

无线自组织网中基于CSMA/CA的一种改进的功率控制算法

杨光松¹, 肖明波², 卢菲恬²

(1. 集美大学信息工程学院, 厦门 361021; 2. 厦门大学通信工程系, 厦门 361005)



摘要: 基于 CSMA/CA 机制, 提出了一个改进的功率控制算法, 用于解决传统的 BASIC 方案中, 由于功率控制的引入而产生的非对称链路对节点传输的碰撞问题, 它通过简单地修改 802.11 MAC 层协议, 采用变长的 RTS/CTS 来使载波侦听环中的节点获得关于 DATA/ACK 传输的分组大小及功率强度信息, 从而有效地避免碰撞与重传。仿真结果说明, 该方法不仅可以节省能量, 而且可以提高网络性能。

关键词: 无线自组织网; 功率控制; MAC 协议; 非对称链路

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-731X (2009) 05-1233-05

Modified Power Control Approach Based on CSMA/CA of Wireless Ad hoc Network

YANG Guang-song¹, XIAO Ming-bo², LU Fei-tian²

(1. School of Information Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Department of Communication Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Based on CSMA/CA scheme, an improved power control algorithm was proposed to solve the Asymmetric Link Problem introduced by power control of BASIC in Ad Hoc networks, which modified 802.11 MAC protocol by using variable size of RTS/CTS to gain the information of data size and power level in the area of carrier sense ring to avoid more collisions and retransmissions. Simulation result shows that the approach can not only save network energy, but also improve network performance.

Key words: ad hoc networks; power control; MAC protocol; asymmetric link

引言

Ad hoc 网络协议设计中, 在满足链路的 QOS 条件的同时, 既要考虑控制发送功率、减少干扰, 又要考虑减少通信节点能量的损耗, 以延长网络生存期。

功率控制在蜂窝网中已得到广泛的应用^[1], 如将其用于 Ad hoc 网络中, 也能提高整个网络的增益^[2,3]。功率控制通常包括电池管理、传输功率管理、系统功率管理三个方面: 电池管理主要涉及电池技术的选择、寻找最佳的电池容量及电池组的合理调度; 系统功率管理主要处理硬件及中间件的功耗最小化及协调协议栈中不同协议层的功率最小化策略; 传输功率控制研究主要在 MAC 层、网络层上进行, 目的是在保证网络连通性的前提下, 最小化节点的传输功率强度。

由于电池技术很难在近期得到突破, 所以传输功率控制成为无线自组织网中功率控制的主要内容。其中有代表性的是 BASIC 协议^[4-6]。这种协议基于 802.11 DCF 机制, 采用 CSMA/CA 方式进行侦听, 并通过 RTS/CTS/DATA/ACK 方式来预约信道。BASIC 协议用最大发射功率来发送 RTS 和 CTS 分组, 而使用能保证可靠通信的最小发

送功率来发送 DATA 和 ACK 分组。文献[7]中, 源节点在传输的 RTS 分组中指定其当前的传输功率, 而宿节点在 CTS 分组中包含一个信息, 将理想的最小发送功率返回给源节点。源节点可以根据这个 CTS 中定义的功率强度来发送 DATA 分组。这种机制使宿节点帮助源节点选择一个合适的功率强度, 以维持理想的信噪比。

但是, 减少 DATA 和 ACK 帧的功率有可能导致接收机和发送机的冲突。这是由于引入了不对称链路(Asymmetric links Problem, ALP)^[8-11], 它对于正在通信的节点, 或者是那些不能检测信道忙而可能传送的节点将造成冲突, 这种冲突将导致能量消耗, 削弱功率控制带来的增益。

ALP 问题是 BASIC 方案的固有问题。文献[8]对其进行了研究, 证明了产生的错误将导致冲突和重传, 从而增加功率消耗。作者提出了 PCM(Power Control MAC), 通过周期性地改变数据帧的传送功率来避免冲突。对于在载波侦听范围内中的节点, PCM 在传送数据帧时增大发射功率, 侦听信道并将 NAV 设置为 EIFS。相隔一段时间后, 又减小到低电平。这种行为重复进行, 直至完成数据传输。PCM 可以得到较好的能量预留, 但是需要以高的精度快速改变功率。

BSM(Basic Scheme with Memory)^[9]在每个终端使用一张表, 维护先前传送的功率级, 用于和邻居节点通信。这种方案可以节省更多的功率, 实现信道重用, 但由于数据传送的可能性降低, 反而增加了冲突概率, 特别是节点移动速度较高时。

