

IEEE 802.15.4 支持高速实时数据传送算法

卜翔,章韵,陈建新
(南京邮电大学,江苏南京 210003)

摘要:随着物联网应用的推广,出现了更多的低功耗高速实时通信技术需求。IEEE 802.15.4 是低功耗通信既定标准,但对高速实时传输研究较少。它不能解决多于七个设备需要实时服务、时延约束小于超帧长度的问题。为了克服这些限制,文中在 EGSA 算法基础上,最大化 IEEE 802.15.4 中 CFP,保留足够多的带宽资源用于实时业务传输。为了进一步提高效率,把 CFP 分割成多个微小时隙,并使用最早截止时间优先(EDF)策略分配这些微小时隙。性能分析显示这种策略可以严格遵循时延约束条件,并可以提高带宽利用率。

关键词:IEEE 802.15.4;保护时槽;实时性;调度;EDF

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)03-0014-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.004

A Rapid and Real-time Data Transmission Algorithm for IEEE 802.15.4

BU Xiang,ZHANG Yun,CHEN Jian-xin

(Nanjing University of Posts and Telecommunications,Nanjing 210003,China)

Abstract: With the promotion of the Internet of Things, low-power high-speed real-time communication technology is more necessary. IEEE 802.15.4 is a standard of low-power communications, but few studies on high-speed real-time transmission. It cannot solve the problem where more than seven devices require time-sensitive services, and the delay constraints are smaller than the superframe duration. To overcome these limitations, based on the EGSA, maximize the available Contention Free Period (CFP), to guarantee enough bandwidth for real-time service. To further enhance efficiency, the CFP is divided into multiple small time slots which are allocated under Earliest Deadline First (EDF) scheduling policy. Performance analysis reveals that delay constraints are guaranteed efficiently and the bandwidth utilization is improved significantly.

Key words: IEEE 802.15.4;GTS;real-time;scheduling;EDF

0 引言

随着物联网应用的推广,出现了更多的低功耗高速实时通信技术需求。如人体健康生理参数实时监测、运动康复监测等;工业环境中水文、管道监测;基础设施如桥梁、楼宇建筑等质量监测。这类应用采用低功耗无线通信技术,要求以高频率周期性采集数据(如大于20Hz),从而对低功耗实时通信技术提出新的挑战。

IEEE 802.15.4 协议是用于低速率、低功耗无线

通信既定标准^[1],主要定义了物理层(PHY)和媒体接入控制层(MAC)两个规范。MAC中定义了超帧结构,将通信时间划分为活跃和不活跃两个部分。在不活跃期间,节点进入休眠状态以节省能量。活跃期间划分为三个阶段:信标发送时段、竞争访问时段(Contention Access Period,CAP)和无竞争访问时段(Contention Free Period,CFP)。其中CAP时段用于非实时应用需求,而CFP时段主要用于有延时约束的实时业务需求。为了支持多节点实时通信,CFP分为多个保护时槽(Guaranteed Time Slot,GTS),每个用户节点可以使用一个或多个GTS来发送具有延时要求的实时业务^[2]。因而如何分配GTS是IEEE 802.15.4支持满足延时约束的关键。

Koubaa等研究了GTS分配的带宽利用率^[3-5]。他们提出一种称为i-GAME^[4]的IEEE 802.15.4 MAC协议GTS分配机制调度算法,根据网络各节点的数据传输量情况和时延期限要求等信息实现网络中不同节

收稿日期:2012-07-11;修回日期:2012-10-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60905040);江苏省基础研究计划(自然科学基金)项目(BK2011756);南京邮电大学科研基金项目(NY207020,NY210011,NY211009)

作者简介:卜翔(1988-),男,硕士研究生,研究方向为计算机在通信中的应用;章韵,博士,教授,硕导,研究方向为计算机在通信中的应用等。

点对同一信标周期中相同 GTS 的共享,即动态分配 GTS 的时隙给不同的节点。该算法重点解决了网络带宽利用率和时延问题。Na 等提出了一种称为 GSA^[6]的 IEEE 802.15.4 MAC 协议 GTS 分配机制调度算法,该算法根据星型网络中各节点的时延期限和负载情况进行 GTS 动态分配,重点解决网络中端与端的时延问题。Cheng 等提出了一个简单的方法,把 CFP 时段分割成 16 个小时隙(mini time slot, mTS),有效地提高了带宽利用率(下文中将该算法称为 16-mTS)^[7]。Xia 等通过给设备提供不同的优先级提出了一个自适应实时 GTS 分配算法(ART-GAS)^[8]。Li 等引入“正规访问延迟”参数,并提出延时分类 GTS 传输算法(Delay-Category-GTS, DCGTS)^[9],提高了紧急节点的传输速率。

