

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R BT.1867 建议书
(03/2010)

**在具有部分带宽参考型情况下
用于采用低清电视的广播应用的
客观感知视觉质量测量技术**

**BT 系列
广播业务
(电视)**



前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2010年，日内瓦

© ITU 2010

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R BT.1867建议书

在具有部分带宽参考型情况下用于采用低清电视*的
广播应用的客观感知视觉质量测量技术**

(2010年)

范围

本建议书规定了在可以获得部分参考（RR）信号（如通过辅助数据信道、水印、元数据等）时评价使用低清晰度电视（LDTV）的广播应用的感知视频质量的方法。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 自动测量广播视频质量的能力一直被视为该行业的重要优势；
- b) ITU-R BT.1683建议书描述了全参考测量标准清晰度数字广播电视感知视频质量的客观方法；
- c) ITU-R BT.1833建议书描述了通过手持接收机移动接收的多媒体和数据广播应用的多媒体系统；
- d) 低清晰度电视（LDTV）广泛用于移动接收的多媒体和数据应用广播；
- e) ITU-T J.246建议书¹详细说明了利用部分参考测量适用于LDTV应用的感知视频质量的客观方法；
- f) 感知视频质量的客观测量可作为主观评估方法的有益补充，

认识到

- a) LDTV主要针对在小屏幕（如手持和移动接收机的屏幕）上观看的情况，

* 利用部分参考对感知视频质量进行客观测量的方法通过对系统输入端非失真输入（或参考）视频信号和系统输出端劣化信号提取的特征进行对比，对系统的性能进行评价。

** 低清晰度电视（LDTV）系指像素低于ITU-R BT.601建议书中所述像素的视频分辨率。正在考虑制定有关LDTV的ITU-R建议书。

¹ ITU-T J.246建议书见<<http://www.itu.int/rec/T-REC-J.246-200808-P/en>>。

建议

- 1 在应用建议2中确定的客观视频质量测量模型时应使用附件1中给出的导则、范围和限制条件；
- 2 如能利用附件2中所述的部分参考信号，应将附件2中给出的客观感知视频质量测量模型用于使用LDTV的广播应用。

附件 1

1 引言

本建议书详细说明了在能获得部分参考信号的情况下评价使用LDTV的广播应用的感知视频质量的方法。

如在实验室或封闭环境中对个别设备或设备链进行测量的情况一样，在测量点很容易获得从参考视频信号中提取的特征，即可使用部分参考测量方法。评价方法基于VGA、CIF和QCIF分辨率视频的处理。

验证测试材料既包含多种编码降级和各种传输错误情况（如误码、丢弃包）。如考虑到视频信号中编码失真的情况，解码器可利用不同的压缩方法（如MPEG-2、H.264等）。本建议书中的模型可用来监测所部署的网络的质量，以确保运行就绪。视觉效果退化可能包括空间以及时间退化（如重复帧、跳帧、帧率压缩）。本建议书中的模型亦可用于实验室对视频系统的测试。当用于不同视频系统比较时，最好使用量化方法（如ITU-T J.149建议书所述），以确定这一特定情况下该模型的精确度。本建议书被认为适用于移动接收机接收的传输速率在4 Mbit/s或以下的业务。在每种分辨率的验证测试中可使用以下条件：

- QCIF（四分之一通用中间格式（176 × 144 像素））：16 kbit/s至320 kbit/s。
- CIF（通用中间格式（352 × 288 像素））：64 kbit/s – 2 Mbit/s。
- VGA（视频图形阵列（640 × 480 像素））：128 kbit/s – 6 Mbit/s。

表 1
模型评估中使用的因素

测试因素
丢包传输错误
视频分辨率QCIF、CIF和VGA
视频比特率 <ul style="list-style-type: none"> – QCIF: 16 kbit/s至320 kbit/s – CIF: 64 kbit/s – 2 Mbit/s – VGA: 128 kbit/s – 4 Mbit/s
最长为2秒的时域差错（跳跃暂停）

表 1 (完)

测试因素
视频帧率5 fps至30 fps
编码方案
H.264/AVC (MPEG-4 第10部分)、MPEG-4第2部分、和其它三种专有编码方案。 (见注1。)
应用
实时实际的信源质量监测
侧信道可用于从源视频序列中提取的特征时的远程目的质量监测
用于监测利用(单一或一系列)视频压缩和解压缩技术的存储或传输系统的质量测量
实验室对视频系统的测试

注 1 – 模型的验证测试包括使用15种不同的视频编解码器编码的视频序列。表1中列出的五种编解码器最常用于测试序列编码，任何建议模型都可被认为适用于评价这些编解码器。除这五种编解码器外，测试序列的较小部分是由以下编解码器创建的：H.261、H.263、H.263+²、JPEG-2000、MPEG-1、MPEG-2、H.264 SVC和其它专有系统。可看出，其中一些编解码器仅用于CIF和QCIF分辨率，原因是它们将用于主要针对这些分辨率的字段。

在将一种模型应用于使用其中一种编解码器编码的序列之前，用户应仔细研究其预测性能，以确定模型是否达到可接受的预测性能。

2 应用

本建议书描述的评估模型的应用包括，但不限于：

- 1 根据下述有限的精度，进行编解码器评价、规范和验收测试；
- 2 实时的实际质量监测；
- 3 侧信道可用于从源视频序列中提取的特征时的远程目标质量监测；
- 4 用于监测利用(单一或一系列)视频压缩和解压缩技术的存储或传输系统的质量测量；
- 5 实验室对视频系统的测试。

3 限制

本建议书中描述的评估模型不能用来取代主观测试。两项精心设计并进行的主观测试(如在两个不同的实验室中)之间的相关值通常在0.95至0.98的范围内。如利用本建议书进行视频系统比较(如比较两个编解码器)，最好使用量化方法(如ITU-T J.149建议书所述)，以确定这一特定条件下的模型精度。

² H.263+ 是 H.263 (1998年) 的一种特殊配置。

通过测量停顿高达2秒的视频来验证本建议书中的模型。

对于测量延迟不断增加的视频（如在一个停顿后不丢弃丢失帧的视频），本建议书中的模型未得到验证。

应注意，如评估未包含新的编码和传输技术产生的伪影，那么客观模型可能产生错误的结果。这里就需要进行主观评价。

4 模型描述

附件2中描述了下列模型：

模型 A（附件2） – VQEG倡议者韩国延世大学。

附件 1 的附录 1

视频质量专家组（VQEG）的调查结果

感知视频质量测量的研究是在称为VQEG的非正式小组内进行的，该组向ITU-T第9和第12研究组以及无线电通信第6研究组报告。最近完成的VQEG第一阶段多媒体测试评估了建议用于QCIF、CIF和VGA格式的部分参考感知视频质量测量算法的性能。

根据目前掌握的情况，此时ITU-R可建议下列方法：

型 A（附件2） – VQEG倡议者韩国延世大学。

表2、3和4提供了VQEG第一阶段多媒体测试中模型性能的详细信息。

表 2

**VGA分辨率：VQEG第一阶段多媒体测试模型性能的详细描述：
13次主观测试的平均值**

统计	Yonsei RR10k	Yonsei RR64k	Yonsei RR128k	PSNR ⁽¹⁾
相关值	0.803	0.803	0.803	0.713
RMSE ⁽²⁾	0.599	0.599	0.598	0.714
离出率	0.556	0.553	0.552	0.615

⁽¹⁾ PSNR：峰值信噪比。

⁽²⁾ RMSE：均方根误差。

表 3

CIF分辨率：VQEG第一阶段多媒体测试模型性能的详细描述：
14次主观测试的平均值

统计	Yonsei RR10k	Yonsei RR64k	PSNR
相关值	0.780	0.782	0.656
RMSE	0.593	0.590	0.720
离出率	0.519	0.511	0.632

