

# 基于空间网格图的低复杂度 联合信源信道编译码方法<sup>\*</sup>

霍岳恒<sup>1</sup>, 张 灿<sup>1,2†</sup>, 高绍帅<sup>1</sup>

(1 中国科学院研究生院信息科学与工程学院, 北京 100049;

2 中国科学院研究生院信息安全国家重点实验室, 北京 100049)

(2011 年 4 月 22 日收稿; 2011 年 6 月 1 日收修改稿)

Huo Y H, Zhang C, Gao S S. Low-complexity joint source-channel coding and decoding approach based on space trellis[J]. Journal of Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2012, 29(4): 493-500.

**摘 要** 在分析和研究空间网格图和优化方法的基础上, 采用约束条件方程组和权重值递推方法, 优化空间网格图的权重参数, 提出基于空间网格图的低复杂度联合信源信道编译码方法. 仿真实验结果表明, 与现存方法相比, 该方法有效降低了计算复杂度, 并改善了译码性能, 可应用于资源受限的空间通信中的流媒体的联合编译码.

**关键词** 联合信源信道编译码; 变长 Turbo 码; 空间网格图; 权重值优化设计

**中图分类号** TN911.2

近年来, 蜂窝移动通信、无线传感器网络、无线 Internet、空间通信等无线网络的迅速发展, 给人类通信带来了巨大的便利. 同时在深空通信等资源受限的环境中, 存在随机误差、突发误差、传输中的丢包误差、延时抖动等带来的信息传输有效性、可靠性和复杂性等问题, 经典的香农信息论的信源和信道编码的分离理论已不再完全适用. 因此, 学者们开始研究信源 VLC (variable-length codes, VLC) 编码与信道编码相结合的联合编译码算法<sup>[1]</sup>. Bauer 和 Hagenauer<sup>[2-3]</sup>构造了符号级 VLC 网格图, 实现了 VLC 码与卷积码的符号级联合迭代译码. 由于该符号级译码算法复杂度较高, Bauer 和 Hagenauer<sup>[4]</sup>进一步研究了基于比特级 VLC 网格图的迭代译码算法, 在损失一定译码性能的同时, 有效降低了译码复杂度.

Turbo 码具有逼近香农限的译码性能<sup>[5]</sup>. 将 Turbo 码和 VLC 的优异性能相结合, Peng 等<sup>[6]</sup>提出一种基于外信息反馈加权的联合 Turbo 译码方法, 由于该方法在译码时未充分利用信源的先验信息, Lakovic 和 Villasenor<sup>[7]</sup>将 VLC 译码器和 Turbo 码的第 1 个分量译码器结合, 组成 VLC-CC<sub>1</sub> (convolutional codes, CC) 联合译码器, 充分利用先验信息, 提高了译码性能. J. Liu 和 G. Tu 等<sup>[8]</sup>将 VLC 网格图和卷积码网格图结合, 构造了一种 VLC 码和 RSC (recursive systematic convolutional codes, RSC) 码的复合状态联合网格图, 利用信源变长编码的先验知识, 提出变长 Turbo 码联合编译码方法, 提高了译码性能. 平面网格图的变长 Turbo 码编译码计算复杂度高, 本文在文献[9]的基础上, 采用约束条件方程组和权重值递推方法, 优化设计空间网格图权重参数, 提出基于空间网格图的低复杂度联合编译码方法, 有效地减少了计算复杂度, 同时改善了编译码性能.

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(61032006, 60972067)和国家科技重大专项(2010ZX03002-008)资助

