 张 海

(内蒙古科技大学信息工程学院,包头,014010)

摘要:针对无线传感器网络中节点能量有限这一特点,本文将一种数据集成算法引入无线传感器网络,通过去除节点间的冗余信息来降低网络中的数据流量,从而降低网络能耗,达到提高网络能量利用率和延长网络寿命的目的。以树型无线传感器网络为例,分别对采用数据集成算法前后的网络能量消耗进行分析研究,并给出了相应的能量消耗模型。又通过计算机仿真和实验数据监测的方法,验证了此数据集成算法在降低树型 WSN 能耗中是有效的。

关键词:无线传感器网络;树型结构;数据集成;能量消耗

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A

Application and Research on Technology of Data Integration in Tree Structure WSN

Zhu Lin, Zhang Hai

(School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, 014010, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of limited nodes energy in wireless sensor networks, the Data Integration algorithm is introduced into Wireless Sensor Networks. By removing redundant information in sensor nodes the data flow of network, thus the energy consumption of the network is reduced, and the goals of improving energy utilization rate and lengthening life-time of network achieve at the same time. The research foundation is the tree structure WSN. The energy consumption of network is analyzed and researched before and after data Integration, and the corresponding energy consumption mode is given. Followed by the ways of computer simulation and experimental data monitoring, the paper prove the Data Integration is effective in reducing energy consumption of network.

Key words: wireless sensor networks; tree structure; data integration; energy consumption

引 言

近年来,随着计算机技术、通讯技术、电子技术、网络技术的飞速发展,无线传感器网络被越来越多地应用到国防军事、环境、科学研究、工业控制、医疗、自然灾害等重大科技领域^[1]。然而,在实际应用中,大多数的无线传感器节点都采用干电池供电,电源能量受限,使网络寿命受到严重影响。因此,如何提高节点能量的利用率、延长网络的生存周期是无线传感器网络应用中面临的一个突出问题^[1-2]。文献[3]中,所设计的传感器采集节点就采用电池供电,为了提高此节点的使用寿命,其软

件设计中就采取了数据处理办法。本文就此将一种数据集成算法引入到无线传感器网络中,通过减少网络中的数据传输量来降低节点的能量消耗。并且在已有无线传感器网络能量消耗分析的基础上,针对常用的分级树状网络探讨了一种新的能量消耗分析法,并对不同数据集成程度时的节点和网络能量消耗进行仿真分析对比和实验测试,证明数据集成算法的有效性和实用性。

1 树型无线传感器网络

无线传感器网络(Wireless sensor network, WSN)是由部署在监测区域内的大量微型传感器节点组成的,通过无线通信方式形成的一个多跳的

自组织网络。然而针对不同的安装环境和用户需求,无线传感器网络拓扑结构各异。本文以远程监控系统常用的树型无线传感器网络为基础进行相关研究,其网络拓扑结构如图 1 所示。

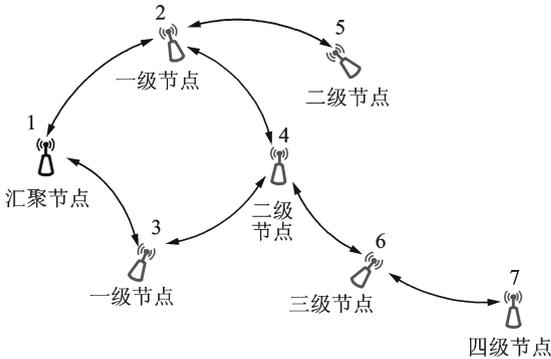


图 1 树型网络结构图

在图 1 树型无线传感器网络中,各个传感器节点需要通过单跳或者多跳的方式将所采集的数据发送到汇聚节点,然而为了后面的计算方便,有必要引入“级”的概念,用来区别多跳中的每一跳。网络中传感器节点所处的级数就是本节点信息到达汇聚节点所经过的跳数,例如 4 号节点,它与汇聚节点通信时需经过 2 号或 3 号节点的转发,中间经过两跳,所以是二级节点。其他节点所在级数的划分由此类推,级数越大距离汇聚节点越远。另外,1 号节点为汇聚节点,位于网络的顶端,常被定义为 0 级。