表 4

QCIF分辨率：VQEG第一阶段多媒体测试模型性能的详细描述：
14次主观测试的平均值

统计	Yonsei RR1k	Yonsei RR10k	PSNR
相关值	0.771	0.791	0.662
RMSE	0.604	0.578	0.721
离出率	0.505	0.486	0.596

RR VGA模型初步分析的平均相关值均为0.80，PSNR为0.71。一些试验中单个模型相关值高达0.93。RR VGA的平均RMSE均为0.60，PSNR为0.71。RR VGA模型的平均离出率为0.55至0.56，PSNR为0.62。在13次试验的7次中，所有建议模型的表现统计上均优于PSNR。根据每项指标，每个RR VGA模型处于最佳表现模型之列的次数为：

统计	Yonsei RR10k	Yonsei RR64k	Yonsei RR128k	PSNR
相关值	13	13	13	7
RMSE	13	13	13	6
离出率	13	13	13	10

RR CIF模型初步分析的平均相关值为0.78，PSNR为0.66。一些试验中单个模型相关值高达0.90。RR CIF模型的平均RMSE均为0.59，PSNR为0.72。RR CIF模型的平均离出率为0.51和0.52，PSNR为0.63。在14次试验的10次中，所有建议模型的表现统计上均优于PSNR。根据每项指标，每个RR CIF模型处于最佳表现模型之列的次数为：

统计	Yonsei RR 10k	Yonsei RR64k	PSNR
相关值	14	14	5
RMSE	14	14	4
离出率	14	14	5

RR QCIF模型初步分析的平均相关值为0.77和0.79，PSNR为0.66。一些试验中单个模型相关值高达0.89。RR QCIF模型的平均RMSE均为0.58和0.60，PSNR为0.72。RR QCIF模型的

平均离出率为0.49和0.51，PSNR为0.60。在14次试验的至少9次中，所有建议模型的表现统计上均优于PSNR。根据每项指标，每个RR QCIF模型处于最佳表现模型之列的次数为：

统计	Yonsei RR1k	Yonsei RR10k	PSNR
相关值	14	14	5
RMSE	14	14	4
离出率	12	13	4

附件 2

模型A部分参考方法***

目录

	页码
1 引言	7
2 EPSNR部分参考模型	7
2.1 边缘 PSNR	7
2.2 从源视频序列中选择特征	12
2.3 空间/时间配准和增益/偏移调整	15
2.4 计算EPSNR和后处理	18
2.5 侧信道的最佳带宽	19
附录	20

*** 此模型与ITU-T J.246附件A中规定的模型相同。

1 引言

虽然PSNR已广泛用作客观视频质量测量的方法，但亦有报告称它并不能很好地反映感知视频质量。在分析人类如何感知视频质量时，观察到人类的视觉系统对边缘退化敏感。换言之，如视频的边缘像素模糊，即使PSNR比较高，评估者也往往会打出较低的分。根据这一观测结果，制定了用于测量边缘退化的部分参考模型。

图1说明了部分参考模型的工作程序。将用于在监测点测量视频质量的特征是从源视频序列提取并传输的。表5显示了特征功能的侧信道带宽。这已在VQEG MM测试中进行测试。

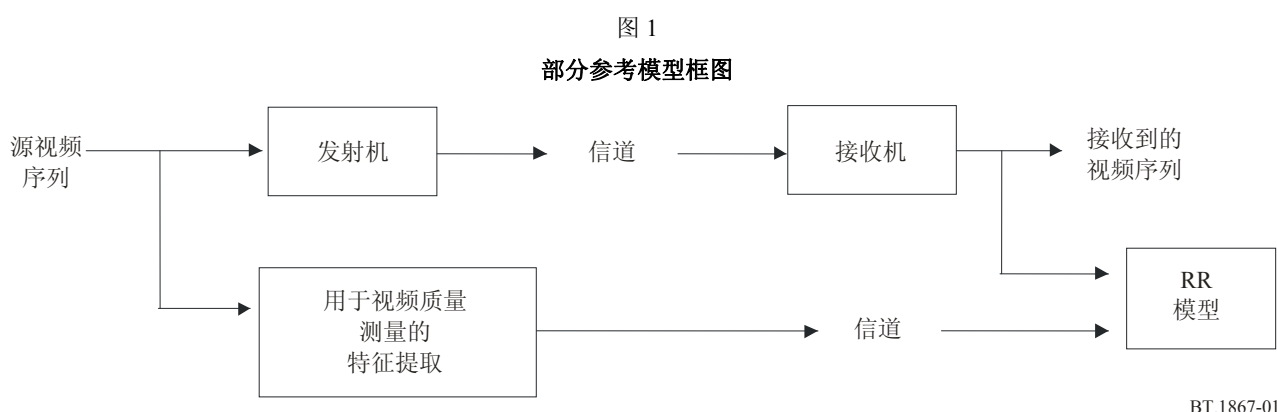


表 5
侧信道带宽

视频格式	测试的带宽
QCIF	1 kbps, 10 kbps
CIF	10 kbps, 64 kbps
VGA	10 kbps, 64 kbps, 128 kbps

2 EPSNR部分参考模型

2.1 边缘PSNR

部分参考（RR）模型主要测量边缘退化。在模型中，边缘检测算法首先用于源视频序列，以定位边缘像素。而后通过计算均方差来测量这些边缘像素的退化。边缘PSNR（EPSNR）是通过这一均方差来计算的。

人们可使用任何边缘检测算法，但结果可能有细微差异。例如，人们可使用任一梯度算子来定位边缘像素。已提出一些梯度算子。在许多边缘检测算法中，首先使用梯度算子计算

水平梯度图像 $g_{horizontal}(m,n)$ 和垂直梯度图像 $g_{vertical}(m,n)$ 的。而后梯度幅度图像 $g(m,n)$ 可通过以下方式计算：

$$g(m,n)=|g_{horizontal}(m,n)|+|g_{vertical}(m,n)|$$

最后，对梯度幅度图像 $g(m,n)$ 应用阈值运算得到边缘像素。换言之，梯度幅度超过一个门限值的像素被认为是边缘像素。

图2至6说明了这一程序。图2显示了一个源图像。图3显示了水平梯度图像 $g_{horizontal}(m,n)$ ，该图像是通过图2的源图像应用水平梯度算子得到的。图4显示了垂直梯度图像 $g_{vertical}(m,n)$ ，该图像是通过图2的源图像应用垂直梯度算子得到的。图5显示了梯度幅度图像（边缘图像），图6显示了二值边缘图像（掩模图像），该图像是通过图5中的梯度幅度图像应用阈值运算得到的。

