

文章编号: 1001- 893X (2005) 01- 0012- 06

## 基于 Chebyshev混沌扩谱序列的 MC- CDMA 系统的峰均功率比研究\*

李晓潮, 郭东辉, 吴伯僖

(厦门大学 物理系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 峰均功率比 (PAPR) 是多载波码分多址 (MC- CDMA) 系统的一个 重要指标, OFDM 多载波调制技术虽然可以提高 MC- CDMA 系统的数据传输率和抗干扰能力, 但是在系统的峰均功率比方面则存在着亟待解决的问题。本文利用 Chebyshev 混沌扩谱序列的伪随机、非周期、数量大和良好的相关特性, 作为 MC- CDMA 系统上行信道的扩谱序列, 以改善输出信号的峰均功率比。分析和仿真结果表明在保持较低多址接入干扰的同时, 还可以大大降低发射信号的峰均功率比。

**关键词:** 多载波码分多址; 混沌序列; 峰均功率比; 选择性映射

**中图分类号:** TN914 **文献标识码:** A

## The Peak- to- Average Power Ratio of MC- CDMA with Chaotic Chebyshev Spread Sequence

LIXiao- Chao, GUO Dong- hui, WU Bo- xi

(Physics Department, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract** Although the OFDM multi- carrier technique offers high data rate and immunity to multipath fading, the high peak- to- average power ratio (PAPR) of OFDM signal severely limits its applications. This undesirable property remains in MC- CDMA scheme which is an extension of the basic operation of OFDM- CDMA. Taking the advantage of random- like, non- periodic and excellent correlation property of chaotic sequence, the authors recommend using them as the spread sequence of MC- CDMA in the uplink channel in order to lower the PAPR of OFDM multi- carrier modulation. The analysis and simulation results prove that this scheme not only shows the better performance of PAPR but also realizes the Selective Mapping (SLM) based on chaotic sequences to further cut down the PAPR.

**Key words** MC- CDMA; Chaotic sequence; Peak- to- average power ratio (PAPR); Selective mapping (SLM)

### 一、引言

近年来, 多载波码分多址系统 (MC- CDMA) 得到越来越多的重视。由于结合了正交载波调制

(OFDM) 并行传输的优点, 它克服了 CDMA 系统在传输高速宽带信号时所面临的严重码间干扰和频率选择性衰落等问题, 从而提高了无线通信系统的数据传输速率和抗多径衰落能力。因此, MC- CDMA

\* 收稿日期: 2004- 08- 20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60076015); 福建省自然科学基金资助项目 (A0010019); 福建省高新技术项目

将成为下一代移动通信系统主要的解决方案之一<sup>[1]</sup>。然而,以 OFDM 为代表的多载波调制技术的一个主要缺陷在于发射信号的峰值功率可能是平均功率的 N 倍,即发射信号的峰均功率比 (PAPR) 为 N (其中 N 是多载波调制的载波数目)<sup>[2]</sup>。为了保证这种多载波调制通信系统的信号正常发送和接收,通信系统必须使用线性范围很大的功率放大器或采用限幅处理电路来实现。但是,前者是很不经济的和低效率的,后者则会引起整体系统性能的下落和频谱边带的增加。所以,如何有效地降低 PAPR 已成为多载波调制技术在移动通信系统中进一步推广的技术关键。

为了降低 MC-CDMA 多载波调制信号的 PAPR,目前采取的主要方法是:选择合适的扩谱序列<sup>[3-9]</sup>和结合 PTS、SLM 等传统扰码技术<sup>[10-13]</sup>。在现有的研究中,一般是采用 Walsh 码或正交 Gold 码作为扩谱序列。但是对于上行信道的单个用户而言,由于 Walsh 序列的 PAPR 非常大<sup>[8,9]</sup>,因此为了改善序列集的 PAPR,往往通过加入无用的 Walsh 序列或和 Golay 互补码的重新组合来增加序列的随机性从而降低 PAPR<sup>[8,9]</sup>。这些方法除了会造成功率上的浪费之外,在衰落信道中还会造成很严重的多用户接入干扰。另外,当一次传输多个数据时,由于每个数据共用相同的一个正交 Gold 扩谱序列从而使扩谱后生成的序列出现周期重复并增加发射信号的 PAPR。鉴于混沌序列所具有的伪随机、非周期、数量大和良好的相关性<sup>[14]</sup>,可以选择它作为 MC-CDMA 系统上行信道的扩谱序列,解决以上出现的问题。

