

一种基于缩减栅格算法的 SVC 联合信源/信道编码方法

李晓峰,周 宁,刘洪盛,张 敏

(电子科技大学通信与信息工程学院,四川成都 611731)

摘 要: 针对 H.264/AVC 可分级编码扩充标准(SVC),本文提出了一种联合信源/信道编码(JSCC)的视频传输方法.该方法采用一种新型的缩减栅格算法与拉格朗日优化技术对 SVC 数据与差错控制保护级别进行最优分配.本文提出的缩减栅格算法采用疏散式栅格结构,实行依层计算与缩减队列的策略,计算效率比同类高效算法提高了约 20~50 倍.大量仿真数据表明,采用本文高效算法的 JSCC 方法在各种信道条件下达到同类方法相同的优化性能.

关键词: 可分级视频编码(SVC);联合信源/信道编码;H.264/AVC;视频传输

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2011)04-0859-06

A Joint Source/Channel Coding with Reduced Trellis Algorithm for the Scalable Extension of H.264/AVC

LI Xiao-feng, ZHOU Ning, LIU Hong-sheng, ZHANG Min

(School of Communication, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 611731, China)

Abstract: In this paper, a joint source/channel coding (JSCC) video transmission approach is proposed for the scalable extension of H.264/AVC coding (SVC) standard. The JSCC approach employs a novel reduced trellis algorithm and Lagrangian optimization technique to derive appropriate parts of the SVC stream and protection levels of error-control codes. The proposed algorithm uses a discrete trellis structure. With the layer-based computation method and a simplified structure, it improves computation efficiency by about 20-50 times over the state-of-the-art algorithm. Extensive simulation results show that the proposed JSCC scheme with the efficient algorithm provides same optimized performance with other algorithms under various channel conditions.

Key words: scalable video coding (SVC); joint source/channel coding; H.264/AVC; video transmission

1 引言

随着视频应用的普及,视频流常常要通过多种网络传输,并满足需求各异的终端用户.视频编码的目标既要保持高压缩性能,还要能够充分灵活地适应不同的网络与终端特性.为此,人们引入了可分级视频编码,其重要代表是 H.264 标准的可分级编码扩充方案^[1,2](Scalable Video Coding, SVC),它由国际标准化组织于近年提出.

常规 H.264 算法生成的比特流只能提供某种固定空间分辨率、帧率和质量的视频,而 SVC 编码器生成的比特流由基础层与多个增强层构成,具有空间、时间与质量方面的可分级性.基础层对应于一个完整的基本级视频成份,各个增强层可以逐步提升视频的分辨率、帧率与质量等级.通过合适地提取其中的一些层, SVC 的码流可以

灵活地满足不同的网络传输与终端应用的需求.

视频传输中的基本问题是信道带宽有限且传输不可靠.一方面,有限的带宽要求尽可能多地实施信源压缩;另一方面,高度压缩的视频码流对于误码尤其敏感,单个比特错误可能破坏编码同步,形成成片的视频出错.在运用信道编码解决这一问题时,人们注意到仙农的传统信息理论中信源/信道分离编码的原理具有明显的局限性,大量的研究表明通过联合信源/信道编码(Joint Source/Channel Coding, JSCC)可以获得更好的视频质量.

近年来,视频 JSCC 是一个活跃的研究领域.文献[3]是早期的工作之一,作者以二进制对称信道上传输可分级 3D 子带视频流为背景,研究了在各子带上进行信源/信道联合优化的方法.随后很多文献基于离散余弦变换、小波变换的图像与视频编码应用,讨论 JSCC 方

