

易错网中视频编码时域误码的优化

杨茂斌¹ 谭 歆¹ 杨华千² 罗 健³ 熊 伟¹

(重庆邮电学院通信与信息工程学院 重庆400065)¹ (重庆教育学院计算机学院 重庆400064)²

(重庆移动通信有限责任公司数据部 重庆400041)³

摘 要 诸如移动网络一类的易错信道,其比特差错率相当高,在这样的信道上传输压缩视频信号是一个巨大的挑战。因此,在设计视频编码器时为得到可接受的服务质量,必须考虑信道误码率。讨论了一种有效的在易错网中传输视频信号时,优化时域误码的方法。给出一个率失真优化模式选择算法,该算法考虑了网络差错率和解码器所用的错误隐藏方法。仿真结果表明这一算法改善了视频传输的质量。

关键词 视频传输,时域误码,优化

Temporal Error Optimization of Video Coding over Error-prone Networks

YANG Mao-Bin¹ TAN Xin¹ YANG Hua-Qian² LUO Jian³ XIONG Wei¹

(Department of Communication and Information Engineering, Chongqing Post and Telecommunication College, Chongqing 400065)¹

(Department of Computer, Chongqing Education College, Chongqing 400064)²

(Department of Data, Chongqing Mobile Communication Co., Ltd, Chongqing 400041)³

Abstract Transmission of compressed video over noisy channels presents many challenges. In noisy channels such as mobile networks, bit-error rates (BER) can be quite high. Therefore, channel errors must be considered during the design of the video coder in order to guarantee an acceptable quality of service. Describe an effective method for increasing the temporal error resilience of video transmission over bit error prone networks. Rate-distortion optimized mode selection algorithms are introduced that takes into account the network condition and the error concealment method used by the decoder. Experimental Results are presented in order to illustrate the advantages of the proposed method.

Keywords Video transmission, Temporal error, Optimization

1 引言

IP 协议是面向无连接的,它仅仅能提供尽力“发送服务”(Best-effort)。这种尽力发送的机制并不提供服务质量保证,因而网络层无法保证某些应用业务如视频实时网络传输能得到良好的控制,视频内容经过 Internet 传输后其质量就不能够得到有效地保证。因此从这个角度来看,Internet 网络是一个易错网络(Error-prone)^[1],它给视频编码技术带来了挑战,其造成视频信号在传输中产生误码。这些误码能否得到有效的控制与解决,直接影响到视频传输的视觉效果。本文探讨了视频编码的基本技术,并给出一种优化易错网中传输的视频编码时域误码的方法,最后进行了仿真。

2 视频概述

模拟视频的数字化包括不少技术问题,如电视信号具有不同的制式而且采用复合的 YUV 信号方式,而计算机工作在 RGB 空间;电视机是隔行扫描,计算机显示器大多逐行扫描;电视图像的分辨率与显示器的分辨率也不尽相同等等。因此,模拟视频的数字化主要包括色彩空间的转换、光栅扫描的转换以及分辨率的统一。模拟视频一般采用分量数字化方式,先把复合视频信号中的亮度和色度分离,得到 YUV 或 YIQ 分量,然后用三个模/数转换器对三个分量分别进行数字化,最后再转换成 RGB 空间。

2.1 数字视频的采样格式

根据电视信号的特征,亮度信号的带宽是色度信号带宽的两倍。因此其数字化时可采用幅色采样法,即对信号的色差分量的采样率低于对亮度分量的采样率。用 Y:U:V 来表示 YUV 三分量的采样比例,则数字视频的采样格式分别有 4:1:1、4:2:2 和 4:4:4 三种。电视图像既是空间的函数,也是时间的函数,而且又是隔行扫描式,所以其采样方式比扫描仪扫描图像的方式要复杂得多。分量采样时采到的是隔行样本点,要把隔行样本组合成逐行样本,然后进行样本点的量化, YUV 到 RGB 色彩空间的转换等等,最后才能得到数字视频数据。

2.2 视频序列的 SMPTE 表示单位

通常用时间码来识别和记录视频数据流中的每一帧,从一段视频的起始帧到终止帧,其间的每一帧都有一个唯一的时间码地址。根据动画和电视工程师协会 SMPTE(Society of Motion Picture and Television Engineers)使用的时间码标准,其格式是:小时:分钟:秒:帧,或 hours:minutes:seconds:frames。一段长度为 00:02:31:15 的视频片段的播放时间为 2 分钟 31 秒 15 帧,如果以每秒 30 帧的速率播放,则播放时间为 2 分钟 31.5 秒。

