

无线传感器网络的应用层数据传送研究

郑誉煌, 李迪, 叶峰

ZHENG Yu-huang, LI Di, YE Feng

华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广州 510640

School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China

E-mail: zhyhaa@126.com

ZHENG Yu-huang, LI Di, YE Feng. Research on data transport mechanism of application layer in wireless sensor network. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(1): 4-6.

Abstract: Reliable data transmission is basic requirement in a Wireless Sensor Network (WSN). In this paper, a comparative investigation of existing data transport mechanisms of application layer is conducted in WSN and their deficiencies are pointed out. The closed-loop event-triggered data transport mechanism is introduced in WSN. According to the feedback of destination node, the release node evaluates whether to send data in this mechanism. This mechanism improves the delivery rate and decreases data redundancy and communication traffic in WSN. The analysis and simulation validate that this mechanism is quite effective in WSN with channel instability.

Key words: wireless sensor network; data transport mechanism; time-driven; event-driven; event-trigger

摘要: 可靠的数据传送是无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)的基本要求。通过分析现有 WSN 的应用层数据传送机制, 指出它们的不足之处, 并提出了 WSN 的闭环事件触发型数据传送机制。该机制中, 源节点根据目标节点的反馈, 决定是否继续发送数据。这个机制具有发送可靠、产生通信数据量和冗余数据量少的优点。理论分析及仿真结果表明, 该机制在信道不稳定的 WSN 中具有很好的效果。

关键词: 无线传感器网络; 数据传送; 时间驱动; 事件驱动; 事件触发

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.01.002 文章编号: 1002-8331(2010)01-0004-03 文献标识码: A 中图分类号: TP393

1 引言

无线传感器网络是当前在国际上备受关注的、涉及多学科高度交叉、知识高度集成的前沿热点研究领域。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、信息处理技术和通信技术, 可以实时监测网络分布区域内的信息, 并对这些信息进行处理, 传送给相关用户。无线传感器网络的协议栈包括应用层、传输层、网络层、数据链路层和物理层。应用层主要是传感器网络应用系统的开发; 传输层提供差错控制和流量控制等功能; 网络层主要负责路由生成和路由选择; 数据链路层主要负责节点接入, 降低节点间的传输冲突; 物理层进行比特流的传输。

可靠的数据传送是无线传感器网络的基本要求^[1]。为了实现数据的可靠传送, 不少文献对此进行研究^[2-7], 但是这些协议的数据传送主要针对无线传感器网络的传输层或网络层, 而不是面向应用层。在 WSN 中传输数据任务不能仅仅依靠传输层或网络层来完成, 传感器节点协议栈中的各个层次应在传输层控制机制的协调下进行充分的交互与协作, 共同支持和保证数据的可靠传输^[8]。因此, 无线传感器网络的数据传送机制, 必须

考虑应用层, 要面向应用领域, 才能有效地支持数据的可靠传送。

面向无线传感器网络应用层的数据传送机制, 可分为时间驱动型、事件驱动型和事件触发型。在时间驱动型机制下, 传感器按预先设定的时间表周期性地采集并发送数据, 不管传感器是否探测到目标事件。然而如果采样频率较高, 传感器捕获目标发生事件的能力较高, 但这样将产生大量的数据, 增大了传感器的数据处理和网络传送负担; 另一方面, 如果采用较低采样频率, 虽然产生较少的数据, 但有可能会错过重要的目标事件产生的时间瞬变, 导致实时探测性能下降^[9]。节点的采样频率与所产生的数据量之间存在矛盾^[8-9]。

事件驱动型机制是指只有当传感器采样到目标事件后, 传感器才按预先设定的时间表周期性地发送数据。所以, 事件驱动型机制可以认为是在事件发生下的时间驱动型机制, 事件驱动型机制包含了时间驱动型机制的内容。事件驱动型机制可以较高的采样频率或中断方法实时获取目标事件的发生, 实时探测能力强。但是, 事件驱动型机制需要无线节点能准确判断事

