

基于高速移动下的 TD-SCDMA 多普勒频偏估计研究

李鹏

(中国石油大学(华东)计算机与通信工程学院 山东 青岛 266555)

摘要:移动终端和基站间的快速相对移动会导致较大的多普勒频偏,从而影响到接收端数据的正确接收,因此进行准确的频偏估计会使数据传输向更可靠的阶段发展。基于 TD-SCDMA 系统的上行链路,提出了一种“双重矫正”的频偏估计算法。首先在训练序列进行频偏估计的基础上,将一重频偏矫正后的用户数据进行解调,然后用解调得到的用户数据进行二重频偏估计矫正。仿真结果对比表明,在相同信噪比的条件下,该算法具有更低的误码率,提高了系统的通信质量。

关键词:时分同步码分多址;频偏估计;双重矫正;解调;训练序列

中图分类号:TN 914.52

文献标志码:A

Research on the Performance for Chase Combining HARQ Scheme in TD-SCDMA

LI Peng

(Computer and Communication Engineering College, China University of Petroleum, Qingdao 266555 China)

Abstract: The rapid relative displacement between mobile terminal and base station will bring big frequency offset value, as a result, the receiver can not achieve the correct signal demodulation. Therefore, an accurate frequency offset estimation can increase the reliability sensibly during the transmission service. Based on TD-SCDMA uplink, this paper elaborates the principle of doppler frequency offset estimation, and a “dual rectification” scheme is proposed, in which the midamble sequence is firstly used to estimate frequency offset, the rectified user data is subsequently demodulated and used to estimate frequency offset. It is found from the emulation that under the same condition of SNR, lower bit error rate is achieved at receiving end by using the algorithm and so the communication quality of system is well improved.

Key words: TD-SCDMA; frequency offset estimation; dual rectification; demodulation; midamble sequence

TD-SCDMA 是我国提出的第三代移动通信标准,通过采用低码片速率 TDD 工作方式,提供上下行非对称业务,能更有效地利用频率资源。TD-SCDMA 系统采用了智能天线、联合检测和软件无线电等先进技术,增强了系统整体性能。它在接收端是使用相位解调法对接收数据进行解调的,由多普勒(doppler)效应引起的频偏会对接收数据产生相位偏转,从而直接影响到接收端的正确解调。^[1] 随着我国交通行业特别是高速铁路的发展,要求在高速移动环境中,在大的多普勒频偏出现的情况下,系统依然能保持好的服务质量。

本文首先介绍了 TD-SCDMA 多普勒频偏估计

的基本原理,然后基于 TD-SCDMA 上行链路,为应对大的多普勒频偏,提出了一种“双重矫正”的频率偏移估计方案,最后通过链路级仿真以及结果分析,对算法的性能进行验证。

1 TD-SCDMA 系统中的多普勒频偏

Doppler 频偏是由 TD-SCDMA 终端的移动性造成的,而在高速环境下的多普勒频偏对系统性能有着很大影响。例如,发送端发送 1 个频率为 f 的单频信号,接收端收到的信号频率设为 $f+f_d$,其中 f_d 称为 Doppler 频偏,按下式^[2]计算

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \alpha \quad (1)$$

式中: v 为终端移动速度; λ 为工作波长; α 为终端和基站间的夹角。若终端的移动速度为 300 km/h, 系统工作的载频为 2 GHz, 则最大多普勒频偏可达 555 Hz, 如图 1 所示。由此可以看出, 如果不能有效地进行频偏估计并予以矫正, 会严重影响接收端对数据的接收。

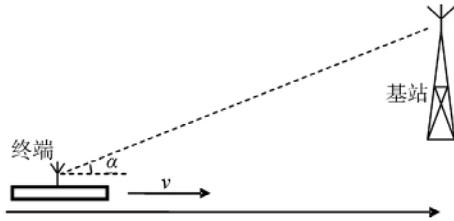


图 1 多普勒频偏示意图

2 频偏估计算法

2.1 频偏估计的模型

高速环境下的 TD-SCDMA 系统的频偏估计算法都是利用用户时隙的训练序列 (midamble) 码, 立足于码片级速率进行的。

在接收端收到的该训练序列

$$r_m(t) = \left[\sum_{l=1}^k s_{ml}(t) \otimes h_l(t) \right] \cdot e^{j(2\pi\Delta f t + \theta)} + n_m(t) \quad (2)$$

式中: $s_{ml}(t) = \sum_{i=0}^{L_m-1} m_i e^{j\frac{\pi}{2} i} \cdot \delta(t - iT_c - \tau)$ 是该小区使用的基本 midamble 码按默认方式循环移位得到的发送端第 l 码道的 midamble 码, L_m 是 midamble 码的长度, 在 TD-SCDMA 系统中为 144^[3]; $k = 1, \dots, \delta$, 为时隙的码道数; $h_l(t)$ 为第 l 码道信号经过的无线信道的冲激响应; “ \otimes ”表示卷积运算; Δf 是该用户由于高速运动而引起的频偏; θ 是训练序列的初始的随机相位偏移, 它在 $(0 \sim 2\pi)$ 范围内服从均匀分布; $n_m(t)$ 为零均值的高斯白噪声。

