

异构多媒体传感器网络服务质量研究

唐琳^{*①②} 吴际^①

^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 510640)

摘要: 随着异构无线多媒体传感器网络应用日益广泛, 如何满足不同数据源的要求, 为其提供区分服务, 保证其服务质量成为研究热点问题。该文在引进区分队列服务算法的基础上, 提出了解决方法。该方法通过设置分组生存时间来实现标量节点能够及时可靠地向汇聚节点报告事件发生的前提下, 保证实时分组优先转发。仿真实验显示, 汇聚节点在规定时间内收到了足够多的事件相关标量分组, 实时分组时延满足实时性要求。表明文中方法是正确有效的。

关键词: 无线传感器网络; 服务质量; 区分队列服务; 分组生存时间

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2013)04-0965-05

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2012.01128

Study of QoS for Heterogeneous Wireless Multimedia Sensor Networks

Tang Lin^{①②} Wu Ji^①

^①(School of Computer Science and Educational Software, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

^②(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: With the rapid development of heterogeneous wireless multimedia sensor networks, how to satisfy all the requirement of data source and provide QoS for it becomes a hot research issue. Differentiated Queuing Service (DQS) is introduced into wireless multimedia sensor network. Based on the algorithm, scalar node can inform sink in time and real time traffic can be forwarded rapidly through setting packet lifetime. The result of simulation show that the sink can gather enough event scalar packets and real time packets delay is satisfied. The effectiveness of the method is verified.

Key words: Wireless sensor networks; QoS; Differentiated Queuing Service (DQS); Packet lifetime

1 引言

无线多媒体传感器网络(WMSNs)是能够采集音频、视频流, 静态图像和标量传感数据的智能设备互联起来的网络, 在低功耗的无线网络技术和廉价的摄像机及麦克风的基础上迅速地发展起来^[1,2]。相对于单层同构传感器网络, 异构传感器网络结构有更好的性能, 在可扩展性、覆盖范围和可靠性方面表现突出^[3,4]。在实际应用中多采用多层异构多媒体传感器网络。其最低层由标量传感器组成, 采集标量数据, 中间层由较低端图像传感器组成, 最高层由高端相机组成。这种多层结构可以用来进行高级监控, 追踪识别, 一旦底层和中间层发现有目标进入, 高层高端相机启动开始拍照摄像, 通过图像处理来监控、追踪、识别目标^[5]。异构传感器网络主要有两种类型的节点: 标量传感器节点和多媒体传感器节点。

对于标量传感器节点而言, 数据量小, 数据采集电路简单, 仅需低功耗的低端微处理器即可实现数据分析, 数据传输所需带宽极低, 实时性要求不高。数据发送方是一群标量传感器节点而不是某一个传感器节点, 数据接收方是汇聚节点。只有一组传感器节点共同采集到的数据才能说明某一事件的发生; 我们只关心在一段时间内检测到某一事件发生的一组传感器节点的带宽; 另外, 由于多个节点汇报同一事件, 所以丢失单独某一传感器节点分组是可以容忍的。鉴于以上的特点, ESRT(Event-to-Sink Reliable Transport)^[6]提出了集体信息的概念: 汇聚节点对某一单独标量节点的报告不感兴趣, 而是关心一群标量节点集体汇报的信息。这不是传统意义上的端到端传输, 而是多对一通信。

对于多媒体传感器节点而言, 数据量非常大, 数据采集电路复杂, 需要运算能力强的处理器进行数据压缩或分析, 且传输所需带宽较高, 实时性要求很高, 需要及时地传给汇聚节点。它的数量相对

2012-09-03 收到, 2012-12-04 改回

国家 973 计划项目(2011CB707003)资助课题

*通信作者: 唐琳 tanglinCarolyn@sina.com

要少,每个多媒体节点(比如高端相机)都可独立采集所需的视频信息,发送给汇聚节点,是典型的端到端通信。

这两种节点构造不同,实时性要求不同,所需带宽不同,通信方式不同。如何满足不同数据源的要求,为它们提供区分服务,保证其服务质量是WMSNs的一项重要任务,也是当今研究的热点问题之一。

