

# 数字运动图像清晰度及其测试\*

李桂苓\*\* 王楠楠 徐岩

(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)

【摘要】研究了数字运动图像清晰度及其测试方法；在极坐标系上建立了数字运动图像清晰度测试序列的数学模型，设计并用计算机生成了不同转速图像各向清晰度测试图序列；定量测试并对比了静止、运动图像的清晰度；实验研究了不同编码参数下MPEG-2数字图像系统重建的运动图像清晰度。

关键词 数字图像；图像清晰度；MPEG-2；测试图

中图分类号 TN919.8

虽然数字视频压缩与传输技术仍在深入研究当中，但随着运动图像及其伴音通用编码标准ISO/IEC 13818(MPEG-2)的制订，数字音/视频技术已进入实用阶段<sup>[1-3]</sup>。清晰度是表征数字图像质量的重要指标之一。目前国内外一般只用清晰度测卡测试静止图像清晰度。

测试运动图像清晰度存在着很多问题，美国先进电视顾问委员会(ACATS)对“大联盟”(GA)数字电视系统也只设定了目标值，但实测值与之相差甚大，且只给出了测卡转速为5.0 r/min的测试结果。表1摘录了其部分数据，其中清晰度单位“有效图像高度周期数”是“线”的一半<sup>[4]</sup>。

表1 1920×1080/2:1 GA系统图像清晰度目标值及测试值

项 目		目 标 值			测 试 值		
		水 平	垂 直	斜 向	水 平	垂 直	斜 向
静止图像清晰度	亮 度	430	350	550	460	400	540
	色 度	215	175	275	250	140	260
运动图像清晰度	亮 度	345	195	395	500	200	540
	色 度	170	95	195	135	100	135

为定量研究和测定运动图像清晰度，本文在极坐标系导出了转速不同的各向清晰度测试图序列的数学模型，然后用计算机精确生成，测定了数字图像及不同编码参数MPEG-2系统的运动图像清晰度<sup>[1]</sup>。

## 1 测试图序列数学模型及其计算机生成

辐射状清晰度测试图便于测试图像各向清晰度，令其按不同速度旋转，还能测定各像素以不同运动矢量运动时清晰度的变化。对辐射状图形及其转动问题，数学分析宜在极坐标系进行，如图1所示(以有效像素数720×576为例)。这类测试图序列可用式(1)表示，式中各像素亮度值P随该点相位F按正弦规律变化，以抑制谐波<sup>[5]</sup>

$$P(\mathbf{r}, \mathbf{j}, t) = \sin F(\mathbf{r}, \mathbf{j}, t) \tag{1}$$

$$F(\mathbf{r}, \mathbf{j}, t) = k_0 + k_r \mathbf{r} + k_j \mathbf{j} + k_t t + k_{rj} \mathbf{rj} + k_{rt} \mathbf{rt} + k_{jt} \mathbf{j}t + k_{r^2} \mathbf{r}^2 + k_{j^2} \mathbf{j}^2 + k_{t^2} t^2 \tag{2}$$

式中  $\mathbf{r}$  为矢径； $\mathbf{j}$  为极角； $t$  为从序列之始算起的帧数； $k_0$  为初始相位； $k_r$ 、 $k_j$ 、 $k_t$ 、 $k_{rj}$ 、 $k_{rt}$ 、 $k_{jt}$ 、 $k_{r^2}$ 、 $k_{j^2}$ 、 $k_{t^2}$  为系数。

