

一种异步视频对象的速率控制算法

刘李杰 蔡德钧

(华中科技大学电子与信息工程系, 武汉 430074)

摘要 MPEG-4 提出了视频对象的概念, 产生了基于对象的速率控制问题. 编码的视频对象可以是同步进行也可以是异步进行, 后者在低比特率条件下更具有优越性, 实验结果也证实了这点. 针对异步视频对象编码, 提出了一种速率控制算法, 以达到恒定目标比特率. 该算法首先根据在一个短的时间段内, 一个视频对象的同一类型编码比特数近似相等的假设来估计某时刻总的编码比特数, 然后采用全局分配原则, 将目标比特数分配到编码的视频对象中, 以获得视频对象间近似恒定的失真比. 另外, 还提出了一种后处理技术, 并用以克服异步对象的解码合成图象的失真. 实验结果表明, 该算法能够对异步视频对象进行有效的比特控制, 并具有较高的主客观质量.

关键词 MPEG-4 视频对象 视频对象面 速率控制 形状编码控制

中图法分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)04-0411-06

A Rate Control for Asynchronous Video Objects

LIU Li-jie, CAI De-jun

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University Of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract The object-based rate control problem arises along with the video object concept proposed by MPEG-4. The video objects can be coded in synchronous or asynchronous way, but latter one has more advantages in low bit rate coding and it is also proved by the experiments of this paper. This paper proposes a new rate control algorithm which can achieve a constant bit rate when coding asynchronous video objects. Firstly, the algorithm estimates the total target bits at one time assuming that the video plane from the same video objects of the same coding type and close in time are coded with a similar number of bits. Then the algorithm to allocate the target bits to the coding video objects at the time in order to achieve constant distortion ratios between pairs of video object planes adopts an allocation policy called constant distortion ratios. This paper also proposes a post-processing technology to solve the problems of composition picture quality brought by asynchronous video objects. The experimental results show that the algorithm can efficiently control the coding bits of asynchronous video objects and achieve high subject and object quality.

Keywords MPEG-4, Video object, Video object plane, Rate control, Shape rate control

0 前言

MPEG-4 标准提出了新的视频信息概念, 同时覆盖了大范围应用的视音频信息的编码. MPEG-4 以视频对象(VO)来组织视频信息. 每个 VO 由一系列的视频对象层(VOL)来表示. 每个 VOL 则由一组视频对象面(VOP)组成. 对于每个视频对象面,

形状信息和纹理信息分别编码. 形状信息先进行编码(采用无损或有损方法), 然后是预测、变换混合的纹理信息编码. 速率控制算法根据实际应用场合和通信环境的限制来调节编码器, 成为 MPEG-4 视频编码系统中的关键技术. 由于多视频对象的速率控制算法更具有实用性, 且可以应用于单对象速率控制算法中, 因此, 本文速率控制算法主要针对多个视频对象的速率控制(Multiple Video Object Rate

Control). 许多学者在这方面进行了广泛的研究, 提出了许多可行的方法^[1-6], 这些方法大体上可分为独立控制算法^[2-4]和全局控制算法^[6]两类. 这两类算法都考虑了场景中不同视频对象的不同特性. 在同一时刻将更多的比特数分配给重要的对象, 这可以说是空间上的一种比特分配, 而根据不同视频对象的性能, 对不同视频对象在同一时间段编码 VOP 次数不同, 这是时间上的一种比特分配策略, 即是异步 VO 编码问题. 现有的方法没有考虑异步 VO 编码速率控制问题, 为此, 本文从全局控制算法角度出发, 提出了一种多视频对象的控制算法, 在考虑空间比特分配的同时, 解决异步视频对象的速率控制问题.

