

基于 SVC 的空域增强层帧级错误掩盖算法

封 颖, 吴成柯

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 西安 710071)

摘 要: 基于 SVC 空域增强层宏块编码模式的特点, 提出一种增强层帧级错误掩盖算法, 综合利用层间预测信息和时域直接模式 TD 下的运动信息, 预测丢失帧中的宏块是否采用 TD 模式编码运动信息。对于符合判决条件的宏块, 使用 TD 模式来产生其运动矢量, 以提高运动矢量恢复的精确度, 从而提升丢失帧的错误掩盖效果。实验结果表明, 与原 JSVM 算法相比, 该算法以很小的运算复杂度, 使增强层序列的解码 PSNR 平均提高了 0.23 dB。

关键词: 帧错误掩盖; 层间预测; 时域直接预测

Frame Error Concealment Algorithm in Spatial Enhancement Layer Based on SVC

FENG Ying, WU Cheng-ke

(National Key Laboratory on ISN, Xidian University, Xi'an 710071)

【Abstract】 Based on characteristics of the macroblock mode in SVC spatial enhancement layer, a new algorithm is proposed. The algorithm synthetically utilizes the inter-layer prediction information and motion information of temporal direct mode to select the macroblocks that use temporal direct prediction mode to encode motion information. And the macroblocks according with the conditions recovers the motion vectors with temporal direct mode. Simulation result indicates that the proposed algorithm can increase the PSNR by 0.23 dB of enhancement layer, with slightly increasing of the computational complexity.

【Key words】 frame error concealment; inter-layer prediction; temporal direct prediction

1 概述

基于 H.264^[1] 扩展的 SVC^[2] 基本层编码与 H.264/AVC 相兼容, 利用层次 B 帧来实现时域的可分级, 解码不同层次的 B 帧可得到不同分辨率的视频重建图像。对于空域的可分级性, SVC 采用对输入的视频序列进行空域下采样, 将其分解为不同分辨率的空域层序列, 对每个空域层采用独立的运动估计和补偿。SVC 支持自适应的层间预测技术, 编码器可以选择是否进行层间预测, 以此达到更高的编码效率。

SVC 目前只支持帧级的错误掩盖, 对于增强层 B 帧的错误掩盖, 有 2 个方面设计对算法的掩盖效果影响最大: (1) 运动矢量恢复的精确度, 宏块运动矢量的精确性直接影响最终掩盖的效果; (2) 错误恢复所用信息所在层位置, 通常以同层帧作为参考帧进行运动补偿来恢复丢失帧的效果, 要优于使用基本层帧上采样的恢复效果。SVC 参考软件 JSVM^[3] 并采用文献^[4] 提出的帧级错误掩盖算法, 该算法共包含 4 种不同的错误掩盖方法: 图像复制, 运动矢量时域直接模式, 层间信息预测 BLSKIP 和基本层重构帧上采样。运动矢量时域直接模式由同层帧的相关宏块恢复各个宏块的运动矢量, 对于运动较小或者均匀的序列, 大量的宏块采用 TD (Temporal Direct) 模式来编码运动信息, 因此, 可以取得不错的掩盖效果。但是对于运动剧烈的区域, 由 TD 模式恢复运动矢量与实际值相差很大, 掩盖效果明显降低。BLSKIP 算法在基本层的运动和残存信息上采样, 以层间预测运动信息来恢复运动矢量, 并且在增强层中进行运动补偿, 取得最好的错误掩盖效果。但是该算法只利用了层间预测信息, 而没有考虑同层帧之间在时域上具有很强的相关性, 对于运动较小或运动均匀的宏块利

用该相关性恢复的运动矢量要比层间预测值要更为精确。针对上述问题, 本文提出了一种改进的基于层间预测 TD 模式错误掩盖算法 ILPTD (Inter-Layer Prediction Temporal Direct)。