为了具体说明我们的混沌序列 MC-CDMA 的方案及其性能,在下一节中先通过 MC-CDMA 系统的数学模型来分析扩谱序列的相关性对多载波调制信号峰均功率比的影响。然后,在第 3 节中分析基于 Chebyshev 混沌映射产生的混沌序列的相关性,并说明采用基于 Chebyshev 混沌序列的选择性映射 (SLM) 方法可以进一步降低输出信号的 PAPR。为了验证以上分析的结果,在第 4 节中具体说明我们的仿真方法并给出仿真结果。

## 二、MC-CDMA 系统的峰均功率比

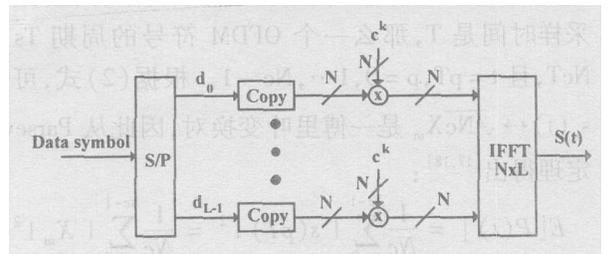


图 1 MC-CDMA 发射机的原理框图

在多用户移动通信系统中,某单个用户 MC-CDMA 上行信道的模型可以表示成如图 1 所示<sup>[15,16]</sup>的框图。

对于多用户系统,第 k 用户的 L 个数据  $d_l (l = 0 \dots, L-1)$  经串/并转换后,分别由长度为 N 的序列  $c^k$  扩谱后,映射到  $N_c = N \times L$  个载波上同时发送出去。这样,第 k 个用户发送出去的信号可以写为

$$s_k(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{n=0}^{N-1} d_l c_n^k \exp(j \frac{2\pi(L \times l + n)t}{T_s}) \quad (1)$$

其中,  $T_s$  是 OFDM 数据的周期,  $C_n^k$  表示第 k 个用户扩谱序列的第 n 位序列值。

令

$$X_m = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{n=0}^{N-1} d_l C_n^k$$

式中  $m = 0 \dots L \times N - 1$  表示第 m 个载波上要传送的数据信息,则 (1) 式可以写为

$$s_k(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N_c-1} X_m \exp(j \frac{2\pi m t}{T_s}) \quad (2)$$

这样,MC-CDMA 信号的瞬间功率可以表示成<sup>[2]</sup>:

$$\begin{aligned} P(t) &= |s_k(t)|^2 \\ &= \frac{1}{N_c} \sum_{m=0}^{N_c-1} \sum_{q=0}^{N_c-1} X_q X_m^* \exp(j \frac{2\pi t}{T_s} (q-m)) \\ &= \frac{1}{N_c} \sum_{m=0}^{N_c-1} |X_m|^2 + \frac{2}{N_c} \text{Re} \{ \sum_{m=0}^{N_c-2} \sum_{q=m+1}^{N_c-1} X_q X_m^* \exp(j \frac{2\pi t}{T_s} (q-m)) \} \\ &= \frac{1}{N_c} \sum_{m=0}^{N_c-1} |X_m|^2 + \frac{2}{N_c} \text{Re} \{ \sum_{m=1}^{N_c-1} \exp(j \frac{2\pi t}{T_s} m) \sum_{q=0}^{N_c-m-1} X_{q+m} X_q^* \} \end{aligned} \quad (3)$$