收稿日期: 2007-10-10

修回日期: 2008-01-06

基金项目: 福建省青年创新基金资助项目 (2006F3097); 福建省自然科学基金资助项目 (A0710022); 集美大学优秀青年骨干教师基金资助项目 (2008B002)。

作者简介: 杨光松(1968-), 男, 贵州人, 博士, 副教授, 研究方向为无线通信; 肖明波(1971-), 男, 湖南人, 博士, 教授, 研究方向为无线通信。

功率感知路由优化(PARO)方案^[10]采用与 BASIC 协议类似的功率控制机制,通过计算路由链路上所经过的每一跳的传输功率的开销函数来选取一条在源与宿节点之间功耗最小的路由。

文献[4]也采用类似 BASIC 协议的机制,它维护一个用于与邻居节点通信所需的最小传输功率表。该协议允许每个节点动态地增加或减少其发送功率。但是,由于节点间功率强度的不同将导致节点间非对称链路问题的产生,将对网络传输造成严重的拥塞。

本文针对存在的非对称链路问题提出解决措施,剩余部分安排如下,第二节介绍了 BASIC 算法及其存在的不对称链路问题并从理论上进行分析,第三节介绍了改进后的功率控制方案,第四节给出仿真结果及分析。第五节总结全文,并且指出进一步的研究方向。

1 CSMA/CA 机制的功率控制及存在问题

1.1 BASIC 功率控制算法

IEEE802.11 无线网络的简单功率控制机制是基于四次握手的功率信息交互。在 BASIC 模型中,RTS/CTS 帧用节点最大发送功率来传输,通过 RTS 和 CTS 的交互来决定接下来传输 DATA 和 ACK 所需的发送功率。DATA/ACK 发送功率的确定主要采用以下两种方式:

方式一:节点 A 以最大功率 P_{max} 发送 RTS,节点 B 收到的 RTS 功率电平为 P_r ,于是 B 可以计算最小所需传输功率 P_{dsire} ^[2]。由于这种方式考虑了在节点 B 处当前的噪声强度,因此可以准确地估计 DATA 的合适的传输功率。节点 A 接收 CTS 后,用其中包含的 P_{dsire} 来发送 DATA。

方式二:当 B 接收 RTS 后,它响应一个以最大功率响应一个 CTS。而 A 接收到 CTS 后,根据其接收功率 P_r 来计算 $P_{desired}$,

$$P_{desired} = \frac{P_{max}}{P_r} \times R_{thresh} \times c \quad (1)$$

其中 c 是一个常数(通常设为 1), R_{thresh} 是最小所需接收门限。这种方法基于两个假设。首先,源宿节点之间的信号衰减是对称的,否则对 P_r 的计算将不准确;其次,接收机的噪声电平应该低于某一预定门限,以免由于噪声过高而导致不可靠通信。

1.2 非对称链路问题

在无线 Ad Hoc 网络中引入功率控制可以降低能耗,然而,功率控制会在不同的节点处引入不同的传输功率,导致单向链路问题^[5]。如图 1,当节点 A 向 B 传输时,如果这时节点 C 以更高的传输功率向 D 传输,势必在 B 处产生碰撞,干扰 A 向 B 的传输。

802.11 DCF 机制采用 CSMA/CA 方式侦听,并通过 RTS/CTS/DATA/ACK 方式来预约信道。BASIC 协议用最大发射功率来发送 RTS/CTS,而用保证可靠通信的最小

发送功率来发送 DATA 和 ACK。但是 DATA 和 ACK 分组传输功率的降低可能导致在接收端及发送端的碰撞。

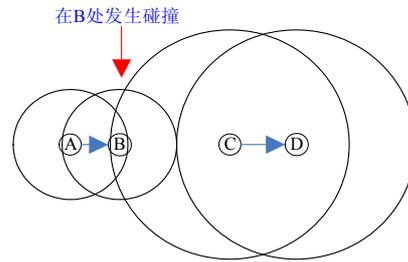


图 1 不同的功率强度引发碰撞

如图 2 所示,假设节点侦听范围约为节点传输范围的 2 倍(在传输范围之外、侦听范围之内的节点可以收到分组,但无法对其进行正确解码)。由于节点 D 在向 E 发送 DATA/ACK 时采用较小的发送功率,发送 RTS/CTS 时用最大的发送功率,因此节点 A 在侦听到节点 D 发送的 RTS 后,进行了一段退避,但随后于没有侦听到 D 向 E 的发送 DATA,而在侦听到信道空闲了 DIFS 后,以最大发送功率发送 RTS,从而造成对 D 节点的干扰;与此类似,H 也会对 E 造成影响。