法^[4-7].文献[8]针对 H.264 的可分级编码讨论,作者在无线 MIMO 系统上综合考虑信源编码参数、信道编码参数与调制信号参数,通过非常繁杂的算法计算最优参数.非均衡的差错保护(Unequal Error Protection, UEP)是一类有效的 JSCC 方法. SVC 的比特流由不同重要程度的数据构成,这种特点很适合 UEP 技术的运用.近年的一些文献讨论了可分级视频流的 UEP 问题^[9,10],其中主要研究了采用传统的可变码率里德-索罗门码或速率兼容的穿孔卷积码等方法.文献[11]是最近较为深入与系统地研究 SVC 的 JSCC 问题的文献,作者基于拉格朗日优化与维特比算法(Viterbi Algorithm, VA)的结合,提出了一种新的优化方法.文献采用了性能优良的低密度校验码(Low Density Parity Check, LDPC),在典型的丢包信道上实现了 SVC 码流的联合信源/信道最佳传输.这种方法借助维特比算法达到了较高的计算效率,其计算复杂度比文献[8]有很大的降低,比其他采用动态规划算法的方案^[7]也有数倍的改善.

降低计算复杂度是 JSCC 研究中的重要问题.文献[11]的方法仍然需要大量的计算.本文提出的 JSCC 可分级视频传输方案中采用一种新型的缩减栅格算法,使计算效率比文献[11]提高了约 20~50 倍,而视频性能基本相同.

2 联合信源/信道编码系统

2.1 联合信源/信道编码原理

采用联合信源/信道编码(JSCC)的视频传输系统在信道总速率限定的条件下,通过综合平衡信源编码与差错控制的码率来提高收端重建视频的质量.即, JSCC 采用联合优化策略给出最佳信源与信道速率分配方案(R_s, R_c),使传输系统两端视频画面之间的误差最小.该误差简称为端到端失真,它与 R_s 和 R_c 有关,记为 $D(R_s, R_c)$. R_s 和 R_c 的总量受限于信道带宽允许的码率 R_{avai} ,即, $R_s + R_c \leq R_{\text{avai}}$.

传输 N 帧画面的视频时,总的端到端失真为全部画面的总平均失真,记为 $\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N D_n(R_{s,n}, R_{c,n})$,其中下标 n 为帧序号, $1 \leq n \leq N$. JSCC 优化问题定义为,

$$\begin{aligned} \min & \sum_{n=1}^N D_n(R_{s,n}, R_{c,n}) \\ \text{s. t.} & \sum_{n=1}^N (R_{s,n} + R_{c,n}) \leq R_{\text{avai}} \end{aligned} \quad (1)$$

运用拉格朗日乘子法,约束优化问题可以转化为如下的无约束优化问题,

$$\min J(R_s, R_c) = \sum_{n=1}^N D_n(R_{s,n}, R_{c,n}) + \lambda \sum_{n=1}^N (R_{s,n} + R_{c,n}) \quad (2)$$

其中, λ 是拉格朗日因子.

2.2 SVC 传输系统

本文提出的可分级视频传输系统如图 1 所示.信源编码使用 H.264 可分级扩展标准 SVC^[1,2],编码器输出码流由单一分辨率的 L 个层(一个基础层与 $L-1$ 个增强层)构成.信道可以是有线或无线信道,假定丢包率为 ϵ .系统采用 LDPC 前向纠错码并结合交织技术. LDPC 码的信息长度 k_c 可变,而码字长度 n_c 固定,码率为 $r = k_c/n_c$.交织处理采用足够的交织深度,以应付下层信道的突发错误,使丢包信道可以等效为简单的二进制删除信道(BEC).

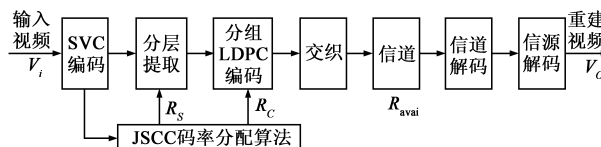


图1 采用JSCC的SVC传输系统

传输第 n 帧时,系统按某速率 $R_{s,n}$ 提取部分数据(其中包含完整的基础层),而后按某速率 $R_{c,n}$ 配置 LDPC 校验数据,再经交织后组包传输.系统按 JSCC 原理寻求最优码率配置 $\{R_{s,n}, R_{c,n}\}$,实现最佳视频传输.假定传输该帧共用了 M_n 个 LDPC 码字,各码字的码率可以不同.记第 n 帧各码字的码率为, $\mathbf{r}_n = \{r_1, r_2, \dots, r_{M_n}\}$,称为该帧的码率分配.由于码长固定,因此,确定了 \mathbf{r}_n 就具体确定了 $(R_{s,n}, R_{c,n})$.所以,系统实际上优化 $\{\mathbf{r}_n, n = 1, 2, \dots, N\}$ 即可.

