

基于新型距离度量的以卷积码为分量码的 MLC/PDL 性能

张玉玲* 袁东风*** 高新颖*

*(山东大学信息科学与工程学院 济南 250100)

** (东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

摘要: 该文着重研究了一种新的距离度量在以卷积码为分量码、MQAM 调制的 MLC/PDL 系统中的应用。在 Rayleigh 衰落信道下通过计算机仿真, 验证了此度量的有效性, 并得到在此度量下设计多级码的准则。

关键词: 距离度量, 多级编码, 截断卷积码, 映射, Rayleigh 衰落信道

中图分类号: TN911

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)01-0069-03

Performance of MLC/PDL with Convolutional Codes as Component Codes under a New Distance Metric

Zhang Yu-ling* Yuan Dong-feng*** Gao Xin-ying*

*(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan, 250100, China)

** (State Key Lab. on Mobile Communications, Southeast University, Nanjing, 210096, China)

Abstract A new distance metric for MLC/PDL (MultiLevel Coding/ Parallel Decoding of Levels) with MQAM constellation is proved to be applicable when punctured convolutional code is used as component code over Rayleigh fading channel. The efficiency has been demonstrated by detailed simulation results. The performance comparison between punctured convolutional code and block code under the same condition is also given.

Key words Distance metric, Multilevel Coding, Punctured convolutional codes, Mapping, Rayleigh fading channel

1 引言

自 MLC (多级编码)^[1]提出至今, 关于 MLC 方案中分量码的设计已作了许多研究。研究表明以信道容量规则为准则设计 MLC 分量码, 可以得到带宽和频率有效性接近山农限的传输系统^[2,3]。但是信道容量规则有其自身的局限性。首先, 它需要已知各个等价信道的信道容量, 但这在某些情况下是无法得到的。另外信道容量规则仅适用于采用 MSD (多阶段译码) 方法的多级编码系统, 而 MLC/MSD 系统延时大, 在有些通信系统中这么大的延时是不能容忍的。为此, 一种新的距离度量^[4]被提出并以此来指导 MLC/PDL (并行译码) 系统分量码的选取。由于文献[4]中提出的距离度量适用于采用 BCH (Bose-Chaudhuri-Hoenguen ghem) 码作 MLC 分量码的 MPSK 及 MASK 系统, 将其推广应用于 MQAM 调制系统对于未来的移动通信系统具有重要的意义。

本文在介绍了新的距离度量之后, 验证了当以卷积码为分量码时, 其在 MQAM 调制时的适用性, 并得到在此度量下设计多级码的准则。

2 MLC/PDL 系统模型

图 1 所示为 MLC/PDL 系统框图。图中以 16QAM 调制为例, 从信源发出的数据经过串并转换, 分别进入 4 个并行的截断卷积码 (Punctured Convolutional Code, PCC) 编码器, 输出相同码长的数据进行 16QAM 调制, 然后进入 Rayleigh 衰落信道, 引入噪声之后, 在接收端进行相应的解调及维特比译码 (Viterbi Decoding, VD)。在 MLC 方案中, 有两个关键部分: 一是分量码的设计, 二是映射规则及标签的设计。下面我们将分别介绍这两部分。