当传感器节点向汇聚节点传送所采集的数据时,传感器节点的信息需通过其上级节点转发后到达汇聚节点,级数越大信息到达汇聚节点的转发就越多。然而,现有的这种信息直接转发的方法使得网络中存在大量的冗余信息,造成能量严重浪费。

2 基于树型传感器网络的数据集成

2.1 数据汇聚树

在树型传感器网络中,汇聚节点在收集数据时是沿着树的反方向从分散的传感器节点将所采集的数据汇聚起来,这样从源节点到汇聚节点就形成一棵以汇聚节点为根节点,源节点为叶节点的树结构,也称为数据汇聚树^[4-5],如图 2 所示。

为表述方便,把汇聚节点称为根节点,把所有要向汇聚节点汇报数据的节点统称为源节点。其中,把不是叶节点的所有源节点统称为内部节点,内部节点不但要完成自身数据的发送功能,而且还负责将下级节点传送过来的数据转发到上一级节

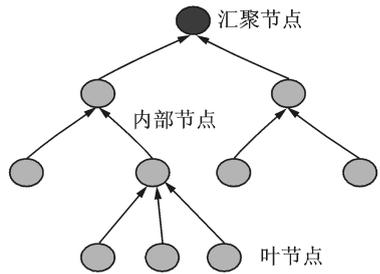


图 2 数据汇聚树

点,同时还要完成数据集成的功能,即把下级节点的上传数据进行有效集成,消除冗余信息,减少数据传输量。

2.2 数据集成算法

数据集成的主要目的就是通过减少网络中的冗余信息来降低节点间的通信量,从而降低节点的功耗,达到延长网络寿命的目的。美国加州大学的一项研究试验表明,传感器节点发送 1bit 的数据所消耗的能量约为 4 000 nJ,而处理器执行一条指令所消耗的能量仅为 5nJ,即发送 1bit 数据的能耗可以用来执行 800 条指令^[1],因此,通过将数据集成算法引入无线传感器网络来降低网络中数据传输量是必要。

从数据汇聚树可知,数据集成的算法是在内部节点上实现的。就汇聚树中的某一内部节点而言,在不采用数据集成算法和采用数据集成时,其输入输出数据包的情况如图 3 所示。[见附件](#)

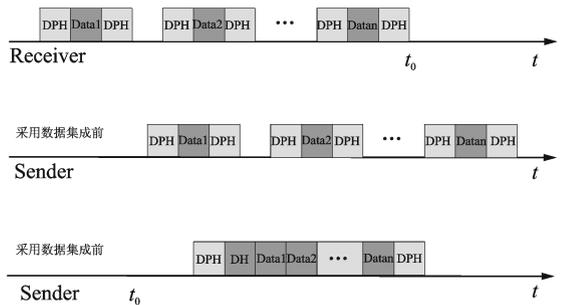


图 3 数据集成前后节点的输入输出数据包情况

其中,DPH 是数据包包头信息,包括数据包起始码、数据包类型及数据的下一跳地址信息。Data n 是数据包的有效数据,包括节点的实时数据和源地址。DPE 是数据包包尾,包括校验码和结束符。图 3 中,采用数据集成前的 Sender 是内部节点对接收到的 n 个数据包不[Sender改为“输出数据包”](#)进行任何处理,直接转发;采用数据集成后的 Sender 是内部节点将接收到的 n 个数据包中的有效数据提取出来,并[Sender改为“输出数据包”](#)将其重新

打包向上级节点转发。在此需要注意的是,数据在重新打包时需在数据前加入数据集成标志字节,如图 3 中的 DI 字节,其大小为 1 字节,内容包括数据融合标志和融合后的数据包个数,其目的是为了数据包在后续传递过程中的状态判断和数据包在目的地正确分解。经过图 3 和图 4 的比较,很容易得知,采用了数据集成算法后,内部节点需向上级节点转发的数据量约减少 $(n-1)$ 对数据包的包头和包尾,因此减少了数据传输量,有效地节省能量。

