

基于缓存队列长度的自适应网络接入延迟算法

钦 健,李 鸥,杨白薇

(信息工程大学 信息工程学院,郑州 450002)

(qinjianer@163.com)

摘 要:通过对五种网络接入延迟(NAD)算法 DAP-NAD、P-NAD、R-NAD、H-NAD 和 RE-NAD,建立仿真模型,分析各种 NAD 的性能以及适用场合,针对以上几种 NAD 的缺点,提出了一种新的基于缓存队列长度的自适应网络接入算法(AQL-NAD)。通过仿真表明,AQL-NAD 与以上五种 NAD 相比,具有较高的吞吐量,且有更低的端到端延时性能,节省了大量的时隙资源。

关键词:媒体接入控制;网络接入延迟;吞吐量;碰撞率

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Adaptive net access delay algorithm based on queue length

QIN Jian, LI Ou, YANG Bai-wei

(College of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450002, China)

Abstract: Several simulation models were built for analyzing the five Net Access Delay (NAD) algorithms, such as DAP-NAD, P-NAD, R-NAD, H-NAD and RE-NAD. Simulation experiments help to analyze the performance and usage of these NAD algorithms. A kind of new NAD algorithm Adaptive Queue Length Net Access Delay (AQL-NAD) was proposed. The simulation of AQL-NAD shows higher throughput, lower end-to-end Delay and less time slot used than the five NAD algorithms above.

Key words: Media Access Control (MAC); Net Access Delay (NAD); throughput; collision ratio

0 引言

在同一个无线 Ad Hoc 子网中,所有站点共享同一无线信道,必须有很好的控制策略来避免数据传输冲突。美国国防部所颁布的 MIL-STD-188-220C^[1]标准中的五种网络接入延迟算法在各种无线数字电台已得到广泛应用,这五种网络接入算法分别为随机信道接入延迟(R-NAD)、优先级信道接入延迟(P-NAD)、混合信道接入延迟(H-NAD)、嵌入式电台信道接入延迟(RE-NAD)以及确定自适应信道接入延迟(DAP-NAD)。

目前,国内外已经有很多的部门及相关人员对 NAD 算法进行了研究。文献[2]比较了 DAP-NAD 和 RE-NAD 的端到端延时(End to End Delay)性能;文献[3]从各节点之间失步的角度来考虑 DAP-NAD、P-NAD 以及 R-NAD,也即多跳网络对于准同步信道网络接入协议的影响;文献[4]仅仅对 DAP-NAD、P-NAD 及 R-NAD 进行了比较,未对各种 NAD 性能进行详细的评价。

本文提出了一种新的基于缓存队列长度的自适应网络接入延迟算法(Adaptive Queue Length Net Access Delay Algorithm, AQL-NAD),各节点根据相邻节点的缓存队列中待发送的数据包个数来确定发送时机。经过仿真,与其他几种 NAD 算法相比,AQL-NAD 在保持较高吞吐量和较低丢包率的情况下,大大地减小了端到端延时。

1 网络接入延迟算法

文献[1]中虽然详细描述了不同 NAD 算法的原理,但并没有给出每种算法的性能评价和使用条件,在实际应用中,如

何选择合适的 NAD 算法是一个亟待解决的问题。针对不同的应用场合采用合适的 NAD 算法,可以均衡网络负载,保证信息发送的优先级和可靠性。在文献[1]中,数据帧的优先级分为 3 种,即紧急(Urgent)、优先(Priority)和常规(Routine)。

1.1 随机网络接入(R-NAD)

R-NAD 算法为节点提供平等访问网络的机会。每个网络访问周期的 NAD 值,由伪随机数发生器,在特定的区间内产生。这种算法不考虑信息的优先级。

1.2 优先级网络接入(P-NAD)

P-NAD 算法与数据帧所在节点的优先级、信息优先级和初始/后继因子有关。用于在发送较大的数据分组时,将其分成许多较小的连续帧,优先级高的帧优先接入网络。

1.3 混合网络访问(H-NAD)

H-NAD 算法中,不同优先级帧的 NAD 值都有各自互不重合的范围,这个范围与子网内的节点数目、网络负载以及特定的优先级帧在网络负载中所占的百分比成正比。帧的 NAD 由该帧所属优先级的 NAD 范围内随机确定。

