

# 基于双参数 Weibull 分布的视频编码率失真模型的研究\*

霍 炎<sup>1)2)†</sup> 荆 涛<sup>2)</sup> 李生红<sup>1)</sup>

1) (上海交通大学电子工程系, 上海 200240)

2) (北京交通大学通信与信息系统北京市重点实验室, 北京 100044)

(2009 年 5 月 7 日收到; 2009 年 6 月 9 日收到修改稿)

对视频序列离散余弦变换(DCT)系数统计分布进行了分析,提出了一种基于 Weibull 概率密度的视频 DCT 系数统计模型,该模型较 Laplace 概率密度与 Cauchy 概率密度更好地描述了视频序列的 DCT 特征.随后以该统计模型为基础,依据熵编码的理论分别给出了视频序列的速率-量化关系和失真-量化关系,并根据实际视频序列特性对其进行合理地简化近似,得到一种新的较为精确的视频序列率失真模型.经大量仿真实验证明,文中提出的基于 Weibull 分布的率失真模型对于 Intra 帧和 Inter 帧两种编码的真实视频序列率失真特性都具有较好的描述.

**关键词:** Weibull 概率密度函数, 率失真模型, 量化参数

**PACC:** 0590, 0250

## 1. 引 言

众所周知,信道是通信的桥梁,不同信道的传输能力不同<sup>[1]</sup>.相比传统的数据业务来说,具有广泛应用的数字视频播放有严格的实时性要求<sup>[2]</sup>,这就需要网络为视频传输提供足够的带宽、确定的延时和一定的误码率.对于无线移动信道来说,网络的可用带宽是有限的<sup>[3,4]</sup>.由于多径、衰落、时延扩展、噪声影响和信道干扰等因素的存在,无线移动信道不仅具有带宽波动的特点,而且信道误码率高,经常会出现连续的、突发性的传输错误<sup>[5]</sup>,因此无线网络中的传输视频面临着很大的挑战.与此同时,不同的视频图像的编码输出的比特率亦有差别,所以为了适应信道的特性,减小信道失真,编码输出要先经过缓冲器再发往信道.但是若编码输出量过大,缓冲器内的比特就会不断囤积,造成时延的增大或跳帧,影响接收端视频的连续性;若编码输出过小,又会引起缓冲器的下溢,造成信道资源的浪费.所以,为了避免缓冲器的上溢和下溢,在编码器端必须进行速率控制<sup>[6,7]</sup>.

通常来讲,速率控制策略需要解决以下两方面的问题<sup>[8]</sup>:第一,如何根据缓存状态为每一个编码单元分配合适的比特数,即速率分配;第二,如何根据分配的比特数调整编码器参数,从而对每个编码单元进行编码,即量化参数的调节.在速率控制策略问题中最为关键的一点就是寻找速率与量化参数之间的关系,在保证传输的前提下,为获得最好的视频图像质量对其进行的量化编码控制.由于量化误差同时也决定着信源失真的大小,于是速率与量化之间的关系通常情况下由速率失真(rate distortion)模型给出<sup>[9]</sup>.

视频编码过程中速率失真优化问题可以表述为:在一帧的总比特率受限的情况下,如何选择其中每个宏块的编码参数,使得此帧的总失真度最小<sup>[10]</sup>.这也就是说,为了使得在给定的编码速率下获得尽可能小的编码失真,确定了信源统计特性的前提下,通常情况需要对受到速率失真限制的视频信源进行失真分析和速率估计.文献[11]给出了使用信源比特的  $\rho$  域指数模型度量失真特性,该方法较传统  $q$  域下的失真度量更加精确,这主要是因为  $\rho$  域模型在信源比特估计上具有较好的性能.而

\* 国家自然科学基金(批准号:60772040,60772042)资助的课题.

† E-mail: greathuo@sohu.com

Tseng 等<sup>[12]</sup>在 2007 年的 IEEE 图像处理年会上也提出了一种使用最大似然估计的视频图像速率失真分析方法,并将其成功应用于编码器的比特分配策略中,但作者并未给出单一的统计模型描述视频序列离散余弦变换(DCT)系数统计特性.因此本文力图寻求一种简单而有效的数学描述,给出视频图像的 DCT 系数统计特性,从而能够更好地优化视频编码过程中的速率控制策略与比特分配方法.

## 2. 典型视频源 DCT 系数分布分析

典型的视频源不仅包括时间信息变化较小的会议视频,而且还包括时空变化剧烈的影视视频.简而言之,根据大量的时空信息可以对视频源进行分类:空间上可以分为平滑的和纹理的两种;时间上可以分为慢运动与复杂内容两种.