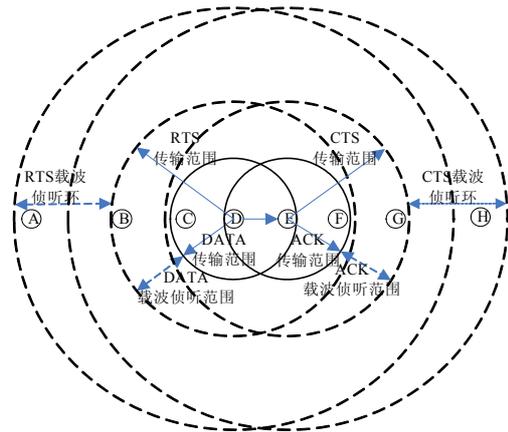


图 2 BASIC 模型非对称链路示意图

由于在通信节点和其它无法侦听介质正在传输的节点间引入了非对称链路,这种碰撞将造成功耗的增加,从而抵消了由功率控制所得到的可能的好处,甚至可能比不用 BASIC 进行功率控制的 802.11 性能还差。

由于非对称链路问题是任何基于 BASIC 的功率控制机制的固有问题,对于任何采用高功率传输的控制帧(如 RTS 和 CTS)和低功率传输的 DATA 和 ACK 帧协议来说,解决非对称链路问题是非常关键和根本的。

1.3 原因分析

本节对 CSMA/CA 机制下采用 BASIC 方案的非对称链路的问题进行近似分析。设某区域内节点随机分布,其密度为 ρ 节点/ m^2 ,对于每个节点,将到达的数据分组视为一个泊松源,到达速率为 λ 分组/秒,每个分组大小固定,数

据进入一个节点后, 又随机发往另外一个节点。

在 CSMA/CA 系统中, 由于各节点共享信道, 因而会产生冲突。冲突产生时, 各节点退避一个随机时间(竞争窗的二倍)。

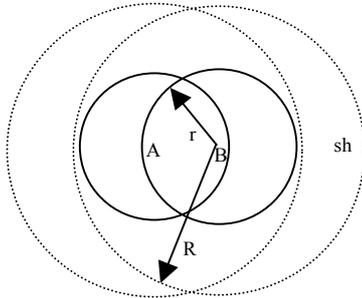


图 3 BASIC 分析示意图

假设 P_s 和 P_f 分别表示一个分组传送成功或者错误的概率, $P_s + P_f = 1$ 。假设缓存大小和重传数 M 足够大, 而且泊松到达速率不超过每个节点的传送容量, 则可以假设丢包是由于缓存溢出产生的, 此时重传超过 M 的情况很少发生, 那么一个分组被传送的次数可以表示为 $1/P_s$ 。

基于以上假设, 分组到达每个节点时, 是速率为 λ 的泊松过程, 于是, 在无线信道上每个节点传送的分组可以近似为一个速率为 λ/P_s 的泊松过程, 如图 3, 当 A 向 B 发送一个分组时, 成功传送的概率可以表示为^[11]:

$$P = P(\text{RTS succeeds}) \times P(\text{CTS succeeds}) \times P(\text{DATA succeeds}) \times P(\text{ACK succeeds}) \quad (2)$$

用 RTS、CTS、DATA、ACK 分别表示各控制分组和数据分组的传送时间, 忽略传播延迟和响应时间, 如果节点 A 想要传送分组到 B, B 接收一个 RTS 成功的概率可以表示为:

$$P(\text{RTS succeeds}) = e^{-(\text{RTS} + \text{CTS})(\rho\pi R^2 - 1)(\lambda/P_s)} \quad (3)$$

这意味着在易损期 $\text{RTS} + \text{CTS} + \tau$ 内, A 是在 B 范围内传送的唯一节点。B 接收 RTS 后在内返回一个 CTS, 如果没有设备在隐区域 S_h (在 B 的覆盖范围之内, 但在 A 的范围之外, 因此这个范围内的节点不能收到来自 A 的 RTS), 于是我们可以推出:

$$P(\text{CTS succeeds}) = e^{-\text{CTS}\rho S_h(\lambda/P_s)} \quad (4)$$

其中

$$S_h = \pi R^2 - 2R^2[\arccos(t) - t\sqrt{1-t^2}] \quad (5)$$

进一步可以推导数据传送成功的概率为:

$$P(\text{DATA succeeds}) = e^{-\text{DATA}(\rho\pi R^2 - 1)(\lambda/P_s)} \quad (6)$$

