

## GTS 机制在实时无线传感器网络中的研究

吴克启,王 慧,陈新来  
(海军蚌埠士官学校,安徽 蚌埠 233012)

摘要:在详细分析 IEEE802.15.4 无线通信标准、其超帧结构、GTS 机制的基础上,利用 OPNET 仿真软件,针对提高实时性的应用要求,重点分析模拟了延时上限这个参数,通过分析实验数据,得到了使系统达到最佳实时性的 GTS 参数合理配置方法,为实际应用提供了可行的理论参考。

关键词:无线传感器网络;IEEE802.15.4 标准;GTS 机制;实时性;延迟上限

中图分类号:TN915.04

文献标识码:A

文章编号:1674-7720(2012)18-0048-03

## Analysis of GTS mechanism in real-time wireless sensor networks

Wu Keqi, Wang Hui, Chen Xinlai  
(Bengbu Navy Petty Officer Academy, Bengbu 233012, China)

Abstract: In this paper, we analyze the IEEE802.15.4 communication standard, its superframe structure and guarantee time slotted(GTS) mechanism, aiming at improving time-sensitive performance, the paper uses OPNET Modeler to simulate the important parameter-frame delay bound, through analysis of experimental data, we gain a sound way of setting parameters of GTS mechanism, which put improving time-sensitive performance into practice.

Key words: WSN; IEEE802.15.4; GTS mechanism; real-time performance; delay bound

IEEE802.15.4 是针对低速无线个人区域网络(LR-WPAN)制定的通用标准,这个标准定义了物理层和介质访问层<sup>[1]</sup>。

为了支持无线传感器网络的实时性应用,IEEE802.15.4 标准为之提供了一种时隙保障分配(GTS)机制,数据包得以正确和快速地传输。使用 GTS 机制需要设备间的时间同步,而 IEEE802.15.4 中的时间同步是通过一种叫做“超帧”的机制实现的,超帧结构由网络协调器来定义。

由图 1 可以看出,超帧是由活动(Active)部分和可选的非活动(Inactive)部分组成的。超帧的活动部分(Active)被分为 16 个等长的时隙,信标帧在每个超帧的第一个时隙传输,剩下的 15 个时隙可进一步分为两部分——竞争接入期(CAP)和非竞争期(CFP)。CAP 期间的信道接入使用的是 CSMA/CA 机制<sup>[2]</sup>来竞争信道使用机会。而在 CFP 期间,最多可以分配 7 个 GTS。一个 GTS 可以占用多个时隙,每个 GTS 中的时隙都指定分配给了申请到该 GTS 的设备。因此,数据的传输不使用竞争机制,节点可以在该 GTS 包含时隙

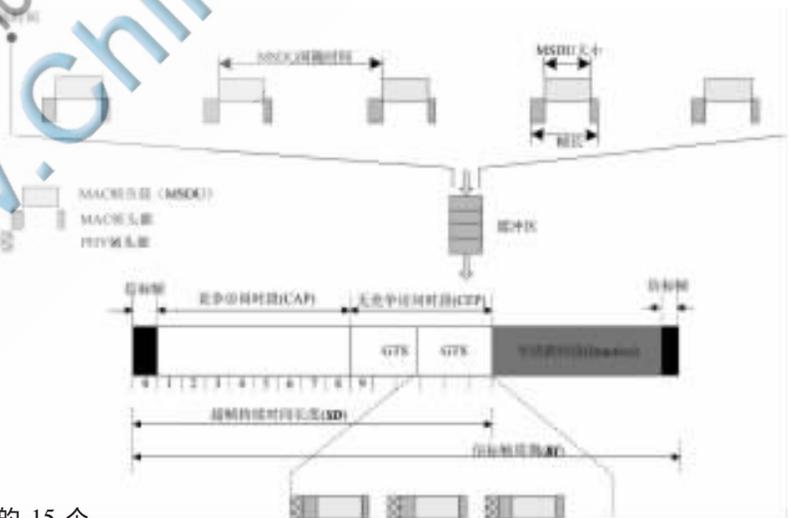


图 1 超帧结构图

内直接进行数据的传输。以网络信标作为每个超帧的边界。超帧长度  $SD$  与超帧序号  $SO$  的关系为:

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{SO}$$

信标间隙  $BI$  与信标序号  $BO$  的关系为:

$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{BO}$$

## 网络与通信 Network and Communication

其中,  $aBaseSuperframeDuration=60 \text{ symbols} \times 16=960 \text{ symbols}$ ,  $BO$  和  $SO$  的值由协调器给定, 且应满足  $0 \leq SO \leq BO \leq 14$ 。