像IntServ这类需要建立端到端连接的基于资源预留的方法,由于传感器节点受资源的限制,无法管理每一连接的状态信息,且不太可能在远距离节点间建立起持久通路^[7],所以不能直接应用于WMSNs。而若采用DiffServ这类方法,每个传感器节点必须属于事先定义好的服务质量级别^[8],如果新增级别,就会涉及到全网的变化,这增加了网络维护的难度,也不适用于WMSNs。为了避免这些问题,文献[9]提出了区分队列服务(DQS)的新算法。DQS可以让用户根据网络状态和数据源需求灵活选择各种不同服务质量的服务,不受级别限制,这正适合传感器节点间不稳定的连通性。DQS为有线网络提出,文献[10]改进了该算法,采用跨层方法使其适用于无线网状网。文献[11]让该方法适用于无线传感器网络中。

DQS假定:每一个分组都有一个生存时间(D),可以人为地设定 D 值。 D 值可以影响不同分组服务的优先性。怎样为不同的网络数据源设定 D 值是一个待解决的问题。

本文基于DQS算法,提出了一个异构多媒体传感器网络区分服务解决方案。我们将研究怎样设定 D 值,使得在标量传感器节点及时向汇聚节点汇报事件发生的前提下,多媒体数据能够得到优先服务,以满足其实时性要求。据我们所知,目前还没有此类相关的研究。本文由下列部分组成:第2节描述DQS的原理;第3节给出多对一通信中集体服务质量参数的概念,并且指明标量数据的 D 值和集体服务质量参数之间的关系;第4节探讨 D 值在满足什么样的条件下能够使实时的数据得到优先的服务;第5节给出仿真实验设计以及实验的结果;最后,第6节进行了总结。

2 无线传感器网络中的区分队列服务算法^[9]

为了便于后面的讨论,我们采用下面的符号表示: t 为当前时刻, t_a 为分组到达某一节点时刻, t_e 为最迟离开某一节点的时,刻, t_{eT} 为实时分组必须要离开某一节点的最后时刻, t_{ec} 为标量分组必须要离开某一节点的最后时刻, t_g 为分组生成的时刻, t_{gT}

为实时分组生成的时刻, t_{gc} 为标量分组生成的时刻, d 为分组可以在某一节点停留的最大时限, D 为分组生存时间, D_T 为实时分组生存时间, D_c 为标量分组生存时间, λ_T 为实时分组输出速率, λ_c 为标量分组输出速率(组带宽), C 为网络带宽,数据输出率, L 为转发节点最大队列长度, s 为端到端时延,Ed为组延迟,Er为组丢包率。

DQS假设:可以人为设置 D 。一个应用的分组 D 值相同。节点收到分组时,检测 D 到期没有,如到期就把该分组丢弃,否则该分组进入服务队列等待转发。

属于节点 i 的参数下标为“ i ”。同一路径的传播延迟不变,所以简化后不去考虑。路径中如有 n 个节点,当分组到达 i 时,有式(1)的关系:

$$\hat{d}_i = D - \sum_{l=1}^{i-1} \tilde{d}_l - \sum_{j=i+1}^n \tilde{d}_j = D - (t_a - t_g) - \sum_{j=i+1}^n \tilde{d}_j \quad (1)$$