图2所示辐射状清晰度测试图是式(2)  $k_j$  不为零的特例，其亮度信号为

2000年12月18日收稿

\* 国家自然科学基金资助项目，编号：69772040

\*\* 男 62岁 教授 博士生导师

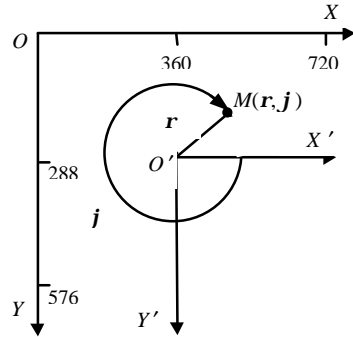


图1 坐标系及其变换

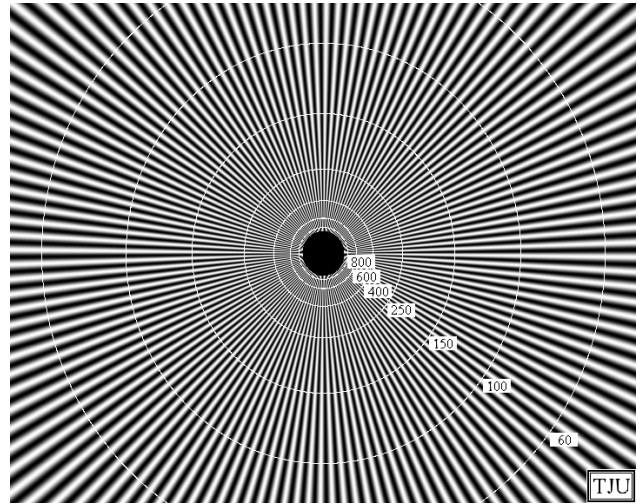


图2 运动图像清晰度测试图

$$\begin{cases} P(\mathbf{j}) = \sin \mathbf{F}(\mathbf{j}) \\ \mathbf{F}(\mathbf{j}) = k_0 + k_j \mathbf{j} \end{cases} \quad 0 \leq \mathbf{j} \leq 2\theta \quad (3)$$

式中 初相  $k_0$  决定  $\mathbf{j} = 0$  时像素的亮度值;  $k_j$  为相位变化率。由式(3), 可得

$$k_j = d\mathbf{F}(\mathbf{j})/d\mathbf{j} \quad (4)$$

按测试需要, 设定测试图水平空间频率最高值  $F_{\max}$  及其对应的矢径  $r_0$ , 即可由几何关系确定  $k_j$ 。

式(3)表明, 以极角为自变量、相位均匀变化的辐射状清晰度测试图, 同一圆周上各像素亮度值变化的空间频率相同。因此, 可画一系列同心圆, 分别表征不同清晰度线数。但有效像素数为  $720 \times 576$ 、图像宽高比为4:3的画面上的像素宽高比为1.067, 显示计算机生成的方像素图形时会出现几何失真, 计算中需改变纵横坐标比例来进行预校正。由几何关系, 这种校正反映到极坐标系, 像素  $M(\mathbf{r}, \mathbf{j})$  的矢径应为

$$\mathbf{r} = [(x - x_0)^2 + 0.9375(y - y_0)^2]^{1/2} \quad (5)$$

式中  $x_0$ 、 $y_0$  为圆心  $O'$  的直角坐标。

对辐射状清晰度测试图, 矢径为  $r$  的圆周长为  $2\pi r$ 。而式(3)中  $\sin \mathbf{F}(\mathbf{j})$  函数的周期为  $2\pi$ 。因此  $2\pi r / 2\pi$  为黑白辐射线组数, 该比值也表明清晰度值与矢径成反比。又  $r_0$  对应最高空间频率, 据此即可标注其他各圆对应的清晰度值。

式(3)中再引入  $k_t$  项, 可得匀速旋转的各向清晰度测试图序列

$$\mathbf{F}(\mathbf{j}, t) = k_0 + k_j \mathbf{j} + k_t t \quad (6)$$

式中  $k_t$  为每帧旋转的相角,  $t$  为帧数。式(6)反映同相点空间分布的变化, 视觉上表现为黑白线组的转动。对像素而言, 亮度虽在变化, 但图像在该处的空间频率并不改变。

因我国电视帧频为25 Hz, 故测试图序列每分钟旋转的圈数

$$R = 25k_t / 6k_j \quad (r) \quad (7)$$

用计算机生成各向清晰度测试图序列逐帧计算各像素的亮度值, 并按CCIR Rec.601规定<sup>[6]</sup>, 将正弦函数的值域  $[-1, +1]$  映射到  $[16, 235]$

$$P(\mathbf{j}, t) = [\sin \mathbf{F}(\mathbf{j}, t) + 1] \times 109.5 + 16 \quad (8)$$

## 2 试验结果及其分析

### 2.1 运动图像清晰度测试

实验在SUN工作站和DVSR高速序列图像系统上进行。不同转速下测得的清晰度如表2所示，它表明， $k_t$ 由0增大到180°/帧时，实测的清晰度值虽有减小的趋势，但在广播级优良系统中，用转动清晰度测试图序列测得的运动图像清晰度与静止图像清晰度的理论值相差无几。另外，若 $k_t$ 在180°~360°/帧范围内变化，则测试图序列向与上述相反的方向转动，转速与在0°~180°/帧范围内变化相对应，这是由于人眼在空间上就近追踪运动状态的结果。

表2 实验系统图像清晰度(线)

有效像素数 720×576		亮度清晰度实测值			亮度清晰度理论值		
		水 平	垂 直	斜 向 (43°)	水 平	垂 直	斜 向 (43°)
静 止  旋 转 (度/帧)		540	570	750	540	576	789.72
	15(0.47)	540	570	750			
	45(1.42)	540	570	750			
	90(2.84)	540	570	700			
	135(4.26)	520	560	700			
	150(4.73)	520	560	620			