文献[10]分析并比较了当前典型的无线传感器网络 MAC 协议的主要机制及实时性。文献[11]提出一种基于路由转发树的时隙调度算法(ATSA),根据节点的数据量大小来分配节点每轮需要的时隙。文献[12]提出了一种基于时隙预留的多信道实时 MAC 协议。该协议在响应流媒体查询之前,事先建立一条从源节点到汇聚节点的时隙预留流路径,从而最小化数据包在每一次转发时的信道接入时延。文献[13]在 GTS 的先来先服务调度策略的基础上,提出一种基于时延优先级的 GTS 分配算法。

上述研究考虑的延时约束通常都要大于一个帧长,而对于延时约束要求比较严格的应用,如体域网里高速运动、实时生理参数监测等,数据采集速率高达几十 Hz,前面 GTS 分配算法不适用了。基于此,文献[14]提出了一种 EGSA 算法,通过最大化 CFP 和进一步把 GTS 划分为更短的时隙,来支持多节点周期性高延时约束应用。EGSA 主要解决多节点、同周期、高实时任务传输,但并不适合多节点不同周期的高实时任务传送。因而文中主要解决多节点、不同周期高实时任务传送,满足体域网或物联网中异类传感器高速率、实时数据采集和发送。

1 问题描述

1.1 IEEE 802.15.4 协议介绍

IEEE 802.15.4 MAC 协议为解决无线通信网络的时延问题,提供了一种比较好的解决方案。但在某些实际的应用中,IEEE 802.15.4 MAC 协议的实时性能存在一定的局限性。协议中 GTS 分配机制采用先来先服务(first-come-first-served, FCFS)的调度算法,很难满足一些实时性传输的时间限制要求,且在一个信标周期中,最多分配 7 个 GTS,即在同一信标周期中,利用 GTS 进行传输的设备节点数目受限,很难满足大

型网络的要求。

如图 1 超帧结构中,超帧(SD)和活跃期(BI)分别表示为:

$$SD = aBaseSuperframeDuration \times 2^{S0} \quad (1)$$

$$BI = aBaseSuperframeDuration \times 2^{B0} \quad (2)$$

其中,SO 表示超帧序列值,BO 表示信标序列值,并且 $0 \leq SO \leq BO \leq 14$ 。IEEE 802.15.4 标准定义最小超帧长度 aBaseSuperframeDuration 为 960 符号。在 2.4GHz 频率下,每个符号 4 比特。所以当 $SO = BO = 0$ 时,超帧最小长度 480 字节,持续时间为 15.36 毫秒。

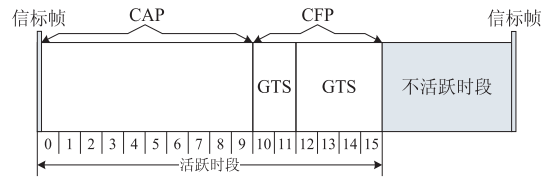


图 1 IEEE 802.15.4 帧结构

1.2 问题定义

文中考虑在 IEEE 802.15.4 信标使能的无线传感器网络中,1 个协调器节点和 m 个设备节点组成星型拓扑结构网络。每个设备节点周期性地给协调器节点发送长度一定的数据。每个设备节点的周期性任务用元组 $N_i = (a_i, S_i, E_i, T_i, d_i)$ 表示,其中 a_i 表示第 i 个节点 ID, S_i 表示采集数据的起始时间, E_i 表示结束采集数据的时间, T_i 表示采集数据的周期, d_i 表示采集数据的发送期限。每个设备节点数据发送任务记为一个事务,表示为 transaction(addr, stime, dtime)。其中 addr 表示执行事务的节点的地址, stime 表示事务开始时间, dtime 表示事务的截止时间。根据 N_i 可以计算出每个节点的事务列表。于是,文中把该问题模型记为 $(B, \{N_i \mid 0 \leq i < m\})$ 。

在本系统中,做以下假定:

(1) $B/r < T_i < t_{BI}$, 其中 r 表示数据传送速率(在 2.4GHz 频率时为 250kbps),即所有节点采集数据的周期远远大于数据发送所耗时间,小于信标间隔期;

(2) $d_i = T_i$, 时延期限等于采集周期,即节点采集的数据需要在它的下一次采集前发送;