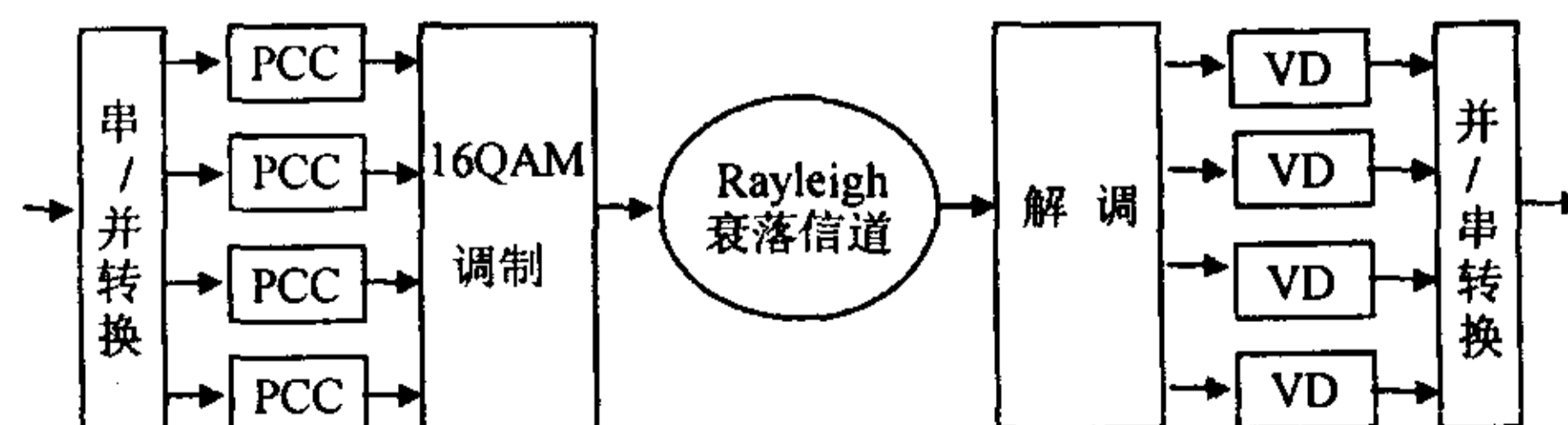


图 1 MLC/PDL 系统框图

2003-06-07 收到, 2003-11-26 改回

国家自然科学基金(60372030), 山东省自然科学基金重点项目, 教育部留学回国人员基金(教外司留[2003]406), 教育部《高等学校骨干教师资助计划》([2000] 65), 东南大学移动通信国家重点实验室访问学者基金(V-99004)资助课题

3 分量码的设计

3.1 分量码的选择

目前,MLC中使用的分量码主要是一种分组码——BCH码,但是,BCH码所能提供的码率是以一定的步长而变化的,还不能满足MLC对码率设计连续变化的要求,在很多时候,都只能用近似的方法去逼近MLC所需分量码的码率,还不能充分发挥MLC的性能。卷积码所提供的码率在很大程度上能够弥补BCH码所留下的码率空缺,与BCH码配合使用,就可以扩大MLC分量码的设计空间,但高码率卷积码如3/4码、7/8码等,其Viterbi译码器过于复杂,因此很少用于MLC中。而PCC的出现,则为这个问题的解决提供了一种方法。PCC的原理就是由同一个1/n码率的母码的编码器进行编码,根据要得到的码率的不同,周期性地删除要送入信道的编码序列中的某些比特;而在译码时,对于接收到的序列,无论其码率是多少,均按照原来母码的码率进行Viterbi译码,从而以极小的附加复杂度,获得了编、译码的灵活性和可变性。在本文中我们采用了PCC作为MLC系统的分量码。

3.2 传统距离度量

传统的距离度量仅仅基于信号空间的平方欧氏距离:

$$d^2 \geq \min_{1 \leq i \leq m} \delta_i d_i^2 \quad (1)$$

其中 δ_i 是指第*i*级分量码 C_i 的最小自由距(对于分组码来说是最小汉明距), d_i^2 是第*i*级集分割子集信号点之间的最小欧氏距离。但是这种度量有一定的局限性。以8PSK调制BP映射为例, $d_1^2=d_2^2=d_3^2=0.586$ 。经过分割后每一级的距离参数保持不变。那么这时,最小欧氏距离就只由 δ_i ($i=1,2,3$)决定,参数 d_i 已不起作用。我们以以下两组码为例: $C: 2/3, 2/3, 6/7$; $C': 6/7, 2/3, 2/3$ 。其中我们以(2,1,3)卷积码为母码来产生2/3率(最小自由距为6)及6/7率(最小自由距为3)卷积码。二者的最小平方欧氏距离相等,且二者的 $\min_{1 \leq i \leq m} \delta_i d_i^2$

