

一种无线传感器网络动态成簇数据融合算法^①

李 敏, 罗 挺, 周 俊

(解放军后勤工程学院 后勤信息工程系, 重庆 401311)

摘 要: 针对无线传感器网络应用于突发事件的场合, 提出一种基于事件驱动的动态成簇数据融合算法。在综合考虑事件严重程度及节点剩余能量等因素的基础上, 算法选择刺激强度大且剩余能量多的节点担当簇头。簇头节点通过广播成簇消息实现动态成簇, 并动态调整每一轮数据融合延迟时间, 提高了数据融合效率。仿真实验结果表明, 与 TEEN 协议相比, 该算法具有较低的节点平均能耗和较佳的网络数据融合延迟时间。

关键词: 无线传感器网络; 数据融合; 事件驱动; 动态成簇

Data Fusion Algorithm for Dynamic Clustering of Wireless Sensor Network

LI Min, LUO Ting, ZHOU Jun

(Department of Logistic Information Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China)

Abstract: In view of the wireless sensor network used for emergency situations, this article presents a dynamic clustering based on event-driven dynamic clustering data fusion algorithm. On the basis of considering the severity of the incident and the residual energy, the algorithm chosen stimulus intensity and number of nodes remaining energy cluster-head play. Cluster-head node cluster by broadcasting a message of dynamic clusters, and dynamically adjust the delay time of each round of data fusion, data fusion to improve efficiency. Simulation results show that compared with the TEEN protocol, this algorithm has a lower average energy consumption of nodes and a better integration of network data latency.

Key words: WSN; data fusion; event-driven; dynamic cluster

无线传感器网络^[1] (wireless sensor network, WSN) 的基本功能就是协作地实时收集并返回其传感器节点所在监测区域内各种环境或目标的信息。首先, WSN 的传感器节点存在电池能量、存储容量、处理能力以及通信带宽等几个方面的资源限制; 其次, 大量传感器节点密集部署导致采集到的数据存在大量冗余。因此, 为了避免浪费能量、提高准确信息收集的效率以及延长网络生命周期, 需要借助数据融合 (data fusion) 技术对多个节点传感数据进行处理, 删除冗余、无效和可信度差的数据, 组合出更有效、更符合用户需求的数据。

1 引言

WSN 的一个重要应用就是监测突发事件, 而事件

监测的一个重要特点就是事件驱动 (event-driven), 即 WSN 受到事件的发生和变化, 能自主感知周围环境的变化, 主动获取信息, 并接受有关数据, 选择合适的融合方法进行数据融合并传送数据。此外, 由于 WSN 具有动态拓扑结构、节点随机部署等特点, 数据融合算法应具有自适应行为, 动态调整每一轮参数, 有助于节省能量和提高采集数据的准确率。本文主要针对 WSN 在以上数据融合中所面临的一些挑战, 提出了一种基于事件驱动的动态成簇数据融合 (EDDC) 算法。

2 相关工作

目前, 针对 WSN 在数据融合方面的研究还处在起步阶段, 大部分数据融合算法都是结合路由方式来实现, 最为经典的如 LEACH^[2]、TEEN^[3]、PEGASIS^[4]、

①收稿时间:2010-11-07;收到修改稿时间:2010-12-19

高阶算法^[5]等，它们都是使用分簇方法来实现数据的融合。其中 LEACH 算法仅强调了数据融合的重要性，并未给出具体的融合方法。而 TEEN 是对 LEACH 的一种改进，被应用于事件驱动型无线传感器网络，它是利用阈值的设置通过缓存机制抑制不需要转发的数据。PEGASIS 及高阶算法则是对 LEACH 的融合方式进行了改进，要求中间节点在传递数据前执行融合操作，最终由簇头节点将融合数据传送给 Sink 节点。DCRR^[6]算法采用人体神经元结构，以数据为中心进行分簇来实现数据的融合。KMDBA^[7]算法基于分簇结构以避免冗余、无效数据直接传送到 Sink 节点，影响簇成员和簇头节点之间的数据融合。SRDA^[8]算法通过节点比较采集数据与原始数据之间变化，确定其数据变化量并传送到 Sink 节点。SIA^[9]算法中使用了求最大值、最小值以及求和运算等功能函数来实现数据融合，并将融合结果传送给 Sink 节点。上述文献都没有充分考虑到事件驱动型网络的特征，如突发事件的位置、影响程度以及区域内节点的数据冗余、能耗等。