图 2

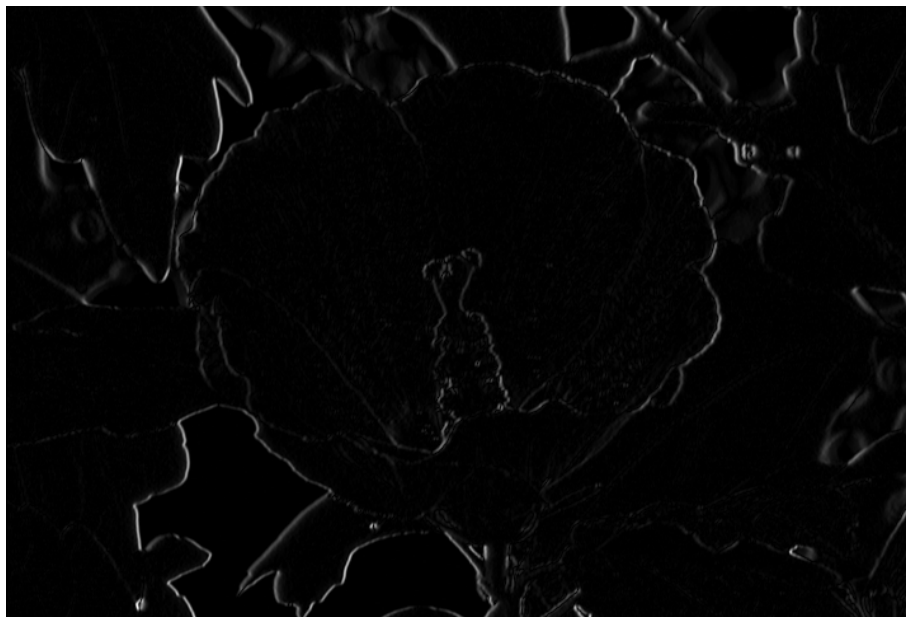
源图像（原始图像）



BT.1867-02

图 3

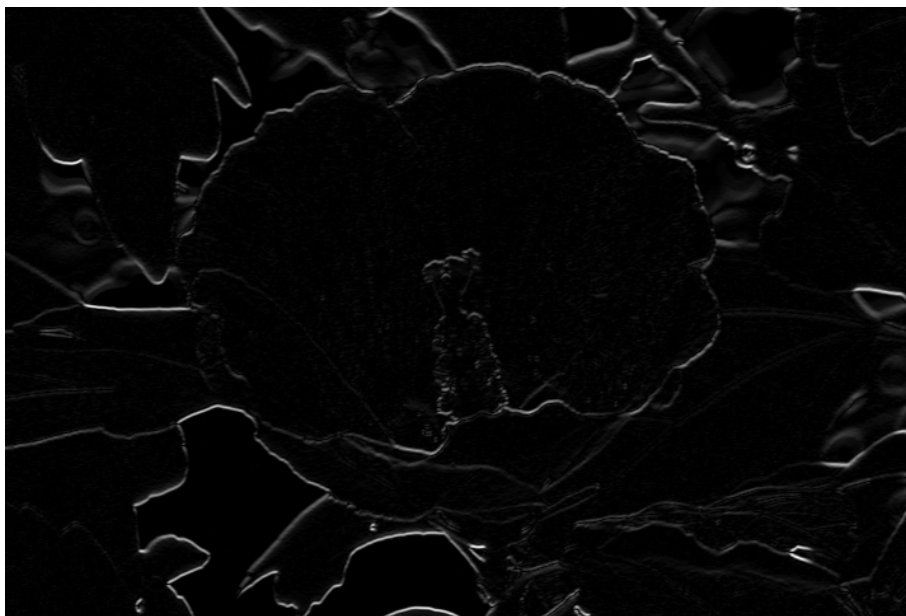
水平梯度图像，该图像是通过对图2中的源图像应用水平梯度算子得到的



BT.1867-03

图 4

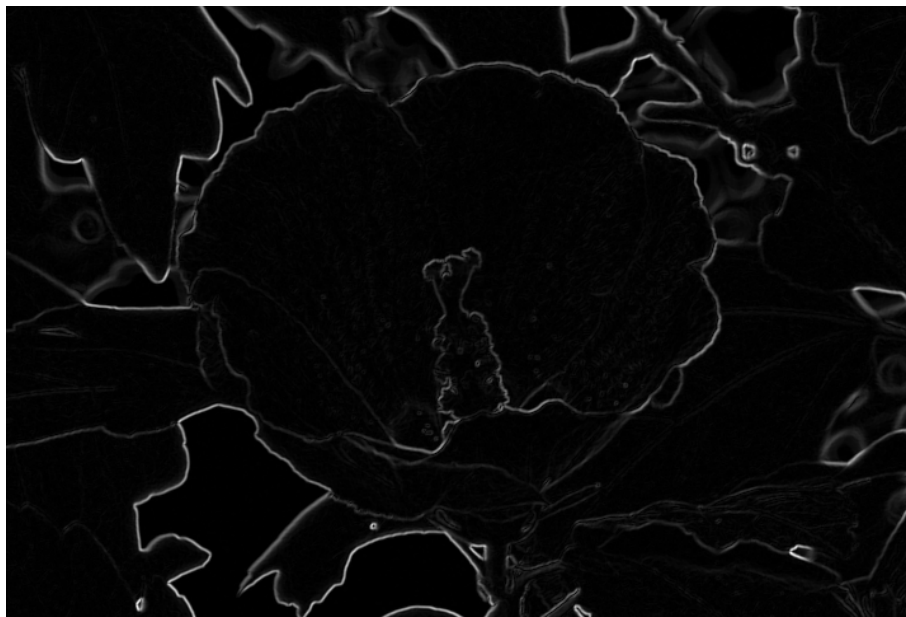
垂直梯度图像，该图像是通过对图2的源图像应用的垂直梯度算子得到的



BT.1867-04

图 5

梯度幅度图像



BT.1867-05

图 6

二值边缘图像（掩模图像），该图像是通过图5的梯度幅度图像应用阈值运算得到的



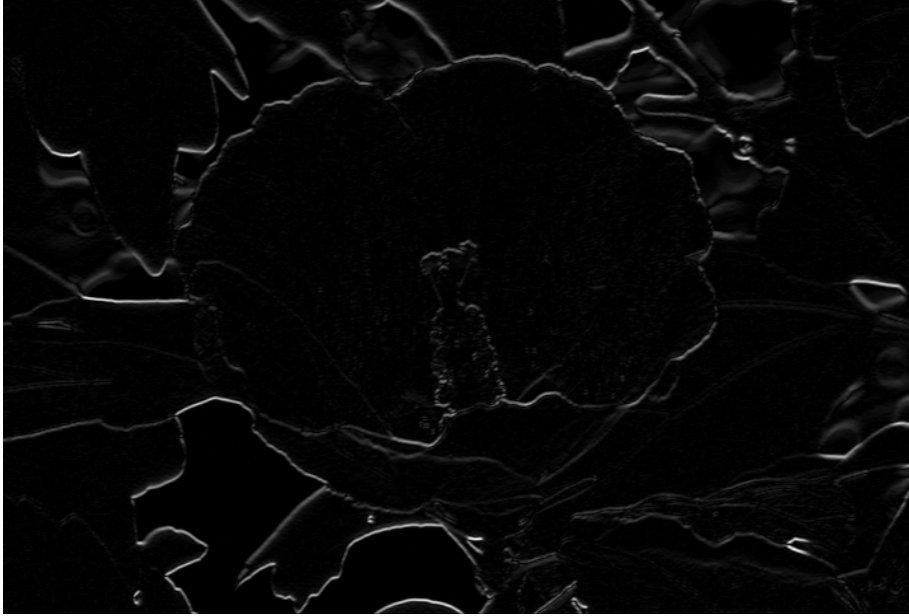
BT.1867-06

另外，人们可使用修改的程序来确定边缘像素。例如，人们可首先对源图像应用垂直梯度算子产生垂直梯度图像。而后对垂直梯度图像应用水平梯度算子得到经修改的连续梯度图像（水平和垂直梯度图像）。最后可对经修改的连续梯度图像应用阈值运算得到边缘像素。换言之，经修改的连续梯度图像超过一个门限值的像素被认为是边缘像素。图7至图9说明了经修改的程序。图7显示了垂直梯度图像 $g_{vertical}(m,n)$ ，该图像是通过图2的源图像应用垂直梯度算子得到的。图8显示了经修改的连续梯度图像（水平和垂直梯度图像），该图像是通

