

# 立体视频质量主观评价结果的探究分析

杨建 李素梅\* 马瑞泽 薛超

天津大学电子信息工程学院, 天津 300072

**摘要** 针对压缩传输对立体视频降质损伤的影响,进行大量主观实验获取评价数据,设计了一套合理的数据处理方法,并对处理后的实验结果进行了分析探究。该处理方法主要包括淘汰异常者、剔除异常值和均值化处理3个步骤。实验结果表明,所述方法处理数据的能力明显优于传统的格鲁布斯检验法。利用上述实验数据处理方法,分析经H.264压缩算法处理的立体视频实验数据,得出结论:量化参数(QP)的大小影响立体视频质量损伤度大小;参考视点携带的信息更占据主导地位;高分辨率视频有助于降质补偿;女性接纳视觉损伤的能力高于男性。探究所得结论为立体视频通信技术的优化提供技术支持。

**关键词** 成像系统;立体成像;主观评价;降质损伤;量化参数;数据处理

中图分类号 TN919.82 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.091102

## Exploration and Analysis of the Subjective Assessment Results of Stereo Video Quality

Yang Jian Li Sumei Ma Ruize Xue Chao

School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

**Abstract** Aiming at the influence of compression and transmission on the degradation damage of stereo videos, a reasonable data processing method is designed based on the evaluation data obtained from lots of subjective evaluation experiments, and then the final processed results are analyzed. The method includes three aspects: weeding out abnormal cases, removing abnormal values and averaging values. The experimental results show that this method is obviously better than the traditional Grubbs test. The data of stereo videos processed by the H.264 compression algorithm are analyzed by the method above, and the conclusions are drawn: the quantization parameter (QP) affects the damage degree of video quality; information carried by the reference viewpoint takes a more dominant place; high-resolution videos contribute to the compensation of degradation; the ability of females to accept visual impairment is stronger than that of males. The conclusions provide technical support for the communication technology optimization of stereo videos.

**Key words** imaging systems; stereo imaging; subjective assessment; compression degradation; quantization parameter; data processing

**OCIS Codes** 110.3000; 200.3050; 100.6890; 330.4300

## 1 引言

近年来,立体视频技术已成为国内外学者研究的热门课题。然而,立体视频的采集、压缩、传输等均会对视频造成不同程度的降质损伤,直接关乎观看者的视觉感受和生理健康,因此,开展主观评价工作,获取实验数据,并对处理后的结果开展合理探究,对于立体视频评价研究至关重要<sup>[1]</sup>。

目前,国内外学者已经对立体图像/视频质量的主观评价展开研究<sup>[2-9]</sup>。Gorley等<sup>[2]</sup>着重研究了联合图像

---

收稿日期: 2014-04-11; 收到修改稿日期: 2014-04-18; 网络出版日期: 2014-08-19

基金项目: 国家自然科学基金(61002028)、国家自然科学基金重点资助项目(60932007)、国家863计划(2012AA011505, 2012AA03A301)

作者简介: 杨建(1989—),男,硕士研究生,主要从事立体成像信息评价、信息处理等方面的研究。

E-mail: yang4493@126.com

导师简介: 李素梅(1975—),女,博士,副教授,主要从事立体信息处理、机器视觉等方面的研究。

E-mail: tjnkls@163.com(通信联系人)

专家小组(JPEG)压缩算法对立体图像的降质影响,通过进行大量主观实验,得到人眼对立体图像压缩级别的阈值范围;文献[3]从主观方面分析了影响立体感知的各种因素,并论述了构建立体图像数据库的相关原则;文献[4]从立体视频通信角度出发,通过主观测试,系统全面地对立体视频损伤类型展开分析;文献[5-6]分别从设备、观看条件及测试流程的约束等方面提出了立体视频主观评价的相关方法;文献[7]从视频深度、视觉舒适度及视频质量角度出发,提出立体视频多维主观评估方法;文献[8]针对立体电视视频特点,从素材选择、评价方法、观看条件等方面介绍主观评价具体实施方法,并对国际电信联盟(ITU)标准中的4种测试方法做了详细研究;文献[9]立足于H.264视频压缩算法,经大量主观评价实验获取评价数据,分析得到人眼对非对称压缩编码中的质量层级变化方法较为敏感。不难发现,上述研究均侧重于主观评价方案的建立与应用,对于降质视频的结果分析探究较少。因此,本文主要对由H.264产生的降质视频进行主观评价,立足于大量主观实验,设计一套合理的数据处理方法,并对该方法处理后的实验结果分别从量化参数(QP)的阈值范围、参考辅助视点携带信息的主导性、分辨率大小与降质补偿及性别特征与降质敏感程度的关系4个方面进行分析探究,所得结论为立体视频的合理传输提供了重要依据。

