

## S-CDMA-HFC 系统初始接入改进功率控制算法<sup>1</sup>

陈惠芳 谢磊 仇佩亮

(浙江大学玉泉校区信息与电子工程学系 杭州 310027)

**摘要** 功率控制是 S-CDMA-HFC 系统上行信道的关键技术之一。对于初始接入 CDMA 终端, 采用传统的功率控制方法是不合理的。该文提出了一种初始接入改进功率控制算法, 给出了吞吐量和接入时延性能仿真结果, 并与传统功率控制算法的性能进行了比较。

**关键词** 同步 CDMA, S-CDMA-HFC 系统, 改进功率控制

**中图分类号** TN914.4

### 1 引言

基于有线电视 (Cable TV, CATV) 的混合光纤同轴电缆 (Hybrid Fiber-Coax, HFC) 双向系统, 下行传输比较容易实现, 而上行信道由于噪声和不可预测的环境导致传输比较困难, 特别是较低部分频谱在实际应用中比较难以实用<sup>[1]</sup>。因此, 提出一种能有效抵抗窄带噪声的传输方法就能有效利用 CATV 频谱的低端部分, 这是实现 HFC 系统的关键技术之一。上行信道的另一个问题是容量受限。为了提高上行信道的容量, 会使用一些较复杂的调制和传输技术, 如正交幅度调制 (Quadrature Amplitude Modulation, QAM)、离散多音频调制 (Discrete Multi-Tone Modulation, DMTM)、码分多址接入 (Code Division Multi-Access, CDMA) 等, 使有限的上行信道频谱资源能传输更多的信息比特。采用同步 CDMA (Synchronous CDMA, S-CDMA) 技术是消除和对抗上行信道噪声和提高上行信道容量的一种较好方法<sup>[2]</sup>。基于 S-CDMA 的 HFC 调制解调器是第二代 HFC 系统的调制器技术。

功率控制是任何双向通信系统重要的组成部分<sup>[3]</sup>。功率控制是 S-CDMA-HFC 系统上行信道的主要内容之一, 它能消除“远近效应”问题和改善上行信道的容量<sup>[3~6]</sup>。基于 S-CDMA 的 HFC 系统中实现功率控制的目标是: 前端控制器接收到的来自于每个 CDMA 终端从上行信道的信息必须具有相同的功率以使系统的总容量达到最大。随着信道负载的增大, 所有 CDMA 终端的性能都会受到影响, 特别是引入初始接入的 CDMA 终端, 这种现象更加明显。这是由于受功率控制的影响, 所有同时激活的 CDMA 终端的信息在接收机处功率相近, 它们都会因负载增大而性能下降。

对初始接入的 CDMA 终端, 使用传统功率控制方法并不是很合理, 原因有两个: 一是初始接入 CDMA 终端对上行信道的物理衰耗没有先验信息, 为了在初始接入时就能处于一个比较好的功率控制状态, 必须使用开环功率控制技术 (即通过下行信道来粗略估计上行信道的物理衰耗, 这种估计由于上下行信道的工作频率不同而往往不准确, 而且实现比较麻烦); 二是当负载增大时, 同时激活的异步 CDMA 终端的信息分组到达前端控制器接收机时功率相近会导致它们的性能同时降低。两个或两个以上处于初始接入状态的 CDMA 终端可能采用同一扩频序列码而导致冲突发生, 如果要解决冲突, 我们可以利用初始接入 CDMA 终端采用最低功率发送接入信息, 再通过“远近效应”来解决部分冲突, 也就是说, 如果有两个处于不同物理位置的 CDMA 终端同时使用同一组扩频序列码组接入 CDMA 信道, 虽然会发生冲突, 但是如果一个 CDMA 终端的信号功率大到可以使前端控制器中相应接收机忽略其它与其冲突的 CDMA 终端的信号, 这时冲突就会自动得以解决。

本文提出了一种 S-CDMA-HFC 系统初始接入功率控制算法, 给出了性能仿真结果, 并与传统功率控制算法进行比较。本文内容是这样安排的: 第 2 节概括了传统功率控制算法存在的