### 1 IEEE802.15.4 协议的 GTS 管理

IEEE802.15.4 网络根据应用的需要, 可以组成星型或点对点的网络拓扑结构<sup>[3]</sup>。本文重点研究星型拓扑结构, 如图 2 所示, 并以此网络结构为依托介绍 GTS 在网络中的传输机制。在星型结构中, 所有设备都与中心设备——PAN 网络协调器通信。

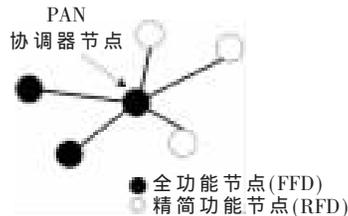


图 2 星型拓扑网络结构

#### 1.1 GTS 分配机制

设备节点要使用 GTS 进行数据传输, 必须向网络中的 PAN 协调器进行申请, 发送 GTS 分配请求命令, 如图 3 所示。GTS 请求命令帧的 GTS 特性域的特性类型子域设置为 1 (表示 GTS 分配), 根据所需的 GTS 特性设置 GTS 时隙长度和方向, 如图 4 所示。



图 3 超帧机制下的数据传输



图 4 GTS 请求命令帧格式

PAN 协调器接收到 GTS 请求命令帧后, 将发送确认帧, 对接收进行确认。然后, PAN 协调器根据 CAP 中所剩余的长度和请求 GTS 长度, 如图 5 所示, 检查在当前超帧中是否有足够的容量。如果没有达到保护时隙的最大数目 (在一个超帧中最多分配 7 个 GTS), 并且所需分配长度的 GTS 不会将 CAP 的长度减少到小于  $aMinCAPLength$  (IEEE 802.15.4 规定其值为 440 symbols<sup>[4]</sup>), 此时, 只要 PAN 协调器能有效地提供足够的带宽, 就会根据“先来先服务 (FCFS)”的原则分配 GTS 保护时隙。PAN 协调器会在信标帧中的 GTS 域说明 GTS 分配情况。设备节点在 4 个信标周期内, 对接收到的信标帧的 GTS 域进行分析, 判断是否被分配了 GTS 保护时隙。

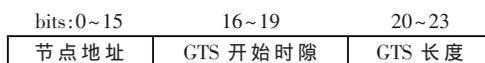


图 5 GTS 描述符

#### 1.2 GTS 数据传输方式

数据以 GTS 方式进行传输, MAC 层将判断是否存在一个有效的保护时隙。如果设备是 PAN 协调器, 那么 MAC 层将判断协调器是否存在数据目标设备的接收保护时隙; 如果不是 PAN 协调器, 那么该设备 MAC 层将判断是否被分配了发送保护时隙。如果存在有效的保护时隙, MAC 层将根据实际情况产生一个延迟, 直到该设备的有效接收保护到来。并在保护时隙内, 将数据发送到所指定的目标设备。这时, MAC 层将以非 CSMA/CA 方式传输数据, 整个传输和应答过程 (如需要确认帧) 应在该保护时隙内完成。

### 2 OPNET 仿真模型构建

OPNET Modeler 利用三层建模机制, 分别在进程层、节点层和网络层进行“由下到上”的建模。同时在仿真过程中采用了离散事件驱动的模拟机理, 能够准确地分析复杂网络的性能和行为。

#### 2.1 OPNET 仿真场景设置

为了研究方便, 本次实验中, 采用一种基于星型结构的 IEEE802.15.4 网络, 由一个 PAN 协调器和一个关联设备构成<sup>[5]</sup>。因为不存在媒体访问竞争, 所以这样的网络结构足够反映 GTS 机制的性能机制, 增加额外的设备也不会对仿真结果产生什么影响, GTS 所需参数设置如表 1 所示。此外, 在每个超帧结构中只分配一个 GTS, 并且 GTS 仅占据一个时隙。同时设置占空比为 100%, 即  $SO=BO$ <sup>[6]</sup>。

表 1 GTS 参数设置

属性名称	属性值
GTS Permit	[enabled]
Start Time	[Infinity]
Stop Time	[Infinity]
GTS Length	1slot time
Direction	[transmit]
Buffer Capacity	/
MSDU Size	40 bits
MSDU Interarrival Time	/
Acknowledgement	[disabled]

#### 2.2 实验数据

情况 1: 根据表 1 所示的参数列表设置参数属性值, 传输数据包 (Frame Size) 为 40 bits, 缓冲容量 (Buffer Capacity) 为 4 kbits。将数据包进入 FIFO 缓冲区时的速度 (Arrival Data Rate) 分别设置为 5 kb/s、10 kb/s、20 kb/s、40 kb/s、80 kb/s 和 100 kb/s。得到 Delay Bound<sup>[7]</sup>随 Superframe Order 变化的情况, 如图 6 所示。