视频编码器的性能是由输出比特速率与不同视频源特性的编码质量所决定的.视频压缩编码一般是在诸如期望重建质量或输出速率受限的条件下进行的.传统的视频编码是基于块的 DCT 变换编码方式:对于 Intra 帧直接使用 DCT 变换,而对 Inter 帧则对运动补偿残留值进行 DCT 变换.由此在进行优化编码器算法时,寻找视频信源 DCT 系数统计分布的模型就显得尤为关键.图 1 中粗虚线给出了典型视频信源基于  $8 \times 8$  块大小 DCT 变换系数的直方图统计.文献<sup>[13]</sup>给出了 DCT 系数分布一般近似参数为  $\lambda$  的 Laplace 统计分布

$$f(x) = \frac{\lambda}{2} \exp\{-\lambda \cdot |x|\} \quad (x \in \mathbf{R}). \quad (1)$$

Laplace 概率密度函数是简单指数形式的,在很多情况下,其尾部衰减与实际的 DCT 系数直方图统计的尾部分布有很大的区别,如图 1 中细实线所示. Laplace 的尾部衰减速度比真实的 DCT 分布更快,在 Inter 帧情况下更为明显,这就导致了使用该模型得到的压缩视频速率-失真模型的不精确.

文献<sup>[14]</sup>也说明在使用 Laplace 密度函数的缺陷,因而给出了使用参数为  $\mu$  的 Cauchy 统计分布近似 DCT 系数分布的方法,

$$f(x) = \frac{\mu}{\pi(\mu^2 + x^2)} \quad (x \in \mathbf{R}), \quad (2)$$

它精确地拟合了 DCT 系数直方图统计样本的重尾

分布,使得其尾部衰减与真实的 DCT 统计更为近似,仿真如图 1 中所示.但是使用 Cauchy 统计分布却带来了“0”附近的 DCT 统计值的不一致,以此得到的压缩视频速率-失真模型会降低重建视频图像的细节内容,进而降低图像的质量.

为了逼近 DCT 系数直方图样本“0”附近的统计值,同时满足其重尾分布的特点,本文给出了 Weibull 概率密度函数(PDF),

$$f(x) = \frac{m}{\beta} \cdot |x|^{m-1} \cdot \exp\left(-\frac{|x|^m}{\beta}\right) \quad (m \neq 1, \beta > 0, x \in \mathbf{R}). \quad (3)$$

对于(3)式所示的 Weibull 密度函数中,形状参数  $m$  决定了分布密度曲线的基本形状,而尺度参数  $\beta$  起到放大或缩小的作用,这两个系数均依赖于视频图像的内容.  $\beta$  与视频图像 DCT 统计分布的二阶矩有关,而  $m$  与视频图像 DCT 统计分布的四阶矩有关.它可以通过相对熵(即 Kullback-leibler 距离)的相似性获得

$$\Delta H(\beta, m) = - \sum_{i=1}^L h_i \log_2 \frac{\int_{x_i-0.5}^{x_i+0.5} f(x) dx}{h_i}, \quad (4)$$

式中,  $h_i$  表示视频 DCT 统计分布第  $i$  个子区间的实际分布情况,  $L$  表示总共包含子区间的个数.于是通过最大似然估计法可以得到  $m$  与  $\beta$  的解

$$\{\beta^*, m^*\} = \operatorname{argmax}\{-\Delta H(\beta, m)\}. \quad (5)$$

图 1 分别给出了公共中间格式(CIF)视频序列 Tempete 与四分之一公共中间格式(QCIF)视频序列 salesman 的 DCT 系数统计分布、Laplace 概率密度、Cauchy 概率密度以及 Weibull 概率密度的比较,其中图 1(a)和(c)为 Intra 帧编码情况下的 DCT 系数统计,图 1(b)和(d)为 Inter 帧编码情况下的 DCT 系数统计.对于这两种情况下的 DCT 系数分析可知,相比 Laplace 分布与 Cauchy 分布来说,使用 Weibull 概率密度分布更能够逼近真实视频图像的 DCT 系数的尾部分布形态.

为了更好地比较上述各种概率密度与视频序列 DCT 统计分布的关系,并在此基础上寻求精确的视频编码输出率失真模型,下文分别给出 Weibull, Laplace 和 Cauchy 信源的熵函数,而后分别对基于这些分布的熵函数得到的速率失真预测与失真估计模型进行分析,并给出基于 Weibull 概率密度的视频序列的率失真模型.

