



## 一种多等级无线体域网服务质量方法

马玉军<sup>1,2</sup>, 陈敏<sup>1</sup>, 王军锋<sup>1,3</sup>

(1. 华中科技大学计算机科学与技术学院 武汉 430074;

2. 南阳理工学院计算机网络中心 南阳 473004;

3. 郑州大学信息工程学院 郑州 450001)

**摘要:**提出一种基于等级的无线体域网(WBAN)QoS框架,将WBAN中的QoS分为3个等级。利用IEEE 802.15.4的信标模式中基于时隙的CSMA/CA机制、保障时隙以及传感器节点内部的流量区分实现了QoS框架。仿真结果表明提出的QoS框架可以满足WBAN对QoS的需求。

**关键词:**无线体域网;服务质量;保障时隙调度;退避指数

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.05.012

## Quality of Service Approach for Wireless Body Area Network Based on Grade

Ma Yujun<sup>1,2</sup>, Chen Min<sup>1</sup>, Wang Junfeng<sup>1,3</sup>

(1.School of Computer Science & Technology of Huazhong University of Science and Technology,Wuhan 430074,China;

2.Computer Network Center, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004,China;

3. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001,China)

**Abstract:** A quality of service framework based on grade for WBAN that have three different grades was proposed. Utilizing time slot-based CSMA/CA of beacon enabled model of IEEE 802.15.4, guaranteed time slot and traffic differentiation, the QoS framework was implemented. Simulation results indicate the QoS framework can meet the QoS requirements of WBAN.

**Key words:** wireless body area network, quality of service, guaranteed time slot scheduling, backoff exponent

### 1 引言

近年来,无线体域网(wireless body area network, WBAN)逐渐成为研究热点,吸引了许多学术界和工业界的研究人员,在医疗护理、体育、娱乐、军工企业、社会公共等领域应用需求很大。目前,在WBAN中广泛使用的无线标准是IEEE 802.15.4,它支持非常低的功耗,特别适合低速率近距离的无线传输。

在WBAN中,终端节点(end device)是人身上佩戴的

传感器,如心电图(ECG)、脑电图(EEG)、重力加速计等,如图1所示。通常情况下,人体传感器不会和外界接入点直接通信,因此引入PS(personal server,个人服务器)作为联接人体传感器和外界接入点的桥梁。除了路由人体感知数据分组之外还可以有其他功能,例如,用于人体感知信息融合、降低数据冗余度,或作为网络协调器。

与传统的无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)中QoS特性不同,WBAN中对业务实时性、可靠性等服务质量(quality of service, QoS)要求更高,而且对于不

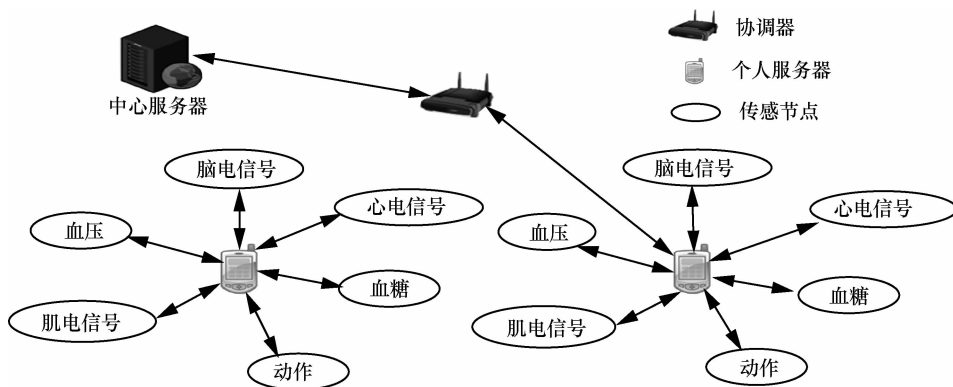


图1 无线体域网树型结构

同的 WBAN 应用场景, QoS 要求也需量身定做。比如在医院的真实应用中, 在带宽有限的情况下, 不同传感数据的 QoS 及传输优先级将不同, 根据医院实际情况考虑以下 3 种情况。

- 病人之间的优先级, 即不同病人之间提供的服务优先级不同(例如急诊危重病病人的数据比慢性病病人的数据优先传输, 因此需要设置更高的优先级)。
- 传感器节点之间的优先级, 即同一病人的不同种类传感数据的服务优先级不同(例如心电图数据通常要优先于体温数据)。
- 传感器节点内部的优先级, 即同一节点同一类传感数据, 在不同时间的优先级可能动态变化(例如血糖数据通常指定较低的优先级, 然而当血糖过高或过低时, 需要指定高优先级)。