文献[11]说明了一种最优 JSCC 求解方案.其要点如下:

(1)采用 VA 逐码字地为各帧寻找率-失真(R-D)可行点集;而后,由该可行点集构建具有良好凸性的“虚包络”曲线;

(2)集中全部帧的虚包络曲线,使用拉格朗日乘子法联合优化,最终确定出各帧的最佳 \mathbf{r}_n .

求解各帧的 R-D 可行点集是方案中耗时最多的重要环节.文献[11]方案采用 VA 获得了比其他文献的方案高的计算效率.本文的方案基于一种新型的缩减栅格算法求解 R-D 点集,这种算法大幅度地提高了计算效率.

3 缩减栅格算法

理论上讲, JSCC 系统可能需要各种码率的 LDPC 编解码器.但实际系统中无法支持过多的码率种类.事实上,恰当构造几种码率就可以获得足够好的性能,而更多码率种类所能获得的额外收益很有限^[7,8].另一方面, SVC 码流中基础层的数据最为重要,而后是第 1 增强层、第 2 增强层等等.数据的重要性是依层递减的.因

此,各码字的码率应满足: $r_0 \leq r_1 \leq \dots \leq r_{M_n} \leq 1$. 这样,码率序列 $\{r_1, r_2, \dots, r_{M_n}\}$ 中同一码率必然连成一段,不同“码率段”大致与 SVC 码流的分层对应. 基于这种特点,可以合理地规定:每一层 SVC 数据采用同一个码率. 实验证实,这种简化规则不会带来性能的下降.

设系统可用码率共 d 种,记码率集为 R . 将第 n 帧的码率分配表示为 $\mathbf{r}_n = \{r_0, r_1, \dots, r_{L_n}\}$. 其中 $r_l \in R$ 为第 l 层使用的码率, $0 \leq l \leq L_n$; L_n 对应于分配中用到的最高层, $0 \leq L_n \leq L-1$; 并且 $r_1 \leq r_2 \leq \dots \leq r_{L_n}$. 所有层的全部可能的码率构成树结构. 类似于基于单个码字的树结构,在这种基于层的树结构上,马尔可夫性仍然成立. 由于这种树结构上码率、码字数、失真度量等参数都在变化,无法直接运用 VA. 为此,本文构造一种新的“疏散式”栅格结构.

3.1 栅格结构与术语描述

考虑第 n 帧,按每一层建立一级栅格,以 LDPC 编码后的累计码字数作为该级的状态值. 栅格结构如图 2 (a) 所示. 规定基本符号如表 1,有关术语定义如下:

(1) **状态**: i 或 j 为正整数,表示从第 0 级开始至当前级累计的码字数, $i, j \in E_n$. 由于以层为单位进行编码,第 l 级可能的状态值只是 E_n 中的某些疏散值. 称这些状态为**有效状态**,它们构成有效状态集,记为 J_l .

(2) **分支**: $b_{j,l}^l(r_l)$, 指从第 $l-1$ 级第 j 状态出发,采用码率 r_l 对第 l 层的数据编码后,到达第 l 级第 i 状态的分支. 可知, $i = j + m_l$.

(3) **路径**: (r_0, r_1, \dots, r_l) 是从第 0 级出发依次经过码率为 r_0, r_1, \dots, r_l 的分支,到达第 l 级的路径. 该路径的端到端平均失真称为**路径失真**,其递推计算公式^[11]为:

$$D_n(r_0, \dots, r_l) = D_n(r_0, \dots, r_{l-1}) + \Delta D_{s,n}^{l-1} p_{c,l} \quad (3)$$

其中, $p_{c,l} = p_{c,l-1} [1 - p_e(r_l, \epsilon)]^{m_l}$.