在接收端对 $r_m(t)$ 接收滤波并采样离散化, 得到

$$x(k) \approx m_k e^{j\frac{\pi}{2} k} e^{j[2\pi\Delta f(kT_c + \tau) + \theta]} + n(k), k = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

在接收端本地将已知的 midamble 码序列通过发送和接收滤波器, 得到 $y(k)$, 进而得到输入频偏估计器用于频偏估计的采样信号

$$z(k) = \frac{x(k)}{y(k)} = e^{j[2\pi\Delta f(kT_c + \tau) + \theta]} + \frac{e^{-j\frac{\pi}{2} k}}{m_k} n(k), k = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

式中: $n(k)$ 为噪声分量; N 是观测数据的数目, 即频

偏估计使用的数据数目。式 (4) 是频偏估计的基本式, 现有的多种 Doppler 频偏估计算法都是基于该式而进行的。

2.2 经典的 Kay 频偏估计算法

该算法基于无偏最小方差估计原理得到 Doppler 频偏^[4]

$$\Delta \hat{f} = \frac{1}{2\pi T_c} \sum_{k=1}^{N-1} \gamma(k) \arg [z(k) z^*(k-1)] \quad (5)$$

式中: $(\hat{\cdot})$ 符号表示估计值; $\arg(\cdot)$ 表示相位运算; $z(\cdot)^*$ 是共轭运算; $\gamma(k)$ 为窗函数

$$\gamma(k) = \frac{3}{2} \frac{N}{N^2 - 1} \left[1 - \left(\frac{2k - N}{N} \right)^2 \right], k = 1, 2, \dots, N - 1 \quad (6)$$

2.3 “双重矫正”频偏估计算法

基于 Kay 算法, 本文提出“双重矫正”频偏估计算法。在该算法中, 首先利用接收到的 midamble 码进行信道估计, 进而采用 Kay 频偏估计算法进行一重频偏估计, 得到初始频偏估计值 $\Delta \hat{f}_1$ 和信道响应; 接着利用 $\Delta \hat{f}_1$ 对联合检测得到的检测数据进行一重矫正, 得到初步矫正的用户数据 \hat{d} ; 然后对 \hat{d} 进行解码, 并进行解码后原始数据的 CRC 校验, 如果校验正确, 再利用此 \hat{d} 值进行频偏估计, 得到二重频偏估计值 $\Delta \hat{f}_2$, 用该值对初步矫正数据 \hat{d} 进行频偏矫正, 从而得到二重校正数据 $\hat{\hat{d}}$; 最后再进行解调判决。基本流程如图 2 所示。

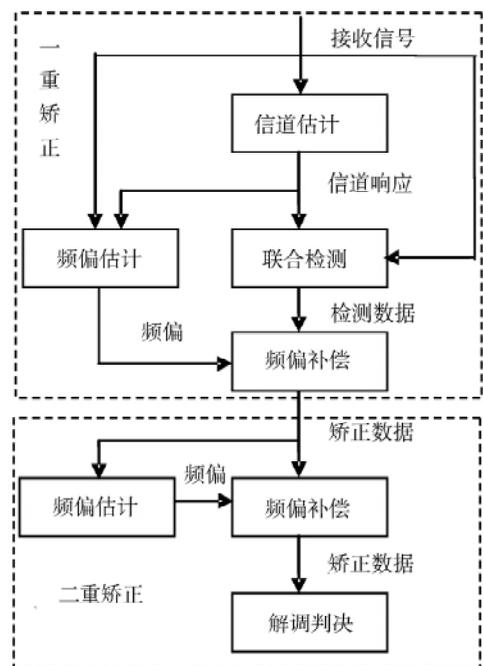


图 2 频偏“双重矫正”算法流程图

在二重矫正中,仍使用 Kay 算法进行频偏估计:

$$\Delta \hat{f}_2 = \frac{1}{2\pi T_c} \sum_{k=1}^{N-1} \gamma(k) \arg\{\hat{d}(k) \hat{d}^*(k-1)\} \quad (7)$$

$$\hat{d} = \text{Correct}(\hat{d})_{\Delta \hat{f}_2} \quad (8)$$

式中: $\text{Correct}(\cdot)_{\Delta \hat{f}_2}$ 表示大小为 $\Delta \hat{f}_2$ 的频偏矫正操作。

3 仿真与分析

3.1 仿真条件

基于 TD-SCDMA 上行链路,给出了“双重”频偏估计算法和传统 Kay 频偏估计算法的仿真。高速下的信道环境采用 COST259 信道的 RA 信道模型^[5]来近似,仿真中假设 ACK 信令没有传输或解调误差。其他主要仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

