

WPAN/WLAN 应用环境下的一类混合链路自适应算法¹

钱小勇 沈连丰 胡 静 许国军 徐平平

(东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

摘 要 该文分析了基于包错误率 (PER) 测量及基于载干比 (C/I) 估计的链路自适应算法的优缺点, 在此基础上提出了两种 WPAN/WLAN 应用环境下的混合算法, 即同时考虑 PER 与 C/I 的混合算法和选择性考虑 PER 与 C/I 的混合算法, 并对它们进行了理论分析和数值仿真. 结果表明, 在理想的单用户接入情况下, 同时考虑 PER 与 C/I 的混合算法的吞吐量要大于其它算法. 在实际的多用户接入情况下, 分配给每个用户的资源相对较少, 此时, 选择性考虑 PER 与 C/I 的混合算法能够减小接收包数目较少或 C/I 估计误差太大以及信道误判等因素造成的吞吐量损失, 达到比其它算法更大的网络吞吐量.

关键词 无线个域网, 无线局域网, 高性能无线局域网, 载干比, 包错误率, 链路自适应
中图分类号 TN929.5, TN913.2

1 引 言

在移动通信中, 多径效应和多普勒扩展等因素都会引起接收信号强度随时间而发生变化. 若调制时采用一种固定的物理层模式 (Physical layer mode), 其误码率 (或包错误率) 将产生很大的起伏, 这样既不利于系统达到最大的网络吞吐量, 又不能很好地保证服务质量. 链路自适应算法就是研究如何采用一种自适应调制技术, 根据当前的信道质量状况来调整物理层模式, 使通信质量满足实际要求. 链路自适应主要存在两个基本问题: (1) 如何根据已知的参数, 如接收信号强度 (RSS, Received Signal Strength)、载干比 (C/I, Carrier to Interference ratio) 及包错误率 (PER, Packet Error Rate), 来估计当前信道质量; (2) 确定对物理层模式进行调整的周期 (以下称为调整间隔). 目前的链路自适应算法主要有基于 PER 测量的算法 (以下简称为 PER 算法) 和基于 C/I 估计的算法 (以下简称为 C/I 算法) 两类.

PER 算法以接收端的 PER 值作为当前信道质量的估计^[1-2]. 对于每个物理层模式, 首先分别设定其上、下两个 PER 门限值. 若 PER 值小于当前物理层模式的下门限, 在下一个调整间隔内, 系统采用速率更高的物理层模式. 反之, 若 PER 值大于上门限, 则采用速率更低的物理层模式. 根据各物理层模式所用的上、下门限值对是否相同, PER 算法可分为固定 PER 门限值方案 (所有物理层模式的 PER 门限值对都相同) 和可变 PER 门限值方案 (各物理层模式的 PER 门限值对不一定相同). C/I 算法则根据接收信号的 C/I 值来估计当前的信道质量, 用它作为各物理层模式的切换点^[3-5]. 对于某一给定信道模型, 每个物理层模式都有相应的 C/I 上、下门限值, 根据 C/I 预测值与门限值的比较来确定下一个调整间隔该用的物理层模式. C/I 算法的关键在于如何根据已知 C/I 估计值预测下一个调整间隔内的载干比. 目前已有两种预测方案: (1) 简单预测^[3], 即用前一个调整间隔的 C/I 估计值作为下一个调整间隔的 C/I 预测值; (2) 线性预测, 即用前 n 个调整间隔的 C/I 估计值的线性组合作为下一个调整间隔的 C/I 预测值.

