

WCDMA 上行链路一种新的参数优化方法

盛 彬, 尤肖虎

(东南大学移动通信国家重点实验室, 江苏南京 210096)

摘 要: 本文在研究了 WCDMA 上行链路导频信道辅助相干解调的基础上, 提出了参数优化的一种新方法. 根据给定信噪比下误码率最小的准则, 本文得到了理论上信道估计器最佳的平均长度和导频信道相对数据信道最优的功率比.

关键词: 宽带码分多址; 信道估计; 功率比

中图分类号: TN9291.533 文献标识码: A 文章编号: 037222112 (2004) 07 1173203

A Novel Parameter Optimization Scheme for WCDMA Uplink

SHENG Bin, YOU Xiaohu

(National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

Abstract: In this paper, we investigate pilot channel assisted coherent demodulation in wideband code division multiple access (WCDMA) uplink and propose a novel parameter optimization scheme. The moving average length of channel estimator and the pilot to data channel power ratio are optimized analytically under the criterion of minimum bit error probability (BEP) for given signal to noise ratio (SNR).

Key words: WCDMA; channel estimation; power ratio

1 引言

作为第三代移动通信系统(3G)^[1]主要无线传输技术的 WCDMA 上行链路采用了导频信道辅助的 BPSK 相干解调技术. 虽然通过导频信道可以获得精确的信道估计, 但是它增加了每个要发送的数据信号的能量. 在保持信号总能量不变的前提下, 一方面增加导频信道的功率可以提高信道估计的精度, 但它对数据信道和别的用户的干扰也会增加. 同时, 随着导频信道功率的增加, 分给数据信道的功率必然会减少, 造成解调时信噪比的下降. 另一方面, 降低导频信道的功率虽然可以减小其产生的干扰并提高数据信道的功率, 从而提高解调时的信噪比, 但此时信道估计的精度却会有所降低, 特别是在移动台高速移动时. 由此可见, 导频信道与数据信道之间的功率比(Pilot to data Channel Power Ratio)对系统的性能有着很大的影响, 是一个亟待优化的重要参数. 另外, 既然信道估计的精度影响着系统的误码率, 那么它与最优功率比的确定显然也有着很强的联系. 由于实际系统的信道估计器一般是采用滑动平均滤波器, 所以本文的主要目的是分析在最小误码率准则下如何确定最优的功率比和滑动平均滤波器的最佳平均长度.

2 WCDMA 上行链路的发送结构

图 1 显示了 WCDMA^[2]上行专用物理信道(DPCH)的基带

发送结构. I 路承载用户数据的专用数据信道(DPDCH)和 Q 路承载导频等控制信息的专用控制信道(DPCCH)(由于 DPCCH 中导频所占的比例较大, 所以为了简化处理, 在以下的分析中我们认为它就是一个连续的导频信道).

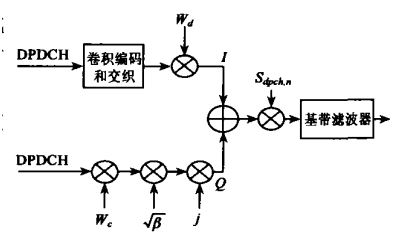


图 1 WCDMA 上行 DPCH 的基带发送结构

分别被不同的实 Walsh 码 W_d 和 W_c 扩频到 Chip 速率后相加, 然后被第 n 个用户特定的复数扰码 $S_{dpcch,n}$ 加扰. 其中 B 表示导频信道相对数据信道的功率比, 通常它小于 1 以减小对 I 路的 DPDCH 以及别的用户的干扰.

无线传播环境可看成是频率选择性的瑞利衰落信道. 为了方便下面的分析, 我们这里假设信道有 L 个功率相等的路径, 并且每个路径之间都是非相关的. 在接收机的输入端, 考虑到 WCDMA 上行链路不同用户之间是异步操作的, 所以可以把接收信号叠加的由热噪声和其它用户多址干扰(MAI)所产生的噪声看成是白高斯噪声, 它的单边功率谱设为 N_0 . 由于多径干扰(MPI)与热噪声和多址干扰相比可忽略, 所以我们这里不再考虑信号多径传播所引起的干扰, 并假设接收机知道每一径准确的时延信息.