根据电影、录像和电视工业中使用的帧率的不同,各有其对应的 SMPTE 标准。由于技术的原因 NTSC 制式实际使用的帧率是 29.97fps 而不是 30fps,因此在时间码与实际播放时间之间有 0.1% 的误差。为了解决这个误差问题,设计出丢帧(drop-frame)格式,也即在播放时每分钟要丢 2 帧(实际上是有两帧不显示而不是从文件中删除),这样可以保证时间码与

杨茂斌 硕士,研究方向为视频编码及压缩;谭 歆 硕士,研究方向为网络视频流传输;杨华千 硕士,研究方向为混沌神经网络;罗 健 硕士,研究方向为网络传输及电子商务;熊 伟 硕士生,研究方向为网络传输及电子商务。

实际播放时间的一致。与丢帧格式对应的是不丢帧(nondrop-frame)格式,它忽略时间码与实际播放帧之间的误差。

3 视频编码依据

视频是由一系列的视频帧构成,所谓视频帧从静态的观点来看就是一幅图片,由前人的研究可知,它具有空域统计特性。同时,连续视频的相邻帧与帧之间存在着极大的相似性,这就是通常所说的视频帧的时域统计特性。这两个重要的特性和人类的视觉系统的特性一起构成了视频压缩编码的三个主要依据。

3.1 离散信息源的信息熵

由于视频序列是由一系列的视频帧所构成,而单一的视频原始帧也就是一幅静态图片,因此我们先从视频帧开始进行有关讨论。

对图像进行数据压缩时,需要涉及到现在科学领域中的一个重要分支—信息论。Shannon 所创立的信息论对数据压缩有着极其重要的指导意义,它一方面给出了数据压缩的理论极限,另一方面又指明了数据压缩的技术途径。

通常信息是由一个有次序的符号,如:状态、字母、数字、电平等序列构成。例如,一封英文信是利用由26个字母加上标点符号所构成的序列来传递信息的。一个符号所携带的信息量 I 用它所出现的概率 p 按如下关系来定义:

$$I = \log_2 1/p = -\log_2 p \quad (1)$$

上述定义符合我们日常生活中的概念。例如,如果符号出现的概率为1,这说明传递给我们的是一条必然要发生的事件信息,对我们来说是“不出所料”的,没有什么信息含量;因此, $I=0$ 。反之,概率较小的符号(事件)出现的可能性小,那么收到这个事件发生的信息时,则带给我们较大的信息含量。

当(1)式中的对数是以2为底时,它的单位是比特。从后面的讨论中将会看到,表示信息量的比特其含义与二进制符号中的比特并不完全相同。

若信息源所产生的符号取自于某一个离散集合,则称该信源为离散信源。离散信源 S 可以用下面的式子描述:

$$S = \begin{Bmatrix} s_1 & s_2 & \cdots & s_n \\ p(s_1) & p(s_2) & \cdots & p(s_n) \end{Bmatrix} \quad (2)$$

式中, $p(s_i)$ 为符号集中的符号发生(或出现的概率)。由于信源产生的符号 s_i 是一个随机变量(在符号产生之前,我们不知道信源 S 将发哪个符号集中的哪一个符号),而信息量 I 是 s_i (或 $p(s_i)$) 的函数,因此 I 也是一个随机变量。对于一个随机变量,研究它的统计特性有意义。考虑 I 的统计平均值,这就是熵的定义:

$$H(S) = \langle I[p(s_i)] \rangle = -\sum p(s_i) \log_2 [p(s_i)] \quad (3)$$

式中, $\langle \rangle$ 表示数学期望。

在符号出现之前,熵表示符号集中的符号出现的平均不肯定性,在符号出现之后,熵代表接收一个符号所获得的平均信息量。因此,熵是在平均意义上表征信源总体特性的一个物理量。

3.2 编码定理

下面给出著名的无失真编码定理:

