

基于数据融合的无线传感器网络延迟感知研究

刘海燕, 刘 云

(昆明理工大学信息工程与自动化学院, 昆明 650050)

摘 要: 网络数据融合与聚类是减少无线传感器网络能量消耗的有效技术, 但聚类在数据聚集过程中会产生额外的时间延迟。为此, 提出一种基于网络数据融合的延迟感知网络结构, 该结构组建传感器节点形成不同大小的簇, 每个簇可以与融合中心节点进行交错通信。仿真结果表明, 与低功耗自适应集簇分层型协议、延迟感知数据收集网络结构相比, 该网络结构可以减少在数据融合过程中的延迟, 并能保持较低的能量消耗。

关键词: 数据融合; 聚类; 无线传感器网络; 延迟感知; 融合中心; 能量消耗

中文引用格式: 刘海燕, 刘 云. 基于数据融合的无线传感器网络延迟感知研究[J]. 计算机工程, 2015, 41(4): 1-6.

英文引用格式: Liu Haiyan, Liu Yun. Research on Delay-aware for Wireless Sensor Network Based on Data Fusion[J]. Computer Engineering, 2015, 41(4): 1-6.

Research on Delay-aware for Wireless Sensor Network Based on Data Fusion

LIU Haiyan, LIU Yun

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650050, China)

【Abstract】 Network data fusion and cluster are effective technologies to reduce energy consumption of Wireless Sensor Network (WSN), however, clustering produces extra delays in the process of data aggregation, and the problem can be solved by the modified network structure. A Delay-aware Network Structure for WSNs with Data Fusion (DANSDF) is proposed. The proposed structure organizes sensor nodes into clusters of different sizes, each cluster can communicate with the fusion center in an interleaved manner. Simulation results show that compared with Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH), Delay-aware Data Collection Network Structure (DADCNS) the two network structures, DANSDF can reduce the delay in the process of data fusion, and can keep a low energy consumption.

【Key words】 data fusion; clustering; Wireless Sensor Network (WSN); delay-aware; fusion center; energy consumption

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2015.04.001

1 概述

网络数据融合和聚类是有效减少无线传感器网络能量消耗的技术。在典型的无线传感网聚类算法中, 一定数量的节点将被选为簇头 (CHs), 剩余的节点被视为簇成员 (CMs), 簇头从其簇成员中收集数据信息。若从簇成员 (CMs) 获得的数据是可融合的, 簇头对传入的数据进行数据融合, 减少其传出数据量的大小。融合后的数据将被传输到融合中心节点 (FC), 进一步处理融合数据。通过减少总的通信距离和传输数据的大小, 便可大大降低能量消耗^[1]。然而当数据融合所传出数据 (如传播控制数据) 不减少时, 在数据聚合中簇便会产生额外的能源消耗和

时间延迟。为此, 本文提出一种基于网络数据融合的延迟感知网络结构。

2 簇结构

在图 1(a) 中, 节点 A 和 B 是簇成员 (CMs), 节点 C 是簇头。 A 和 B 两节点传输数据包 α 到簇头 C , 假设从一个节点到另一节点传输数据 α 所需单位时间为 t_{TX} , 相应的发射器和接收器能量消耗分别为 e_{TX} 和 e_{RX} 。为简单起见, 这个例子中数据融合过程中忽略能量消耗。同时, 融合中心 (FC) 被认为是一个能量充足的设备节点。如果节点 A, B 和 C 可融合成一个单一数据包大小 $\alpha' (\alpha' = \alpha)$ 时, 总延迟 t_{TOT} 和 e_{TOT} 最小。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61262040)。

作者简介: 刘海燕 (1987 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 无线传感器网络; 刘 云 (通讯作者), 副教授。

收稿日期: 2014-04-28 **修回日期:** 2014-06-26 **E-mail:** liuyun@kmust.edu.cn

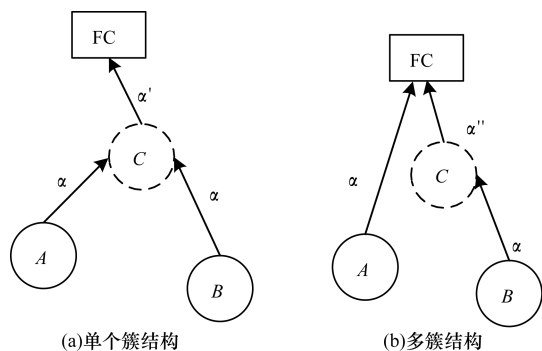


图 1 簇结构示意图

然而,如果输出数据大小 $\alpha' > \alpha$,延迟和能源消耗将会增加,如式(1)、式(2)所示:

$$t_{\text{TOT}} = 2t_{\text{TX}} + \frac{\alpha'}{\alpha}t_{\text{TX}} \quad (1)$$

$$e_{\text{TOT}} = 2(e_{\text{TX}} + e_{\text{RX}}) + \frac{\alpha'}{\alpha}e_{\text{TX}} \quad (2)$$