<sup>1</sup> 2000-04-12 收到, 2000-04-12 定稿

问题,第3节介绍了改进初始接入功率控制算法,第4节给出了性能仿真结果与分析,第5节是本文的结论。

## 2 传统功率控制算法的问题<sup>[7]</sup>

在 S-CDMA-HFC 系统中,功率控制有两种方式:开环功率控制和闭环功率控制。对已经接入一个媒体接入控制(Media Access Control, MAC)域的 CDMA 终端,它们是独占扩频序列对,因此前端控制器能单独测定其上行信道发射功率,然后又通过下行信道发送功率调整指令给对应的 CDMA 终端。CDMA 终端接收到功率调整指令后根据命令调整其发射功率,从而达到这些 CDMA 终端到达前端控制器的信号的功率相同,这种方式就是闭环功率控制。而对初始接入一个 MAC 域的 CDMA 终端,它们是竞争使用用于初始接入的扩频序列对,虽然接收端也能测定 CDMA 终端的信号功率,但其初始发射功率是不受控的,因此往往要采用开环功率控制方式对初始接入终端的发射功率进行控制。

对开环功率控制方式,往往假设上、下行信道的物理衰减是相同的。上行传输功率是通过检测下行传输功率来预测的。当然一旦 CDMA 终端接入成功,它就可以采用闭环方式控制发射功率。每个初始接入 CDMA 终端在发射初始接入信息分组前,根据(1)式调整它的发射功率。

$$P_t(i) = P_{t_r}(i) \cdot P_{\text{loss}}(i), \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

其中  $P_t(i)$  是来自第  $i$  个接入 CDMA 终端初始信息分组的目標接收功率,  $P_{\text{loss}}(i)$  是发自前端控制器的信号在下行信道上的衰减,  $P_{t_r}(i)$  是第  $i$  个接入 CDMA 终端的发射功率。在传统的功率控制方法中,在前端控制器的接收机处的各  $P_t(i)(i = 1, 2, \dots, M)$  是相同的。

采用传统功率控制方法能提高最大吞吐量,因为它消除了功率控制误差的影响,但是当信道负载较大时,最大信道吞吐量性能就会急剧下降,这是由于当前端接收机收到各初始接入 CDMA 终端的功率是相同的,“遮蔽效应”不能提高信道吞吐量性能。

## 3 改进初始功率控制算法

改进初始功率控制算法的核心是根据当前 MAC 域内的负载和 CDMA 终端的位置调节目標接收功率。把 CDMA 终端根据它们所处的物理位置分组,前端控制器设置每一组 CDMA 终端的目標接收功率,并把设置值通过下行信道广播给对应的 MAC 域。CDMA 终端收到功率设置信息,结合其所处位置选择合适的目標接收功率,当 CDMA 终端要发送初始接入信息时,它根据(1)式计算出发射功率。

假设整个 MAC 域的 CDMA 终端组数目为  $N$ ,若某个 CDMA 终端距前端控制器的距离为  $d_i$ ,则根据下式求出该 CDMA 终端所属组别。

$$n = \begin{cases} \text{int} \left[ \frac{d_i - D'}{(D - D')/N} \right], & d_i < D \\ N, & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $\text{int}(x)$  表示取整运算,  $D$  表示 MAC 域内 CDMA 终端的最远距离,  $D'$  是前端控制器到光网络终端的距离。

前端控制器根据下式设置每个组的目標接收功率,  $P_t(n)(n = 1, 2, \dots, N)$  :

$$P_t(n) = P_t(1) - (n - 1)\Delta P_t, \quad n \in [1, N] \quad (3)$$

其中  $P_t(1)$  是离前端控制器距离最近的 CDMA 终端组的目標接收功率,  $\Delta P_t$  是两个相邻终端的目標接收功率之差 ( $P_t(n - 1) - P_t(n) = \Delta P_t$ )。随着  $n$  的增大,表示所属 CDMA 终端离前端控制器的距离增大。因此,来自离前端控制器距离近的 CDMA 终端的信号的目標接收功率大于来自离前控制器距离远的 CDMA 终端的信号的目標接收功率。

初始功率控制的对象是根据信道负载控制目标接收功率差  $\Delta P_i$ 。这里, 我们假设前端控制器在每个接入时隙单元中成功接收的接入信息分组为信道负载。在 S-CDMA-HFC 系统中, 采用随机接入的初始 CDMA 终端并不是无条件的, 它们需要有可供使用的扩频序列码组, 而前端控制器会根据网络状态决定可供接入 CDMA 终端使用的扩频序列码的数目, 因而每个接入时隙中使用的扩频序列码组数目并不相同。  $N_{rx}(t)$  表示  $t$  个时隙内成功接收的初始接入信息分组数目, 则对  $\Delta P_i$  的控制算法如下:

$$\Delta P_i(t+1) = \Delta P_i(t) \cdot \beta^{s(t+1)} \quad (4)$$

其中

$$s(t+1) = \begin{cases} -s(t), & N_{rx}(t) < N_{rx}(t-1) \\ s(t), & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