对于离散信源 S , 对其编码时每个符号能达到的平均码长满足以下不等式:

$$H(S) \leq \bar{L} \leq H(S) + \epsilon(b/s) \quad (4)$$

式中, $\bar{L}$ 为编码的平均码长; $H(S)$ 为信源 S 的熵, ϵ 为任意小的正数。

该定理一方面指出了每个符号平均码长的下限为信源的熵,另一方面说明存在任意接近该下限的编码。对于独立信

源。该定理适用于对单个符号的编码的情况,也适合对符号块编码的情况。对于 M 阶的马尔可夫信源,只适用于对不少于 M 个符号的符号块编码的情况。

虽然,无失真编码定理为我们提供了等于或接近信源的熵编码的存在性,但它并没有告诉我们如何设计这样的编码,通常,这样的编码可通过变长和信源的扩展来实现。例如,要对某独立信源 S 设计一种编码,其四个符号的概率如表1所示。

表1 等长编码与变长编码

符号	概率	编码1	编码2
S_1	0.60	00	0
S_2	0.30	01	10
S_3	0.05	10	110
S_4	0.05	11	111

设计的编码一般要满足两个条件:第一,应该是即时可译,即每个码字的译码不需要参考后续的码字;第二,应是唯一可译的,即每个码字的译码结果都是唯一的。构造这种编码的一个必要且充分条件是每个码字都不是其它码字的字头或前缀。表2.1中给出编码1是定长编码,而且显然每个码字都不是其他码字的字头,其平均码长为2b/s。由于该信源的熵 $H(S)$ 只有1.4b/s,按照无失真编码定理,应该能够设计出一种平均码长任意接近这个值的高效的编码。为此,应该考虑采用变长编码,所谓变长编码或不等长编码,就是各个码字的码长不相等的编码。假设符号 s_i 的码长为 $l(s_i)$, 则平均码长应为:

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^N p(s_i) l(s_i) \quad (5)$$

而编码符号位熵为

$$H(S) = \sum_{i=1}^N p(s_i) l(s_i) \quad (6)$$

可见,当每个符号的码长都等于其信息量时,编码的平均码长可达到其下限,即信源的熵,当然,这只有当每个符号的信息量都是整数时才能实现。按照信息量的定义,这相当于,应为概率大的符号分配较短的码字,而为概率较小的符号分配较长的码字,这是可变长编码的基本原则。

3.3 视频序列的构成

一般而言视频是指在一段时间内连续地对场景进行记录的结果,这也是目前视频国际标准所研究的主要对象,而不包括将完全不相同的一些静止图片通过连接而构成一段时间内的人工合成图片组合。它的视频帧之间有着极大的相似性,是场景不断状态变化的时间采样记录的结果。从每一帧来看,它是一些静态的图片序列组合的结果,但是这些图片之间有着时间上的联系。如图1所示。

为了方便错误处理、随机搜索与编辑以及与其它信号的同步,通常将视频进行了分层处理。其第一层是视频序列层,这一个自包容的位流,比如说一个编码的视频或广告等。第二层是一个图片组,通常它将每一幅图片分成三种类型,即 I 型、 P 型与 B 型,这不同类型的图片代表着不同的编码预测方式。第三层是图像片断层,它由一系列的有序宏块构成,在典型的视频应用中是按行来划分的,但也可以有其它的划分方式。第四层是一个宏块层,按照对亮度与色度的不同的滤波采用方式有不同的形式,如4:4:4、4:1:1以及4:2:0等,本文中研究4:2:0格式。它由一个16×16的亮度像素点阵与两个8×8的色度像素点阵组成。为了便于变换编码,每一个宏块又可分