在节点 A, B, C 的数据无融合,即 $\alpha' = 3\alpha$ 时网络性能是最糟糕的。这个问题可以通过重新构建网络如图 1(b) 所示。新的网络结构中,节点 A 和 B 可以同时传输数据。因此,则式(1)、式(2)的 t_{TOT} 和 e_{TOT} 可以表示为:

$$t_{\text{TOT}} = t_{\text{TX}} + \frac{\alpha'}{\alpha}t_{\text{TX}} \quad (3)$$

$$e_{\text{TOT}} = 2(e_{\text{TX}} + e_{\text{RX}}) + \frac{\alpha'}{\alpha}e_{\text{TX}} \quad (4)$$

由于 $\alpha'' \leq \alpha'$,根据式(3)和式(4),修改后的网络结构在 e_{TOT} 没有增加情况下减少了 t_{TOT} ,该改进提供了一个新的网络结构的研究方向,即使网络数据融合所传出数据没有任何减少时,数据聚合过程中的时间延迟也不会大幅增加,文献[2]提出的延时感知网络结构(DADCNS)便是基于此思想提出的。

3 网络结构模型

文献[2]中提出的延时感知网络,其模型是一个树型结构,若该网络中有 N 个无线传感器节点,则将构建成一具有 k 个簇的网络,依据树结构的基本性质,有:

$$\sum_{i=1}^{k-1} m_i < N \leq \sum_{i=1}^k m_i \quad (5)$$

其中, m_i 是在第 i 个簇中最大的节点数量,又可以表示为:

$$m_i = 2m_{i-1}, m_i = 1 \quad (6)$$

利用递推公式,式(6)可以表示为:

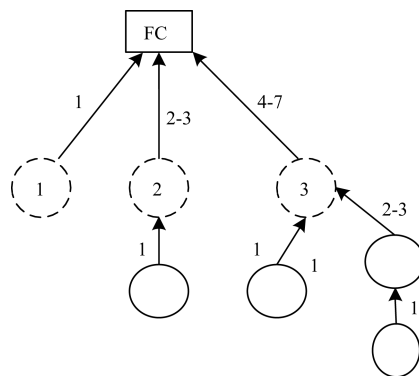
$$m_i = 2^i - 1 \quad (7)$$

由式(5)、式(7)式可以得到:

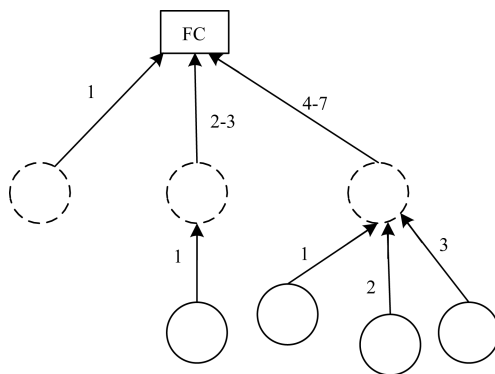
$$2^{k-1} - 1 < N \leq 2^k - 1 \quad (8)$$

在数据聚合过程中,DADCNS 结构的第 k 个簇是最后一个簇结构,由结构知,较小的簇可以缩短数

据聚集过程以减少延迟时间。因此,在第 k 个簇填满簇成员之前,第 $k-1$ 个簇已经填满了簇成员,并由式(8)知,则具有 $N=7$ 的树型网络结构,可构建为 $k=3$ 个簇,其结构如图 2 所示,其中虚圆形代表簇头节点,实圆形代表簇成员节点,FC 为融合中心节点,数字代表簇头节点与 FC 交错通信的顺序。