均为 3×0.586 ,因此基于传统的距离度量我们无法区分这两组码的性能,因此需要寻找新的度量从理论上体现码的性能差异。

3.3 一种新型的距离度量

针对传统距离度量的局限性,一种新的距离度量定义如下^[4]:

$$d^2 \geq \min_{1 \leq i \leq m} \delta_i d_i^2 d_{ss}^{(i)} \quad (2)$$

式(2)与式(1)相比,新增加了第3个参数 d_{ss} ,即每次集分割后对应的两个子集之间的距离。该参数的具体意义如下:

当采用PSK调制时,该参数表示旋转距离,即经过每次集分割后,如果其中一个子集旋转某个角度后与另外一个子集完全重合,那么这个角度即旋转距离。当采用ASK调制时,该参数表示平移距离,即经过每次集分割后,如果其中一个子集平移某个距离后与另外一个子集完全重合,那么这个距离即平移距离。

为了更清楚地说明该参数的含义,我们以图2为例,其中 $d_{ss}^{(1)}=180^\circ$, $d_{ss}^{(2)}=90^\circ$, $d_{ss}^{(3)}=45^\circ$ 。根据式(2),对于3.2节中的码 $C: d^2 \geq 3 \times 0.586 \times 45^\circ$,对于码 $C': d^2 \geq 6 \times 0.586 \times 45^\circ$,这样我们就可以看出两组码的差异。