1.4 确定自适应优先级网络访问(DAP-NAD)

DAP-NAD 算法把信道访问机会轮流分配给不同的节点,直到其中一个节点发送了信息。其确定性体现在每个节点中,同一个优先级的数据帧都有平等的机会去访问网络。

1.5 嵌入式电台接入(RE-NAD)

RE-NAD 是数据链路层在 DTE 和 DCE(受到无线电话语音活动影响)之间采用的一种信道接入协议。RE-NAD 由语音因子和数据因子组成。当电台检测到信道上有语音时,就增大语音因子,以使语音分组连续地优先发送;否则就减小语音

收稿日期:2008-12-18;修回日期:2009-02-26。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60872043)。

作者简介:钦健(1984-),男,湖北随州人,硕士研究生,主要研究方向:无线移动自组织网;李鸥(1961-),男,陕西汉中,教授,博士生导师,主要研究方向:无线移动与通信、认知网络;杨白薇(1975-),女,江西九江人,博士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。

因子,以尽可能小的数据因子来计算 NAD。其中,数据因子由 2 跳范围内的活动站点个数以及各站点的链接帧的数量决定。

2 五种 NAD 算法性能比较

为了比较五种 NAD 的性能,在 NS2^[6] 平台上进行了仿真,根据文献[1]中的相关参数设置,在仿真中作以下假定:

1) 网络由 n 个站点组成(仿真中选择 $n = 15$),以固定码率(Constant Bit Rate,CBR)作为应用层业务发生器,各站点均以泊松到达模式产生数据分组,平均到达速率为 λ ,固定时间 t 内有 N 个数据分组进入系统的概率为:

$$P_N(t) = \frac{(\lambda t)^N}{N!} e^{-\lambda t} \quad (1)$$

2) 每个数据分组为定长 512 字节,考虑在无噪声信道中传输,即误码率和 FEC 校验出错率为 0。

3) 一般无线电台的缓存大小是有限的,假设缓冲区最大队列长度为 64,队列类型为 FIFO,如队列长度超过 64,则将队头的数据丢弃。

4) 信号在自由空间中传播,每个站的发送功率为 $P_t = 0.2818 \text{ W}$;接收门限为 $RxThresh = 3.192 \times 10^{-9} \text{ W}$,载波侦听门限为 $CSThresh = 1.559 \times 10^{-10} \text{ W}$,捕获门限为 $CPThresh = 10.0 \text{ dBm}$,波长 $\lambda = C/f$, $f = 914 \text{ MHz}$,传输距离为 d ,天线增益 $G_t = G_r = 1.0$ 。它们的关系如下式:

$$\frac{P_t \times G_t \times G_r \times \lambda^2}{(4 \times \pi \times d_{\max})^2} = RxThresh \quad (2)$$

根据上式可以直接得出一跳最大的传输距离为 $d_{\max} = 250 \text{ m}$ 。仿真中,15 个节点随机分布在 $650 \text{ m} \times 650 \text{ m}$ 的场景中。

5) 各站点发送或接收时处于静止状态。

6) 每条消息按照一定的概率 p 来划分优先级。其中,各优先级数据帧的比例大致为:

$$p_{\text{Urgent}} : p_{\text{Priority}} : p_{\text{Routine}} = 25\% : 25\% : 50\% \quad (3)$$

7) 路由协议。按照文献[1]的规定在 NS2 种添加相应的路由模块,拓扑最小更新间隔 $MIN_UPDATA_PER = 30 \text{ s}$ 。仿真中,为了去除节点移动的因素来比较各种 NAD 算法,5) 中规定节点为静态节点。当整个网络收敛后,就不会产生拓扑更新包了。

对如下 4 个重要性能指标进行评估:

分组递交率(Packet Delivery Fraction)。分组递交率定义为交付到目的节点的数据分组数量与 CBR 源节点产生的数据分组数量之比。这是衡量协议最基本的特性。

吞吐量(Throughput)。单位时间内信道总发送的比特数,也称为信道利用率。它是无线 Ad Hoc 网络的一项重要性能指标,直接反映了网络工作运行效率。

平均端到端延时(Average End to End Delay)^[7]。平均端到端延时定义为应用层收到包的时间与应用层发送数据包的时间差的平均值。衡量协议的时效性。

