

无线传感器网络中基于非端到端的 区分队列服务

唐 琳

(1. 广州大学 计算机科学与教育软件学院, 广州 510006; 2. 华南理工大学 电子与信息学院, 广州 510641)

摘 要: 在无线传感器网络中,通信的一方是汇聚节点,通信的另一方不是某一个传感器节点而是一群传感器节点。适用于端到端通信的服务质量方法不再适用于无线传感器网络。为此,提出了一套新的非端到端的事件服务质量参数,并基于此提出了一种基于区分队列服务算法的、为网络中不同的事件提供不同服务质量的方法。通过这一策略,汇聚节点可以及时可靠地检测到待处理的紧急事件。仿真实验结果验证了该方法的可靠性。

关键词: 无线传感器网络; 事件服务质量; 区分队列服务

中图分类号: TP212.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)03-1066-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.03.073

Differentiated queuing service based on non-end-to-end in wireless sensor network

TANG Lin

(1. School of Computer Science & Educational Software, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. School of Electronic & Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: In WSNs, one end of the application is the sink, the other end is not a single sensor node, but a group of sensor nodes. Traditional end-to-end QoS is unfit for WSNs. This paper proposed to provide different QoS for different event in WSNs based on a set of new non-end-to-end event QoS parameters. It chosen to provide event QoS in WSN using DQS. By using the strategy, the sink could detect the urgent event reliably and in time. The result of simulation verifies the effectiveness of our approach.

Key words: WSN; event QoS; DQS(differentiated queuing service)

0 引言

无线传感器网络极大地改变了人们与物理世界接触的方法,在人们周围部署了大量的传感器节点,从周边环境采集有关数据。在传感器网络中非常重要的一点是把周边环境中重要的信息高可靠低延迟地传递给汇聚节点^[1]。例如一个用于监控森林温度的传感器网络,传感器必须能够区分平时的读数 25℃ 和发生森林火灾时的读数 500℃。从网络的观点来说,汇报 500℃ 读数的数据包要重要得多,因为它意味着森林火灾这一紧急事件的发生。因此这一数据包必须高可靠低延迟地到达汇聚节点,传递给用户。而日常的读数 25℃ 稍微晚一点到达用户,不会产生太大的影响。本文将致力于在无线传感器网络中为不同类型的数据提供不同的服务质量。

在应用需求方面,无线传感器网络与传统网络之间有许多不同之处^[2,3]:a) 无线传感器网络中的应用不再是端到端的应用,通信量主要是从大量的传感器节点流向少数的汇聚节点,通信的一方是汇聚节点,通信的另一方不是某一个传感器节点而是一群传感器节点;b) 传感器数据量具有突发特性;c) 无线传感器网络中存在大量的冗余数据,因此某一个传感器节点的数据包在一定范围内的丢失是可以容忍的。由于以上的不同,

笔者认为传统的服务质量保障方法不适用于无线传感器网络,必须找到一种新的方法来解决无线传感器网络中的服务质量问题。这一新的方法将能够为不同的事件提供不同的服务质量。为此,提出一套新的非端到端的参数来测量无线传感器网络中的事件服务质量保障程度。

集体身份的概念最先是在 ESRT^[4] 中提出的。汇聚节点只对许多传感器节点共同提供的集体信息感兴趣,而不关心某一个传感器节点的单独报告。根据这一点,ESRT 并不会给每一个节点分配一个单独的编号。文献[2,5]中总结了集体服务质量参数的概念,即集体时延、集体丢包率、集体带宽和信息吞吐量。但是他们都没有为每一个集体服务质量参数提供准确的定义,而且也没有为无线传感器网络提供一个服务质量的解决方案。

在无线传感器网络中,已经提出了许多提供区分服务的解决方案:SAR^[6] 是第一个包含服务质量概念的无线传感器网络协议;文献[7]提出了一个在每一个传感器节点上实时和非实时数据共存的队列模型;UMIUSI^[8] 提出了一个设计快速可靠传输紧急信息的无线传感器网络架构的方法;文献[9]介绍了一种最大—最小公平带宽分配的技术;文献[10]提供了软实时端到端保证;文献[11]提出一种基于熵权系数法的自适应