图 2 $N=7$ 时 DADCNS 网络数据聚合结构

由图 2 知,DADCNS 网络节点被构建成的多个簇是多层簇结构,即一个簇中存在多跳结构,而多跳可能又会产生额外的数据融合延时和网络能量消耗^[3]。基于此,本文提出了新的网络结构(DANSDF)模型,该网络传感器节点被构建的多个簇是多个大小不同的单跳的簇结构,即一个簇中不存在多跳结构,经过仿真分析,该结构保证了数据融合时间不会大大增加,特别是当网络数据融合的输出数据没有任何减少情况,改进后的具有 $N=7$ 的树型网络结构(DANSDF)的结构如图 3 所示。由图 3 知,在较大的簇就绪之前,较小的簇可以与 FC 完成通信,因此,整个网络的延迟时间是由其最大的簇所决定。

图 3 $N=7$ 时 DANSDF 网络数据聚合过程结构

4 网络结构分析

本节将提出的延时感知网络结构(DANSDF)和能量感知聚类算法 LEACH 形成的网络^[4]以及 DADCNS 网络结构,3 种结构从理论上做了对比分析。该分析目的是要说明不同的网络结构在可融合和不可融合的数据收集过程中,在时间延迟和能量

消耗两方面的不同。

(1) 延时分析

在无线传感器网络中,从不同的节点收集的样本数据可以是具有高的时空相关性^[5]。网络数据融合是可能在数据汇总过程^[6]中进行。比如2个大小为 α_i 和 α_j 的数据包可以被融合成大小为 α_k 的单个数据包 $\alpha_k = r(\alpha_i + \alpha_j) \leq (\alpha_i + \alpha_j)$,其中, $r \in [0.5, 1.0]$ 是融合压缩比^[7-8]。

考虑这种情况,即 $r = 1$ (即数据融合输出无减小),对于具有 N 个无线传感器节点的网络,它采用的FC至少用 N 个时隙来收集所有数据,不考虑网络拓扑。因此,一个完整的数据集合时间 $T(N)$ 的持续时间下界是 $T(N)_{\min} = N$ 。

对于DANSDF结构,由式(8)知有 $2^{k-1} - 1 \leq N \leq 2^k - 1$ 个传感器节点的无线网络。提出的网络结构将节点分成 k 个簇,且第 $k-1$ 个簇完全填满了簇成员(CMs)共需要 $2^{k-1} - 1$ 个时隙,把所有的数据传送给FC。第 k 个簇填充剩余的 $N - 2^{k-1}$ 的簇成员,其簇头将用 $N - 2^{k-1}$ 时隙来收集数据,并用另 $N - 2^{k-1} + 1$ 的时隙来预处理数据并传送给FC。因此,该网络结构的总持续时间 $T(N)$ 为:

$$T(N) = 2^{k-1} - 1 + N - 2^{k-1} = N = T(N)_{\max} \quad (9)$$

一般而言, $T(N)$ 是由 r 的值和第 k 个簇的大小所决定。只有当第 $k-1$ 个簇完成融合后,第 k 个簇才与FC进行通信,则式(9)可以表示为,其中,符号 $\lceil \cdot \rceil$ 表示向上取整,下文同。

$$T(N) = \lceil \max\{T'(2^{k-1} - 1), N - 2^{k-1}\} \rceil + \left[r^{N-2^{k-1}} + \sum_{j=1}^{N-2^{k-1}} r^j \right] \quad (10)$$

其中, $T'(2^{k-1} - 1)$ 是由第 $k-1$ 个簇聚集来自其簇成员的数据并把融合后数据发送给FC所用的总时间。注意到由于所有的 $k-1$ 个簇是完全填充的,则 $T'(2^{k-1} - 1)$ 又可表示为:

$$T'(2^{k-1}) = T'(m_{k-1}^{k-1}) = m_{k-1} - 1 + \left[r^{m_{k-1}^{k-1}-1} + \sum_{j=1}^{m_{k-1}^{k-1}-1} r^j \right] \quad (11)$$

对于LEACH网络结构,选取总节点的 $p\%$ 成为簇头,则对于有 N 个节点的网络,有 $\lceil N \times P \rceil$ 个节点被选为簇头。为了确保网络至少有一个簇头,若 $\lceil N \times P \rceil < 1$,则有1个节点被选为簇头,簇头的数目可表示为:

$$C(N) = \max\{\lceil N \times P \rceil, 1\} \quad (12)$$

剩余的节点将自己与最近的簇头相关联。因此,当所有的剩余节点与同一个簇头相关联时是最糟糕的情况。若 $r = 1$,则所构建的最大簇的簇头将利用 $N - C(N)$ 的时隙聚集数据从其簇成员中,并利用