碰撞率(Collision Ratio)。碰撞率定义为 MAC 层发生碰撞的分组数量与 MAC 发送的分组数量之比,主要用来衡量 MAC 协议的发送效率。

由图 1~3 中可以看出,在业务到达速率较小时,五种 NAD 算法的分组递交率、吞吐量和端到端延时差别不大。图 1 中,随着业务速率的逐渐增大,各种 NAD 算法的分组递交率迅速下降,P-NAD 和 H-NAD 下降得最快,DAP-NAD 的分组递交率最高。由于 P-NAD 的端到端延时很大(从图 3 中可以

看出来),很多数据包保存在缓冲队列中,无法发送,因队列满而丢弃;而 H-NAD 的端到端延时虽然最小,但是此种算法的根据消息优先级来计算网络接入延迟,对相同优先级消息来说,每个节点计算的 NAD 大小很接近,造成的碰撞最多,数据重发次数最多,故分组递交率下降得快。

图 2 中,在业务速率较大时,DAP-NAD 的吞吐量最大。对比图 1 和图 2 我们可以发现,分组递交率和吞吐量曲线的转折点相同,当业务速率大于 4 pps 时,分组递交率开始急剧下降,而吞吐量此后却变化不明显,网络达到了饱和状态,新产生的分组来不及被发送,而因缓存队列溢出被丢弃。

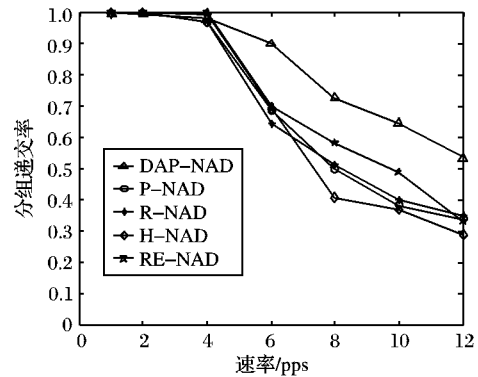


图1 五种 NAD 分组递交率对比

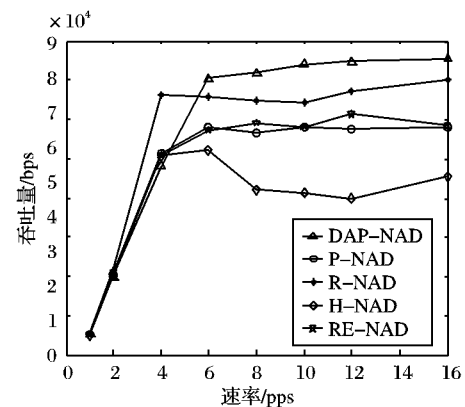


图2 五种 NAD 吞吐量对比

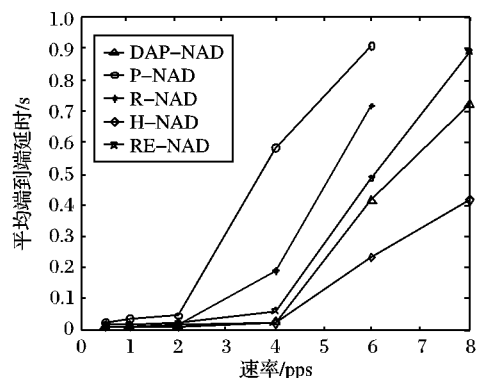


图3 五种 NAD 端到端延时对比

图 4 中,在业务速率较小时,碰撞率都很小;当业务速率增大时,碰撞率迅速上升,其中,H-NAD 和 R-NAD 上升得最快;RE-NAD 在到达速率小于 10 pps 时,碰撞率最小。对于 P-NAD 和 DAP-NAD,由于二者都属于类似的轮询机制,碰撞率较为接近。

由以上分析可以发现以下结论:用分组递交率、吞吐量、平均端到端延时和碰撞率来衡量 MAC 协议时,这四者并不是完全相互独立的。综合考虑这四个因素,DAP-NAD 的整体性

能相比其他四种 NAD 来说最优;P-NAD 碰撞率最小,但其端到端延时最大,为每个站点分配优先级,导致优先级低的站点“饿死”,适用于低业务负载和全连通的网络;R-NAD 实现起来较简单,但因碰撞造成的延时较大,适用于小型网络;H-NAD 只是在 R-NAD 的基础上引入消息优先级,延时较小,但碰撞率大;RE-NAD 的定时参数一部分由电台设备决定,较多地考虑了话音因子,适合于话音业务较多的网络。

