

基于IEEE802.11的无线Ad Hoc网络的接入性能研究及算法改进^①

何莹

(泰州学院, 泰州 225300)

摘要: 在研究IEEE802.11标准的基础上, 查阅了Ad Hoc网络信道接入的相关资料, 分析了IEEE 802.11信道接入协议的优缺点, 提出了对IEEE 802.11 DCF工作模式的改进建议, 以提高整个系统的性能。本文所作的主要工作包括以下几个方面: 1. 对IEEE802.11所采用的BEB退避机制, 在分析了其缺点的基础上, 参照了相关的改进算法, 如MILD、LMILD、EIED等, 提出了基于信道状况, 根据信道忙闲程度的不同来设定相应的竞争窗口的退避机制, 缓解了信道接入时发生的不公平性, 提高了系统吞吐量。2. 对DCF的工作机制进行了改动, 在延迟阶段对信道进行探测, 以避免出现错误的阻塞, 同时, 根据节点收发RTS/CTS的情况, 探测信道的状况, 来确定是否可以并行传送数据, 以提高吞吐量。3. 对原有的IEEE802.11中RTS/CTS和DATA报文的重传门限进行了改进, 引入了一种自适应机制来进行门限值得设定, 以减少报文被丢弃的可能性, 从而达到减少触发TCP拥塞控制机制可能性的目的, 从而提高系统的吞吐量。4. 使用网络仿真器NS2对相关的改进进行了模拟仿真, 仿真结果表明, 与原有的接入方案相比, 改进后的方案在网络性能方面有所提高。本文针对IEEE802.11的缺陷, 提出了一些改进, 为Ad Hoc网络的研究, 提供了一些参考, 具有一定的参考价值和借鉴意义。

关键词: 退避算法; 阻塞; NS2

Research on Access Performance of Wireless Ad Hoc Network Based on IEEE802.11 and its Algorithm Improvement

HE Ying

(Taizhou College, Taizhou 225300, China)

Abstract: Based on the research of IEEE802.11, referring to information related to the channel access control of Ad hoc network and analyzing the strongpoint and shortcoming of IEEE802.11, we provide some kinds of new improved methods for IEEE802.11 DCF to improve the performance of the system. The main work of this paper includes the following several aspects: 1. Based on analyzing the shortcoming of the BEB backoff mechanism used in IEEE802.11 and referring to related improved methods, such as MILD, EIED and so on, we put forward a new backoff mechanism which is based on the status of the channel. This method is based on the busy or idle degree of the channel to certain the parameter of the contention window then can relieve the unfairness during the period of the channel access and enhance the throughput of the system. 2. After analyzing the problem of the hidden terminal, exposed terminal and blocking in IEEE802.11's channel access control, we modify the mechanism of DCF. During the period of deferring, we detect the channel to avoiding the false blocking. At the same time, based on the status of receiving and sending RTS/CTS we decide to transfer data parallelly to improve throughput. 3. Modifying the threshold of the retransmission for RTS/CTS and DATA packet in IEEE802.11, an adaptive mechanism is used to set the threshold of the retransmission, so that the probability of packet loss is minimized and TCP's congestion control mechanism is triggered fewer. 4. The NS2 network simulator is used to simulate the modified scheme. The results of the simulation show that with the modified scheme, the throughput of network is better than IEEE802.11. In this paper, we take into account the shortcoming of the IEEE802.11 and put forward some improvement. The results of this paper provides a valuable reference for the research of Ad hoc network.