1 多个视频对象速率控制的一般性问题

一般来讲, 速率控制是根据信道和编码缓冲区等限制来调节编码器的参数, 以尽可能地保证解码视频的质量. 速率控制需要考虑很多因素, 如时延问题, 而控制算法的计算量和编码缓冲区的大小则影响着时延. 计算量大时, 造成的时延也大, 大的编码缓冲区虽能够保证视频具有高的编码质量, 但也增加了时延, 因此, 考虑实时应用, 速率控制算法的复杂度不能高, 且编码缓冲区要比较小, 但又要防止缓冲区溢出, 这就需有效地调节控制方法. 另外, 还需要考虑信道速率是否可变的问题. 多个视频对象的速率控制算法除需要考虑上述问题外, 还要考虑的是, 由 VO 的任意性带来的问题, 即由于 VO 间语义上的不同, 如 VO 的重要性等, 需要对不同的 VO 分配不同的比特数; 由于 VO 的任意形状特性, 需要对形状进行编码及控制, 这在低比特率传输条件下尤为重要; 由于 VO 的是否同步性, 要考虑不同频率 VO 的编码复合问题, 因此, 总体来说, 多个视频对象的速率控制算法需要实现下列任务: ①估计每一时刻总的目标比特数; ②分配该目标编码比特数到各个视频对象; ③在该时刻, 对每个视频对象, 即每个视频对象的 VOP, 如何将比特分给运动信息、形状信息和纹理信息; ④调节各编码参数, 如量化系数, 使得尽可能达到目标编码比特数.

2 异步视频对象的速率控制算法

本算法考虑的是每个 VO 具有不同的编码帧

率, 即对象异步的情况. 假设在很小的时间段内, 同一个 VO 的同一编码类型的 VOP 编码比特数近似相等, 则估计某一时刻的目标编码比特数要根据当前缓冲区的大小、需编码 VO 的个数和前一段时间各 VO 的同种类型编码的 VOP 编码比特数来决定.

2.1 目标比特数估计

设输入的 VO 数目为 N_{total} , 编码的帧率集合为 $f = \{f_1, f_2, \dots, f_{N_{total}}\}$, 其中, f_i 为第 i 个 VO 编码的帧率. 计算时刻 t 的目标编码比特数 $R^{(t)}$. 设参考的时间段为 $[t - M t_0, t]$, t_0 为 VO 的最小编码间隙时间, 即系统编码的间隙时间, M 值根据输入视频序列的运动程度来决定. 根据各 VO 的帧率, 得到在时刻 t 编码的 VO 个数为 N_t , 对应的 $M t_0$ 时间段的同一类型(I-VOP、P-VOP 或 B-VOP)的参考 VOP 数目为 $n = \{n_1, n_2, \dots, n_{N_t}\}$, 此时编码缓冲区中的比特数为 $b^{(t)}$, 缓冲区大小为 B_s , 信道速率恒定为 R_c , 则算法步骤如下:

(1) 如果编码缓冲区占用率大于 80%, 则不编码此帧, 进行跳帧, 一直到编码缓冲区占用率小于 80%. 所跳帧数记为 N_{jump} , 同时结束本时刻的速率控制.

(2) 否则, 计算此时对象 i 的 VOP 目标编码比特数 $\tilde{r}_{t,i}$

$$\tilde{r}_{t,i} = \bar{r}_{t,i} \quad (1)$$

其中, $\bar{r}_{t,i}$ 为参考时间段中 n_i 个对象 i 同类型的 VOP 编码比特数的均值.

(3) 估计 t 时刻编码后缓冲区占用的比特数 S

$$S = \sum_{i=1}^{N_t} \tilde{r}_{t,i} + b^{(t)} - R_c \times \frac{f_{\max}}{30} \quad (2)$$

其中, f_{\max} 为所有 VO 中最大帧率值, 即 $f_{\max} = \max\{f\}$, 这里考虑的输入视频序列的帧率为 30fps.

(4) 获得 t 时刻的目标编码比特数 $R^{(t)}$

$$R^{(t)} = \begin{cases} 0.8B_s + R_c \times \frac{f_{\max}}{30} - b^{(t)} & \text{if } S > 0.8B_s \\ R_c \times \frac{f_{\max}}{30} - b^{(t)} & \text{if } S < 0.2B_s \\ \sum_{i=1}^{N_t} \tilde{r}_{t,j} & \text{other} \end{cases} \quad (3)$$

