

文章编号:1007-5321(2006)06-0098-05

无线传感器网络基于置信因子的数据分发机制

田 乐, 谢东亮, 张 雷, 程时端

(北京邮电大学 宽带网研究中心, 北京 100876)

摘要: 无线传感器网络中节点的能量大部分用来传输数据,为减少数据的传输量,同时不增加数据包的延迟,提出了基于置信因子的数据分发概念。由于置信因子由传感器节点根据所感知的数据产生,反映了数据的真实性和重要性,从而设计了一种基于置信因子的发送退避策略和传输过滤器,解决了保证重要数据的优先信道访问权和减少冗余数据传输量的问题。大量仿真证明,这种数据分发机制在减少网络能耗和重要数据的时延方面是有效的。

关键词: 无线传感器网络; 置信因子; 退避算法; 传输过滤器

中图分类号: TP393.02

文献标识码: A

Data Dissemination Model Based on Confidence Coefficient in Wireless Sensor Networks

TIAN Le, XIE Dong-liang, ZHANG Lei, CHENG Shi-duan

(Broadband Network Research Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Energy of nodes in wireless sensor networks (WSNs) was spent on delivering the packets mostly. In order to decrease the number of packets, but not increase the time delay simultaneously, a model of data dissemination based on confidence coefficient was presented. Confidence coefficient was generated by the node based on the data sensed, and represented the authenticity and importance of the data. A backoff algorithm and a transmission filter based on the confidence coefficient were designed also. Extensive simulations testified that the model was effective in decreasing energy consumption of the node and time delay of the important data.

Key words: wireless sensor networks; confidence coefficient; backoff algorithm; transmission filter

0 引言

本文研究了无线传感器网络的一类非常典型的应用——事件驱动的监视类应用。在这类应用中,感知到事件发生的传感器节点把数据以多跳的形式报给用户,由用户做出相应判断,并采取适当应对措施。

与其他传感器网络一样,这类应用中的节点一般也都采取电池供电的方式^[1]。节能和低延迟是这

类应用中衡量一个网络性能的主要指标。由于无线传感器网络中节点的能量消耗主要用于数据的传输^[2],所以减少网络中的数据传输量是一个有效地减少节点能量消耗的手段。传统的减少数据量的方法是在节点上采取数据汇聚和融合的措施^[3-4],但这种方法不适用对时延要求苛刻的监视类应用。

另一方面,在监视类应用中,由于节点距离监视地点的远近,或者中间障碍物的阻隔,每个节点所产生的数据重要性不同。因此,通过适当的手段减少

收稿日期: 2005-12-13

基金项目: 北京市重点学科建设项目(XK100130438); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-04-0115); No KIA-BUPT 国际合作项目

作者简介: 田 乐(1974—),男,博士生, E-mail: tlwhx@126.com.

不重要的数据在网络中的传输,同时保证重要数据安全高效地传递到用户,是有效减少网络能量消耗和数据传递时延的方法。

现有媒体访问控制子层协议(MAC)^[5-6]可以保证数据分组在网络中的正确传输,为解决上述问题引入置信因子的概念。每个节点在产生源数据时,同时根据源数据的值估算一个事件发生的置信因子(或源数据本身的置信因子)。当数据在中间节点进行转发时,每个中间节点根据一个基于置信因子的过滤器过滤掉低置信因子的数据,从而减少了网络中总的数据传输数量。另外,为解决高置信因子的数据更易于因为碰撞而被丢弃的现象,为节点设计了一个基于置信因子的退避机制,使置信因子的节点具有比低置信因子的节点更高优先级的信道访问权,保证了高置信因子数据的可靠传输。

1 问题的提出和系统模型

在监视类的应用中,数据的重要性并不相同,节点产生的所有数据并不都需要传给用户,如一些节点由于它们部署的位置、传感器的灵敏度等原因而产生的数据对用户和事件的判断并不能起到较大的作用,因此,这类数据完全可以丢弃,以减少网络中的数据传输量。

本文提出传感器网络中数据的置信因子的概念。即节点对自己产生的数据进行初步处理后生成1个数据的置信因子,并把这个置信因子作为数据在网络中随后处理的一个标准,数据在网络中被传递还是被丢弃依赖于它的置信因子。