(3) 本系统为软实时系统,容忍偶尔的超时错误,数据发送失败造成的后果并不严重。

于是,文中需要解决的问题为:在系统 $(B, \{N_i \mid 0 \leq i < m\})$ 中,设计一种时隙分配和调度算法,使得系统具有较高的调度成功率和带宽利用率。

2 实时调度算法

2.1 EGSA 算法

EGSA 算法解决了同类设备高速数据传送的调度算法,主要采用如下策略:

(1) 最大化 CFP。

在超帧的不活跃期间, PAN 网络中的设备之间不通信, 数据不能传送。而不活跃期间又是由 SO 和 BO 决定的。为了支持高速数据传输, 在 EGSA 中令 SO = BO, 从而可以提供更多的带宽用于实时通信。

同样, CAP 主要给没有时延要求的应用使用。在本系统中, 每个的节点传送数据都需要满足一定的时延要求, 所以在超帧结构中, CAP 的长度需要尽可能得小。如果 CAP 过大, 会使许多节点在过长的 CAP 期间因为无法传送数据而超时。EGSA 提出了最小化 CAP 的方法。

IEEE 802.15.4 规定 CAP 最小长度 aMinCAPLength 为 440 符号(在 2.4GHz 频率为 220 字节)。但 CAP 的末端必须与 TS 边界对齐。把超帧起始的信标帧与紧随后的 CAP 记作 $\overline{\text{CAP}}$, 则 $\overline{\text{CAP}}$ 的最小长度为:

$$D_{\overline{\text{CAP}}} = \lceil (D_{\text{Beacon}} + \text{aMinCAPLength}) / D_{\text{TS}} \rceil \cdot D_{\text{TS}} \quad (3)$$

其中 D_{Beacon} 表示信标帧的长度, D_{TS} 表示标准时隙长度。由于文中提出了新的时隙分配和调度方法, 所以信标帧结构也对 IEEE802.15.4 标准做了改变, D_{Beacon} 计算详见 2.4 节。

(2) 将 CFP 划分成更小的时隙。

若将一个较大时隙分配给一个节点独享, 即使在该节点不需要传送数据时, 也不能将时间让给其它需要传送数据的节点使用。这就降低了系统的调度成功率和带宽利用率。所以把 CFP 划分成尽可能短的时隙。在本系统中, 节点发送一个固定长度为 B 的数据包。EGSA 定义了小时隙(mTS), 每个 mTS 的长度为

$$D_{\text{mTS}} = B + D_{\text{IFS}} \quad (4)$$

其中 D_{IFS} 表示帧间隔(IFS)的长度。当 B 不大于 aMaxSIFSframeSize 18 字节时, D_{IFS} 取短帧间空隙最小时间 aMinSIFSPeriod 为 12 符号(2.4GHz 时为 6 字节); 当 B 大于 18 字节时, D_{IFS} 取长帧间空隙最小时间 aMinLIFSPeriod 为 40 符号(2.4GHz 时为 20 字节)。

从而 CFP 划分成多个连续的小时隙 mTS, 即有

$$D_{\text{CFP}} = K_{\text{TS}} \cdot D_{\text{TS}} = K_{\text{mTS}} \cdot D_{\text{mTS}} + \Delta \quad (5)$$

其中 K_{TS} 表示 CFP 占用的标准时隙个数, $0 \leq \Delta < D_{\text{mTS}}$, 表示 CFP 分割后剩余下的长度。

$$K_{\text{mTS}} = \lfloor D_{\text{CFP}} / D_{\text{mTS}} \rfloor \quad (6)$$

表示 CFP 能够分割的 mTS 的个数。

在分割 CFP 时按照从后往前顺序, 把 Δ 长度的剩余留在 CFP 头部, 紧挨着前面的 CAP, 如图 2 所示。

用 $D_{i, \text{mTS}}$ 表示第 i 个 mTS 的起始位置, 有

$$D_{i, \text{mTS}} = BI - (K_{\text{mTS}} - i) \cdot D_{\text{mTS}} \quad (7)$$

利用这种方法, CFP 段可以分隔成多个微小时隙, 便于支持多节点高速数据传输。

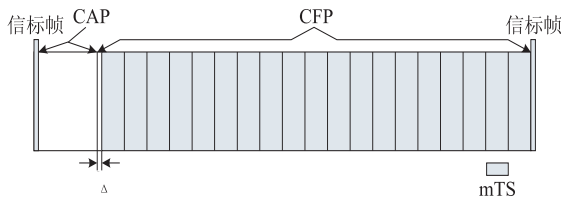


图 2 mTS 分割示意图

2.2 算法设计

在 EGSA 算法中, 由于所有节点都具有相同的任务和发送周期, 因而 mTS 分配采用轮循机制。但当多个节点任务周期不同时候, 就不能简单采用轮循方式来调度多个节点任务。文中在 EGSA 基础上, 提出一种改进的调度策略 mGSA, 采用最早截止时间优先(Earliest Deadline First, EDF)算法, 根据任务截止时间来给所有节点分配 mTS。

