

# CDMA2000 移动台的 SSOA 估计技术研究

秦文兵, 罗来源

(西南电子电信技术研究所, 四川成都 610041)

**摘要:** 受天线高度的影响和远近效应的功率控制, CDMA2000 移动台信号非合作接收中信噪比急剧下降从而很难获得定位参数. 从分析理论模型出发, 提出了一种数据辅助积累量的到达信号强度(SSOA)估计算法, 详细推导了其算法原理并用空中采集信号进行了仿真. 结果表明该算法性能随积累程度的加深而增强, 在 CDMA 移动台信号频谱容限范围内几乎不受载波频偏的影响, 并在  $-10\text{dB}$  以下的信噪比条件下优于循环谱包络算法, 数据辅助最大似然比(DAML)算法和判决指向最大似然比(DDML)算法.

**关键词:** CDMA2000; 蜂窝; 到达信号强度(SSOA); 估计; 定位

**中图分类号:** TN911.7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112(2010)04-0754-04

## Research on the Estimation Techniques of CDMA2000 Mobile Station Signal Strength of Arrival

QIN Wen-Bing, LUO Lai-Yuan

(Southwest Electronics and Telecommunication Technology Research Institute, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract:** The Signal Noise Ratio(SNR) of CDMA2000 mobile station signal falls sharply in non-cooperative reception, considering the height of receiving antenna and power constrains of Near-Far effect. It is difficult to get the location parameters in the non-cooperative signal. Begin with theoretical model analysis, this paper presents a signal strength of arrival(SSOA) estimation algorithm based on data-aimed accumulation statistics. The algorithm principle has been deduced in detail, and the simulation has been carried out using real air signal. The results show that, the performance of proposed algorithm gets better with accumulation grows, and hardly changes with the frequency offset within the tolerance of CDMA2000 mobile station signal. It is better than cyclic spectrum amplitude algorithm, Data-Aimed Maximum Likelihood (DAML) algorithm and Decision-Directed Maximum Likelihood (DDML) algorithm when SNR remains below  $-10\text{dB}$ .

**Key words:** CDMA2000; cellular; signal strength of arrival(SSOA); estimation; location

### 1 引言

随着扩频技术在移动通信中的广泛应用, 紧急救援、通信监管和打击利用移动通信违法犯罪活动等非合作定位领域正面临着越来越严峻的挑战. CDMA 移动通信非合作信号处理技术研究已成为非常紧迫的科研难题<sup>[1,2]</sup>. 非合作方接收天线高度远低于正向接收的基站天线高度, 导致多径和非视距干扰大幅度增加; 受远近效应的功率控制, 目标移动台在靠近基站时其发射信号功率将大幅度减小. 干扰的增加和信号的减小使得信噪比急剧下降, 从而导致非合作条件下 CDMA2000 移动台信号定位参数估计有很大的难度.

作为短距离传输的低功率通信信号, CDMA2000 移动台信号非合作接收具有严重的多径干扰和非视距干扰, 很大程度上限制了 TOA/TDOA 估计技术的应用. 因

此 SSOA 估计成为比较合适而重要的估计技术<sup>[3~7]</sup>, 近年来产生了基于循环谱包络的信号强度估计<sup>[8]</sup>, DAML 及 DDMA 信噪比、信号强度估计算法<sup>[9~11]</sup>. 但这些算法大多侧重研究信号盲估计能力, 在  $-10\text{dB}$  以下的信噪比条件下其性能急剧下降甚至完全失效<sup>[12]</sup>, 没有结合 CDMA2000 移动台信号专门研究低信噪比信号的估计能力.

本文从分析 CDMA2000 移动台信号的理论模型出发, 提出了一种数据辅助积累量的 SSOA 估计算法, 详细推导了其算法原理并用空中采集信号进行了仿真. 结果表明该算法性能随积累程度的加深而增强, 在 CDMA2000 移动台信号频谱容限范围内几乎不受载波频偏的影响, 并在  $-10\text{dB}$  以下的信噪比条件下优于循环谱包络算法, DAML 算法和 DDML 算法.