IEEE 802.15.4 中 MAC 层有两种模式, 信标模式和非信标模式, 目前已经有了一些基于这两种模式的 QoS 研究, 例如 Bilel Nefzi 等人设计的 CoSenS 系统实现了简单的可扩展服务区分方法, 在保证尽力传输流量的同时能够自动适应流量变化; Cao H 等人则基于信标使能模式下超帧结构提出了一种单层级的 QoS 方案。但是这些研究没有从多个等级对 WBAN 业务数据之间的优先级做出更为细致的区分。本文基于 IEEE 802.15.4 信标使能模式和树型拓扑结构, 提出一种基于等级的 QoS 框架, 分别对竞争访问期(contention access period, CAP) 和非竞争访问期(contention free period, CFP) 提出了适应不同优先级数据的 QoS 算法。通过网络仿真验证了所提出框架的可行性和实用性。

## 2 IEEE 802.15.4 MAC 协议与树型拓扑

IEEE 802.15.4 提供两种操作模式: 信标模式和非信

标模式。在非信标模式中, 使用非时隙的 CSMA/CA 机制进行通信, 这种机制比信标模式中采用的基于时隙的 CSMA/CA 机制简单, 所有节点均以竞争方式接入信道。信标模式更适合实时数据和周期性数据传送, 也适合在 WBAN 中实现 QoS。本文主要研究信标模式下的网络通信。

在信标模式中, 有一个非常重要的概念: 超帧(superframe), 它是一个周期性的时间结构, 分为活跃期(active)和可选的非活跃期(inactive), 每个协调器都有自己的超帧, 超帧结构如图 2 所示。协调器周期性发送信标帧, 节点通过信标帧进行同步操作。两个相邻信标帧的时间间隔称为信标间隔(beacon interval, BI)。节点在活跃期打开接收机接收数据或者准备接收数据, 在非活跃期休眠以节约能量。超帧活跃期的持续时间用参数 SD(superframe duration) 表示, 它被划分为 16 个相等的时隙(aNumSuperframeSlots)。整个活跃期又被分为竞争访问期(contention access period, CAP) 和非竞争访问期(contention free period, CFP), 节点在 CAP 采用基于时隙的 CSMA/CA 机制访问信道, 而在 CFP 内则采用 TDMA (time division multiple access) 进行通信, 使用保障时隙(guaranteed time slot, GTS)描述时隙资源, 在 CFP 中包括一个或多个 GTS, 被分配给某个设备的 GTS 包括一个或多个时隙用于和协调器通信。

信标间隔和超帧持续时间分别由信标阶(beacon order, BO)和超帧阶(superframe order, SO)决定, 计算方法如式(1)和式(2)所示。SO 和 BO 必须满足:  $0 \leq SO \leq BO \leq 14$ 。

$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO} \quad (1)$$

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO} \quad (2)$$

$$(aBaseSuperframeDuration = aBaseSlotDuration \times$$

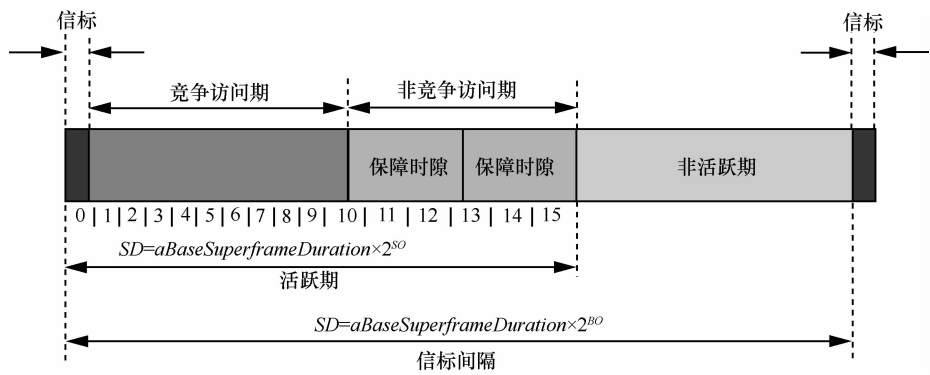


图 2 超帧结构

$aNumSuperframeSlots = 60 \times 16 = 960 \text{ symbol}$

基于时隙的 CSMA/CA 机制有 3 个重要的参数: *NB* (number of backoff)、*CW* (content windows) 和 *BE* (back off exponent)。其中 *NB* 表示退避次数,初始值为 0,最大值为 4。当节点完成随机延迟,并监测到信道繁忙,则 *NB* 加 1;若 *NB* 超过最大值,则发送失败。*CW* 为竞争窗,表示发送数据前需要确认信道空闲的次数,默认值为 2。当确认信道空闲成功一次,则 *CW* 值减 1,当 *CW* 为 0 并且网络信道空闲时开始传输数据。*BE* 表示退避指数,表示检测信道是否空闲之前需要随机退避时间,*BE* 的取值范围是 0~5,默认值为 3。