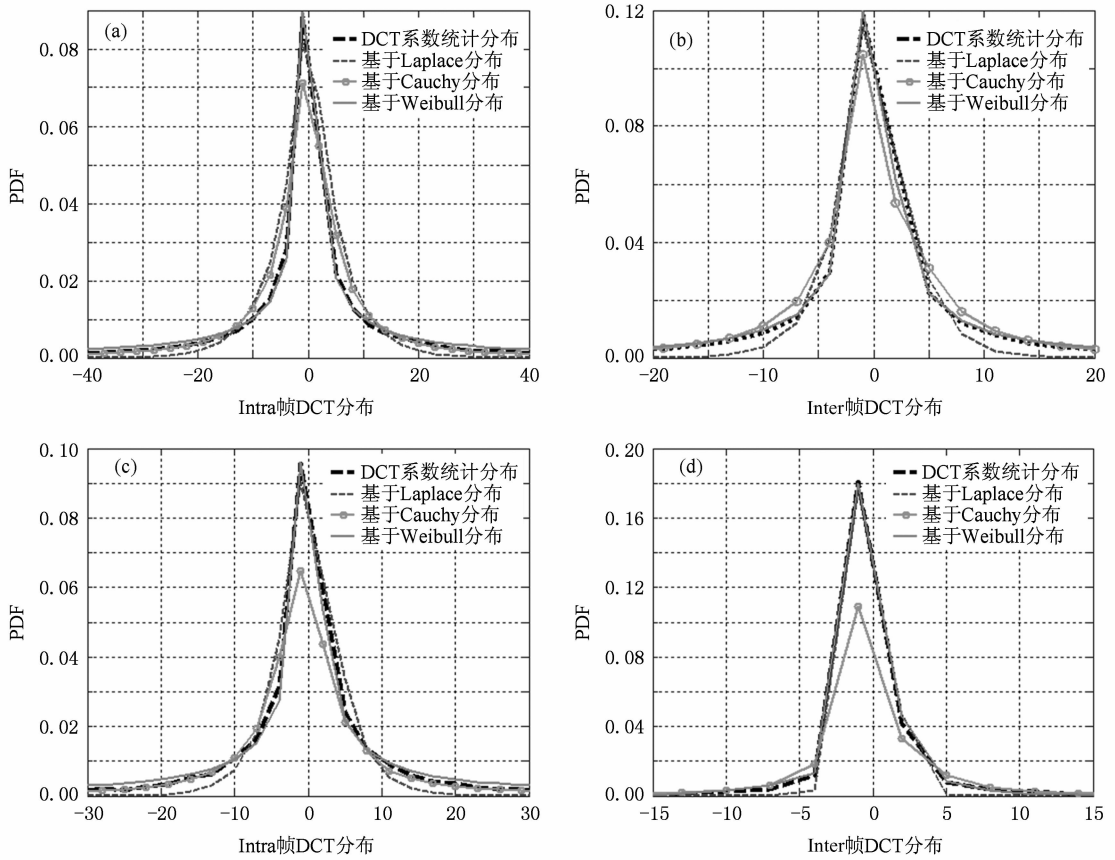


图1 几种概率密度函数 DCT 系数统计比较 (a) Tempete 序列 Intra 帧, (b) Tempete 序列 Inter 帧, (c) salesman 序列 Intra 帧, (d) salesman 序列 Inter 帧

### 3. 视频序列的速率失真分析

#### 3.1. 基于 Weibull 概率密度的速率预测

一般来说,通过对 DCT 系数分布更精确的估计可以得到更准确的编码速率预测. 这里假设对 DCT 系数进行均匀量化,使用量化参数  $Q$  定义的 Laplace, Cauchy 以及 Weibull 分布的编码熵由下式给出:

$$H(Q) = - \sum_{i=-\infty}^{\infty} P(iQ) \text{lb}[P(iQ)], \quad (6)$$

其中,  $P(iQ)$  表示使用  $iQ$  量化 DCT 系数的概率 ( $i$

$= 0, \pm 1, \pm 2 \dots$ ),

$$P(iQ) = \int_{(i-\frac{1}{2})Q}^{(i+\frac{1}{2})Q} f(x) dx. \quad (7)$$

将(1)式代入(6)和(7)式中,可以得到 Laplace 分布的编码熵函数

$$\begin{aligned} H(Q) &= - \sum_{i=-\infty}^{\infty} P(iQ) \text{lb}[P(iQ)] \\ &= - \text{lb}(1 - e^{-\frac{\lambda Q}{2}}) \\ &\quad - e^{-\frac{\lambda Q}{2}} \left[ \text{lb}\left(\frac{e^{\frac{\lambda Q}{2}} + 1}{2}\right) - \frac{\text{lb}e^{\lambda Q}}{(1 - e^{-\lambda Q})} \right], \end{aligned} \quad (8)$$

其中  $P(iQ)$  为

$$P(iQ) = \begin{cases} \int_{(i-\frac{1}{2})Q}^{(i+\frac{1}{2})Q} \frac{\lambda}{2} \exp\{-\lambda x\} dx = \frac{1}{2} e^{-i\lambda Q} (e^{\frac{\lambda Q}{2}} - e^{-\frac{\lambda Q}{2}}) & (i > 0), \\ \int_0^{\frac{Q}{2}} \lambda \exp\{-\lambda x\} dx = 1 - e^{-\frac{\lambda Q}{2}} & (i = 0), \\ \int_{(i-\frac{1}{2})Q}^{(i+\frac{1}{2})Q} \frac{\lambda}{2} \exp\{\lambda x\} dx = \frac{1}{2} e^{i\lambda Q} (e^{\frac{\lambda Q}{2}} - e^{-\frac{\lambda Q}{2}}) & (i < 0). \end{cases} \quad (9)$$