<sup>†</sup> 通信作者, E-mail: czhang@gucas.ac.cn

# 1 基于平面网格图的联合信源信道编译码方法

## 1.1 基于平面网格图的变长 Turbo 码的编译码

J. Liu 和 G. Tu 等<sup>[8]</sup>将信源的联合编码与 Turbo 码相结合,利用信源的变长编码的先验信息,构造了变长码的平面联合网格图,提出了基于变长 Turbo 码的联合信源信道编译码(JSCC/D)方法. 在编码器端,编码符号序列  $U$  经过变长编码器与 RSC1 作为水平分量码,同时  $U$  并行进入量化器  $Q$  转化为二进制比特序列,经过交织器  $\Pi$  后通过 RSC2 作为垂直分量码. 译码端主要由 2 个软输入/软输出 SISO (soft-input soft-output, SISO) 模块组成. 其中,联合符号级译码模块对应编码器的 VLC 和 RSC1 组成水平编码器,采用变长符号级后验概率 VLS-APP 译码算法,而比特级译码模块对应编码端的垂直分量编码器 RSC2,采用传统的比特级 MAP(maximum A posteriori probability, MAP)译码算法. 2 个 SISO 模块之间交换外信息,通过若干次迭代后,对译码输出的符号对数似然比进行符号判决,就可以得到对符号序列的最优估计  $\hat{U}$ .

## 1.2 基于变长 Turbo 码的低复杂度联合信源信道编译码

Bauer 和 Hagenauer 等<sup>[2]</sup>首先构建了符号级 VLC KN 平面网格图,其中横坐标索引  $k$  表示编码的符号数,纵坐标索引  $n$  表示编码符号序列经过 VLC 编码后的比特个数. 根据符号级 VLC KN 平面网格图提出了变长联合信源信道译码算法. 为了减少网格图的存储空间,采用如下变换<sup>[2]</sup>:

$$\nu = n - k \cdot l_{\min}, \quad (1)$$

其中,  $l_{\min} = \min\{l_i | i \in X\}$ , 将比特长度索引  $n$  转换为比特状态索引  $\nu$ , 得到简化的符号级 VLC KV 平面网格图<sup>[2-3]</sup>.

CCSDS IDC(consultative committee of space data systems image data compression, CCSDS IDC)<sup>[10]</sup>信源编码产生的输出码流是二进制码流,只含有“0”和“1”2 种符号,并且连“0”串和连“1”串是相互交错出现的,因此对 CCSDS IDC 的小波系数输出的码流进行游程编码时,只需要首先假定码流最开始是连“0”串或“1”串<sup>[11]</sup>. 文献[12]给出统计结果及信源符号和变长码参数. 信源为 12 个符号的符号权重值如表 1 所示. 从表 1 结果可以看出,输出码流最大游程长度为  $L = 12$  的二进制游程编码. 12 个符号的符号级 VLC KV 平面网格图如图 1 所示. 横坐标索引  $k$  表示编码的符号数,纵坐标索引  $\nu$  表示编码符号序列经过 VLC 编码后的比特状态.

表 1 信源为 12 个符号及其参数

Table 1 12-symbol source and its parameters

信源 符号	概率 分布	变长编 码码字	变长编 码长 $l_i$	符号权重 $\phi_i$
1	0.4926	0	1	0
2	0.2428	10	2	0
3	0.1122	110	3	1
4	0.0572	11111	5	2
5	0.0305	11100	5	3
6	0.0163	111100	6	4
7	0.0155	111011	6	5
8	0.0153	111010	6	6
9	0.0082	1111010	7	7
10	0.0050	11110111	8	8
11	0.0028	111101101	9	9
12	0.0016	111101100	9	10

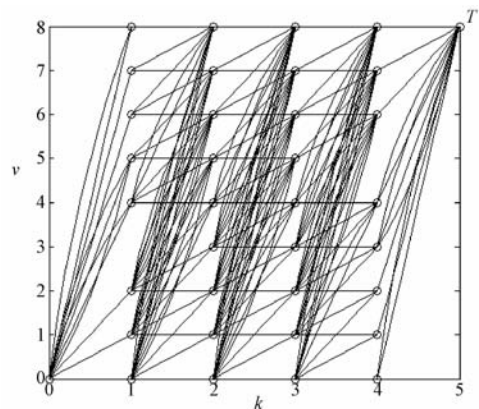


图 1 符号级 VLC KV 网格图

Fig. 1 Symbol-level VLC KV trellis

J. Liu 和 G. Tu 等<sup>[8]</sup>将符号级 VLC 网格图与状态 RSC 网格图联合,构造了复合状态的变长符号级联合平面网格图,提出基于平面网格图的 VLS-APP 译码算法,实现了 4 符号变长 Turbo 码的符号级联合信源信道编译码。