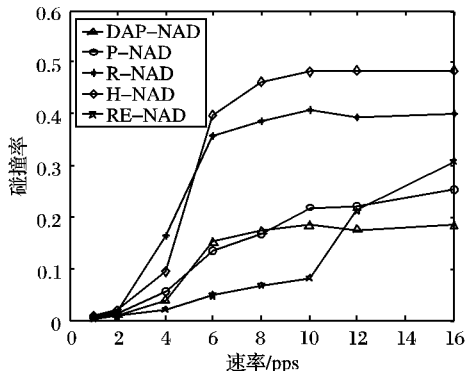


图4 五种 NAD 碰撞率对比

3 基于缓存队列长度的自适应网络接入算法

在第2章的分析中,DAP-NAD 算法的分组递交率和吞吐量比其他几种 NAD 性能更好,但端到端延时性能并不好。

图5为DAP-NAD算法的简化示意图。 R 为保留时隙,如当前网络的优先级为 Routine 或 Priority,如果任何站点 I 有更高的优先级消息,如 Urgent 消息,则站点 I 可以在 R 时隙发送一个 Urgent 短帧,强制设置网络优先级为 Urgent,即使 2 和 3 有 Routine 或 Priority 消息需要发送,也必须等到网络变为相应得优先级时才可发送。 FSN 为此接入周期的第一个接入的站点号,如 $FSN=4$,则站点 4 计算的 NAD 时间最短。下一个接入周期的 $FSN=1$,再下一次 $FSN=2\cdots$ 。

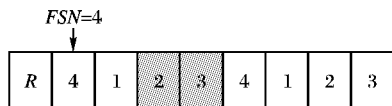


图5 DAP-NAD 示意图

很明显,在图5中,如果这个接入周期只有 2 和 3 有数据分组需要发送,那么前两个时隙 4 和 1 就被浪费了,从而信道利用率不高,端到端延时也较大。

可以考虑在数据分组的报头中,写入本站点的缓存队列中此时有多少个分组等待发送。由于无线信道的广播特性, A 给 B 发送数据包时,其他在同一个信道上的节点都能解析此包,从而学习到所有邻节点的缓存队列的信息。如图6所示,某个节点 I 保存此信道上所有节点的缓存队列长度信息。在图6(a)中,只有节点 2 和 3 有数据包需要发送,计算 NAD 时,只考虑节点 2 和 3。注意,此处的 R 时隙与 DAP-NAD 的用途不同。当某个节点 I 的队列长度由 0 变为 1 时,在 R 时隙中广播一个短帧,通知其他节点:在下一个接入周期, I 有一个包需要发送,计算 NAD 时就需要考虑 I 在内。其他节点解析了这个短帧后,更新邻居信息表,如图6(b)。如果有多个节点需要在 R 时隙内发送 Urgent 帧,可能会造成碰撞。由于 R 时隙长度远大于发送一个短 Urgent 帧所需要的时间,一种解决方案是采取类似 R-NAD 的方法,每个需要发送 Urgent 帧的节点随机取一个整数,在 R 时隙内调整发送短 Urgent 帧的时机,从而减少碰撞的概率。为了便于方便说明,称此种算法为自适应

队列长度网络接入延迟 (Adaptive Queue Length Net Access Delay, AQL-NAD)。

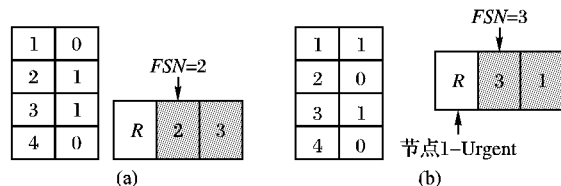


图6 AQL-NAD 示意图

为了比较 DAP-NAD 和 AQL-NAD 的性能,将仿真场景假设为一跳全连通,节点个数 $n=15$,节点最大传输距离为 $d_{\max}=250\text{ m}$,为保证全连通,场景设置为 $\frac{d_{\max}}{\sqrt{2}} \times \frac{d_{\max}}{\sqrt{2}}$ 。