$N - C(N) + 1$ 个时隙与FC通信。注意,只有当其他 $C(N)$ 个簇头完成了通信后该情况下的簇头才能与FC进行通信。因此,对于LEACH网络,其 $T(N)$ 的上界为:

$$T(N)_{\max} = \max\{C(N) - 1, N - C(N)\} + (N - C(N)) + 1 \quad (13)$$

在正常情况下, $p \leq 5\%$, $C(N) \leq N/2$,则式(13)可表示为:

$$T(N)_{\max} = 2N - 2C(N) + 1 > N \quad (14)$$

一般地,式(14)是由 $C(N)$ 簇的大小所决定。 C_i 为在第 i 个簇的簇成员的数目,不失一般性,记 $C_1 \leq C_2 \leq \dots \leq C_{C(N)}$ 。只有当第一个 $i-1$ 个簇完成与FC的数据传送、第 i 个簇的簇头已经聚集其簇成员的数据后,第 i 个簇才可与FC进行通信,因此,式(14)又可表示为:

$$T(N) = t_{C(N)} \quad (15)$$

其中:

$$t_i = \lceil \max\{t_{i-1}, C_i\} \rceil + \left[r^{C_i} + \sum_{j=1}^{C_i} r^j \right], t_0 = 0 \quad (16)$$

对于DADCNS网络结构,其每个节点被分配了一个等级,在完全充满节点的簇中,等级是 v 的节点将被连接到一个等级大于 v 的父节点,并连接到同级别的从1到 $v-1$ 的子节点。这样的条件使之对第 i 个簇的簇头(CH)的等级为 i ,其中, $i \leq k$ 。则对于一个完全填充簇, $r = 1$,则等级为 v ($v > 1$)的节点从它的所有等级为 $v-1$ 的子节点收集数据信息所消耗时间为:

$$t(v) = \sum_{i=1}^{v-1} 2^{i-1} = 2^{v-1} - 1 \quad (17)$$

这样的节点将用 $t(v) + 1$ 个时隙转发融合数据到它的父节点,则等级为 v 的节点收集和转发数据所花费的总时间为:

$$t(v) + t(v) + 1 = (2^{v-1} - 1) + (2^{v-1} - 1) + 1 = 2^v - 1 = t(v+1) \quad (18)$$

这表明当簇被完全填满时,则第 $i-1$ 个簇的簇头将完成其与FC的通信在第 i 个簇的簇头在与FC建立连接之前。这也意味着, $T(N)$ 仅受最大的簇(即第 k 个簇)的网络的影响。由式(17)、式(18)可知,对于有 k 个完全充满簇的网络,其 $T(N)$ 可表示为:

$$T(N) = 2t(k) + 1 = 2^k - 1 \quad (19)$$

在文献[2]中,DADCNS可以使用自底向上的方法形成多个簇。自底向上方法的基本思想是,连接大小相同的子群集组合成复合群。对于具有 $N \neq 2^k - 1$ 网络,自底向上的方法往往会先形成大簇,留下小簇为空。因此,延迟函数 $T(N)$ 是由最大簇的大

小所决定。考虑有 $2^{k-1} - 1 \leq N \leq 2^k - 1$ 节点的网络, 其对应的 $T(N)$ 表示为:

$$T(N) = \sum_{j=1}^k [(2r)^j] \quad (20)$$

(2) 能耗分析

在无线传感器节点中大部分能量是由它的收发信机模块所消耗。假设传输大小为 α 的数据包所消耗的能量为 e_{TX} , 并设接收大小为 α 数据的所消耗的能量为 e_{RX} [9]。简单起见, 本节由通信开销和数据融合过程中的能量消耗不考虑。

对提出的网络结构 DANSDF, 具有 $2^{k-1} - 1 \leq N \leq 2^k - 1$ 传感器节点的无线网络被构建成 k 个簇, 第 i ($1 < i < k$) 个簇具有 $m_i - 1$ 个簇成员, 则 k 个簇将有 $m'_k = N - 1 - \sum_{i=1}^{k-1} m_i$ 个簇成员, 当 $r=1$ 时, 所提出的网络在数据收集过程中所消耗的能量 E 为:

$$E = \sum_{i=2}^{k-1} \sum_{j=1}^{m_i-1} [e_{TX}(d_{CMj_Chi}) + e_{RX}] + \sum_{j=1}^{m'_k-1} [e_{TX}(d_{CMj_Chk}) + e_{RX}] + \sum_{i=1}^{k-1} m_i e_{TX}(d_{Cij_FC}) + m'_k e_{TX}(d_{Chk_FC}) \quad (21)$$