2.2 比特分配和量化系数计算

在获得 t 时刻的目标编码比特数 $R^{(t)}$ 后, 需要采用某种策略将目标比特数分给对象. 文献[4]根据对象的大小、复杂度和运动剧烈程度将比特数分配到

各个对象,而文献[6]提出基于3种分配的策略来进行全局分配,即采用全局质量最优策略、优先级表策略和固定失真比策略来进行分配.考虑到全局质量最优策略不能直接控制编码的VO失真度,而优先级表策略则需要人为地确定对象的优先权限,因此这里采用了固定失真比策略来进行比特分配.所谓固定失真比策略就是通过比特分配,在尽可能使各VO的失真度最小的同时,保持不同VO的失真度之比近似为常数.这个问题可表述如下

$$\min \left| c_1 \sum_{i=1}^{N_i} d_i(q_i) + c_2 \sum_{i=1, i \neq s}^{N_i} |d_i(q_i) - \beta_i d_s(q_s)| \right| \quad (4)$$

同时满足

$$\sum_{i=1}^{N_i} r_i(q_i) \leq \tilde{R}^{(t)} \quad (5)$$

式(4)中, d_s 是选出作为参考VO的失真度,由于VO不同步,因此选择具有最大编码帧率 f_{\max} 的VO作为参考VO; β_i 为各对象与参考对象的失真度比, c_1 和 c_2 为常数,大的 c_1/c_2 值表示式(4)中前项比后项重要; $d_i(q_i)$ 和 $r_i(q_i)$ 分别为第 i 个VO失真度和速率,他们为量化系数 q_i 的函数,具体表达为

$$d(q) = m \times |a_0 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2}| \quad (6)$$

$$r(q) = b_0 + b_1 q + b_2 q^2 \quad (7)$$

其中, m 为VOP的绝对误差均值(MAD), q 为VOP的量化系数, $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ 为待估计的模型参数,采用最小均方根(LMS)方法^[6]来进行参数估计,其中用来计算量化系数和估计参数的比特数为纹理编码比特数.

式(4)需采用拉克朗日算子^[7]来求解.同时,要对每个VO建立相应的R-D模型来计算对象的量化参数.本文采用了文献[6]中二次式的速率模型(式(6))和失真模型(式(7)).

2.3 形状编码控制

形状编码控制是基于对象的速率算法中的重要环节,其编码比特数控制主要是通过调节块的尺寸变换比例因子(C_r)和允许失真门限参数(α_{rH})来实现的^[1].每个宏块的 C_r 可以取1, 1/2和1/4 3个值. C_r 越小,带来的失真可能越大,编码的比特数可能越少.如果每 4×4 的象素块(PB)的误差之和大于门限 $16 \times \alpha_{rH}$,则判该PB为误码PB,如果一个宏块中有一个误码PB,则 C_r 值增加.所以,调整 α_{rH} 可以调整形状编码的比特数.为此,可根据跳帧的数目来调节 α_{rH} 的值,从而达到控制形状编码比特数的目的,即

if($N_{\text{jump}} > S_{\text{TH}}$)

$$\alpha_{rH} = \min\{\alpha_{rH} + \alpha_{\text{NC}}, \alpha_{\text{max}}\}$$

else if($N_{\text{jump}} \leq S_{\text{TH}}$)

$$\alpha_{rH} = \max\{0, \alpha_{rH} - \alpha_{\text{DEC}}\}$$

其中, S_{TH} 为跳帧门限值, α_{NC} 和 α_{DEC} 为调节 α_{rH} 的步长,常数 α_{max} 保证了最大的形状失真度.

2.4 后处理技术

由于同一场景中不同对象的编码帧率不同,在时刻 t 没有编码的VO,用其前一时刻编码的VOP来代替本时刻VO的VOP,会造成解码合成的场景出现空洞区域,即存在没有定义的象素黑色区域(如图1中(a)所示).为消除这种“黑洞”效应,采用一种简单有效的后处理技术.将时刻 t 的场景分为两部分:编码的VO组成的场景和未编码的VO组成的场景(由未编码VO最近编码的VOP组成的场景),分别设为 A_1 和 A_2 .显然,黑洞区域的象素来源于 A_2 (如图1(a)的背景区域).利用这部分场景中的象素来预测估计黑洞区域的象素,其具体步骤是:若某一象素处在黑洞区域,即未定义,则令该象素的值等于以该象素为中心,大小为 $Window-Size$ 的方形区域中属于区域 A_2 的所有象素值的算术均值.其他未定义的象素值依次类推,处理的结果如图1(b)所示.