ACK 成功的概率为:

$$P(\text{ACK succeeds}) = e^{-\text{ACK} \times S_h \rho (\lambda/P_s)} \quad (7)$$

上面的算法是未采用理想功率控制时, 粗略的上界, 忽略了 RTS 和 CTS 的冲突。为简化分析, 忽略捕获效应, 假设各个节点可以进行理想的功率控制, 能够精确连续地调整发送功率。如果采用 BASIC 机制的功率控制, 我们可以计算数据分组成功传送的概率为:

$$P(\text{DATA succeeds}) = e^{-\text{DATA}(\pi R^2 \rho + S_h - 1)(\lambda/P_s)} \quad (8)$$

ACK 成功的概率为:

$$P(\text{ACK succeeds}) = e^{-\text{ACK}[(\pi R^2 - \pi r^2)\rho + S_h](\lambda/P_s)} \quad (9)$$

采用功率控制后, 如果隐区域 S_h 内的节点能感知 A 点的通信, 自动进行冲突避免, 则

$$P(\text{DATA succeeds}) = e^{-\text{DATA}(\pi R^2 - 1)(\lambda/P_s)} \quad (10)$$

ACK 成功的概率为:

$$P(\text{ACK succeeds}) = e^{-\text{ACK}[(\pi R^2 - \pi r^2)\rho](\lambda/P_s)} \quad (11)$$

根据本文第 2 节表 1 的数据, 以及公式(2)至(11), 可以得到当数据分组分别为 256、512kbyte 时的数值结果如图 4, 图中可见, 由于两个载波侦听环中存在的碰撞, 在采用 BASIC 方案之后, 成功传送的概率反而降低了。

从图 4 中还可以看到, 在采用功率控制后, 如果隐区域内的节点可以获知正在传送的状态信息, 有效避免冲突, 则数据成功传送概率可以得到有效的提高(如虚线所示)。本文方案正是为了解决这个问题而提出的。

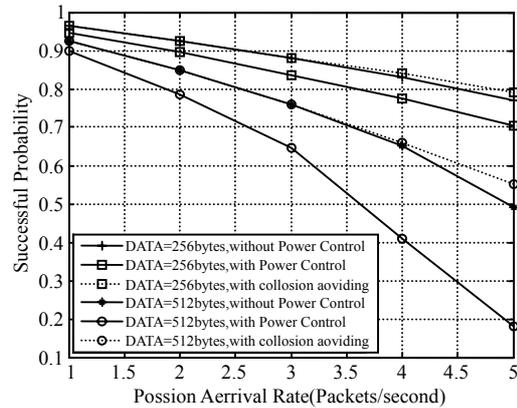


图 4 BASIC 机制的数值分析结果

2 改进的功率控制方案

由功率控制引入以后所产生的非对称链路问题是由于载波侦听环中的节点无法获知 RTS/CTS 分组中的传输持续时间信息所造成的。然而, 它们可以以一定的精确度侦听到载波开启和关闭的时间。本论文提出的方案(简称 PROPOSED 方案)是在 BASIC 模型的基础上进行改进, 解决由于功率控制的引入而产生的非对称链路对节点传输的碰撞问题, 通过简单地修改 802.11MAC 层协议, 采用变长的 RTS/CTS 来使载波侦听环中的节点获得关于 DATA/ACK 传输的持续时间及功率强度信息, 使这些节点能有效地进行时间和功率上的退避, 从而避免了干扰与碰撞。本论文基于 IEEE802.11MAC 解决的非对称链路问题同样也适用于其他的应用于无线 Ad Hoc 网络的 MAC 层协议, 只要引入功率控制导致不同帧使用不同的发送功率, 改进算法就同样适用。

2.1 问题分析

对于在传输范围内的节点, 所提出的方案 BASIC 算法一样, 源和宿节点之间的 RTS 和 CTS 仍然用最大功率进行

传输。由于在源节点和宿节点最大功率传输范围内的节点可以正确接收 RTS 或 CTS 分组，因此它们可以根据接收到的 RTS 或 CTS 中的传输持续时间信息域中的信息来决定自己需要退避的时间长度。