为4个8×8的块以构成第五层。在编码标准语法里又为每一层的起始码组成。定义了一个独立的32位起始码,它由23位0,1位1以及8位真正

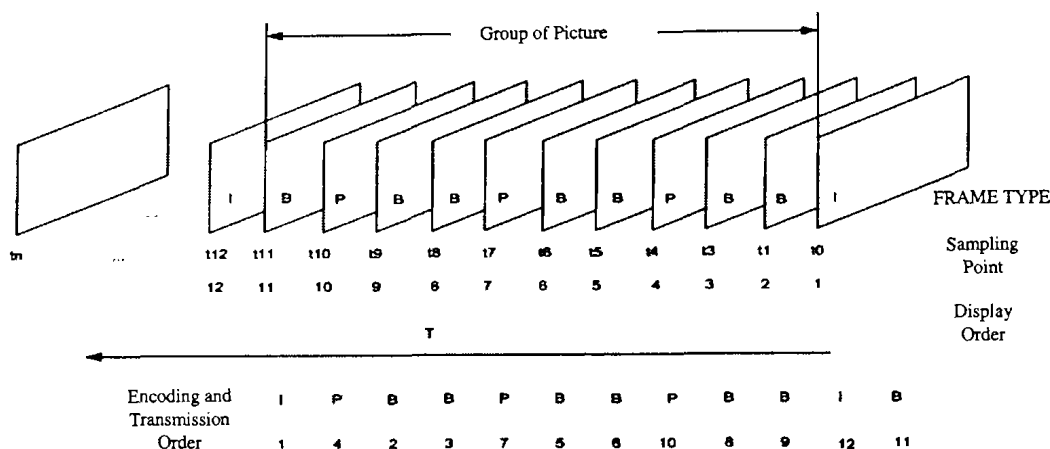


图1 视频序列示意图

3.4 视频帧的时间域统计特性

本文主要研究视频编码的时域误码,我们从时域角度考察可以看到,视频在时间上相邻的两个帧,记录的是相同场景

的 ΔT 时间间隔的状态,因此它们之间存在着极大的相似性。其相异部分仅仅是发生了变化的微小部分。如图2所示。



图2 标准测试序列 Foreman 中的3个帧

以上图视频帧是国际视频标准所提供的测试位流格式为 QCIF 的 Foreman 中的第81帧,第82帧与第83帧,从这三帧可以看出它们之间除了 Foreman 的嘴唇部分有细微的差别之外,其它部分几乎完全一样。

这种时域相似性为视频压缩提供了极大的压缩空间,根据这种特性,可以从当前帧(如第83帧)的前一帧(第82帧)来对当前帧进行预测,或者说将第82帧中的嘴唇部分作很小的改动就可以得到第83帧。

在当前的视频编码标准中,通常采用运动估计与运动补偿及错误隐藏来对其时域特性进行有效利用。

4 时域误码优化方法

对基于易错网的视频编码,必须有效控制其误码,才能在接收端得到质量可接受的再生图像。考虑三种编码方式:帧内编码、帧间编码、跳帧编码。其中跳帧编码是帧内编码的特殊形式,当事实上无信息传输,解码器中的视频帧中的某一块只是简单重复前一帧中相应块,就使用该模式。

帧间编码采用基于块的预测编码,其图像间预测技术可减少时域相关性,但同时会传播压缩视频比特流中的差错。帧内编码可停止差错的传播,但其所需比特数高于帧间编码,若帧内块全部采用帧内编码,则延迟过大。因此,一帧中选择一部分块进行帧内编码将比较合理,可以使减小延迟与差错恢复得到兼顾。以下给出一个基于率失真的优化编码模式选择算法来改善时域误码。

率失真(RD; rate-distortion)是 Cary J. Sullivan 和 Jorma5wiegand 于1998年提出的一个重要概念,它将失真和码率

的内在联系用一个简单的方程表达出来,从而很容易在码率和失真度之间取得一个平衡点,来适应各种码率要求下的压缩。

在无差错传输环境下,对于帧 n 中空间位置为(x,y)的视频块,使用以下拉格朗日最小化模式,该编码模式使视频块的失真和码率之间达到一个最佳的平衡:

$$J_{mode}(n, (x, y)) = D(n, (x, y), mode) + \lambda_{mode} R(n, (x, y), mode) \quad (7)$$

式中失真 D 是原始块和编码块之间的平方差, R 是编码当前块的码率。同时取

$$\lambda_{mode} = C \times \left(\frac{Q}{2}\right)^2 \quad (8)$$

其中 Q 为视频块的量化步长,对于帧内编码、帧间编码、跳帧编码三种方式, C 的值均取 0.45^[1]。

如果在解码器端,视频比特流能被无差错地接收,使用(7)式就可以优化编码模式的选择。但在易错网中就有很大不同,当选择帧内编码模式时,预测编码将传播错误;选择帧间编码错误不会被传播,但开销过大。