每个 mTS 从当前需要传送的事务中选择一个截止时间最早的事务, 如果有多个截止时间相同的事务, 再从中选择起始时间最早的事务, 将该 mTS 分配给它进行传送。如果当前没有需要传送的事务, 则该 mTS 空闲。

同样也会出现传送事务没有分配到 mTS 而被舍弃的情况。本系统为软实时系统, 容忍丢弃个别传送事务, 但是要求保证尽可能高的调度成功率。

EDF 算法本质上是一个贪心策略。可以证明, 如果有一组任务可以调度(所有的数据都在截止时间之前发送), 那么 EDF 算法一定可以满足。如果一批任务不能全部满足(部分数据因为超时而丢弃), 那么 EDF 满足的任务最多。这就是 EDF 算法最优的体现。EDF 算法的缺点在于需要对每个任务的截止时间做计算并动态地调整优先级, 需要消耗一定的系统资源。

2.3 算法实现

由于所有节点都是周期性地采集数据并发送, 并且参数都是已知的, 所以 mTS 的分配可以采用离线调度算法。而采用 EDF 的时隙调度算法需要消耗较多的系统资源和能量, 于是把该调度算法运行在基站节点上。基站节点在每个信标间隔期之前先计算好当前超帧中 mTS 的分配方法, 再在超帧开始的信标帧中附带该信息; 设备节点在信标帧中获取自己被分配到的 mTS 序号列表, 计算出 mTS 的起始时间, 到达该时间时便可以发送数据。

为了实现该调度算法, 首先定义两个优先权队列 SQ 和 DQ。队列中是按照优先级排列的事务(transaction), 其中 SQ 中的事务是按起始时间排列的, DQ 中的事务是按截止时间排列的。

图 3 说明了 DQ 的创建过程, 以及使用 EDF 算法选取最早截止时间的事务的方法。该算法流程并没有

将所有事务加入 DQ 中排队,而只将时隙开始前的事务入队,节约了内存空间。协调器节点在每个信标间隔期之前都要调用 K_{mTS} 次该过程,为 K_{mTS} 个时隙选择一个节点,然后在广播的信标帧中附带各个时隙分配信息。

为 0xFFFF 时,表示该 mTS 不分配给任何节点。于是,信标帧的长度为:

$$D_{\text{Beacon}} = 12 + 4 + 2 \cdot K_{mTS} \quad (8)$$

其中 MAC 帧头、超帧描述域、GTS 描述域、帧校验共占 12 字节;mTS 计数占 4 字节;地址列表占 $2K_{mTS}$ 字节。

至此,已有足够的条件可以确定 mTS 的个数 K_{mTS} 。首先选取最大的 $K_{TS} (1 \leq K_{TS} \leq 15)$,使式(5)成立。此时得到最长的 CFP 时段。再将 K_{TS} 代入式(6)便可得到 K_{mTS} 。将 K_{mTS} 填入 mTS 计数域,并调用 EDF 算法计算每个 mTS 分配的节点地址,填入地址列表中。于是信标帧构造完成,协调器节点将其广播出去。设备节点在信标帧中获取自己被分配到的 mTS 序号列表,计算出 mTS 的起始时间,到达该时间时便可以发送数据。

3 性能分析

本节分析动态实时调度算法的性能,并与 *i*-GAME 和 16-mTS 进行比较。考虑在系统 $(B, \{N_i | 0 \leq i < m\})$ 中, $B = 23$ 字节,网络中共有 20 个节点周期性发送数据。根据周期不同,可以分外四组,周期分别为 20、25、30、35ms。

在 Windows XP SP3 平台下,使用 C++ 编程对 3 种算法仿真,分别得到它们在 SO 取不同值时的调度成功率(见图 5)和带宽利用率(见图 6)。*i*-GAME 和 16-mTS 的调度成功率和带宽利用率基本符合 2.3 节的分析。利用 mGSA 算法,时延约束得到了有效的保证,带宽利用率也得到了显著的提高。

