

# TD-SCDMA 中的扰码性能分析及分配算法

庞国莉, 高焕芝, 刘庆杰, 王小英

(防灾科技学院灾害信息工程系, 三河 065201)

**摘要:** 针对 TD-SCDMA 扰码规划时由于码的相关性引入的小区间干扰问题, 分析 TD-SCDMA 中扰码和信道化码组成的复合码的自相关、互相关性能, 按相关性关系把扰码分成不同的集合。探讨了扰码对广播信道的影响以及扰码的位移重合性对系统性能的影响。提出一种尽量避免冲突的扰码分配算法, 从而能为小区分配合适的扰码, 改善系统性能。

**关键词:** 扰码; 复合码; 相关性

## Performance Analysis and Distribution Algorithm of Scrambling Code in TD-SCDMA

PANG Guo-li, GAO Huan-zhi, LIU Qing-jie, WANG Xiao-ying

(Department of Disaster Information Engineering, Institute of Disaster Prevention Science and Technology, Sanhe 065201)

**【Abstract】** For the interference problem in sectors of scrambling code planning in TD-SCDMA due to the correlation of code, this paper analyzes the performance of the self-correlation and cross-correlation for composite code consisting of scrambling code and channelization code in TD-SCDMA. And the scrambling code is divided into different sets according to the correlation. The effect of the scrambling code to broadcasting channel and the shift of the scrambling code to the system performance is analyzed. And an assignment algorithm for scrambling code with collision avoid is proposed, which can assign proper scrambling code for sector and improve the system performance.

**【Key words】** scrambling code; composite code; correlation

### 1 概述

TD-SCDMA 系统中主要使用的码包括 32 个下行导频码、256 个上行导频码、128 个扰码和 128 个 midamble 码。根据 3GPP 协议, 规划是以码组为单位进行的, 每个小区需要配置 1 个码组, 包括 1 个下行导频码, 8 个上行导频码, 4 个扰码和 4 个 midamble 码。TD-SCDMA 系统中扰码用于区分小区, 信道化码用来区分用户, 扰码和信道化码的乘积产生的复合码称为扩频码。TD-SCDMA 扰码的长度固定为 16, 信道化码的最大扩频因子为 16, 短的码长使得扩频码间不能保持良好的正交性。由于接收端不能确知邻近小区已分配的信道化码, 不能通过联合检测算法<sup>[1]</sup>来有效消除码的相关性引入的小区间干扰, 因此有必要对系统采用的全部扰码间的互相关性进行研究, 以便为邻近小区尽量选用互相关性好的码字, 降低小区间干扰, 改善系统性能, 增强系统的稳定性。

### 2 复合码相关性分析

TD-SCDMA 系统需要对调制后的符号进行扩频和加扰处理, 采用信道化码对数据符号进行扩频, 信道化码通过 OVSF 码树生成。TD-SCDMA 系统上行可用扩频因子  $SF$  为 {1,2,4,8,16}, 下行可用扩频因子  $SF$  为 1 或者 16。数据经过信道化码扩频后, 还要由一个固定长度为 16 的扰码序列进行加扰。扩频码与扰码相乘构成复合码, 当  $SF=16$  时, 每个扰码下对应 16 个 OVSF 码, 所有的扰码组成的复合码一共有 2 048 个, 这些复合码两两组合除去同一扰码下的扩频码组合一共有  $C_{128}^2 \times C_{16}^1 \times C_{16}^1$  个, 每个复合码对的归一化互相关如下式所示:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a(i) \times b(i) \quad (1)$$

其分布关系以及概率累积分布如图 1 和图 2 所示。

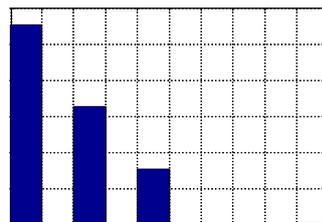


图 1 复合码相关性分布

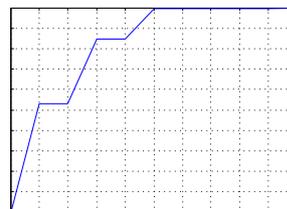


图 2 复合码的概率累积分布

**作者简介:** 庞国莉(1975—), 女, 讲师、硕士, 主研方向: 计算机网络安全; 高焕芝, 讲师、硕士; 刘庆杰, 讲师; 王小英, 助教、硕士

**收稿日期:** 2009-06-30 **E-mail:** pgl\_tt5424@sina.com

其相关值共有 4 种, 分别是 0, 0.25, 0.5, 1, 比例分别为 53.19%, 31.40%, 14.38%, 0.58%。

虽然互相关为 1 的比例十分小, 只有不到 1%, 但是给基站边缘的用户分配这样的码序列, 必然会对系统性能造成严重影响。对数据进行分析时可以发现, 128 个扰码生成的复合码可以分成 12 组(SCS), 每组之间 256 对复合码之间的同步互相关值为 16 个 1, 248 个 0, 其码组的分布如表 1 所示。