1.1 置信因子的产生

置信因子的产生是传感器节点首先需要解决的问题。在实际部署的传感器节点中,一般集成了若干种不同的传感器。针对某一具体的监测对象,可能多个传感器会同时产生数据。针对具体的应用,传感器节点预存储了根据经验得来的事件发生概率和传感器产生的数据之间的关系,节点可以根据每个传感器得到的数据与预存储的数据进行比较或运算,得到一个发生火灾的概率,这个概率就可以作为该传感器所产生数据的置信因子。而节点数据的置信因子可以采取综合各传感器数据的置信因子的方法。如果节点具有 n 个传感器,第 i 个传感器针对某一应用所获得的数据的置信因子为 p_{conf}^i ,若各传感器没有相关关系时,可以采取下列公式计算总的可信度

$$P_{\text{conf}} = \begin{cases} \frac{1}{n} & p_{\text{conf}}^i \\ \frac{1}{n} & w_i p_{\text{conf}}^i \quad w_i = 1 \\ 1 - & (1 - p_{\text{conf}}^i) \\ & p_{\text{conf}}^i \end{cases} \quad (1)$$

式中 w_i 为不同传感器不同的权值。当每个传感器具有相同的监测精度和重要性时,可以采取式(1)中的第1种计算方法,简单地求它们的均值代表节点的置信因子;如果节点的传感器具有不同的精度时,可以采取第2种计算方法,每个传感器分配不同的权值,精度高的传感器具有更高的权值;如果节点传感器的精度非常灵敏,并且所获得的数值高于某一阈值,根据单个传感器就可以判断事件发生的概率很大时,可以采取第3种计算方法,即用并联的方式确定节点的置信因子;相对地,若节点的传感器非常灵敏,并且置信因子低于某一特定阈值时,可以采取第4种所表示的串联方法确定节点数据的置信因子。

1.2 用置信因子减少数据传输量

采取基于置信因子过滤的方法,既保证了高置信因子数据的低时延传输,又过滤掉了低置信因子数据,从而减少网络中总的数据传输量。节点产生的数据有不同的重要性,高置信因子的数据对最终用户对事件的判断起着关键的作用,而大量的低置信因子的数据只会增加网络负担。但是,同时又不能限制产生低置信因子数据的节点发送自己的数据,因为源节点本身并不知道全局的数据产生情况,如果网络中节点的数据置信因子都低到不用发送给用户时,用户无法知道是因为产生的数据的应用价值不大而得不到数据,还是因为节点的失效而得不到数据。因此最佳的方法是在每个中间节点设置一个基于置信因子的过滤器,过滤器维持一个阈值,当经过的数据的置信因子高于这个阈值时,数据将会转发给下一节点,否则该数据将会被丢弃。阈值的取值对网络的行为有着重大的影响,过高会限制通过的数据量,增加用户误判的风险;过低则起不到减少数据传输的作用。在本文的仿真中,取阈值为最近经过的 N 个数据可信度的均值,即

$$P_{\text{threshold}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_{\text{conf}}^i \quad (2)$$

式中 N 是由用户确定的对事件做出正确判断所需

要的最少数据量的值。

1.3 用置信因子控制访问共享信道

由于成本的限制,目前的传感器节点一般都采用共享的物理信道^[5-6],这样当多个节点同时需要传输数据时,不可避免地会产生数据的碰撞丢失。另外,即使采用数据重传机制,也会因为增加了数据的重传次数而消耗更多的节点能量,并且增加数据的延迟。一般情况下,位于事件的可检测半径内层的节点,由于距离事件源比较近,产生的数据比较精确,置信因子相应较高;而位于外层的节点,相应置信因子要低一些。但是,内层节点传输数据时,由于竞争信道的节点较多,会面临比外层节点激烈得多的碰撞,高置信因子的数据反而更易于因为碰撞而丢失,或被延迟。因此,可以采取以置信因子控制节点访问物理信道的退避参数的方法,即每个节点需要传输数据时,首先退避一段在 $[0, CW(p_{\text{conf}})]$ 之间随机选择的时间;然后再检测信道的状态,以决定是否访问信道。如果选择合适的单调递减的函数 $CW(p_{\text{conf}})$,高置信因子数据将具有比低置信因子数据更高的访问物理信道的权力,从而增加了高置信因子数据的成功传输概率,减少了传输时延。相应地,由于减少了数据发生碰撞的概率,也减少了重传次数,节省了节点的能量消耗。