其中,  $\text{Re}\{\cdot\}$  表示取实部操作。

通常信号的峰均功率比 (PAPR) 定义为

$$PAPR = \frac{\max\{P(t)\}}{E[P(t)]} \quad (4)$$

其中  $E[P(t)]$  表示信号平均功率,  $\max\{P(t)\}$  表示信号的最大功率。

在正交载波调制 (OFDM) 中, 调制是通过快速反傅里叶变换实现并通过 D/A 数模转换成连续模拟信号<sup>[10]</sup>, 因此,  $s_k(t)$  实际是离散的采样值, 如果采样时间是  $T$ , 那么一个 OFDM 符号的周期  $T_s = N_c T$ , 且  $t = pT, p = 0, 1, \dots, N_c - 1$ . 根据 (2) 式, 可知  $s_k(t) \leftrightarrow \sqrt{N_c} X_m$  是一傅里叶变换对, 因此从 Parseval 定理得出<sup>[17, 18]</sup>:

$$E[P(t)] = \frac{1}{N_c} \sum_{p=0}^{N_c-1} |s(pT)|^2 = \frac{1}{N_c} \sum_{m=0}^{N_c-1} |X_m|^2 \quad (5)$$

可见, 如果  $X_m$  能量恒定, 那么输出信号的平均能量也是恒定的。

对于任何复数  $z$  有  $\text{Re}(z) \leq |z|, |\sum z_n| \leq \sum |z_n|$ , 结合式 (3)、(4) 和 (5) 可以推得 MC-CDMA 系统输出信号 PAPR 的上界为<sup>[2]</sup>

$$PAPR \leq 1 + \frac{2}{N_c \times E[P(t)]} \sum_{m=1}^{N_c-1} |\rho(m)| \quad (6)$$

其中,  $\rho(m) = \sum_{q=0}^{N_c-m-1} X_{q+m} X_q^*$ , 是数据序列  $X_m$  的非周期自相关函数。可见, 发射信号的 PAPR 依赖于数据序列的非周期自相关函数。

除了以上推导, 我们还可以从另一方面来研究信号的 PAPR。根据频率卷积定理<sup>[17]</sup>,  $|s_k(pT)|^2 = s_k(pT) \cdot s_k(pT)^*$  和  $\frac{1}{N_c} \sum_{q=0}^{N_c-1} X_q(X_{m-q})^*$  是一傅里叶变换对, 因此要想得到理想的峰均功率比, 即  $|s_k(pT)|^2$  为常数, 则要求数据序列的卷积为  $\delta$  函数<sup>[4, 18]</sup>, 即数据序列的周期自相关函数须为  $\delta$  函数。

由于在 MC-CDMA 系统中,  $N$  个载波传输的是原始数据信息和扩谱序列相乘之后得到的数据序列 ( $N$  代表扩谱系数), 甚至当  $L=1$  时, 数据序列就等同于扩谱序列, 因此扩谱序列的相关性决定最后生成数据序列的相关性好坏。以此类推, 拥有低的非周期自相关函数和类似的周期自相关函数的扩谱序列是最合适的扩谱序列。

### 三、混沌扩谱序列的选择和选择性映射

根据上面的分析结果可知, 要降低 MC-CDMA 输出信号的峰均功率比, 必须对扩谱序列进行优化选择。为此, 本文选择基于 Chebyshev 混沌映射的序列集<sup>[14]</sup>, 这是由于此序列集具有统计最优的相关特性, 即:  $\delta$  周期自相关函数和正交周期互相关

函数<sup>[14]</sup>:

$$\begin{aligned} \langle \theta(l) \rangle &= \langle \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_p(x_j) T_p(x_{j+l}) \rangle \\ &= \int_{-1}^1 T_p(x) T_{p+l}(x) \rho(x) dx = \frac{1}{2} \delta(l) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \langle \theta_{n,q}(l) \rangle &= \langle \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_p(x_j) T_p(x_{j+l}) \rangle \\ &= \int_{-1}^1 T_p(x) T_{q+l}(x) \rho(x) dx \\ &= \begin{cases} 0 & p \neq q+l \\ \frac{1}{2} & p = q+l \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

其中  $x_{n+1} = T_p(x_n) = \cos(p \cos^{-1} x_n), -1 \leq x \leq 1, p$  是切比雪夫映射的度,  $\langle \rangle$  表示统计平均。因此, 采用 Chebyshev 混沌映射产生的序列作为扩谱序列不但可以获得较低的峰均功率比, 而且可以维持较低的多用户干扰。同时, 混沌序列的非周期性还可以确保在传输多个数据时, 每个数据的扩谱序列都不相同, 因此最终生成的发射序列不会出现周期重复的现象, 从而保持低 PAPR。