3 无编码扩频 BPSK 的误码概率

在假设各径的信道估计误差与数据信号经过相关器 (Correlator) 的输出噪声之间是彼此独立的, 并且信道参数与它的估计误差之间也是独立的条件下^[3], 采用 3 径合并时无编码的扩频 BPSK 误码概率^[4]为:

$$P_b = \frac{L(L-1)(L-2)}{4} \# \left\{ \frac{1}{3} \left[1 - L \sum_{k=0}^2 \binom{2k}{k} \left(\frac{1-L^2}{4} \right)^k \right] + \sum_{k=1}^{L-3} \binom{L-3}{k} (-1)^k G(k) \right\} \quad (1)$$

其中

$$G(k) = \frac{k-3}{k^2} (1-L) - \frac{L}{2k} (1-L^2) + \frac{9}{k^2(3+k)} \# \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1+(1+k/3)(1-L^2)/L^2}} \right\} \quad (2)$$

这里的 L 是互相关系数, 它表示每径相关器输出的信号与信道估计之间的相关性大小, 定义为:

$$L = \left[\left(1 + \frac{LN_0}{E_s} \right) \left(1 + \frac{R_c^2 LN_0}{B E_s} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

其中, $R_c^2 = T_s B_c$ 表示信道估计滤波器按调制符号周期归一化后的等效噪声带宽 (Equivalent Noise Bandwidth); E_s 是数据符号的能量; B 为导频信道与数据信道之间的功率比, 可表示为:

$$B = E_{PS} / E_s = E_p / E_s R_{SF} \quad (4)$$

由于 3G 系统广泛采用了变速率传输的方案, 所以 WCDMA 导频信道的扩频比可能与数据信道的不一样, 并且通常比它大。在这种情况下, E_{PS} 是指与数据信道具有相同符号周期的那部分导频能量, 它也等于导频符号的能量除以导频符号与数据符号的扩频因子比 R_{SF} , $R_{SF} = SF_{\text{pilot}} / SF_{\text{data}}$, SF_{pilot} 和 SF_{data} 分别表示导频符号和数据符号的扩频因子。

我们在这里采用最小误码概率 (Minimum Bit Error Probability) 准则, 它能在给定的信噪比 E_b/N_0 下, 保证系统的误码率最小。观察式(1)和式(2), 可以发现 P_b 是 L 的单调减函数。既然 BEP 是 L 的单调减函数, 那么最小的 BEP 等效于最大的相关系数 L。

定义发送的每个二进制数据符号的总能量为:

$$E_b = E_s + E_{PS} = (1+B)E_s \quad (5)$$

将式(5)带入式(3), 可得到:

$$L = \left[\left(1 + \frac{LN_0}{E_b} (1+B) \right) \left(1 + \frac{R_c^2 LN_0}{B E_b} (1+B) \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

4 等效噪声带宽的确定和最优的功率分配

由于实际系统中信道估计器通常采用滑动平均滤波器, 所以这里我们主要讨论它的归一化等效带宽问题。根据文献 [5], 可得到在信道估计均方误差最小时的平均长度为:

$$M_{opt} = \sqrt[5]{\frac{N_0}{4 @ 6.51 @ 10^{-4} (2P_f D \$ t)^4 R_c^2 E_{PS}}}$$

$$= \sqrt[5]{\frac{N_0(1+B)}{4 @ 6.51 @ 10^{-4} (2P_f D \$ t)^4 R_c^2 E_{PS}}} \quad (7)$$

其中, R_c^2 是第 1 径的信道功率, 设为 $1/L$; f_D 表示最大多普勒频率; $\$ t$ 为采样间隔, 它等于数据符号的周期 T_s , 且等于导频符号的周期 T_p 除以扩频因子比, 即 $\$ t = T_p / R_{SF}$ 。由此得到, 当采用滑动平均滤波器时的归一化等效带宽近似为 $1/M_{opt}$ 。

实际上, 最大的相关系数 L 相当于最小的 L^{-2} , 于是 L^{-2} 对 B 的一阶导数为 0, 可得到一个关于 B 的高次方程, 经过简单的化简, 它的唯一有意义解就是最优的功率比:

$$B_{opt} = \left\{ \frac{E_{PS}}{E_s} \right\}_{opt} = \sqrt[5]{\frac{81K^2 \left(\frac{L}{SNR} \right)^2 + \frac{L}{SNR} (80K^2 + 80\sqrt{2}K) + 80\sqrt{2}K - K \frac{1}{SNR}}{10\sqrt{2} + 10K \frac{1}{SNR}}} \quad (8)$$

其中, $K = \sqrt[5]{4 @ 6.51 @ 10^{-4} (2P_f D \$ t)^4 SNR / L}$; 信噪比 $SNR = E_b/N_0$ 。在求出最优功率比后, 可利用式(7)计算出误码率最小时信道估计器最佳的平均长度。