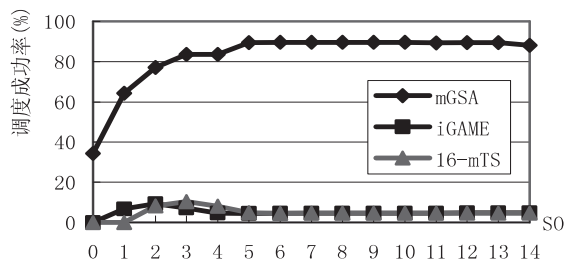


图 5 调度成功率比较

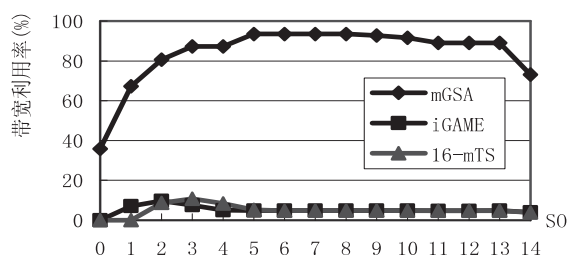


图 6 带宽利用率比较

当 SO 较小时,时隙长度较小,取最小长度的 CAP 仍占用较多时隙,剩下可以调度的时隙数较少,所以调

```

Input: tmTS:mTS 起始时间
Output: 该 mTS 分配的设备地址
1while SQ 不为空 do
2t ← SQ 中起始时间最早的事务
3if t 的起始时间晚于 tmTS
4break
5将 t 插入 DQ 中
6SQ 中起始时间最早的事务出队
7end while
8while DQ 不为空 do
9t ← DQ 中截止时间最早的事务
10DQ 中截止时间最早的事务出队
11if t 的截止时间晚于 tmTS
12return t. addr
13end while
14该 mTS 不分配
    
```

图 3 EDF 算法实现

2.4 实施方案

本节考虑实时通信调度算法实施的解决方案。mGSA 算法只对 IEEE 802.15.4 标准做细小的改变,并且不影响已经存在的协议。由于改进的算法不再分配 GTS,而是划分成更小的 mTS,所以需要信标帧结构中的 GTS 信息子域做相应的修改。

首先,在信标帧中使用一个标识位指示是否使用 mGSA。在 GTS 信息子域第一个字节的 GTS 描述域结构中,第 3~6 位是保留位。于是,使用第 3 位作为 mGSA 标识位(如图 4-a)。当该位为 0 时,按照 IEEE 802.15.4 标准分配 GTS;当该位为 1 时,使用 mGSA 算法分配 mTS。

| | | | |
|-----------|----------|-----|---------|
| 位:0-2 | 3 | 4-6 | 7 |
| GTS 描述符计数 | mGSA 标识位 | 保留 | GTS 允许位 |

(a) 扩展 GTS 描述域

| | | | | | |
|--------|------|------|-------|------|------|
| 字节:4 | 2 | 2 | | 2 | 2 |
| mTS 计数 | 设备地址 | 设备地址 | | 设备地址 | 设备地址 |

(b) mTS 分配信息

图 4 mGSA 信息域

当使用 mGSA 调度算法时,信标帧中需要附带 mTS 的分配信息。mGSA 算法将该信息添加在信标载荷中。如图 4-b 所示,起始 4 个字节表示 mTS 的个数,后面紧跟节点地址列表,每个地址 2 字节,第 *i* 个地址就表示第 *i* 个 mTS 分配给该地址的节点。当地

度成功率和带宽利用率比较低;而当 SO 很大时,时隙长度较大,由于 CAP 需要与时隙边界对齐,CAP 至少要占用一个时隙的时间,CAP 持续时间逐渐增大,造成调度成功率和带宽利用率的降低。由图可见,调度成功率和带宽利用率随着 SO 的增大,先增大后减小。

4 结束语

文中提出一种 IEEE 802. 15. 4 实时通信调度算法 mGSA,主要解决星型拓扑结构多节点高速率数据传输问题。在算法实现中,最大化 IEEE 802. 15. 4 中 CFP 支持高速实时数据传输,并把 CFP 分隔成比 GTS 更小的 mTS 单元,利用 EDF 算法,把这些 mTS 单元分配给需要发送高速实时通信的节点。与 EGSA 算法不同,本算法拓展了 EGSA 算法,使之能够支持多个具有不同周期的高速数据传输任务,来满足实时任务的低延时约束条件。仿真结果表明,与 iGame 和 16mTS 算法比较,本算法可以显著提高系统调度成功率和带宽利用率。并且该算法与标准完全兼容,实现方便。后面工作中,将进一步从理论角度分析任务周期长度、节点数和延时约束保证之间的关系,为高速实时数据传输应用奠定理论基础。

参考文献:

[1] IEEE Computer Society. IEEE 802. 15. 4 Standard: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) [S]. New York:IEEE,2003.