## 2 主观评价方法

### 2.1 实验素材

完备的立体视频库是进行主观评价实验的基础。从视频的场景内容及画面精细度出发,选取6段源立体视频,如图1(a)~(f)所示,分别为(a) woshou、(b) fire、(c) hehua、(d) ballroom、(e) fish和(f) airplane。其中视频(a)、(b)和(d)的场景为物主题,画面层次清晰,人物边缘刻画细腻,视频(a)和(d)的单视点分辨率大小分别为512 pixel×384 pixel和640 pixel×480 pixel,视频(b)的单视点分辨率大小为640 pixel×384 pixel。视频(c)、(e)和(f)则以自然景观为主题,画面连续性强,深度变化平滑,其中视频(c)的单视点分辨率大小为640 pixel×384 pixel,视频(e)和(f)的单视点分辨率大小为480 pixel×270 pixel。每段视频源采用H.264算法对左右视点独立压缩,然后根据控制变量原则,实现立体视拼接,从而构建视频库。

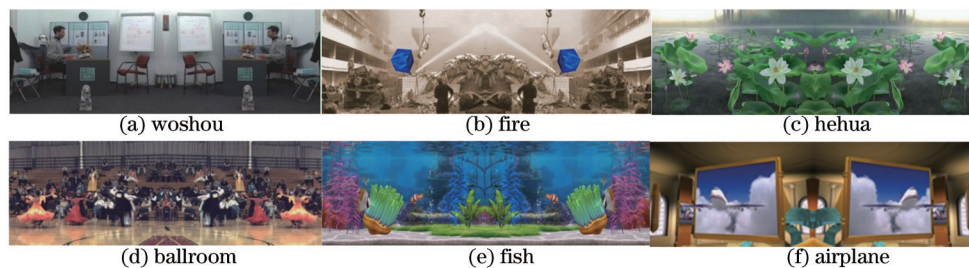


图1 测试信源

Fig.1 Signal sources for test

### 2.2 实验环境及设备

实验在暗室环境中进行,杂散光照度不大于 $3 \text{ lx}^{[10]}$ 。终端显示采用3D WINDOWS-19A0型计算机立体成像设备,分辨率大小为1280 pixel×1024 pixel,对角线为19 inch(1 inch=2.54 cm),幅型比为4:3,立体显示类型为“Planar Mirror Left/Right”,即以左右格式显示立体图像。使用该设备配套的3DG-L3型偏振光立体眼镜观看。观看距离选定为6倍视频高度,约为70 cm。

### 2.3 测试人员

实验选取了年龄在21~28周岁之间的评测者25人,评测者性别分布均匀,其中拥有立体视频研究或相关工作经验的人员占测试人员总数的50%。实验室与天津市眼科医院合作,经双目视觉功能测试可知,所有评测者均具有正常视觉功能。

### 2.4 评价方法

论文依据ITU-R BT.500<sup>[11]</sup>和ITU-R BT.1438<sup>[12]</sup>设计主观测试实验<sup>[13]</sup>。实验前,先向评测者介绍实验流程、评分等级和注意事宜,语气无偏向性。待评测者准备完毕后,给出3段不同压缩降质的立体视频示例用以训练。为防止测试人员因视觉疲劳而影响评价结果的准确性,每个测试阶段(包括讲解、训练和测试)总时间不超过30 min,若实验过程中测试人员出现不适症状,可随时终止测试。

测试方法遵循ITU-R BT.500中双激励损伤量表法(DSIS),其中待测视频的显示次序是随机的,且测试前都会播放源立体视频作为评判参考的依据,测试人员根据视觉主观感受给出评价分值,如表1所示。测试过程中,允许评测者给出半分的分值,同时每段视频源重复测试两次,且时间间隔不少于12 h,以便对评测者评分结果的一致性进行检查。

表1 立体视频主观评分标准

Table 1 Standard for scoring of stereo video

Score	Video quality classification	Injury scale
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible, but not annoying
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