式中 \tilde{d}_i 是该分组在节点 i 时实际经历的延时。 \tilde{d}_i 的最大值和它的 D 值紧密相关。分组必须离开某一节点的最后时刻表示如式(2):

$$t_e = t_a + \hat{d} \quad (2)$$

由式(1)得,只有得出 $\sum_{j=i+1}^n \tilde{d}_j$,才能由式(2)计算出 t_e 。可是分组到达 i 时,还无法知道 \tilde{d}_j 和 n 的值,因此 t_e 无法计算出来。文献[10]通过探测分组对 $\sum_{j=i+1}^n \tilde{d}_j$ 进行估计。但此方法要消耗额外能量,增加网络负担,在无线多媒体传感器网络中并不适用。在无线传感器网络中,所有分组都发往汇聚节点。我们让汇聚节点周期性地向所有节点广播时钟同步信息以解决网络的同步问题。时钟同步分组登记了从汇聚节点出发的时间,这样,到达其它节点时,每一个节点都可以计算出分组从汇聚节点到达本节点所经历的时间 v 。每一个广播周期更新一次 v 值,以保证 v 值的大小和当前网络状态紧密相关。我们用 v 来估计从本节点到达汇聚节点的时间,可以得到比较准确的估计值。所以有

$$\sum_{j=n+1}^n \tilde{d}_j \approx v \quad (3)$$

由式(1),式(3)有

$$\hat{d}_i = D - (t_a - t_g) - v \quad (4)$$

由式(2),式(4)有 $t_e = t_a + D - (t_a - t_g) - v$,即

$$t_e = D - t_g - v \quad (5)$$

这样,我们根据无线传感器网络自身的特点,解决了在有线网络中较为难解决的 t_e 值的计算问题,可见DQS算法非常适用于无线传感器网络。每一节点根据 t_e 值排队分组,排在前面的是 t_e 小的分

组。节点按队列顺序转发分组。 t_e 小的分组将得到优先服务。

3 标量分组的生存时间

在异构多媒体无线传感器网络中，首先由标量传感器负责采集数据。汇聚节点如果在 μ s 内收到了 m 个关于某事件发生的标量分组，就会认为发生了此事件。 m 和 μ 可根据用户需要进行设置。接收数据的是一个汇聚节点，发送数据的是一群标量传感器节点。通信量主要是由一群传感器节点流向汇聚节点。汇聚节点对这一群传感器节点(节点组)集体采集的信息感兴趣，而某一标量节点单独汇报的信息不能说明问题^[12,13]。这就是有别于端到端通信的多对一的通信模式。

由此，我们定义了组服务质量参数：

组延迟(Ed)：节点组产生的第 1 个标量分组与汇聚节点收到第 m 个该节点组的标量分组之间时间间隔。

组丢包率(Er)：汇报事件过程中节点组丢失的标量分组与生成的标量分组之间的比值。

组带宽(λ_c)：每秒节点组发出的标量分组个数。

我们的目标就是研究如何通过设置各节点组的 D 来保证汇聚节点能够及时检测到事件发生。

令 s 表示一个标量分组的端到端时延，有

$$D_c = \max(s) \quad (6)$$

由上述可知 Ed 必须小于 μ 。设 Red 为满足用户需要情况下的 Er 最大值，那么当 m 个标量分组到达汇聚节点时，只要有 $m/(1-\text{Red})$ 个标量分组生成，就能符合用户需要。当 λ_c 的要求满足时，那么生成 $m/(1-\text{Red})$ 个标量分组至少需要 $m/[\lambda_c(1-\text{Red})]$ s。如图 1 所示，可见 s 和 Ed 间的关系：