[2] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[3] Koubaa A, Alves M, Tovar E. GTS allocation analysis in IEEE802. 15. 4 for real-time wireless sensor networks[C]//Proc of 14th International Workshop on Parallel and Distributed Real-time Systems. Island of Rhodes, Greece: IEEE, Ann Arbor, MI; University of Michigan Press, 1975.

[8] Jin C, Vecchiola C, Buyya R. Mrpga: An extension of mapreduce for parallelizing genetic algorithms [C]//IEEE Fourth International Conference on eScience. [s. l.]: [s. n.], 2008: 214-221.

[9] 任萱萱. 基于 hadoop 平台的作业调度研究[D]. 天津:天津师范大学,2011.

[10] Maruyama T, Hirose T, Konagaya A. A fine-grained parallel genetic algorithm for distributed parallel systems [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms. San Francisco, CA, USA; Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993:184-190.

2006.

[4] Koubaa A, Alves M, Tovar E. i-GAME: an implicit GTS allocation mechanism in IEEE 802. 15. 4 for time-sensitive wireless sensor networks [C]//Proc of the 18th Euromicro Conference on Real-time Systems. Dresden, Germany: IEEE, 2006.

[5] Koubaa A, Alves M, Tovar E. Energy and delay trade-off of the GTS allocation mechanism in IEEE 802. 15. 4 for wireless sensor networks; research articles [J]. Communication Systems, 2007, 20(7): 791-808.

[6] Na C, Yang Y, Mishra A. An optimal GTS scheduling algorithm for time-sensitive transactions in IEEE 802. 15. 4 networks [J]. Computer Networks, 2008, 52(13): 2543-2557.

[7] Cheng Liang, Bourgeois G, Zhang Xin. A new GTS allocation scheme for IEEE 802. 15. 4 networks with improved bandwidth utilization [C]//Proc of ISCIT '07. Sydney: IEEE, 2007: 1143-1148.

[8] Xia Feng, Hao Ruonan, Cao Yang, et al. ART-GAS: an adaptive and real-time GTS allocation scheme for IEEE 802. 15. 4 [C]//Proc of AINTEC 11. New York: ACM, 2011: 96-103.

[9] Li Yueheng, Ju Meiyang, Ye Pengfei, et al. An Improved GTS Transmission Algorithm for Marine-environment Monitoring WSN Systems [C]//Proc of Artificial Intelligence and Computational Intelligence-Third International Conference. Taiyuan, China: Springer, 2011: 538-545.

[10] 李洪峻,李迅,马宏绪. 无线传感器网络 MAC 协议实时性研究[J]. 计算机工程, 2009, 35(23): 78-80.

[11] 丁海霞. 传感器网络中一种实时的自适应时隙调度算法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(22): 110-116.

[12] 黄志杰,李峰,高强. 无线多媒体传感器网络实时 MAC 协议[J]. 计算机科学, 2010, 37(11): 81-85.

[13] 王磊. 基于实时应用下 IEEE802. 15. 4 网络的研究和改进[D]. 郑州: 郑州大学, 2011.

[14] Chen J, Ferreira L, Tovar E. An Explicit GTS allocation algorithm for IEEE 802. 15. 4 [C]//Proc of 2011 IEEE 16th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation. Toulouse: IEEE, 2011: 1-8.

[11] Sastry K, Goldberg D E, Llorca X. Towards billion-bit optimization via a parallel estimation of distribution algorithm [C]//GECCO '07: Proceedings of the 9th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation. New York, NY, USA: ACM, 2007: 577-584.

[12] 王凌. 车间调度及其遗传算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[13] 王小平, 曹立明. 遗传算法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.

[14] 任庆生, 叶中行, 曾进, 等. 对常用选择算子的分析[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(4): 564-566.

(上接第 13 页)

IEEE 802.15.4支持高速实时数据传送算法

作者: [卜翔](#), [章韵](#), [陈建新](#)
作者单位: [南京邮电大学, 江苏 南京 210003](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201303006.aspx