变长 Turbo 码的符号译码随着信源符号为 12,每次累计符号个数为  $K$ ,竞争路径正比于  $12^K$  增加,计算复杂度高。为了减少计算复杂度,S. Chen 和 C. Zhang<sup>[9]</sup>等人通过为每个信源符号  $x_i$  赋予“符号权重  $\phi_i$ ”构造一种基于变长 Turbo 码的 VLC 空间网格图,有效减少了网格图的竞争路径,降低了变长 Turbo 码 VLS-APP 算法的复杂度,同时提高了译码性能。

一个空间网格图的实例如图 2 所示。译码序列为  $U = [1, 1, 2, 3, 6]$  (信源信息及变长编码长和权重值如表 1 所示),可得  $U$  的累计符号个数  $K = 5$ ,累计比特个数  $\text{bit}N = 13$  (累计比特状态  $V = \text{bit}N - K \cdot l_{\min} = 8$ ),累计符号权重  $\phi = 5$ ,得到的空间网格如图 2 所示。约束条件累计符号个数  $K = 5$ 、累计比特个数  $\text{bit}N = 13$  (则累计比特状态  $V = \text{bit}N - K \cdot l_{\min} = 8$ ) 以及累计符号权重  $\phi = 5$  决定了空间网格图的终点  $T'$ ,最终所有符号序列路径都将汇聚到该点。只满足平面网格图约束条件 ( $K = 5, \text{bit}N = 13$ , 即  $V = \text{bit}N - K \cdot l_{\min} = 8, \phi \neq 5$ ) 的符号序列路径都将被排除在空间网格图之外,如图 3 中的  $U' = [9, 3, 1, 1, 1]$  (符号序列  $U'$  的  $K = 5, \text{bit}N = 13$ , 即  $V = \text{bit}N - K \cdot l_{\min} = 8, \phi = 8$ ),这使得网格图的竞争路径减少。

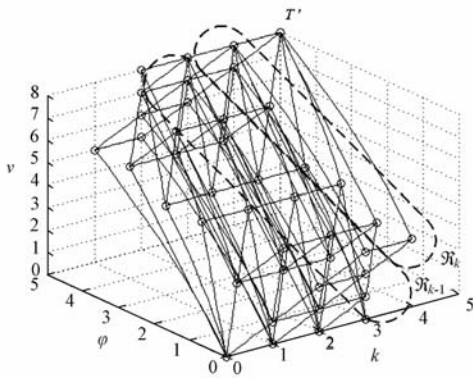


图 2 符号  $K=5$  VLC 空间网格图

Fig. 2 Symbol length  $K=5$  VLC space trellis

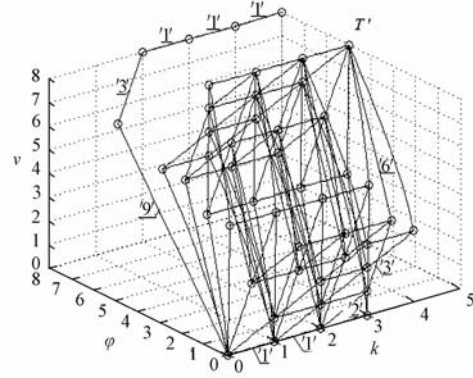


图 3 符号  $K=5$  VLC 空间网格图与一条排除的路径

Fig. 3 Symbol length  $K=5$  VLC space trellis and an excluded path

本文在文献[9]的基础上,采用约束条件方程组和权重递推方法,提出了基于空间网格图的低复杂度联合编译码方法。

## 2 空间网格图优化设计

### 2.1 网格图约束条件的数学表示

信源集合为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ , 信源  $x_i$  对应的概率分布为  $p_1, p_2, \dots, p_M$ , 信源集合映射变长符号(码)为  $C = \{c(x_1), c(x_2), \dots, c(x_M)\}$ , 设符号对应的权重值分别为  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_M$ . 译码符号序列  $U = [u_1, u_2, \dots, u_K] (u_1, u_2, \dots, u_K \in X)$  的长度为  $K$ . 每个符号  $u_k (k = 1, 2, \dots, K)$  对应为一个 VLC 码字  $c(u_k)$ . 编码器通过信道发射  $K$  个 VLC 码组  $C(U) = [c(u_1), c(u_2), \dots, c(u_K)]$ ,  $C(U)$  的比特长度为  $\text{bit}N$ , 序列  $U$  的累计权重为  $\phi$ . 接收机根据比特长度  $\text{bit}N$  序列累计权重  $\phi$  和码长  $K$  建立空间网格图, 对接收的变长符号序列  $U$  进行 VLS-APP 译码。