在分析了已有两类算法的基础上, 本文提出了两种混合算法, 并在 HIPERLAN/2 系统上进行了仿真. 本文具体组织如下: 第 2 节, 分析现有的两类算法的优缺点, 并提出两种混合算

¹ 2001-11-05 收到, 2002-06-20 改回

国家自然科学基金 (No: 60072016); 教育部重大科学技术项目 (No: 99176)

法,即同时考虑 PER 与 C/I 的混合算法及选择性考虑 PER 与 C/I 的混合算法;第 3 节,简单阐述仿真模型;第 4 节,分析两种不同应用场合下的仿真结果并对各种算法的性能进行比较;第 5 节,给出本文的结论。

2 两种混合算法

在前述的两类算法中, C/I 算法能使系统达到较大的网络吞吐量,但其转换点的门限值与信道类型关系密切,而准确判断通信系统所处的信道是很困难的,信道的误判将引起吞吐量的损失;另外, C/I 估计难免有误差,估计误差的存在可能导致物理层模式的误判,这也会带来吞吐量的损失。在 PER 算法中, PER 门限值的选取非常关键。若下门限选得过大,那么,即使在信道质量较差的情况下,系统仍将采用信息率较大的传输模式,这会导致包错误率的增加,不仅不能保证 QoS,还将使数据包的重传数目与次数增加,造成网络堵塞;若上门限选得过小,在信道质量很好时,系统仍然采用信息率较低的物理层模式,这将减小网络吞吐量。在接收的数据包足够多时,与 C/I 算法相比,若 C/I 估计不存在误差,两种算法的吞吐量相当;若 C/I 估计有误差(HIPERLAN/2 中,最恶劣时达到 $\pm 7\text{dB}$), PER 算法的吞吐量更大;另一方面,不同信道模型下得到的 PER 门限值相差不大,信道的误判对吞吐量的影响并不明显。然而,在传输中数据包的出错是随机的,即每一帧的 PER 是个随机数,若接收的数据包数目很少时, PER 的方差很大,用 PER 作为当前信道质量的估计存在较大误差,将导致吞吐量的较大损失。

由上面的分析可知,两类算法各有其优缺点,且相互补充,本文将两者相结合,提出了一类混合的链路自适应算法,具体可分成两种类型。

2.1 同时考虑 PER 与 C/I 的混合算法

前面两类算法在决定下一个调整间隔的物理层模式时,仅考虑了 PER 或 C/I 中的一个参数,本算法(以下简称混合算法 1)则同时兼顾 PER 和 C/I 的影响,用这两个参数来综合评估当前信道质量。假定 PHY 为物理层模式编号,且从信息速率最低的模式到最高的模式,编号递增,PHY_{cur} 为当前物理层模式的编号,则算法可具体表示为

$$\begin{aligned} & \text{if}(\hat{\text{CIR}}_{\text{cur}} > \text{CIR}_{\text{up}}(\text{PHY}_{\text{cur}}) \text{ and } \text{PER}_{\text{cur}} < \text{PER}_{\text{dn}}(\text{PHY}_{\text{cur}}) \text{ and } \text{PHY}_{\text{cur}} < \text{PHY}_{\text{max}}) \\ & \quad \text{PHY}_{\text{cur}} ++; \\ & \text{if}((\hat{\text{CIR}}_{\text{cur}} < \text{CIR}_{\text{dn}}(\text{PHY}_{\text{cur}}) \text{ or } \text{PER}_{\text{cur}} > \text{PER}_{\text{up}}(\text{PHY}_{\text{cur}})) \text{ and } \text{PHY}_{\text{cur}} > \text{PHY}_{\text{min}}) \\ & \quad \text{PHY}_{\text{cur}} -- \end{aligned}$$

其中 PER_{cur} 为当前包错误率, $\hat{\text{CIR}}_{\text{cur}}$ 为当前 C/I 估计, CIR_{up}(PHY_{cur}) 和 CIR_{dn}(PHY_{cur}) 分别为当前物理层模式的上、下 C/I 门限值, PER_{up}(PHY_{cur}) 和 PER_{dn}(PHY_{cur}) 分别为当前物理层模式的上、下 PER 门限值,且有 CIR_{up}(PHY_{cur}) > CIR_{dn}(PHY_{cur})、PER_{up}(PHY_{cur}) > PER_{dn}(PHY_{cur}), PHY_{max} 和 PHY_{min} 分别为最大和最小信息速率对应的物理层模式。