通过对图7的垂直梯度图像应用水平梯度算子得到的。图9显示了二值边缘图像（掩模图像），该图像是通过对图8中经修改的连续梯度图像应用阈值运算得到的。

图 7

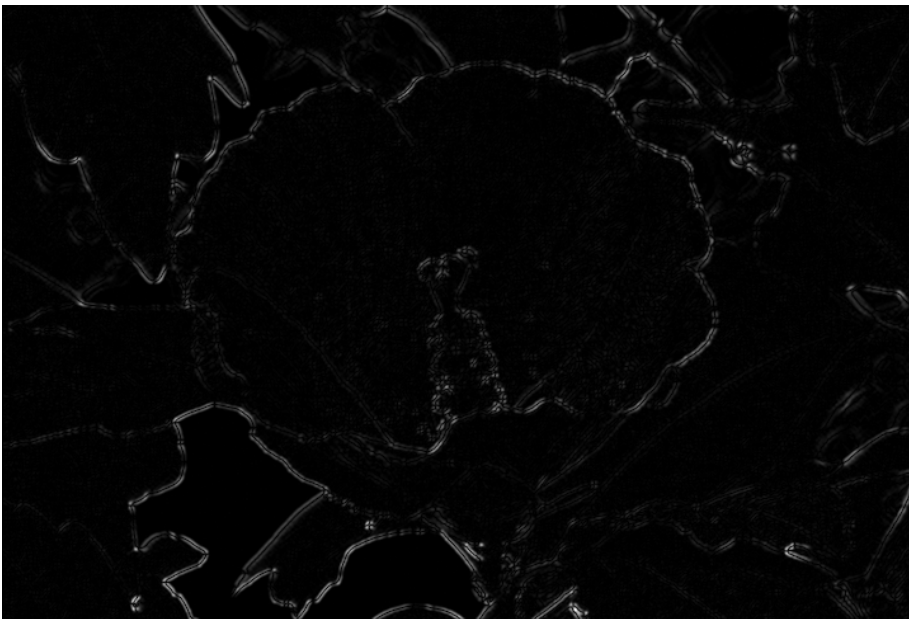
垂直梯度图像，该图像是通过对图2的源图像
应用垂直梯度算子得到的



BT.1867-07

图 8

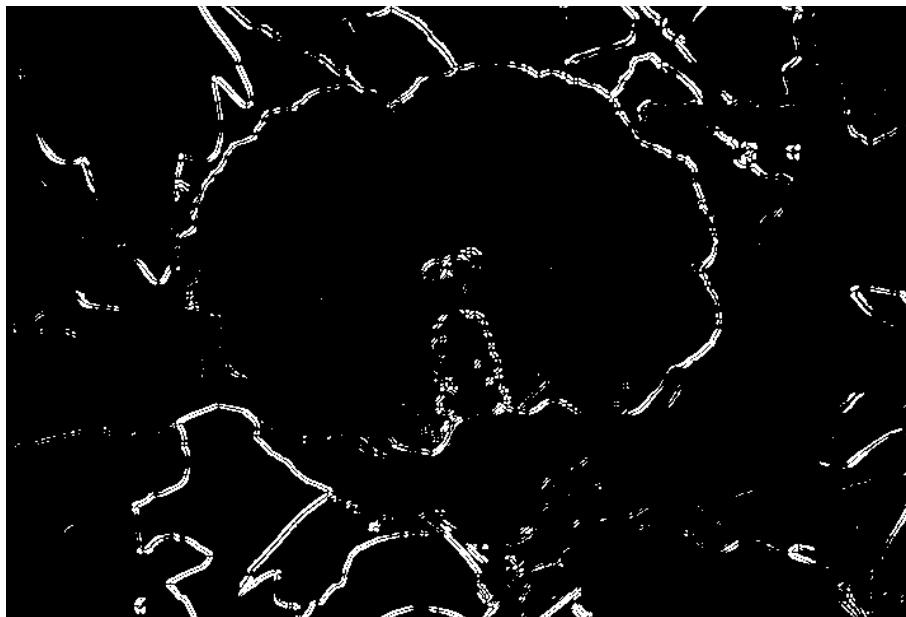
经修改的连续梯度图像（水平和垂直梯度图像），
该图像是通过对图7的垂直梯度图像
应用水平梯度算子得到的



BT.1867-08

图9

二值边缘图像（掩模图像），该图像是通过图8中经修改的连续梯度图像应用阈值运算得到的



BT.1867-09

注意，两种方法均可理解为边缘检测算法。人们可根据视频和压缩算法的性质选择任何边缘检测算法。但一些方法可能优于其它方法。

因此在模型中，首先应用边缘检测算子，产生边缘图像（图5和图8）。而后通过对边缘图像应用阈值运算产生掩模图像（二值边缘图像）（图6和图9）。换言之，小于门限值 t_e 的边缘图像像素设为零，而等于或大于门限值的像素设为非零的值。图6和图9给出了一些掩模图像。鉴于可将视频视为帧或字段的序列，上述程序可用于视频的每个帧或字段。由于模型可用于基于字段或基于帧的视频，术语“图像”将用于表示一个字段或帧。

2.2 从源视频序列中选择特征

由于模型是一个RR模型，需从源视频序列中的每个图像中提取一组特征。在EPSNR RR模型中，从每个图像中选取一定数量的边缘像素。而后对像素位置和像素值进行编码和传输。但对一些视频序列，在使用固定的门限值时，边缘像素的数量可能非常少。在最坏的情况下可能为零（空白图像或极低频图像）。为解决这一问题，在一个图像的边缘像素数小于给定值时，用户可降低门限值，直至边缘像素值大于该给定值。另外，人们可选择与水平和垂直梯度图像的最大值对应的边缘像素。当一个帧中没有边缘像素（如空白图像）时，人们可随意选择所需的像素数或跳过该帧。例如，如需从每帧中选出10个边缘像素，人们可根据相应的值对水平和垂直梯度图像的像素进行排序，选择最大的10个值。但应用此程序可能在相同位置产生多个边缘像素。为解决这一问题，人们可首先选择多个水平和垂直梯度图像所需的像素数，而后在选出的水平和垂直梯度图像的像素中随机选择所需的边缘像素数。在经