另外,根据文献[14]中给出了如下式所示的基于Cauchy 概率编码熵函数的表达:

$$H(Q) = -\frac{2}{\pi} \tan^{-1}\left(\frac{Q}{2\mu}\right) \text{lb}\left[\frac{2}{\pi} \tan^{-1}\left(\frac{Q}{2\mu}\right)\right] - \frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^{\infty} \tan^{-1}\left(\frac{\mu Q}{\mu^2 + (i^2 - 1/4)Q^2}\right) \times \text{lb}\left[\tan^{-1}\left(\frac{\mu Q}{\mu^2 + (i^2 - 1/4)Q^2}\right)\right]. \quad (10)$$

与上面的方法相同,本文中依据(3)式提出的Weibull 概率密度函数得到如下编码熵函数表达式:

$$H(Q) = -2F\left(\frac{Q}{2}\right) \text{lb}\left[2F\left(\frac{Q}{2}\right)\right] - 2 \sum_{i=1}^{\infty} \left[F\left(\left(i + \frac{1}{2}\right)Q\right) - F\left(\left(i - \frac{1}{2}\right)Q\right)\right]$$

$$\times \text{lb}\left[F\left(\left(i + \frac{1}{2}\right)Q\right) - F\left(\left(i - \frac{1}{2}\right)Q\right)\right], \quad (11)$$

其中  $F(x)$  为 Weibull 分布累积分布函数,即

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x^m}{\beta}\right) \quad (x > 0). \quad (12)$$

为了更好地说明(11)式给出的速率模型,本文针对 CIF 视频序列 Tempete 与 QCIF 视频序列 Foreman 进行仿真测试. 针对每一种序列使用的量化参数  $Q$  的范围为  $[1, 128]$ , 通过自适应二进制算术编码方案, 分别计算基于 Weibull 熵函数的速率预测、Laplace 熵函数的速率预测、Cauchy 熵函数的速率预测以及实际编码比特速率, 如图 2, 3 所示.