2 SVC 层间预测技术

SVC 在空域增强层编码时引入了层间预测技术, 来达到降低增强层码率的目的。图 1 为空域增强层和基本层的比例为 2:1 的层间预测示意图。A 为基本层的一个宏块, 则经过上采样后与增强层 B 中的 4 个宏块相对应。B 中每个宏块的编码模式在基本层中都有一个对应的 8×8 块子模式。

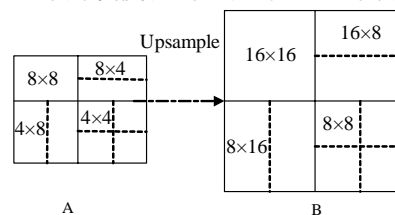


图 1 层间预测示意图

对于运动矢量的上采样, 如果层间分辨率比为 2:1, 设基本层的运动矢量为 BMV_{LX} , 相应的参考帧为 BRefX (X 为 0 或 1), 则通过下式可以得到增强层对应块 MV 的一个预测值:

$$PMV_{LX} = 2 \otimes BMV_{LX} \quad (1)$$

如果增强层宏块在运动估计时得到的运动矢量和层间预

基金项目: 国家自然科学基金资助重点项目 (60532060, 60372043)

作者简介: 封 颖 (1981 -), 男, 博士研究生, 主研方向: 图像压缩编码, 网络传输; 吴成柯, 教授

收稿日期: 2007-05-30 **E-mail:** fengying.xidian@gmail.com

测值具有相同参考帧，并且两者的数值相同或者相差很小，该宏块的运动信息编码就采用基本层预测模式，可以统称为BLMM(Base Layer Motion Mode)模式^[5]。

为了分析增强层编码帧的宏块模式选择的特点，本文利用JSVM6.8.2对空域增强层中采用不同层间预测的宏块进行统计，实验设置两个空域层，基本层序列为QCIF格式，增强层为CIF格式，采用自适应层间预测技术。GOP设置为16，编码帧频为30 fps，基本层的QP为40，增强层为28，其他采用默认值。实验发现对于小运动序列Paris有67.37%以上的宏块采用TD模式来编码运动信息，5.35%的宏块采用BLMM模式。即使对于大运动特性的Stefan序列，其SKIP模式编码宏块也大于BLMM模式。这说明对于丢失帧的这些宏块采用TD模式来恢复运动矢量的相对于层间预测模式BLMM要更为精确。

3 空域增强层的快速运动估计算法

3.1 基于层间预测信息的TD模式预测

对于帧级错误掩盖算法，增强层丢失帧宏块运动矢量的恢复可以采用以下几种方法：零值运动矢量，层间预测运动矢量和同层相邻帧TD模式下的运动矢量。零值运动矢量最为简单，但只对小运动序列具有一定效果。而层间预测运动矢量是将基本层运动矢量按照分辨率的比例上采样，对于运动信息编码采用TD模式的宏块，其运动矢量一般都小于层间预测值，使用层间预测运动矢量并不能准确地恢复宏块的运动矢量。为了提高运动矢量的精确度，可以根据TD模式的编码特点并结合层间预测运动信息，来确定丢失帧中有哪些宏块采用TD模式。

时域TD模式利用时域相关性来提高编码效率。设某个宏块的相关宏块为TDCMB，其位于当前宏块的后向参考帧列表List1中 $refidx=0$ 的参考帧中。设相关宏块的前向运动矢量为 MV_{L0} ，当前宏块在TD模式下的前、后向运动矢量分别为 $TDMV_{L0}$ 和 $TDMV_{L1}$ ，则有下面的计算公式^[6]：

$$TDMV_{L0} = \frac{TR_B}{TR_D} \times MV_{L0}, TDMV_{L1} = \frac{TR_B - TR_D}{TR_D} \times MV_{L0} \quad (2)$$