对于在源节点载波侦听环中的节点：传统的处理方法是：一旦节点接收到无法正确解码的分组时，该节点的 NAV 自动设置为 EIFS，但从我们之前的分析可知，由于源节点传送 DATA 时发送功率调整到一个较小的功率值，因此部分载波侦听环的节点无法再收到这样的分组，它在退避了 EIFS 后将重新竞争信道，如果这时它有数据需要发送且侦听到信道空闲了 DIFS 后，它将发送数据，从而对正在进行数据传送造成干扰。

为防止源节点载波侦听环中节点对源节点发送 DATA 分组可能存在的干扰，源节点采取可变长度的 RTS 进行发送，以一定的信息冗余来使源节点载波侦听环中的节点可以获得关于源节点传输的 DATA 所需占用信道的时间长度，从而避免源节点载波侦听环中的节点对源节点发送 DATA 分组的干扰。对于在宿节点载波侦听环中的节点也采用类似的方法。

2.2 执行过程

PROPOSED 模型改进算法具体描述如下：

(1) RTS、CTS 以变长发送，周围节点根据它们与 DATA 分组长度的对应关系来决定退避时间。

如图 2，当 RTS 侦听环中范围内的节点可以通过 RTS 的长度来预知数据分组的长度，而 CTS 侦听环中的节点也可以通过 CTS 的长度来预测数据分组的长度，从而决定自己的退避时间。具体操作可以根据源节点需要发送的 DATA 分组的长度来决定 RTS 的长度，如用 1 倍 RTS 长度表示 DATA 长度为 2300byte，用 2 倍长度来表示 DATA 长度为 1024byte，用 3 倍长度来表示 DATA 长度为 512byte。由于 802.11 常用的最大 DATA 长度为 2300byte，对其使用 1 倍 RTS 可以减少协商负荷；另一方面，如用 DATA 为 512byte 来传送相同信息，其信息量要大于 DATA 为 2300byte 的信息量，因此允许有更多的 RTS 信息冗余。

(2) 由宿节点来决定发送功率，并告知源节点。

通过接收到 RTS 的信息，宿节点可以采用公式(1)来计算 $P_{desired}$ ，并将此信息通过 CTS 告知源节点。考虑到源节点在发送 RTS 时，无法预知自己发送 DATA/ACK 所需的最小功率，而宿节点在发送 CTS 时，可以通过接收到的来自源节点的 RTS 的接收强度计算出源-宿节点 DATA/ACK 正确接收所需的最小功率；由于源节点是发送端，它对于外界分组的抗干扰能力较强，而宿节点是接收端，一旦有分组在接收节点处发生碰撞，将极大影响宿节点的正确接收；因此本论文考虑通过改变 CTS 的长度来使宿节点载波侦听环中的节点既能获得源-宿节点需要占用信道的时间长度，也能知道源节点的发送功率，从而最大限度地防止这些节点对于宿节点接收数据的干扰。这些节点在退避时间期满后，可恢

复至最大功率来竞争信道或发送数据。

例如在图 2 中，当源载波侦听环中的节点 A 收到长度为 28 字节的 RTS(来自 D)时，它知道自己附近有节点正准备接收分组，通过 RTS 的长度，可以计算出节点 D 的占用信道的时间长度(假设分组长度相同，于以计算出传输所需的时间为 SIFS+DATA+SIFS+ACK)，在这段时间内，节点 A 可以选择延时退避，也可以选择不干扰邻居节点接收分组的情况下，以较小的功率进行发送(如选择以传输范围 60m 发送功率进行传输)。当确定 D 发送完毕后，A 恢复到最大功率来竞争信道。

3 仿真及分析

仿真场景为 1250m×1250m 的正方形区域，如图 5 所示。网络中共有 80 个节点，随机分布在仿真区域内，每个节点在其传输范围内平均有 10 个邻居节点，传输范围为 250 米(图中实线圈所示)，载波侦听范围为 500 米(图中虚线圈所示)。每个节点随机选取一个邻居节点来发送数据，所有节点均采用一跳传输。

假设仿真时间长度足够每个节点平均产生大约 100 个 DATA 分组。信道模型采用自由空间衰落模型，即接收功率随距离的平方改变而变化。仿真中假设 DATA 分组长度都是 2300 字节。假设传输功率被分成 3 档：最大传输范围 250m 所需的最大传输功率 281.8mW、传输范围 120m 所需的传输功率 15mW、传输范围 60m 所需的传输功率 2mW。