$$m/[\lambda_c(1-\text{Red})] + s = \text{Ed} \quad (7)$$

而且 Ed 必须小于 μ ，由式(6)，式(7)可得

$$D_c \leq \mu - m/[\lambda_c(1-\text{Red})] \quad (8)$$

当把节点组的标量分组 D 值设置满足式(8)，汇

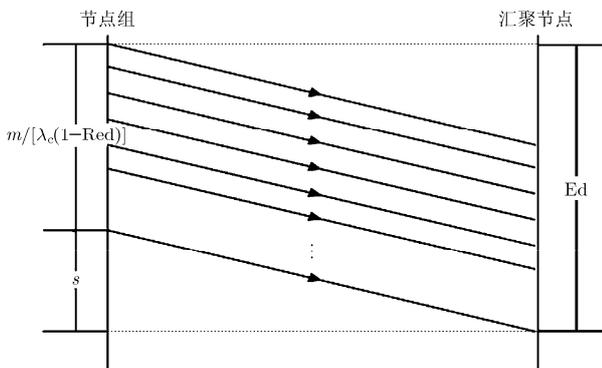


图1 s 和Ed之间的关系

聚节点会在 μ s 内收到大于 m 个报告分组，用户会认为节点组报告的事件发生了。由此，我们得出了标量分组 D 值设定的条件。

4 实时分组的生存时间

当标量节点检测到事件发生后，多媒体节点会启动。本节将研究怎样在保证标量分组的 D_c 值设定的条件下，保证中间节点优先转发实时多媒体分组。从式(5)可知，如果给分组设置的 D 值越小，生成时间越早，离汇聚节点越远，该分组将越优先得到服务。而式(5)中可以设定的只有 D 值，如果 D 值设置得过小，该分组可能还未到达目的节点就已被丢弃；而如果 D 值设置过大，分组在中间节点排队时间就有可能过长，不能及时转发。因此如何设置 D 值，才能既保证实时数据优先转发，又保证标量分组能及时汇报事件发生，是待解决的问题。

由第 2 节可知，只要保证在某结点进行 DQS 排队时， t_{eT} 总是小于 t_{ec} 就可以保证实时分组总是能够被优先转发。对于当前时刻 t 而言，由式(5)有

$$t_{eT} = D_T + t_{gT} - v \quad (9)$$

$$t_{ec} = D_c + t_{gc} - v \quad (10)$$

由式(9)，式(10)可知，虽然可以人为地设置 $D_T < D_c$ ，但是只要 t_{gc} 足够小，就有可能让 $t_{eT} > t_{ec}$ ，使得实时分组排在标量分组之后，不能及时被处理。为了避免这种情况，我们必须保证 $t_{eT} < t_{ec}$ ，即 $D_T + t_{gT} - v < D_c + t_{gc} - v$ 。

所以，当 $D_T + t_{gT} < D_c + t_{gc}$ 时，可以保证 t_{eT} 总是小于 t_{ec} 。又因为 $t > t_{gT}$ ，所以，当

$$D_c - D_T > t - t_{gT} \quad (11)$$

时，必有 $D_c - D_T > t_{gT} - t_{gc}$ ，可以保证实时分组总是能够被优先转发。

第 1 种情况 当 $\lambda_T + \lambda_c > C$ 且 $\lambda_T < C$ ， $\lambda_c < C$ 时，假设实时分组均被优先转发，那么标量分组实际被转发的速率为 $C - \lambda_T$ ，在 t 时刻已被转发了 $t(C - \lambda_T)$ 个标量分组。而第 $t(C - \lambda_T)$ 个分组生成的时刻为 $t(C - \lambda_T)/\lambda_c$ 。由式(11)得， $D_c - D_T > t - t(C - \lambda_T)/\lambda_c$ ，即， $D_c - D_T > t(\lambda_T + \lambda_c - C)/\lambda_c$ 时 $t_{eT} < t_{ec}$ 。所以，当 $t = (D_c - D_T)\lambda_c / t(\lambda_T + \lambda_c - C)$ 时第 1 个标量分组将会排在实时分组之前，而在此时已被转发了 $(D_c - D_T)(C - \lambda_T)\lambda_c / t(\lambda_T + \lambda_c - C)$ 个标量分组。该分组生成时刻为 $t_{gc} = (D_c - D_T)(C - \lambda_T)/(\lambda_T + \lambda_c - C)$ 。此时队列的长度为

$$\begin{aligned} & (D_c - D_T)(C - \lambda_T)(\lambda_T + \lambda_c - C)/(\lambda_T + \lambda_c - C) \\ & = (D_c - D_T)(C - \lambda_T) \end{aligned}$$