(a) 未采用后处理技术的解码合成图象 (b) 采用本文的后处理技术的解码合成图象

图1 对Claire序列后处理算法结果示意图

(人对象的编码帧率是10Hz,背景对象的编码帧率是2Hz)

3 实验结果、分析与讨论

3.1 实验结果

在MPEG-4 VM8(Verification Model 8)的编解码器中实现上述算法.对两个对象的Claire视频序列(采用文献[8]的视频分割算法得到)和6个对象的Container标准测试序列进行实验,分别如图2、图3所示.测试考虑算法的应用,实验主要在低比特率条件下进行,实验的参数如表1所示.A和B



图2 Claire 序列的两个对象

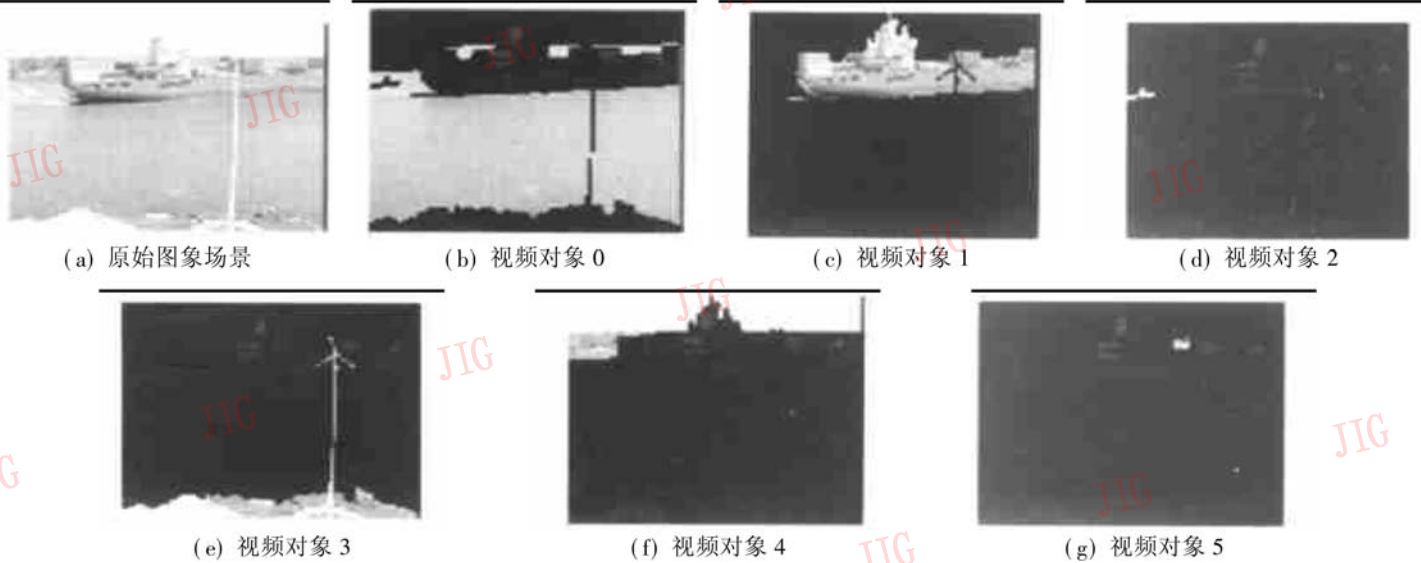


图3 Container 序列的6个对象

表1 实验参数

测试代号	视频序列	格式	序列的帧数	目标比特率 (Kb/s)	视频对象 (VO)	编码帧率 (Hz)	比特分配中参考的 视频对象
A	Claire	QCIF	150	20	0	10	0
					1	2	
B	Container	QCIF	300	24	0	5	1
					1	10	
					2	10	
					3	2	
					4	5	
5	5						
C	Claire	QCIF	150	20	0	10	0
					1	10	
D	Container	QCIF	300	24	0	10	1
					1	10	
					2	10	
					3	10	
					4	10	
5	10						