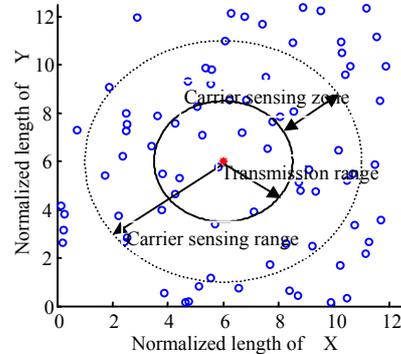


图 5 仿真拓扑

其它仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数表

参数名	参数值	参数名	参数值
Preamble length	144 us	SIFS	10 us
PLCP Header	48 us	DIFS	50 us
RTS size	20 Byte	EIFS	34us
CTS size	14 Byte	Back-off slot time	20 us
Data size	2300 Byte	Turn-around time	4 us
ACK size	14 Byte	CW_min	2
Max Attempt	6	CW_max	7

仿真重点考察所提方案在吞吐量、能量有效性、时延和

控制分组能量开销这几方面的性能表现, 并与 BASIC 算法进行比较, 仿真结果和分析如下:

图 6 是 BASIC 和 PROPOSED 算法的有效吞吐量曲线对比图, 从图中可以看出, 对于网络中成功发送的 DATA 分组在所有发送的分组中所占的比例, PROPOSED 算法明显优于 BASIC 算法, 特别是在网络负载逐渐增大的情况下, PROPOSED 曲线仅略微下降, 而 BASIC 曲线下降明显。这是因为 PROPOSED 机制通过一定的控制分组冗余, 有效避免了载波侦听环节中节点对正在传输的 DATA 数据分组的干扰, 减少了不必要的重传, 从而提高了 DATA 分组发送的成功率, 增加了网络的有效吞吐量。

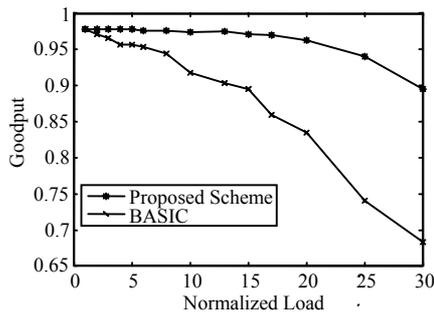


图 6 有效吞吐量

图 7 所示是 BASIC 机制和 PROPOSED 机制的平均端到端时延曲线图, 从中可以看出, PROPOSED 算法比 BASIC 算法在延时上有所改善, 这是因为 PROPOSED 有效避免了部分 DATA 的重传, 从而降低了网络端到端的平均时延。

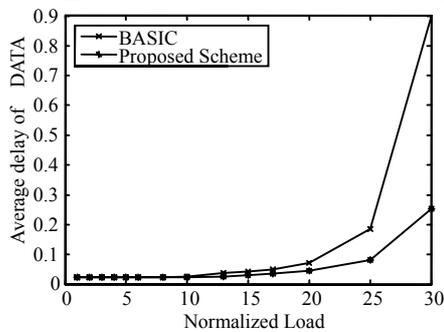


图 7 平均延时

图 8 所示是 IEEE802.11 协议、BASIC 算法和 PROPOSED 算法三种机制的能量有效性曲线图, 从图中可以看到, 在达到相当吞吐量的情况下, BASIC 算法比 IEEE802.11 的能量有效性高, 因为 BASIC 算法中 DATA/ACK 分组采用较小功率进行发送, 但是这两种机制在负载增加的情况下, 能量有效性曲线均下降较快, 而 BASIC 下降的速度甚至要比 IEEE802.11 更快。相比之下, PROPOSED 算法不仅能量有效性比 BASIC 算法和 IEEE802.11 都要高, 并且随着负载的增加, 下降的幅度也较为平缓, 因为在 BASIC 算法的基础上, PROPOSED 有效解决了非对称链路问题, 从而降低了网络中对 DATA 分组传输的碰撞, 减少了不必要的重传, 从