对于整个网络来说,内部节点只要接收到数据包,就先判断其是否是集成后的数据包,如果是就将其直接转发,否则就将其与其他的普通数据包进行集成,然后连同自身数据一起发送给上级。因此,整个无线传感器网络中的数据传输量就会降低,整个网络中节点的能耗也将降低,达到延长网络寿命的目的。

然而,在绝大多数实际应用中,无法实现将任意多的下级节点的数据压缩成一个数据包,而通常情况是压缩数据包的个数随输入数据包个数的增加而增加。并且输入输出数据包的个数关系满足如下关系^[2,6]

$$X(x) = mx + c \quad (1)$$

式中: x 是输入某内部节点的普通数据包个数; $X(x)$ 是某内部节点输出的数据包个数; m 是数据包压缩率,通常情况下 $m \leq 1$; c 是常数,对内部节点来说它就是输出数据包的最少个数,其取值与具体应用有关。

根据 m, c 的取值不同,可将此数据集成算法分为 3 类^[2,6]:

- (1) 当 $m=1, c=0$ 时,输入输出数据包个数相同,即输入数据包不经任何处理直接被转发;
- (2) 当 $m < 1, c > 0$ 时,按照某固定压缩率 m 对输入数据包进行数据集成;
- (3) 当 $m=0, c > 0$ 时,完全数据集成,即把所有输入数据包集成为有限数据包。

其中,第 2 类数据集成算法包含两种方式。(1) 第 n 级节点产生的原始数据仅在从 n 到 $n-1$ 级传输时被集成一次,在以后就直接转发;另一种是每往上传递一级,数据进行一次集成。本文仅研究分析前一种数据集成方式。

2.3 网络能耗分析

在 WSN 中,网络能量消耗是指除汇聚节点以外所有传感器节点能量消耗的总和。对于网络中的任意一个传感器节点来说,其能量消耗主要包括

节点收发数据包的能量消耗和节点数据集成处理过程的能量消耗。为了使计算和分析过程简单,在文中不再考虑网络实际过程中的路由更新控制包、MAC 控制包,以及在数据传播过程中由于冲突而造成的重传情况,而仅考虑正常传播的数据包^[2]。

就现有的无线传感器网络中能量消耗的分析方法来说,都是基于传感器节点均匀分布,并通过以汇聚节点为中心的同心圆来划分节点的级别,如图 4 所示,位于某一区域的节点个数是通过本区域面积在整体区域中所占比例乘以传感器节点的总数得到。在文献[2]中也曾将同心圆优化成同心的扇形区来计算节点的个数。然而像图 1 这样的网络中,节点根本不满足均匀分布的特点,因此以上的能量消耗分析法不再满足要求。由此,本文就根据树型无线传感器网络的具体特性和传感器节点的物理特性,提出了一种新的节点计算方法,以更好地分析计算网络及节点的能量消耗。

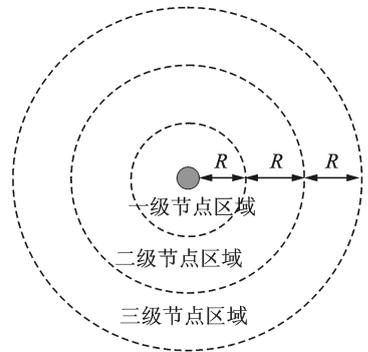


图 4 现有的网络能量消耗模型

本文就以图 1 的树型无线传感器网络为例,假设网络的最大级数为 M ,每个节点的下一级子节点个数最多为 a (a 为常数,取值与实际通信模块的选择有关),则位于第 i 级的节点最大个数为 a^i ,并且其中任意节点的数据包都需要经过前面 $i-1$ 次的转发才能到达汇聚节点。传感器节点的收发数据能量消耗模型表达式^[2]如下