IEEE 802.15.4 协议对 *NB*、*BE* 和 *CW* 值的设定不是强制性的,可以根据实际情况进行调整,具有较高的灵活性。后面将对这些参数进行适当的调整以满足 QoS 需求。

IEEE 802.15.4 信标模式中 CFP 使用保障时隙(guaranteed time slot,GTS)为接入设备提供信道访问。设备访问信道前必须申请 GTS,GTS 请求命令帧格式如图 3 所示。

|           |                          |                     |
|-----------|--------------------------|---------------------|
| octets:7  | 1                        | 1                   |
| MHR field | command frame identifier | GTS characteristics |

|            |               |                      |          |
|------------|---------------|----------------------|----------|
| bits:0-3   | 4             | 5                    | 6-7      |
| GTS length | GTS direction | characteristics type | reserved |

MHR:MAC 帧头

图 3 GTS 申请命令帧格式

节点(终端设备或路由器)使用 GTS 进行数据传输时,必须向其父节点(路由器或协调器)发送 GTS 分配请求命令帧,当命令帧中 characteristics type 域的值为 1 时,表示申请 GTS,GTS length 域表示所申请时隙个数。父节点接收到 GTS 请求命令帧后发送确认帧。父节点在分配 GTS 时

必须同时满足如下 3 个条件。

- 父节点当前超帧的 CFP 中剩余时隙个数大于或等于节点请求的 GTS 长度。
- 父节点中已分配的 GTS 数小于 7(每个超帧最多分配 7 个 GTS)。
- 分配 GTS 后父节点的 CAP 长度大于或等于 aMinCAPLength 的值(IEEE 802.15.4 规定的 CAP 最小长度,其值为 440 个符号)。

在带宽资源允许的情况下,父节点使用先来先服务原则为节点分配 GTS,并将 GTS 分配情况存入信标帧的 GTS 域。请求 GTS 的节点在约定的信标周期内对收到的信标帧的 GTS 域进行分析,判断是否被分配了 GTS,如果父节点为自己分配了 GTS,则可在指定的 GTS 时隙范围内发送数据,否则 GTS 分配请求失败。

3 基于等级的 QoS 框架

本部分提出一种采用树型拓扑结构并基于 IEEE 802.15.4 信标模式的无线体域网服务质量框架。框架整合 IEEE 802.15.4 信标使能通信模式、采用树型拓扑结构以及树路由。框架将服务区分分为 3 个等级,第 1 个等级为病人级别的服务区分,根据病人的疾病紧急程度或者交费情况确定其优先级,保证优先级高的病人的通信,将其称为病人间的优先级。第 2 个等级为病人内部传感器间的优先级。通常,WBAN 中人体一般携带多个传感器节点(例如 EEG、ECG),根据实际情况,这些传感器节点通常具有不同的优先级,例如,心脏病病人的 ECG 传感器的优先级应该比其他传感器高,当心脏病发作时,ECG 数据必须优先于其他传感器节点被发送出去。第 3 个等级为传感器节点内部数据的优先级,传感器节点内部要发送的数据帧,根据其紧



急程度进行优先级区分,保证重要的突发紧急数据优先发送,例如心脏病病人在心脏病发作时,必须立即将这个数据信息发送到医疗中心。利用 IEEE 802.15.4 信标模式中的竞争访问期和非竞争访问期来实现这 3 个等级的优先级。

### 3.1 基于不同用户的 QoS 实现

每个病人身上都带有一个 PS,它负责接收病人携带的传感器数据并将数据转发出去。PS 具备树路由功能。

在医疗应用中,有些病人的某个传感器数据需要优先传输,因此需要对数据区分优先级。比如在紧急医疗场合,危重病人的数据需要采用更高的优先级传输。考虑使用 GTS characteristic 字段中的 reserved 中的两位来指定数据的优先级,它可以指定 00~03 共 4 个优先级。

医护人员根据病人具体情况设置节点或路由器的优先级,节点申请 GTS 时,将优先级设置到 reserved 字段中。当其父节点(路由器或协调器)接收到其 GTS 请求之后,根据 reserved 请求的优先级将其插入 GTS 队列中。