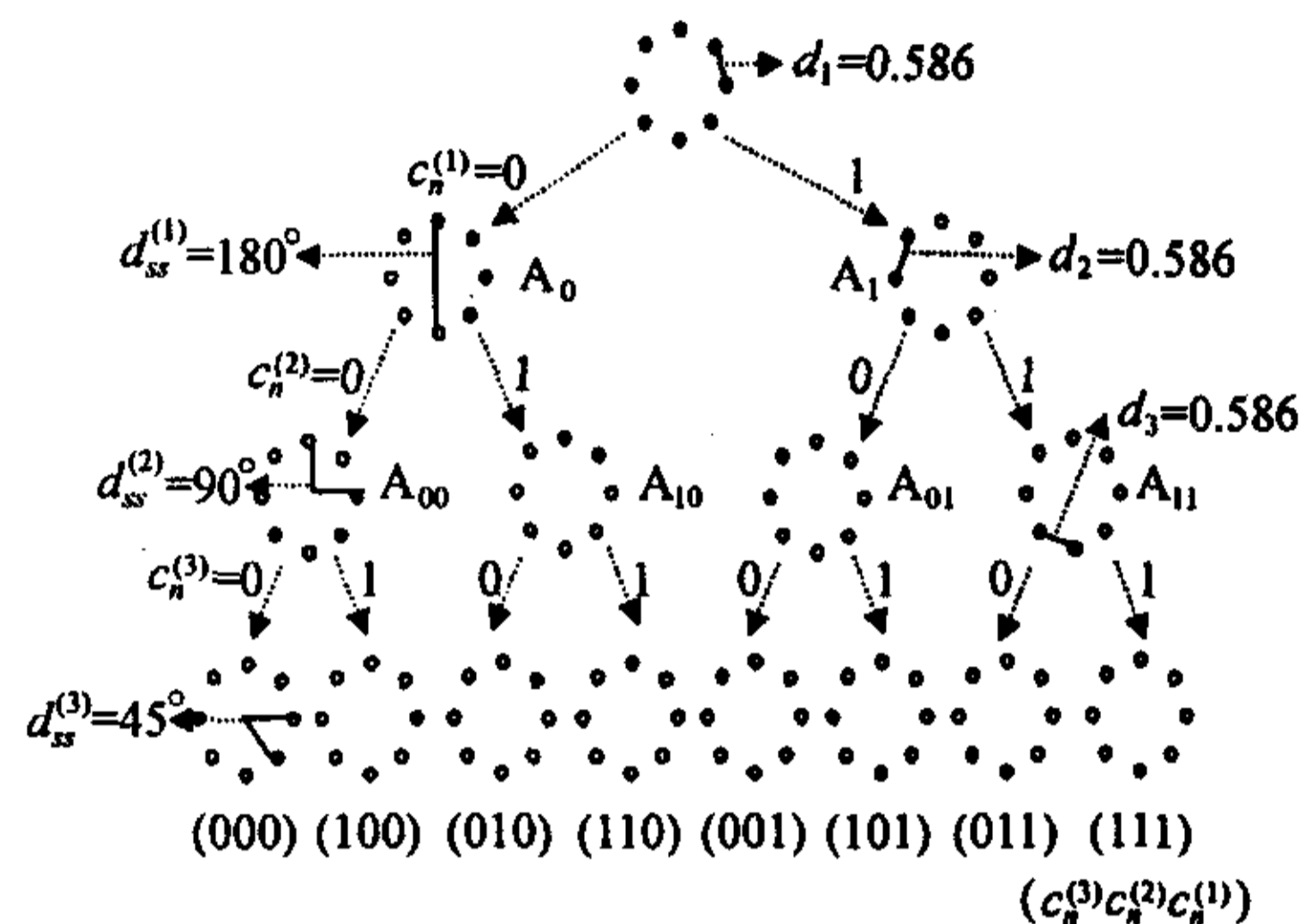


图2 8PSK调制BP映射

3.4 MLC的率设计规则

在MLC系统中,为了获得整体的优异性能,我们通常通过参数选择使得每一级码的乘积距离 $\delta_i d_i^2$ 相等,也就是平衡距离准则。同样地,基于新的距离度量,我们应该选择参数使得每级码的 $\delta_i d_i^2 d_{ss}$ 相同。以4ASK调制BP映射为例(图3) $d_1^2=d_2^2$, $d_{ss}^{(1)}=2d$, $d_{ss}^{(2)}=d$,根据新的平衡距离准则,我们应该选取 $\delta_2=2\delta_1$ 。

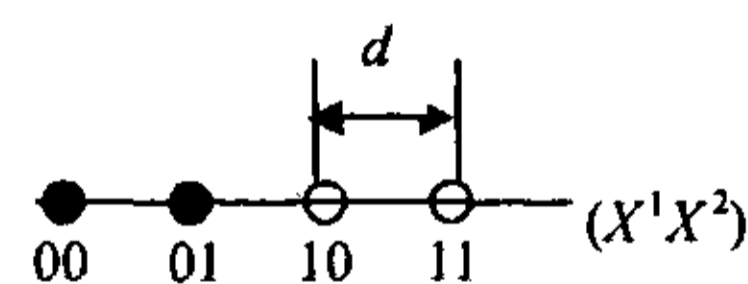


图3 4ASK调制BP映射

4 新型距离度量在MQAM调制时的应用

以16QAM为例,当我们把16QAM调制看作两路正交的4ASK调制时^[5],这种新型的距离度量就可以应用到每一路的调制中。从映射的角度来看,这种正交两路的分析,可以看成两种新的分割方法:UP/UP(Ungerboeck Partitioning)和BP/BP(Block Partitioning),如图4,图5所示。可以看出, $\{X^0 X^1\}$ 与 $\{X^2 X^3\}$ 之间是相互独立的,它们的编码和译码可以独立完成,相当于两路正交的4ASK信号。