QoS 路由 (EAQR) 算法; 文献 [12] 提出一种基于网络服务质量管理的多目标优化控制策略; 文献 [13] 提出了一种基于角度的区分服务路由算法。以上这些方案都是基于传统的端到端的服务质量保障的思想。本文将提出一种全新的基于非端到端服务质量参数的为不同的事件提供不同服务质量的方法。据笔者所知, 到目前为止, 在无线传感器网络中, 基于非端到端服务质量参数的区分服务还没有人进行研究过。而且, 以上的解决方案还有一个共同的特性, 即服务质量保障是基于流的或是基于类别的。这样调度器必须精确地知道每一个流或者每一个类别的服务质量要求。这种基于流的处理方案必须在网络单元中存储大量的信息, 扩展性很差而且实现起来很复杂; 而基于类别的处理方案也必须在应用建立之前确定好类别, 每个网络单元都必须存储有关类别的信息, 一旦类别需要调整, 修改的工作将涉及全网。为了避免以上的问题, 文献 [14] 提出了称为区分队列服务 (DQS) 新的调度算法。但是 DQS 最初是为有线网络提出来的, 文献 [15] 通过跃层实现的方法把它扩展到无线网状网中。文献 [16] 第一次把 DQS 算法用于无线传感器网络。本文将利用 DQS 算法为无线传感器网络提供事件服务质量保障 (EDQS)。

1 事件服务质量

传统的服务质量保障方法不适用于无线传感器网络, 本文提出基于一套新的非端到端的事件服务质量参数为不同的事件提供不同的服务质量。笔者把这种服务质量称为事件服务质量; 这种参数为事件服务质量参数。在无线传感器网络中, 如果发生了某一事件, 用户要求尽可能快和可靠地检测到这一事件。每一个事件都有自己的影响范围, 在此范围内的所有传感器都将向汇聚节点汇报这一事件的发生, 因此只要汇聚节点在 t 秒内收到了 m 个汇报此事件的数据包, 就会可靠地知道这一事件发生了。数值 m 和 t 是由用户根据事件的紧急程度来设定的。当汇聚节点在 t 秒内收到的某一事件的数据包少于 m 个时, 就会认为此事件已经结束。这一通信过程不是端到端的, 通信的一方是汇聚节点, 通信的另一方不是某一个传感器节点, 而是一群传感器节点。汇聚节点感兴趣的是事件半径范围内所有传感器节点共同采集的集体信息, 而不是某一个传感器节点单独采集的信息。检测到同一事件的传感器节点产生的数据流之间有很大的相似性, 冗余度很高。

1.1 事件组

把检测到同一事件的传感器节点组成一个事件组。每一个节点有一张事件表, 每张表中有三个表项, 即事件组编号 (EID)、事件现象 (EO)、和登记时间 (RT)。每一个事件组有自己唯一的 EID。EO 是指该事件生成的现象, 如温度高于指定的门限值等; RT 是指在事件表中登记此项的时间。

当一个传感器节点检测到一个事件时, 它将按以下步骤进行操作:

```
查找事件表
IF 在事件表中有相同的 EO
    得到该 EO 的 EID
ELSE
    生成一个新的 EID
    把新的 EID、EO 和当前时间作为 RT 登记进
```

```
事件表中新的一条
    生成一个新的数据包
    把 EID 插入到数据包的首部
    把 EID 和 EO 向邻居广播
```