## 2.5 评价结果处理

### 2.5.1 处理方法

由于评测者的立体视频经验、知识背景、测试时间<sup>[14]</sup>等因素不尽相同,测试所得的评价数据中往往会出现异常结果,严重影响研究人员对实验结果的分析。若采用传统的数据处理方式<sup>[15-16]</sup>,难免会造成较大实验误差,因此,从淘汰异常者、剔除异常值和均值化处理三方面出发,设计了一套合理数据处理方法。

1) 采取公式  $\alpha_{2j} = p_{4j} / (p_{2j})^2$  计算该数据样本的峰态系数  $\alpha_{2j}$ ,用于判断该样本的正态分布特性;式中  $p_{2j}$ 、 $p_{4j}$  分别表示所有评测者对第  $j$  段视频评分的二阶矩和四阶矩,表示为

$$p_{2j} = \frac{\sum_{i=1}^N (u_{ij} - \bar{u}_j)^2}{N}, \quad (1)$$

$$p_{4j} = \frac{\sum_{i=1}^N (u_{ij} - \bar{u}_j)^4}{N}, \quad (2)$$

式中  $u_{ij}$  表示第  $i$  个评测者对第  $j$  段视频的评价分值,且  $i$  和  $j$  分别满足  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ 、 $j = 1, 2, 3, \dots, I$ ,其中  $N$  为评测者的总人数, $I$  为测试视频的总数量; $\bar{u}_j$  表示第  $j$  段视频评分的均值,其数值通过公式  $\bar{u}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{ij}$  计算可得。

2) 分别计算第  $i$  个评测者当前分值判定情况的第一、第二计量参数  $R_i$  和  $T_i$ ,且初值均为0。当峰态系数满足  $2 \leq \alpha_{2j} \leq 4$ ,那么该数据样本符合正态分布,此时若  $u_{ij} \geq \bar{u}_j + 2S_j$ ,则  $R_i = R_i + 1$ ;若  $u_{ij} \leq \bar{u}_j - 2S_j$ ,那么  $T_i = T_i + 1$ 。当峰态系数满足  $0 \leq \alpha_{2j} < 2$  或  $\alpha_{2j} > 4$ ,则该数据样本不符合正态分布,此时若  $u_{ij} \geq \bar{u}_j + \sqrt{20}S_j$ ,则  $R_i = R_i + 1$ ;若  $u_{ij} \leq \bar{u}_j - \sqrt{20}S_j$ ,那么  $T_i = T_i + 1$ 。其中  $S_j$  为全部评测者对第  $j$  段测试视频评价分数的标准差,表示为

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{u}_j - u_{ij})^2}. \quad (3)$$

3) 异常者第一筛选指标  $W_{i1}$  和第二筛选指标  $W_{i2}$  可表示为

$$W_{i1} = \frac{(R_i + T_i)}{I}, \quad (4)$$

$$W_{i2} = \left| \frac{R_i - T_i}{R_i + T_i} \right|, \quad (5)$$

比较所得数值:若  $W_{i1} > 0.05$  且  $W_{i2} < 0.3$ ,则舍弃第  $i$  个评测者的全部测试数据。

4) 选取剩余有效评测者对第  $j$  段测试视频的评价分值  $u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{nj}$  ( $n \leq N$ ),假设  $u_{mj}$  为可疑值,那么不包括可疑值  $u_{mj}$  在内的样本均值  $\bar{u}'$  和样本标准偏差  $s'$  的计算公式为

$$\bar{u}' = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n u_{ij}, \tag{6}$$

$$s' = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq m}}^n (u_{ij} - \bar{u}')^2}. \tag{7}$$

5) 计算筛选统计量  $z_m = \frac{n-3.3}{n-0.8} \cdot \frac{|u_{mj} - \bar{u}'|}{s'}$  (双边检测) 或  $z_m = \frac{n-3.1}{n-0.9} \cdot \frac{|u_{mj} - \bar{u}'|}{s'}$  (单边检测),  $n$  表示当前样本个数。当  $z_m > 2.58$  (双边检验) 或  $z_m > 2.33$  (单边检验) 时<sup>[16]</sup>, 则  $u_{mj}$  为高度异常值, 应该剔除。

6) 重复上述步骤, 逐一核查每组测试数据, 直至实验数据中不再出现异常值。

7) 最后, 采用公式  $M_j = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K u'_{ij}$  对处理后的数据  $u'_{ij}$  进行均值化处理, 其中  $K$  为第  $j$  段视频有效分值个数, 所得数值即为每段测试视频的最终主观评价结果。