父节点 GTS 队列中优先级越低的排在队列越前面。分配 GTS 从队列的最后开始往前分配,如图 4 所示。

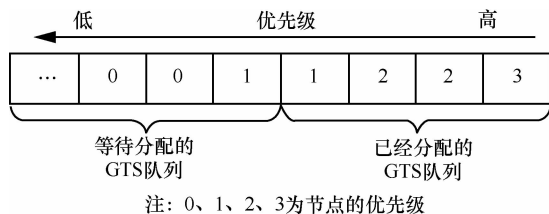


图 4 保障时隙队列示意

插入队列之后,父节点按照 GTS 队列优先级从高到底重新分配 GTS,可能导致低优先级的 GTS 失去时隙,则失去分配时隙的 GTS 成为“waiting GTS”状态,等待高优先级 GTS 释放时隙资源。当高优先级的 GTS 节点释放 GTS 时,则父节点重新进行 GTS 分配,后面的“waiting GTS”可能重新获得时隙资源。

树型结构下,当路由器下的节点优先级改变之后,将路由器的优先级也相应改变,路由器的优先级是各子节点优先级的加权平均,计算方法如式(3)所示。

$$P_r = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times P_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (3)$$

其中  $P_r$  表示路由器的优先级,  $S_i$  和  $P_i$  分别表示第  $i$  个

子节点的时隙数和优先级。

GTS 申请流程如下:

- (1)终端节点向路由器发送 GTS 请求;
- (2)路由器向终端节点回复 ACK 帧;
- (3)路由器为终端节点分配时隙,更新自己的优先级;
- (4)如果路由器优先级发生变化,则向协调器发送新的 GTS 请求;
- (5)如果路由器已经分配了 GTS,则协调器更新其 GTS 信息,否则,协调器根据路由器优先级为其分配 GTS 时隙;
- (6)路由器向终端节点发送带有新的分配信息的信标帧;
- (7)协调器向路由器发送带有新的分配信息的信标帧。

步骤(3)父节点分配 GTS 的算法如下。

#### 算法 1 分配保障时隙(GTS)

通过优先级在队里中查找正确的位置,  
将新的 GTS 请求信息插入队列并排序

```

if (num_GTS_higher_priority >= 7) or (num_slots_higher_priority > Max_slots) then Failure
for each in GTS queue from back to front
  if (num_GTS > 7) or (num_slots_allocated > Max_slots)
  then
    set GTSi be Waiting_GTS
  else Allocate GTS and slots to GTSi
  if GTSi changed, set beacon times be aGTSDesc
  Persistence Time
end for
my_Priority = sum (Priorityi × slot_lengthi) / sum (slot_lengthi)
if my_priority changed then set new GTS request to parent

```

当终端节点接收到信标帧时,如发现自己的 GTS 起始时隙为 -1,则停止发送数据,直到信标帧重新分配到 GTS (其起始时隙不是 -1),再传输数据。

路由器优先级变化之后,向协调器发送新的 GTS 请求,协调器根据路由器的优先级更新其 GTS 队列,然后通过信标帧通知路由器,处理过程和路由器类似。

### 3.2 基于不同数据的 QoS 实现

人身体上可能带有多个传感器节点(如 EEG、ECG)。传感器节点间的 QoS 实现有两种方法。

- 利用基于时隙的 CSMA/CA 机制中 CAP 的 BE。

· 利用 CFP 的 GTS,这部分功能已经整合到基于不同用户的 QoS 实现中。

下面具体介绍第 1 种方法。

退避指数表示节点在探测信道忙闲状态时需要随机退避等待的时间,它的值要根据电池寿命扩展参数 *macBattLifeExtPeriod* 设置,如果这个属性值为 true,则  $BE = \min(2, macMinBE)$ ,即 2 和 *macMinBE* 之间的最小值,如果这个属性值为 false,则  $BE = macMinBE$ 。因为在体域网中节点电池的更换相对比较容易,假设 *macBattLifeExtPeriod* 属性值为 false,*macMinBE* 的值即为 *BE* 的值。用 *T* 表示随机退避等待的时间,用 *R* 表示  $0 \sim (2^{BE}-1)$  之间的随机整数。*T* 可以用式(4)表示。

$$T = aUnitBackoffPeriod \times R = 20(symbol) \times R \quad (4)$$

可见 *BE* 值的选取直接影响随机退避时间 *T*,*BE* 的范围为  $0 \sim macMaxBE$ ,而 *macMaxBE* 的值为  $0 \sim 5$ 。较小的 *BE* 意味着设备有较大的可能优先使用信道发送数据。由此可见,如果节点的退避指数不同,则节点在使用 CSMA/CA 机制访问信道时,占用信道的概率也不相同。通过调节每个终端设备的 *BE* 值实现服务区分,*BE* 越小,终端设备的优先级越高,从而保证在竞争访问期内的服务质量。