其中, d_{CMj_Chi} 是在第 i 个簇中第 j 个簇成员到其簇头的距离。 d_{Chk_FC} 是第 i 个簇的簇头到 FC 的距离。式(21)中前 2 项是簇内通信所消耗能量, 后 2 项是簇头和 FC 通信所消耗能量。

而 E (即 $\hat{E}$) 的上限可以用设置所有 e_{TX} 的最大值来估计。则式(21)即消耗的能量又可以表示为:

$$\hat{E} = \sum_{i=2}^{k-1} (m_i - 1) [\hat{e}_{TX} + e_{RX}] + (m'_k - 1) \cdot [\hat{e}_{TX} + e_{RX}] + \sum_{i=1}^{k-1} m_i \hat{e}_{TX} + m'_k \hat{e}_{TX} \quad (22)$$

一般地, 式(22)也可以被表示为:

$$\hat{E} = \sum_{i=2}^{k-1} (m_i - 1) [\hat{e}_{TX} + e_{RX}] + (m'_k - 1) \cdot [\hat{e}_{TX} + e_{RX}] + \sum_{i=1}^{k-1} [(r^{m_i-1} + \sum_{j=1}^{m_i-1} r^j) \hat{e}_{TX}] + (r^{m'_k-1} + \sum_{j=1}^{m'_k-1} r^j) \hat{e}_{TX} \quad (23)$$

对于 LEACH 网络, 传感器节点可被组建成 $C(N)$ 个簇, 假定簇 i 有 C_i 个簇成员, 则对于有 N 个节点的 LEACH 网络消耗的能量为:

$$E = \sum_{i=1}^{C(N)} \sum_{j=1}^{C_i} [e_{TX}(d_{CMj_Chi}) + e_{RX}] + \sum_{i=1}^{C(N)} (C_i + 1) e_{TX}(d_{Chi_FC}) \quad (24)$$

类似于式(22)的思想, E 也可被表示为:

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^{C(N)} C_i [\hat{e}_{TX} + e_{RX}] + \sum_{i=1}^{C(N)} [(r^{C_i} + \sum_{j=1}^{C_i} r^j) \hat{e}_{TX}] \quad (25)$$

对于构建的自下而上方法的 DADCNS 网络, 对于有 $N=2^k - 1$ 节点的网络, 共形成 k 个簇, 第 i 个簇所容纳的最大 $2^i - 1$ 个节点, 则对于 $2^{k-1} - 1 < N \leq 2^k - 1$, 只有 k 个簇存在。用 b_i 表示第 i 个簇是否存在, 如:

$$b_i = \begin{cases} 1 & \text{第 } i \text{ 个簇存在} \\ 0 & \text{第 } i \text{ 个簇不存在} \end{cases} \quad (26)$$

则对于第 i 个簇, 发射器 n_{TXi} 所传输数据的总量为:

$$n_{TXi} = \begin{cases} (2r)^{i-1} + \sum_{j=1}^{i-1} n_{TXj} & i \geq 2 \\ 1 & i = 1 \end{cases} \quad (27)$$

同样, 接收器 n_{RXi} 所接收数据总量为:

$$n_{RXi} = \{2r(n_{RXi-1}) + 2^{i-2} \quad i \geq 2\} \quad (28)$$

由式(22)、式(27)、式(28), 该结构的能量消耗可以被表示为:

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^k b_i (n_{TXi} \hat{e}_{TX} + n_{RXi} e_{RX}) \quad (29)$$

对于提出的 DANSDF 网络结构, 为了减少其在数据聚集过程的能量消耗, 应尽量减少网络结构的通信距离, 则对其结构进行了进一步优化, 优化过程如下:

1) 假定有 $2^{k-1} - 1 \leq N \leq 2^k - 1$ 个传感器节点的网络, 按照节点所剩余能量 E_{res} 递减顺序进行节点顺序排列, 并把节点放在集合 $S = \{s_1 s_2 \dots s_N\}$, 则其能量有 $E_{res}(s_2) \geq E_{res}(s_3) \geq \dots \geq E_{res}(s_N)$ 。