当 $(D_c - D_T)(C - \lambda_T) > L$ 时，这个将排在实时分组之前的标量分组，会由于缓存队列满而被丢弃。

所以，在第 1 种情况时我们可得到的结论是：若 $(D_c - D_T)(C - \lambda_T) > L$ 条件满足，就可以保证实时分组得到优先转发。

第 2 种情况 当 $\lambda_T + \lambda_c < C$ 时，标量分组生成速率为 λ_c ，而实际转发速率也为 λ_c ，在 t 时刻标量分组被转发了 $t\lambda_c$ 个数据包。第 $t\lambda_c$ 个数据包生成的时间即为 t 。由式(11)得， $D_c - D_T > 0$ 时， $t_{eT} < t_{ec}$ 。所以，在第 2 种情况时，当 $D_c > D_T$ 时，就可以保证实时分组得到优先转发。

第 3 种情况 当 $\lambda_T > C$ 时，带宽无法保证正常通信，不在研究范围内。

因此，我们得出的结论是：当 $\lambda_T + \lambda_c > C$ 且 $\lambda_T < C$ ， $\lambda_c < C$ 时，保证实时分组优先转发的条件是 $(D_c - D_T)(C - \lambda_T) > L$ ；当 $\lambda_T + \lambda_c < C$ 时，保证实时分组优先转发的条件是 $D_c > D_T$ 。

综合第 3 节内容可得：当 $\lambda_T + \lambda_c > C$ 且 $\lambda_T < C$ ， $\lambda_c < C$ 时，只要设置 $D_T + L/(C - \lambda_T) < D_c \leq \mu - m/[\lambda_c(1 - Red)]$ ；当 $\lambda_T + \lambda_c < C$ 时，只要设置 $D_T < D_c \leq \mu - m/[\lambda_c(1 - Red)]$ 就可以保证实时分组优先转发，且标量节点能够及时可靠地向汇聚节点报告事件发生。

5 仿真实验

我们在 NS2 仿真平台^[14]上用 C 语言实现了 DQS 算法。仿真设计是这样考虑的：分两种情况分别设置 λ_T 、 λ_c 和 C ，指定 L 、 m 、 μ ，改变 D_c 和 D_T ，看在上文所述条件满足时，标量节点是否能够及时地汇报事件的发生，实时事件的性能是否优于非实时事件。实验采用了典型的无线传感器网络场景，如图 2 所示^[15]。仿真时间 100 s，分组长度为 512 byte。

我们假设 $L=20$ packets, $m=30$, $\mu=20$ s, $Red=1/2$, $\mu - m/[\lambda_c(1 - Red)]=14$ 。

情况 1 设 $\lambda_T=64$ kbps=16 packet/s, $\lambda_c=40$

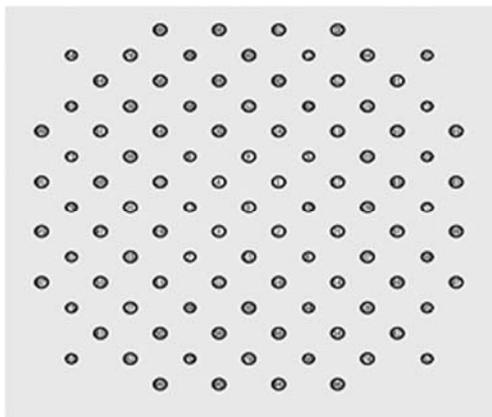


图2 仿真场景

kbps=10 packet/s, $C=80$ kbps=20 packet/s(此时 $\lambda_T + \lambda_c > C$ 且 $\lambda_T < C$, $\lambda_c < C$), $L=20$ packet, 此时，先设 $D_c=10$ s<14 s, $D_T=2$ s, 则 $(D_c - D_T) \cdot (C - \lambda_T) = 32 > L$, 进行第 1 次实验；再设 $D_c=20$ s>14 s, $D_T=16$ s, 即 $(D_c - D_T)(C - \lambda_T) = 16 < L$, 进行第 2 次实验。所得的实验结果如图 3 所示。图中，Dt11 表示第 1 次实验中每一个到达汇聚节点的实时分组的端到端时延；Dc11 表示第 1 次实验中每一时刻标量分组的事件时延；Dt12 表示第 2 次实验中每一个到达汇聚节点的实时分组的端到端时延；Dc12 表示第 2 次实验中每一时刻标量分组的事件时延。其中，计算得 Dt11 总的平均时延为 0.720758 s；Dc11 总的平均时延为 0.669534 s；Dt12 总的平均时延为 4.946627 s；Dc12 总的平均时延为 0.756391 s。可见，当条件满足时，实时分组和标量分组均得到了及时发送，时延非常小；而当条件不满足的时候，实时分组的时延非常大，不能保证其实时性要求。从而验证了文中的结论：若 $D_T + L/(C - \lambda_T) < D_c \leq \mu - m/[\lambda_c(1 - Red)]$ 条件满足，就可以保证实时分组得到优先转发。