$$E_{Tx}(n, d) = E_{Tr_elec}(n) + E_{Tx_amp}(n, d) = E_{elec}n + \epsilon_{amp}nd^k \quad (2)$$

$$E_{Rx}(n) = E_{Rx_elec}(n) = E_{elec}n \quad (3)$$

式中: $E_{Tx}(n, d)$ 表示将 n bit 数据传送距离 d 的能耗; $E_{Rx}(n)$ 表示接收 n bit 数据的能耗; $E_{Tr_elec}(n)$, $E_{Rx_elec}(n)$ 分别表示发射、接收装置的能耗; E_{elec} 表示发送和接收装置每发送、接收 1 bit 数据的能耗; ϵ_{amp} 表示发射放大器将单位 bit 数据传送单位平方米的能耗; $k(2 \leq k \leq 5)$ 表示传播衰减指数,取值由

实际应用环境决定。为了分析方便,令 $E_{\text{elec}}n=l$, $\epsilon_{\text{amp}}n=u$, 并假设每包数据的信息量为 n bit, 集成一个数据包的能耗为 p ($p < l$)。在实际应用的传感器网络中, 每一个内部节点的下级节点的个数和距离是不定的, 这使得对其能量分析很不便。因此, 假设每个内部节点的下级节点个数是相等的, 并且都为 j , 那么, 第 i 级节点个数为 j^i , 其下一级节点个数为 j^{i+1} 。同时, 假设每个下级节点到上级节点的距离都相等。

那么, 对于第 i 级的内部节点来说, 它在应用数据集成前后完成一次收发数据的能量消耗分别为 E, E' , 并且满足式(4)和式(5)。

$$\begin{aligned} E &= E_{R_r} + E_{T_r} = (j^{i+1} + j^{i+2} \dots + j^M)l + \\ & (j^{i+1} + j^{i+2} + \dots + j^M + j^i)(l + ud^k) \quad (4) \\ E' &= E_{R_r} + E_{D_F} + E_{T_r} = \\ & [(j^{i+2} + j^{i+3} + \dots + j^M)m + c] \\ & (2l + ud^k) + j^{i+1}(l + p) + \\ & (j^{i+1}m + c)(l + ud^k) + j^i(l + ud^k) \quad (5) \end{aligned}$$

式中: E_{R_r}, E_{T_r} 分别为节点收发数据包的能耗; E_{D_F} 为集成数据包的能耗。

对于整个树型无线传感器网络来说, 其能量消耗由两部分组成, 即网络中叶节点 (M 级) 的能耗和前 $M-1$ 级内部节点的能耗总和, 并且网络的能量消耗与采样时间 T_s 和工作时间 T 成比例, 计算公式如下

$$E_{\text{net}} = (E_M + \sum_{i=1}^{M-1} E_i) T / T_s \quad (6)$$

式中: E_{net} 为整个网络能耗; E_M 为最低级节点的总能耗; E_i 为第 i 级节点的总能耗。

由式(4)、式(6)可得整个无线传感器网络在未应用数据集成时的能耗如下

$$\begin{aligned} E_{\text{net}} &= (E_M + \sum_{i=1}^{M-1} E_i) T / T_s = \\ & E_M T / T_s + T / T_s \sum_{i=1}^{M-1} [E_{R_r}(i) + E_{T_r}(i)] = \\ & j^M(l + ud^k) T / T_s + T / T_s \sum_{i=1}^{M-1} [(j^{i+1} + j^{i+2} + \\ & \dots + j^M)l + (j^{i+1} + j^{i+2} + \\ & \dots + j^M + j^i)(l + ud^k)] \quad (7) \end{aligned}$$