在 (4) 和 (5) 式中,  $\Delta P_i(t)$  表示在  $t$  时隙单元中的  $\Delta P_i$ ,  $\Delta P_i(t+1)$  是下一个时间单元的  $\Delta P_i$ ,  $\beta$  是功率控制算法的控制系数 ( $\beta \geq 1.0$ ),  $s(t)$  是控制功率变化方向的符号 ( $s(t) = 1$  或  $-1$ ,  $s(0) = 1$ )。

#### 4 性能仿真与结果分析

基于上述原理与方法, 我们现在对传统功率控制算法和改进功率控制算法进行性能仿真。下面我们先给出实验仿真所需的系统模型。

4.1 仿真系统模型 业务区域是一个 MAC 域, 它的控制中心是前端控制器, 假设 CDMA 终端在业务区域中是均匀分布的。前端控制器把用于接入的扩频序列和对对应 MAC 域地址范围广播给业务区中的 CDMA 终端, CDMA 终端使用初始接入扩频序列向前端控制器发送初始接入信息。多址接入协议采用时隙 ALOHA 协议, 时隙的长度满足使所有 CDMA 终端的初始接入信息不会交叠。功率控制主要是补偿传播损失, 一个分组传送期间传输功率是恒定的。因此在一个分组接收期间, 它的功率是不会改变的。由于功率控制处理时延可以忽略, 所有下行信号都无误地被 CDMA 终端接收到, 每个接入信息分组用不同扩频序列码组发送。

4.2 信道模型 在前端控制器中, 由第  $i$  个 CDMA 终端发送的接入信息分组的信干比 (Signal Interference Ratios, SIR) 可表示如下:

$$\text{SIR}(i) = \text{SF} \cdot P_{rx}(i) \left/ \sum_{m=1, m \neq i}^M P_{rx}(m) \right. \quad (6)$$

其中 SF(Spread Factor) 是扩展因子,  $M$  表示某时隙中到达接入信息分组的数目。因此, 分组成功接收的比例定义如下:

$$P_s(i) = \begin{cases} 1, & \text{SIR}(i) \geq \text{SIR}_{\text{req}} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

$\text{SIR}_{\text{req}}$  表示前端控制器正确接收分组所需的 SIR。

4.3 CDMA 终端模型 初始接入 CDMA 终端的激活过程是指数分布的, 它的平均到达时间为  $T_{\text{slot}}/G$ ,  $T_{\text{slot}}$  表示一个时隙间隔,  $G$  表示 MAC 域在一个时隙间隔内的信道负载, 每个 CDMA 终端只产生一个接入信息分组, 则每个 MAC 域内的接入信息分组产生是泊松分布。

下面我们给出改进功率控制算法和传统功率控制算法的性能仿真结果。

图 1 给出了精确功率控制下的吞吐量性能  $S$ , 其中  $\Delta P_i$  和  $\beta$  分别为 1.0dB 和 1.1。由图 1 可以看出, 随着信道负载的逐渐增大, 两种功率控制下的吞吐量首先会逐渐增大, 当吞吐量达到一定数值 (最大吞吐量) 后, 随着信道负载的增大, 吞吐量会降低。当信道负载较小时, 采用

两种功率控制方法下的吞吐量性能基本相同,直到达到最大吞吐量性能;当信道负载较大时,采用传统功率控制方法的吞吐量会随着信道负载的增大急剧下降,而采用改进功率控制方法的吞吐量随着信道负载的增大缓慢降低,这是由于改进功率控制方法的“远近效应”起到遮蔽作用的结果。

图2给出了精确功率控制下的接入时延性能,其中 $\Delta P_i$ 和 $\beta$ 分别为1.0dB和1.1。由图2可以看出,随着信道负载的逐渐增大,两种功率控制下的接入时延会逐渐增大。而且,当信道负载较小时,随着信道负载的增大,接入时延增大趋势不明显,但当信道负载到达一定数值后,接入时延会随着信道负载的增大急剧上升。另外,当信道负载较小时,采用两种功率控制方法下的接入时延性能基本相同;当信道负载较大时,采用传统功率控制方法的接入时延比采用改进功率控制方法的接入时延大。