(4) **有效节点**: $\{(\mathbf{r}_n^l(i), D_n^l(i)), i \in J_l\}$, 其中, $\mathbf{r}_n^l(i)$ 为进入第 l 层第 i 状态的路径中具有最小失真的路径, $D_n^l(i)$ 是相应的最小路径失真.

表 1 基本符号约定

符号	说明
l	栅格的级编号或数据层编号, $0 \leq l < L$
k_l	第 n 帧第 l 层的 SVC 数据字节数
r_l	第 n 帧第 l 层使用的信道编码码率, $r_l \in R$
m_l	第 n 帧第 l 层使用的码字数, $m_l = \lceil k_l / (r_l n_c) \rceil$
M_n	第 n 帧的最大可能码字数
E_n	第 n 级的状态空间, $E_n = \{1, 2, \dots, M_n\}$
$\Delta D_{s,n}^{l-1}$	第 n 帧第 l 层 SVC 数据对应的失真变化量
$p_e(r_l, \epsilon)$	误码率 ϵ 的 BEC 信道上, LDPC 码(码率 r_l)的误码率

注 1: 运算 $\lceil x \rceil$ 返回不小于 x 的最小整数;

注 2: 各帧的 k_l 与 $\Delta D_{s,n}^{l-1}$ 数据依据文献[12]的方法计算获得.

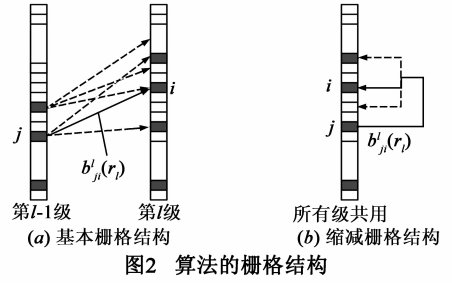


图 2 算法的栅格结构

3.2 基本栅格算法

给定: $R_{\text{avail}}, \epsilon, n_c, \{p_e(r_l, \epsilon), r_l \in R\}$ 与 $\{k_l, \Delta D_{s,n}^l, l = 0, 1, \dots, L-1\}$

初始化: ($l = 0$)

$J_0 = \{m_0 = \lceil k_0 / (r_0 n_c) \rceil, \forall r_0 \in R\}$, (如果不同的 r_0 产生出相同的 m_0 , 取 r_0 值最小的). 有效节点: $\{(\mathbf{r}_n^0(i), D_n^0(i)), i \in J_0\}$, 其中

$$\begin{cases} \mathbf{r}_n^0(i) = (r_0) \\ D_n^0(i) = \Delta D_{s,n}^0 p_{c,0} \end{cases} \quad (4)$$

而 $p_{c,0} = [1 - p_e(r_0, \epsilon)]^{m_0}$.

第 l 级递推: ($\forall 0 < l \leq L-1$)

(1) $\forall j \in J_{l-1}, r_l \in R$, 计算 $i = j + \lceil k_l / (r_l n_c) \rceil$, 建立 $b_{j,l}^l(r_l)$;

(2) 如果多个分支进入同一个状态 i , 保留路径失真最小的分支作为幸存分支, 分别记该分支的起点与所用码率为 j^* 与 r_l^* , 则有效节点为 $\{(\mathbf{r}_n^l(i), D_n^l(i)), i \in J_l\}$, 其中

$$\begin{cases} \mathbf{r}_n^l(i) = (\mathbf{r}_n^{l-1}(j^*), r_l^*) \\ D_n^l(i) = \min_{j \in J_{l-1}} [D_n^{l-1}(j) + \Delta D_{s,n}^{l-1} p_{c,l}] \end{cases} \quad (5)$$

而, $p_{c,l} = [1 - p_e(r_l, \epsilon)]^{i - j_{p_{c,l-1}}}$. $\mathbf{r}_n^l(i)$ 称为幸存路径;

(3) 如果 $l = L-1$, 则进入后面的合并处理; 否则, l 增 1, 转入下一级递推.