而大大提高了能量的有效性。

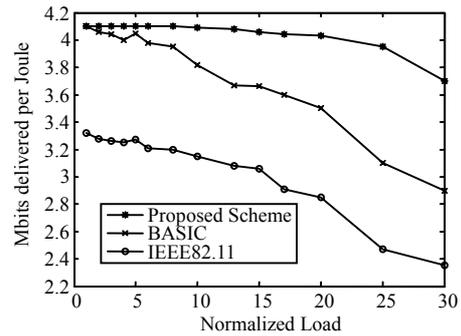


图 8 能量有效性

图 9 所示为 IEEE802.11 协议、BASIC 模型和 PROPOSED 模型这三种算法的控制分组能量开销曲线图, 控制分组能量开销指的是 RTS-CTS-ACK 分组的能量开销。从图中可以看出, 达到相近吞吐量的情况下, BASIC 算法比 IEEE802.11 协议所需的控制开销要小, 因为其部分 ACK 分组采用较小的功率发送; 而 PROPOSED 算法的控制开销是最小, 因为该算法有效避免了 DATA/ACK 的重传, 减少了需要发送的控制分组数, 因此在功率有效性方面表现更为出色。随着网络负载的增加, 三种算法的控制分组开销均显著增大, 因为此时网络中出现拥塞, 大量的控制分组发生了严重的碰撞, 造成控制开销的急剧增加。

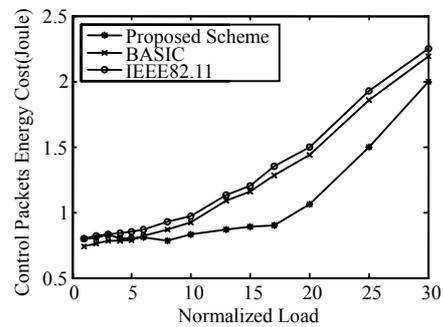


图 9 控制分组能量开销

4 结论

介绍了为解决基于 CSMA/CA 机制中, 采用传统的 BASIC 功率控制方法造成的非对称链路问题, 本文提出了一种改进的功率控制算法, 通过改变 RTS/CTS 的长度, 来预测数据分组发送的时间, 从而减少在侦听环中的冲突。仿真结果证明, 该方案可以在保证网络性能的同时, 节省能量。具有一定的实用意义。

参考文献:

- [1] R Yates. A framework for uplink power control in cellular radio systems [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications (S0733-8716), 1995, 13(7): 1341-1347.
- [2] J P Monks, J P Ebert, A Wolisz, W W Hwu. A study of the energy saving and capacity improvement potential of power control in multi-hop wireless networks [C]// Proc. of the 26th Annual IEEE Conf. on Local Computer Networks, 2001. USA: IEEE, 2001: 550-559.