2) 在集合 S 中选择 k 个元素作为网络的簇头节点。

3) 簇头和簇成员之间的通信距离用二进制整数编程进行优化:

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{j=k+1}^N x_{ij} d_{i,j}^2 \quad (30)$$

约束条件为:

$$\sum_{j=1}^k x_{ij} = 1, \forall i \in [k+1, 2, \dots, N] \quad (31)$$

$$\sum_{i=k+1}^N x_{ij} = m_{k-j+1} - 1, \forall j \in [2, 3, \dots, k-1] \quad (32)$$

$$\sum_{i=k+1}^N x_{ik} \leq m_k \quad (33)$$

其中, $d_{i,j}$ 是节点 s_i 和 s_j 之间的距离; $x_{i,j}$ 是节点 s_i 和 s_j 之间是否有关联的标志。簇头节点负责从其相关的簇成员中收集数据, 收集到的数据进行数据融合和预处理后传送到 FC。则簇头节点消耗的能量要

比其他成员节点高,因此,在优化过程中的第 2 步骤是分配具有较高剩余能量节点作为簇头。最后一个步骤的目的是最大限度地减少簇头和 CM 之间的通信距离。约束式(31),是为了确保一个簇成员仅与一个且仅一个簇头通信。约束式(32)和式(33)的引入,使得第 k 个簇是最后一个要被完全填充簇成员的簇。

5 能耗仿真模型

仿真能耗模型是基于文献[10]提出的能耗模型进行修改。该模型考虑了系统开销和数据处理所消耗能量,第 3 节的简化模型。一般来说,无线传感器节点可以被视为一个有三大模块的设备,即传感器模块、计算和通信模块^[10]。

根据传感器节点的操作模式,其中的每个模块将消耗不同的能量。在空闲模式下,一个节点将所有模块进入空闲模式。节点的能量消耗在空闲模式 E_i :

$$E_i = \tau_i \nu_{cc} (i_{comm_d} + i_{comp_d} + i_{sen_d}) \quad (34)$$

其中, τ_i 为空闲模式的持续时间; ν_{cc} 为供应电压; i_{comm_d} , i_{comp_d} , i_{sen_d} 分别为节点断电状态下的通信、计算和传感器模块的电流状态。

在传输模式下,节点转为通信和计算模块。假设一个数据包长为 α bit,收发器操作在 β bit/s 的数据速率,无线传感器节点将用 $\tau_t = \alpha/\beta$ 个时隙传输一个数据包。每个节点都有一个有限的输出功率级别 h ,在传输模式下节点 h 级别的能耗的输出功率 $E_t(h)$,表示为:

$$E_t(h) = E_{t_oh}(h) + \tau_t \nu_{cc} (i_{comm_t}(h) + i_{comp_a} + i_{sen_d}) \quad (35)$$

其中, $E_{t_oh}(h)$ 为节点空闲和活跃模式之间进行切换时的通信和计算模块的总消耗。 $i_{comm_t}(h)$ 是通信传输时的输出功率在 h 级别的电流, i_{comp_a} 是节点活跃状态下计算模块的电流。

另一方面,父节点从一个子节点收到的一个数据包所消耗能量为 E_r ,如下表示:

$$E_r = E_{r_oh} + \tau_r \nu_{cc} (i_{comm_r} + i_{comp_a} + i_{sen_d}) \quad (36)$$

其中, E_{r_oh} 为节点空闲和活跃模式之间切换的通信和计算模块总能耗; i_{comm_r} 是节点通信模块,以及监视信道的电流。

父节点融合 a bit 长的数据需要 τ_p 秒,其对应的能耗为 E_p ,可表示为:

$$E_p = E_{p_oh} + \tau_p \nu_{cc} (i_{tr_d} + i_{mcu_a} + i_{sen_d}) \quad (37)$$

其中, E_{p_oh} 为节点空闲和活跃模式之间进行切换的计算模块的总能耗。参数的数选择是基于文献[11-12]的 MicaZ 节点的选择,节点数据是基于 CC2430 作为发射器以及 ATmega128L 作为控制器所测得,仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数值