合并处理: 按状态值将 J_0, J_1, \dots, J_{L-1} 合并为 J . 合并时, 如果多个有效节点具有相同的状态值 i , 则只保留 $D_n^l(i)$ 最小的.

合并后对有效节点进行整理: 对不同状态值 i_1 与 i_2 的节点: 若 $\forall i_1 < i_2$ 且 $D_n^l(i_1) \leq D_n^l(i_2)$, 则删除 i_2 对应的节点.

最后, J 包含要求的 R-D 可行点集. 对于精细分级的情况, SVC 的增强层可能在任意字节处截断. 为此, 可以在 J 的相应点处进行线性内插.

3.3 缩减栅格算法

典型情况中 SVC 的多层数据具有明显的马尔可夫性^[11,12]. 因此, 本文再对上述基本算法的栅格进行缩减, 将 L 个状态队列合并为单个状态队列, 所有级共用该队列进行递推, 并同时完成合并处理.

缩减栅格算法仍实施逐级递推,各级(第 l 级)的递推方法为: $\forall j \in J$ (公共有效状态集), 若其级标号为 $l-1$, 则作为出发状态仿基本方法执行该级的各项递推处理, 完成后级标号增 1. 所有级的递推完成后, 直接进行有效节点的整理, 得出最后结果.

缩减栅格的方法采用递推与合并同时进行, 其结果与前述的基本方法的结果通常没有太多差别, 对 JSCC 最终 PSNR 结果没有不良影响. 由于缩减栅格的方法具有更为突出的计算效率与存储空间的优势, 因此本文实际采用该算法进行计算.

下面比较本文的缩减栅格算法与文献[11]的 VA 的复杂度. 本文算法共采用 L 级, 且 $r_0 \leq r_1 \leq r_2 \cdots \leq r_{L-1}$. 实际上基础层几乎总是采用最强保护, 即 r_0 只选最小的一种, 其他层只有部分分支能够幸存, 粗略假定第 l 层各种码率的分支幸存数为 l , 于是, 算法涉及的分支数估计为:

$$C_b \approx 1 + \frac{(L-1)L}{2} \times (1+2+\cdots+d) \\ = L(L-1)d(d+1)/4+1 \quad (6)$$

类似地, 文献[11]VA 的分支总数为:

$$C_b^{[11]} = (M_n - m_0)(d+1)d/2+1 \quad (7)$$

其中基础层部分也只考虑一种码率. 由于通常 $(M_n - m_0) \gg L^2/2$, 因此, 在其他条件相同的情况下, $C_b^{[11]} \gg C_b$.

缩减栅格算法利用马尔可夫性在递推过程中实施合并, 许多“不良”路径在合并中被提前清除, 因此, 实际计算的分支数会有相当程度的减少. 虽然一些辅助处理引入了额外的比较运算, 但由于 L 很小, 该部分计算量不大, 基本可忽略.

另一方面, 在存储空间上, 缩减栅格算法的状态总数为 M_n , 而且有效状态通常只用到其中很少一部分. 文献[11]算法的状态总数为 $d \times M_n$, 至少是本文算法的 d 倍.

4 实验与仿真结果

为了评价采用缩减栅格算法的可分级视频 JSCC 方案的性能, 本文搭建了与文献[11]一致的实验环境. 测试序列为四个标准的 MPEG 视频序列 (Bus、Football、Foreman、Mobile) 的前 50 帧, 帧率为 30fps. 视频编解码采用联合可分级视频模型 (JSVM) 参考软件 7.10 版本, 输出码流为单一的空间分辨率, 含一个基础层与三个精细增强层. 设定 GOP = 8, Intra = 16, 基础层量化参数 QP = 40. 熵编码采用 CABAC 方法, 增强层不使用运动细化与层间预测. 编码中不使用错误掩蔽与数据片划分技术.