3.3 基于传感器节点内部数据的 QoS 实现

在每一个传感器节点的内部,存在多种需要发送的数据类型,例如,周期性发送的非紧急数据,突发事件的紧急数据,要求确认的数据和不要求确认的数据以及 MAC 层的命令帧等。为了保证发生突发事件时紧急数据能够立即成功发送,需要对这些数据进行服务区分,提供 QoS 保证。

节点内部在 CAP 内发送的数据的分类、优先级设置见表 1。

表 1 节点内部优先级

| 优先级 | 数据类型     | 描述                |
|-----|----------|-------------------|
| 3   | 要求确认的数据  | 突发事件时紧急数据或者日常重要数据 |
| 2   | MAC 命令帧  | MAC 层协议的命令        |
| 1   | 不要求确认的数据 | 不重要的日常数据          |

当节点内部生成数据流量后,内部处理程序根据其数据类型设置优先级,然后将数据加入 CAP 发送队列中,如果队列为空,则数据直接加入队列即可,如果队列不为空,则需要根据数据分组的优先级将数据分组插入队列中,优先级高的数据分组排在优先级低的数据前面,以保证优先

被发送出去。具体算法如下。

算法 2 设置竞争访问期 CAP 优先级

```
switch TypeofMAC_DATAi
case ACK://需要 ACK
    set_priority(MAC_DATA,3);//设置优先级 3
case COMMAND://MAC 命令帧
    set_priority(MAC_DATA,2);//设置优先级 2
case NO_ACK://不需要 ACK
    set_priority(MAC_DATA,1);//设置优先级 1
endswitch
if(CAP_Queue_Empty)//如果 CAP 队列为空
    Insert_Queue(MAC_DATAi);//插入 CAP 队列
else
    for each in CAP_Queue
        if (MAC_DATAi > CAP_Queue[j])
            Insert_Queue (MAC_DATAi, j);//在 j 之前
            插入 CAP 队列
    end for
    Insert_Queue(MAC_DATAi);//插入 CAP 队列末尾
```

4 性能评估

通过计算机仿真对提出的 QoS 框架和实现算法进行性能评估。使用 OPNET Modeler 仿真工具和开放源代码的 IEEE 802.15.4/ZigBee OPNET 仿真模型,实现了提出的基于等级的 QoS 框架和算法,修改了仿真模型中的树路由算法以满足 QoS 的要求,加入了支持 QoS 的 GTS 调度算法。

4.1 基于退避指数的 QoS 仿真

假设病人身上携带 3 个传感器节点,这 3 个传感器节点都需要和 PS 通信。传感器节点 node1、node2 和 node3 的 *BE* 值分两种情况:第 1 种情况,3 个传感器节点的 *BE* 值都为 3;第 2 种情况,3 个传感器节点的 *BE* 值分别为 1、2 和 3。3 个传感器节点在 CAP 内的流量开始时间相同,流量速率设置为 100 bit/0.03 s,仿真时间为 50 s。*BE* 两种取值的 CAP 队列时延仿真结果如图 5 和图 6 所示。当节点的 *BE* 值相等时,3 个节点要发送的数据在队列中的时延集中为 0.005~0.010 s。设置不同 *BE* 值后,node 1 节点的队列时延为 0.003~0.004 s,node2 节点的队列时延为 0.006~0.008 s,node3 节点的队列时延为 0.008~0.012 s。仿真结果表明 3 个节点将数据发送出去的