另外，在突发事件区域内的节点动态成簇后，如何调整最佳的数据融合延迟时间也是本文算法应考虑的一个重要因素。LEACH^[2]、SCT^[10]等协议中规定所有节点拥有相同的等待时间，以接收所有融合数据，该方法是以牺牲网络延迟为代价来换取较少的能量消耗。Yuan^[11]等人提出了可控的多层融合定时机制，融合等待时间取决于节点到 Sink 节点的距离，并通过 Sink 节点发布消息调整各个节点的延迟时间。Wang^[12]等人提出了实时数据融合树算法，它是基于分组敏感来实现的，路径选择采用了延迟限制和低能量消耗方法。上述参考文献都没有考虑对网络融合时延进行优化以确定最佳的融合延迟时间。

3 算法描述

表 1 节点名称、定义及用途

名称	定义	用途
私有阈值 (IT)	引起节点兴奋或传送监测数据 D 的最小变化量	衡量监测数据 D 的变化量
刺激强度 (EI)	表示节点所受刺激的大小，即 $EI = D - IT $	衡量事件发生的严重程度
幅度阈值 (BT)	$ D - IT > BT$ 时，节点进入新一轮的数据发送过程。	动态调整簇成员节点发送数据的频率
抑制状态	节点采用“倾听/休眠”交替的无线信道使用策略	降低能耗
兴奋状态	节点受到阈(IT)上刺激后的状态	唤醒节点
活动状态	节点收到成簇消息并加入某个簇的状态	开始进行数据感知、传送或融合

首先介绍算法中节点的相关名称、定义及用途，如表 1 所示。

假设 N 个无线传感器节点（静态）随机的部署在事件发生区域内，并且在事件发生后，事件区域内的所有节点均会被触发并动态成簇，簇内处于活动状态的传感器节点采用多跳方式传送数据，整个网络采用簇—树相结合的拓扑结构，树上的每个中间节点都对收到的数据进行融合处理，簇头对其簇成员发送的数据进行融合操作。其动态成簇数据融合算法描述如下：

1) 初始化网络节点。网络配置完成后，所有节点都处于抑制状态。节点通过定位算法^[13]从虚拟锚节点获取自身的位置信息，并通过简单的信息交换获得邻居节点位置及其到 Sink 节点距离等信息。

2) 选择簇头节点。由于簇头节点不仅要广播建簇和收集簇内成员信息，而且还要进行数据融合等处理，能量消耗远远大于簇内成员节点。因此，当某监测区域发生事件时，应优先选择剩余能量多的节点来担任簇头^[14]。假设 N 个节点由抑制状态进入兴奋状态的同时，其内置的计时器被激活并开始计时，计时时间 $T_i (i \leq N)$ 与所受刺激强度和当前剩余能量成反比， T_i 越短，节点成为簇头的可能性就越大，如式(1)所示：

$$T_i = \frac{\alpha}{EI} + \frac{\beta}{E_{rest(i)}}, i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

其中， α 、 β 分别代表刺激系数和能量系数，可根据不同的应用场合而具体设定，EI 表示刺激强度，即节点所受刺激的大小，反映了事件发生的严重程度。 $E_{rest(i)}$ 表示节点当前的剩余能量。 T_i 到后，节点 i 就转变为簇头。