Key words: backoff algorithm; block; NS2

^① 收稿时间:2015-12-08;收到修改稿时间:2016-07-10 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005612]

1 引言

Ad hoc 作为一种新型的网络,存在着很多的问题,其大规模的实现、民用化还有很多的研究工作要做。Ad hoc 作为一种自创造、自组织和自管理的网络,由于其组网的快速灵活性,节点的分布性等诸多的优点,在战争,救灾等特殊领域有着不可替代的作用。此外,由于其不需要基础设施,网络的投资很大一部分在用户终端上,对于网络运营商来所具有巨大的诱惑力。可以用它快速的建立一个较大规模的接入网。提供高速的接入速率,更是优于其它的接入方式:可以作为 3G 的补充,解决接入网的瓶颈问题,它的民用化有着相当大的市场前景。随着研究的深入,困扰 Ad hoc 网络的问题终将得到解决, Ad hoc 网络将有着更加广阔的前景。

Ad hoc 网络是一种动态变化的基于无线信道的自组织网络,一种临时自治的分布式系统,网络中的节点具有无中心接入和多跳等特征。因此,传统固定网络和蜂窝移动通信网中使用的各种协议和技术无法被直接使用。同时,又由于这些特性,使得 Ad hoc 技术涉及到了 OSI 分层模型中的每一个层面。研究者已经在媒质接入问题、路由问题、组播路由问题、电源管理问题、QoS 问题、安全问题、传输层问题等方面发布了相关的研究成果。IETF 已经成立了 MANET 工作组,集中从事 Ad hoc 网络单播路由协议及其性能评定的研究,现已发布了一些路由草案, IETF 下一步还将就如何实现多播路由以及 QoS 等问题展开讨论。

先从参照 OSI 七层模型,从各个层面上来介绍 Adh oc 的技术特征以及构成 Ad hoc 网络的各种技术标准,并指出 Ad hoc 网络中存在的一些问题。

退避算法就是指维护退避计数器的算法。它的目标是维护退避计数器的值,以正确反映节点附近信道的争用状况,赋予节点适当的抢占信道的能力。退避计数器的值直接影响着产生的延迟时间的长短。当退避计数器的值较大时,产生的随机时间值一般来说较长;当退避计数器的值较小时,产生的随机时间值一般较短。显然节点退避计数器的值越小,它抢占信道的能力就越强;反之,它抢占信道的能力就越弱。也就是说,退避计数器的值反映了节点接入信道的能力。所以,维护退避计数器的值非常重要。在载波侦听网络里,当发生冲突而遭碰撞的报文要经过一段随机时延后重发。退避算法直接影响到信道上报文的随机性

和业务量的公平性,所以要采用适当的退避算法,以便在退避一段时间后能成功地发送报文,并保证移动自组网信道访问的公平性。

2 IEEE 802.11 DCF工作模式的一些缺陷

2.1 802.11 中的 BEB 退避算法

在IEEE802.11中,其算法为:

$CW = \min[2 \cdot CW, CW_{max}]$ 发生冲突 $CW = CW_{min}$ 交互成功在上式中, CW 表示当前竞争窗口 (Contention Window) 的值, CW_{max} 和 CW_{min} 分别表示竞争窗口的最大和最小取值。BEB有两个缺点。其一是当一次交互成功时,退避计数器值就降到最低值,不能正确反映信道的争用状况。其二是BEB会带来不公平现象。一次交互成功后,节点的退避计数器值降为最小,而其它不成功的节点的退避计数器的值较大。在后续的竞争,退避计数器值小的节点在竞争中获胜的可能性大。获胜后,退避计数器又减为最小,其它失败的节点的退避计数器再次增大。获胜的节点更加有优势,而其它的节点因为抢不到信道而被饿死,造成严重的不公平现象。如图1所示,通过提取在仿真过程5~15秒这一时间段,节点3和节点7接收的数据包的数量,可以看到,节点3和节点7的吞吐量经常出现急剧下降的情况。

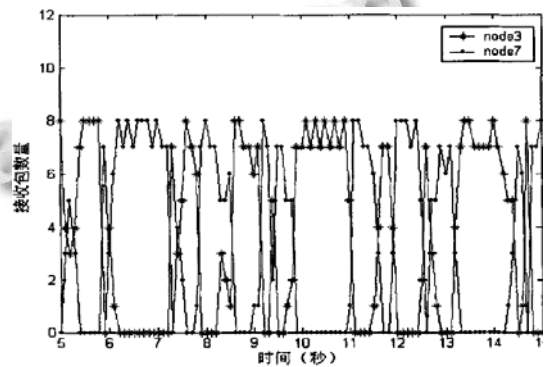


图1 仿真结果

2.2 相关的改进算法

由于 BEB 算法的存在这样的缺陷性,因此,出现了许多对 BEB 算法的改进。

2.2.1 MILD 退避算法

$CW = \min[2 \cdot CW, CW_{max}]$ 发生冲突 $CW = \max[CW - 1, CW_{min}]$ 交互成功 CW 、 CW_{max} 和 CW_{min} 的含义同上节,在 MILD 中,退避计数器的值