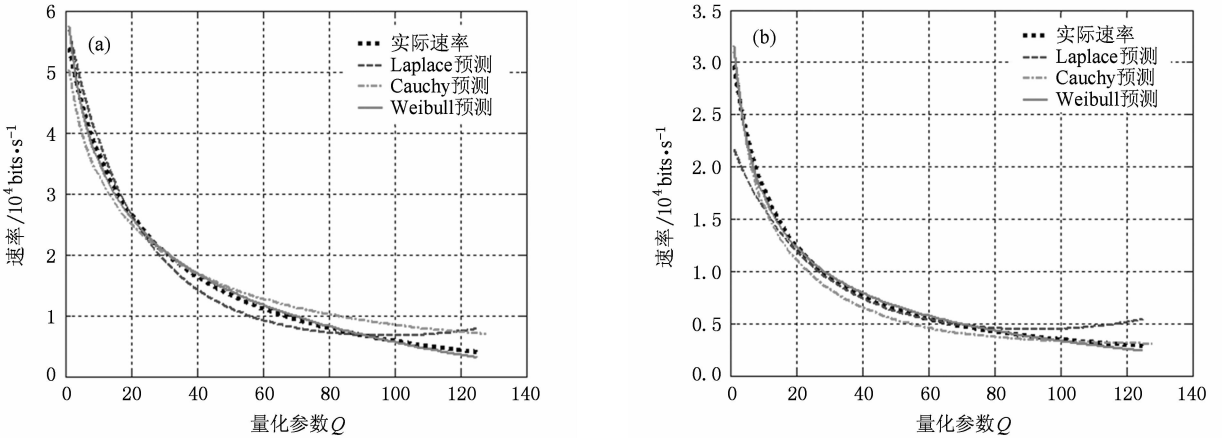


图2 CIF 视频序列 Tempete 的熵函数的速率预测与实际速率的比较 (a) Intra 帧方式, (b) Inter 帧方式

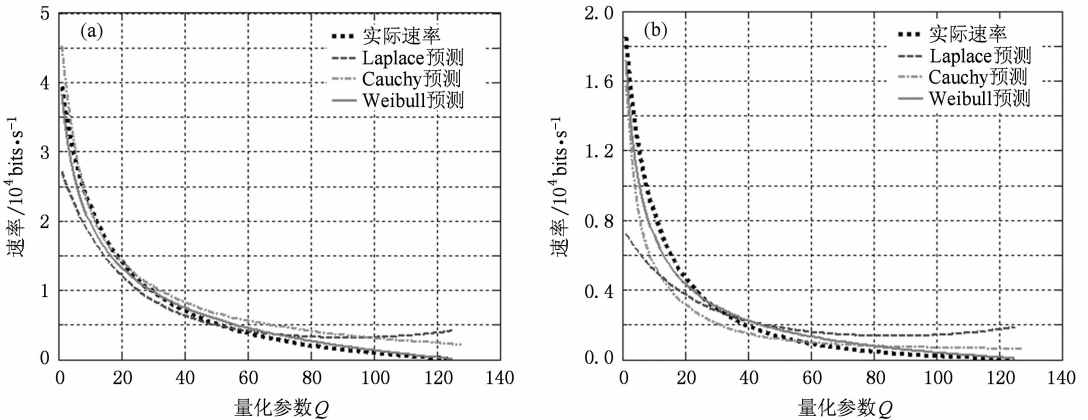


图3 QCIF 视频序列 Foreman 的熵函数的速率预测与实际速率的比较 (a) Intra 帧方式, (b) Inter 帧方式

速率预测误差可以表示为

$$V_{\text{err}} = \frac{|\text{目标速率} - \text{实际速率}|}{\text{目标速率}}. \quad (13)$$

表 1 给出了由(13)式计算的速率预测误差, 进而衡量上述两种分布下速率预测精度的比较结果. 由表 1 可知, 无论是 Intra 帧编码方式还是 Inter 帧

编码方式,基于 Weibull 分布的速率预测方法在降低预测误差(提高速率预测精度)上均优于 Laplace 速率预测方法和 Cauchy 速率预测方法.

表 1 三种速率模型的预测性能比较

视频序列	速率预测误差					
	Intra 编码方式			Inter 编码方式		
	Laplace	Cauchy	Weibull	Laplace	Cauchy	Weibull
News	0.0810	0.0488	0.0151	0.1029	0.0802	0.0548
Foreman	0.1248	0.0623	0.0122	0.4066	0.2324	0.1133
Salesman	0.1219	0.0590	0.0301	0.1547	0.0983	0.0478
Football	0.1653	0.0511	0.0476	0.4631	0.2836	0.1711
Coastguard	0.0992	0.0601	0.0448	0.2681	0.1403	0.1021
Tempete	0.0728	0.0547	0.0323	0.3726	0.1298	0.0976

### 3.2. 简化速率模型

对于(11)式给出的使用 Weibull 概率密度计算视频序列编码熵值可以达到相当精确的结果,但在实际应用中需要对其进行简化近似计算,以降低计算复杂度.对依据(9)式给出的编码熵值计算公式取对数,得到如图 4 所示的不同视频序列的编码熵值  $H$  和量化参数  $Q$  之间的关系.

由此,基于(11)式简化近似后的熵函数表达式如下:

$$H(Q) = C + \alpha_i \cdot mad \cdot Q^{-\gamma}, \quad (14)$$

式中,  $\alpha_i$  为模型尺度参数,  $\gamma$  表示模型形状参数,  $mad = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j |p_{i,j}|$  表示视频序列的平均绝对误差,  $N$  是编码单元的像素数目,  $p_{i,j}$  是重建图像与原始图像间的差值.而常数  $C = -2 \cdot \text{lb}(3^m - 1)$  可由(11)式进行 Taylor 级数展开并进行简化得到.下面针对模型的形状参数  $\gamma$  和图像  $mad$  值之间的关系做进一步分析.图 5(a) 与 (b) 分别给出了视频序列 Claire 和 salesman 的  $(mad, \gamma)$  点集的分布情况.图中的每一个点都代表具有相应  $mad$  值的图像帧.如图所示,在一定的范围内,  $\gamma$  和  $mad$  值近似呈线性关系,利用回归分析可得到回归方程如下:

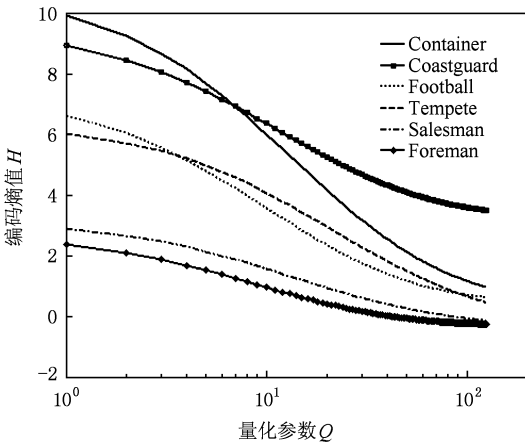


图 4 编码熵  $H$  和量化参数  $Q$  之间的关系

$$\begin{aligned} \gamma &= K1 + \bar{K} \cdot mad \quad (mad \leq MAD), \\ \gamma &= \Phi \quad (\text{其他}), \end{aligned} \quad (15)$$

其中,  $MAD$  是当  $\gamma = 1$  时的  $mad$  值,当  $mad < MAD$  时,  $\gamma$  和  $mad$  成线性关系,  $K1$  与  $\bar{K}$  均为线性回归系数;当  $mad > MAD$  时,  $\gamma$  在一固定值周围波动,该固定值  $\Phi = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \gamma(i)$ .