## 2 信号模型

CDMA2000 移动台信号的调制方式为 OQPSK,其扩频码由一个长码,两个短码和 64 个 Walsh 正交码组成,其中长、短码用于直接扩频,正交码用于编码软扩频<sup>[13]</sup>.设解扩前信号幅度为  $A_0$ ,残留频偏和残留相差分别为  $\omega_d$  和  $\theta$ ,经变频接收后的零中频信号  $r_I(t)$ ,  $R_Q(t)$  为

$$r_I(t) = \frac{A_0}{2} [I(t) \cos(\omega_d t + \theta) + Q(t - T_c/2) \cdot \sin(\omega_d t + \theta)] + n_I(t) \quad (1)$$

$$r_Q(t) = \frac{A_0}{2} [Q(t - T_c/2) \cos(\omega_d t + \theta) - I(t) \sin(\omega_d t + \theta)] + n_Q(t) \quad (2)$$

式中  $T_c$  为码元周期,设长码、短码和正交码分别为  $P(t)$ ,  $C_I(t)/C_Q(t)$  和  $W(t)$ , 则

$$I(t) = P(t) \oplus C_I(t) \oplus W_n(t), n \in [0 \dots 63] \quad (3)$$

$$Q(t) = P(t) \oplus C_Q(t) \oplus W_n(t), n \in [0 \dots 63] \quad (4)$$

假设同步处理相位已完全对齐,将式(1)和(2)式正交化处理得

$$r_I'(t) = \frac{A_0}{2} [I(t) \cos(\omega_d t + \theta) + Q(t) \sin(\omega_d t + \theta)] + n_I(t) \quad (5)$$

$$r_Q'(t) = \frac{A_0}{2} [Q(t) \cos(\omega_d t + \theta) - I(t) \sin(\omega_d t + \theta)] + n_Q(t) \quad (6)$$

设解扩后信号幅度为  $A_1 = NA_0$ ,  $N$  为扩频增益,经检测、同步和 Hadamard 码解扩解调后的信号为

$$r(t) = \text{Re} \{ A_1 \exp[j(\omega_d t + \theta)] \} + n(t) \quad (7)$$

其中  $n(t)$  为高斯白噪声,从式(7)可以看出,经接收处理后的 CDMA2000 移动台信号 SSOA 估计与常规的通信信号、雷达信号 SSOA 估计可统一起来.作为典型的突发脉冲串信号,CDMA2000 上行接入信号在完成检测、解扩解调后的脉冲串信号可通过积累量来进行参数估计.

## 3 基于数据辅助积累量的 SSOA 估计算法

基于数据辅助积累量的 SSOA 估计基本思路是在 CDMA2000 移动台信号解扩与常规的通信信号、雷达脉冲信号统一起来的基础上,利用已检测到的脉冲个数,脉冲宽度等信息对接收信号进行积累增强处理,通过积累后的统计量分析来估计积累前的信噪比进而完成接收信号的 SSOA 估计.

受远近效应功率控制的影响,接收信号幅度通常是变化的,可设平方检波后的信号为

$$y(t) = s(t) e^{j\omega t} + N(t) \quad (8)$$

其中噪声  $N(t)$  近似服从复高斯白噪声分布<sup>[11]</sup>, 设

噪声均值为 0,噪声方差为  $\sigma^2$ ,突发脉冲信号宽度为  $T$ ,则脉冲宽度内的幅度均值

$$A = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) e^{j\omega t} dt, T > 2\pi/\omega \quad (9)$$

检波后的信噪比估计表达式为

$$\text{SNR}_i = \frac{A^2}{\sigma^2} = \frac{A^2}{E(y_k) - A^2} \quad (10)$$

假设  $y_k$  具有各态历经性,在有效信号范围内有  $L_1$  个数据样本,用时间均值代替统计均值得

$$\text{SNR}_i = \frac{A^2}{\sigma^2} = \frac{A^2}{\frac{1}{L_1} \sum_{k=1}^{L_1} y_k - A^2} \quad (11)$$