设变长码字  $c(x_1), c(x_2), \dots, c(x_M)$  对应的码长分别为  $l_1, l_2, \dots, l_M$ , 长度为  $K$  的译码符号序列  $U = [u_1, u_2, \dots, u_K] (u_1, u_2, \dots, u_K \in X)$  是信源符号  $x_1, x_2, \dots, x_M$  中的码字。对应码字个数分别为  $y_1, y_2, \dots, y_M$ , 译码的符号序列  $U$  对应的网格图约束条件“译码累计符号个数  $K$ ”可表示为

$$\sum_{j=1}^M y_j = y_1 + y_2 + \dots + y_M = K, \quad (2)$$

约束条件“累计比特个数 bitN”可表示为

$$\sum_{j=1}^M l_j y_j = l_1 y_1 + l_2 y_2 + \cdots + l_M y_M = \text{bit}N. \quad (3)$$

约束条件“累计符号权重  $\phi$ ”可以表示为

$$\sum_{j=1}^M \phi_j y_j = \phi_1 y_1 + \phi_2 y_2 + \cdots + \phi_M y_M = \phi. \quad (4)$$

现存的平面网格图的约束条件仅有“累计符号个数  $K$ ”和“累计比特个数 bitN”,平面网格图约束方程组 I:

$$\text{I. } \begin{cases} y_1 + y_2 + \cdots + y_M = K \\ l_1 y_1 + l_2 y_2 + \cdots + l_M y_M = \text{bit}N; \end{cases} \quad (5)$$

$$(6)$$

为了减少计算复杂度,在空间网格图上增加了约束条件“累计符号权重  $\phi$ ”,空间网格图约束方程组 II:

$$\text{II. } \begin{cases} y_1 + y_2 + \cdots + y_M = K \\ l_1 y_1 + l_2 y_2 + \cdots + l_M y_M = \text{bit}N \\ \phi_1 y_1 + \phi_2 y_2 + \cdots + \phi_M y_M = \phi. \end{cases} \quad (5)$$

$$(6)$$

$$(7)$$

方程组 I 和 II 的解是译码累计符号个数  $[0, K]$  上的整数. 方程组 I 从起点经过  $K$  个符号译码达到终点  $T$  (如图 1 所示), 式(5)与式(6)的 2 平面相交的点集构成了译码路径; 方程组 II 是式(5)、式(6)和式(7)3 个平面相交构成了空间网格图译码路径 (如图 2 所示). 从上面分析可以看出, 增加约束权重值条件优化权重参数值, 减少了译码路径 (如图 3 所示). 通过优化设计权重参数, 可以增强空间网格图方程组的约束作用, 进一步减少译码路径, 从而更大程度的降低译码复杂度.

## 2.2 空间网格图权重值的递推方程

根据以上分析, 采取递推方式构造权重值: 对于有  $M$  个符号的信源集合  $X = \{x_1, x_2, \cdots, x_M\}$ , 译码符号序列  $U$  的长度为  $K$ , 设  $l_1 \neq l_2$ , 权重值的递推算法基本思路为, 先设  $\phi_1 = \phi_2 = 0$ , 为平面网格图情况, 令

$$\phi_3 = 1, \phi_4 = \phi_3 K + 1 = K + 1 = \frac{K^2 - 1}{K - 1},$$

$$\phi_5 = \phi_4 K + 1 = K^2 + K + 1 = \frac{K^3 - 1}{K - 1}, \cdots, \phi_M = \phi_{M-1} K + 1 = K^{M-3} + K^{M-2} + \cdots + K + 1 = \frac{K^{M-2} - 1}{K - 1}.$$

按以上方法取得权重值较大, 可设  $\phi_1 = \phi_2 = 0$ , 为平面网格图情况, 令  $\phi_3 = 1, \phi_4 = \lambda e^{-4a} p(x_4) \frac{K^2 - 1}{K - 1}, \cdots,$