为对异步 VO 的实验对象,同时为比较异步 VO 编码的性能,分别对 2 个序列进行同步 VO 的编码(见测试 C 和测试 D),控制算法仍采用本文算法.为使运行的条件符合 MPEG-4 的测试准则^[9],将编码缓冲区 B_c 的大小定义为目标比特率的一半,同时令在

第 1 帧编码后,编码缓冲区的占用率为 50%.实验过程中,令跳帧门限 $S_{TH} = 3$, $\alpha_{mc} = \alpha_{DEC} = 4$, $\alpha_{max} = 16$, $Window-Size$ 对亮度处理时,取值为 16,对色度处理时,取值为 8,式(4)中参数 $c_1 = 0.001$, $c_2 = 10$,参考时间段 M 取值为 10.对第 1 帧场景中的所有对象

采用 I-VOP 类型编码, 量化系数的值为 8. 其他时刻编码的 VOP 类型为 P-VOP. 本文算法主要是针对 P-VOP 类型的 VOP 进行控制. 图 4 分别给出了测试 A 的编码缓冲区占用比特数、峰峰信噪比 ($PSNR$) 和编码比特数 3 种实验结果数据. 图 5 给

出了测试 B 的 3 种实验结果数据. 测试 A 和测试 B 解码合成帧的主观质量分别如图 6、图 7 所示. 表 2 给出了对两种测试序列在异步和同步 VO 情况下, 算法的实验结果数据. 实验结果中, $PSNR$ 取的是图象亮度分量的 $PSNR$.

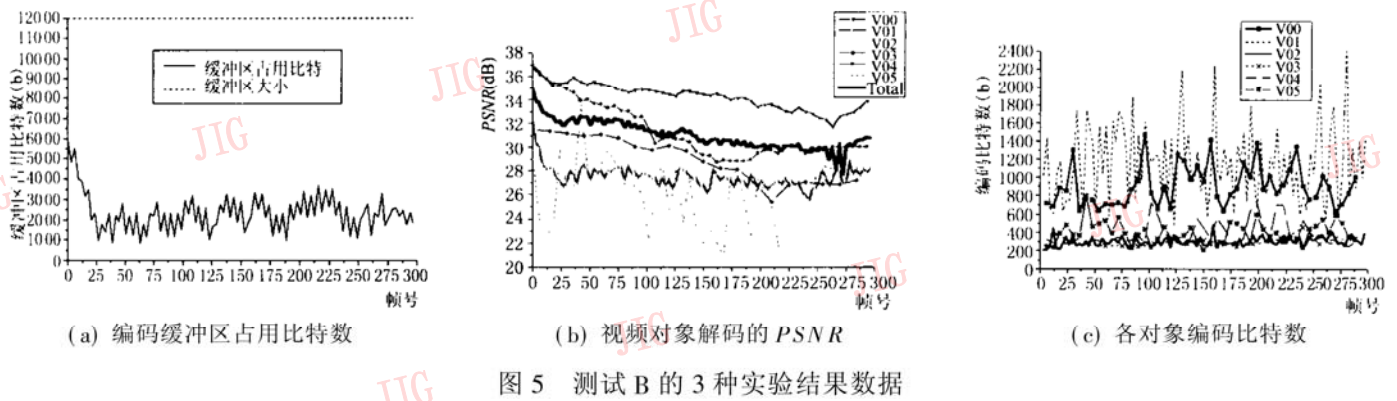
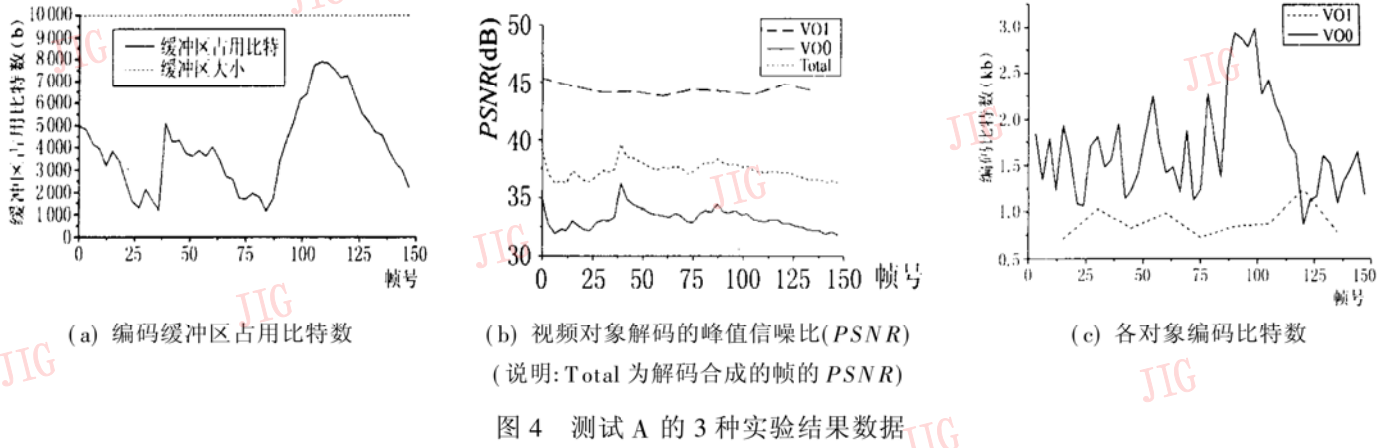