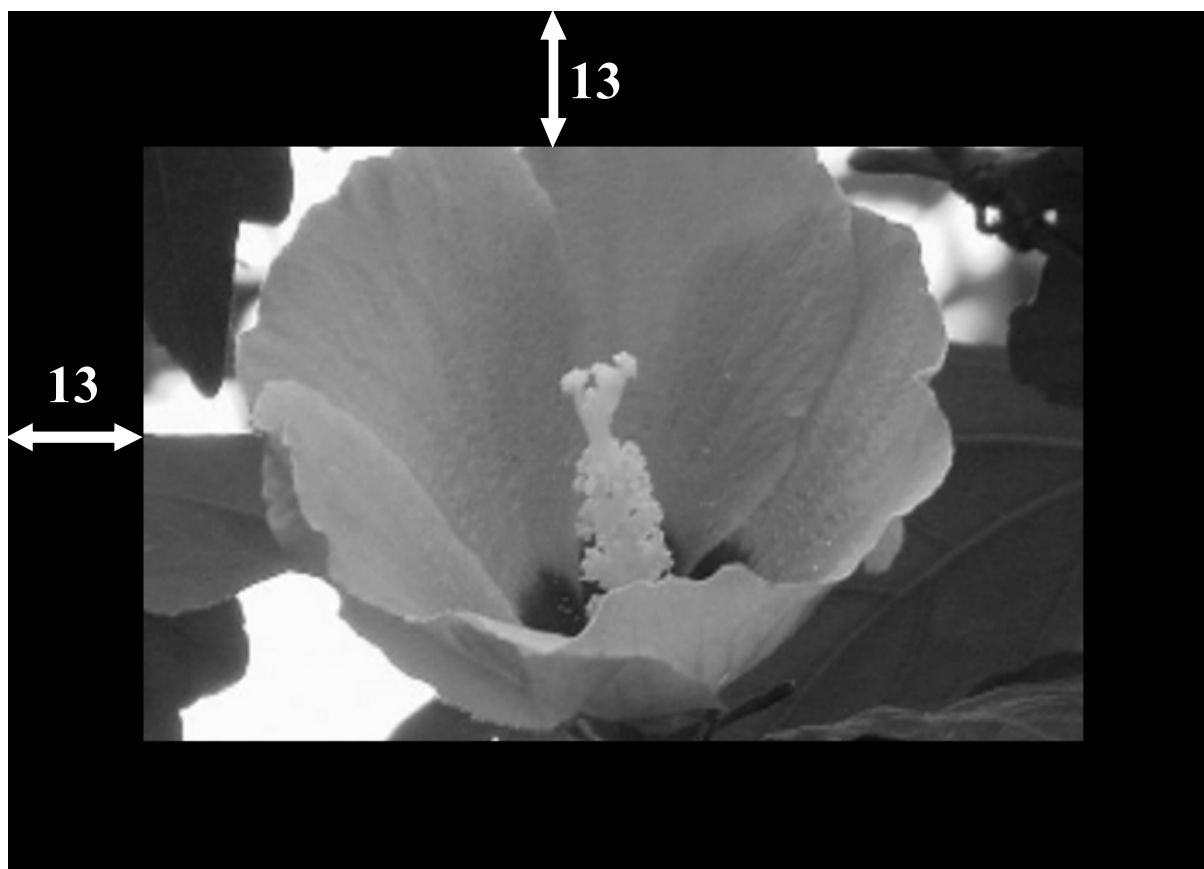
VQEG多媒体测试的模型中，所需的边缘像素数是从庞大的边缘像素集合中随机选出的。边缘像素集是通过梯度图像应用阈值运算得到的。

在EPSNR RR模型中，对像素位置和边缘像素值进行编码。注意，在编码过程中，可进行剪切。为了避免在剪切区域选择边缘像素，模型在中间区域选择边缘像素（图10）。表6显示了剪切后的图像大小。表6还显示了对边缘像素的位置和像素值进行编码所需的位数。

表 6
每边缘像素所需的位数

视频格式	大小	剪切后大小	表示位置的位数	表示像素值的位数	每像素的总位数
QCIF	176 × 144	168 × 136	15	8	23
CIF	352 × 288	338 × 274	17	8	25
VGA	640 × 480	614 × 454	19	8	27

图 10
剪切（VGA）和中间区域的示例



模型根据允许带宽从每一帧中选择边缘像素（表5）。表7至表8显示了对于所测试的带宽，可传输的每帧边缘像素数。

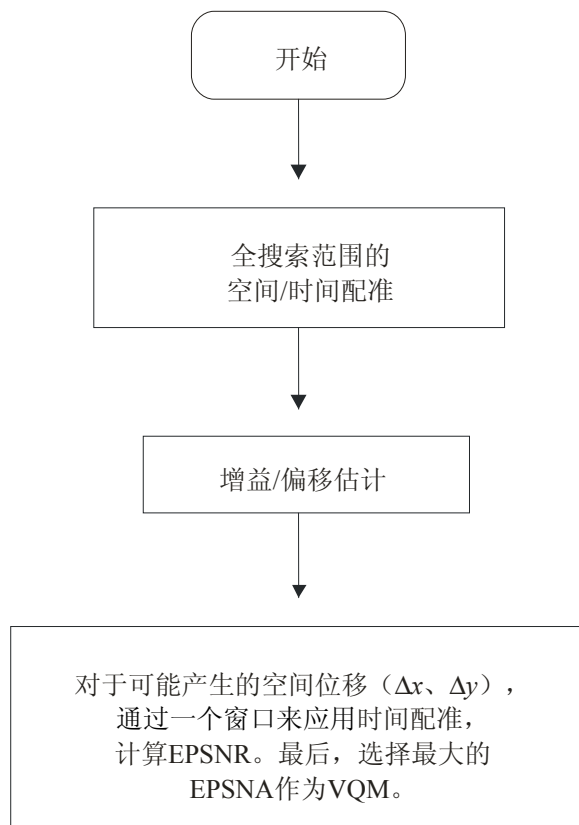
表 7
每帧边缘像素数（30帧/秒）

视频格式	1 kbit/s	10 kbit/s	64 kbit/s	128 kbit/s
QCIF	1	14		
CIF		13	85	
VGA		12	79	158

表 8
每帧边缘像素数（25帧/秒）

视频格式	1 kbit/s	10 kbit/s	64 kbit/s	128 kbit/s
QCIF	1	17		
CIF		16	102	
VGA		14	94	189

图 11
模型流程图



2.3 空间/时间配准和增益/偏移调整

在计算源视频序列的边缘像素和接收机接收到并处理的视频序列的边缘像素之间的差异之前，该模型首先应用空间/时间配准和增益/偏移调整。首先，应用全搜索算法，确定全球空间和时域位移，以及增益和偏移值（图11）。然后对可能产生的每一空间位移（ Δx 、 Δy ），进行时间配准，计算EPSNR。最后选择最大的EPSNR作为视频质量衡量标准（VQM）。

在监测点，经处理的视频序列应与从源视频序列提取的边缘像素一致。但如果侧信道带宽很小，那么源视频序列只有很少边缘像素可供选择（图12）。因此，如使用单帧进行时间配准，时间配准可能并不准确（图13）。为解决这一问题，模型使用一个窗口进行时间配准。该模型建立一个由一系列相邻帧组成的窗口而不是使用经处理的视频序列的单帧来确定最佳位移。图14描述了这一程序。窗口内的均方差按以下方式计算：

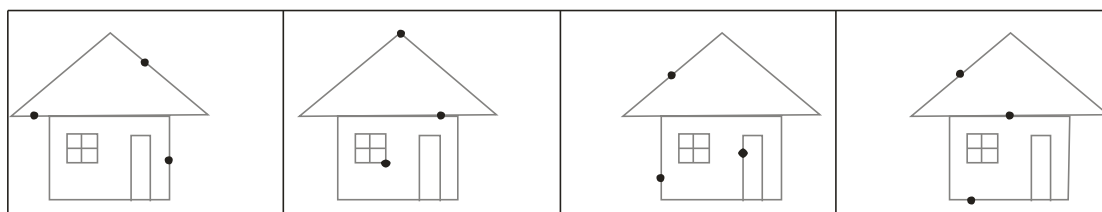
$$MSE_{window} = \frac{1}{N_{win}} \sum (E_{SRC}(i) - E_{PVS}(i))^2$$

其中 MSE_{window} 是窗口均方差， $E_{SRC}(i)$ 是在经处理的视频序列中有对应像素的窗口内的边缘像素， $E_{PVS}(i)$ 是与边缘像素对应的经处理的视频序列的像素， N_{win} 是用于计算 MSE_{window} 的边缘像素总数。窗口均方差用作经处理的视频序列的一个帧与源视频序列对应帧之间的差异。