2.2 选择性考虑 PER 与 C/I 的混合算法

混合算法 1 总是同时考虑 PER 与 C/I 的影响,而在本算法(以下简称混合算法 2)中,每个调整间隔内仅选择性地选取两个参数中的一个作为当前信道质量的估计。当一个调整间隔内的接收包的数目大于某一给定门限时,可以认为当前 PER 值是信道质量状况的较好估计,此时,系统采用可变门限的 PER 算法;若接收包的数目小于此门限值,由于包出错的随机性,可以认为此时 PER 值的方差过大,PER 已不能较好地反映当前信道质量状况,相比之下, C/I 作为当前信道质量的估计更为合适,故系统采用 C/I 算法。因此,在此算法中,如何确定接收包数目的门限值显得比较重要,门限值的选取可分为两种情况,(1)对于所有的物理层模式,

采用相同的门限值; (2) 对不同的物理层模式采用不同的门限值. 本文提出了一种门限值的选取方案, 具体表示为: 对于某一物理层模式 i , 其门限值通过下式:

$$\text{Num}(i) = C / [\text{PER}_{\text{up}}(i) - \text{PER}_{\text{dn}}(i)]$$

来计算, 其中 C 为一个可变参数. 对于某一个固定 C 值, 可以得到一组门限值, 就 HIPERLAN/2 而言, 通过将不同 C 值下的吞吐量进行比较, 发现 $C = 8.0$ 时最为合适.

3 仿真环境

HIPERLAN/2 标准中定义了 5 类信道模型^[6,7], 本文选取了典型办公室应用环境下的信道模型 (Channel model A) 进行仿真, 其路径损耗模型采用对数距离损耗模型 (Log-distance pathloss model)^[8], 损耗的计算公式为

$$\text{PL}(d)[\text{dB}] = \text{PL}_0[d_0] + 10n \log(d/d_0) + \text{PL}_s$$

其中 d 为收发点间距离, n 为损耗系数, d_0 为参考距离, PL_0 为在距离 d_0 处的路损 (由 Friis 模型得到), PL_s 为慢衰落引起的损耗, 它服从对数正态分布. 载波频率 $f=5.325\text{GHz}$ 、参考距离 $d_0 = 1.5\text{m}$ 时, 路损 $\text{PL}_0=48.45\text{dB}$. 本文主要考虑快衰落的影响, 因为, 在 HIPERLAN/2 中, 移动终端 (MT, Mobile Terminal) 的移动速度较慢 (小于 3m/s), 且活动范围较小, 阴影效应的影响可以忽略, 故设 $\text{PL}_s = 0$; 通信中的干扰主要来自其它同频的接入点 (AP, Access Point) 和工作在该频段的雷达, 假定干扰与噪声为 $-70\text{--}90\text{dBm}$ 范围内的一个常数. 仿真时, MT 的移动速度为 2m/s .

4 仿真结果及其分析

为了研究上述混合算法的性能, 本文分别在单用户接入及多用户接入两类应用场合下进行了仿真, 并对结果进行分析比较. 单用户接入是指在每个蜂窝内, 一个 AP 仅与单个的 MT 进行满负荷通信, 这是为了仿真最大网络吞吐量的需要而假定的一种理想情况. 因为, 如果有多个 MT 接入, 系统需要为各个 MT 安排控制信道, 还要在各个 MT 间安排保护时隙, 而单用户情况可以最大限度地节省这些资源. 然而, 实际通信中, 很少出现单用户接入情况, 一般来讲, 每个 AP 至少有 3 个 MT 接入, 平均有 7 个 MT 接入. 本文仿真的多用户接入情况正是考虑了这种实际应用场合. 在仿真图中, 横坐标为只考虑路径损耗时的载干比, 它是载干比的一个长期平均值, 纵坐标为平均吞吐量.