3) 广播成簇信息。剩余能量越多，刺激越大的节点成为簇头后，它以簇头身份广播成簇信息，并计算成簇消息广播的跳数 k ($k > 0$)。广播数据包由簇头 ID、剩余能量、传输跳数 k 等字段组成。处于兴奋状态的节点收到簇头消息后，加入该簇并进入活动状态。如果 $k-1 > 0$ ，节点修改 k 值并转发该消息。如果簇头 ID 的值与上次收到的一样，即表示是同一个成簇消息，则予以丢弃。对于已经处于活动状态的节点接收到不同簇头发送的成簇信息后，将根据自身的剩余能量、刺激强度以及跳数 k 等参数综合考虑决定加入那个簇。

4) 避免冗余成簇。为了保证各个簇在事件区域内均匀分布，避免冗余成簇。算法规定已经成为簇头的节点受到新的刺激时，不能再次进入兴奋状态，且簇内成

员也能因为受到新的刺激而成为它簇的簇头。当簇头和簇成员节点确定后,簇内节点的计时器全部清零。

5) 确定融合延迟时间。为了使数据融合更加准确、有效,要求簇成员节点延迟一段时间以收集更多的数据进行融合。如果从事件区域内收集的数据超过了最大延迟时间,则认为信息是无效;但如果延迟时间过短,簇成员节点收集的数据过少,则认为融合后信息不准确。因此,有必要在簇内确定一个合适的融合延迟时间,并能合理的分配到各个簇成员节点上,使数据融合达到最佳效果。

首先,簇头节点将最大延迟时间信息存入 Data Request 数据包中,并在簇内发送 DataRequest 数据包。簇成员节点收到 DataRequest 后,获得包中最大延迟时间信息和跳数 k ,并在此最大延迟时间的基础上除去一定的传输和处理时间作为本节点的延迟时间。在确定本节点的延迟时间后,如果 $k-1>0$,节点修改 k 值并转发该延迟时间。这样,随着 DataRequest 数据包在簇内沿树状网络结构传递,延迟时间将被分配到各个融合节点上;然后,各个簇成员节点获得自己的延迟时间后,开始接收 DataResponse 数据包并存放在本节点的缓存中,将所有从子节点接收到 DataResponse 数据包与自身采集到的数据进行融合处理;接着,通过缓存机制抑制不需要转发的数据,并将处理后的结果存放到新的 DataResponse 数据包中,向上一级节点开始转发,直到融合延迟时间结束为止;最后,所有经过融合处理后的数据均汇集到簇头节点,并传送到 Sink 节点。

对于簇内某融合节点 i ,融合延迟时间^[15]定义为从等待数据开始到融合结束所经历的时间,该融合延迟时间 $wt(i)$ 可由式(2)定义,簇内总的融合延迟时间 WT_p 可由式(3)定义:

$$wt(i) = \delta \frac{T_i \times d_i}{k_i} \quad (\delta > 0, i \in M) \quad (2)$$

$$WT_p = \sum_{i=1}^k wt(i) \quad (3)$$

其中, K_i 表示从节点 i 到簇头的跳数, T_i 表示节点 i 的计时时间, d_i 表示节点 i 的度,即节点 i 作为融合节点或转发点,为了确保数据的完整性和有效性,衡量融合延迟时间大小的参数。 δ 表示融合延迟时间系数, M 表示簇内成员节点个数。

6) 动态调整融合延迟时间。簇头节点会根据本轮融合接收到的 DataResponse 数据包的数目来动态调整

下一轮簇内数据融合延迟时间^[16],簇成员节点根据所受刺激程度大小是否超过 BT 值来确定下一轮的数据发送,可由式(4)定义为:

$$WT_{p+1} = WT_p + \xi(R_{opt} - R_{res}) \quad (\xi > 0) \quad (4)$$

其中, WT_p 表示本轮数据融合延迟时间, WT_{p+1} 表示下一轮数据融合延迟时间, R_{opt} 表示最佳 Data Response 数据包数目,它取决于应用层数据特性。 R_{res} 表示本轮接收到的 DataResponse 数据包数目, ξ 表示调整因子,它对延迟时间收敛性产生影响。如果 $R_{opt} < R_{res}$,表示簇头接收到的 DataResponse 数据包大于最佳数据包,意味着本轮设定的数据融合延迟时间过长,簇头将会减少下一轮的延迟时间,以增强融合数据的时效性;反之亦然,增强融合数据的准确性。