可根据经处理的视频序列的性质来确定窗口大小。在典型应用中，建议使用与两秒对应的窗口。另外，可应用各种大小的窗口，以及提供最小均方差的最佳窗口。

图 12

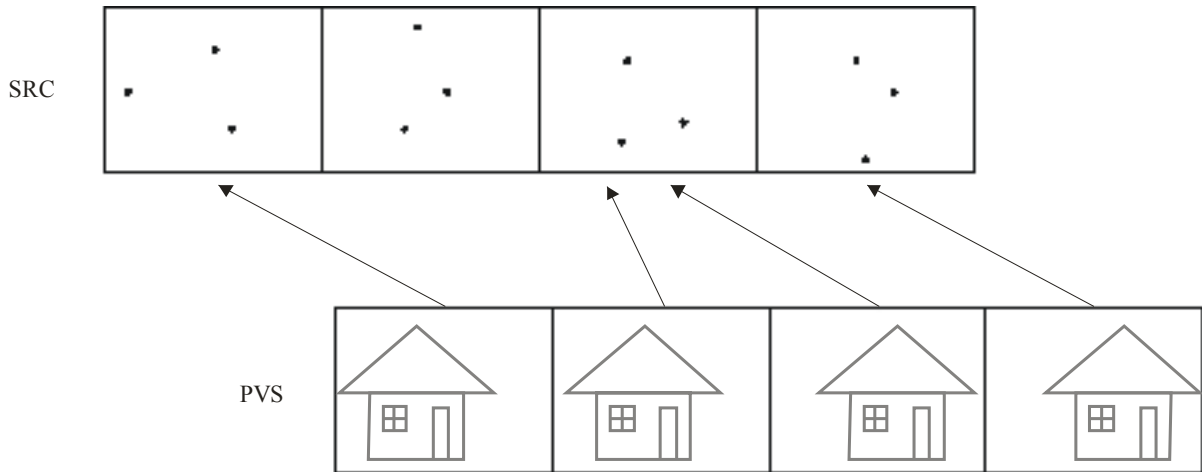
源视频序列的边缘像素选择



BT.1867-12

图 13

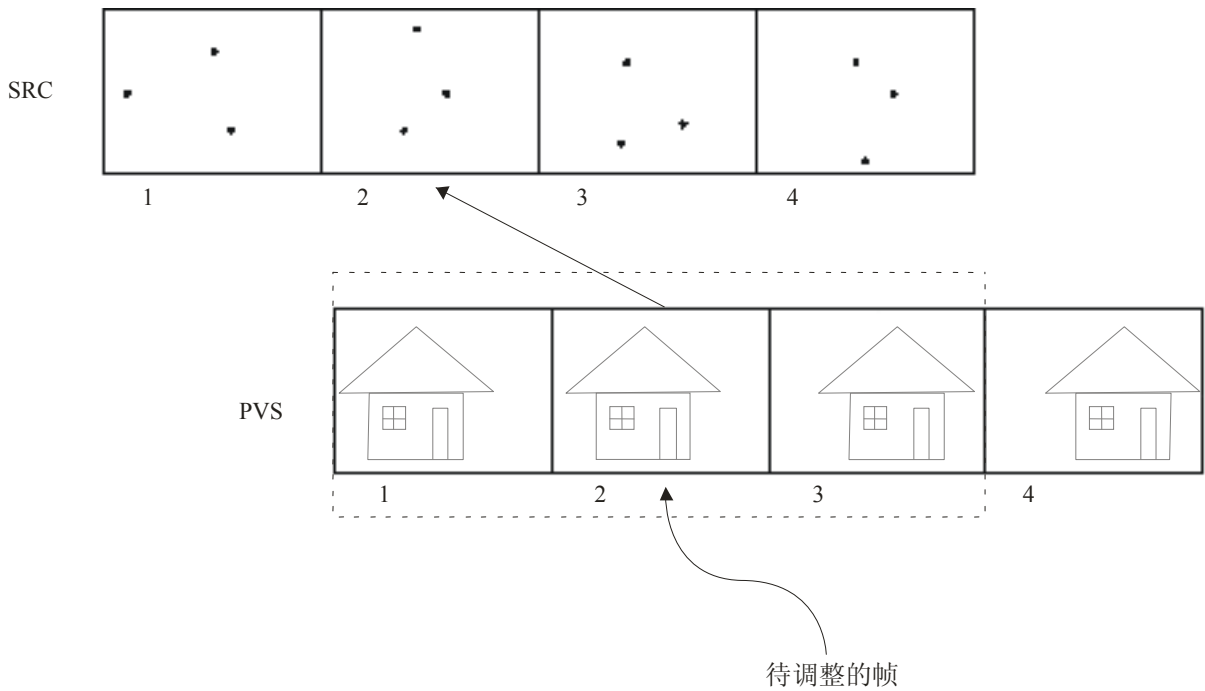
根据源视频序列的边缘像素调整经处理的视频序列



BT.1867-13

图 14

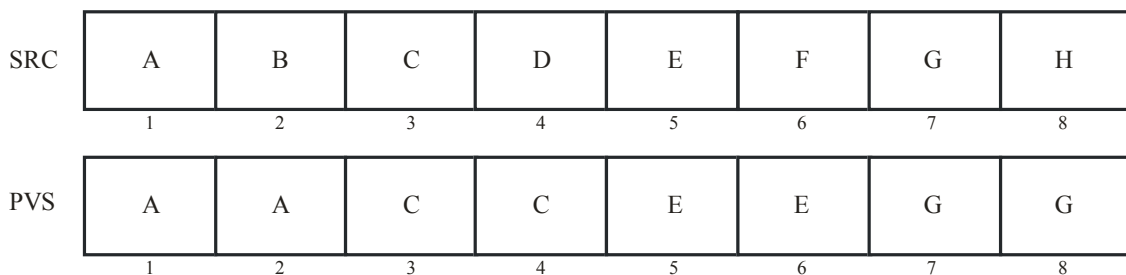
利用一个窗口按照边缘像素调整经处理的视频序列



BT.1867-14

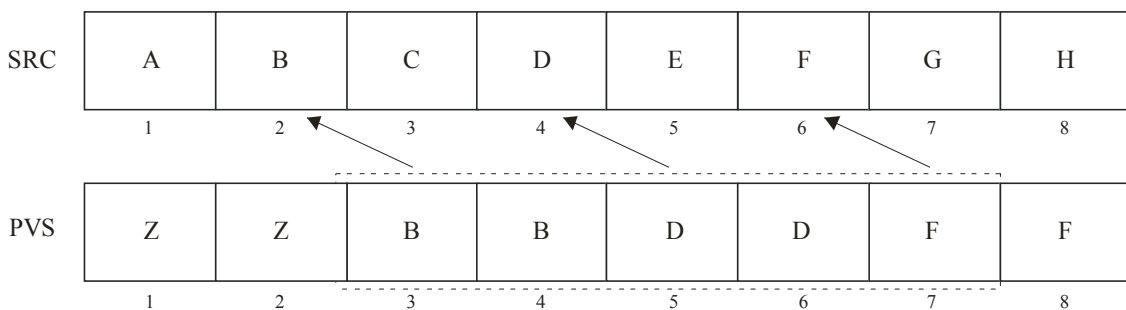
以高压缩比对源数据系列进行编码时，编码器可能减少每秒帧数，从而经处理的视频序列存在重复帧（图15）。在图15中，经处理的视频序列没有与源数据序列的一些帧（第2、4、6、8帧）对应的帧。在这种情况下，模型在计算均方差时不使用重复帧。换言之，该模型使用每个重复块的第一帧（有效帧）进行时间配准。因此在图16中，窗口内仅有三个帧（第3、5、7帧）用于时间配准。