基金项目: 国家科技支撑计划项目(the National Key Technology R & D Program of China under Grant No.2007BAH13B06); 广东省教育部产学研结合项目(the Guangdong Education University-Industry Cooperation Project under Grant No.2007B090400075)。

作者简介: 郑誉煌(1979-), 男, 在读博士, 主要研究领域为无线传感器网络, 普适计算; 李迪(1965-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为智能控制, 嵌入式系统; 叶峰(1975-), 男, 博士, 副研究员, 主要研究领域为嵌入式系统。

收稿日期: 2009-07-09 **修回日期:** 2009-08-10

件的发生, 而且需要以合理的周期发送事件发生后的数据^[10-13]。

事件触发型机制是指传感器所探测的事件状态的出现变化的时刻, 才发送数据^[14-15]。事件触发型解决了时间驱动型机制产生数据量和捕获事件发生时间之间的矛盾, 也无需考虑事件驱动型机制中发送周期的问题, 但是也存在数据传送可靠性较低的缺点。

从上述分析可知, 事件驱动型机制比时间驱动型机制有更好的实时探测性, 数据发送可靠性也比事件触发型机制高。事件驱动型机制存在的关键问题是在事件发生后, 节点数据发送周期的优化问题。特别是, 如果目标事件状态持续时间较长, 那么事件驱动型就会在这段时间内不断地按周期重复发送相同的数据。这就会产生大量的冗余数据, 增大了无线传感器网络的通信负担。对于这种情况, 必须研究一种新的数据传送机制, 既保证数据以期望的概率发送成功, 又要产生的数据量较少, 特别是要减少冗余数据的产生。

从数据的发送成功率、发送时间、发送数据量、发送冗余数据量四个方面, 分析了事件驱动型和事件触发型机制的特点, 并提出了无线传感器网络的闭环事件触发型数据传送机制。理论分析和仿真例子证明, 闭环事件触发型机制综合了事件驱动型和事件触发型机制的优点, 特别适合于被探测事件状态持续时间较长的情况, 具有发送可靠、产生数据量和冗余数据量较少的特点。

2 事件驱动型机制

网络模型如图 1(a)所示, 数据从节点 A 发送到节点 B, 发送成功率是 P_{AB} , 这个网络模型可以用一个开关模型简化为图 1(b)^[16]。

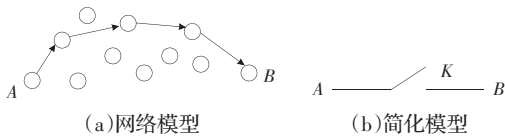


图 1 事件驱动型

开关 K 的闭合概率可用 P_{AB} 表示, 其中 $K=1$ 代表 K 闭合, 表示数据从节点 A 成功发送到节点 B, 否则表示发送不成功。设 $U_A(i)$ 是节点 A 第 i 个发送周期所发送的数据, $U_B(i)$ 是节点 B 第 i 个发送周期中所收到的数据, 则有

$$\begin{cases} U_B(i) = U_B(i-1) & K=0 \\ U_B(i) = U_A(i) & K=1 \end{cases} \quad (1)$$

设节点 A 探测到事件的状态持续时间是 T , 节点 A 的发送周期是 $t, t \ll T$, 则在 T 时间内, 节点 A 发送次数是 $n=T/t$ 。设每周期节点 A 发送的数据量是 L , 则只要在 T 时间内, 节点 A 的 n 次发送中至少有一次到达节点 B, 则发送成功, 所以数据发送成功率满足二项分布, 即

$$P_{s_time} = P_{AB} + P_{AB}(1-P_{AB}) + P_{AB}(1-P_{AB})^2 + \dots + P_{AB}(1-P_{AB})^n = \frac{P_{AB}(1-(1-P_{AB})^n)}{1-(1-P_{AB})} \quad (2)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{s_time} = \lim_{n \rightarrow \infty} [1-(1-P_{AB})^n] = 1 \quad (3)$$