4 仿真实验及分析

为了验证算法的有效性,本节用 NS-2.2 网络模拟器对本算法和同样适用于事件驱动的 TEEN 协议进行仿真,从节点平均能耗和存活数量两个方面进行性能对比。仿真实验参数初始化设置如表 2 所示:

表 2 参数初始化设置

参数	值
监控区域	200m×200m
节点个数	100
节点初始能量	2J
IT	10
BT	2
簇头数所占比例	5%
初始延迟时间	100s
R_{opt}	10
$\alpha = \beta = \delta = \xi$	1
E_{dec}°	50nJ/bit
ϵ_{amp}°	100pJ/bit/m ²

◎ 表示采用与 TEEN 等协议相同的无线通信模式, E_{dec}° 表示节点接收或发送单位比特信息的功耗, ϵ_{amp}° 表示发送节点的功耗系数, E_{dec}° 、 ϵ_{amp}° 均取标准值。

1) 节点平均能耗

图 1 显示了仿真时间为 1000s 时 EDDC 算法和 TEEN 协议的平均能量消耗情况。可以看出,当仿真时间在 400s 之前,EDDC 算法和 TEEN 协议在平均能耗上相差不大,但当仿真时间达到 400s 时,EDDC 算法在平均能耗方面性能明显优于 TEEN 协议。因此,当某一事件发生时,随着时间的推移,在总体上,EDDC 算法的平均能耗明显低于 TEEN 协议。这是因为 TEEN 协议中事件与动态成簇关联不大,簇头选择是随机产生。而 EDDC 算法是事件区域内的节点受到

刺激后动态成簇,簇头往往选择能量多的节点担任,其余未成簇的节点则继续处于抑制状态,从而降低节点能耗。另外,在事件结束后,EDDC算法中的各个簇将会自动释放,从而节点平均能耗也将会大大降低。

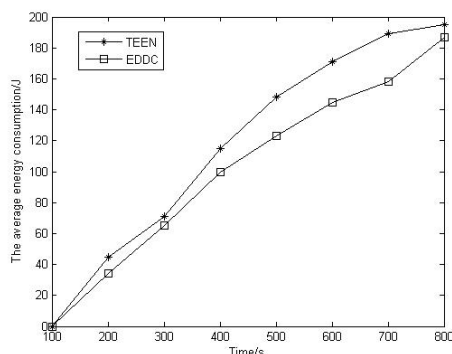
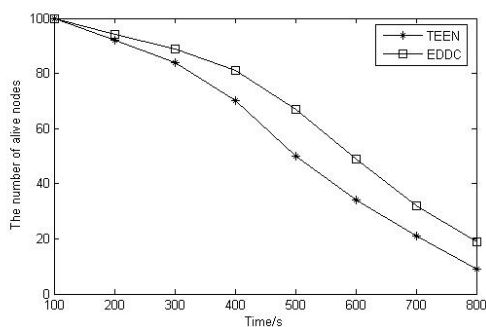


图1 平均能量消耗比较

2) 节点存活数量

图2显示了EDDC算法和TEEN协议随着动态调整融合延迟时间而节点存活数量变化的情况。可以看出,EDDC算法的性能明显高于TEEN协议。这是因为随着仿真时间的推移,EDDC算法中的簇头节点每一轮都会动态调整融合延迟时间,以达到最佳融合延迟并将延迟时间合理地分配到各个融合节点上,从而使各个簇成员节点拥有合理的时间融合其它节点的数据。另外,TEEN协议中所有簇成员节点皆以单跳的方式发送数据到簇头,而EDDC算法则是采用簇-树相结合的网络拓扑结构,采用多跳方式发送数据到簇头,从而更大的延长节点存活时间,增加节点的存活数量。