式中: $E_{R_r}(i)$ 为第 i 级节点接收下级数据包的能耗总和; $E_{T_r}(i)$ 为第 i 级节点发送数据包的能耗总和。

由式(5)、(6)可得整个无线传感器网络在应用数据集成后能耗如下

$$E'_{\text{net}} = (E_M + \sum_{i=1}^{M-1} E'_i) T / T_s =$$

$$\begin{aligned} & E_M T / T_s + T / T_s \sum_{i=1}^{M-1} [E_{R_r}(i) + E_{D_F}(i) + E_{T_r}(i)] = \\ & j^M(l + ud^k) T / T_s + T / T_s \sum_{i=1}^{M-1} \{ [(j^{i+2} + j^{i+3} + \dots \\ & + j^M)m + c] \times \\ & ((2l + ud^k) + j^{i+1}(l + p) + (j^{i+1}m + c) \\ & (l + ud^k) + j^i(l + ud^k)) \} \quad (8) \end{aligned}$$

式中, $E_{D_F}(i)$ 为第 i 级节点集成其下一级数据包的总能耗。

3 能耗分析验证

3.1 理论仿真

对于某一树型结构的远程监控系统, 其传感器节点和数据汇聚节点上都有无线通信模块 nRF905, 通过此模块可将现场所有的传感器节点和汇聚节点组成一个无线传感器网络, 并且分布在现场的传感器节点周期地将实时采集数据传递到汇聚节点。nRF905 的最大通信距离约为 300 m, 其协议中用户可用的最大字节数为 32 Byte, 即每一数据包的数据量为 256 bit。同时令此树型无线传感器网络中每个传感器节点的可扩展下级节点数为 2 ($j=2$), 网络的级别 $M=10$, 此网络的数据采集周期为 5 min。根据文献[2, 7]提供的参数

$$\begin{aligned} E_{R_{x, \text{elec}}}(n) &= E_{T_{x, \text{elec}}}(n) = E_{\text{elec}} = 50 \text{ nJ/bit} \\ \epsilon_{\text{amp}} &= 100 \text{ pJ/bit/m}^2 \\ k &= 2 (\text{网络覆盖区域为开阔地}) \end{aligned}$$