如果知道解码器中所用的错误隐藏方法^[2]和网络的错误率,就可以在压缩率和错误恢复之间得到一个更好的平衡效果。我们将解码器中的失真 D 归结为两类:由某一已经接收的视频块(可能来自对某一已隐藏的块的预测)所产生的失真 D1;由某一已丢失并被隐藏的块所产生的失真 D2。设视频块发生错误的概率为 P,我们给出一个新的拉格朗日最小化模式:

$$J_{mode}(n, (x, y)) = (1 - P(n, (x, y))) D1(n, (x, y), mode)$$

$$+ P(n, (x, y)) D2(n, (x, y)) + \lambda_{mode} R(n, (x, y), mode) \quad (9)$$

同样,上式中 R 是编码当前块的码率。而对处于位置 $(n, (x, y))$ (第 n 帧, 座标为 (x, y)) 的当前块, 我们现在计算其编码失真 $D1$ 和隐藏失真 $D2$, $D1$ 由 $(1-P)$ 加权, $D2$ 由 P 加权。其中 $D2$ 对帧内编码、帧间编码、跳帧编码三种方式而言是一个常量, 它用于计算连续帧中的视频块的 $D1$ 。

$D1$ 随编码模式不同而有所变化。对于帧间编码, 易错网中的 $D1$ 等于无差错传输中的 $D1$;

在帧内编码、跳帧编码模式下, $D1$ 等于量化失真加上对隐藏块的预测造成的隐藏失真。也就是说, 处于位置 $(n, (x, y))$ 的当前块, 按下式计算 $D1$:

$$D1(n, (x, y), mode) = Dq(n, (x, y), mode) + \sum_{k=1}^N P(n-k, (x+Vx, y+Vy)) \times D2(n-k, (x+Vx, y+Vy)) \quad (10)$$

式中 Dq 代表量化失真; $D2(n-k, (x+Vx, y+Vy))$ 代表空间位置为 (x, y) 的块在前边第 $(n-k)$ 帧中的隐藏失真 (当前帧为第 n 帧), 其中 $V = (Vx, Vy)$ 为该块的移动矢量 (跳帧编码的运动矢量为 $(0, 0)$)。最大帧数 N 设为已编码帧数。

在选择编码模式的过程中, 我们计算出 $P(n-k, (x, y))$ 和 $D2(n-k, (x, y))$, 可以据此得到 $P(n-k, (x+Vx, y+Vy))$ 和 $D2(n-k, (x+Vx, y+Vy))$ 的值。 $D2(n-k, (x, y))$ 是移动矢量 $(Vx, Vy) = (0, 0)$ 时的隐藏失真, 其值不随编码模式改变。设移动矢量的变化范围为 $(\pm 16, \pm 16)$, 而块的大小为 16×16 , 我们通过对以前各帧中环绕块的失真进行加权来计算的 $(D2(n-k, (x+Vx, y+Vy)))$ 值, 见 (11) 式。环绕块 $n (n = 1, \dots, 9)$ 见图 3, 其权值为 Wn , 见表 1。

$$P(n-k, (x+Vx, y+Vy)) D2(n-k, (x+Vx, y+Vy)) = \sum_{i=1}^9 W(i) P(n-k, (x, y+i)) \times D2(n-k, (x, y+i)) \quad (11)$$

9	2	3
8	1	4
7	6	5

图3 环绕块

表2 环绕块权值

$w(i)$	权值
$W(1)$	$[(16- Vx) \times (16- Vy)]/256$
$W(2)$	$[(16- Vx) \times Vy]/256$
$W(3)$	$[Vx \times Vy]/256$
$W(4)$	$[Vx \times (16- Vy)]/256$
$W(5)$	$[Vx \times Vy]/256$
$W(6)$	$[(16- Vx) \times Vy]/256$
$W(7)$	$[Vx \times Vy]/256$
$W(8)$	$[Vx \times (16- Vy)]/256$
$W(9)$	$[Vx \times Vy]/256$

最后, 需要确定易错环境下 λ_{mode} 的值。参考 (8) 式, 并考虑隐藏失真和误码率 P , 通过改变 P 值, 记录相应的 λ_{mode} 值和 (8) 式中 Q 的平均值, 我们给出 λ_{mode} 的计算式如下:

$$\lambda_{mode} = 0.45 \times (2 * Q)^2 + \Delta\lambda(P, Q) \quad (12)$$

使用视频测试序列 Foreman 进行试验, 结果见图 4。从图

4 可见, P 值对 λ_{mode} 的影响基本可以忽略不计, 所以我们选择编码模式时不考虑 P 对 λ_{mode} 的作用, 即将 (12) 式中的 $\Delta\lambda(P, Q)$ 设为 0。