此外, 由于混沌序列数目众多, 我们可以引入选择性映射 (SLM) 方法来进一步改善输出信号的 PAPR<sup>[14, 20]</sup>。根据中心极限定理, 当载波数目足够大时 (例如大于 20), OFDM 调制器输出的采样值服从近似高斯分布, 从而基带信号的瞬间功率符合  $x^2$  分布<sup>[7, 8]</sup>:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma^2} \exp(-\frac{x}{\sigma^2}) \quad (9)$$

其中,  $x$  表示瞬间功率。因此, 存在下面的概率分布:

$$Pr(x < X) = \int_0^X f(u) du = 1 - \exp(-\frac{x}{\sigma^2}) \quad (10)$$

这样, 至少有一点  $|x| > Y \cdot \sigma^2$  的概率可表示为

$$Pr\{PARP > Y\} = 1 - (1 - e^{-Y})^D \quad (11)$$

其中,  $D$  表示载波数或是 FFT 的阶数。如果用  $K$  个独立的 OFDM 帧来代表相同的信息, 那么从中选择 PAPR 最小的 OFDM 帧发射, 此时以上的概率减小为<sup>[20]</sup>

$$Pr\{PARP_{min} > Y\} = \{1 - (1 - e^{-Y})^D\}^K \quad (12)$$

如果对于每个用户都可以提供  $K$  个不同的混

沌序列供其选择,就可以通过 SLM 方法来达到 (12) 式的效果,这个优势是数目有限的传统扩谱序列所无法比拟的。

### 四、数值仿真与结果分析

为了使仿真中利用离散数据点得到的峰均功率比和实际连续波的峰均功率比近似相等,需要对发射信号过采样 4 倍<sup>[21]</sup>。为了在仿真中实现过采样 4 倍的效果,我们把每帧 OFDM 调制序列添 0 至 4N 的长度,此时发射信号的序列变为

$$G((k) = \begin{cases} X(k) & 0 \leq k \leq N - 1 \\ 0 & N \leq k \leq 4N - 1 \end{cases} \quad (13)$$

经过反离散傅里叶变换后,得到的时域波形为

$$\begin{aligned} g(n) &= IDFT\{G(k)\} \\ &= \frac{1}{4N} \sum_{k=0}^{4N-1} G(k) e^{j\frac{2\pi nk}{4N}} \\ &= \frac{1}{4N} \sum_{k=0}^{N-1} G(k) e^{j\frac{2\pi nk}{N}} = \frac{1}{4} x\left(\frac{n}{4}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

其中  $x(n) \leftarrow X(k)$  是一离散傅里叶变换对。

(14)式结果表示  $g(n)$ 的采样间隔比  $x(n)$ 小 4 倍,因而更接近实际的连续波形。式中的比例因子 1/4并不影响最终峰均功率比的计算。

表 1 是采用建立起来的 Simulink 系统仿真模型和以上方法对 m 序列 PAPR 的仿真结果。通过与文献 [22]中对应值的比较,两者结果一致,从而说明仿真模型和仿真方法是可信的。表 1 中, q 代表 m 序列的阶数。

表 1 峰均功率比的最差值比较

q	生成式 (八进制表示)	文献 [22]中的值 (dB)	仿真结果 (dB)
4	23	5.4	5.35
7	211	7.1	7.073

在仿真中我们对由 Walsh 序列集、正交 Gold 序列集和 Chebyshev 混沌序列集得到的 PAPR 结果进行比较。图 2 是当  $L=1, N=128$  时 3 种序列集的 PAPR 累计分布密度 (CDF) 曲线图,横坐标是 PAPR 比值,纵坐标是集合 PAPR 的累计分布密度。对于序列集中全“+”、全“-”或正负交替出现的序列,由于具有最大的偏峰自相关值,因此利用该序列扩谱后的信号具有最大的 PAPR<sup>[8]</sup>。Walsh 序列集中