另一方面,若将复高斯噪声表示为

$$N(t) = X(t) \cos(\omega_d t) - Y(t) \sin(\omega_d t) \quad (12)$$

忽略幅度慢变化的影响,用幅度均值  $A$  代替瞬时幅度,对式(12)模型平方检波后的输出为

$$R^2(t) = [X'(t)]^2 + [Y'(t)]^2 \quad (13)$$

若残留频偏平方检波中引入的残留相差为  $\theta$ ,则有  $X'(t) \approx A \cos \theta + X(t)$ ,  $Y'(t) \approx A \cos \theta + Y(t)$ ,将式(13)归一化处理后输出为

$$R'(t) = \frac{1}{\sigma^2} R^2(t) = \left[ \frac{X'(t)}{\sigma} \right]^2 + \left[ \frac{Y'(t)}{\sigma} \right]^2 \quad (14)$$

经各样本独立采集后积累输出为

$$V = \sum_{i=1}^M \left[ \frac{X'(t_i)}{\sigma} \right]^2 + \sum_{i=1}^M \left[ \frac{Y'(t_i)}{\sigma} \right]^2 \quad (15)$$

其中  $X'(t_i)/\sigma$  和  $Y'(t_i)/\sigma$  分别是均值为  $A \cos(\theta)/\sigma$  和  $A \sin(\theta)/\sigma$ ,方差为 1 的高斯变量,因此式(15)中两项分别是非中心参量为  $MA^2 \cos^2 \theta / \sigma^2$  和  $MA^2 \sin^2 \theta / \sigma^2$ ,自由度为  $M$  的非中心  $\chi^2$  分布,由于这两项具有相互独立性,  $V$  也是非中心  $\chi^2$  分布,其非中心参量  $\lambda$  和概率密度分别为

$$\lambda = \frac{MA^2 \cos^2 \theta}{\sigma^2} + \frac{MA^2 \sin^2 \theta}{\sigma^2} = \frac{MA^2}{\sigma^2} \quad (16)$$

$$f(v) = \frac{1}{2} \left( \frac{v}{\lambda} \right)^{\frac{n-1}{2}} \cdot \exp \left[ -\frac{\lambda + v}{2} \right] \cdot I_{n-1}(\lambda v)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

从式(15)分析可知  $V$  的自由度  $n = 2M$ ,根据非中心  $\chi^2$  分布的性质得  $V$  的均值为

$$E(V) = n + \lambda = 2M + \frac{MA^2}{\sigma^2} \quad (18)$$

通常情况下  $V$  具有各态历经性,设积累后的脉冲串信号中获得的样本数据个数为  $L_2$ ,用统计量  $V$  的时间均值代替统计均值得

$$\frac{1}{L_2} \sum_{i=1}^{L_2} V_i = 2M + \frac{MA^2}{\sigma^2} \quad (19)$$

由此可知输入信号信噪比为

$$\frac{A^2}{\sigma^2} = \frac{1}{ML_2} \sum_{i=1}^{L_2} V_i - 2 \quad (20)$$

结合式(20)和式(11)可知,检波后,积累处理前的 SSOA 估计表达式为

$$A^2 = \frac{\frac{1}{L_1} \sum_{k=1}^{L_1} y_k \cdot \left[ \sum_{i=1}^{L_2} V_i - 2ML_2 \right]}{\sum_{i=1}^{L_2} V_i - ML_2} \quad (21)$$

式中  $L_1, L_2$  和  $M$  都是已知的,统计量  $V$  与噪声方差  $\sigma^2$  有关.因此上式反映出在获取了噪声方差的条件下,检波后信号强度  $A^2$  与积累处理后信号强度  $V$  的关系.在低信噪比条件下,信号强度  $A^2$  较弱而噪声  $\sigma^2$  较强,因此可通过测量相对更强的噪声方差  $\sigma^2$  和积累后的信号强度  $V$  来分析积累前的信号强度  $A^2$ ,从而对两种信号强度估计做比较分析.