是线性递减的。一次交互成功后，计数器的值减小 1。仿真结果表明，MILD 要比 BEB 公平得多。但 MILD 并没有完全消除不公平现象。由分析可知，产生不公平现象的根本原因是争用信道的各节点的退避计数器的值相差较大，产生的延迟时间的不同造成了不同的抢占信道的能力。虽然采用了 MILD 算法，有时也会出现退避计数器的值相差较大的情况。比如，当信道竞争较激烈时，如果有个新节点加入网络，因为新加入的节点不知道信道的争用情况，它的退避计数器的值较小。这样争用信道的各节点的退避计数器值就有了较大的差异。严重的不公平现象就会产生。在 Ad hoc 网络中，新节点加入是非常正常和经常的现象。所以，这种不公平现象必须解决。

2.2.2 LMILD 退避算法

$CW = \min[\alpha \cdot CW, CW_{\max}]$ 发生冲突
 $CW = \max[CW - \beta, CW_{\min}]$ 交互成功 通过仿真，最后将 α 仍然设为 2，而将 β 设为 6，这样可以使吞吐量有了一定的提高，并且公平性问题也有了一定的缓解，同时也考虑到，若 β 进一步增加，虽然可能可以轻微的提高吞吐量，但同时也可能使得节点间传输的公平性遭到破坏。尽管 LMILD 和 MILD 相比，在参数上进行了优化，但由于其 β 是固定的，不具有灵活性，因此其固有的缺陷仍然存在。

2.2.3 EIED 退避算法

$CW = \min[\alpha \cdot CW, CW_{\max}]$ 发生冲突
 $CW = \max[CW / \beta, CW_{\min}]$ 交互成功 在仿真试验中使用了四组参数来进行了比较：

$$\begin{aligned} 1) \alpha = 2, \beta = 2^{1/8} \quad 2) \alpha = 2, \beta = 2^{1/4} \\ 3) \alpha = \beta = 2\sqrt{2} \quad 4) \alpha = \beta = 2 \end{aligned}$$

在 EIED 中，主要分析了在节点数目不同和通信量不同的情况下，参数的不同设定值对于性能的影响，但是由于在实际网络中，网络中节点数目的获得，并不是十分容易，因此仍然会影响 Ad hoc 网络的性能。

3 IEEE 802.11 DCF 的改进

通过上面的分析，可以看出，在 IEEE802.11 DCF 工作模式下，本身存在着不少的问题，为了解决这些问题，本文在以下几个方面对 IEEE 802.11 DCF 标准做出修改：

3.1 退避参数设定的改进

在上节中，讲述了在 IEEE 802.11 中采用的二进制

指数退避机制(Binary Exponential Backoff, BEB)存在的一些问题，如当一次交互成功时，退避计数器值就降到最低值，不能正确反映信道的争用状况。还有像 BEB 会带来不公平现象，当一次数据交互成功时节点的退避计数器值降为最小，而其它不成功的节点的退避计数器的值较大，在这种情况下其它节点可能会出现饥饿问题，从而造成严重的不公平现象。而其它的算法，如 MILD 以及基于 MILD 算法改进的 EIED 算法，对 BEB 算法进行了改进，使得竞争窗口不会大幅的减小，从而使得节点的传输能力不会出现大幅的上下跳动；还有 EIED 算法，也是对竞争窗口的大小设定进行了优化，但是它们仍然不能消除不公平现象，这是由于，以上的算法，它们参数的设定，并没有考虑到信道当时的情况，MILD 算法在信道繁忙的时候，其竞争窗口的变化是比较符合实际情况的，然而，当信道并不是处于繁忙的阶段时，它的参数的设定则显的有些保守。而 EIED 算法，也没有考虑到信道的情况，而是考虑网络中实际活跃节点数目，但在实际网络中，活跃节点的数目，是比较难获取的。因此，可以综合 MILD 算法和 EIED 算法的优点，并同时考虑本节点信道实际情况，来对 IEEE 802.11 的接入算法进行改进。首先定义了一个简单而直观的参数，slot utilization (S_U)，其定义如下：