5 仿真结果及分析

本文仿真了Rayleigh衰落信道下,在UP, BP, UP/UP,

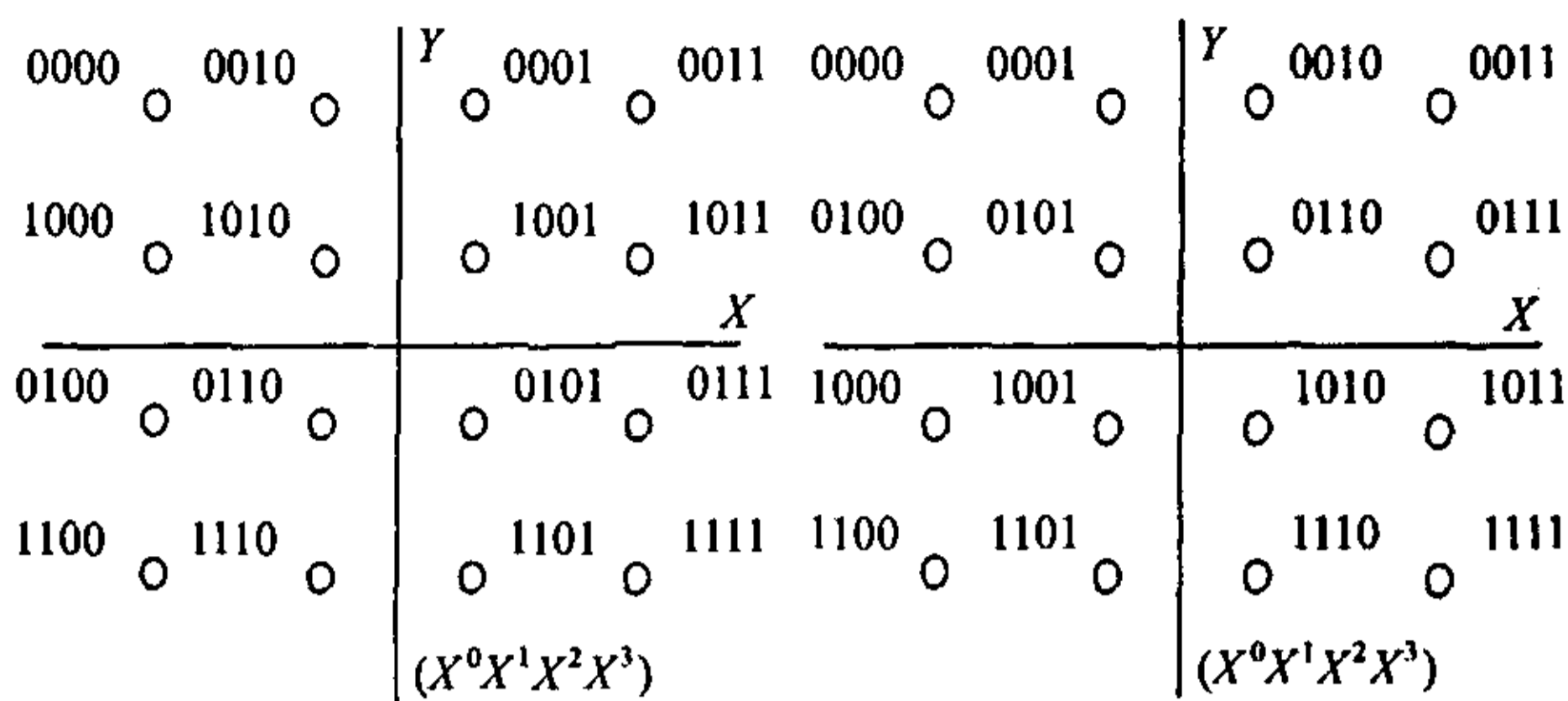


图 4 16QAM UP/UP

图 5 16QAM BP/BP

由图 7 可得:

(1) 对于码 A, 在误码率 $P_b=10^{-5}$ 时, 采用 UP/UP 分割相对于 UP 分割来说, 也有大约 3dB 的增益。

(2) 采用 UP/UP 分割时, 对于码 A, 在误码率 $P_b=10^{-5}$ 时, 相比于码 B, 有大约 3dB 的增益, 再次验证了此距离度量的有效性。