实验中视频质量采用峰值信噪比度量. 视频 $X(X$

取 Y 、 U 或 V) 分量的峰值信噪比定义为:

$$PSNR_X = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE_X} \right] \quad (8)$$

其中, MSE_X 为相应的最小均方误差. 所有分量的平均峰值信噪比定义为

$$PSNR_A = \frac{1}{6} (PSNR_Y \times 4 + PSNR_U + PSNR_V) \quad (9)$$

为了确认编解码环境与文献[11]的一致性, 本文使用 JSVM 提供的基本比特抽取器按几种速率分别抽取了四个视频序列的 SVC 码流, 并将相应的数据与文献[11]给出的数据进行了对比, 所有数据非常吻合. 这里选择了其中两个视频序列的数据列于表 2 中.

表 2 本文抽取的 SVC 码流的峰值信噪比数据与文献[11]数据的比较

方法	信道速率 (kb/s)	实际速率 (kb/s)	$PSNR_Y$ (dB)	$PSNR_U$ (dB)	$PSNR_V$ (dB)	$PSNR_A$ (dB)
Bus	本文	400	400.74	28.77	38.16	39.26
		800	801.14	31.37	39.61	41.36
		1200	1201.13	33.13	41.12	42.51
	文献 [11]	400	400.74	28.71	38.18	39.32
		800	801.12	31.39	39.67	41.38
		1200	1201.13	33.05	41.18	42.59
Foreman	本文	400	401.13	34.82	40.96	43.82
		800	801.53	37.13	42.71	45.57
		1200	1201.53	38.40	43.90	46.67
	文献 [11]	400	401.13	34.82	40.96	43.82
		800	801.53	37.13	42.71	45.57
		1200	1201.53	38.40	43.90	46.67

实验中选择丢包率分别为 5% 与 10% 的两种信道, 并考虑多种信道速率. 差错编码使用穿孔的规则 (3, 6) LDPC 码, 按两种信道的不同错误程度, 各配置了五种不同的码率, 码长固定为 256 字节. 译码采用基于置信度传播的迭代译码 (即和积算法), 迭代次数取 100. 通过计算机仿真, 得出了这些设置下的 LDPC 码的纠错性能, 相关数据与文献[11]的基本一致, 为了便于对比分析, 本文的试验中使用文献[11]提供的 LDPC 码误码数据, 具体数值如表 3.

表 3 两种信道上几种 LDPC 码的纠错性能参数

丢包率	信息字节	校验字节	码率	误码率
5%	205	51	0.80	0.00E+00
	209	47	0.82	1.00E-06
	211	45	0.82	2.83E-04
	213	43	0.83	3.24E-02
	215	41	0.84	1.83E-01
10%	194	62	0.76	0.00E+00
	198	58	0.77	4.84E-05
	200	56	0.78	1.21E-03
	202	54	0.79	3.63E-02
	204	52	0.80	1.49E-01

实验时每个视频序列只需要编码一次, 而后由 JSCC 视频传输系统进行传输, 收端接收到数据后由

SVC 解码还原视频序列. 考虑到信道的随机性, 实验中进行 $M = 300$ 次传输, 收端的重建视频质量采用平均峰值信噪比度量, 定义为:

$$\overline{PSNR_X} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M PSNR_X(i) \quad (10)$$

其中, $PSNR_X(i)$ 为第 i 次传输中重建 X 分量的峰值信噪比(X 取 Y 、 U 、 V 或 A).

本文对使用缩减栅格算法的 JSCC 方案与文献[11]方案进行了大量的仿真比较, 比较分别在 5% 与 10% 的丢包信道上、各种不同的传输速率下进行. 通过对各项数据的详细对比发现, 同等条件下两种算法的数据结果相当一致. 就四个测试序列的各种 $\overline{PSNR_A}$ 来看, 平均偏差与最大偏差分别为 0.06dB 与 0.26dB, 平均相对偏差与最大相对偏差分别为 0.08% 与 0.72%. 这说明采用缩减栅格算法计算各帧 R-D 曲线是完全可行的, 基于新算法的方案实现了信源与信道速率的联合优化分配, 使重建视频性能达到了最优数值. 由于篇幅的限制, 表 4 只给出了其中两个视频序列的部分主要数据的比较.