情况 2 设 $\lambda_T=64$ kbps=16 packet/s, $\lambda_c=40$ kbps=10 packet/s, $C=160$ kbps=40 packet/s(此时 $\lambda_T + \lambda_c < C$), 先设 $D_c=10$ s<14 s, $D_T=2$ s, 即 $D_c > D_T$, 进行第 1 次实验；再设 $D_c=16$ s>14 s, $D_T=40$ s, 即 $D_c < D_T$, 进行第 2 次实验。所得的实验结果如图 4 所示。

图 4 中，Dt21 表示第 1 次实验中每一个到达汇聚节点的实时分组的端到端时延；Dc21 表示第 1 次实验中每一时刻标量分组的事件时延；Dt22 表示第 2 次实验中每一个到达汇聚节点的实时分组的端到端时延；Dc22 表示第 2 次实验中每一时刻标量分组的事件时延。其中，计算得 Dt21 总的平均时延为 0.377312 s；Dc21 总的平均时延为 0.501699 s；Dt22 总的平均时延为 2.451680 s；Dc22 总的平均时延为 0.562093 s。由于这种情况下带宽比较充足，所有时延都相对于情况 1 有所减小。同样，当条件满足时，实时分组和标量分组均得到了及时发送，时延非常小；而当条件不满足时，实时分组的时延非常大，不能保证其实时性要求。从而验证了文中的结论：若 $D_T < D_c \leq \mu - m/[\lambda_c(1 - Red)]$ 条件满足，就可以保证实时分组得到优先转发。

图 5 记录的是 4 次实验 m 值变化的情况。其中， $m11$ 表示情况 1 第 1 次实验每一时刻的 m 值； $m12$ 表示情况 1 第 2 次实验每一时刻的 m 值； $m21$ 表示情况 2 第 1 次实验每一时刻的 m 值； $m22$ 表示情况 2 第 2 次实验每一时刻的 m 值。由于情况 2 时带宽

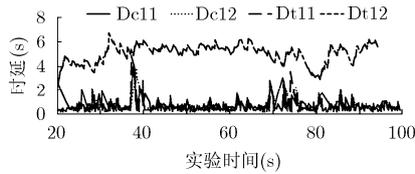


图3 情况1的实时分组端到端
时延与实验时间的关系

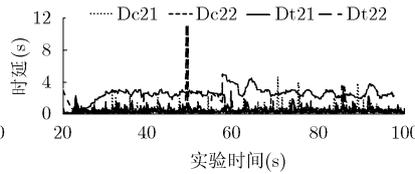


图4 情况2的实时分组端到端
时延与实验时间的关系

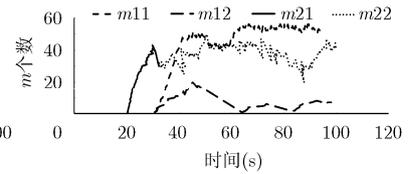


图5 4次实验m随时间变化图

比较充裕，因此两次实验 m 值均大于 30；而在情况 1 只有第 1 次实验 $m > 30$ 。从而验证了文中的结论：若 $D_T < D_c \leq \mu - m / [\lambda_c(1 - \text{Red})]$ 条件满足，标量节点能够及时可靠地向汇聚节点报告事件发生。