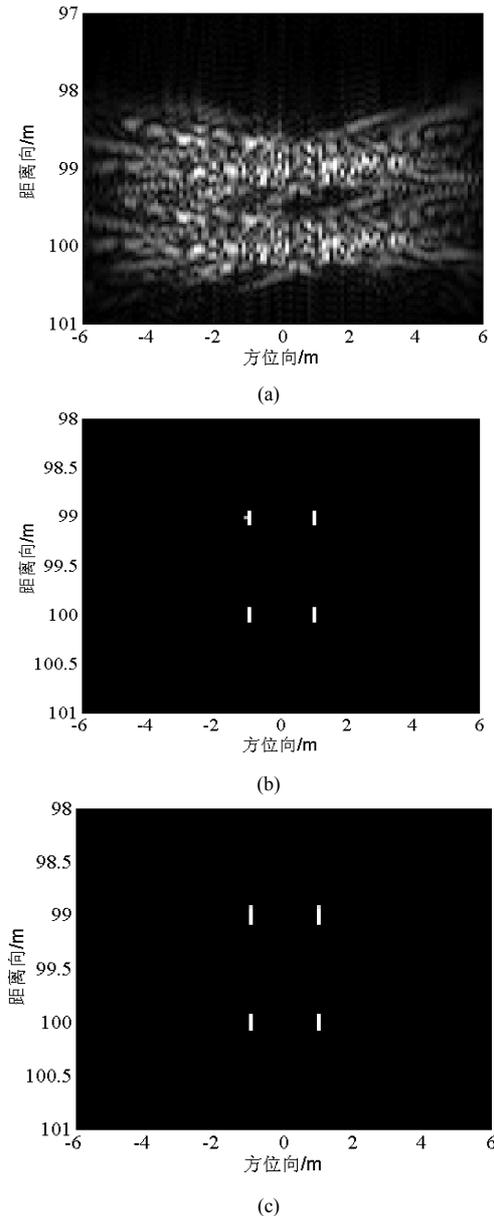


图 5 成像结果对比

4 结论

运算量是影响一种算法能否广泛使用的关键因素。逐点成像算法运算量大限制了该算法的广泛使用。文中给出了基于图像相关性估计多接收元 SAS 偏航和侧摆的新方法。该方法同样适用于均匀目标场景且不需要相邻脉冲有重叠的相位中心, 先利用计算效率高的成像算法分别对相邻两脉冲回波数据进行成像, 然后将直角坐标系中的成像转换到极坐标中通过图像相关性估计偏航, 在补偿偏航的基础上估计侧摆。针对实际中处理的成像结果是离散数据, 文中给出了将直角坐标系中的成像转换到极坐标系中成像的方法。该方法采用场景原点作为极坐标系的原点, 将相邻两脉冲的直角坐标系中的成像转换到同一极坐标系中, 并且依据相邻两脉冲的成像范围来确定极坐标的范围, 这样既有利于估计运动误差又有效地减少了计算量。计算机仿真结果表明了新方法的有效性。

参考文献:

- [1] K D Rolt, H Schmidt. Azimuthal ambiguities in synthetic aperture sonar and synthetic aperture radar imagery [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering (S0364-9059), 1992, 17(1): 73-79.
- [2] 蒋小奎, 孙超, 冯杰. 采用 Vernier 阵技术的 SAS 图像重建[J]. 西北工业大学学报, 2005, 23(1): 60-64.
- [3] Jiang Nan, Sun Dajun, Tian Tan. Synthetic aperture sonar movement compensation algorithm based on time-delay and phase estimation [J]. Chinese Journal of Acoustic (S0371-0025), 2003, 22(3): 261-267.
- [4] P T Gough, M A Miller. Displaced ping imaging autofocus for a multi-hydrophone SAS [J]. IEE Proc.-Radar Sonar Navig. (S1350-2395), 2004, 151(3): 163-170.
- [5] Wang Xuyan, Sun Chao, Liu Bing, et al. An improved motion error estimation algorithm for SAS using a displaced phase center antenna [C]// ICSP (ISBN: 0-7803-9736-3). Beijing, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2006: 2911-2914.
- [6] Yibo Na, Yilong Lu, Hongbo Sun. A comparison of back-projection and range migration algorithms for Ultra-wideband SAR imaging [C]// Sensor Array and Multichannel Signal Processing, IEEE Workshop (ISBN: 1-4244-0308-1). USA: IEEE, 2006: 320-324.
- [7] 保铮, 邢孟道, 王彤. 雷达成像技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

(上接第 1237 页)

- [3] Muqattash A, Krantz M. A single-channel solution for transmission power control in wireless ad hoc networks [C]// Proceedings of ACM MobiHoc'04. Roppongi, USA: ACM Press, 2004: 210-221.
- [4] S Agarwal, S Krishnamurthy, R H Katz, S K Dao. Distributed power control in ad-hoc wireless networks [C]// Proceedings of the PIMRC 2001. San Diego, USA: IEEE Press, 2001: 59-66.
- [5] E-S Jung, N H Vaidya. A Power Control MAC Protocol for Ad Hoc Networks [C]// Proceeding ACM 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM 2002). USA: ACM, 2002: 36-47.
- [6] J Gomez, A T Campbell, M Naghshineh, C Bisdikian. Conserving transmission power in wireless ad hoc networks [C]// Satish K, ed. Proc. of the ICNP 2001. Washington, USA: IEEE Computer Society, 2001: 24-34.
- [7] Kawadia V, Kumar PR. Principles and protocols for power control in

- wireless ad hoc networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications (S0733-8716), 2005, 23(1): 76-88.
- [8] Jung ES, Vaidya NH. A power control protocol for ad hoc networks [C]// Akyildiz IF, ed. Proc. of the MobiCom 2002. Atlanta, USA: ACM Press, 2002: 36-47.
- [9] A A Pires, J F de Rezende, C Cordeiro. ALCA: A New Scheme for Power Control on 802.11 Ad Hoc Networks [C]// IEEE WoWMoM 2005, Taormina, Italy. USA: IEEE, 2005: 475-477.
- [10] J Monks, V Bharghaan, W-M Hwu. A power controlled multiple access protocol for wireless packet networks [C]// Proceedings of the IEEE Infocom Conference. Anchorage, USA: IEEE, 2001: 219-228.
- [11] J Deng, Z J Hass. Dual busy tone multiple access (DBTMA): a new medium access control for packet radio networks [C]// Proceedings of International Conference of Universal Personal Communications (ICUPC'98). Florence, Italy, 1998, 2: 973-977.