$\phi_M = \lambda e^{-Ma} p(x_M) \frac{K^{M-2} - 1}{K - 1}$ . 式中  $p(x_m)$  为第  $m$  个信源的概率分布,  $\lambda$  为调整步长,  $a$  为衰减常数 ( $\lambda$  和  $a$

为常数, 由实验获得, 影响译码的计算复杂度). 根据权重值  $\phi_i$ 、符号个数  $K$  和比特长度 bitN 构造空间网格译码图 (如图 2 所示). 由图 2 可知, 由信源集合  $X$  映射变长符号  $C = \{c(x_1), c(x_2), \cdots, c(x_M)\}$  发射到信道上, 对应的译码序列  $U = [u_1, u_2, \cdots, u_K]$  所有可能变长码字都存在于图 2 的空间网格图上, 译码是计算方程组 II 的最佳译码路径.

## 2.3 基于空间网格图的快速译码算法

将空间网格图上的状态节点和状态转移分支投影到“符号个数索引  $k$ ”和“比特状态索引  $\nu$ ”的二维平面上, 保持图中状态节点之间的转移关系不变, 生成简化的 VLC KV 平面网格图, 利用此 VLC 网格图构造复合状态的变长符号级联合网格图, 再基于复合状态联合网格图采用 VLS-APP 算法进行联合信源信道译码. VLC 网格图的复杂度直接影响了 VLS-APP 算法的计算量. 简化的 VLC KV 平面网格图复杂度低, 使得 VLS-APP 算法的计算量减少, 译码速度加快.

## 3 实验结果与分析

仿真实验在 Pentium(R)<sub>4</sub> 个人计算机上进行, 选择加性高斯白噪声下的 BPSK 调制方式. 使用由

CCSDS IDC 编码输出码流得到的如表 1 所示的信源为 12 个符号和参数. 采用 VLS-APP 算法. 对本文提出的基于空间网格图的低复杂度联合编译码方法进行实验仿真,为了验证该算法的计算复杂度和译码性能,将该方法同现存方法<sup>[8-9,13]</sup>进行了比较.

仿真实验 1 译码计算复杂度比较. 为了比较本文的空间网格图的权重优化与文献<sup>[8]</sup>的平面网格图的计算复杂度权重值赋值方法对译码计算复杂度,设联合空间网格图路径分支数为  $B_1$ ,联合平面网格图路径分支数为  $B_2$ ,则 VLS-APP 算法在 2 种网格图中减少的计算量定义为<sup>[9]</sup>

$$\Delta d = (B_2 - B_1)/B_2. \quad (8)$$

对符号个数为 4 的信源集合在不同权重  $\phi_i$  的计算量比较和参数如表 2 所示. 实验的总符号数为 100000,译码符号长度  $K=16$ ,交织长度  $N=640$  bit,迭代译码 4 次. 权重值的衰减参数取  $a=0$ ,调整步长分别取  $\lambda_1=3.09, \lambda_2=5.14, \lambda_3=17.48, \lambda_4=18.51$  得到  $\phi_{x_1}(1), \phi_{x_2}(2), \phi_{x_2}(3)$  和  $\phi_{x_2}(4)$ . 表 2 的实验结果表明,  $\phi_{x_1}(3)$  为最佳权重值,平面网格图分支路径数量减少了 24.6%. 当  $\phi_4 \leq K+1=17$  时,调整步长  $\lambda$  越大,计算量减少的越多;而当  $\phi_4 > K+1=17$  时,如  $\phi_{x_1}(4)$ ,网格图减少的计算量  $\Delta d$  也不会再增加,  $\phi_{x_1}(3)$  的优化性能已达到最佳.

表 2 信源为 4 个符号和译码符号长度  $K=16$  时,不同权重值计算量的比较  
Table 2 Comparison of computation with different weight values when the source contains 4 symbols and the decoding symbol length  $K=16$

$X_1$	概率分布	变长编码码字	变长编码长 $l_i$	权重 $\phi_i$			
				$\phi_{x_1}(1)$	$\phi_{x_1}(2)$	$\phi_{x_1}(3)$	$\phi_{x_1}(4)$
1	0.4926	0	1	0	0	0	0
2	0.2428	10	2	0	0	0	0
3	0.1122	110	3	1	1	1	1
4	0.0572	11111	5	3	5	17	18
$\Delta d$				16.9%	21.5%	24.6%	24.6%