2.5.2 处理效果分析

为了验证所述方法的合理性, 以图 1(a) 中视频 woshou 为例进行分析, 其主观评价结果如图 2 所示。又因格鲁布斯检验法算法经典, 且在数据处理中通用性强而被国内外研究人员广泛使用<sup>[15]</sup>, 因此选取该方法作为处理效果分析的对照方法。图 2 中曲线 raw data、paper test 分别表示原始分值的均值、经格鲁布斯检验处理后的均值及本文数据处理算法所得的均值。不难发现, 针对原始数据而言, 共有 5 段视频序列出现数值异常, 序列数值分别为 1、13、22、32 和 48。

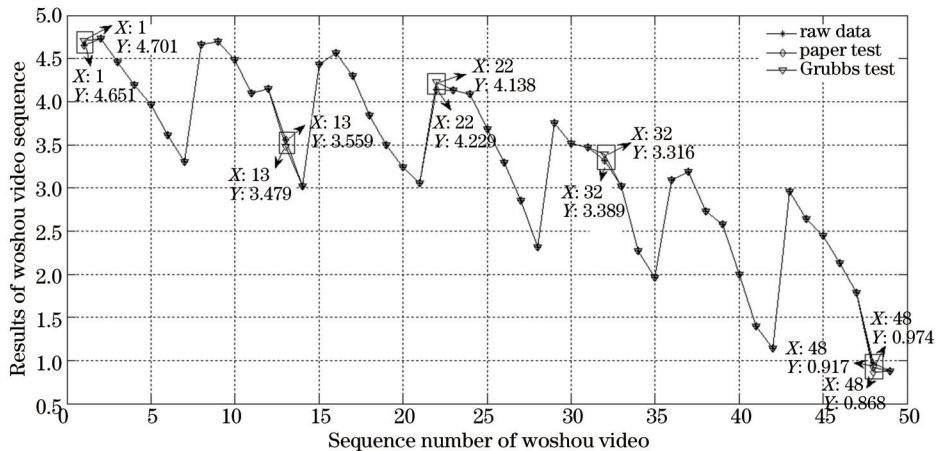


图2 视频 woshou 序列实验结果

Fig.2 Results of woshou video sequence

为了便于进一步分析, 将上述 5 段视频序列对应的初始测试数据样本以表 2 形式给出。表中采用本文算法检测出的异常值用“◇”表示; 采用格鲁布斯检测出的异常值用“△”表示; 未见异常的测试数据则用“……”加以替代。以 woshou.1 为例, 本文算法检测出的“3.75”与该样本其他数值存在明显偏差, 确属异常值, 而格鲁布斯检验法却将其判定为合理数值, 略显不妥。同时, 由表 2 可知, 本文算法共检测出 5 个异常数据值, 格鲁布斯方法检测出 1 个异常值。为了进一步展现本文算法的检测效果, 图 3 为包括 woshou 在内的 6 段测试视频的

表 2 5 段视频初始测试数据

Table 2 Original data of the five videos

Sequence	Observer									
	P.1	.....	P.5	.....	P.9	.....	P.13	.....	P.19	.....
Woshou.1	4.75	.....	◇5	.....	5	.....	◇3.75	.....	4.38	.....
Woshou.13	3.88	.....	◇5	.....	◇3.5	.....	4	.....	3.5	.....
Woshou.22	4.75	.....	4.75	.....	◇2.5	.....	3.5	.....	3.75	.....
Woshou.32	4	.....	◇3.5	.....	3.25	.....	◇2	.....	3.25	.....
Woshou.48	0.88	.....	◇2	.....	0.75	.....	1	.....	1	.....

检测率。实验结果表明,本文设计的数据处理方法检测效果好于格鲁布斯检验法,且该方法避免了查表工作,降低了数据处理过程的复杂度,处理效果较为理想,为主观评价结果的探究提供了重要依据。