其中， TR_B 和 TR_D 为参考帧的时域距离，以相关宏块所在帧为当前宏块的后向参考帧，以相关宏块的前向参考帧为当前宏块的前向参考帧。

对于运动均匀的宏块，虽然难以根据相邻帧直接预测各宏块运动信息编码是否为TD模式，但可以利用基本层的信息对增强层宏块进行估计。设增强层宏块对应的基本层 8×8 块为BLSMB，BLSMB所在的宏块为BLMB，如果BLSMB采用 $Direct_{8 \times 8}$ 或者BLMB采用 $Direct_{16 \times 16}$ ，说明当前区域运动比较均匀，则增强层宏块采用TD模式的概率很大。为提高算法的效率，利用层间预测信息与增强层TD模式下信息的相关性来提高预测的准确度，即当同时满足TD模式下参考帧与层间预测参考帧相同并且运动矢量值小于层间预测值时，可以判决该宏块为TD模式。设宏块的层间预测运动矢量为 PMV_{LX} ，层间预测参考帧为 $Prefidx_{LX}$ ，TD模式下运动矢量为 $TDMV_{LX}(X$ 为0或1)，对应的参考帧为 $TDrefidx_{LX}$ 。由此可以得到在运动均匀宏块为TD模式的判决条件：

$$\begin{cases} Mode_{BLMB} = Direct_{16 \times 16}, \text{ or } Mode_{BLSMB} = Direct_{8 \times 8} \\ |TDMV_{LX-x}| \leq |PMV_{LX-x}|, |TDMV_{LX-y}| \leq |PMV_{LX-y}| \\ TDrefidx_{LX} = Prefidx_{LX} \end{cases} \quad (3)$$

其中，X为0或1。对于运动较小的宏块，如果宏块运动信

息为TD模式，其运动矢量都在一定的范围之内。为此，结合层间预测信息，可以设定如果增强层宏块同时满足在TD模式下参考帧与层间预测参考帧相同并且运动矢量值小于层间预测值与 α （预设的域值）之间的最小值时，可以判决该宏块为TD模式。由此对于运动较小的宏块，可以得到以下判决条件：

$$\begin{cases} |TDMV_{LX-x}| \leq \min(|PMV_{LX-x}|, \alpha) \\ |TDMV_{LX-y}| \leq \min(|PMV_{LX-y}|, \alpha) \quad X \text{ 为 } 0 \text{ 或 } 1, \alpha > 0 \\ TDrefidx_{LX} = Prefidx_{LX} \end{cases} \quad (4)$$

其中， $|X|$ 为求绝对值运算； \min 为求最小值运算； α 为设定的域值，增加 α 值可以增大TD的判决比例，但是相应的判断准确性也会降低。SVC的基本层包含大量的增强层运动信息，可以使用层间预测运动信息来进一步提高TD模式预测的准确性和减少预测的复杂度。观察发现：如果层间预测模式小于 16×16 ，即基本层对应块的分割小于 8×8 ，则说明当前区域图像的细节较多，增强层宏块采用TD模式的概率很小。利用这些信息，可以进一步提高TD模式的判决准确率。

利用式(3)和式(4)，可以对增强层中采用TD模式的宏块进行准确地预测。本文利用JSVM6.8.2对具有不同运动和图像复杂度特性序列测试，采用与实验1相同的编码参数设置， α 取值为3。表1为本文算法对TD模式预测比例和准确性。

表1 本文算法的TD预测率与准确率 (%)

Sequence	News	Paris	Stefan	Average
预测率	90.02	82.40	58.66	77.03
准确率	89.30	83.10	76.17	82.86

从表1可得到，在满足上述条件下，本文算法的TD模式预测准确性可以达到82.86%以上，大部分采用TD模式编码运动信息的宏块避免使用层间预测值来恢复其运动矢量。

3.2 详细算法描述

根据3.1节的分析，分别得到了运动均匀和运动较小宏块是否为采用TD模式的判决条件，利用该条件对丢失帧的所有宏块进行TD模式选择，采用不同的算法对各个宏块进行错误掩盖。详细算法如下：

步骤1 首先确定增强层当前编码宏块对应的基本层 8×8 块BLSMB，以及 8×8 块所在的宏块BLMB。如果BLSMB为 $Direct_{8 \times 8}$ 或者BLMB采用 $Direct_{16 \times 16}$ ，则进入步骤2，否则进入步骤3。