对符号个数为 12 的信源集合在不同权重  $\phi_i$  的计算量比较和参数如表 3 所示. 实验的总符号数为 100 000,译码符号长度  $K=10$ ,交织长度  $N=400$  bit,迭代译码 4 次. 权重值的衰减参数取  $a=1.6$ ,调整步长分别取  $\lambda_1=1325, \lambda_2=3312, \lambda_3=5520$  得到  $\phi_{x_2}(1), \phi_{x_2}(2)$  和  $\phi_{x_2}(3)$ . 表 3 的实验结果表明,3 组权重值中  $\phi_{x_2}(3)$  为最佳权重值,平面网格图分支路径数量减少了 50.3%.

表 3 信源为 12 符号和译码符号长度  $K=10$  时,不同权重值对 VLS-APP 计算量比  
Table 3 Comparison of VLS-APP computation with different weight values when the source contains 12 symbols and the decoding symbol length  $K=10$

$X_2$	概率分布	变长编码码字	变长编码长 $l_i$	权重 $\phi_i$		
				$\phi_{x_2}(1)$	$\phi_{x_2}(2)$	$\phi_{x_2}(3)$
1	0.4926	0	1	0	0	0
2	0.2428	10	2	0	0	0
3	0.1122	110	3	1	1	1
4	0.0572	11111	5	1	3	6
5	0.0305	11100	5	2	4	6
6	0.0163	111100	6	2	4	7
7	0.0155	111011	6	3	8	13
8	0.0153	111010	6	6	16	26
9	0.0082	1111010	7	7	17	28
10	0.0050	11110111	8	8	21	35
11	0.0028	111101101	9	9	23	39
12	0.0016	111101100	9	11	27	45
$\Delta d$				32.3%	43.6%	50.3%

为了比较不同信源符号个数的译码时间,本文采用 4 个信源符号和 12 个信源符号 2 种情况(4 个信源符号及其参数见表 2,译码符号长度  $K=16$ ,交织器长度  $N=640$  bit,迭代译码 4 次;12 个信源符号及其参数见表 3,译码符号长度  $K=10$ ,交织器长度  $N=400$  bit,迭代译码 4 次),总符号数为 100 000,对本文方法(4 个信源符号情况权重值取表 2 中的  $\phi_{x_1}(3)$ ,12 个信源符号时权重值取表 3 中的  $\phi_{x_2}(3)$ )与文献[9]方法(4 个信源符号情况权重值取  $\phi_1=0, \phi_2=1, \phi_3=2, \phi_4=3$ ,12 个信源符号情况权重值取  $\phi_1=0, \phi_2=1, \phi_3=2, \phi_4=3, \phi_5=4, \dots, \phi_{12}=11$ )和文献[8]变长 Turbo 码方法进行译码时间比较.如图 4 所示.实验结果表明,在译码时间方面,信源为 4 个符号时,本文方法较文献[9]方法减少了 5.4%,较文献[8]方法减少了 13.3%;信源为 12 个符号时,本文方法较文献[9]方法减少了 16.6%,较文献[8]方法减少了 30.1%.可以看出,与文献[9]和文献[8]方法相比,本文方法有效减少了译码时间,降低了译码复杂度.