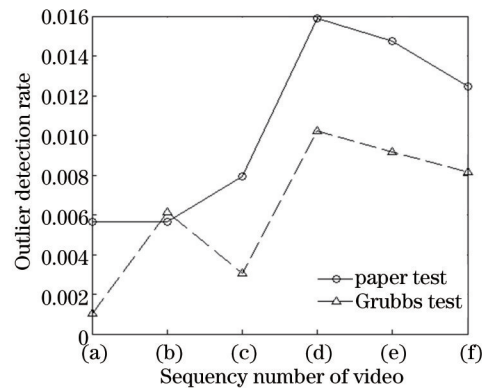


图3 异常检测率对比

Fig.3 Comparison of outlier detection rate

### 3 评价结果探究分析

利用上述实验数据的数据处理方法,分析经过H.264压缩算法处理的立体视频的主观评价数据,可得以下结论。

#### 3.1 量化参数范围的测定

由于量化参数(记为 $x_{QP}$ )的大小直接决定量化编码器的编码压缩率,量化参数越大,编码长度越小,丢失的视频信息越多。因此,有必要对量化参数进行合理探究,结合立体视频主观评价分值,给出量化参数的合理区间,由图4分析可知:

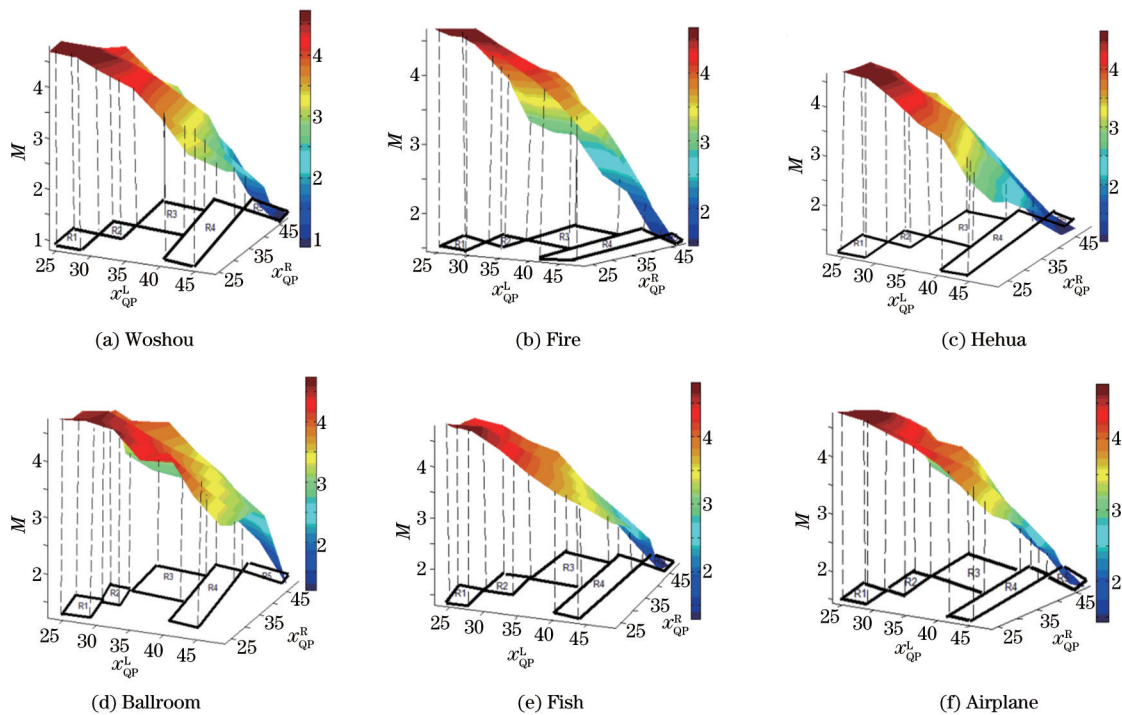


图4 立体视频压缩阈值范围的探究

Fig.4 Exploration of compression threshold of the stereo videos

1) 完全不受损伤的压缩阈值范围R1:  $24 \leq x_{QP} < 28$ 。当双目视点均处于该压缩区间内,与原始视频呈现的视觉效果几乎无异,且评测分值普遍在4.5分以上,属于高分值区域,压缩效果较为理想。但由通信原理理论可知,此时所需编码位数较多、信道带宽有所增加,传输条件较为苛刻。

2) 受损伤但不明显的压缩阈值范围R2:  $28 \leq x_{QP} < 32$ 。当双目视点的压缩范围都处于此区间内,此时的评

测分值普遍在4.0~4.5分之间,经解压重建得到的立体视频有降质情况,但视觉效果损伤不明显,可被人眼接受。

3) 受影响但仍可接受的压缩阈值范围 R3:  $32 \leq x_{QP} < 40$ 。当双目视点均处于此压缩阈值时,评测分值普遍在3.5~4.0分,说明此时立体视频的质量受到一定的损伤,但仍在人眼的视觉可承受范围内,因此重建的视频仍可被人眼接受,只是相比情况,整体分值普遍偏低。