#### 4 仿真结果分析

为了方便将基于数据辅助积累量的 SSOA 估计算法简称为 DAA 算法(Data-Aided Accumulation),该仿真的目的是分析 DAA 算法在 SSOA 估计中受积累次数和信号频偏(频谱容限范围内)的影响,并仿真比较 DAA 算法和典型的信号积累前 SSOA 估计算法的性能.

为了更好的仿真算法的有效性和适用性,这里采用某城市环境下采集的空中信号样本数据.该信号是通过 CDMA2000 工程调试移动台设备发射的.该设备通过基站信令实时解析完成了与实际蜂窝网络的同步和入网,其信号与实际 CDMA2000 移动台信号相同并完全兼容.不同的是其发射功率可调可控(不受基站远近效应的功率控制),发射信号频道、频率及有关信令参数可按需要灵活设置.当收发位置和收发设备确定后,在八百多兆的超短波段噪声是相对稳定的,可先在信号高功率发射中测量出噪声功率.由收、发设备频率源固有频偏决定的采集数据频偏也是相对稳定的,因而也可先在信号高功率发射中测量出信号频偏来,通过在发射中的不同频偏设置来获得不同已知频偏的采集数据.

发射信号的频道参数设置为 201,由于当地信号区域移动台使用的频道为 283,从而可确保采集数据中没有多址干扰来影响噪声功率.根据当地实际信号规格参数,基站标识和 PN 偏置分别设置为 48625 和 078,扩频码速率为 1.2288MHz,扩频增益为 256,接入脉冲宽度为 320 毫秒.采集数据在有效完成信号检测、同步和解扩解调处理之后获得.在发射功率较高的条件下,接收设备上采集到的平方检波前后的信号分别如图 1 和图 2 所示.

从图 1 和图 2 可以看出,该接入脉冲信号宽度为 320 毫秒.根据 CDMA2000 移动通信的有关协议,该信号一个接入脉冲中有 1536 个码元数据.图中还可看出信

号强度在逐渐变小,这是在模拟实际 CDMA2000 移动台信号中远近效应的功率控制.通过该数据可较方便的估计出噪声功率、信噪比和信号频偏,并作为后面采集数据仿真参数的参考值.然后根据这个参考值调节发射功率即可得到信噪比为  $-30\text{dB}$  至  $30\text{dB}$  的采集数据,其中在  $10\text{dB}$  内范围可直接调节,在  $10\text{dB}$  以上范围可在发射天线前串接衰减器来完成.调节发射频率可得到相对频偏分别为  $1.372\text{kHz}$  和  $1\text{Hz}$  的两组采集数据.

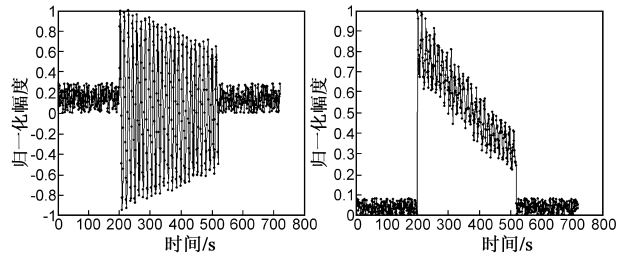


图1 接入脉冲平方检波前的信号采集

图2 接入脉冲平方检波后的信号采集

在基于数据辅助积累量的 SSOA 估计算法中,数据辅助处理就是通过已知或分析出的数据解除信号中的调制信息,扩频信息和编码信息,积累处理就是利用背景噪声的不相关特性,通过信号叠加来增强信号质量.其中信号的增强直接受背景噪声的相关程度和积累程度的影响.图 3 是积累次数分别为 100, 200 和 400 条件下的归一化均方误差的仿真图,可以看出,该算法性能随着积累程度的加深而增强,尤其是在  $-10\text{dB}$  以下的低信噪比条件下更加明显.