就存在两个符合以上特征的序列,所以它有两个序列的峰均功率比值达到最大的 128 从图中也可以看到这一点。另外,由于 Walsh 序列的自相关性不如正交 Gold 序列和混沌 Chebyshev 序列,因此它的整体 PAPR 远大于其他两个序列集<sup>[8,12]</sup>。

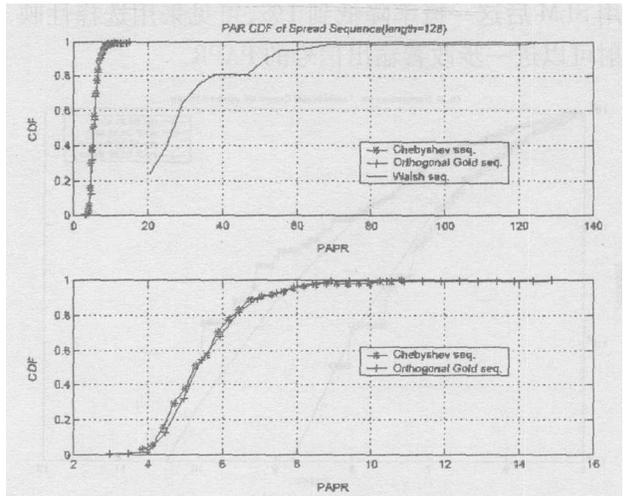


图 2 Walsh 序列集,正交 Gold 序列集和 Chebyshev 混沌序列集的 PAPR 累计分布密度曲线图 (其中, (b) 是 (a) 的局部放大)

图 3 是当系统选用  $L=4, N=128$  时的 PAPR 累计分布密度曲线图。可以看出,传输多个数据时, Chebyshev 混沌序列集的 PAPR 分布显然要好于正交 Gold 序列集,集合的整体 PAPR 较小。这主要是由于混沌序列的非周期性,使得每个数据的扩谱序列都不相同,因此最终生成的发射序列不会出现周期重复的现象,从而保持低 PAPR。而对于正交 Gold 序列集,由于每个数据共用相同的一个正交 Gold 序列,使得扩谱后的生成序列出现周期重复并导致发射信号 PAPR 的增加。

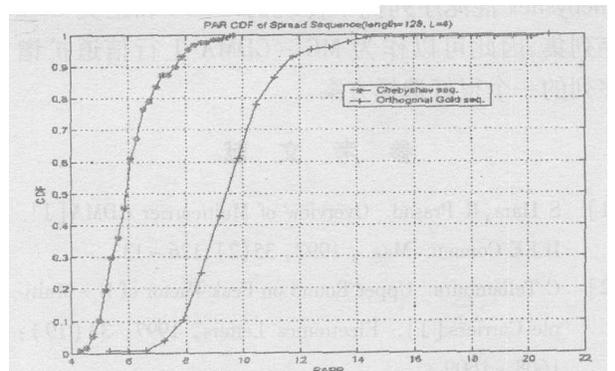


图 3 正交 Gold 序列集和 Chebyshev 混沌序列集的 PAPR 累计分布密度曲线图

图 4 是比较应用 SLM 和没有应用 SLM 方法输出信号的 PAPR 差别,横坐标表示 PAPR 值,纵坐标

表示 PAPR 大于横坐标值的发生概率。其中  $L=1$ ,  $N=64$ ,  $n=2$  曲线表示给每个用户分配两个扩谱序列供其选择使用,另一条曲线表示没有采用 SLM 方法。从图中的曲线可以看出,如果没有采用 SLM 则输出信号 PAPR 大于 8 的发生概率接近 10%,而采用 SLM 后这一概率降低到 1%,可见采用选择性映射可以进一步改善输出信号的 PAPR。