4) 特殊考虑的压缩阈值范围 R4: 当  $40 \leq x_{QP} < 44$  之间时,必须保证其中某一个视点的量化参数处于40以下且两视点的量化参数间隔  $\Delta \geq 12$ ,才可以保证重建视频观赏效果;否则分值普遍低于3.0分,视频降质情况明显,一定程度上影响正常、舒适地观看立体视频。

5) 完全不能被人眼接受的压缩阈值范围 R5:  $44 \leq x_{QP} \leq 48$ 。当双目视点都处于压缩区域内,评价分值普遍在1.5分左右。视频降质损伤情况十分明显,且根据评测者的实验反馈信息,可知此时会产生明显的视觉疲劳,测试人员会有流泪、视觉混沌等生理现象,因此该区间是人眼无法接受的。

### 3.2 参考辅助视点的规律探究

经过3.1节的研究,分析得到了压缩量化参数的参考范围。但是影响压缩感知的因素是多方面的,且对于非对称双目立体视频压缩而言,在编码过程中,视频可分为参考视点和辅助视点(本文选取右视点作为参考视点,左视点作为辅助视点)<sup>[17-18]</sup>,双目捕获视觉信息的灵敏程度不一,因此有必要对参考、辅助视点的规律进行探究,如图5所示。

以图5(c) hehua为例,曲线1表示当前参考视点(右视点)量化参数  $x_{QP}=24$ ,辅助视点(左视点)  $x_{QP}$  由24变化到48时的分值变化规律;曲线2则与曲线1情况相反。曲线3表示当前参考视点量化参数  $P_Q=48$ ,辅助视点  $x_{QP}$  由24变化到48时的分值变化规律;曲线4则与曲线3情况相反。由图5(c)可知,曲线1因参考视点未受损伤,相比曲线2中辅助视点未受损伤的情况,整体分值普遍偏高;曲线3因参考视点严重受损,相比曲线4中辅助视点严重受损的情况,整体变化分值普遍偏低。这说明参考视点携带的信息相比辅助视点更具有主导性。