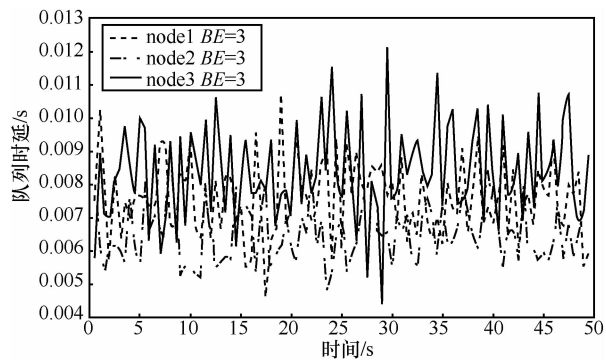


图5 节点退避指数都为3

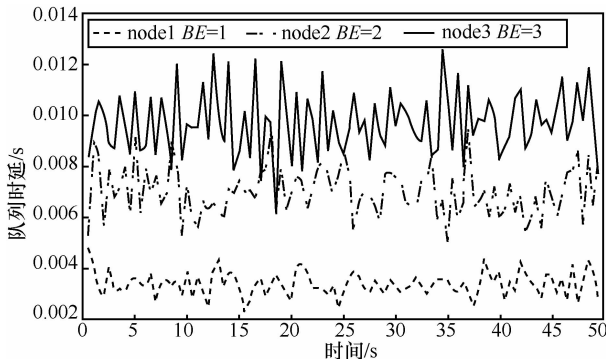


图6 节点退避指数依次为1、2、3

时延随着  $BE$  值的增大依次增加,实现了按照优先级发送数据的效果。

#### 4.2 基于 GTS 的 QoS 仿真

在一个路由器下设置6个子节点, $BO$  设置为6, $SO$  设置为2,每个子节点分组间隔为1 s,分组大小为500 bit,仿真时间设置为60 s。

首先看修改之前,如果4个节点申请的 GTS 优先级相同,node1~node6 都申请4个时隙,仿真结果如图7所示。

可以看到,根据先来先服务的原则,node1 至 node3 都申请到4个时隙,因为最小 CAP 的限制,CFP 最大可分时隙

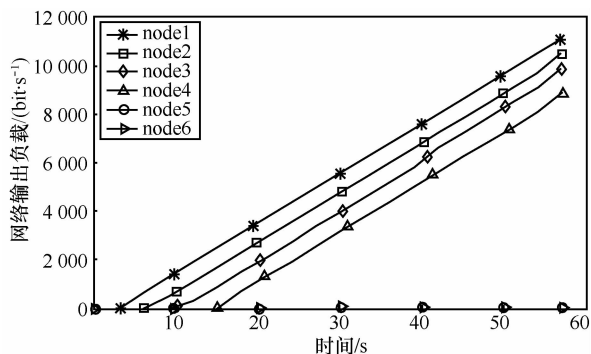


图7 未设优先级的网络输出负载

数为13个,node4 申请到1个时隙,当 node5 和 node6 开始申请时,已经有时隙可用,因此一直没有申请成功。

改进 GTS 分配算法之后,仿真的 GTS 参数设置见表2。仿真结果如图8所示。

表2 节点仿真参数

| 节点名称  | 仿真开始时间/s | 仿真结束时间/s | 优先级 | 时隙数 |
|-------|----------|----------|-----|-----|
| node1 | 4        | 仿真结束     | 1   | 4   |
| node2 | 8        | 仿真结束     | 1   | 4   |
| node3 | 1        | 仿真结束     | 2   | 4   |
| node4 | 1        | 仿真结束     | 3   | 4   |
| node5 | 2        | 40       | 3   | 4   |
| node6 | 2        | 50       | 3   | 4   |

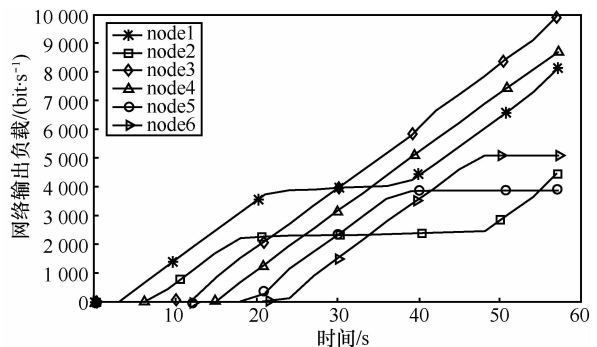


图8 设置优先级后的网络输出负载

图9是node4 开始发送数据之后,父节点 GTS 队列随着 node5、node6 的开始和结束发送数据(第16 s~第50 s)的变化。当 node4 申请 GTS 时隙时,优先分得4个时隙,node2 和 node3 仍然各占有4个时隙,因为 node2 的优先级最低,所以其时隙只剩下1个。GTS 队列如图9(a)所示。

| 节点 | node2 | node1 | node3 | node4 |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 时隙 | 1     | 4     | 4     | 4     |

(a)

| 节点 | node2 | node1 | node3 | node4 | node5 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 时隙 | 0     | 1     | 4     | 4     | 4     |

(b)

| 节点 | node2 | node1 | node3 | node4 | node5 | node6 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 时隙 | 0     | 0     | 4     | 4     | 4     | 4     |