$$S_U = \frac{Num_Busy_Slots}{Num_Available_Slots}$$

这里 Num_Busy_Slots 是当一次传输尝试开始后，在 backoff 阶段，信道忙时 slots 的数目，Num_Available_Slots 是在传输过程中，所有的空闲时隙(idle slots)和信道忙时隙(busy slots)的总和。将过去两次计算出的信道利用率进行综合考虑，得出当前的信道利用率参数 C_U (Channel Utilization)。具体计算公式如下：

$$C_U = S_U1 \times 0.7 + S_U2 \times 0.3$$

S_U1 和 S_U2 为过去两次退避阶段计算出的时隙利用率。具体的计算公式如下：

$CW = \min[\alpha \cdot CW, CW_{\max}]$ 发生冲突

$$CW = \begin{cases} \max[CW - 2, CW_{\min}] & C_U \geq 85\% \\ \max\left[\frac{CW}{2^4}, CW_{\min}\right] & 65\% \leq C_U < 85\% \\ \max\left[\frac{CW}{2}, CW_{\min}\right] & 45\% \leq C_U < 65\% \text{ 交互成功} \\ \max\left[\frac{CW}{2\sqrt{2}}, CW_{\min}\right] & 25\% \leq C_U < 45\% \\ CW_{\min} & C_U < 25\% \end{cases}$$

从上面的公式可以看出,当信道利用率高时,在交互成功以后,竞争窗口减小的幅度较小,当信道利用率较低时,竞争窗口减小的幅度较大,并根据不同的信道利用率,设定的不同的参数.

3.2 改进了 DCF 的工作流程

在前面已经描述了由于 DCF 工作机制,导致的死锁情况的发生,为了避免这种情况的发生,可以通过使用 RTS validation,来减少错误的阻塞(blocking).若一个节点使用 RTS validation,一旦接收到一个 RTS 时,延迟(defer)直到相应的 DATA 报文传送开始后,探测信道的状况.如果信道处于空闲(idle)状态,则不再进行延迟,否则,继续进行延迟.另外,到目前为止,对于暴露终端问题(exposed node problem),还没有完全的解决方法,CA(virtual carrier sensing)机制往往导致无线信道上的节点采用比较保守的操作.可以通过对 RTS/CTS 信息交换机制的补充,使得 exposed node 在可能的情况下,可以进行数据传输,以提高信道的利用率.

3.3 RTS 门限值设定的改进

在 IEEE802.11DCF 模式中,短帧重传的门限值(ShortRetryLimit)被设为一个固定值 7,而长帧的重传门限值(LongRetryLimit)被设为一个固定值 4.因此,我们考虑将重传的门限值设定成一个动态调整的参数,具体的值,取决于当时网络的状态,若网络处于比较繁忙的状态下,则门限值会逐步增大;反之,则逐步降低.具体公式如下:

$$LRL_i = \begin{cases} LRL_{i-1} - 1 & (try_{i-1} < try_{i-2}) \ \& \ \& (LRL_{i-1} > LRL_{min}) \\ LRL_{i-1} + 1 & (try_{i-1} > try_{i-2}) \ \& \ \& (LRL_{i-1} < LRL_{max}) \\ LRL_{i-1} - 1 & else \end{cases}$$

$$SRL_i = \begin{cases} SRL_{i-1} - 1 & (try_{i-1} < try_{i-2}) \ \& \ \& (SRL_{i-1} > SRL_{min}) \\ SRL_{i-1} + 1 & (try_{i-1} > try_{i-2}) \ \& \ \& (SRL_{i-1} < SRL_{max}) \\ SRL_{i-1} - 1 & else \end{cases}$$