参数	值
码片速率/载波频率	1.28 Mcps/2 GHz
传播模型	ITU PA 3 km/h
内环功率控制/外环功率控制	开/关
功率控制时延	10 ms
天线配置	2 天线接收分集
接收机	ZF-BLE 联合检测 ^[6]
信道过采样	4 samples/chip
Turbo 码信息	Max log MAP 4 次迭代
TTI	5 ms

3.2 结果及分析

图 3 和图 4 分别是终端移动速度在 300 km/h 和 500 km/h 时的接收数据解调性能曲线。通过上面的仿真比较可以看出:当终端移动速度为 300 km/h 时,如图 3 所示,不做频偏估计矫正不能正确解调数据,双重频偏估计的效果优于 Kay 频偏估

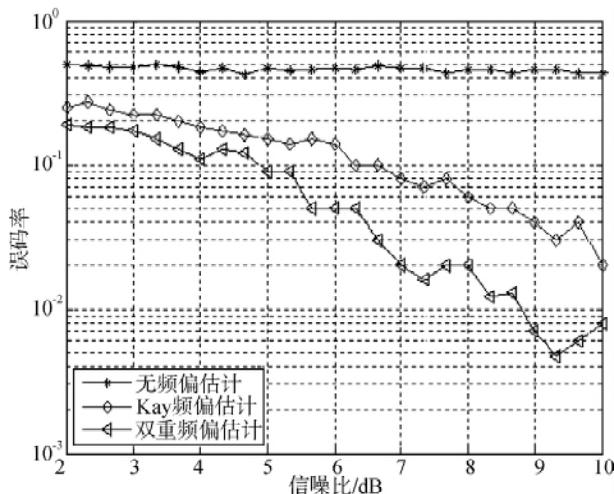


图 3 300 km/h 时的性能曲线

计,当要求信噪比为 6 dB 时, Kay 频偏估计引起的误码率约为 0.15,而此时双重频偏估计引起的误码率只有约 0.05;当终端移动速度增加到 500 km/h 时,如图 4 所示,误码率性能曲线相较 300 km/h 时恶化,此时只有“双重”频偏估计矫正才能正确解调数据。综上 2 图看出,移动终端在任何速度下,“双重”频偏估计算法比传统的频偏估计算法有更高的估计精度,最终的解调结果也更好。

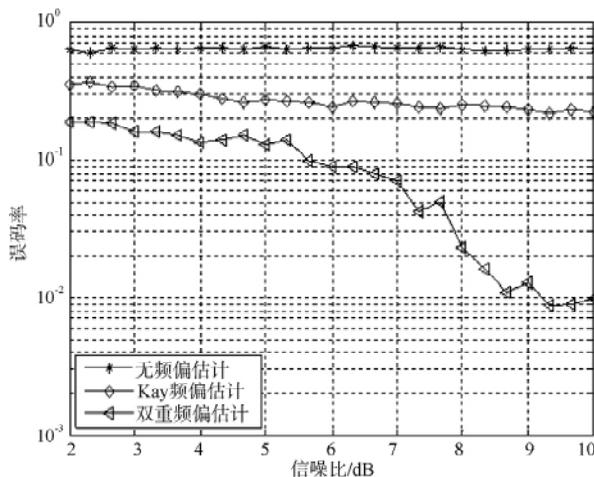


图 4 500 km/h 时的性能曲线

4 结论

实现准确的 Doppler 频偏估计是 TD-SCDMA 系统在高速环境下必须解决的问题,这关系到接收端数据能否正确解调。本文提出了利用 midamble 码序列、信道估计和联合检测等方法对用户数据进行 2 次频偏估计和矫正的“双重矫正”算法。仿真结果表明,与传统的 Kay 多普勒频偏估计算法相比较,本算法降低了误码率,提高了频偏估计精度,使系统传输性能更可靠,是一种有助于增强系统传输性能的频偏估计方案。

参考文献

- [1] 李鹏,李莉. TD-SCDMA 系统智能天线波束形成算法的研究[J]. 西华大学学报:自然科学版, 2011, 30(3): 31-33.
- [2] 郭俊强,李成. 移动通信[M]. 北京:北京大学出版社, 2006: 35-37.
- [3] 李小文,李贵勇,陈贤亮,等. TD-SCDMA 第三代移动通信系统、信令及实现[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003: 102-103.
- [4] Kay S. A Fast and Accurate Single Frequency Estimator [J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1989, 39(12): 1987-1990.
- [5] 范平志,邓平,刘林. 蜂窝网无线定位[M]. 北京:电子工业出版社, 2002: 42-46.
- [6] 康绍莉,袁正定,李世鹤,等. 线性联合检测算法在 TD-SCDMA 系统中的性能分析与比较[J]. 通信学报, 2002, 23(6): 74-81.

(编校:饶莉)