图 6 测试 A 的主观质量

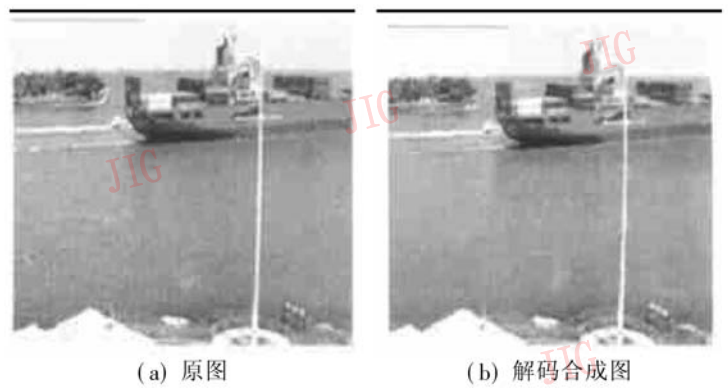


图 7 测试 B 的主观质量

3.2 实验分析与讨论

从图 4(a) 和图 5(a) 看出, 编码过程中缓冲区占用率在较低的水平上. 没有出现缓冲区上溢和下溢情况. 如图 4(b) 和图 5(b) 所示, 算法将更多的比特数分配到编码帧率高的视频对象, 从而在保证各对象编码质量(见图 4(c) 和图 5(c)) 的同时, 提高了整个场景的编码质量(如表 2 所示). 实验结果表明, 在低比特率环境下进行多视频对象的编码, 采用本文的异步编

码比同步编码更具有优越性. 异步编码控制将更多的比特数分配到高帧率的对象中, 并结合采用有效的后处理技术来减少异步带来的误差. 提高了对象的编码质量. 另外, 由于编码的总 VOP 数目减少, 编码花费时间也相应减少. 在提高编码的速度和减少时延的同时, 异步编码将更多的比特数分配给视频对象的形状, 有利于形状编码的控制. 由此可见, 本文算法适合于低比特率环境下的多视频对象编码.

表2 异步编码和同步编码的实验结果数据

视频序列	测试代号	视频对象(VO)	编码VOP数目	VO编码的比特数 (包括I-VOP)(bits)	PSNR的均值 (dB)	解码合成场景的 PSNR的均值(dB)
Claire	A	0	50	98 160	33.20	37.34
		1	10	11 336	44.35	
	C	0	50	80 736	32.22	36.40
		1	50	40 072	44.78	
		0	50	51 384	34.26	
		1	100	126 384	27.48	
B	2	100	30 816	27.06	31.02	
	3	20	13 464	29.01		
	4	50	22 240	31.31		
	5	50	20 136	26.15		
	0	100	84 464	34.09		
Container	D	1	100	74 128	25.22	30.15
		2	100	25 280	24.39	
		3	100	33 272	28.98	
	D	4	100	34 360	31.27	30.15
		5	100	25 024	22.91	