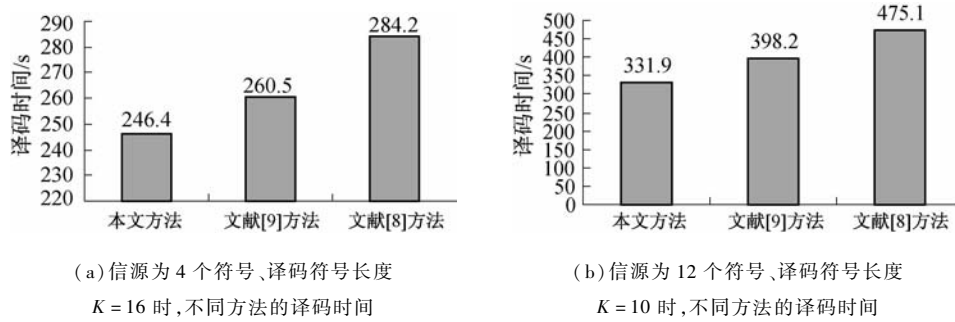


图 4 不同方法的译码时间比较

Fig. 4 Decoding time comparison between different methods

#### 仿真实验 2 不同权重值的译码性能比较.

实验中每比特信号能量和噪声功率谱密度的比值  $E_b/N_0$  ( $E_b$  为比特的平均能量,  $N_0$  为单边噪声功率谱密度)定义为

$$E_b/N_0 = \text{SNR} - 10\log_{10}R, \quad (9)$$

其中, SNR 为高斯信道的信噪比,  $R$  为系统码率,  $E_b/N_0$  和 SNR 的单位都是 dB.

实验中使用 Levenshtein 距离<sup>[14]</sup>计算符号错误率 SER. 将发送的符号序列为记为  $U_t$ , 包含  $\|U_t\|$  个符号, 译码器输出的符号序列记为  $U_r$ ,  $U_t$  和  $U_r$  之间的 Levenshtein 距离  $d_L(U_t, U_r)$  定义为将序列  $U_t$  转换为序列  $U_r$  所需要的插入、删除或置换操作的最小次数. 则符号错误率

$$\text{SER} = \frac{d_L(U_t, U_r)}{\|U_t\|}. \quad (10)$$

对 12 符号信源集合实验, 信源参数如表 3 所示. 实验的总符号数为 100 000, 译码符号长度  $K=10$ , 交织长度  $N=400$  bit, 迭代译码 4 次. 比较取  $\phi_{x_2}(1)$ 、 $\phi_{x_2}(2)$  和  $\phi_{x_2}(3)$  3 组不同权重值时的基于空间网格图变长 Turbo 码方法的符号错误率. 实验结果如图 5 所示. 对比 3 组不同权重值的空间网格图方法的 SER 曲线可以看出, 权重值为  $\phi_{x_2}(3)$  时的译码的符号错误率最低, 权重值为  $\phi_{x_2}(1)$  时的译码的符号错误率最高. 由此可见, 使用简化网格图效果较好的权重值, 译码的符号错误率也较低.

比较权重值取 3 组权重值中性能最好的  $\phi_{x_2}(3)$  时的基于空间网格图变长 Turbo 码方法和文献[9]方法(权重值取  $\phi_1=0, \phi_2=1, \phi_3=2, \phi_4=3, \phi_5=4, \dots, \phi_{12}=11$ )、文献[8]方法以及文献[13]提出的比特级分离系统方法的符号错误率. 实验结果如图 6 所示. 由实验结果可以看出, 本文提出的优化设计方法可以有效降低变长 Turbo 码译码的符号错误率. 在  $\text{SER} = 10^{-3}$  时, 本文方法比文献[9]的方法获得  $E_b/N_0$  增益为 0.2 dB, 与文献[8]的方法相比获得  $E_b/N_0$  增益为 0.4 dB; 与文献[13]的方法相比获得  $E_b/N_0$  增益为 1.2 dB.

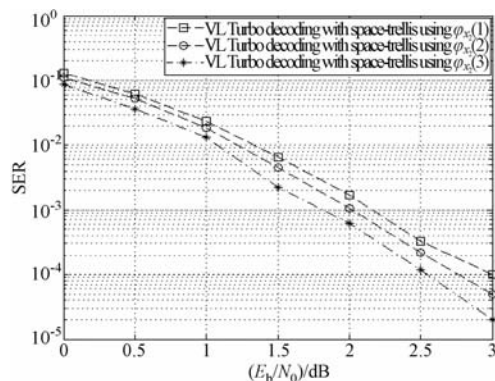


图5 不同权重值的空间网格图变长

Turbo 码方法的 SER 性能比较

Fig. 5 SER performance comparison of space trellis variable-length Turbo code with different weight values