应该看到, 使用以上编码模式选择算法, 会增加编码器的开销。首先, 编码器必须为每一块考虑解码器中的错误隐藏, 并计算当前的隐藏失真; 其次对于帧内编码、帧间编码、跳帧编码三种编码方式, 每一块都应被预测, 变换及量化; 最后, 相应的失真和编码率必须被计算为拉格朗日最小化。当然, 该算法不会增加解码器的计算复杂度。

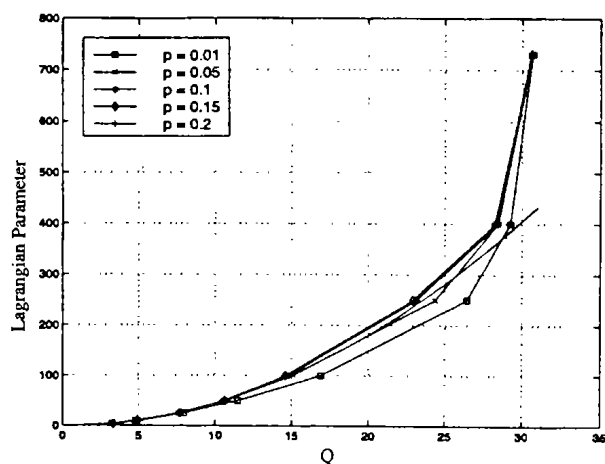


图4 λ_{mode} 与量化参数 Q 及差错概率 P 的关系

5 实验结果

本文的实验测试是建立在视频编码标准 H. 263 测试模型 TMN-10 的基础上, 采用 H. 223 仿真程序^[7], 视频信号的时域分辨率为每秒 10 帧。我们以亮度信噪比 (Y-PSNR) 为标准, 对照视频编码模式选择中使用本文所给出的算法与未使用该算法的效果。实验中丢弃所有未通过 CRC 校验的分组, 仿真结果见图 5。图中横座标为比特差错率 BER (bit-error rates)。

由图 5 可见, 在相同时域分辨率条件下, 相应于同一比特差错率, 使用本文所给出的算法, 时域误码有一定的改善, 视频流的亮度信噪比有一定程度的提高。

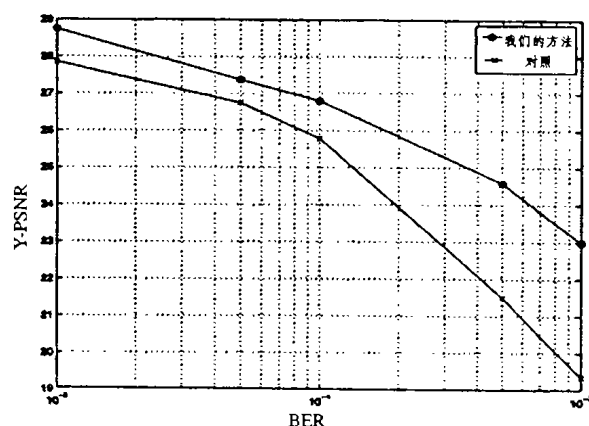


图5 仿真结果

结 论 视频信息在 Internet 这样的易错网络中传输时, 要在接收端得到质量可接受的图像再生效果, 需在码率和失真之间寻求平衡。本文提出的基于帧内编码、帧间编码、跳帧编码三种方法的率失真优化模式选择算法, 优化了视频信号时域误码, 有效提高了其传输质量, 为视频系统的优化设计提供了一定的帮助。至于视频信号空域误码的改善, 有待于进

(下转第 248 页)

模糊子集 $B_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{iq})$ 是第二层次综合评价的结果。

3) 第三层次综合评价运算

通过第二层次综合评价运算,得到模糊综合评价矩阵

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11}b_{12}\dots b_{1q} \\ b_{21}b_{22}\dots b_{2q} \\ \dots \\ b_{m1}b_{m2}\dots b_{mq} \end{bmatrix} \quad (8)$$

如上方法进行第三次综合评价运算,可以得到目标指标 D 对于警度集 T 的警度向量 B ,

$$B = A \circ R = (a_1, a_2, \dots, a_n) \circ \begin{bmatrix} b_{11}b_{12}\dots b_{1q} \\ b_{21}b_{22}\dots b_{2q} \\ \dots \\ b_{m1}b_{m2}\dots b_{mq} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_q) \quad (9)$$