从式(3)可知, 只要 n 足够大, 节点 A 所发送数据肯定可以到节点 B。实际数据传送概率是不可能为 1, 设期望概率是 P_{expect} , 满足 $0 < P_{expect} < 1$ 且 $P_{expect} \approx 1$, 式(3)变为:

$$P_{s_time} = 1 - (1 - P_{AB})^n \geq P_{expect} \quad (4)$$

对不等式(4)进行化简, 可得:

$$n \geq \frac{\ln(1 - P_{expect})}{\ln(1 - P_{AB})} = n_{time} \quad (5)$$

$$T \geq t \cdot n_{time} \quad (6)$$

即节点 A 只要发送 n_{time} 次, 从节点 A 到节点 B 的发送成功率满足期望概率。然而, 在事件驱动型机制下, 在 T 时间内, 节点 A 继续发送相同的数据, 产生的数据量是

$$Data_{send_time} = nL \quad (7)$$

显然超过 n_{time} 次发送后, 就产生了冗余数据, 即

$$Data_{re_time} = (n - n_{time})L \quad (8)$$

从以上分析可知, 事件驱动型传送机制, 其优点是数据传送可靠、数据到达目标节点的时间可预测, 但是缺点是产生的数据量大、冗余数据量大。特别对于节点 A 所探测的事件状态保持时间很长的情况, 冗余数据量更加庞大。节点 A 只发送 n_{time} 次数据虽然可以满足期望概率, 但是不能保证节点 B 收到数据。

3 事件触发型

事件触发型机制下, 只有事件触发才发送数据。事件触发发生必须满足

$$U_A(i) \neq U_A(i-1) \quad (9)$$

即节点 A 所探测事件状态出现变化, 才能认为是事件触发。在节点 A 探测到事件状态持续时间 T 内, 数据发送成功率是

$$P_{s_trigger} = P_{AB} \quad (10)$$

目标事件才出现变化时, 节点 A 才发送 1 次, 即

$$n_{trigger} = 1 \quad (11)$$

节点 A 发送数据量是

$$Data_{trigger} = L \quad (12)$$

发送的冗余数据量是

$$Data_{re_trigger} = L - L = 0 \quad (13)$$

可见, 事件触发型机制的缺点是数据传送不可靠、数据到达时间不定, 但优点是数据量小、冗余数据量小。事件触发型和事件驱动型的优点是互补的。因此, 综合了这两者的优点, 提出了闭环事件触发型数据传送机制。

4 闭环事件触发型

闭环事件触发型的网络模型如图 2(a), 节点 A 从一条信道发送数据到节点 B, 节点 B 将所收到的数据通过另外一条信道反馈给节点 A。这两条信道可能是同一条信道, 也可能不是同一条信道。对这两条信道简化为开关, 可得图 2(b)。

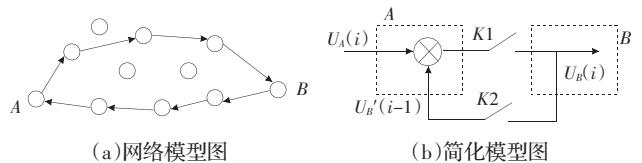


图 2 闭环事件触发型

如图 2(b)所示, P_{AB} 表示开关 $K1$ 的闭合 ($K1=1$) 概率, $K1$ 闭合, 表示数据从节点 A 成功发送到节点 B, 否则表示发送不成功。同理, P_{BA} 表示开关 $K2$ 的闭合 ($K2=1$) 概率。 $U_A(i)$ 表示节点 A 的触发信号, $U_B(i)$ 是节点 B 的发送数据, 也表示接收到的数据, $U_B'(i)$ 是节点 A 收到来自节点 B 的数据。这个模型的原理是比较节点 A 触发的事件状态与节点 B 反馈回来的数据是否相符, 相符则停止发送, 不相符则继续发送。这样节点 A 可以减少冗余数据的产生, 这个模型满足下面关系:

$$\begin{cases} U_B(i) = U_A(i) & K1=1 \text{ 且 } U_A(i) \neq U_B'(i-1) \\ U_B(i) = U_B(i-1) & K1=0 \text{ 或 } U_A(i) = U_B'(i-1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_B'(i)=U_B(i) & K2=1 \\ U_B'(i)=U_B'(i-1) & K2=0 \end{cases} \quad (14)$$