当数据发生碰撞时,为避免它们一直以较大概率碰撞下去,采取了类似 IEEE 802.11 DCF^[7]的碰撞退避机制。每个节点都有一个最大的退避窗口 CW_{max} ,当节点发送的数据产生第 i 次碰撞后,节点取 $\min(CW_{\text{max}}, 2^i CW(p_{\text{conf}}))$ 为自己的当前退避窗口 CW_{current} ,在 $[0, CW_{\text{current}}]$ 之间随机选取一个时间点,重新发送自己的数据。节点成功发送数据后,当前退避窗口重新设置为根据下一待发送数据包的置信因子得出的值 $CW(p_{\text{conf}})$ 。这种方法既避免了具有相近置信因子的数据以较大的概率一直碰撞下去,又保证了产生较大置信因子数据的节点具有更高的信道访问权。

2 模型的验证

本文对采取置信因子的数据分发策略进行了大量仿真,仿真采用了目前广为使用的 NS2。仿真结果证明了这种策略的可行性。

2.1 仿真场景的设置

考虑的仿真场景为同构的节点均匀分布在 1 个 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 的正方形区域内,节点密度从 $10 \sim 20$

不等。节点的传输半径为 30 m ,速率为 19.2 kbit/s 。事件源位于网络的中心位置,用户位于区域的右上角。节点的感知半径同为 30 m ,位于以事件源为圆心、 30 m 为半径圆内的节点将同时感知到事件的发生。节点数据的置信因子和节点与事件源的距离成反比。

2.2 仿真衡量标准

仿真了3种不同机制下的网络性能,分别是没有采取基于置信因子设计的网络、采取了基于置信因子退避机制设计的网络,以及采取了基于置信因子退避机制和过滤器机制设计的网络。本文重点考虑下面一些衡量标准。

1) 数据包的转发率

数据包转发率反映网络中所有中间节点转发的数据包数量和由源节点产生的所有源数据包数量的比率,转发的数据包包括为了保证数据包的正确传递而重传的次数。此参数的值越高,说明为了保证单个数据包的正确传递而转发的次数越多,网络中节点传输的数据越多,因此节点的能耗也会越高。

2) 丢包率

丢包率指被中间转发节点丢弃的数据包数量和源数据包数量的比率。网络中的节点在转发数据包时,由于碰撞或信道竞争失败等非主动性原因,会丢弃掉一部分源数据包。丢包率的增加不但会增加节点的重传次数,增加额外的能量消耗,还会因为一部分重要的高置信因子的数据丢失,而对用户对事件的判断产生不利影响。为了区分由于碰撞丢包和由于低于过滤器阈值而被中间节点主动丢弃的包,在每个被丢弃的包里写入一个丢包原因。

3) 数据包成功接收率

数据包成功接收率指用户收到数据包的总数和源数据包总数的比率。在不使用过滤器时,接收率越高,说明网络传递数据包的效率越高。在使用了过滤器后,由于中间节点上的过滤器本身会有选择地主动丢弃一些不太重要的数据,接收率不再反映网络实际的传递效率。

4) 用户收到第1个数据包时的时延

它是指从源节点产生数据时开始,到用户收到第1个数据包时的时延,这个参数反映了网络对突发事件的反应时间。在监视类的应用中,这个参数越小越好。

5) 用户收到数据包的平均置信因子

用户总希望可以首先收到重要性比较高的数

据,即置信因子比较大的数据,这样可以保证用户在第一时间对被监测的事件做出尽可能正确的反应。

2.3 仿真结果

图1示出了数据包的转发率,由图看出,当节点采取基于置信因子的退避机制时,数据包的转发率下降了20%左右,这是因为基于置信因子的退避机制降低了数据包的碰撞概率,所以减少了数据包的重传次数,降低了转发率。另外还可看出,当节点采取了基于置信因子的过滤器时,数据包的转发率大大下降,这是因为低置信因子的数据包大部分被中间转发节点丢弃,所以使网络的负载大大降低。