(c)

| 节点 | node2 | node1 | node3 | node4 | node6 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 时隙 | 0     | 1     | 4     | 4     | 4     |

(d)

注:时隙数为0表示进入等待状态

图9 保障时隙队列变化

当 node5 在第 20 s 申请到 4 个时隙之后, node2 的 GTS 被剥夺, 进入等待状态, 从图 8 可以看到 node2 的网络输出负载在第 20 s 时开始走平, node1 只剩一个时隙。GTS 队列如图 9(b) 所示。

当 node6 在第 24 s 申请到 4 个时隙之后, node1 的 GTS 也被剥夺, 进入等待状态, GTS 队列如图 9(c) 所示, 图 8 中的 node1 的网络输出负载开始走平。

在第 40 s 时, node5 到达结束时间, 释放了 GTS, node1 重新获得了 1 个时隙的 GTS, GTS 队列如图 9(d) 所示。图 9 中 node5 的网络输出负载开始走平, 而 node1 则又开始传输数据, 网络输出负载开始向上走。

在第 50 s 时, node6 到达结束时间, 释放了 GTS, node1 增加了 3 个时隙, 成为 4 个时隙, node2 重新获得了 1 个时隙的 GTS, GTS 队列状态恢复到图 9(a)。图 8 中 node6 的网络输出负载开始走平, 而 node2 则又开始传输数据, 网络输出负载向上走。

以上结果说明实现了 CFP 中不同 GTS 优先级数据的弹性传送。

路由器的优先级是所有 GTS 时隙优先级的加权平均, 当 GTS 队列发生变化时, 路由器的优先级也发生了变化, 路由器的优先级如图 10 所示。如果路由器优先级发生变化, 则向协调器发送 GTS 分配请求。

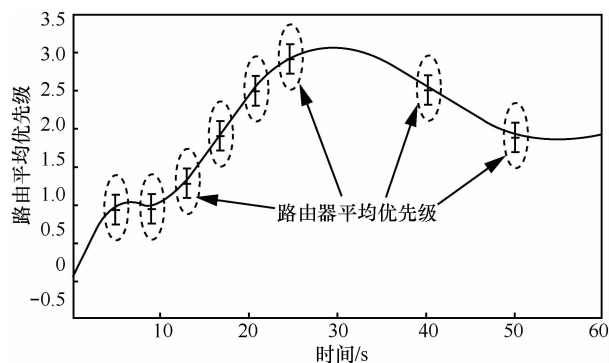


图 10 路由器优先级变化

可以看到第 4 s 和第 8 s 时因为 node1、node2 优先级都是 1, 因此没有改变, 当第 12 s 时 node3 开始申请 GTS, 路由器平均优先级变为 1.3, 随着 node4~node6 开始申请 GTS, 平均优先级接近 3, node5、node6 在第 40 s、第 50 s 退出 GTS 之后, 平均优先级最后稍低于 2。根据式(4)计算, 总的时隙数是 13, 则路由器优先级为  $(4 \times 3 + 4 \times 2 + 4 \times 2 + 1 \times 1) / 13 \approx 1.9$ 。这说明了节点的优先级变化导致路由器的优先级发生了变化。

### 4.3 节点内部 QoS 仿真

由于节点内部 QoS 的设置和数据传送仅与传感器自身和 PS 相关, 为了简化设置过程和对仿真结果的分析, 仅设置 1 个传感器节点与 PS 进行通信。由于 MAC 命令帧个数在整个通信中所占的比例较小, 故仅仿真 ACK 和 NO ACK 流量。传感器节点的 ACK 和 NO ACK 流量发送的间隔时间都为 0.01 s (按指数分布), 数据分组大小都为 100 bit, 发送时间都为 0.2~4.0 s。仿真时间为 5 s。

在未设置优先级情况下的数据帧平均端到端时延 (end to end delay) 仿真结果如图 11 所示, 设置优先级后的仿真结果如图 12 所示。在未设置优先级时 ACK 流量和 NACK 流量的端到端平均时延集中在 0.007~0.009 s, 设置优先级后, ACK 流量的平均端到端时延集中在 0.004 s, 而 NACK 流量的平均端到端时延集中在 0.014~0.018 s。也就是说, 通过设置优先级确保了 ACK 数据优先发送到目的地。