当邻居节点收到这一广播消息后, 将查找自己的事件表。如果在它的事件表中没有同样的 EO, 它将把广播消息中 EID、EO 和当前时间作为 RT 登记进自己事件表中新的一条, 并且向自己的其他邻居节点转发。通过这种办法, 在所有节点的事件表中, 同一事件都有同样的 EID 和 EO。这样检测到同一事件的节点组成了一个数据组。在数据包的首部增添了新的一项: EID。从同一事件组不同传感器节点发出的数据包都拥有同样的 EID, 这样通信的一方是汇聚节点, 通信的另一方是事件组。每一个数据包的源地址是 EID, 目的节点是汇聚节点。为不同的事件组提供不同的服务质量, 称为事件服务质量。

1.2 组参数

事件服务质量参数的定义如下:

a) 事件延迟 (EL)。从事件组产生第一个数据包开始到汇聚节点收到该事件组产生的第 m 个数据包为止的这段时间称为这一事件的事件延迟。如果用 g 表示事件组的第一个数据包的生成时间, a_{sm} 表示汇聚节点收到第 m 个数据包的时间, 那么有: $EL = a_{sm} - g$ 。

b) 事件丢包率 (ES)。事件组在传递信息的过程中丢失的数据包与生成的数据包之间的比值。如果用 N_l 表示在信息传递过程中丢失的数据包的个数, N_s 表示在信息传递过程中事件组生成的数据包的个数, 则有 $ES = N_l / N_s$ 。

c) 事件吞吐量 (ET)。每秒从事件组成功传递给汇聚节点的数据包的数量。

d) 事件带宽 (EB)。每秒从事件组发出的数据包的数量。

不同的事件要求不同的事件延迟, 事件丢包率和事件带宽。例如火警事件, 要求有比普通事件更低的事件延迟, 更低的事件丢包率和更大的事件带宽。本文主要的目标就是要满足不同事件的事件延迟、事件丢包率和事件带宽需求。

2 无线传感器网络中区分队列服务

最初的 DQS 是为有线网络提出来的, 它带有以下假设: 任何应用都必须有一个可以精确定义的最大端到端延迟。这一延迟被当做相关数据包的生存时间。当某一个节点收到一个数据包时, 它首先检查该数据包的生存时间是否到期, 如果到期了, 将该数据包立即丢弃; 如果没有到期, 则将该数据包放入服务队列。

2.1 网络模型

为了方便起见, 假定无线传感器网络网络模型如图 1 所示。 N 个节点随机地分布在半径为 R 的圆形区域内, 汇聚节点位于圆心。每个节点的传输范围是 r , 所有的节点都相同。汇聚节点把带有跳数值的分组周期性地传递给它所有的邻居节点, 这些节点把收到的跳数值储存下来, 再把跳数值加 1 后传递给自己的其他邻居节点, 以此类推, 直到网络中的每一个节点都配置了一个跳数值。当一个节点收到从它邻居传来的跳数值后, 它首先比较该跳数值和自己原来登记的跳数值的大小。如果原有的跳数值比新收到的大, 就更新登记的跳数值,

否则就保持原有的跳数值。如图 1 所示,把这个圆形的区域根据节点的跳数值分成若干个环形区域, Z_k 表示在这个环形区域里的所有节点与汇聚节点之间的跳数是 k 。为了节省能量,每一个节点都会选择在其传输范围之内且离汇聚节点最近的一个节点作为它的下一跳^[17]。

2.2 无线传感器网络中的区分队列服务

DQS 是基于以下假设的:任何数据包都有一个生存时间(D),如果一个数据包可以有任意的 D 值,那么 D 可以人为地设定。同一事件组生成的数据包具有同样的 D 值。以下的符号将用于后面的讨论:

- a 为数据包的到达时间;
- e 为必须要离开某一节点的最后时限;
- d 为数据包在某一节点的最大时延;
- g 为数据包的生成时间;
- T 为数据包到达某一节点后最大剩余生存时间;
- D 为数据包的生存时间。