5 结语

本文通过对基于事件驱动型WSN的特征认识,主要从网络动态成簇和数据融合延迟时间两个方面综合考虑,提出了一种新的数据融合算法,即EDDC算

法。该算法根据节点所受刺激程度大小和剩余能量多少选择簇头,簇头利用广播成簇信息实现事件区域内兴奋节点的自组织动态成簇。成簇后,簇头根据接收到的DataResponse数据包数量,动态调整数据融合延迟时间,从而有效的降低节点平均能耗和提高节点存活数量。仿真实验结果表明,相比于TEEN协议,本算法能使节点具有较低的能量消耗,使网络具有最佳的数据融合延迟时间。在以后的工作中,将进一步完善和优化本算法的数据融合延迟时间,以平衡数据的实效性和准确性。

参考文献

- 1 孙利民,李建中.无线传感器网络.北京:清华大学出版社,2005.4.
- 2 Heinzelman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. Proc. of the 33rd Hawaii Int'l Conf on System Sciences (HICSS'00), 2000. 1-10.
- 3 Manjeshwar A, Agrawal DP. TEEN:A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks. Proc. of the 15th Int'l Parallel and Distributed Processing Symp (IPDPS'01). San Francisco, CA, April 2001.
- 4 Lindsey S, Raghavendra CS. PEGASIS: Power efficient gathering in sensor information systems. Proc. of the IEEE Aerospace Conference. 2002.
- 5 Lindsey S, Raghavendra CS, Sivalingam KM. Data gathering in sensor networks using the energy delay metric. Proc. of the 15th Int'l Parallel and Distributed Processing Symp (IPDPS'01). San Francisco, CA, April 2001.
- 6 Guo B, Li Z, Meng Y. A Dynamic-Clustering Reactive Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks. Communications and Networking in China, 2006. China Com'06. First International Conference on Oct. 2006.1-6.
- 7 Dhar S. Energy Aware Topology Control Protocols for Wireless Sensor Network. India: University of Calcutta, 2005.
- 8 Sanli HO, Ozdemir S, Cam H, et al. SRAD: Secure Reference-Based Data Aggregation Protocol for Wireless Sensor Networks. Proc. of IEEE VTC Fall 2004 Conference, New York: IEEE Society Press, 2004,7:4650-4654.
- 9 Chan HW, Perring A, Przydatek B, et al. SIA: Secure Inform-

(下转第25页)

部署的产品,其目标不仅仅在于能够精确识别各种黑客攻击,而且必须在不影响正常业务流量的前提下对攻击流量进行实时阻断,而不是在监测到恶意流量的同时或之后才发出告警。弥补了防火墙、入侵检测等产品的不足,为用户提供较全面的安全检测与防御。

3 结语

本系统是在响应国家“信息安全”产品产业化专项基金的要求下,旨在研发出一种能自动采取行动阻止攻击和入侵,这种分布式“分析与检测+集中控制+升级服务”技术架构的网络入侵防御系统弥补了当前 IPS 的不足。通过部署该入侵防御系统,同其他安全产品形成互补,形成深度防御体系,最大限度地保护企业和组织的网络安全。目前本系统已经通过国家发改委验收,并成功运行在 PowerSEC 高性能监控一体化网络安全平台上,实践证明该系统具有极大的研究价值、开发价值和市场前景。然而,入侵防御技术现在还处于不断完善过程,基于攻击技术和手段还在不断发展变化,仍然需要不断的改进,这样才能更有效地保护网络,这也正是我们后续的研究方向。