分别考查 DAP-NAD 和 AQL-NAD 在源节点个数变化的情况下,吞吐量和端到端延时性能,60% load 和 30% load 分别表示有 $60\% \times n$ 和 $30\% \times n$ 个节点有数据分组发送,这里 $n=15$,如图7,8。由图7中可以看出,在不同泊松到达速率时,两种 NAD 算法的吞吐量基本相同,从本质上来讲,两种 NAD 算法都类似于固定轮询方式。从图8中可以看出,AQL-NAD 的端到端延时明显比 DAP-NAD 的要小,从两种算法的接入机制就可以很容易得出结论,AQL 与 DAP 相比节省了几个时隙的资源。

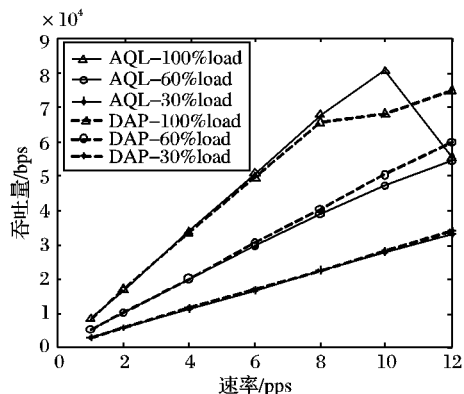


图7 DAP 和 AQL 吞吐量的比较

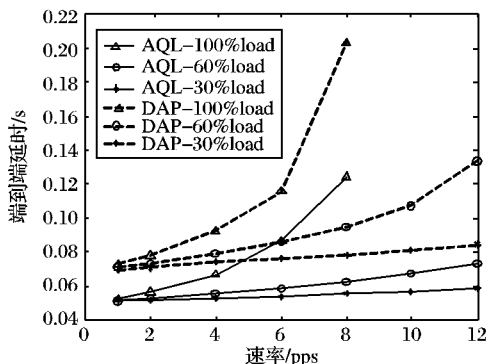


图8 DAP 和 AQL 端到端延时的比较

4 结语

本文分析了 DAP-NAD、P-NAD、R-NAD、H-NAD 和 RE-NAD 后,在 NS2 平台上进行了仿真对比。在总结了以上五种 NAD 方式的优缺点后,提出了一种基于缓存队列长度的自适应网络接入算法 AQL-NAD,通过仿真对比,可以发现 AQL-NAD 在平均端到端延时上相比其他 NAD 具有很好的性能,并且保持较高的吞吐量。但是这种基于发送站同步工作方式^[3]的协议,在多跳环境下,与 DAP-NAD 一样,仍然存在失步的问题,需要进一步加以研究。 (下转第 1508 页)

务数目以及属性相同,对应任务参数需求也相同。设置 50 个应用,每个应用平均包含 12 个任务。设置 5 类资源,每个节点平均提供 10 个以上。任务和资源之间的供求比例分两种情况:1)供大于求,每类资源针对一个任务提供的平均数目超过 10 个;2)供不应求,每个任务可选择的资源数目不超过 3 个(通过减少资源提供的数目来实现)。经过 QoS 匹配和时间窗口,资源的实际可调用数量呈不足状态。

表 1 供大于求实验结果

调度算法	应用平均完成时间/min	任务平均完成时间/ms	成功率/%	任务平均支出/G\$
CM	6.43	1058	90.26	9870
BOS	4.89	1096	89.34	8347

表 2 供不应求实验结果

调度算法	应用平均完成时间/min	任务平均完成时间/ms	成功率/%	任务平均支出/G\$
CM	6.64	1132	72.41	11682
BOS	5.79	1193	68.23	11450

表 1 看出,在任务和资源的比例为供大于求时,CM 和 BOS 比较,在任务平均完成时间和调度成功率上,两种算法几乎没有差别,体现出相似的特性。而在任务平均支出和应用平均完成时间上,体现出较大的差异。其中,任务平均支出由 9870 G\$ 下降到 8347 G\$,下降幅度为 15.43%;应用平均完成时间由 6.43 缩短为 4.89,下降幅度达 23.95%。表 2 中,当任务和资源的比例为供不应求时,两种算法在任务平均完成时间、调度成功率和任务平均支出上均没有太大差异,但在应用平均完成时间上,BOS 比 CM 仍然下降了 12.8%。分析原因:1)在应用一级,BOS 抛弃了静态调度中固定的离散时间,实现了多个任务顺序序列之间的优化,因此,两个算法在任务平均完成时间上相近,但在应用平均完成时间上有较大差异。2)后移空余时间使得更多资源的时间窗口实现匹配,给任务更多的选择,按照较大的时间范围选择低成本资源执行任务,任务平均支出下降。3)每个任务除了预计的时间外,增加了后移空余时间,具有较好的时间容错能力。