某一参数的下标 i 表示该参数是节点 i 的。由于对于一条指定的路径来说,传播延迟是恒定的,所以为了简化起见,没有再去考虑它。对于一条有 n 个节点的路径,当数据包到达节点 i 时,上述的各参数间有以下的关系:

$$T_i = D - \sum_{l=1}^{i-1} d_l = D - (a - g) \tag{1}$$

其中: $T_i = D$, d_i 是该数据包在节点 i 所经历的实际延迟。数据包在节点 i 实际经历延迟(定义为该数据包的第一个比特到达该节点的时间和最后一个比特离开该节点的时间之间的间隔)的最大值取决于它的 D 值,由下式表示为

$$d_i = T_i - \sum_{j=i+1}^n d_j \tag{2}$$

$$e = a + d \tag{3}$$

由式(2)可知,必须得到 $\sum_{j=i+1}^n d_j$,才能由式(3)得出节点 i 的 e_i 。但是当数据包到达节点 i 时, d_j 和 n 还是未知量,因此计算出 e 比较困难。文献[15]提出的方案是发送一个探测分组来估计剩余路程所需要经历的时间。但是探测分组要消耗额外的能量,因此这一方案不适用于无线传感器网络。在网络模型中,所有的数据包的目的地都是汇聚节点。汇聚节点周期性地向它的邻居广播跳数值分组,因而每一个节点都知道自己和汇聚节点之间相隔的跳数。跳数值分组还携带了自己生成的时间(t_s),让 t_i 表示节点 i 第一次收到跳数值分组的时间,那么节点 i 和汇聚节点之间的延迟可以表示为 $t_{si} = t_i - t_s$ 。这样,虽然很难得到数据包剩余路径所经历的精确时间,但可以用下式来进行估计:

$$\sum_{j=i+1}^n d_j \approx t_{si} \tag{4}$$

由式(2)(3)有 $e = a + T_i - t_{si} \tag{5}$

由式(4)(5)有 $e = a + [D - (a - g)] - t_{si} \tag{6}$

所以 $e = D + g - t_{si} \tag{6}$

在每一个节点上,根据 e 值的大小把到达的数据包进行排队。 e 值越小的数据包排在越前,也相应地越早被转发。

2.3 数据包的生存时间

从式(6)可知,如果想要一个数据包被优先转发,可以通

过给它设置较小的 D 值来实现。让 PL 来表示一个数据包的端到端延迟,有

$$D = \max(PL) \tag{7}$$

让 l 表示一个数据包的长度,RES 表示其 ES 需求, t 表示其 EL 需求,如前面所述,汇聚节点要求在 t s 收到 m 个某一事件的数据包,才认为该事件发生了,所以 t 就是其事件延迟需求。如果有 m 个数据包到达汇聚节点,那么至少有 $m/(1 - RES)$ 个数据包生成了。如果要满足 EB 的要求,那么生成 $m/(1 - RES)$ 个数据包至少需要 $\frac{ml \times 8 / (1 - RES)}{EB}$ s。如图 2 所示,发现了 PL 与 EL 之间的关系为

$$\frac{ml \times 8 / (1 - RES)}{EB} + PL = EL \tag{8}$$

而且 $EL < t$,由(7)(8)可得

$$D \leq t - \frac{ml \times 8 / (1 - RES)}{EB} \tag{9}$$

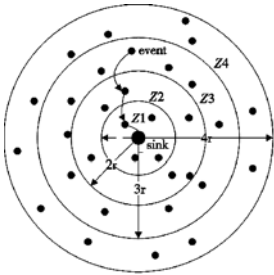


图1 网络模型

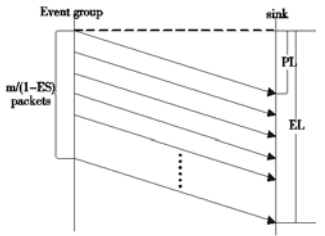


图2 PL和EL之间的关系

如果为某一事件的数据包设置的 D 值满足式(9),那么汇聚节点将在 t s 内收到至少 m 个关于此事件的数据包,用户将可靠地检测到该事件发生了。如果事件是紧急事件,那么相应地会要求有较小的 t 、RES 和较大的 EB ,只要根据式(9)设置较小的 D 值,即可满足。通过这种方法,可以优先转发紧急的数据包。