在这里,为了能对重传的门限值范围进行比较精确的估算,用 NS2 进行了一个仿真试验,仿真场景如下:



在没有规定上限和下限的情况下,对节点 4 的在进行 RTS/CTS 交换时的门限值进行记录,其结果如图 2 所示.从图中可以看出,短帧重传的门限值在 6 和 24 之间,同时考虑到过大的重传门限值,可能会导致 TCP 报文的超时,因此将短帧重传的门限值(Short RetryLimit)的最大和最小值设为 25 和 6.与之相类似的,将长帧的重传门限值(LongRetryLimit)的最大和最小值设为 8 和 4.

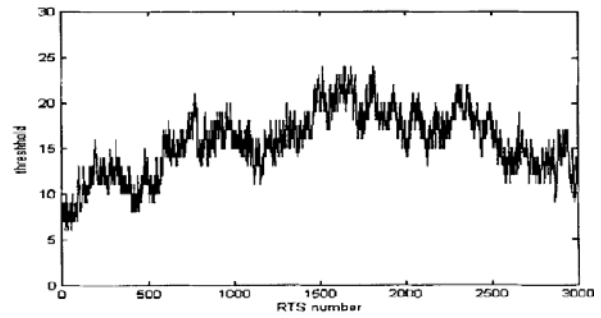


图 2 门限值的设定实验

4 使用 NS2 进行网络模拟的一般过程

假设用户已经完成了对 NS2 的扩展,或者 NS2 所包含的构件已经满足了要求,那么进行一次模拟的步骤大致如下:(1)开始编写 OTcl 脚本.首先配置网络拓扑结构,此时可以确定链路的基本特性,如延迟、带宽和丢失策略等.(2)建立协议代理,包括端设备的协议绑定和通信业务量模型的建立.(3)配置业务量模型的参数,从而确定网络上的业务量分布.(4)设置 Trace 对象.仿真结束后,用户可以对 Trace 文件进行分析研究.(5)编写其它辅助过程,设定模拟结束时间.(6)用 NS 解释执行刚才编写的 OTcl 脚本.(7)对 trace 文件进行分析,得出有用的数据.(8)调整配置拓扑结构和业务量模型,重新进行上述模拟过程.

4.1 仿真环境与仿真结果

这一节主要是比较了一下使用标准的 IEEE802.11MAC 接入方案和改进后的 MAC 接入方案之间的性能差异.因为主要考虑的是 MAC 层的接入方法对 TCP 的性能影响,因此,主要设计了一下几种仿真场景:



图 3 场景 1: 链状

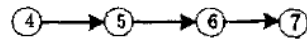
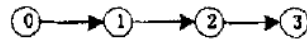


图 4 场景 2: 平行结构



图 5 场景 3: 网状结构、平行数据流

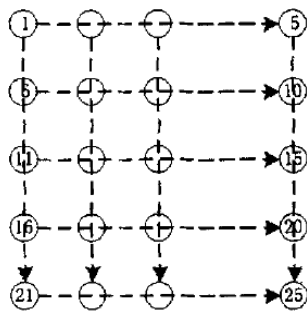


图 6 场景 4: 网状结构、交叉数据流

在这里只使用了上面四种拓扑结构的仿真方案, 平行结构和网状结构. 并没有使用运动模型, 这是因为, 由于考察的是 MAC 层的性能差异, 引入运动模型, 导致的性能差异, 主要是由于运动导致的路由路径的变化, 而不是由 MAC 层体现其性能上的差异, 上面四种拓扑结构, 已经足以考察 MAC 层接入控制方面对于 TCP 的性能影响. 下面两个表是仿真参数的设定.