4) 模糊综合评价模型

由上可得三级模糊综合评价模型为:

$$B = A \circ R = A \circ \begin{bmatrix} A_1 \circ \begin{bmatrix} A_{11} \circ R_{11} \\ A_{12} \circ R_{12} \\ \dots \\ A_{1m} \circ R_{1m} \end{bmatrix} \\ A_2 \circ \begin{bmatrix} A_{21} \circ R_{22} \\ A_{22} \circ R_{22} \\ \dots \\ A_{2m} \circ R_{2m} \end{bmatrix} \\ \dots \\ A_n \circ \begin{bmatrix} A_{n1} \circ R_{n1} \\ A_{n2} \circ R_{n2} \\ \dots \\ A_{nm} \circ R_{nm} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中, R_{ij} 为单个指标的警度矩阵, R 为总评价矩阵, “ $\circ$ ” 为矩阵合成运算。

3 评价结果

根据模糊综合评价模型式(10)可得到目标指标 D 对于

警度集 T 的警度向量 $(b_1, b_2, \dots, b_q)$, 其中, $b_1, b_2, \dots, b_q$ 分别表示 D 对于警度 $t_1, t_2, \dots, t_q$ 的隶属度, 按照最大隶属度原则, 可做出评价, 即 $b_i^* = \max\{b_1, b_2, \dots, b_q\}$, 得出预警警度为 t_i 级。

当某一分指标 D_i 的警度 T_{di} 趋近于零(即巨警)时, 若目标指标所描述的系统将会遭受严重影响或危机时, 预警决策者应该视目标指标 D 所对应的警度 T_d 也趋于零。

结论 利用 FAHP 法结合模糊数学知识对城市消防预警系统进行评价, 能把影响城市消防预警的各种因素进行综合考虑, 而不是简单的加权平均, 避免了因个人带来的个人主观臆断的缺点, 较好地保证了评价工作的客观性、适用性和操作便利性。另外, 文中所提出的方法和模型为城市消防预警系统的评价提供了有效的辅助决策手段, 上述评价模型中的评价指标可以随着城市发展或预警系统应用环境的不同作适当调整, 该评价方法便于实现城市消防预警系统的自动化。

参考文献

- 1 杨多贵, 周志田, 陈劲锋, 王海燕. 中国社会稳定与安全预警系统的理论设计[J]. 系统辩证学学报, 2003, 11(4): 84~87
- 2 张一先, 王建平, 方宗堂, 董雪芳. 城市定量火灾安全评估方法——以苏州古城为例[J]. 苏州科技学院学报, 2003, 16(4): 27~32
- 3 易立新. 城市火灾风险评价的指标体系设计[J]. 灾害学, 2000, 15(4): 90~94
- 4 朱晔, 叶民强. 区域可持续发展预警系统研究[J]. 华侨大学学报, 2002(1): 32~38
- 5 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80~88
- 6 杨松林. 工程模糊方法论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996
- 7 汪培庄. 应用模糊数学[M]. 北京: 北京经济学院出版社, 1989
- 8 Fitzgerald R W. Building fire safety evaluation method[R]. Worcester: Worcester Polytechnic Institute, 1993

(上接第115页)

一步的研究工作去完成。

参考文献

- 1 Larzon. The UDP-Lite Protocol. Network Working Group INTERNET-DRAFT, December 5, 2002
- 2 Wang Yao, Zhu Qin fan. Error control and concealment for video communication. A review [J]. Proc. of the IEEE, 1998, 86(5): 974~998
- 3 Video coding for low bit rate communication. ITU-T Recommendation H. 263 Version 2, Jan. 1998
- 4 Video encoder test model. Near-Term, Version 10 (TMN10) Draft

1, Apr. 1998

- 5 Sullivan G J, Wiegand T. Rate-distortion optimization for video compression. IEEE Signal Processing Mag., Nov. 1998, 15: 74~90
- 6 Turaga D, Chen T. Estimation and mode decision for spatially correlated motion sequences. submitted for publication
- 7 Sullivan G. A simple video packet mux simulator program for videostreams in H. 324/M using AL3 mux of H. 223 Annex B. In: Proc. ITU-T Study Group 15, Video Coding Experts Group, Document Q15-F-16, Seoul, Korea, Nov. 1998
- 8 Lakshman T V, Ortega A, Reibman A R. VBR video: Tradeoffs and potentials. In: Proc. IEEE, May. 1998, 86: 952~973