3 仿真实验

把 DQS 算法用 C 语言编程,并在 NS2 仿真平台^[18]上实现。基于以上的讨论,选择了一组参数来实现 DQS 算法。仿真设计基于以下考虑:给定一个事件的事件延迟需求 t 和 m ,通过选择 D 来满足式(9)。把实验的结果与需求相比较来验证本文方法的有效性。本文还把采用 DQS 算法的网络和未采用 DQS 算法(NDQS)的网络(采用 DropTail 算法)相比较,以证明 DQS 算法确实提高了紧急事件的性能,同时却没有恶化其它事件的性能。实验采用了典型的无线传感器网络场景,如图 3 所示^[19]。仿真的时间为 100 s, $m = 20$,有三个事件生成。其他参数的配置如表 1 所示。

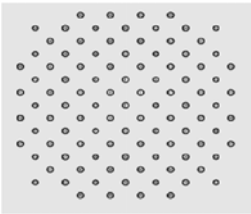


图3 仿真场景

事件 1 表示实时性要求低、总能被网络满足的事件;事件 2 代表紧急事件;事件 3 代表 EL 需求中等的事件。

表 1 事件参数配置

参数项	事件编号		
	1	2	3
事件延迟需求/s	10.0	1.0	5.0
事件丢包率需求/%	50	50	50
事件带宽/bps	1 800	24 000	3 600
生存时间 D	1.0	0.1	0.5

图 4 是 DQS 网络和 NDQS 网络事件延迟(EL)的实验结果。对于 DQS 网络来说,事件 2 的 EL 保持稳定在 1.0 s 之内,同时事件 1 和事件 3 的 EL 也基本满足各自的需求。而对于 NDQS 而言,事件 2 的事件延迟随着时间大幅度地波动,而且多次远远地超过 1.0 s;事件 3 的平均 EL 大于 DQS 网络的事件 3;事件 1 的平均 EL 与 DQS 网络的事件 1 基本相当。

图 5 是 DQS 网络和 NDQS 网络事件吞吐量(ET)的实验结果。从图中可以发现,DQS 网络的事件 2 的 ET 大大优于 NDQS 网络的事件 2;而事件 1 和事件 2 两种网络的 ET 大体相当。

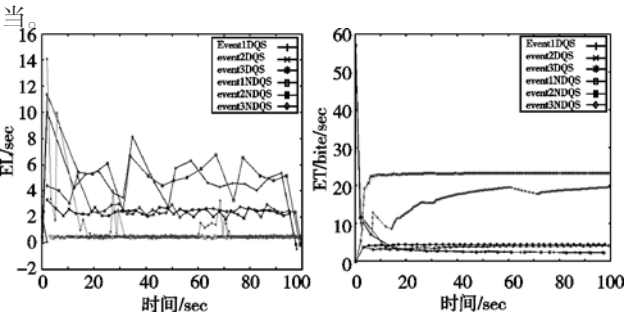


图4 三个事件的EL

图5 三个事件的ET

实验结果验证了本文策略的有效性:a)如果设置一个事件的 D 值满足式(9),DQS 算法就可以保证汇聚节点在 t s 内收到 m 个该事件的数据包;b)DQS 算法保证紧急事件的数据包能够被优先地转发,而同时其他事件的性能没有被恶化;c)采用 DQS 算法的网络的整体事件性能优于未采用 DQS 算法的网络。

4 结束语

本文在无线传感器网络中提出了事件服务质量的概念。事件服务质量只关注一个事件组的集体信息,而不是某一节点单独采集的信息。事件服务质量参数比传统的端到端的服务质量参数更适合无线传感器网,反映了无线传感器网络的真实需要。它考虑的是汇聚节点是否能在 t s 内收到 m 个数据包,以及一个事件组的吞吐量。根据事件服务质量参数,提出了采用 DQS 算法来为不同的事件提供不同的服务质量。把达到一个节点的数据包按照必须离开该节点的最后期限的早晚来排队,通过把一个数据包的生存时间设置成较小来保证它优先被转发,并且发现了数据包的生存时间和事件服务质量参数之间的关系。通过设置不同事件的数据包的生存时间来满足不同数据包的事件服务质量需求。通过仿真实验验证,这一策略是快速、稳定和有效的。