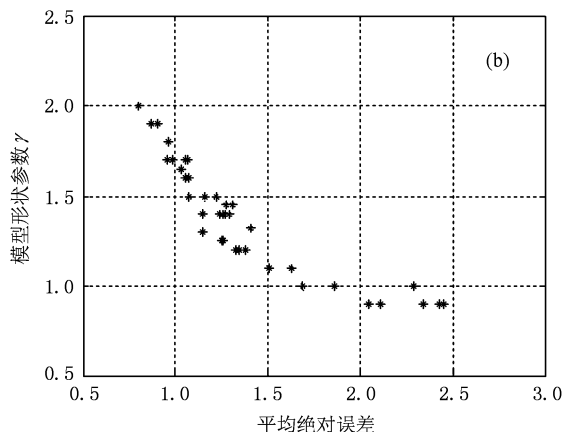
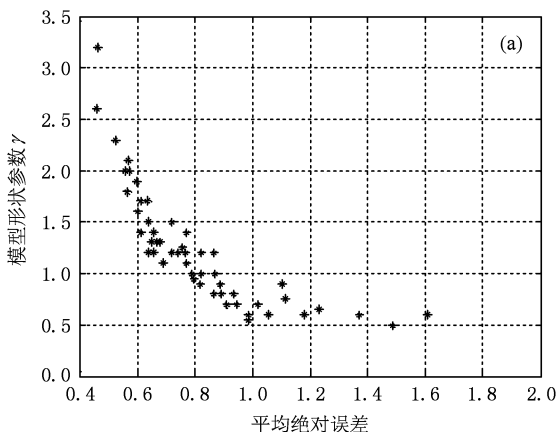


图 5 视频图像  $(mad, \gamma)$  点集的分布 (a) 视频序列 Claire, (b) 视频序列 salesman

为了更好地说明上述近似表达式的精度,图6给出了使用(11)式得到的基于 Weibull 分布的熵函数与(15)式简化近似后的熵函数之间的比较.由图6可知,使用(15)式给出的熵函数近似解与3.1节中所述的基于 Weibull 概率密度函数的编码熵值基本一致.

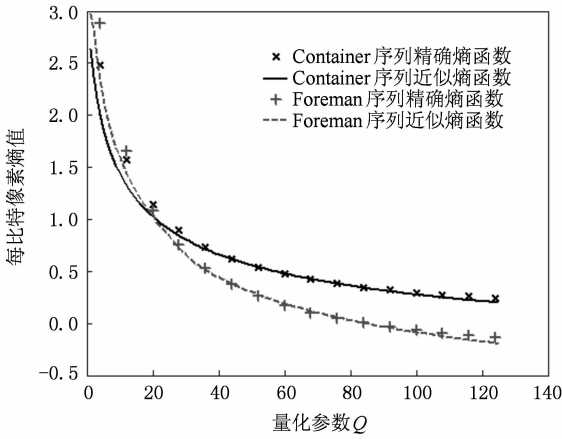


图6 精确熵函数与近似熵函数的比较

### 3.3. 基于 Weibull 概率密度的失真估计

视频编码的量化技术是提高压缩编码效率的因素之一,但同时也会造成一定的图像失真,加之如果量化参数选取不当或量化矩阵不合适就会产生更为明显的损伤.对于编码量化失真同样可以使

用基于 Weibull 概率密度函数进行估计,假设使用均匀量化步长,失真与量化的关系由下式给出,

$$\begin{aligned}
 D(Q) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} \int_{(i-\frac{1}{2})Q}^{(i+\frac{1}{2})Q} |x - iQ|^2 f(x) dx \\
 &= -\frac{Q^2}{2} \exp\left(-\frac{Q^m}{2^m \beta}\right) \\
 &\quad - 4m\beta^{-2m} \cdot \bar{\Gamma}\left(-2m, \frac{x}{\beta}\right)_0^{0.5mQ^m} \\
 &\quad + \sum_{i=1}^{\infty} \left[ \frac{Q^2}{4} e^{-\frac{Q^m}{\beta}} (e^{(i-0.5)^m} - e^{(i+0.5)^m}) \right. \\
 &\quad \quad - 2imQ \cdot \bar{\Gamma}\left(-m, \frac{x}{\beta}\right)_{(i-0.5)^mQ^m}^{(i+0.5)^mQ^m} \\
 &\quad \quad \left. - m\beta^{-2m} \cdot \bar{\Gamma}\left(-2m, \frac{x}{\beta}\right)_{(i-0.5)^mQ^m}^{(i+0.5)^mQ^m} \right], \quad (16)
 \end{aligned}$$

其中  $\bar{\Gamma}(p, x) = \frac{1}{\Gamma\left(\frac{1}{p}\right)} \int_0^x e^{-t} t^{\frac{1}{p}-1} dt$  表示参数为  $p$  的不完全伽玛函数,  $m$  和  $\beta$  分别为 Weibull 的形状参数和尺度参数.