表 4 本文算法与文献[11]算法在各种不同的信道条件下的仿真数据比较

方法		丢包率	信道速率 (kb/s)	实际速率 (kb/s)	信源速率 (kb/s)	$\overline{PSNR_Y}$ (dB)	$\overline{PSNR_A}$ (dB)
Bus	本文	5%	500	500.1	401.2	28.88	32.15
			1000	996.6	805.9	31.65	34.52
			1500	1500.4	1215.2	33.20	36.08
		10%	500	500.1	379.8	28.70	31.99
			1000	1000.2	766.0	31.49	34.50
			1500	1500.4	1145.3	32.77	35.38
	文献[11]	5%	500	500.1	402.1	28.80	32.02
			1000	1000.2	811.9	31.54	34.45
			1500	1500.4	1223.9	33.31	35.95
		10%	500	500.1	379.9	28.61	31.85
			1000	1000.2	767.5	31.36	34.33
			1500	1499.1	1155.1	32.99	35.64
Foreman	本文	5%	500	500.1	403.4	35.04	37.60
			1000	1000.2	807.8	37.21	39.44
			1500	1500.4	1211.3	38.66	40.76
		10%	500	500.1	382.5	34.86	37.42
			1000	1000.2	764.3	36.97	39.23
			1500	1500.4	1147.7	38.39	40.41
	文献[11]	5%	500	500.1	406.7	35.08	37.39
			1000	1000.2	817.4	37.29	39.54
			1500	1500.4	1226.3	38.84	40.71
		10%	500	500.1	384.6	34.94	37.29
			1000	1000.2	771.7	37.15	39.44
			1500	1500.4	1159.8	38.58	40.46

表 5 比较了文献[11]的 VA、本文基本栅格算法与缩减栅格算法需要计算的分支总数, 分别记为 $C_b^{[11]}$ 、 C_b 与 C'_b . 缩减栅格算法的参数以基本算法的参数为上限.

$C_b^{[11]}$ 与 C'_b 具有随机性, 表中列出的是各种情况中的统计平均值. 表中的 η_b 与 η'_b 分别是本文的两种算法的计算量占文献[11]算法计算量的比值. 以实验中四个参测视频的数据为例, 可以看出本文的两种算法都比文献[11]算法有大幅的改善, 缩减栅格算法的计算量通常仅为文献[11]的 2% ~ 5% 左右, 计算效率提高了约 20 ~ 50 倍.

表 5 几种算法的计算量比较

视频序列	$C_b^{[11]}$	C_b	C'_b	η_b	η'_b
Bus	786.7	91	19.8	0.116	0.025
Football	924.7		20.7	0.098	0.022
Foreman	430.9		19.6	0.211	0.045
Mobile	988.3		20.7	0.092	0.021

5 结论

本文提出了一种在不可靠信道中传输可分级视频的联合信源/信道编码方法. 可分级视频编码采用 H.264/AVC 可分级编码扩充标准(SVC), 信道差错保护采用 LDPC 编码. 类似于文献[11], JSCC 方法通过缩减栅格算法与拉格朗日因子方法对 SVC 数据与 LDPC 编码码率进行优化分配. 新型的缩减栅格算法以累计编码码字数为状态, 构造疏散式栅格结构, 实行了依层计算与缩减状态队列的简化策略, 使计算效率比文献[11]的算法提高约 20 ~ 50 倍. 大量的仿真表明, 在各种速率的 5% 与 10% 的丢包信道中, 本文高效算法的 JSCC 方法都能提供与文献[11]同样优良的重建视频质量.

参考文献

[1] Schwarz H, Marpe H, Wiegand H. Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems Video for Technology, 2007, 17(9): 1103 – 1120.