表 1 相关性一致的码组集合

| 码组编号   | 扰码编号  |
|--------|---|
| SCS 1  | 0, 4, 25, 26, 28, 29, 33, 39, 41, 42, 48, 52, 54, 56, 84, 89        |
| SCS 2  | 1, 5, 7, 10, 15, 20, 40, 46, 47, 49, 61, 64, 75, 82, 118, 126       |
| SCS 3  | 2, 3, 6, 11, 12, 17, 22, 23, 34, 35, 36, 38, 45, 50, 65, 86         |
| SCS 4  | 8, 9, 13, 14, 18, 19, 24, 27, 32, 37, 44, 67, 70, 104, 116, 117     |
| SCS 5  | 16, 21, 30, 31, 43, 59, 78, 85, 92, 94, 99, 105, 107, 109, 124, 125 |
| SCS 6  | 63, 66, 72, 79, 93, 95, 106, 110, 113, 123                          |
| SCS 7  | 73, 74, 90, 98, 103, 111, 114, 119, 121                             |
| SCS 8  | 55, 60, 71, 83, 87, 112, 115  |
| SCS 9  | 57, 77, 81, 88, 96, 97, 101   |
| SCS 10 | 62, 68, 69, 76, 108, 122  |
| SCS 11 | 53, 80, 91, 100, 120  |
| SCS 12 | 51, 58, 102, 127  |

12 个码组(SCS)之间的扰码两两互相关, 都满足为 0.25, 可以分成 12 组(G), 分别如表 2 所示。

表 2 相关性两两为 0.25 的码组集合

| 编号  | 码组编号                  |
|-----|-----------------------|
| G1  | SCS 1, SCS 6, SCS 7   |
| G2  | SCS 1, SCS 6, SCS 10  |
| G3  | SCS 1, SCS 7, SCS 12  |
| G4  | SCS 1, SCS 10, SCS 12 |
| G5  | SCS 2, SCS 3, SCS 8   |
| G6  | SCS 2, SCS 6, SCS 7   |
| G7  | SCS 3, SCS 8, SCS 11  |
| G8  | SCS 3, SCS 9, SCS 11  |
| G9  | SCS 4, SCS 5, SCS 9   |
| G10 | SCS 4, SCS 8, SCS 11  |
| G11 | SCS 4, SCS 9, SCS 11  |
| G12 | SCS 5, SCS 10, SCS 12 |

当要分配的小区数量比较少的时候, 可以从表 2 所列的码集中进行适当的筛选, 表 2 中码组(G)中的扰码相互之间和码组(SCS)之间的扰码具有一致的相关性。

### 3 与广播信道的冲突研究

由每个扰码所产生的复合码可能与其他扰码产生的复合码是一致的。按照 3GPP 的协议, 广播信道采用的是 TS0 时隙中第 1 号码道和第 2 号码道, 那么如果 2 个扰码产生的前 2 组复合码是一致的, 并且给分配到了相邻小区, 那么 PCCPCH 便会产生冲突。所以对扰码之间需要有一定的空间间隔以保证干扰降低到足够小。这些会产生冲突的扰码对如下所示:

0,25; 1,118; 2,6; 3,65; 4,33; 5,47; 7,82; 8,67; 9,44; 10,40; 11,22; 12,36; 13,27; 14,116; 15,61; 16,92; 17,86; 18,32; 19,104; 20,126; 21,107; 23,34; 24,70; 26,56; 28,52; 29,89; 30,105; 31,43; 35,38; 37,117; 39,42; 41,84; 45,50; 46,64; 48,54; 49,75; 55,115; 58,102; 59,124; 60,71; 62,68; 63,123; 66,72; 78,99; 80,120; 85,125; 87,112; 90,121; 93,95; 94,109; 98,103; 110,113; 111,114。

### 4 扰码的位移性研究

对于 128 组扰码中, 某些扰码经过位移后会与其他扰码重合, 如果 2 个小区相距较近, 应该避免使用位移上会产生重合的扰码, 以图 3 为例, 具体分析如下:

假设 A 小区的信号到达用户处时, A 的扰码发生位移, 恰好与 B 小区的扰码重合。那么会出现如下情况: 如果 A 和

B 都不是该用户的主服务小区, 并且功率叠加大于切换门限并且超过一定的时间后, 那么该用户会产生错误切换。如果 A 是主服务小区, 并且由于 A 的信号强度减弱而有 B 的信号叠加, 也会使用户产生错误的切换, 造成掉话。

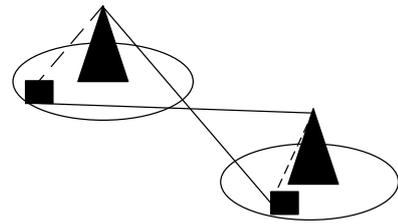


图 3 干扰信号和有用信号的传播示意图

本文计算了每个扰码与其他扰码经过位移后重合的数量, 每个扰码与其他 127 个扰码最大重合数为 6 个, 最小为 0 个, 即不重合。其具体的分布关系如表 3 所示。

表 3 扰码位移重合数量分布

| 数量 | 扰码序列编号   |
|----|--|
| 0  | 3, 24, 37, 54, 64, 70, 74, 80, 81, 87, 94, 96, 111, 113  |
| 1  | 6, 11, 17, 22, 31, 32, 49, 57, 59, 61, 62, 63, 65, 68, 76, 78, 82, 83, 86, 88, 99, 100, 102, 104, 105, 106, 107, 110, 119, 125, 126, 127 |
| 2  | 2, 4, 9, 10, 14, 15, 19, 20, 23, 25, 38, 39, 46, 48, 52, 67, 72, 73, 77, 98, 103, 112, 114, 116, 120, 122, 128                           |
| 3  | 1, 5, 7, 12, 18, 26, 28, 29, 30, 34, 51, 53, 71, 90, 92, 101, 117, 118, 121, 124   |
| 4  | 21, 44, 47, 56, 60, 69, 79, 95, 97, 109  |
| 5  | 13, 27, 33, 35, 36, 40, 41, 42, 43, 45, 50, 55, 66, 84, 85, 89, 91, 123  |
| 6  | 8, 16, 58, 75, 93, 108, 115  |

#### 4.1 对扩频因子为 8, 4, 2 时扰码性能的分析

前文是对扩频因子  $SF=16$  时的分析, 通过分析当  $SF=1, 2, 4, 8$  后有如下结论:

(1) 扩频因子分别为 16, 8, 4, 2 时, 同一扰码对的扩频码间的互相关性能具有一致性。扩频因子 16 时互相关性能好的扰码对在扩频因子 2, 4, 8 时互相关性能也较好; 同样, 扩频因子 16 时互相关性能差的扰码对在其他扩频因子时互相关性能也较差。不同扩频因子时, 码集内的各扰码间仍具有相似的互相关性能。同一码集内的扰码间有同步互相关值为 1 的扩频码对, 因此, 无论采用哪个扩频因子, 都应尽量避免将同一码集内的扰码分配给邻近的小区。

(2) 扩频因子越小, 不同扰码下的扩频码间互相关性能越差, 即码长越短, 码字间的互相关性能越差。例如, 扩频因子为 2 时, 扩频码间同步相关值为 0 或 1, 两值概率均为 50%; 扩频因子为 4 时, 不同扰码下扩频码间同步相关值为 1 的概率为 13%; 而扩频因子为 16 时, 相关值为 1 的扩频码对占总数的 1% 左右。

#### 4.2 扩频序列对异步系统的性能影响

本节主要研究 AWGN 信道下异步传输时扩频码相关性和 BER 的关系。假设接收信号的表达式为

$$r(t) = s(t) + n(t) = \sum_{k=1}^M \sqrt{\varepsilon_k} \sum_{i=1}^N b_k(i) g_k(t - iT - \tau_k) + n(t)$$

其中,  $g_k(t) = \sum_{n=0}^{L-1} a_k(n) p(t - nT_c)$ ;  $a_k(n), 0 \leq n < L$  为长度为  $L$  的扩频码序列;  $M$  为用户数, 假定各用户位于不同的邻近小区内;  $\tau_k$  为第  $k$  个用户到达接收端的时延;  $\varepsilon_k$  为第  $k$  个用户的符号能量。

当干扰小区用户到达期望小区接收端时延滞后的情况, 在接收端对第  $k$  个用户的第  $i$  个符号进行相关接收, 输出的符号表达式为

$$r_k = \sqrt{\varepsilon_k} b_k(i) + \sum_{j=1}^K \sqrt{\varepsilon_k} b_k(i) \rho_{jk}(\tau_k) + \sum_{j=1}^K \sqrt{\varepsilon_k} b_k(i-1) \rho_{jk}(\tau_k - 16) + n_0$$