参数名称	参数值	参数名称	参数值
网络区域/m ²	100 × 100	$i_{comm_t}(4)/A$	12.5×10^{-6}
节点数目 N	3 ~ 100	$i_{comm_t}(5)/A$	13.9×10^{-6}
供电电压 v_{cc}/V	3	i_{comm_r}/A	18.8×10^{-6}
数据包长度 α/bit	1 024	i_{comp_a}/A	8×10^{-6}
数据率 $\beta/(Kb \cdot s^{-1})$	250	$E_{t_OH}(1)/J$	0.293×10^{-4}
$\tau_r - \tau_t/m$	4.0	$E_{t_OH}(2)/J$	0.297×10^{-4}
i_{comm_d}/A	2×10^{-5}	$E_{t_OH}(3)/J$	0.301×10^{-4}
i_{comp_d}/A	3×10^{-7}	$E_{t_OH}(4)/J$	0.304×10^{-4}
i_{sen_d}	0	$E_{t_OH}(5)/J$	0.308×10^{-4}
$i_{comm_t}(1)/A$	8.5×10^{-6}	E_{r_OH}/J	0.322×10^{-6}
$i_{comm_t}(2)/A$	9.9×10^{-6}	E_{p_OH}/J	0.261×10^{-6}
$i_{comm_t}(3)/A$	11.2×10^{-6}	τ_p/ms	$6.5 \times \alpha'/\alpha$

6 仿真性能分析

该模拟是基于 Matlab 进行仿真。在每次模拟中,将 $N = 3$ 个 ~ 99 个传感器节点随机分布在 $100 m \times 100 m$ 的传感器领域。传感中心在 $(50 m, 50 m)$ 。融合中心是在 $(50 m, -100 m)$ 的位置,每个传感器节点被赋予随机剩余能量。实验参数见表 1。

为了研究数据融合的影响到网络性能,对基于能量消耗和数据聚合过程的持续时间的网络进行了模拟,在 r 不同的情况下进行了模拟。DADCNS 网络利用自底向上的发法把网络组建成具有多个多层的簇结构。根据文献[4],LEACH 网络中簇头节点的数目是总节点的 5%。所有的仿真结果是 100 次模拟所得到的平均值,结果仿真如图 4 ~ 图 7 所示。

如图 4 所示,当 $r = 1$ 时,所提出的 DANSDF 网络结构在数据聚合过程中具有最低的延时,即使随着节点的增加,其延时仍低于 LEACH 和 DADCNS 网络结构。

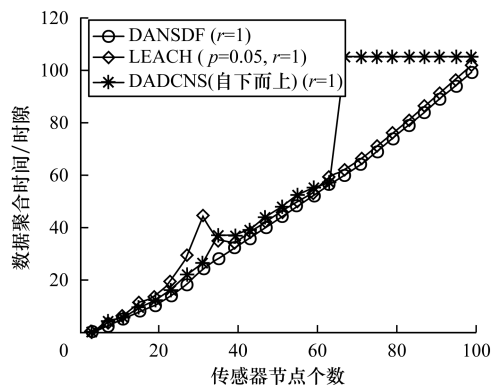


图 4 $r = 1$ 时 3 种不同网络结构数据聚合时间比较

如图 5 所示,当 $r = 0.75$ 时,在节点个数少于 60 的情况下,提出的 DANSDF 网络结构在数据聚合过程中仍具有较低的延时,但随着节点数增加,DANSDF 由于要构建的簇的大小比较大,则其耗时会有所增加,但是和另 2 种结构延时差别也不大。

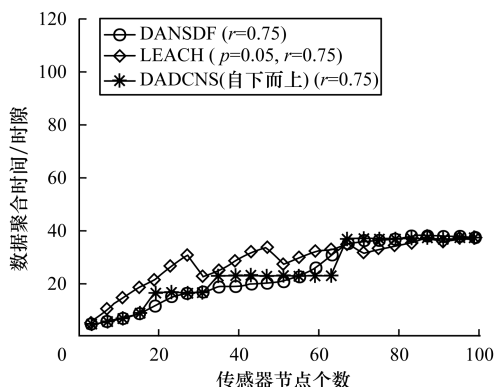


图5 $r=0.75$ 时3种网络结构数据聚合时间比较

图4、图5仿真说明了提出的DANSDF网络结构特别适用于数据融合所传出数据没有产生任何减小小时的情况。

如图6所示,在一个数据聚合过程中,当 $r=1$ 时,所提出的DANSDF网络结构在数据聚合过程中总能耗基本是最低的,由于其分簇结构与LEACH类似,即两者都是单个簇结构,且无数据聚合,则两者的总能耗基本保持一致,而DADCNS网络结构由于存在多跳结构,其能耗比较高。