6 结论

文中主要研究了异构多媒体传感器网络如何利用区分队列服务算法在标量节点能够及时可靠地向汇聚节点报告事件发生的前提下，保证实时分组优先转发。在区分队列服务算法中，如果 D 值设置得过小，该分组可能还未到达目的节点就已经被丢弃；而如果 D 值设置过大，分组在中间节点排队的时间就有可能过长，不能及时被转发。我们通过反复实验，仔细推导，得出的结论是：当 $\lambda_T + \lambda_c > C$ 且 $\lambda_T < C$ ， $\lambda_c < C$ 时，只要设置 $D_T + L / (C - \lambda_T) < D_c \leq \mu - m / [\lambda_c(1 - \text{Red})]$ ；当 $\lambda_T + \lambda_c < C$ 时，只要设置 $D_T < D_c \leq \mu - m / [\lambda_c(1 - \text{Red})]$ 就可以保证实时分组优先转发，且标量节点能够及时可靠地向汇聚节点报告事件发生。仿真实验验证了这一结论的正确性。

参考文献

- [1] Lee Ivan, Shaw W, and Fan Xiao-ming. Guide to Wireless Sensor Networks[M]. London: Springer, 2009: 561-582.
- [2] Ehsan S and Hamdaoui B. A survey on energy-efficient routing techniques with QoS assurances for wireless multimedia sensor networks[J]. *Communications Surveys & Tutorials*, 2012, 14(2): 265-278.
- [3] Francesco M D, Li Na, Cheng Long, et al. A framework for multimodal sensing in heterogeneous and multimedia wireless sensor networks[C]. 2011 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, Lucca, 2011: 1-3.
- [4] Seco T, Bermudez J, Paniagua J, et al. Dynamic and heterogeneous wireless sensor networks for virtual instrumentation services: application to perishable goods surveillance[C]. 2011 IEEE Eighth International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems, Spain, 2011: 849-854.
- [5] Melodia T and Akyildiz I F. Distributed Video Sensor Networks[M]. London: Springer, 2011: 233-246.
- [6] Akan Ö B and Akyildiz I F. Event-to-sink reliable transport in wireless sensor networks[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2005, 13(5): 1003-1016.
- [7] Jalil Jabari Lotf and Seyed Hossein Hosseini Nazhad Ghazani. Quality of service in wireless sensor networks[C]. The Third International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics", Azerbaijan, 2010: 154-156.
- [8] Yaghmaee H and Adjeroh D. Priority-based rate control for service differentiation and congestion control in wireless multimedia sensor networks[J]. *Elsevier Computer Networks*, 2009, 53(11): 1798-1811.
- [9] Jiang S M. Granular differentiated queuing services for QoS: structure and cost model[J]. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2005, 35(2): 13-22.
- [10] Teng X F, Jiang S M, and Wei G. A Cross-layer implementation of differentiated queuing service (DQS) for wireless mesh networks[C]. Vehicular Technology Conference, Marina Bay, Singapore, 2008: 2233-2237.
- [11] Tang L, Jiang S M, and Ao X. Improved differentiated queuing service based on event QoS parameters for wireless sensor network[C]. Proceedings 2010 IEEE 12th International Conference on Communication Technology, Nanjing, 2010: 1327-1331.
- [12] Chen D and Varshney P K. QoS support in wireless sensor networks: a survey[C]. Proceedings of the International Conference on Wireless Networks, Bogart, USA, 2004: 227-233.
- [13] Wang Y L, Liu X H, and Yin J P. Requirements of quality of service in wireless sensor network[C]. Proceedings of the International Conference on Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies (ICNICONSMCL'06), 2006: 114.
- [14] The Network Simulator ns-2[OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, 2011.11.05.
- [15] Zheng J L and Lee M J. A Comprehensive Performance Study of IEEE 802.15.4 [M]. IEEE Press Book, 2006: 218-237.

唐琳：女，1975年生，讲师，博士生，研究方向为无线传感器网络。