### 2.2 MPEG-2编解码系统重建运动图像清晰度测试

不同压缩率MPEG-2编解码系统重建图像清晰度实测值见表3。高压压缩比下，虽可明显见到块效应、飞蚊效应等图像损伤，但在优良的评价系统中，高压压缩比静止图像清晰度与低压压缩比时相差无几；随着旋转序列中取样点分布和亮串色花纹可见度的降低，甚至还会感到较静止图像清晰度有所提高。

表3 MPEG-2编解码系统重建图像的运动清晰度(线)

有效像素数 720×576		亮度清晰度实测值			亮度清晰度理论值(未压缩)		
		水 平	垂 直	斜 向 (43°)	水 平	垂 直	斜 向 (43°)
静 止 (bit/pixel)	低 压 缩 率 (0.72)	540	560	750	540	576	789.72
	高 压 缩 率 (0.24)	520	560	740			
旋 转 (4.73r/min, bit/pixel)	低 压 缩 率 (0.72)	560	580	760			
	高 压 缩 率 (0.24)	540	570	740			

为了进一步验证MPEG-2编解码系统中清晰度可辨时压缩比的极限值，将压缩比在上述最低压缩比的基础上进一步降低，分别测试压缩比为0.190 0、0.140 0、0.096 0、0.048 0、0.009 6、0.004 8 bit/pixel时的几种情况。实验表明，当压缩比为0.190 0 bit/pixel时，水平、垂直清晰度尚可以分辨；当压缩比为0.096 0 bit/pixel时，水平、垂直清晰度勉强可辨；当压缩比低于0.048 0 bit/pixel时，清晰度不可分辨。

事实上，实际系统压缩比绝不会降到如此低的程度，因此这一压缩比的极限值并无多大实际意义。

### 3 结束语

图像清晰度是图像质量的一个重要标志。对静止图像清晰度, 本文已做过理论分析与测试<sup>[7]</sup>, 但对运动图像清晰度目前尚未见详细分析与可靠的测试结果。本文设计并用计算机精确生成了转动的辐射状清晰度测试图序列, 分别就运动图像清晰度和不同编码参数MPEG-2系统重建图像的运动图像清晰度进行了初步测试。

初步测试结果表明, 在高质量广播级系统中, 图像静态清晰度可接近理论值。观测运动图像清晰度相当困难, 不同观测员实测值差异较大。运动序列中取样点排列及亮串色花纹的运动甚至会使测得的清晰度有所提高。初步测试表明, 在质量优良的系统中, 在所测试的转动速度范围内, 转动测试图序列的清晰度接近静止图像清晰度, 且MPEG-2系统对图像一定程度的损伤并不会严重降低图像的清晰度。类似的测试在一般设备上进行, 所得清晰度值则明显低于理论值且与设备质量(例如亮串色)关系很大。

表2、表3所列测试值以及表1中GA实测的运动图像清晰度值均相当离散, 而且偏高。一个技术方面的原因是辐射状清晰度测试图中与清晰度理论值上限对应的部分较小(否则中部黑洞加大)。这部分转起来以后, 线速度又很低, 因而有必要设计更加适合运动清晰度测试用的测试图序列, 不仅能考察转动图像的清晰度, 也能对其他运动方式及速度下的图像清晰度作深入研究。

### 参 考 文 献

- 1 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Generic coding of moving pictures and associated audio. IS 13818-2 1994 Rec 222.0( 1995 E)
- 2 Shan Kang, Huang Jincao, Zhu Weile. COFDM scheme of digital HDTV terrestrial broadcasting transmission system. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1998, 27(4): 337~342[单 康, 黄劲草, 朱维乐. 数字高清晰度电视地面广播 COFDM 传输方案. 电子科技大学学报, 1998, 27(4): 337~342]
- 3 Xiao Zhong, Liu Zhao, Xiang Jingcheng. Lossless image compression based on Haar multiresolution representation. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2000, 29(5): 475~478[肖忠, 刘 钊, 向敬成. 基于 Haar 小波变换的无失真图像压缩. 电子科技大学学报, 2000, 29(5): 475~478]
- 4 FCC, ACATS. Final technical report. 1995
- 5 李桂苓, 周志河. 旋转扫频转动序列波带图. 通信学报, 1995, (5): 112~115
- 6 CCIR Rec 601-2, Encoding parameters of digital television for studios. 1992
- 7 李桂苓, 李柏桦, 王金健. 数字图像清晰度. 电视技术, 1999,(4): 19~21

## Test of Digital Moving Picture Definition

Li Guiling      Wang Nannan      Xu Yan

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University   Tianjin   300072)

**Abstract** This paper studies the digital moving picture definition and the method of test. The test pattern sequences of different rotate speeds are designed and created to measure the picture definition in all directions. The definition of static and moving pictures are measured and compared quantificationally. The definition of digital TV system using different code parameters of MPEG-2 is also given in this paper.

**Key words** digital picture; picture definition; MPEG-2; test pattern