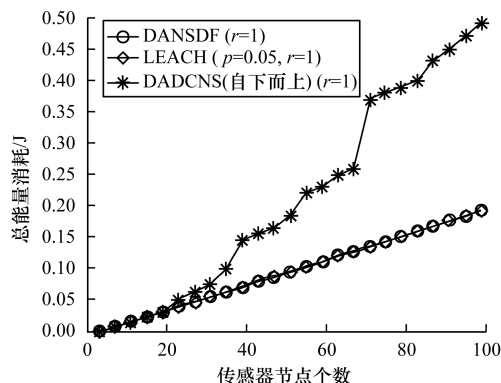


图6 $r=1$ 时3种网络结构总能耗比较

如图7所示,在一个数据聚合过程中,当 $r=0.75$ 时,提出的DANSDF网络结构在数据聚合过程中总能耗是最低的,甚至比LEACH的还要低一些,即使随着节点数量的增加。

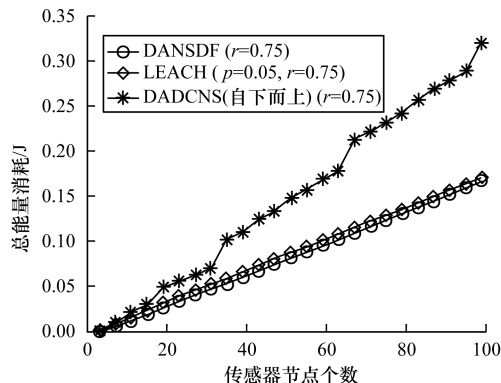


图7 $r=0.75$ 时3种网络结构总能耗比较

图5、图7仿真说明了即使当网络的数据融合传

出数据发生减小时($r=0.75$),在时延方面,当传感器节点少于60的情况下,提出的DANSDF时延要比DADCNS和LEACH低;能耗方面,DANSDF的能耗要优于DADCNS和LEACH结构。

7 结束语

本文提出一种基于网络数据融合的延迟感知网络结构(DANSDF),该网络结构把传感器节点构建为多个单层的簇结构。簇的大小经过精心设计,使得其相应的簇头可以以交错的方式和融合中心进行通信,从而降低数据聚集过程的持续时间。仿真结果表明,当网络数据融合所输出数据没有减小时,该网络结构的性能比LEACH和DADCNS更高。

参考文献

- [1] 王亚辉,刘云.基于分布式无线传感网中最优量化及能量分配方案的研究[J].东北师大学报:自然科学版,2013,45(1):79-83.
- [2] Cheng C T, Tse C K, Lau F C M. A Delay-aware Data Collection Network Structure for Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11(3): 699-710.
- [3] Ma Y, Guo Y, Tian X, et al. Distributed Clustering-based Aggregation Algorithm for Spatial Correlated Sensor Networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11(3): 641-648.
- [4] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An application-specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[J]. IEEE Transactions Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [5] 于广州. WSN中面向数据收集的网络拓扑构造算法[J]. 计算机工程, 2014, 40(4): 64-70.
- [6] Joo C, Choi J G, Shroff N B. Delay Performance of Scheduling with Data Aggregation in Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2010: 1-9.
- [7] Patterson G, Mehmet-Ali M. Modeling of Data Reduction in Wireless Sensor Network[J]. Wireless Sensor Network, 2011, 3(8): 283-294.
- [8] Li Y, Ramakrishna M, Loke S. An Optimal Distribution of Data Reduction in Sensor Networks with Hierarchical Caching[C]//Proceedings of International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2007: 598-609.
- [9] Wang Q, Hempstead M, Yang W. A Realistic Power Consumption Model for Wireless Sensor Network Devices[C]//Proceedings of the 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad hoc Network. Reston, USA: IEEE Press, 2006: 286-295.
- [10] Cheng C T, Tse C K, Lau F C M. An Energy-aware Scheduling Scheme for Wireless Sensor Network[J]. IEEE Transactions Vehicular Technology, 2010, 59(7): 3427-3444.
- [11] Crossbow Technology, Inc.. MICAz Wireless Measurement System[EB/OL]. (2009-08-01). <http://www.xbow.com/>.
- [12] Texas Instruments Inc.. CC2420. 4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee-Ready RF Transceiver[EB/OL]. (2010-10-09). <http://www.focus.ti.com>.

编辑 索书志