4.1 单用户接入情况

首先考虑 C/I 估计无误差情况, 由图 1 可知, 3 种算法的吞吐量相差很小. 再看 C/I 估计存在误差的情况, C/I 估计误差在 $\pm 3\text{dB}$ 内 (如图 2) 与 $\pm 5\text{dB}$ 内 (如图 3) 时, 3 种算法的吞吐量的差别变大, 差别最大处到达了 4Mbps . 其中, C/I 算法的吞吐量要小于其它两种混合算法, 而混合算法 1 的吞吐量在大多数情况下为最大值. 出现上述现象的原因在于: 混合算法考虑了 PER 的影响, 在接收包数目较多且 C/I 估计存在误差时, 作为对当前信道质量的估计, PER 比 C/I 更准确, 故吞吐量损失主要是由 C/I 的估计误差引起. 如果同时考虑 PER 和 C/I 的影响, 就能够减小包出错的随机性和 C/I 的估计误差所带来的干扰, 从而使物理层模式改变比较平稳. 当 C/I 大到一定程度后, C/I 估计误差对吞吐量影响并不大, 因为几乎所有的数据包都采用 3/4-64QAM 物理层模式进行调制, 故 C/I 大于 27dB 后不同算法的吞吐量并无多大差别.

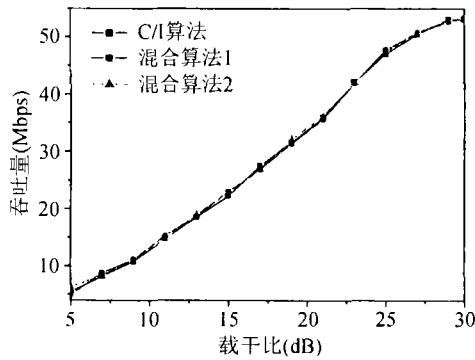
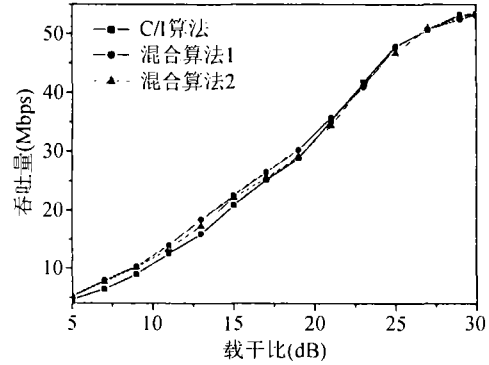


图 1 单用户: C/I 估计无误差的吞吐量

图 2 单用户: C/I 估计误差在 $\pm 3\text{dB}$ 内的吞吐量

4.2 多用户接入情况

在多用户接入的情况下,有必要对两种混合算法的吞吐量进行比较。图 4—图 6 分别为在不同 C/I 估计误差情况下的吞吐量比较图,可以看出,随着 C/I 的估计误差的增加,两种混合算法的吞吐量的差距正在逐渐缩小。当估计误差在 $\pm 5\text{dB}$ 内时,若 C/I 小于 23dB ,两种混合算法的吞吐量差别很小; C/I 大于 23dB 后,混合算法 2 的吞吐量要明显大于混合算法 1。还有一点值得注意,在单用户情况下,随着 C/I 估计误差的增加,两种混合算法的吞吐量的差距逐渐增大,而在多用户情况下,却出现了相反的情形。这是因为:单用户情况下,吞吐量损失主要由 C/I 估计误差引起;而在多用户情况下,每个 MT 所接收的数据包与单用户时相比大大减少,由于通信中包出错有很大的随机性,此时的 PER 值作为信道质量的估计已不够准确,是引起吞吐量损失的主要原因。故在多用户接入情况下,混合算法 1 的吞吐量一般要小于混合算法 2。随着 C/I 估计误差的增加,PER 随机性的影响相对减小,两种算法的吞吐量慢慢逼近。由于最后两种物理层模式 (3/4-16QAM 与 3/4-64QAM) 的信息速率相差很大,分别为 36Mbps 和 54Mbps ,在 C/I 较大后,混合算法 2 受 PER 随机性的影响较小,大量数据包采用 3/4-64QAM 物理层模式,而对于混合算法 1,由于仍然有错包出现,PER 随机性的影响并没有消除,系统可能在上述两种物理层模式间切换,从而造成两种算法的吞吐量差别较大。但可以肯定,当 C/I 大到一定程度后(数据能够完全正确地接收),两种算法的吞吐量将趋于相等。