6 结论

QAM (正交幅度调制) 是一种带宽有效的数字信号调制技术, 由于文献[4]中提出的距离度量适用于 MPSK 及 MASK 系统, 将其推广应用于 MQAM 调制系统对于未来的移动通信系统具有重要的意义, 本文通过仿真, 验证了在以卷积码为分量码, 采用 16QAM 调制的 MLC/PDL 系统中, 该新的距离度量仍然适用, 而且结论可以推广到 MQAM 情况下。

参考文献

- [1] Imai H, Hirakawa S. A new multilevel coding method using error correcting codes. *IEEE Trans. on Info. Theory*, 1977, 23(3): 371 - 377.
- [2] Huber J B, Wachsmann U. Capacity of equivalent channels in multilevel coding schemes. *Electronics Letters*, 1994, 30 (7): 557 - 558.
- [3] Wachsmann U, Fischer R F H, Huber J B. Multilevel codes: Theoretical concepts and practical design rules. *IEEE Trans. on Info. Theory*, 1999, 45 (5): 1361 - 1391.
- [4] Yuan Dong-feng, Gao Chun-yan. New distance metric for MLC/PDL system. *Chinese Journal of Electronics*, 2002, 11 (1): 13 - 117.
- [5] Yuan Dong-feng, Zhang Peng, Wang Qian, et al.. A novel multilevel codes with 16QAM. *IEEE WCNC'2002, Orlando, Florida, USA, 2002, 1: 260 - 263.*

张玉玲: 女, 1980 年生, 硕士, 研究方向: 高速宽带移动通信中基于 OFDM 的纠错抗干扰理论研究及自适应编码调制。
 袁东风: 男, 1958 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 高速宽带移动通信中基于 OFDM 的纠错抗干扰理论及关键技术研究。
 高新颖: 女, 1981 年生, 硕士, 研究方向: 高速宽带移动通信中基于 OFDM 的纠错抗干扰理论及关键技术研究。

BP/BP 4 种分割方式下的 MLC/PDL 系统性能。Rayleigh 衰落信道的包络 $a(t)$ 服从 Rayleigh 分布: $f(a) = 2ae^{-a^2}$, ($a \geq 0$)。分量码选择截断卷积码, 调制方式选择 16QAM。为降低运算复杂度, 其中 1/2 率 (自由距为 5) 和 3/4 率 (自由距为 3) 的码均由 (2, 1, 3) 卷积码产生。系统总码率为 2.5bit/符号。卷积码各级码率分别为: 码 A: 1/2, 3/4, 1/2, 3/4, 码 B: 3/4, 1/2, 3/4, 1/2。

当 1 个 16QAM 信号分解为 2 个 4ASK 信号时, 2 个 4ASK 信号的总码率是相等的, 对于每一路 4ASK 信号: 当采用 BP/BP 分割时, $\min_{1 \leq i \leq m} \delta_i d_i^2 d_{ss}^{(1)} = \delta_1 \times 0.586 \times 2$, $\min_{1 \leq i \leq m} \delta_i d_i^2 d_{ss}^{(2)} = \delta_2 \times 0.586 \times 1$ 。根据由新的距离度量准则导出的新平衡距离准则, 我们应该选取 $\delta_2 = 2\delta_1$ 。很明显, 两组码中码 A 不符合此标准, 因此我们可以预测码 B 的性能要优于码 A。同样的方法我们也可以预测当采用 UP/UP 分割时, 码 A 的性能要优于码 B。下面我们来看计算机仿真结果。

由图 6 我们可以得:

(1) 对于码 B, 在误比特率 $P_b=10^{-5}$ 时, 采用 BP/BP 分割相对于 BP 分割来说, 有大约 4dB 的增益。说明采用卷积码为分量码时这种新的分割方法是可行的, 并且会带来编码增益。

(2) 在采用 BP/BP 分割时, 对于码 B, 在 $P_b=10^{-5}$ 时, 相比于码 A, 有大约 5dB 的增益, 从而验证了此距离度量的有效性。