步骤2 如果TD模式下的运动信息与层间预测值满足式(3)，则采用TD模式恢复运动矢量和参考帧，否则使用层间预测模式恢复运动矢量。进入步骤4。

步骤3 如果同时满足以下条件：

(1)TD模式下的运动矢量和参考帧与层间预测值满足判决条件式(4)；

(2)层间预测宏块分割模式为 16×16 ；

(3)基本层相邻宏块都不是Intra模式。说明该宏块的运动很小，可以采用TD模式恢复运动矢量，否则使用层间预测模式产生运动矢量。

步骤4 对当前宏块进行错误掩盖。对于采用层间运动矢量预测的宏块，利用恢复的运动矢量和基本层残差的上采样，在增强层进行运动补偿。否则使用TD模式来恢复宏块的运动矢量和参考帧，由该信息恢复当前宏块。

4 实验与分析

实验采用文献[7]测试条件，为验证本文算法效率，设定基本层的丢包率为0。其他编码参数设置如下：GOP为16，

每 2 个 GOP 插入一个 I 帧, 基本层的 QP 为 40, 参考帧数为 2。

图 2 是 Paris 序列使用两种算法解码得到的 3 个 GOP 的峰值信噪比(PSNR)曲线。增强层 QP 为 28, 帧频为 30 fps, 增强层的丢包率为 5%。

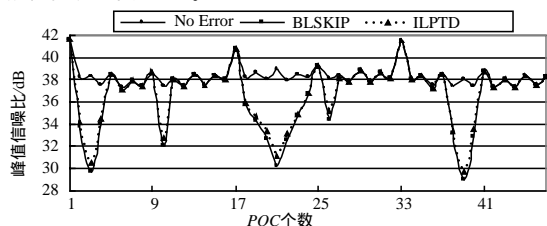


图 2 Paris 序列的 PSNR 曲线

丢失帧按 POC 的顺序分别为: 3, 10, 21, 26, 39。从图 2 可以看出, 本文算法 PSNR 要优于 BLSKIP 算法。

表 2 各个序列采用 2 种错误掩盖方法的 Y 分量 PSNR 比较。增强层的丢包率分别为 3% 和 5%。实验结果见表 2。

表 2 本文算法的性能比较

序列	帧频 /fps	增强层 QP	峰值信噪比/dB				
			无丢包		丢包率为 5%		
			BLSKIP	ILPTD	BLSKIP	ILPTD	
News	15	28	41.42	40.44	40.65	40.17	40.46
		32	39.15	38.38	38.62	38.17	38.50
Paris	15	28	38.84	37.58	37.84	37.02	37.32
		32	36.11	35.01	35.34	34.74	35.06
Stefan	30	28	36.44	35.48	35.60	35.17	35.38
		32	34.02	33.27	33.48	32.86	33.13

表 2 可以看出, 与 BLSKIP 相比, 本文算法能够使各序列解码 PSNR 平均提高 0.23 dB。本文算法需要利用基本层信息来预测增强层的 TD 宏块, 这要求保证基本层传输 QoS。在实际应用中, 可以采用信道编码和不等错误保护算法等技术来保证最低基本层码流的传输, 使得增强层可以利用基本层的信息来进行错误掩盖。

(上接第 29 页)

表 1 故障征兆数据

案例	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9
s ₀	456	10	77	93	176	15	23	32	30
s ₁	1 318	12	84	100	590	98	55	104	275
s ₂	131	8	24	55	13	116	12	6	7
s ₃	240	10	51	42	94	10	13	10	9
s ₄	1 466	11	128	157	865	84	51	59	113
s ₅	655	7	102	364	98	18	20	19	27