4 总结

本文针对异步多对象提出了一种基于对象的速率控制算法. 算法首先估计总的编码比特数, 然后采用全局分配原则分配比特数, 以达到各视频对象间近似恒定的失真比. 同时, 提出一种后处理技术用于克服由于视频对象的异步造成的合成场景的失真. 从实验结果可以看出, 算法能够对异步的视频对象进行有效的比特控制, 在低比特率的实际产品中有良好的应用前景.

参考文献

- 1 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG97/N1792, Text of ISO/IEC 14496-2 video verification model V8.0[S].
- 2 ISO/IEC JTC/SC29/WG11 MPEG97/M2219, CE-Q2: Multiple video object rate control[S].
- 3 ISO/IEC JTC/SC29/WG11 MPEG97/M2554, Multiple-VO rate control and B-VO rate control[S].
- 4 Vetro A, Sun H, Wang Y. MPEG-4 rate control for multiple video objects[J]. IEEE Trans. on-CSVT, 1999, 9(1): 186~199.
- 5 Chiang T, Y-Q Zhang. A new rate control scheme using quadratic rate distortion model[J]. IEEE Trans. on CSVT, 1997, 7(1): 246~249.

- 6 Eckert M, Ronda J I. Rate control and bit allocation for MPEG-4[J]. IEEE Trans. on CSVT, 1999, 9(8): 1234~1258.
- 7 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析(第3版)[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1986.
- 8 翁南钊, 蔡德钧. 视频对象分割与两种面向对象的视频编码器[J]. 电子学报, 2000, 28(10): 106~110.
- 9 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N0999, MPEG-4 Testing and Evaluation Procedures Document[S].



刘李杰 1980年生, 1995年考入华中理工大学(现为华中科技大学)少年班, 1999年获华中理工大学信息工程学士学位, 2001年获华中科技大学通令与信息系硕士学位. 目前主要研究方向为视频编码、视频处理以及网络多媒体通信.



蔡德钧 1938年生, 华中科技大学电子与信息工程系教授, 中国电子学会高级会员. 主要研究领域为随机信号处理、信息论、图象压缩及多媒体通信.