5 仿真结果

为了验证上述理论推导结果是否正确, 我们在 COSSAP 仿真软件上建立了单用户的 WCDMA 上行链路仿真平台, 进行穷举法搜索。根据 WCDMA 标准, 信号调制方式为 QPSK, Chip 速率为 3.84 Mcchip/s, 载频为 2GHz。DPDCH 的传输速率为 30kb/s, 此时的扩频因子 SF=128, 信道采用等功率的 6 径瑞利衰落信道模型, Rake 接收机通过搜索器选择功率最强的 3 径合并。仿真时假设在接收端 Chip、符号及帧已经完全同步, 并且不考虑卷积编码和交织器。图 2 是信噪比为 7dB, 最大多普勒频移为 185Hz 时的仿真结果。由于 WCDMA 标准中规定 DPCC 与 DPDCH 之间信号幅度比的最小变化间隔是 1/15, 所以计算机仿真按照这个标准间隔来设置参数进行计算。

通过观察数据,

发现最小的误码率为 0.0232, 是在相对幅度比为 7/15, 也就是 B 为 0.218, 平均长度为 67 个数据符号周期时得到的。理论计算的误码率为 0.01746, 是在 B 为 0.1783 (按标准量化的相对幅度比约为 6/15), 平均长度约为 67 个数据符号周期时得到的。而在相对幅度比为 6/15, 平均长度为 67 个数据符号周期时, 计算机仿真结果为 0.02407, 与最小的误码率 0.0232 相差不多。

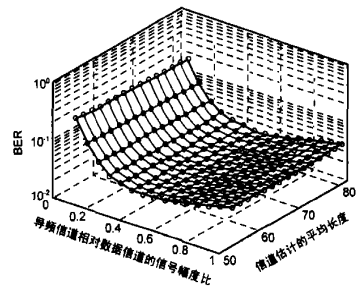


图 2 不同功率比和平均长度下的误码率曲面 (信噪比 7dB, 最大多普勒频移 185Hz)

图 3 是信噪比为 7dB, 最大多普勒频移为 555Hz 时的仿真结果. 通过观察数据, 我们发现最小的误码率为 0.0339, 是在相对幅度比为 9/15, 也就是 B 为 0.136, 平均长度为 21 个数据符号周期时得到的. 而理论计算的误码率是 0.02610, 是在 B 为

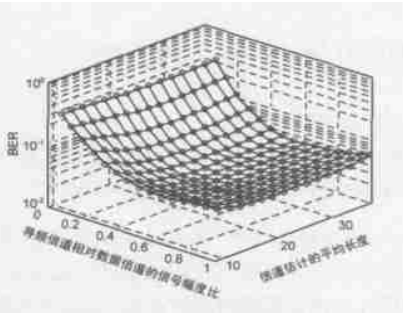


图 3 不同功率比和平均长度下的误码率曲面(信噪比 7dB, 最大多普勒频移 555Hz)

0.12707(按标准量化的相对幅度比约为 8/15), 平均长度约为 25 个数据符号周期时得到的. 而在相对幅度比为 8/15, 平均长度为 25 个数据符号周期时, 计算机仿真结果为 0.0353, 与最小误码率 0.0339 相差不大.

由此可见, 计算机仿真结果与理论分析结果基本是一致的, 但还存在一定的差距. 差距的主要原因在于推导公式时忽略了由于信道估计存在误差而造成的 I 路和 Q 路之间的交叉项 (Crosstalk) 以及多径间的干扰, 并且等效带宽也只是近似的解.

6 结论

本文在研究了 WCDMA 上行链路导频信道辅助相干解调的基础上, 提出了参数优化的一种新方法. 它在给定信噪比的条件下, 通过误码率最小的准则, 得到了理论上最优的信道

估计平均长度和导频信道相对数据信道的功率比.

参考文献:

- [1] F Adachi, M Sawahashi, H Suda. Wideband DS-SS-CDMA for next generations systems[J]. IEEE Comm. Mag, 1997, 35: 122- 131.
- [2] 3GPP, (TSG RAN, WG1, Physical Layer)) General Description (FDD) [S].
- [3] P Schramm. Analysis and optimization of pilot channel assisted BPSK for DS-SS-CDMA systems[J]. IEEE Trans Comm, 2002, 46: 1122- 1124.
- [4] T Eng, N Kong, L B Milstein. Comparison of diversity combining techniques for rayleigh fading channels[J]. IEEE Trans Comm, 1996, 44: 1117- 1128.
- [5] 董雷剑, 蒋良成, 尤肖虎. 信道估计误差与估计长度的频域分析[J]. 电子学报, 2000, 28(11A): 1- 4.

作者简介:



盛彬男, 1974 年 3 月出生于安徽省芜湖市, 东南大学无线电工程系移动通信国家重点实验室教师.

尤肖虎男, 1962 年 8 月出生于江苏苏州, 东南大学无线电工程系系主任, 博士生导师.