对表 1 中的数据进行归一化处理, 采用 6 种相似度算法进行计算。为了简化计算, 设定同一征兆在不同案例中的重要度相同, 则几个候选案例的权重向量均相同, 表示为

$$w = \{0.25, 0.025, 0.025, 0.1, 0.2, 0.05, 0.05, 0.1, 0.2\}$$

采用不同的算法对待分析故障与候选案例之间的相似度进行计算, 得到的诊断结果如表 2 所示。

表 2 几种匹配算法的故障诊断结果

算法	s ₁	s ₂	s ₃	s ₄	s ₅
普通最近相邻算法	0.546	0.868	0.877	0.612	0.905
最近相邻欧几里德算法	0.470	0.862	0.904	0.544	0.914
普通余弦函数算法	0.515	0.868	0.900	0.572	0.908
改进余弦函数算法	0.202	0.293	0.318	0.199	0.320
灰色关联度算法	0.522	0.761	0.715	0.539	0.819
改进的灰色关联度算法	0.273	0.590	0.537	0.303	0.673

由表 2 可知, 6 种不同的算法所得到的诊断结果均与文献[5]一致, 即待分析故障 s₀ 与故障案例 s₅ 的相似度最大。此外, 基于灰色关联分析的 2 种算法与其他 4 种算法相比均具

5 结束语

本文分析了 SVC 的空域增强层编码模式的特点, 提出了一种增强层帧级错误掩盖算法。该算法根据层间预测信息和增强层相邻帧的信息来判断各个 TD 模式宏块, 并且对 TD 模式宏块采用同层帧的相关宏块运动信息来恢复运动矢量, 对于其他运动剧烈的宏块仍由层间预测值作为其运动矢量, 这样既保证了运动剧烈区域宏块运动矢量的恢复精度, 又提高了运动较小和平稳区域宏块运动矢量的恢复精度。本文算法结合了运动矢量时域直接模式和 BLSKIP 算法的优点, 有效地提高了增强层丢失帧的错误掩盖效果。

参考文献

- [1] ITU-T Recommendation H.264. Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services[S]. 2003-05.
- [2] Joint Video Team(JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, Joint Draft 7 of SVC Amendment[EB/OL]. (2006-06-20). http://ftp3.itu.hq/av-arch/jvt-site/2006_07_Klagenfurt/JVT-T201.zip.
- [3] SVC Software. JSVM6.8[EB/OL]. (2006-07-20). http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/2006_07_Klagenfurt/JVT-T203.zip.
- [4] Chen Ying, Boyce J, Xie Kai. Frame Loss Error Concealment for SVC[EB/OL]. (2005-10-20). http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/2005_10_Nice/.
- [5] JVT-Q046.doc JSVM-7[EB/OL]. (2006-07-10). http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/2006_07_Klagenfurt/JVT-T202.zip. July, 2006.
- [6] Tourapis A M, Feng Wu, Li Shipeng. Direct Mode Coding for Bipedictive Slices in the H.264 Standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(1): 119-126.
- [7] Wang Yekui, Wenger S, Hannuksela M M. Common Conditions for SVC Error Resilience Testing[EB/OL]. (2005-07-20). http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/2005_07_Poznan/JVT-P206.doc.

有较好的分辨率, 其中改进的灰色关联度算法比传统的灰色关联度算法具有更优的分辨率, 在信息不完整的情况下能得到与实际情况最为接近的结果。

4 结束语

本文将 CBR 技术引入到故障诊断推理的过程中, 运用灰色关联分析对故障案例相似度进行计算, 提出了一种基于二次搜索策略的案例检索算法, 该算法具有较高的分辨率, 能够最大限度地区分各历史案例与待诊断故障的相似程度, 并适用于故障特征信息不完全的情况。

参考文献

- [1] 王道平, 张义忠. 故障智能诊断系统的理论与方法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001.
- [2] 严智渊. 灰色关联分析与应用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989.
- [3] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987.
- [4] Gupta K M, Montezemi A R. Empirical Evaluation of Retrieval in Case-based Reasoning Systems Using Modified Cosine Matching Function[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1997, 27(5): 601-612.
- [5] 王东, 刘怀亮, 徐国华. 案例推理在故障诊断系统中的应用[J]. 计算机工程, 2003, 29(12): 10-12.