图 15
重复帧示例



BT.1867-15

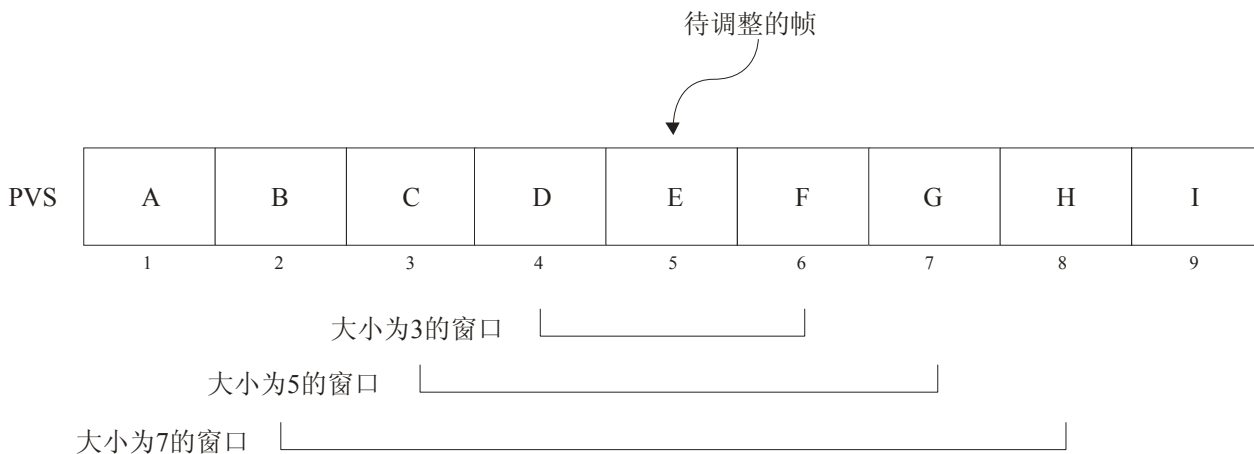
图 16
处理重复帧



BT.1867-16

经处理的视频序列可能出现不规则帧重复的情况，这可能导致利用窗口进行时间配准的方法得出不准确的结果。为解决这一问题，可以在使用窗口进行时间配准后在一个给定值（如 ± 1 ）内局部调整窗口的每个帧，如图18所示。而后提供最小MSE的局部调整用于计算EPSNR。

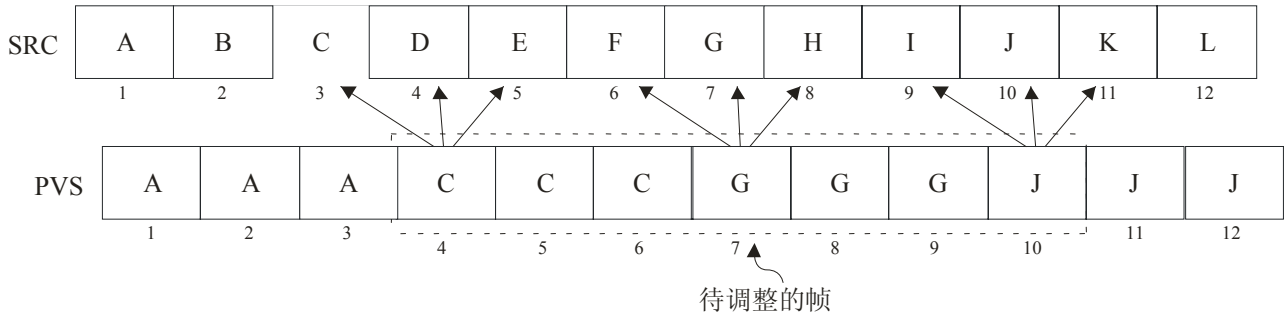
图 17
各种大小的窗口



BT.1867-17

图 18

利用一个窗口进行局部调用用于时间配准的局部调整



BT.1867-18

2.4 计算EPSNR和后处理

进行时间配准后，计算源视频序列边缘像素和经处理的视频序列的对应像素之间的平均差，这一平均差可看作经处理的视频序列的边缘均方差 (MSE_{edge})。最后，EPSNR（边缘PSNR）通过以下方式进行计算：

$$EPSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{P^2}{MSE_{edge}} \right)$$

其中：

p 图像峰值。

在多媒体视频编码中，由于帧率减小和传输错误导致的停顿可能产生帧重复，这将降低感知视频质量。为解决这一影响，在计算EPSNR之前，该模型应用下列调整计算：

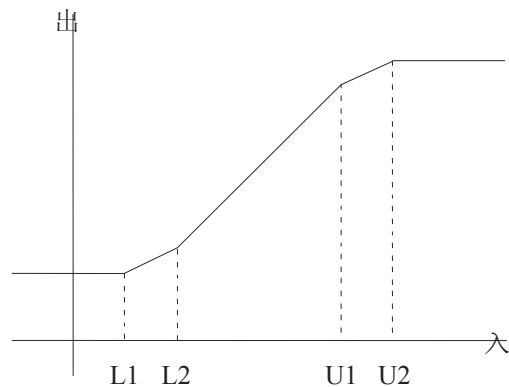
$$MSE_{frozen_frame_considered} = MSE_{edge} \times \frac{K \times N_{total_frame}}{N_{total_frame} - N_{total_frozen_frame}}$$

其中 $MSE_{frozen_frame_considered}$ 是均方差，考虑到了重复帧和停顿， N_{total_frame} 是总帧数， $N_{total_frozen_frame}$ ， K 是常数。在经VQEG多媒体测试的模型中， K 设为1。

当EPSNR超过一定值时，感知质量趋于饱和。在这种情况下，可设置EPSNR的上限。此外，如EPSNR和DMOS（平均意见得分差值）最好为线性关系，人们可使用分段线性函数，如图19所示。在经VQEG多媒体测试的模型中，由于使用了多项式曲线拟合，仅将上限设为50。

图 19

EP SNR和DMOS之间为
线性关系的分段线性函数



BT.1867-19

2.5 侧信道的最佳带宽

附录显示了随侧信道带宽不断增加的性能比较。对于QCIF格式，可看出相关系数在约10 kbit/s几乎饱和。之后，带宽增加实现了约1%的性能改善。对于CIF格式，可看出相关系数在约15 kbit/s几乎饱和。此外，带宽增加实现了约0.5%的性能改善。对于VGA格式，可看出相关系数在约30 kbit/s几乎饱和。之后，带宽增加实现约0.5%的性能改善。

用于视频质量客观测量的EP SNR部分参考模型基于边缘退化。可适度利用计算能力实施这一模型。如能利用侧信道，那么这些模型非常适用于要求进行实时视频质量监测的应用。

附件2的 附录1

1 侧信道的最佳带宽

图20显示了QCIF视频集不同侧信道带宽的相关系数。可看出相关系数在约10 kbit/s时几乎达到饱和。此后，带宽增加可实现约1%的性能改善。

图 20

随侧信道带宽增加产生的性能改善 (QCIF)