但是(16)式给出的基于 Weibull 的形状参数  $m$  和尺度参数  $\beta$  的精确量化失真估计方法所涉及的计算量很大,其数学描述也过于复杂.图7分别给出了 Intra 帧和 Inter 帧,针对几种视频序列在不同量化参数  $Q$  下的平均每像素失真测量.

但是(16)式给出的基于 Weibull 的形状参数  $m$  和尺度参数  $\beta$  的精确量化失真估计方法所涉及的计算量很大,其数学描述也过于复杂.图7分别给出了 Intra 帧和 Inter 帧,针对几种视频序列在不同量化参数  $Q$  下的平均每像素失真测量.

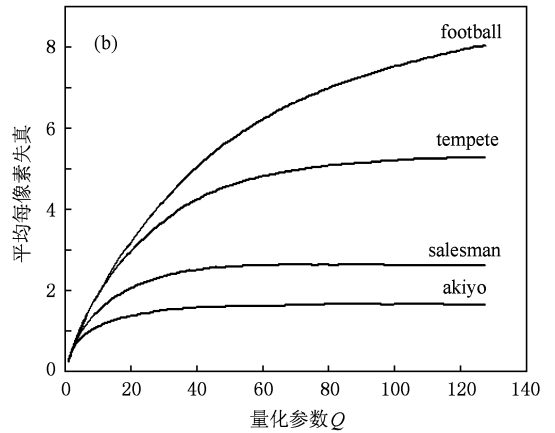
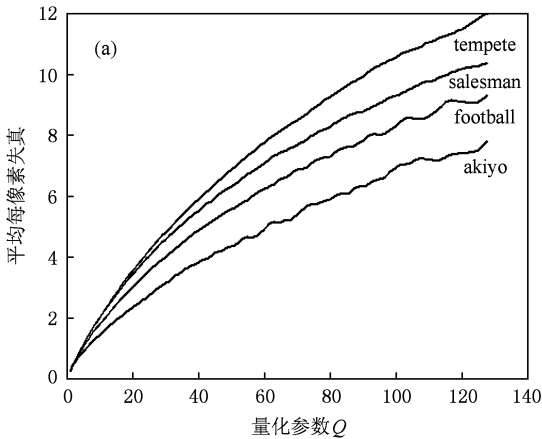


图7 四种视频序列平均每像素失真 (a) Intra 帧方式, (b) Inter 帧方式

类似3.2节中的简化速率模型所述,依据图7对几种视频序列的测试,基于 Weibull 概率密度的失真近似表达为

$$D_s(Q) = \alpha_2 \cdot mad \cdot Q^{\gamma_2}, \quad (17)$$

其中,  $\alpha_2 = (m \cdot \Delta)^2 \cdot e^{H(Q)}$  为模型参数 ( $\Delta$  为视频压缩编码算法的量化步长),  $H(Q)$  由(14)式的近似编码熵函数给出,形状参数  $\gamma_2$  由不同的编码帧类型给出.