从上述结果看到,无论是供求关系如何,后移空余时间的成本优化调度算法在应用一级实现了时间优化,而在资源为供大于求时,在运行成本上实现了优化。

4 结语

本文通过动态分配,对静态分配中的时间序列进行后移处理,实现了在应用级的时间优化和成本优化。和传统的成本优化调度算法比较,将优化的概念从任务一级上升到应用级,克服了以往优化中的局部性限制。同时,在任务一级,增加的后移空余在资源选择上进一步按照成本进行优化。实验证明,后移空余时间的成本优化调度算法较大幅度地缩短了

3.3 结果及分析

在实验中,采用符合泊松分布的随机函数进行调度和资源的登录以及退出。在系统运行较长时间,获得了稳定的状态,即资源获得了相应的 QoS 参数,并完成多次评价后,进行数据采集。实验针对不同算法在应用平均完成时间、任务的平均完成时间、调度成功率和任务运行支出上取得了实验结果,见表 1、2 所示。

应用的平均执行时间和运行成本,最终实现了整个系统调度的优化。

参考文献:

- [1] BUYYA R, GIDDY R, ABRAMSON D. An evaluation of economy-based resource trading and scheduling on computational power grids for parameter sweep applications[C]// AMS 2000: The 2nd Workshop on Active Middleware Services. Pittsburgh, PA, USA: Kluwer Academic Press, 2000: 221-230.
- [2] 陈宏伟,王汝传. 费用—时间优化的网格有向无环图调度算法[J]. 电子学报, 2005, 33(8): 1375-1380.
- [3] MORENO R, ALONSO-CONDE A B. Job scheduling and resource management techniques in economic grid environments [C]// Across Grids 2003, LNCS 2970. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2003: 25-32.
- [4] HE XIAO-SHAN, SUN XIAN-HE. QoS guided min-min heuristic for grid task scheduling [J]. Journal of Computer Science and Technical, 2003, 18(4): 442-451.
- [5] NEUMANN D, STOESEER J, ANANDASIVAM A, et al. SORMA — Building an open grid market for grid resource allocation [C]// GECON 2007, LNCS 4685. Berlin: Springer, 2007: 194-200.
- [6] DAI YUAN-SHUN, XIE MIN, POH K L. Availability modeling and cost optimization for the grid resource management system [J]. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, part A: System and Humans, 2008, 38(1): 170-179.
- [7] BUYYA R, ABRAMSON D, GIDDY J, Nimrod/G: An architecture or a resource management and scheduling system in a global computational grid [C]// The 4th International Conference/Exhibition on High Performance Computing in the Asia-Pacific Region. Beijing: IEEE Press, 2000: 283-289.
- [8] 于卫波,郑少仁. 准同步信道访问控制协议失步性能仿真分析[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(8): 1130-1134.
- [9] 李国庆,安建平,杨杰. MIL-STD-188-220C 协议中的 NAD 算法[J]. 电讯技术, 2005(6): 157-162.
- [10] 王皓磊. 基于扩展有限状态机建模方法的 188-220C 协议仿真模型实现[J]. 军民两用技术与产品, 2006(12): 37-38.
- [11] 徐雷鸣,庞博,赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003: 46-126.
- [12] ZIOUVA E, ANTONAKIPOULOS T. CSMA/CA performance under high traffic conditions: Throughput and delay analysis [J]. Journal of Computer Communications, 2002, 25(3): 313-321.

(上接第 1496 页)

参考文献:

- [1] Department of Defense Interface Standard, MIL-STD-188-220C[S]. 2002: 254-284.
- [2] THUENTE D J, WHITEMAN J K. System engineering of communication protocols for command and control systems [C]// The 6th IEEE International Symposium on High-Assurance Systems Engineering: Special Topic: Impact of Networking. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2001: 194.
- [3] 于卫波,郑少仁. 准同步信道访问控制协议失步性能仿真分析