表 1 仿真环境参数

Simulation time	200s	CHANNEL	WirelessChannel
RoutingProtocol	AODV	Propagation	TwoRayGround
MAC	802.11	Queue	DropTail/PriQueue
Antenna	OmniAntenna	Traffic	FTP

表 2 MAC 层相关参数

Chanel bit rate	1Mbps	MAC Header	224bits
Communication range	250m	PHY Header	192bits
Slot Time	20 μ s	ACK	112bits+PHY header
DIFS	50 μ s	RTS	160bits+PHY header
SIFS	10 μ s	CTS	112bits+PHY header

图 7 和图 8 是由场景 1 来进行仿真后, 节点 7 接收到的数据包的数量, 从图中可以看出, 改进后的 MAC 接入方案, 吞吐量得到了提高, 并且, 数据流量的波动性也有了改善, 使得传输速度能够相对的平稳下来. 图 9 是在链状拓扑结构下, 不同节点数量情况下的吞吐量情况, 可以看到, 随着节点数目的增加, 两种方法下节点的吞吐量都呈现下降的趋势. 但改进后的接入方案在吞吐量方面一直高于改进前(除了两个节点的情况), 而两个节点出现这样的问题, 是由于其竞争窗口的设定与原有的方案相比, 在这种情况下, 显得保守导致的.

图 10 和图 11 是仿真场景 2(平行结构下), 两条数据流的对比情况, 可以看出, 原有的方案, 两条数据流呈现剧烈的震荡情况, 而且, 会出现某条数据流长

时间处于“饥饿”状态, 而改进后的方案, 可以看出, 整个系统的吞吐量有所提高, 而且在公平性方面也有所改进, 不会出现长时间的“饥饿”情况, 但是整个系统的传输速度仍然会有比较剧烈的震荡. 图 12 和图 13 是仿真场景 3 和 4 情况下, 平均每条数据流的吞吐量, 从中可以看到, 随着数据流的增加, 吞吐量不断下降, 不过, 改进后的接入方案在吞吐量方面, 仍然高于改进前.

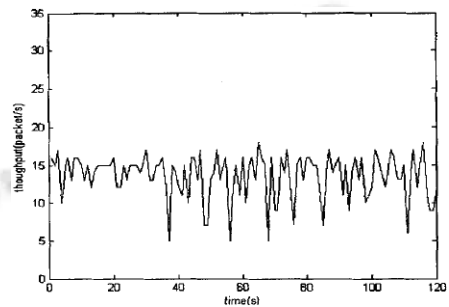


图 7 改进前仿真结果(场景 1)

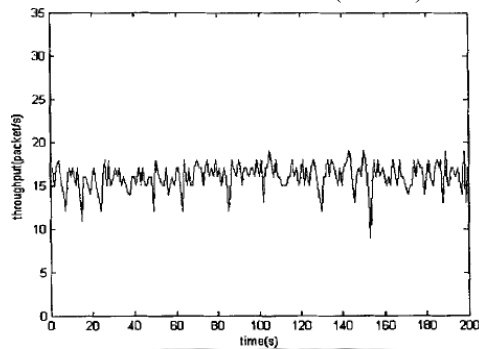


图 8 改进后仿真结果(场景 1)

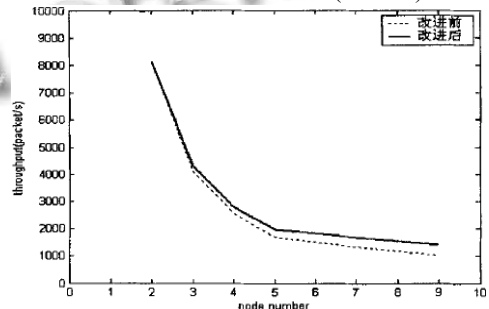


图 9 不同节点数的吞吐量(场景 1)

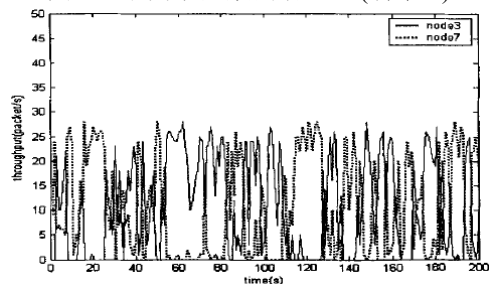


图 10 改进前两条数据流吞吐量对比(场景 2)