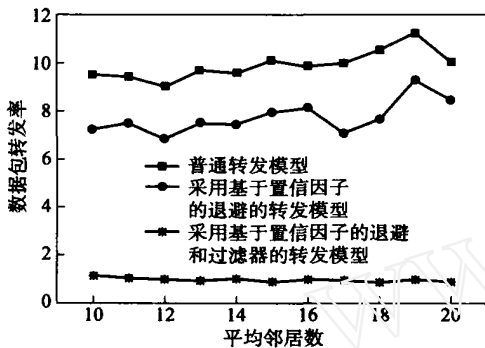


图1 数据包转发率

图2示出了丢包率的仿真结果。由图看出,丢包率随着网络节点密度的增加而增加,这是因为网络节点密度增大时,数据包的碰撞概率也相应增大。当采用了基于置信因子的退避机制时,网络的丢包率仅相当于原来的0.25~0.6,因此基于置信因子的退避机制确实降低了数据包产生碰撞的风险,从而也减少了节点用于重传的开销。

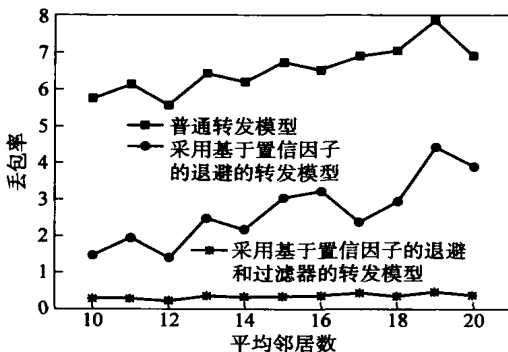


图2 丢包率

图3示出了用户最后的成功接收率。随着网络密度的增加,用户最终可以正确接收数据包的成功接收率呈下降趋势。这是因为高密度的节点部署会增加数据包传输到用户的跳数,增加数据包的碰撞

风险。由图可见,基于置信因子退避机制算法的成功接收率要比原来提高20%左右,即这种退避机制降低了数据包的碰撞率,所以增加了它的最终成功接收率。另外还可看出,采用了基于置信因子过滤器机制后的用户成功接收率大大低于没有采用过滤器机制的,这是因为中间的转发节点把一些认为多余的低置信因子的数据包直接丢弃,因此降低了最终用户的接收率。但是,下面可以看出,这并不会妨碍用户的判断,因为用户接收的都是高置信因子的数据。

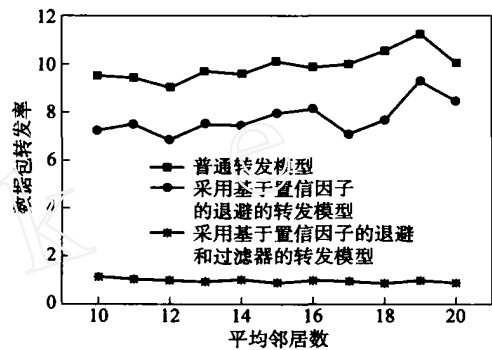


图3 数据包成功接收率

图4示出了用户接收到第1个数据包时的时延。从图可见,3种情况下网络时延大致相等,区别在于没有采取置信因子设计时时延的抖动更剧烈一些;而采取了基于置信因子过滤器时的时延曲线最平缓。这是因为没有采取置信因子设计时数据包的碰撞,竞争更剧烈一些;而采用了过滤器后,网络中的数据包的传输量大大下降,抖动更小一些。另外还可看出,采取了基于置信因子的退避机制后,并没有造成用户接收到第1个数据包时的时延增加,反而增加了用户优先接收到高置信因子数据包的概率。

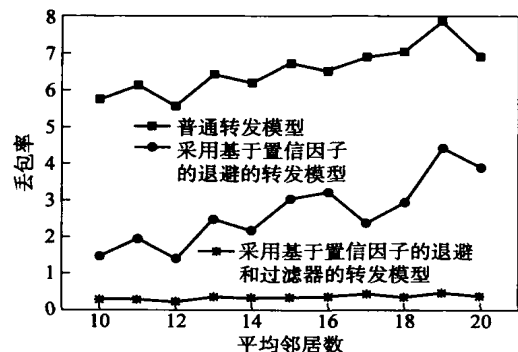


图4 用户收到第1个数据包时的时延

图5所示为用户接收到的数据包的平均置信因子随时间变化的趋势图,其中细实线是不同节点密

度时的仿真结果,粗实线是在细实线基础上的平均结果.由图可见,在没有采取基于置信因子的设计时,用户接收到的数据包的平均置信因子是一条随时间缓慢上升的曲线(见图(a)),这表示用户首先接收到的是距离自己较近的节点产生的低置信因子数据,高置信因子数据由于信道竞争、碰撞等原因较晚到达用户.在采取了基于置信因子的退避机制后,用户接收到的数据的平均置信因子是一条随时间单调下降的曲线(见图(b)),说明高置信因子数据比低置信因子数据更快到达用户.所以虽然用户接收到第1个数据包时的时延大致相等,但是接收到的数据包的质量却有天壤之别,采取了基于置信因子的退避机制后,重要性高的数据可以更快到达用户.图(c)示出了采取基于置信因子的退避机制和过滤器的仿真结果,同样可以看出高置信因子数据首先