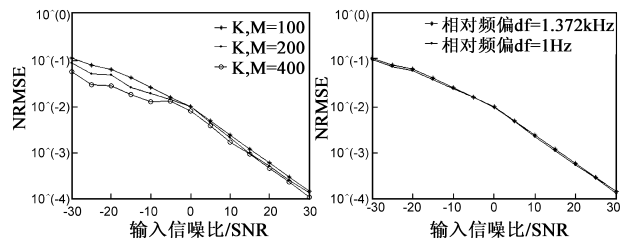


图3 不同积累参数的归一化均方误差

图4 不同载波频偏的归一化均方误差

从图 1 和图 2 中的采集信号可知,变化的载波频偏会影响信号强度的波形变化,因此有必要仿真 DAA 估计算法受频偏的影响.图 4 是分别在频偏为  $1.372\text{kHz}$  和  $1\text{Hz}$  条件下仿真的算法归一化均方误差曲线,从仿真结果可知,该算法在频谱容限指标范围内几乎不受载波频偏的影响,与式(21)估计结果不随信号频偏变化的理论推导一致.

文献[7]研究了直扩信号循环平稳条件下通过循环谱络对信号强度估计的算法,文献[10]研究了利用平方处理消除 PSK 相位跳变的信号强度和信噪比最大似然估计算法,为了叙述方便这里分别将这两种算法简称为算法 1 和算法 2.这两种算法和 DAA 算法在同等

条件下估计归一化方差与信噪比关系如图 5 所示,可以看出在  $-10\text{dB}$  以下的低信噪比信号中 DAA 估计算法性能明显优于算 1 和算法 2,主要原因是 DAA 算法充分利用了 CDMA2000 上行信号本身的特点和直扩信号的相关处理特性,用积累后的高信噪比统计量来进行 SSOA 估计。

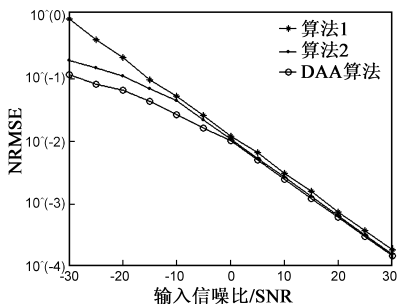


图5 三种估计算法归一化均方误差与信噪比曲线图

这里的理论推导和仿真分析都是在噪声功率已测量出或已知的条件下进行的.在噪声功率测量不准确或未知的条件下,因积累前统计量归一化不准确甚至无法归一化处理,式(18)求均值的关系不成立从而式(21)的两个统计量关系也不成立.但信号积累后 SSOA 估计比积累前 SSOA 估计性能更好的定性关系是依然成立的.积累后的统计量本身也是信号强度统计量,实际应用中可根据噪声功率的变化情况和实时估计难度来选择积累统计量是否归一化处理。

5 结束语

在多径干扰、非视距干扰和远近效应功率控制严重影响的情况下,CDMA2000 移动台信号非合作接收的关键是研究信噪比要求相对更低的处理算法.本文提出的基于数据辅助积累量 SSOA 估计算法充分利用了 CDMA2000 上行信号本身的特点和直扩信号的相关处理特性,通过样本数据积累后的高信噪比统计量估计积累前的接收信号强度,有效提高了低信噪比信号的处理能力.经采集空中信号仿真表明,该算法在 CDMA2000 移动台信号频谱容限指标范围内几乎不受载波频偏的影响,其估计性能在一定范围内随积累程度的加深而提高.该算法对  $-10\text{dB}$  以下的低信噪比信号仍有较好的估计性能,适合于复杂环境下非合作接收条件中的信号强度估计.当然,在实际应用中还要根据条件和需求设计其实现方案。

## 5 结束语

参考文献:

## 参考文献:

- [1] 程皓.低截获直扩信号参数盲估计方法研究[D].电子科技大学博士学位论文,成都,2007.6.  
Cheng Hao, Research On the Parameter Blind Estimation for Low Interception Probability DSSS Signal[D]. the paper for the Degree of Doctor of Philosophy, The University of Electronic

Science and Technology of China. ChengDu, June. 2007. (in Chinese)

- [2] 徐海燕,田增山等.基于 CDMA2000 移动目标的探测方法研究[J].重庆邮电大学学报,2008,20(1):36-39.  
Xu Haiyan, Tian Zengshan, etc. Research of detecting moving targets based on CDMA2000[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2008, 20(1): 36-39. (in Chinese)
- [3] A M Robert. Nuisance parameters and location accuracy in log-normal fading models[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007. 3, 6(3): 937-947.
- [4] K Kaemarungsi. Distribution of WLAN received signal strength indication for indoor location determination[A]. Proceedings of the 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing[C]. 16-18 January 2006, Phuket, Thailand, IEEE Press, U.S., 2006. 1-6.
- [5] M B Kjaergaard. Cleaning and processing RSS measurements for location fingerprinting[A]. Autonomic and Autonomous Systems, 2007. ICAS07. Third International Conference on [C]. 19-25 June 2007, Athens, Greece, IEEE Press, U.S., 2007. 12-12.
- [6] Y Takizawa, P Davis and M Kawai. Self-organizing location estimation method using received signal strength[J]. IEICE Transactions on Communications, 2006.
- [7] 朱良学,朱近康.采用动态窗口宽度和二次平均算法的 SSOA 定位方法[J].电子与信息学报,Jan. 2002,24(5):60-67.  
Zhu Liangxue, Zhu Jinkang. Signal-strength-of-arrival location using dynamic window-width and double-averaging algorithm[J]. Journal of Electronics and Information Technology. Jan. 2002, 24(5): 60-67. (in Chinese).
- [8] 黄春琳,柳征等.基于循环谱包络的扩谱直序信号的码片时宽、载频、幅度估计[J].电子学报,2002,30(9):1353-1356.  
Huang Chunlin, Liu Zheng etc. Carrier frequency and amplitude estimation of DS signal, based on cyclic spectrum amplitude [J]. Acta, ElecirOnica Sinica, 2002, 30(9): 1353-1356. (in Chinese)

(下转第 753 页)

## 作者简介:



秦文兵 男,1978 年出生于四川安岳,西南电子电信技术研究所在读博士生,主要研究方向为移动通信信号处理,CDMA 扩频信号处理.  
E-mail: leaguar69@163.com

罗来源 男,1956 年出生于湖南长沙,西南电子电信技术研究所高级工程师,博士生导师,主要研究方向为复杂条件下通信信号处理。

(上接第 757 页)

- [9] B Li, R Difazio and A Zeira. results on SNR estimation of MP-SK modulated signals [J]. Proc. IEEE PRIMC, 2003: 2373 – 2377.
- [10] B Li, R Difazio and A Zeira. A low bias algorithm to estimate negative SNRs in an AWGN channel [J]. IEEE Commun. Letters, 2006, 6(2): 469 – 471.
- [11] 许华, 郑辉. MPSK 信号的最大似然 SNR 估计方法 [J]. 电子与信息学报, April. 2005, 27(4): 527 – 531.  
XuHua, ZhengHui. On the maximum – likelihood SNR estimation algorithm for MPSK signals [J]. Journal of Electronics & Information Technology. April. 2005, 27(4): 527 – 531. (in Chinese)
- [12] N S Alagha. Cramer-Rao bounds of SNR estimates for BPSK an QPSK modulated signals [J]. IEEE Commun. Letters, 2001, 5(1): 10 – 12.
- [13] J S Lee and L E Miller. CDMA 系统工程手册 [M], 许希斌, 周世东等译, 北京: 人民邮电出版社, 2002.  
J S Lee and L E Miller. CDMA Systems Engineering Handbook, J S Lee Associates, Inc. 1998.