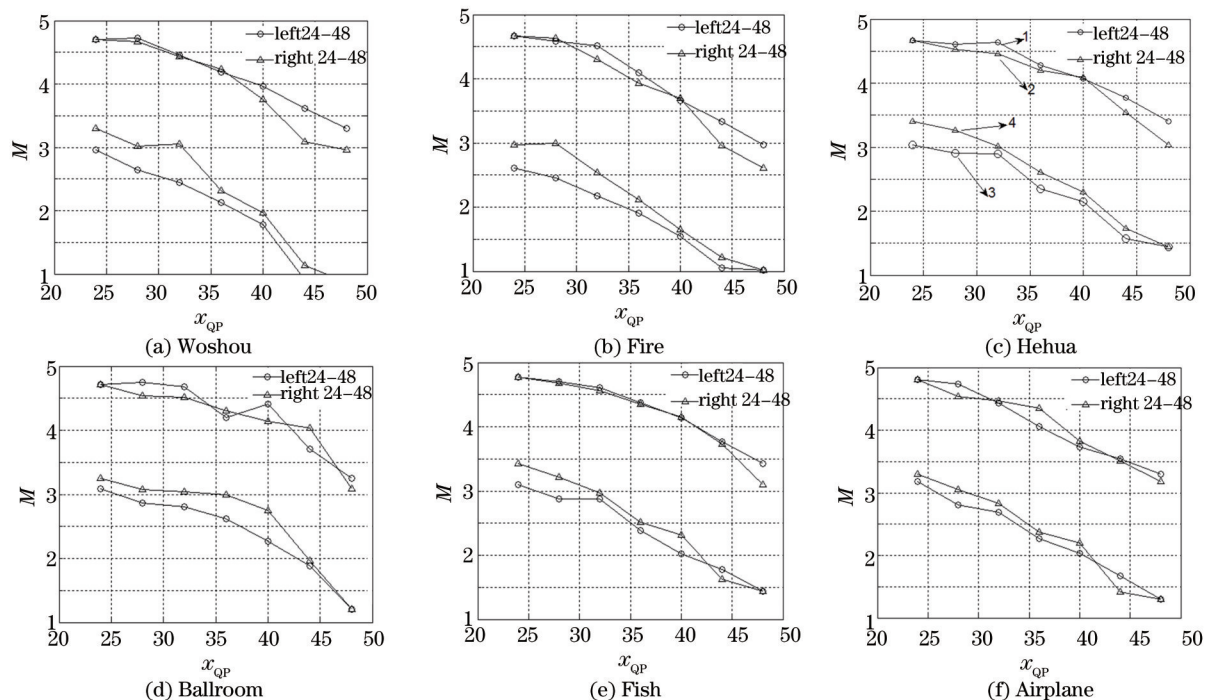


图5 参考、辅助视点与压缩降质的探究

Fig.5 Relationship between reference viewpoint, assist viewpoint and compression degradation

对图5其他视频采取同样的分析方式,可以进一步验证上述结论。在双目立体视觉捕获信息过程中,相对辅助视点而言,人眼对参考视点携带的信息更敏感,感知程度较高。因此在非对称压缩过程中,应该加大对参考视点信息的关注度,从而为节省频带宽度、研究更加科学合理的编解码方法提供新思路。

### 3.3 分辨率与压缩损伤的探究

由于视频源与立体视觉系统密不可分,因此对其展开研究显得尤为重要。分辨率作为立体视频的重要属性之一,将探究其与压缩损伤之间的关系<sup>[19]</sup>,如图6所示。由2.1节中有关立体视频源的介绍可知,视频 hehua、fire 相对于 woshou 而言,属于高分辨率视频;视频 airplane、fish 相对于 ballroom 而言,属于低分辨率视频。由图6(a)~(d)分析可知:

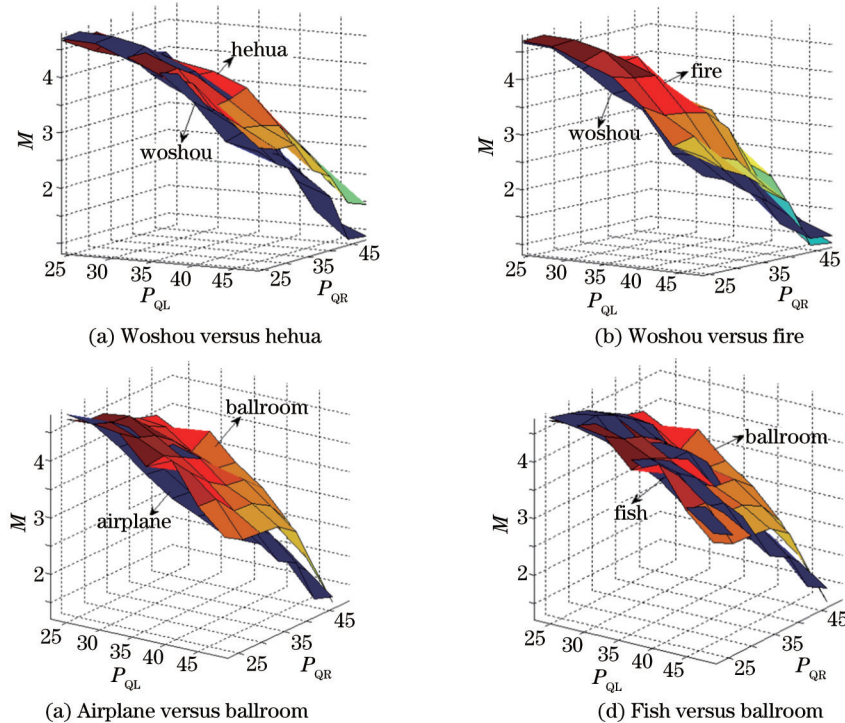


图6 分辨率与压缩降质的探究

Fig.6 Relationship between resolution and compression degradation

1) 当量化参数  $x_{QP}$  逐渐增加时,无论视频分辨率高低与否,其降质情况均会加重,且造成的视效损伤超出人眼承受范围,无法满足正常观看要求。

2) 当量化参数  $24 \leq x_{QP} \leq 28$  时,以 hehua 为代表的高分辨率测试视频的评价分值与以 woshou 为代表的低分辨率测试视频对应的评价分值存在互相融合现象,且此时分值变化趋势较为缓和,这说明处于此量化区间内的压缩视频对于分辨率的依赖程度不高,换句话说,此时量化参数  $x_{QP}$  影响因素占据主导地位。