[2] Joint Draft ITU-T Rec.H.264 | ISO/IEC 14496-10 / Amd.3 Scalable video coding[S]. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG. 2007.

[3] Cheung G, Zakhor A. Joint source/channel coding of scalable video over noisy channels[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing[C]. NJ, USA: IEEE Press Piscataway, 1996. 767 – 770.

[4] Kondi L, Ishtiaq F, Katsaggelos A. Joint source-channel coding for motion-compensated DCT-based SNR scalable video[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(9): 1043 – 1052.

[5] Dumitrescu S, Wu X, Wang Z. Globally optimal uneven error protected packetization of scalable code streams[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2004, 6(2): 230 – 239.

[6] 王 ■, 谢廷俊, 陆建华. 基于抗差错算术编码的不等差错

- 保护图像传输方法[J]. 电子学报, 2008, 36(4): 685 – 689.
Wang Xuan, Xie Ting-jun, Lu Jian-huai. An unequal error protection scheme for image transmission based on error resilient arithmetic codes[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(4): 685 – 689. (in Chinese)
- [7] Wu Z, Ali B, Marcellin M W. Joint source/channel coding for image transmission with JPEG2000 over memoryless channels[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(8): 1020 – 1032.
- [8] Jubran M K, Bansal M, Grover R, et al. Optimal bandwidth allocation for scalable H. 264 video transmission over MIMO systems[A]. Proceedings of the 2006 IEEE conference on Military Communications (MILCOM) [C]. NJ, USA: IEEE Press Piscataway, 2006. 1 – 7.
- [9] Wang Y, Fang T, Chau L P, et al. Two-dimensional channel rate allocation for SVC over error-prone channel[A]. Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems [C]. NJ, USA: IEEE Press Piscataway, 2006. 3013 – 3016.
- [10] Naghdinezhad A, Hashemi M R, Fatemi O. A novel adaptive unequal error protection method for scalable video over wireless networks[A]. Proceedings of IEEE International Symposium on Consumer Electronics [C]. NJ, USA: IEEE Press Piscataway, 2007. 1 – 6.
- [11] Stoufs M, Munteanu A, Cornelis J, et al. Scalable joint source-channel coding for the scalable extension of H. 264/AVC[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(12): 1657 – 1670.
- [12] Amonou I, Cammas N, et al. Optimized rate-distortion extraction with quality layers in the scalable extension of H. 264/AVC[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(9): 1186 – 1193.
- [13] 李群迎, 张晓林. 基于多描述和不等差错保护的航空遥感图像传输方法[J]. 电子学报, 2010, 38(11): 2656 – 2659.
Li Qun-ying, Zhang Xiao-lin. Aerial remote sensing image transmission using multiple description coding unequal error protection[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(11): 2656 – 2659. (in Chinese)
- [14] 刘家瑛, 郭宗明, Yongjin Cho. 面向 H. 264/SVC 空域-质量域可伸缩编码的码率分配算法[J]. 电子学报, 2010, 38(9): 2112 – 2117.
Liu Jia-ying, Guo Zong-ming, Cho Yong-Jin. Bit allocation algorithm in H. 264/SVC spatial quality with dependent R-D modeling[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(9): 2112 – 2117. (in Chinese)

作者简介



李晓峰 男, 1963 年 10 月生, 重庆市人。1984 年和 1987 年分别在西安电子科技大学和成都电子科技大学获工学学士和工学硕士。现为电子科技大学通信与信息工程学院教授, 主要从事无线通信、移动多媒体传输、图像信号处理与 DSP 实时实现技术等方面的研究。
E-mail: xfli@uestc.edu.cn



周宁 女, 1966 年 05 月生, 江苏省人。1988 年、1991 年和 2009 年在成都电子科技大学分别获工学学士、工学硕士和工学博士学位。现为电子科技大学通信与信息工程学院副教授, 从事多媒体通信、图像信号处理与通信系统等方面的研究。
E-mail: zhouning@uestc.edu.cn