由此可得 $l=12.8 \text{ uJ}$, $u=25.6 \text{ nJ}$, 网络中压缩后的数据包个数最少为 $c=j=2$ 。

根据式(7)、(8)可得整个传感器网络在应用数据集成前后的能量消耗随工作时间的变化曲线, 如图 5 所示。

从图中可知, 网络能量消耗随工作时间的增加

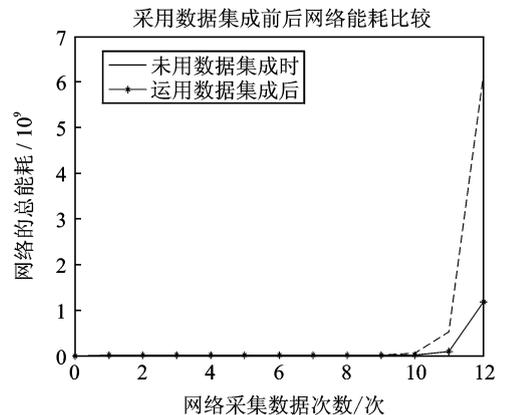


图 5 采用数据集成技术前后网络能耗曲线

而增加;应用数据集成算法后,网络能量消耗明显降低,理论上最多可降 80%。

应用数据集成后,网络能量消耗随数据压缩程度的增加而减小,其变化曲线如图 6 所示。

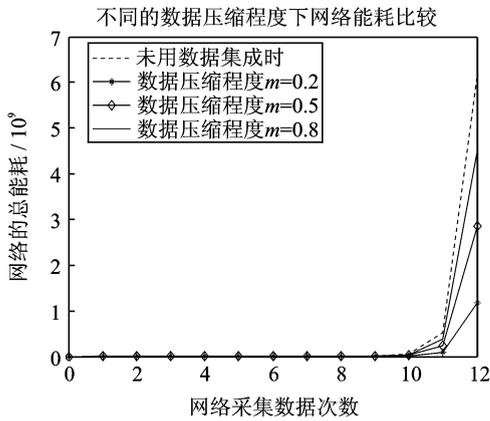


图 6 不同数据压缩程度时的网络能耗曲线

3.2 实验监测

在实验过程中,无线传感器网络的规模为 1 个汇聚节点和 6 个传感器节点,传感器节点采用两节普通电池 3 V 供电,并按图 3 的网络拓扑结构组网。不难看出网络中 2,3 节点的能量消耗最大,于是分别在应用数据集成前后的网络工作过程中,以相同的时间间隔每 2 h 对节点 2 的电池电压监测一次,总体数据变化如表 1 所示。

从表中可知,网络能量消耗随着网络的工作时间增加而增加,相应电池电压逐渐降低;应用数据集成方法后,电池电压降低明显变慢,从而网络消耗能量相对降低,达到延长网络寿命的目的。

表 1 数据集成前后 WSN 的能耗比较

测量次序	未运用数据集成算法的 WSN/V	运用数据集成算法的 WSN/V	能量消耗节省百分比 /%
1(开始)	3.102	3.098	---
2	3.004	3.055	56.12
3	2.923	3.008	49.73
4	2.831	2.959	48.71
5	2.737	2.934	55.01
6	2.701	2.891	48.38

4 结束语

针对无线传感器网络中能量有限的问题,本文通过引入数据集成算法来降低能耗,提高能量的利用率。并以树型无线传感器网络为基础,对其能量消耗进行分析验证,结果表明:网络能量消耗随工

作时间的增加而增加;引入数据集成算法以后,网络的能量消耗有明显的降低,并且压缩程度越高,能量节约越明显。所以,这种数据集成算法在无线传感器网络中具有较高的实用价值。

参考文献:

[1] 崔逊学,左从菊. 无线传感器网络简明教程[M]. 北京:清华大学出版社,2009:9-10.
Cui Xunxue, Zuo Congju. The concise course of wireless sensor network[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009:9-10.

[2] 杨挺,孙雨耕,王燕琳,等. 无线传感器网络中数据融合机制的能量有效性研究[J]. 计算机应用研究, 2007,24(10):95-98.
Yang ting, Sun Yugeng, Wang Yanlin, et al. The research on energy efficiency of data fusion technology in WSN[J]. Journal of Computer Application & Research, 2007,24(10):95-98.

[3] 尚盈,袁慎芳,吴健,等. 基于无线传感网络的大型结构健康监测监测系统[J]. 数据采集与处理,2009,24(2): 254-258.
Shang Ying, Yuan Shenfang, Wu Jian, et al. The large structural health monitoring system based on WSN [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2009, 24(2):254-258.

[4] 刘玲,柴乔林,耿晓义. 基于蚂蚁算法的无线传感器网络数据融合路由算法[J]. 计算机工程与设计,2009, 30(3):576-579.
Liu Ling, Cai Qiaolin, Geng Xiaoyi. The routing algorithm of data fusion in wireless sensor network based on ant algorithm[J]. Journal of Computer Engineering and Design, 2009,30(3):576-579.

[5] 张辉宜,李明,陶陶. 链-树型无线传感器网络路由协议[J]. 中国仪器仪表,2008,6:45-47.
Zhang Huiyi, Li Ming, Tao Tao. Chain-tree routing protocol of wireless sensor network[J]. China Instrumentation, 2008,6:45-47.

[6] Mhatrev, Rosenbergc. Design guidelines for wireless sensor networks: communication clustering and aggregation[J]. Ad hoc Networks,2004,2(1):45-63.

[7] Wang A, Heinzelmw B, Sinha A, et al. Energy-scalable protocols for battery-operated micro sensor networks [J]. Journal of VLSI Signal Processing, 2001,29(3):223-23.

作者简介:朱林(1956-),女,教授,研究方向:嵌入式系统与工业远程监控,E-mail:zhulin@imust.cn;张海(1984-),女,硕士研究生,研究方向:工业远程监控与无线传感器网络。