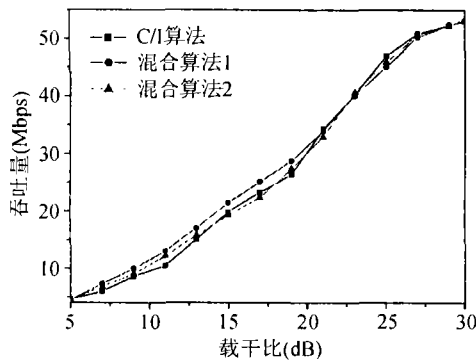
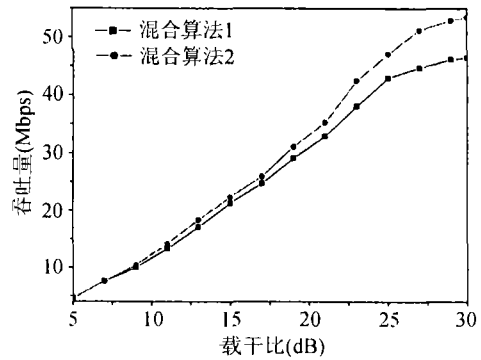
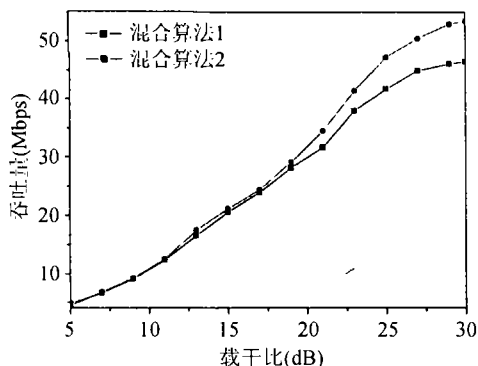
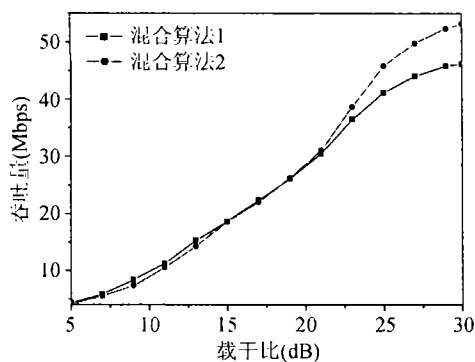
图 3 单用户: C/I 估计误差在 $\pm 5\text{dB}$ 内的吞吐量

图 4 多用户: C/I 估计无误差的吞吐量

图 5 多用户: C/I 估计误差在 $\pm 3\text{dB}$ 内的吞吐量图 6 多用户: C/I 估计误差在 $\pm 5\text{dB}$ 内的吞吐量

5 结 论

包错误率与载干比都能反映当前信道质量状况,但两者又各有其局限性,载干比是一个估计值,存在估计误差,包错误率是个随机值,方差大小与接收包数目有关。混合算法 1 用两者来综合评估当前信道质量,在接收包数目足够多时(理想单用户接入情况),能够减小 C/I 估计误差或 PER 的随机性单方面的影响,使得物理层模式比较平稳地变化,故此时其吞吐量要大于其它算法。而混合算法 2 则选择性地选取两个参数中的一个作为当前信道质量的估计,在接收数目较少时(多用户接入时可能出现的情况),能够减小由于 PER 方差过大造成的影响,此时其吞吐量要大于混合算法 1。

本文的算法与仿真结果都以 HIPERLAN/2 仿真环境为例,但同样可以推广到 WPAN/WLAN 等其它应用环境。

本课题的研究还得到摩托罗拉公司的资助,该公司南京软件中心许翔先生等多位同仁给予了很大帮助,在此表示诚挚的感谢!