情况 2: 设置参数属性值, 数据包大小为 40 bits, 数据进入缓冲区时的速度设置为 10 kb/s。缓冲区容量 (Buffer Capacity) 分别设置为 0.5 kbits、1 kbits、2 kbits、4 kbits、7 kbits、10 kbits, 得到了 Delay Bound 随  $SO$  的变化情况, 如图 7 所示。

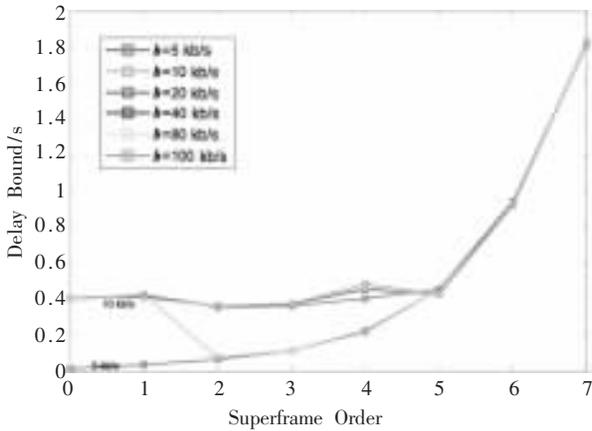


图6 SO-Delay Bound 变化关系图(不同传输速率)



图7 SO-Delay Bound 变化关系图(不同缓冲容量)

### 2.3 结果分析

结果表明,当无线传感网网络的应用具有较低的数据传输速率(Data Rate $<10$  kb/s)、较小的 FIFO 缓冲区空间(Buffer Capacity $<1$  kbits), $SO=0$  时,系统具有最小的延迟特性,即达到最佳实时性;当应用在较高数据传输速率情况(Data Rate $\geq 10$  kb/s)、较大的缓冲区空间(Buffer Capacity $\geq 1$  kbits)时, $SO=2$  能够让系统保持最佳实时性。

在信标使能模式下,使用 GTS 机制可以实现系统的实时性要求。为了获得最佳的实时性,分别探讨了在不同数据传输速率、不同缓冲容量两种情况下的网络延时情况,实验结果表明通过 IEEE802.15.4 GTS 机制下参数的合理设置,可以得到无线传感器网络的最佳实时性能,为实时性的应用提供了可行的参考。除了通过 GTS 本身参数的设置获得最佳实时性,下一步工作应考虑通过 GTS 机制本身的改进去提高系统实时性。

#### 参考文献

- [1] IEEE 802.15.4 Standard-2003.Part 15.4: wireless medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications for low rate wireless personal area networks(LR-WPANs)[A]. IEEE SA Standards Board, 2003.
- [2] KOU BAA A, ALVES M, TOVAR E. A comprehensive simulation study of slotted CSMA/CA for IEEE 802.15.4 wireless sensor networks[C]. Workshop on Factory Communication Systems(WFCS'06), 2006.
- [3] ZHENG J, LEE M J. A comprehensive performance study of

IEEE 802.15.4[J]. Sensor Network Operations, IEEE Press, Wiley Inter Science, 2006(4): 218-237.

- [4] MILIC J, SHAFI S, MILIC V B. The impact of MAC parameters on the performance of 802.15.4 PAN[J]. Elsevier Ad hoc Networks Journal, 2005, 3(5): 509-528.
- [5] KOU BAA A, ALVES M, TOVAR E. i-GAME: an implicit GTS allocation mechanism in IEEE 802.15.4[C]. Euromicro Conference on Real-Time Systems(ECRTS'06), 2006.
- [6] KOU BAA A, ALVES M, TOVAR E. IEEE 802.15.4: a federating communication protocol for time-sensitive wireless sensor networks[C]. Sensor Networks and Configurations: Fundamentals, Techniques, Platforms, and Experiments, 2007.
- [7] MISIC J, MISIC V B. Access delay for nodes with finite buffers in IEEE 802.15.4 beacon-enabled PAN with uplink transmissions[J]. Computer Communications, 2005(28): 1152-1166.

(收稿日期: 2012-05-29)

#### 作者简介:

吴克启,男,1974年生,副教授,大学本科,主要研究方向:无线通信网络。

王慧,女,1987年生,助教,硕士,主要研究方向:无线通信网络。

陈新来,男,1964年生,教授,硕士,主要研究方向:无线通信组网与运用。