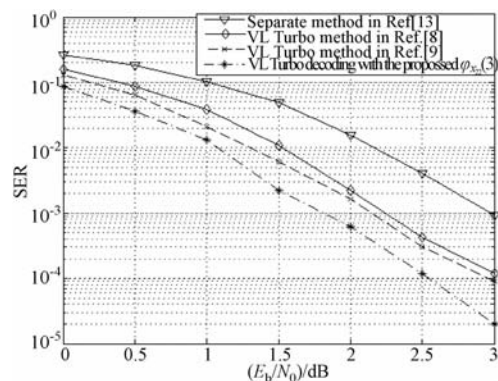


图6 不同编译码方法的 SER 性能比较

Fig. 6 SER performance comparison between different encoding/decoding methods

## 4 结论

本文分析了变长码空间网格图约束条件的数学表示,采用约束条件方程组和权重递推方法,优化了空间网格图权重参数,提出了基于空间网格图的低复杂度联合信源信道编译码方法. 试验结果表明,该方法与现存方法相比有效的降低了译码复杂度,减少了译码时间,同时改善了译码性能.

## 参考文献

- [1] Tu G, Liu J, Zhang C, et al. Studies and advances on joint source-channel encoding/decoding techniques in flow media communications [J]. Sci China Inf Sci, 2010, 53: 1-17.
- [2] Bauer R, Hagenauer J. Iterative source/channel decoding using reversible variable length codes [C] // Proc IEEE Data Compression Conference (DCC'00). Snowbird, Utah, USA, March 2000:93-102.
- [3] Bauer R, Hagenauer J. Symbol-by-symbol MAP decoding of variable length codes [C] // Proc 3rd ITG Conference on Source and Channel Coding (CSCC'00). Munich, Germany, January 2000:111-116.
- [4] Bauer R, Hagenauer J. On variable length codes for iterative source/channel decoding [C] // Proc IEEE Data Compression Conference (DCC'01). Snowbird, Utah, USA, March 2001:273-282.
- [5] Berrou C, Glavieux A, Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: turbo codes (1) [C] // Proc IEEE Int Conf Communications. Geneva, Switzerland, 1993: 1064-1070.
- [6] Peng Z, Huang Y, Costello D J. Turbo codes for image transmission—a joint channel and source decoding approach [J]. IEEE J Select Areas Commun, 2000, 18(6): 868-879.
- [7] Lakovic K, Villasenor J. Combining variable length codes and turbo codes [C] // Proc IEEE VTC. Birmingham, Ala, USA, 2002: 1719-1723.
- [8] Liu J, Tu G, Zhang C, et al. Joint source and channel decoding for variable length encoded turbo codes [J]. EURASIP J Advances in Signal Processing, 2008(1).
- [9] Chen S H, Zhang C, Tu G F, et al. Low-complexity joint source-channel decoding based on variable length encoded Turbo codes [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2011(2): 246-252 (in Chinese).  
陈绍宏,张灿,涂国防,等. 基于变长 Turbo 码的低复杂度联合信源信道编译码 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2011, 28(2): 246-252.
- [10] CCSDS. Image data compression, recommended standard [S]. CCSDS 120.1-G-1, Green Book, 2007.
- [11] Hellebrand S, Würtenberger A. Alternating run-length coding: A technique for improved test data compression [C] // Handouts 3rd IEEE International Workshop on Test Resource Partitioning. 2002.
- [12] Chen S H. Research on joint source-channel coding/decoding for space image transmission [D]. Beijing: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2010 (in Chinese).  
陈绍宏. 面向空间图像传输的联合信源信道编译码技术的研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2010.

- [13] Lakovic K, Villasenor J. Combining variable-length codes and turbo codes [C] // Proc IEEE 55<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference (VTC'02). 2002, 4: 1719-1723.
- [14] Okuda T, Tanaka E, Kasai T. A method for the correction of garbled words based on the Levenshtein metric[J]. IEEE Trans Comp, 1976, 25(2): 172-178.

## Low-complexity joint source-channel coding and decoding approach based on space trellis

HUO Yue-Heng<sup>1</sup>, ZHANG Can<sup>1,2</sup>, GAO Shao-Shuai<sup>1</sup>

(1 School of Information Science and Engineering, Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2 State Key Laboratory of Information Security, Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** We have optimized weight value of space trellis and proposed a low-complexity joint source-channel coding and decoding approach based on space trellis. Simulation results show that, compared to the existing methods, the proposed approach reduces computation complexity and improves decoding performance. The approach can be applied to joint en/decoding of streaming media in resource-constrained space communications.

**Key words** JSCC/D; VL Turbo codes; space trellis; optimization of weight value