设节点 A 探测到信息持续时间是 T , 节点 A 的发送周期是 $t, t < T$, 则在 T 时间内, 节点 A 发送次数是 $n=T/t$ 。从上式可见, 当 $K1=1, K2=1$ 时, $U_A'(i)$ 比 $U_B'(i)$ 超前一个发送周期。当 $K1=0, K2=0$ 时, $U_A'(i)$ 比 $U_B'(i)$ 超前两个发送周期。只要在 T 时间内, 必须保证 $U_A(i)$ 发送成功时, 接着 $U_B(i)$ 连续两次发送都成功, 那么才是数据发送成功。所以 $U_B'(i)$ 和 $U_B(i)$ 数据传送可靠概率满足二项分布, 并且 $K1, K2$ 串联关系, 则从事件驱动型机制可知, 节点 A 到节点 B 数据发送成功概率是 P_{s_time} , 节点 A 只要发送 n_{time} 次即可满足到节点 B 的期望概率, 但不保证肯定可以将数据发到节点 B。

为了保证数据可靠发送, 节点 B 将收到节点 A 的数据反馈给节点 A。因为节点 B 到节点 A 的信道也存在一定的不稳定, 那么节点 B 也需要发送数据, 才能保证节点 A 能接收到反馈。节点 B 发送反馈数据的同时, 只要节点 A 没有收到节点 B 的反馈, 节点 A 仍然继续发送数据。节点 B 能反馈正确的数据给节点 A 的前提是节点 B 收到了节点 A 的数据。节点 B 反馈数据给节点 A 的发送成功率是满足二项分布, 即

$$P_{s_close}=1-(1-P_{BA})^n \quad (15)$$

令 $P_{s_close}=1-(1-P_{BA})^n \geq P_{expect}$, 可得:

$$n \geq \frac{\ln(1-P_{expect})}{\ln(1-P_{BA})} = n_{close} \quad (16)$$

式(11)表明, 节点 B 收到节点 A 的数据后, 要发送 n_{close} 次才能以期望概率反馈给节点 A。此时, 根据上面的分析可知, 节点 A 在 n_{time} 次基础上还需发送 n_{close} 次, 则节点 A 的发送和节点 B 的反馈满足期望概率, 即

$$n_{total}=n_{time}+n_{close} \quad (17)$$

n_{total} 反映了在理想情况下, 节点 A 真正将数据发送到节点 B 所需要的发送次数。只要节点 A 收到节点 B 的反馈数据, 并且两者相同, 节点 A 就停止发送数据, 此时节点 A 和节点 B 共发送的数据量是

$$Data_{close}=L(n_{total}+n_{close}) \quad (18)$$

此时产生的冗余数据量是

$$Data_{re_close}=2Ln_{close} \quad (19)$$

可见, 闭环事件触发型的特点是, 数据发送更可靠、数据到达时间基本固定、数据量较小、冗余数据量较小。闭环事件驱动型的运行机理是综合了事件触发型和事件驱动型两者的优点。关键在于节点 A 的比较环节。节点 A 总是比较输入数据和节点 B 的反馈数据, 只要节点 A 的输入数据和节点 B 的反馈数据相同, 则节点 A 不发送数据, 这类类似于触发型机制。只要节点 A 和节点 B 的反馈数据不相符, 或者由于信道原因没有收到反馈数据, 则节点 A 认为节点 B 没有收到数据, 于是按固定周期发送, 这类类似于事件驱动型机制。闭环事件触发型的本质是事件驱动型和事件触发型这两种传送机制的自适应切换。