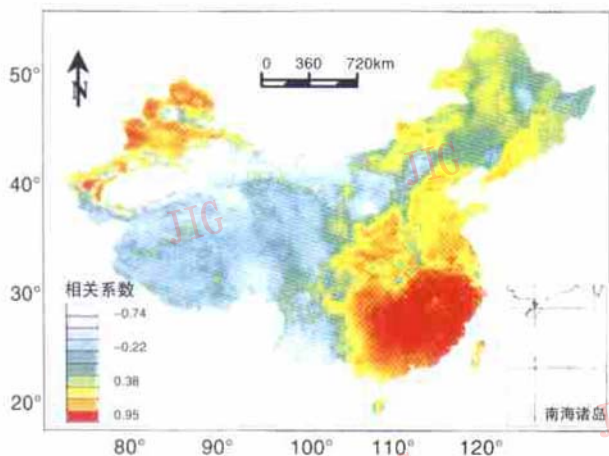


图1 NDVI与气温偏相关图式

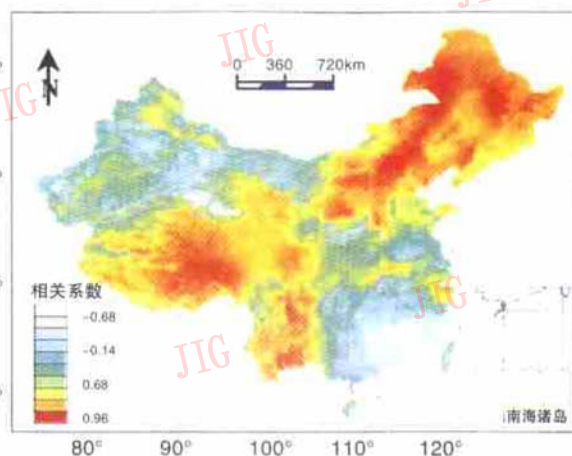


图2 NDVI与降水偏相关图式

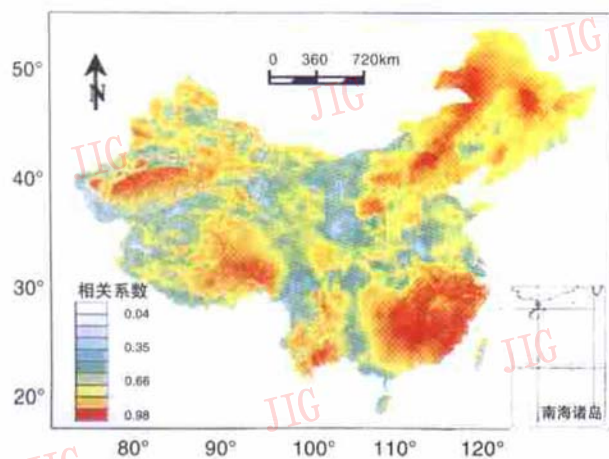


图3 NDVI与气温降水复相关图式

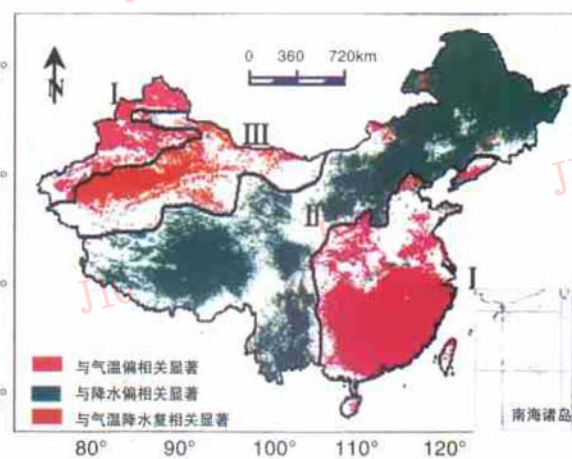
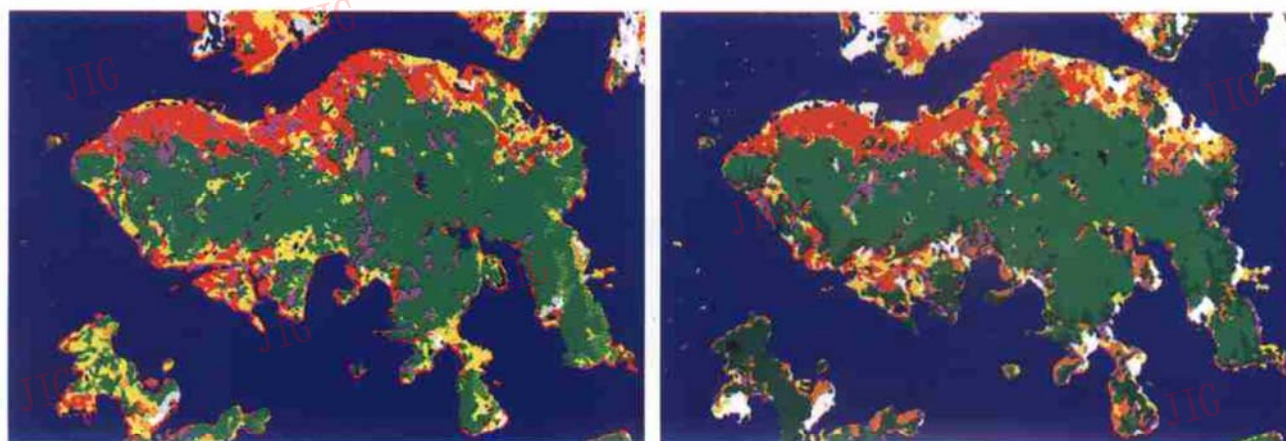


图4 1983-1992年中国陆地NDVI变化图式



图 1 实验区原始 TM 图象(5、4、3 合成)



(a) ISODATA 聚类结果

(b) EM 聚类结果



图 2 EM 聚类与传统聚类算法的结果比较