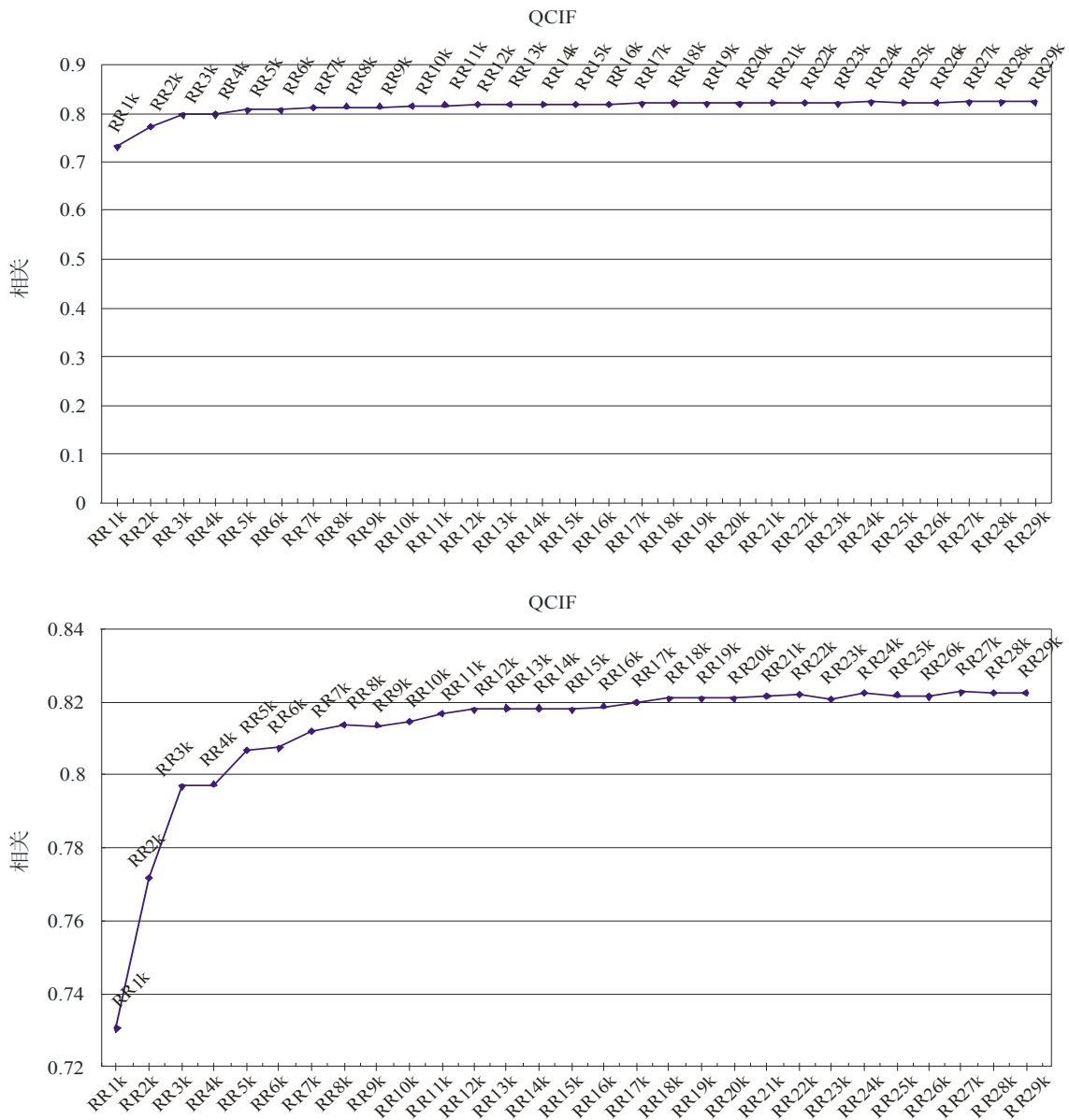


图21显示了CIF视频集了不同侧信道带宽的相关系数。可看出相关系数在约15 kbit/s时达到饱和。此后，带宽增加实现了约0.5%的性能改善。

图 21
随侧信道带宽增加产生的性能改善 (CIF)

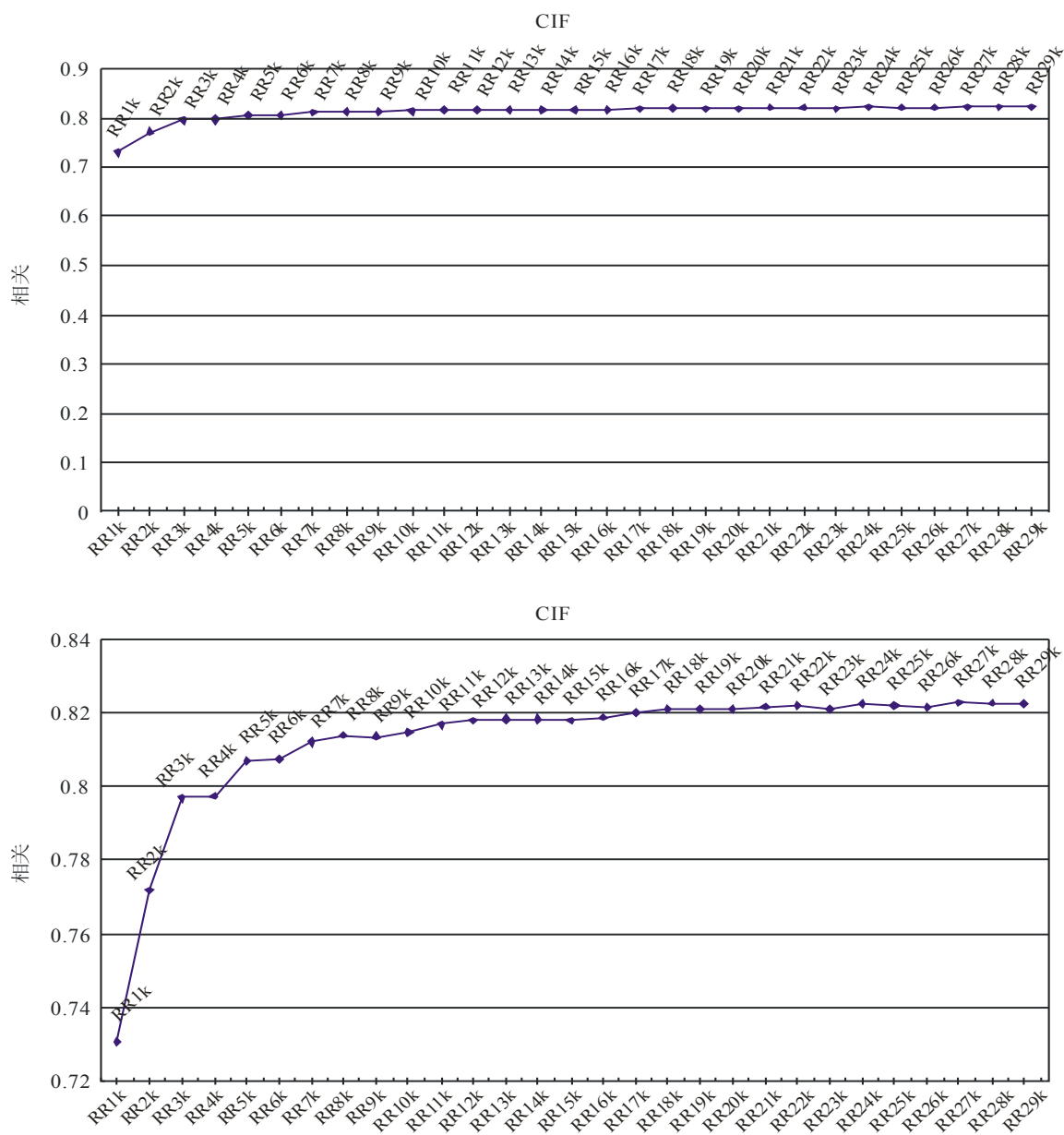


图22显示了VGA视频集不同侧信道带宽的相关系数。可看出相关系数在约30 kbit/s时几乎达到饱和。此后，带宽增加实现了约0.5%的性能改善。

图 22
随侧信道带宽增加产生的性能改善 (VGA)