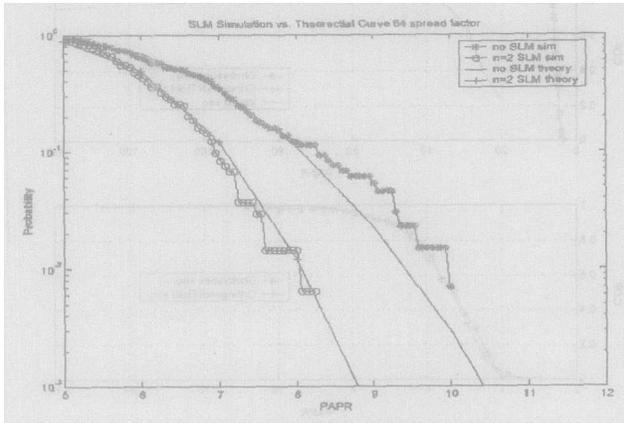


图 4 采用 SLM 和没有采用 SLM 的输出信号 PAPR 概率分布图

## 五、结 论

利用混沌序列的伪随机性、非周期、良好相关性、数目多和易于生成的特点,作为多载波码分多址系统(MC-CDMA)上行信道的扩谱序列,在保持较低多址接入干扰的同时,还可以大大降低发射信号的峰均功率比。因此,混沌序列在降低多载波调制 PAPR 的方面具有广阔的应用前景。本文采用 Chebyshev 混沌序列为例,通过理论分析和仿真说明 Chebyshev 混沌序列优于传统的 Walsh 和正交 Gold 序列集,因此可以作为 MC-CDMA 上行信道扩谱序列的一个很好选择方案。

## 参 考 文 献

[1] S Hara R Prasad Overview of Multicarrier CDMA [ J]. IEEE Commu Mag , 1997, 35(2): 126~ 133

[2] C Tellambura Upper Bound on Peak Factor of N- Multi- ple Carriers [ J]. Electronics Letters 1997, 33(19): 1608~ 1609

[3] B J Choi E L Kuan L Hanzo Crest- factor Study of MC- CDMA and OFDM [ A ]. IEEE VTC 99 [ C ]. 1999, 233 ~ 237

[4] L Freiberg A Annamaki V K Bhargava Crest Factor

Reduction Using Orthogonal Spreading Codes in Multi- Carrier CDMA Systems [ A ]. IEEE PMRC [ C ]. 1997, 120~ 124

[5] B M Popovic Spreading Sequences for Multicarrier CDMA Systems [ J ]. IEEE Trans On Commun , 1999, 47(6): 918~ 926

[6] B M Popovic Spreading Sequences for Multi- carrier CD- MA System [ A ]. IEE Colloquium CDMA Techniques and Applications for Third Generation Mobile Systems [ C ]. London, 1997, 8/1~ 8/6

[7] H Bogucka Effectiveness and Performance Analysis of Various Spreading Codes Applied in Multicarrier CDMA Wireless Systems [ A ]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference [ C ]. 2000, 681~ 685.

[8] H Ochiai H Inai OFDM - CDMA with Peak Power Reduction Based on the Spreading Sequences [ A ]. IEEE International Conference on Communications [ C ]. 1998, 1299~ 1303

[9] A H Talasaz Peak- to- average Reduction in MC- CD- MA Based on Using Different Spreading and Despreading Codes [ A ]. IEEE Wireless Communications and Network- ing Conference [ C ]. 2002, 665~ 668

[10] C Tellambura Phase Optimisation Criterion for Reducing Peak- to- average Power Ratio in OFDM [ J ]. Electronics Letters 1998, 34(2): 169~ 170

[11] 佟学俭, 罗涛. OFDM 移动通信技术原理与应用 [ M ]. 北京: 人民邮电出版社, 2003

[12] N Ohkubo, T Ohtsuki Design Criteria for Phase Sequences in Selected Mapping [ A ]. IEEE Vehicular Technology Conference [ C ]. 2003, 373~ 377.