其中,  $0 \leq \tau_k \leq T$ ;  $\rho_{jk}(\tau_k)$  和  $\rho_{jk}(\tau_k - 16)$  分别为第  $j$  个用户和第  $k$  个用户扩频码间相对时延为  $\tau_k$  和  $\tau_k - 16$  的归一化相关值。

对期望用户进行相关接收, 输入到判决器的判决量为

$$r_0(i) = \sqrt{\varepsilon_0} b_0(i) + \sqrt{\varepsilon_1} b_1(i) \rho(\tau) + \sqrt{\varepsilon_1} b_1(i-1) \rho(\tau - 16) + n_0$$

其中, 下标 0 表示期望小区用户; 下标 1 表示干扰小区用户;  $\rho$  为两用户扩频码间的相关值序列, 取值范围为  $0 \leq \rho \leq 1$ 。考虑到干扰小区信号到达期望小区接收端的路径损耗, 假定干扰小区用户功率和期望小区用户功率的比值为  $\beta^2$ , 即  $\varepsilon_1 = \beta^2 \varepsilon_0$ 。经过相干解调后的系统误码率为

$$P_{e1} = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x - (\sqrt{\varepsilon_0} + \sqrt{\varepsilon_1}\rho(\tau) + \sqrt{\varepsilon_1}\rho(\tau-16)))^2}{2\sigma^2}\right) dx \times P(b_1(i)=1, b_1(i-1)=1) + \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x - (\sqrt{\varepsilon_0} - \sqrt{\varepsilon_1}\rho(\tau) - \sqrt{\varepsilon_1}\rho(\tau-16)))^2}{2\sigma^2}\right) dx \times P(b_1(i)=-1, b_1(i-1)=-1) + \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x - (\sqrt{\varepsilon_0} + \sqrt{\varepsilon_1}\rho(\tau) - \sqrt{\varepsilon_1}\rho(\tau-16)))^2}{2\sigma^2}\right) dx \times P(b_1(i)=1, b_1(i-1)=-1) + \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x - (\sqrt{\varepsilon_0} - \sqrt{\varepsilon_1}\rho(\tau) + \sqrt{\varepsilon_1}\rho(\tau-16)))^2}{2\sigma^2}\right) dx \times P(b_1(i)=-1, b_1(i-1)=1) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_1}) \times \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_2}) \times \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_3}) \times \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_4}) \times \frac{1}{4} = \frac{1}{4} (Q(\sqrt{2\gamma_1}) + Q(\sqrt{2\gamma_2}) + Q(\sqrt{2\gamma_3}) + Q(\sqrt{2\gamma_4}))$$

$$\text{其中, } \gamma_1 = \frac{\varepsilon_0(1 + \beta\rho(\tau) + \beta\rho(\tau-16))^2}{N_0}; \quad \gamma_2 = \frac{\varepsilon_0(1 - \beta\rho(\tau) - \beta\rho(\tau-16))^2}{N_0}; \\ \gamma_3 = \frac{\varepsilon_0(1 + \beta\rho(\tau) - \beta\rho(\tau-16))^2}{N_0}; \quad \gamma_4 = \frac{\varepsilon_0(1 - \beta\rho(\tau) + \beta\rho(\tau-16))^2}{N_0}.$$

总的误码率表达式为

$$P_e = \frac{1}{2} P_{e0} + \frac{1}{2} P_{e1} = \frac{1}{8} (\operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_1}) + \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_2}) + \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_3}) + \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma_4}))$$

测试所选扰码组合及相关值分布如表 4 所示。

表 4 测试扰码组合及时延 2 chip 的相关值

| 同步相关系数 | 本小区扰码 | 干扰小区扰码 | 本小区信道化码 | 干扰小区信道化码 | 码片时延+2 |
|--------|-------|--------|---------|----------|--------|
| 0      | 6     | 10     | 1       | 10       | 0      |
| 0.25   | 6     | 7      | 1       | 13       | 0.125  |
| 0.5    | 6     | 9      | 4       | 10       | 0      |
| 1      | 6     | 8      | 2       | 7        | 0.125  |

## 5 相关性能的评价

无线应用的环境十分复杂, 在小区环境比较开阔的情况下, 有时候会出现时延较长的多径, 并且当主径经过深衰落, 位于次径时延处的复合码与其他用户的多径时延处复合码的自相关性决定了解调的性能。用户的多径时延会破坏复合码的相关性能, 所以在考察复合码性能的时候必须考虑到其时延相关性<sup>[2]</sup>。本文考虑的时延设定为(-4,4), 在计算每对复合码的相关性的时候采用加权的方式进行计算。