参 考 文 献

- [1] O. Queseth, F. Gessler, M. Frodigh, Algorithms for link adaptation in GPRS, Proceedings of Vehicular Technology Conference, 1999 IEEE 49th, Houston, 1999, vol.2, 943-947.
- [2] J. C-I Chuang, Improvement of data throughput in wireless packet systems with link adaptation and efficient frequency reuse, Proceedings of Vehicular Technology Conference, 1999 IEEE 49th, Houston, 1999, vol.1, 821-825.
- [3] Zihuai Lin, G. Malmgren, J. Torsner, System performance analysis of link adaptation in HIPERLAN type 2, Proceedings of Vehicular Technology Conference, 2000 IEEE 52th, Boston, 2000, vol.4, 1719-1725.
- [4] J. Torsner, G. Malmgren, Radio network solutions for HIPERLAN/2, Proceedings of Vehicular Technology Conference, 1999 IEEE 49th, Houston, 1999, vol.2, 1217-1221.
- [5] J. Khun-Jush *et al.*, Overview and performance of HIPERLAN type 2-a standard for broadband wireless communications, Proceedings of Vehicular Technology Conference, 2000 IEEE 51th, Tokyo, 2000, vol.1, 112-117.
- [6] Broadband Radio Access Networks (BRAN), High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) type 2: requirements and architectures for wireless broadband access, ETSI (No. 101 031), 1999.
- [7] Broadband Radio Access Networks (BRAN), High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) type 2: system overview, ETSI (No. 101 683 V1.1.1), 2000.

- [8] J. Medbo, J. E Berg, Simple and accurate path loss modeling at 5GHz in indoor environments with corridors, Proceedings of Vehicular Technology Conference, 2000 IEEE 52th, Boston, 2000, vol.1, 30-36.

HYBRID LINK ADAPTIVE ALGORITHMS FOR WPAN/WLAN APPLICATIONS

Qian Xiaoyong Shen Lianfeng Hu Jing Xu Guojun Xu Pingping

(National Mobile Comm. Research Laboratory, Southeast Univ., Nanjing 210096, China)

Abstract In this paper, the characteristics of two link adaptive algorithms based on Carrier to Interference ratio (C/I) and Packet Error Rate (PER) are discussed. Furthermore, two hybrid algorithms of link adaptation are proposed on the analysis of the existing algorithms. One is named integrated hybrid method, in which PER and C/I are taken as the estimates of channel quality simultaneously. The other that selectively considers C/I or PER as the estimates of channel quality at a time is called selective hybrid method. Simulation results indicate that the integrated hybrid method can achieve the maximum throughputs at an ideal uni-user scenario. While at a multi-user scenario, a few received packets of one user lead to the large variance of PER values, which results in throughput loss. Therefore, at the scenario above, selective hybrid method is superior to other methods in term of network throughputs.

Key words Wireless personal area network, Wireless local area network, High performance radio local area network, Carrier to interference ratio, Packet error rate, Link adaptation

钱小勇: 男, 1978年生, 博士生, 主要研究方向为无线个域网、无线局域网及小范围移动无线通信等。
沈连丰: 男, 1952年生, 教授, 博士生导师, 从事移动通信、无线多媒体通信和无线互联网等方向的研究工作。
胡 静: 女, 1975年生, 硕士, 助教, 主要研究方向为宽带无线多媒体通信及无线互联网等。
许国军: 男, 1972年生, 博士生, 主要研究方向为宽带无线多媒体通信, 高速无线互联网等。
徐平平: 女, 1957年生, 副教授, 硕士生导师, 目前研究兴趣为无线多媒体接入网关键技术与移动多媒体 QoS 等。