[13] N Raungsumrit R Rajatheva An Investigation of Peak to Average Power Ratio in MC- CDMA Combined with Partial Tansmit Sequence [ A ]. IEEE VTC 2001 (Vol 1) [ C ]. 2003, 761~ 765

[14] 李晓潮, 郭东辉, 曾权, 等. 混沌扩谱 CDMA 的系统模型及其性能分析 [ J ]. 电讯技术, 2003, 43(6): 13~ 18

[15] S Tsumura S Hara Design and Performance of Quasi- Synchronous Multi- Carrier CDMA System [ A ]. IEEE Vehicular Technology Conference [ C ]. 2001, 843~ 847

[16] A C McComick E A Al- Susa Multi- carrier CDMA for Future Generation Mobile Communication [ J ]. Electronics & Communication Engineering Journal 2002, 52~ 60

[17] 王世一. 数字信号处理 [ J ]. 北京: 北京工业学院出版社, 1986

[ 18] X Li, J A R itcey M - sequences for OFDM Peak- to- average Power Ratio Reduction and Error Correction [ J]. E lecton ics Lett , 1997, 33( 7): 554~ 555

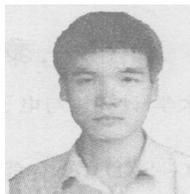
[ 19] 苏凯雄,朱近康. 采用正交 Gol d序列的 SSMA 通信系统特性 [ J]. 通信学报, 1989, 10( 2): 66~ 71.

[ 20] R W Baum l R F H Fischer J B Huber Reducing the Peak- to- average Power Ratio of M ulticarrier M odulation by Selected M apping [ J]. Electronics Letters 1996, 32( 22): 2056~ 2057.

[ 21] C Tellambura Computation of the Continuous- time PAR of an OFDM Signal with BPSK Subcarriers [ J]. IEEE Commun Lett , 2001, 5( 4): 135~ 137

[ 22] C Tellambura Use of M - Sequences for OFDM Peak- to- average Power Ratio Reduction [ J]. Electronics Letters 1997, 33( 15): 1300~ 1301.

作者简介:



李晓潮 ( 1970- ), 男, 厦门大学物理系博士研究生。

## 《中国学术期刊综合引证年度报告》最新统计数据表明: 《电讯技术》各项评价指标同比又有明显提升

清华大学中国学术期刊 (光盘版) 电子杂志社、中国科学文献计量评价研究中心 2004年 11月出版的《中国学术期刊综合引证年度报告》2004年版的统计数据表明, 作为“中国学术期刊综合评价数据库”来源期刊的《电讯技术》的各项评价指标又有明显提升, 充分证明了其影响力在不断增强。

《中国学术期刊综合引证年度报告》2004年版是在“中国期刊全文数据库”2003年收录的 6000余种期刊的基础上, 按照《中国学术期刊 (光盘版)检索与评价数据规范》对其中学术性期刊论文的引文数据进行规范化加工处理, 在 5716种统计刊源的数据基础上经整合、统计、规范和分析等多道程序编制而成的大样本、多学科、综合性的科学文献计量报告, 涉及的中文期刊引文达 140余万条, 学科完整、分类细致、数据可靠, 包括期刊在统计年的载文量、期刊在统计年的总被引频次、他引总引比、影响因子、即年指标和被引半衰期等主要科学文献引证指标, 是我国引文量最大、出版时速最快的期刊综合引证年报, 是研究和评价我国期刊综合学术和社会影响力的重要工具, 受到图书情报、文献计量和科研管理和文献评价等各界人士的高度关注。

《中国学术期刊综合引证年度报告》依照“同类相聚, 同级相比”的原则并参照期刊的学科、专业、地区和主办单位等特征及其在人类社会生活中的社会作用设计了新的分类体系, 将统计期刊分为 5大专著共 251个类目, 《电讯技术》属于 C辑“自然科学类期刊”。在 2004年版的《报告》统计中, 《电讯技术》在“科技与生产 通讯与网络 技术”类目下的 31种期刊中总被引频次位居第 4位, 影响因子位居第 6位; 而 2002年版的《报告》中本刊的总被引频次排在第 10位, 影响因子排在第 12位; 2003年版的《报告》中本刊的总被引频次排在第 5位, 影响因子排在第 8位。从近 3年这些评价期刊学术价值的重要指标上可以看出, 本刊的学术地位和影响力有了显著提高。在此, 向长期以来给予本刊大力支持的广大作者和读者表示衷心的感谢, 我们将再接再厉, 进一步全面提升本刊的地位和影响力。

本刊编辑部