到达最终用户.但这条曲线并不像图(b)单调下降得那么明显,这是因为低置信因子数据大部分被中间节点丢弃,最终到达用户的数据都具有比较高的置信因子,所以它们的均值也就不一定单调下降.

3 结束语

无线传感器网络监视类应用的特点是节点产生的数据具有不同的重要性,并且对不同重要性数据的时延有不同的要求.针对这种特点,本文提出了一种基于数据的置信因子的设计模型.置信因子反映了节点所产生数据的重要性和准确性,由节点根据自己感知的数据推断获得.同时还提出了一种数据传输时基于置信因子的退避策略和一种基于置信因子的数据过滤策略.仿真证明了这种数据分发策略在减少网络中的数据传输量和数据的碰撞率,以及减少非主动性的数据丢失率和重要数据的到达时延等方面的高效性.

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks: a survey[J]. Elsevier Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] Pottie GJ, Kaiser WJ. Wireless integrated network sensors[J]. Communications of the ACM, 2000, 43(5): 551-558.
- [3] Kalpakis K, Dasgupta K, Namjoshi P. Efficient algorithms for maximum lifetime data gathering and aggregation in wireless sensor networks[J]. Computer Networks, 2003, 42(6): 697-716.
- [4] Krishnamachari B, Estrin D, Wicker S. The impact of data aggregation in wireless sensor networks[C]. Jean B, Lodger F, Rachid G, et al. ICDCSW2002. Washington: IEEE Computer Society, 2002: 575-578.
- [5] Ye Wei, Heidemann J, Estrin D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks[C]. Lee D, Orda A. Infocom2002. New York: IEEE Press, 2002: 1567-1576.
- [6] Polastre J, Hill J, Culler D. Versatile low power media access for wireless sensor networks[C]. Arora A, Govindan R. Sensys 2004. New York: ACM Press, 2004: 95-107.
- [7] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. IEEE Std 802.11-1997, Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification[S]. New York: IEEE Press, 1997.

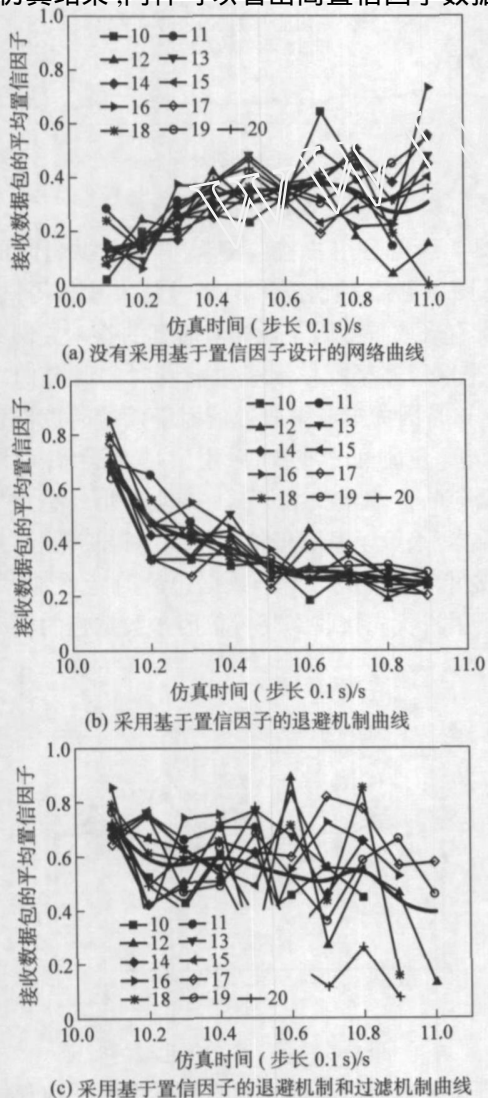


图5 到达用户的数据的平均置信因子随时间变化的曲线