5 仿真实验

根据上面的理论分析和网络模型, 在 Matlab2008 下仿真分析。对于事件驱动型机制, 分别取 P_{AB} 的值是 0.8、0.5、0.2, 期望发送成功率 $P_{expect}=0.99$, 设 $n=40$ 。对于事件触发型机制, 为了方便仿真, 取 $P_{BA}=P_{AB}$, 可得图 3 的仿真曲线。 n_{time} 、 n_{total} 仿真值和理论值见表 1。

根据图 3, 事件驱动型机制的理论分析和仿真结果是比较相符的。从表 1 可知, 在同一种传送机制下, 满足期望概率时,

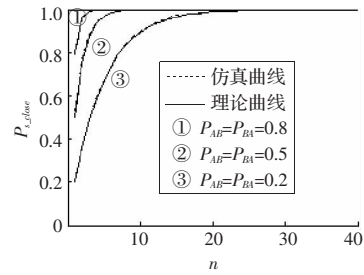


图 3 事件驱动型机制仿真图

表 1 n_{time} 、 n_{total} 仿真值和理论值

P_{BA}, P_{AB}	0.2	0.5	0.8
n_{time} 仿真值	22	7	3
n_{total} 仿真值	32	11	6
n_{total} 理论值	41.275 4	13.287 7	5.722 7

节点 A 发送周期的理论分析和仿真结果比较接近。不同传送机制下, 满足期望发送成功率时, 事件触发型的节点 A 发送周期比事件驱动型的长, 而且这两种机制发送周期的差距随着信道的发送成功率降低而增大。

对于 $P_{BA}=P_{AB}=0.2$ 、 $P_{BA}=P_{AB}=0.5$ 和 $P_{BA}=P_{AB}=0.8$ 时, 事件驱动型和闭环事件触发型机制所产生的数据量和冗余数据量, 如图 4 所示。其中①是 $Data_{s_time}$ 仿真值, ②是 $Data_{close}$ 仿真值, ③是 $Data_{re_time}$ 仿真值; ④是 $Data_{re_close}$ 仿真值。图 4 中的数据量是以 L 为单位。可见, 在相同的信道发送成功率中, 闭环事件触发型所发送的数据量和冗余数据量比事件驱动型的要少。

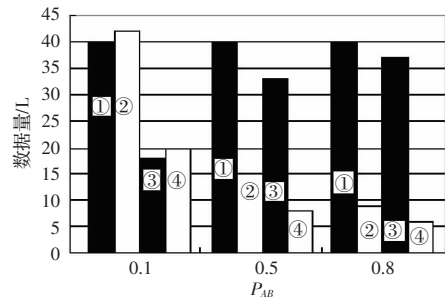


图 4 数据量比较

6 结束语

通过分析事件驱动型、事件触发型这两种无线传感器网络的数据传送机制的优点和缺点, 提出了闭环事件触发型传送机制。重点的从数据发送成功率、满足期望成功率的发送周期、产生的数据量和冗余数据量四个方面比较了事件驱动型和闭环事件触发型这两种传送机制。理论和仿真结果表明: (1) 在满足期望发送成功率时, 事件触发型的源节点发送数据的时间比事件驱动型的长, 而且这两种机制发送时间的差距随着信道的发送成功率降低而增大。(2) 在相同的信道发送成功率中, 闭环事件触发型所发送的数据量和冗余数据量比事件驱动型的要少。所以, 闭环事件触发型机制优于事件驱动型, 特别适用于测量目标状态持续时间较长的场合。这对于减少网络通信负担, 提高无线传感器网络的信道利用率, 提高数据的可靠传送具有重要的意义。

参考文献:

[1] 龚波, 徐建波. 无线传感器网络中的新型数据收集协议[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(6): 113-116.