参考文献:

[1] WANG Jian-ping, VOKKARANE V M. Optimal remote homing for providing service differentiation in information-aware multi-layered wireless sensor networks[C]//Proc of IEEE International Conference on Communication, 2006: 361-366.

[2] CHEN D, VARSHNEY P K. QoS support in wireless sensor networks;a survey [C]//Proc of International Conference on Wireless Networks. Bogart:CSREA Press, 2004:227-233.

[3] WANG Y L, LIU X H, YIN J P. Requirements of quality of service in wireless sensor network [C]//Proc of International Conference on Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies. Washington DC:IEEE Computer Society, 2006:114.

[4] SANKARASUBRAMANIAM Y, AKAN O B, AKYILDIZ I F. ESRT: event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks [C]//Proc of ACM MOBIHOC'03. New York:ACM Press, 2003:177-188.

[5] LIN X Z, ZHOU J J, MU C D. Collective real-time QoS in wireless sensor networks [C]//Proc of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. 2006:1-4.

[6] SOHRABI K, GAO J, AILAWADHI V, et al. Protocols for self-organization of a wireless sensor networks [J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7 (5): 16-27.

[7] AKKAYA K, YOUNIS M. An energy-aware QoS routing protocol for wireless sensor networks [C]//Proc of IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks. [S. l.]: IEEE Press 2003:710-715.

[8] KAWAI T, WAKAMIYA N, MURATA M. Designing a sensor network architecture for transmission of urgent sensor information [C]//Proc of Telecommunication Networks and Applications Conference. 2007:169-174.

[9] ABIDIN H Z, RAHMAN F Y A. Provisioning QoS in wireless sensor networks using a simple max-min fair bandwidth allocation [J]. Computer Science and Information Engineering, WRI World Congress, 2009 (1): 44-48.

[10] HE T, STANKOVIC J A, LU C, et al. SPEED; a stateless protocol for real-time communication in sensor networks [C]//Proc of ICDCSW '03. Washington DC:IEEE Computer Society, 2003:46-55.

[11] 石为人, 严明蒙, 黄河. 基于嫡权系数法的无线传感器网络自适应 QoS 路由算法 [J]. 计算机应用, 2011, 31 (2): 298-300.

[12] 韩安太, 彭慧, 李剑锋, 等. 无线传感器网络中基于服务质量管理的多目标优化控制 [J]. 传感技术学报, 2011, 24 (4): 614-619.

[13] 李方敏, 方艺霖. 无线多媒体传感器网络 QoS 区分服务路由机制 [J]. 电子学报, 2010, 38 (10): 2322-2328.

[14] JIANG S M. Granular differentiated queueing services for QoS: structure and cost model [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2005, 35 (2): 13-22.

[15] TENG X F, JIANG S M, WEI G, et al. A cross-layer implementation of differentiated queueing service (DQS) for wireless mesh networks [C]//Proc of Vehicular Technology Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2008:2233-2237.

[16] TANG Lin, JIANG Sheng-ming, AO Xin. Improved differentiated queueing service based on event QoS parameters for wireless sensor network [C]//Proc of the 12th IEEE International Conference on Communication Technology. 2010: 1327-1331.

[17] ZHAO Q, TONG L. Energy efficiency of large-scale wireless networks: proactive versus reactive networking [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23 (5): 1100 -1112.

[18] The network simulator ns-2 [EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

[19] ZHENG J L, LEE M J. A comprehensive performance study of IEEE 802.15.4 [M]. [S. l.]: IEEE Press, 2004.