参考文献

- 1 Muk herjee B. Network intrusion detection. IEEE Networks, 2005,23(4):284-285.
- 2 华睿,李学桥.一种基于 Linux 的网络入侵检测系统.郑州轻工业学院学报(自然科学版),2005,1(1):44-46.
- 3 O'Neill LT. IDS vs. IPS Explained. May 29th, 2007. <http://www.networksecurityjournal.com/features/ids-vs-ips-052907/>
- 4 Huang K. An Approach To Generating Testing Traffic In Evaluating Network Intrusion Detection Systems. Proc. of Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI2004). July 2004, Orlando, USA.
- 5 秦拯,李娜,张大方,邹建军. Chi-square Distance 在协议异常检测中的应用. 湖南大学学报(自然科学版), 2005,32(4): 99-103.
- 6 秦拯,尹毅,等. 基于序列比对的攻击特征自动提取方法. 湖南大学学报(自然科学版), 2008,35(6):77-81.
- 7 邵颖佳,张大方,黄昆. 无线自组织网络中动态源路由协议的移动性分析. 计算机应用研究, 2007,24(9):212-213.
- 8 王结太,许家栋,于海勋. 分组敏感的无线传感器网络实时数据融合树算法. 传感技术学报, 2008,21(10):1760-1764.
- 9 李敏,罗挺,周俊. WSN 中基于虚拟锚节点的 AD 定位算法研究. 后勤工程学院学报, 2010,(6):45-49.
- 10 Zhu YJ, Vedantham R, Park SJ. A Scalable Correlation Aware Aggregation Strategy for Wireless Sensor Networks. Proc. of IEEE International Conference on Wireless Internet(WICON). Budapest, 2005.
- 11 Wei Y, Krishnamurthy SV, Tripathi SK. Synchronization of Multiple Levels of Data aggregation in Wireless Sensor Networks. Proc. of Global Telecommunications Conference. 2003.223-225.
- 12 王结太,许家栋,于海勋. 分组敏感的无线传感器网络实时数据融合树算法. 传感技术学报, 2008,21(10):1760-1764.
- 13 李敏,罗挺,周俊. WSN 中基于虚拟锚节点的 AD 定位算法研究. 后勤工程学院学报, 2010,(6):45-49.
- 14 王洋. 基于动态半径的事件驱动型无线传感器网络分簇融合算法. 电子测试, 2009,12(12):1-6.
- 15 袁凌云,王兴超,赵艳芳. 基于事件驱动和最小延迟融合路径的无线传感器网络突发事件监测研究. 传感技术学报, 2009,22(9):1312-1317.
- 16 雷昕,鄢楚平,徐海川. 无线传感器网络数据融合技术的研究与仿真. 计算机工程与设计, 2008,18(9):4669-4671.

(上接第 64 页)

ation Aggregation in Sensor Networks. Proc. of the first ACM Conference on Embedded Networked System, New York: ACM Press, 2003.255-265.

10 Zhu YJ, Vedantham R, Park SJ. A Scalable Correlation Aware Aggregation Strategy for Wireless Sensor Networks. Proc. of IEEE International Conference on Wireless Internet(WICON). Budapest, 2005.

11 Wei Y, Krishnamurthy SV, Tripathi SK. Synchronization of Multiple Levels of Data aggregation in Wireless Sensor Networks. Proc. of Global Telecommunications Conference. 2003.223-225.

12 王结太,许家栋,于海勋. 分组敏感的无线传感器网络实时数据融合树算法. 传感技术学报, 2008,21(10):1760-1764.

13 李敏,罗挺,周俊. WSN 中基于虚拟锚节点的 AD 定位算法研究. 后勤工程学院学报, 2010,(6):45-49.

14 王洋. 基于动态半径的事件驱动型无线传感器网络分簇融合算法. 电子测试, 2009,12(12):1-6.

15 袁凌云,王兴超,赵艳芳. 基于事件驱动和最小延迟融合路径的无线传感器网络突发事件监测研究. 传感技术学报, 2009,22(9):1312-1317.

16 雷昕,鄢楚平,徐海川. 无线传感器网络数据融合技术的研究与仿真. 计算机工程与设计, 2008,18(9):4669-4671.