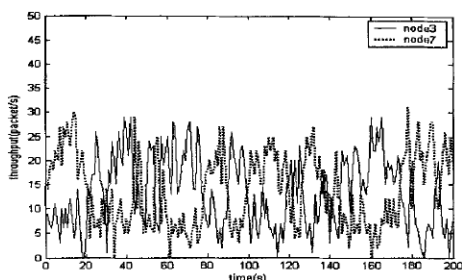


图 11 改进后两条数据流吞吐量对比(场景 2)

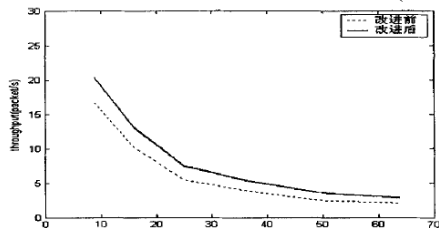


图 12 平均吞吐量(场景 3)

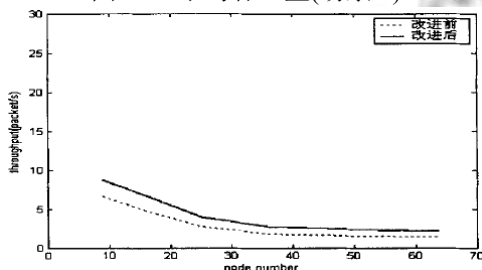


图 13 平均吞吐量(场景 4)

通过以上的仿真,可以得出以下的结论:①改进后的方案,与改进前相比,在性能上有所提高。②在单信道下,当跳数增加时,信道中冲突的机会将会急剧增加,因此,系统的吞吐量随着跳数的增加,会明显的下降。③需要退避窗口的大小进行更加精确的确定,现有的退避窗口的大小是由对竞争窗口取随机数获取的,显然,这是可能导致系统性能下降的一个因素。④需要在MAC和TCP层之间进行参数共享,以便能够对两层面上的协议工作进行协调,以达到系统的最优化。⑤现有的改进方案,在多跳情况下,性能仍然比较低,需要进行进一步的改进。⑥改进后的方案,虽然在公平性上有所改进,但是仍然不能令人满意,在多条数据流的情况下,仍然会出现饥饿问题,

这也是今后可以改进的一个方面。

5 结语

本文详细讨论了在 IEEE802.11 中存在的一些问题,如信道访问的公平性问题,网络存在的错误阻塞问题,隐终端和暴露终端问题,并提出了一些相应的改进:通过对信道状况的探测,来确定具体的竞争窗口的退避参数,缓解由于 BEB 机制导致的不公平性问题;改进了 DCF 的工作流程,避免阻塞的发生,并通过探测信道的方式,使得数据能够尽量的进行平行传输就,提高系统的吞吐量;对 RTS 的门限值的设定进行了改动,减少由于 MAC 的传输失败而导致的对高层的影响。

在以上提出的改进的基础上,通过使用 NS2 仿真软件,对所提出的改进进行验证,验证的结果表明改进后的方案与原有的 802.11 标准相比,在性能上有所提高。

参考文献

- 1 Geier J. 无线局域网.北京:人民邮电出版社,2010.
- 2 Tanenbaum AS.熊桂喜,王小虎译.计算机网络.第3版.北京:清华大学出版社,2008.
- 3 李津生,洪佩琳.下一代 Internet 的网络技术.北京:人民邮电出版社,2010.
- 4 Comer DE. Internetworking with TCP/IP.第3版.北京:电子工业出版社,2011.
- 5 史美林,英春.自组网路由协议综述.通信学报,2001,11(11):22.
- 6 任长清,吴平东,王晓峰,等.基于互联网的液压远程控制系统延时预测算法研究.北京理工大学学报,2002,22(1):85-89.
- 7 王晓峰,吴平东,任长清,等.基于 TCP/IP 网络的远程伺服控制系统中的动态模糊控制器.计算机应用,2002,22(11):83-85.
- 8 于之训,陈辉堂,王月娟.基于和综合的闭环网络控制系统的设计.同济大学学报(自然科学版),2001,29(3):307-311.