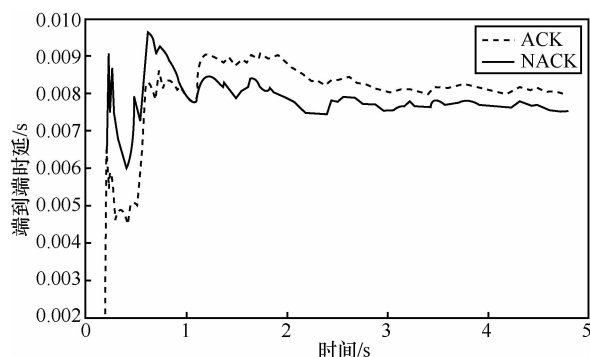


图 11 没有优先级的端到端时延

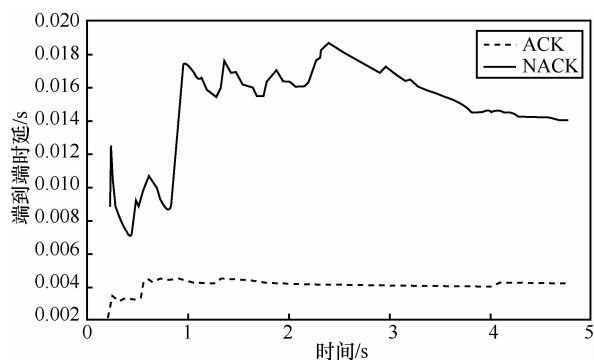


图 12 设置优先级后的端到端时延

## 5 结束语

在无线体域网中提供有效的 QoS 保障机制, 对于 WBAN 的推广应用具有重要意义。本文利用 IEEE 802.15.4 信标模式和基于树型拓扑的树路由实现了基于

(下转第 93 页)

各基站工参信息的可靠性,也大大提高了通信系统基站管理与维护的效率,同时帮助运营商更好地实现网络优化。在市场竞争日益激烈的今天,对市场的快速反应、高效运作成为市场竞争的核心,该系统对运营商的运营有着重大的意义。

### 参考文献

- 1 魏红,黄慧根.移动基站设备与维护.北京:人民邮电出版社,2009
- 2 胡彬,冯军,朱文海.基于GIS的基站管理信息系统设计及实现.浙江测绘,2004(3):16~18
- 3 沈静,吴健平.基于Web Services的Web GIS的设计与应用.遥感技术与应用,2004,19(2):138~142
- 4 陈传波,夏义兵.基于ASP.NET技术及3层网络架构的权限管理系统模型.计算机工程,2003,29(12):101~102
- 5 李雷孝,刘晓军,刘利民等.基于SSH整合框架的科研项目管理系统的设计与实现.内蒙古农业大学学报(自然科学版),2012,33(1):210~214

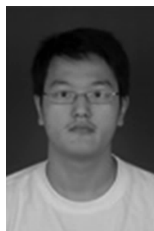
#### [作者简介]



王军威,男,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为通信网协议、通信网测试技术研究开发与开发。



雒江涛,男,博士,重庆邮电大学教授,主要研究方向为新型网络技术和测试方法。



黄晶,男,重庆重邮汇测通信技术有限公司移动通信基站参数智能管理系统项目经理,主要研究方向为通信网协议、通信网测试技术研究开发与开发。



应良佳,男,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为通信网协议、通信网测试技术研究开发与开发。

邓志飞,男,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为通信网协议、通信网测试技术研究开发与开发。

(收稿日期:2014-12-03)

(上接第87页)

等级的QoS框架,从3个不同等级确保高优先级数据传送,在保证实现QoS的同时与现有通信协议完全兼容,并通过计算机仿真验证了提出的QoS框架。

### 参考文献

- 1 Chen M, Gonzalez S, Vasilakos A, et al. Body area networks: a survey. Mobile Networks and Applications, 2011, 16(2): 171~193
- 2 Cao H, Gonzalez-Valenzuela S, Leung V C M. Employing IEEE 802.15.4 for quality of service provisioning in wireless body area sensor networks. Proceedings of 2010 the 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), Perth, Australia, 2010
- 3 Nefzi B, Song Y Q. QoS for wireless sensor networks: enabling service differentiation at the MAC sub-layer using CoSenS. Ad Hoc Networks, 2012, 10(4): 680~695
- 4 Opnet Tech Inc. Opnet Modeler. <http://www.opnet.com/>

- 5 OpenSource toolset for IEEE 802.15.4 and ZigBee. <http://www.open-zb.net/>

#### [作者简介]



马玉军,男,华中科技大学博士生,主要研究方向为无线传感网、体域网、云计算。

陈敏,男,博士,华中科技大学教授、博士生导师,主要研究方向为普适计算、物联网、云计算。

王军锋,男,华中科技大学博士生,主要研究方向为无线传感器网络。

(收稿日期:2013-12-05)