统计每个扰码和其他扰码的相关性, 如果相关性小于 0.2, 认为这对码组之间可用。每个扰码的可用数为  $num(i)$ , 它与其他扰码的相关性的均值为  $corr(i)$ , 作为最优的码自然希望其可用数多, 相关小。但在实际中是不可能的, 并且码集的数量上也是受限的。可以得知码的相关性和码组的数量是相互制约的, 所以必须对这 2 个性质进行折衷考察。本文采用的方法是把可用数从大到小排列, 把相关性从小到大排列, 每个扰码在这 2 个序列中对应的位置相加最小的即为最优码。其中,  $corr(i)$  的区间为[0.152 5, 0.181 4],  $num(i)$  的分布区间为[74, 91]。

所有扰码的得分如表 5 所示。

表 5 扰码相关性得分

| 扰码编号    | 得分   |
|---------|--|
| 1~13    | 27, 23, 51, 127, 64, 177, 56, 126, 164, 130, 127, 44, 14     |
| 14~26   | 174, 144, 92, 117, 111, 196, 153, 183, 65, 186, 124, 134, 47 |
| 27~39   | 6, 54, 2, 95, 74, 69, 67, 31, 124, 115, 138, 126, 94, 15     |
| 40~52   | 136, 71, 38, 42, 79, 121, 29, 95, 76, 88, 77, 241, 18        |
| 53~65   | 235, 97, 104, 34, 153, 245, 94, 183, 156, 203, 175, 96, 107  |
| 66~78   | 160, 7, 111, 245, 150, 216, 203, 244, 88, 66, 223, 246, 39   |
| 79~91   | 217, 236, 205, 90, 191, 35, 85, 196, 236, 168, 96, 132, 243  |
| 92~105  | 34, 175, 43, 172, 202, 152, 189, 40, 143, 224, 204, 220, 46  |
| 106~119 | 51, 236, 13, 170, 58, 223, 68, 234, 210, 53, 194, 47, 15     |
| 120~128 | 66, 230, 212, 115, 146, 229, 64, 65, 187, 216                |

经过计算, 第 29 号扰码为最优码, 其相关值是 0.152 5, 可用数为 91。

## 6 分配算法

在规划过程中应该从最难规划的小区开始进行分配<sup>[3]</sup>, 本文定义一个小区的邻区数量总数越多或者已经分配扰码的邻区越多, 那么其分配难度就越大, 分配优先级越高。计算每个小区的分配系数, 本文采用的方法是:

小区分配系数=小区的邻区数+已经分配的扰码数

扰码分配规则如下:

(1) 邻区不能出现相同的下行同步码, 即邻小区使用的扰码不能属于一个码组。

(2) 尽量避免扰码的复用, 选择使用相关性好的扰码进行分配。

(3) 扰码分配时应该避免分配与邻区已分配的扰码在 PCCPCH 上产生冲突。

(4) 扰码分配时要避免分配的扰码与邻区已经分配的扰码在位移上产生重合。

(5) 与邻小区已经分配的扰码相关性要尽可能小。

分配方法采用链式分配法<sup>[4]</sup>, 其基本思想如下:

(1) 选择一个小区分配系数最大的小区, 作为起始分配小区 A, 分配一个最优的码。

(2) 以该小区为中心, 依次为其邻小区 B 分配扰码, 分配的顺序以邻区数大小排列, 为 B1, B2, B3。

(3) 依次为 B1, B2, B3 的邻小区分配扰码。

(4) 依次为 B1 的邻区 C<sub>i</sub> 分配扰码。

(5) 依次为 B2 的邻区 D<sub>i</sub> 分配扰码。

(6) 继续, 则最终分配的顺序为 A → B1 → B2 → B3 → C1 → C2 → D1 → …

## 7 扰码分配实例

在实际的工程中, 采用上述方式进行扰码的分配。图 4 是某地区的电子地图, 其基站为 TD 网络中的实际站址, 本文采用百林 ByNear 的 TD 网络规划软件并结合提出的分配算法, 取其中的 7 个基站进行扰码的分配, 其分配结果如图 5 所示。

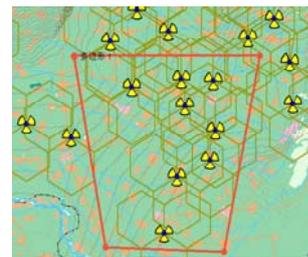


图 4 扰码分配结果

(下转第 108 页)