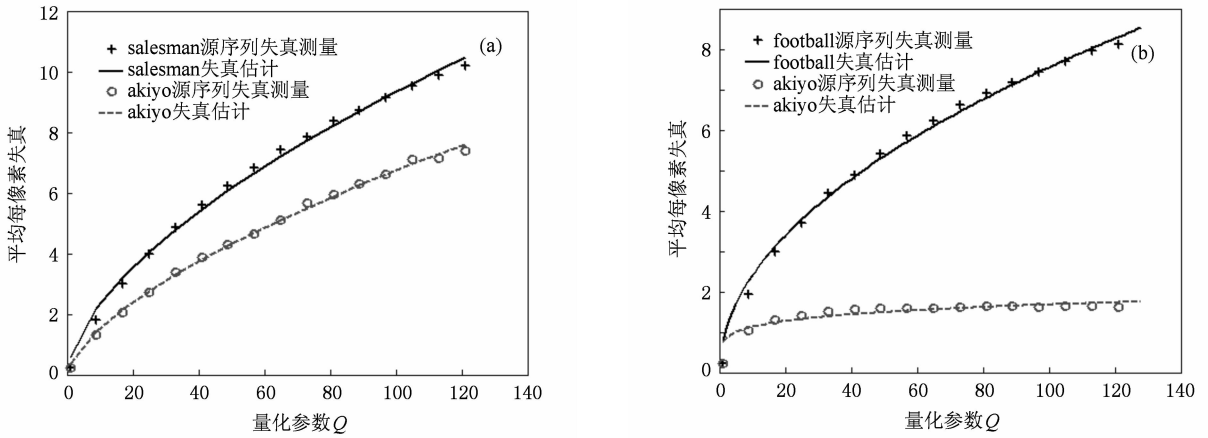


图 8 视频序列失真估计与近似失真函数的比较 (a) Intra 帧方式, (b) Inter 帧方式

针对 Intra 帧编码方式和 Inter 帧编码方式,图 8 分别给出了实际视频序列失真估计与使用(17)式给出的近似失真函数在平均每像素失真测量上的比较.由图 8 可见,无论对于视频图像的 Intra 帧编码方式还是 Inter 帧编码方式,使用(17)式给出的基于 Weibull 概率密度的失真近似表达计算视频图像平均每像素失真,与实际失真测量的结果基本一致,这也说明了(17)式能够较好地描述视频编码失真-量化的关系.这样通过(14)和(17)式的计算可以准确地描述视频编码率失真特性.

## 4. 结 论

本文提出了使用双参数 Weibull 概率密度描述视频序列 DCT 系数样本统计分布特性的方法,相比 Laplace 概率密度模型和 Cauchy 概率密度模型来

说,该方案以使用拟合模型的复杂数学表达和求解双参数的计算复杂度为代价,对视频序列 DCT 系数统计和尾部分布进行了更为逼近的描述,其描述表达式中的系数可以通过相对熵的最大似然估计得到.通过对 Intra 帧和 Inter 帧的 DCT 系数统计以及上述两种概率密度的比较,说明使用 Weibull 概率密度在描述视频序列 DCT 系数统计分布上的精确性.

在上述使用 Weibull 分布描述 DCT 系数统计特性的基础上,本文提出了基于 Weibull 概率密度的视频序列的速率失真分析,给出了相应速率预测与失真估计的精确解,并依据实际视频序列进行了简化计算.仿真实验表明,使用基于 Weibull 分布的视频编码率失真模型能够更好地逼近原始视频序列的率失真性能.

[1] Chen X Y, Wang W M 2008 *IEEE Trans. Inform. Theory* **54** 743  
 [2] Xiong T, Chang S J, Shen J Y, Zhang Y X 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1931 (in Chinese) [熊 涛、常胜江、申金媛、张延 ; 2005 物理学报 **54** 1931]  
 [3] Hu K, Tang Y 2008 *Chin. Phys. B* **17** 3536  
 [4] Kramer G, Savari S A 2007 *IEEE Trans. Inform. Theory* **53** 518  
 [5] Yoshida T, Yamagata J, Tanaka S 2008 *Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers* **62** 1785  
 [6] Wang G J, Zhang Q, Zhu W W, Lin X G 2003 *Sci. China Ser. E* **33** 1057 (in Chinese) [王贵锦、张 黔、朱文武、林行刚 2003 中国科学, E 辑 **33** 1057]  
 [7] Zafer M, Modiano E 2008 *IEEE Trans. Inform. Theory* **54** 4020

[8] Ma S W, Gao W, Lu Y 2005 *IEEE Trans. Circuits Sys. Video Techn.* **15** 1533  
 [9] Wang H L, Kwong S, Kok C W 2007 *IEEE Trans. Multimedia* **9** 882  
 [10] Yang E H, Yu X 2007 *IEEE Trans. Image Process* **16** 1774  
 [11] Le J Y, Park H W 2005 *IEEE Trans. Circuits Sys. Video Techn.* **15** 1077  
 [12] Tseng I H, Ortega 2007 *IEEE International Conference on Image Processing* **2** 21  
 [13] Lam E Y 2004 *IEEE Signal Processing Letters* **11** 97  
 [14] Kamaci N, Altunbasak Y, Mersereau R M 2005 *IEEE Trans. Circuits Sys. Video Techn.* **15** 994

# Rate distortion model based on dual parameters Weibull distribution \*

Huo Yan<sup>1)2)†</sup> Jing Tao<sup>2)</sup> Li Sheng-Hong<sup>1)</sup>

1) (*Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China*)

2) (*Key Laboratory of Communication & Information Systems of Beijing, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China*)

(Received 7 May 2009; revised manuscript received 9 June 2009)

## Abstract

According to analysis of discrete cosine transform (DCT) coefficients of video sequence, a new DCT coefficients statistical model based on Weibull probability density function (PDF) is introduced. Compared with Laplacian PDF and Cauchy PDF, the model can describe properties of DCT of video sequences much better. In addition, according to the new statistical model and theory of entropy coding, the rate quantization (RQ) and distortion quantization (DQ) functions are proposed separately. Based on the simplified and approximate RQ and DQ which are obtained by the theory of rate distortion (RD) model and the properties of real video sequence, the novel RD model is presented. The experimental results show that the real video sequence encoded by intra or inter can be described much better by using rate distortion model based on Weibull PDF.

**Keywords:** Weibull probability density function, rate distortion model, quantization parameter

**PACC:** 0590, 0250

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 60772040, 60772042).

† E-mail: greathuo@sohu.com