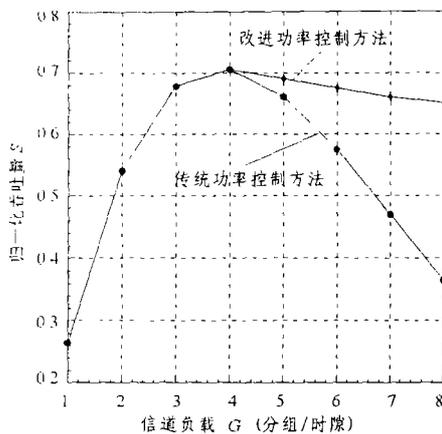


图1 精确功率控制下的吞吐量性能 S

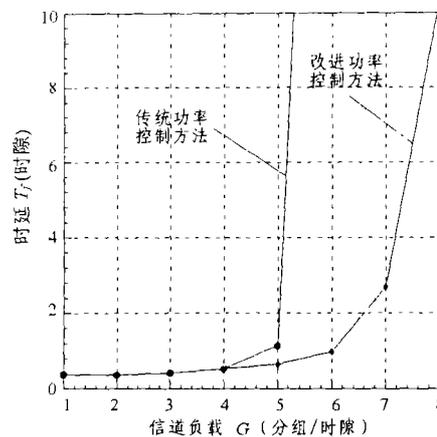


图2 精确功率控制下的接入时延性能

## 5 结 论

功率控制是 S-CDMA-HFC 系统上行信道的关键技术之一,它能改善“远近问题”和上行信道容量。对初始接入 CDMA 终端,采用传统的功率控制算法存在的问题。本文提出了一种初始接入改进功率控制算法,给出了性能仿真结果。实验结果表明:(1)当信道负载较大时,采用传统功率控制方法的吞吐量会随着信道负载的增大急剧下降,而采用改进功率控制方法的吞吐量随着信道负载的增大缓慢降低。(2)当信道负载较小时,随着信道负载的增大,接入时延增大趋势不明显,但当信道负载到达一定数值后,接入时延会随着信道负载的增大急剧上升。同时,当信道负载较小时,采用两种功率控制方法下的接入时延性能基本相同;当信道负载较大时,采用传统功率控制方法的接入时延比采用改进功率控制方法的接入时延大。

## 参 考 文 献

- [1] S. Rakib, Synchronous-CDMA: the solution for high-speed data over cable, <http://www.terayon.com>, 1998.12
- [2] Y. L. C. Jong, R. P. C. Wolters, H. P. A. Boom, A CDMA based bidirectional communication system for hybrid fiber-coax CATV networks, *IEEE Trans. on Broadcasting*, 1997, 43(2), 127-135.
- [3] 孙立新, 邢宁霞编著, CDMA 移动通信技术, 北京, 人民邮电出版社, 1996.5, 15-18.
- [4] W. C. Y. Lee, Overview of cellular CDMA, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 1991, 40(2), 291-302.

- [5] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver Jr., C. E. Wheatley III. On the capacity of a cellular CDMA system. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 1991, 40(2), 303-312.
- [6] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, E. Zehavi, Performance of power-control wideband terrestrial digital communication. *IEEE Trans. on Communications*, 1993, 41(4), 559-569.
- [7] K. Mori. Adaptive transmission power control in CDMA slotted-ALOHA radio communications. *IEEE Proc. ICUPC'98*, San Diego, CA, 1998, 1137-1141.

## THE IMPROVED INITIALIZATION POWER CONTROL ALGORITHM FOR THE S-CDMA-HFC SYSTEM

Chen Huifang    Xie Lei    Qiu Peiliang

*(Dept. of Info. and Electron. Eng., Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)*

**Abstract** The power control is one of the key techniques of the upstream channel of the S-CDMA-HFC system. It is unreasonable that the acquisition CDMA terminals employ the traditional power control methods. In this paper, an improved acquisition power control algorithm is proposed. The simulation results of the throughput and the access delay are given and the performance comparison between the improved algorithm and the traditional method is provided.

**Key words** Synchronous CDMA, S-CDMA-HFC system, Improved power control

陈惠芳: 女, 1971 年生, 博士生, 研究方向为宽带接入网络.

谢磊: 男, 1972 年生, 博士生, 研究方向为多媒体网络和信道编码技术.

仇佩亮: 男, 1944 年生, 教授, 博士生导师, 长期从事信息论、信道编码及宽带网络技术等方面的研究.