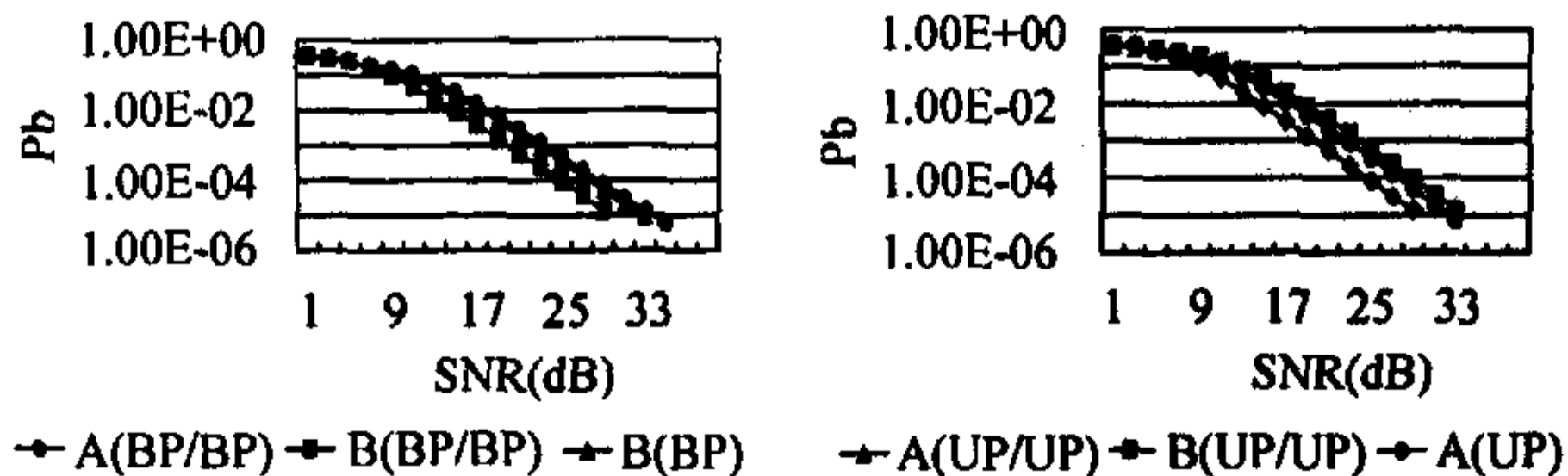


图 6 卷积码 BP/BP 与 BP 性能比较

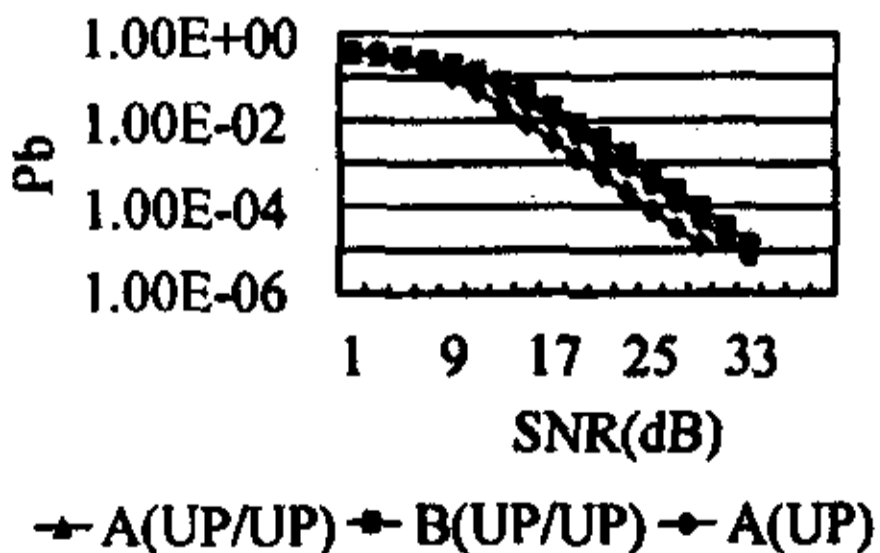


图 7 卷积码 UP/UP 与 UP 性能比较