3) 当量化参数  $36 \leq x_{QP} \leq 48$  时,可以明显看到,在同样降质损伤的情况下,高分辨率视频对应的评价分值明显高于低分辨率,且此时分值变化趋势较为陡峭,这说明处于此量化区间内的压缩视频,分辨率的影响作用有所体现,且高分辨率有助于降质补偿,缓解视觉损伤。

综上所述,在立体视频传输时,对低分辨率视频应该适当降低量化系数、细化量化区间,从而保证视频整体的可视性;针对高分辨率视频,可以在合理范围内提高  $x_{QP}$  值,从而减少信息冗余量、提高传输带宽利用率。

### 3.4 生理特征——性别因素的探究

立体视频的最终信宿是人<sup>[1,19]</sup>,人是质量评价的直接参与者,立足于此,从人类的最重要生理特征——性别入手,探究性别差异与压缩损伤的关系,如图7所示。分析图7(a)~(f)可知:

1) 随着量化参数  $x_{QP}$  的增加,无论男、女性评测者,给出测试视频的分值走向均呈下降趋势。

2) 在相同降质损伤前提下,6段视频同时显示,女性(female)评价分值普遍高于男性(male),且变化趋势较为缓和,这说明女性接纳视觉损伤能力要远高于男性;与之相反,男性对于立体视频的质量要求较高,对于因压缩带来的视觉降质敏感度要远高于女性。

随着大数据时代到来,媒体数据的挖掘、分析、应用关乎整个行业发展。应该从视频传输的源头深入挖掘用户群体信息,针对不同性别的受众人群,合理考虑量化系数的选取。例如,对于女性较为喜爱的韩剧、综艺等节目,可以在不影响正常观看的前提下,加大这一类信源的压缩,提高频带利用率;针对新闻、体育等

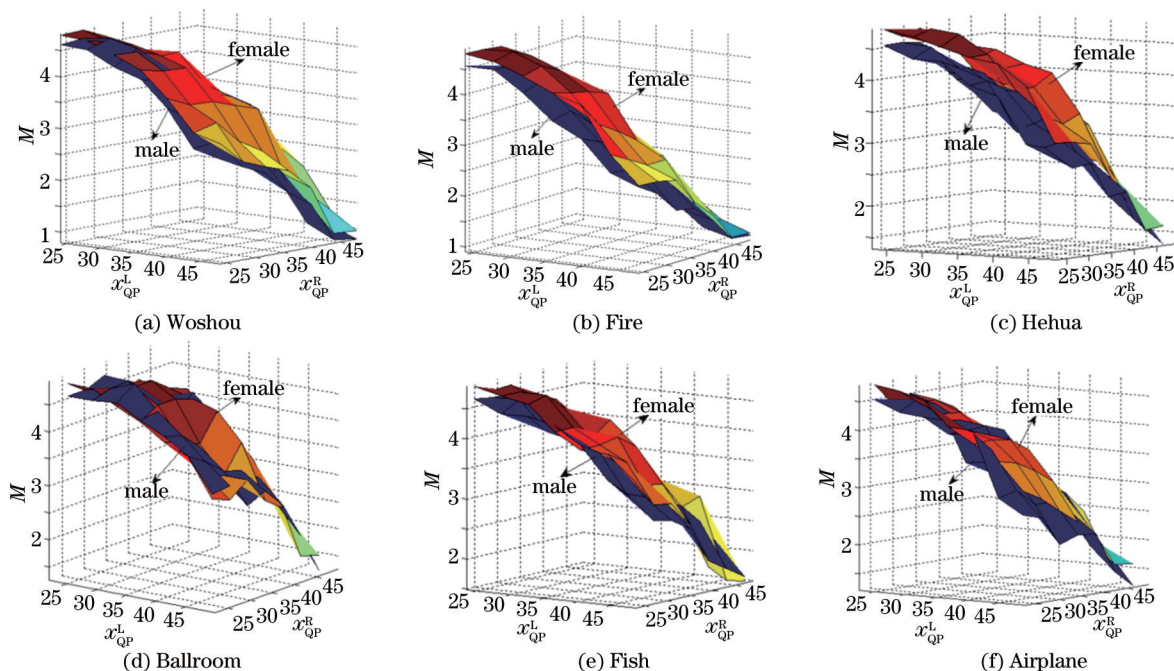


图7 性别特征与压缩降质的探究

Fig.7 Relationship between gender characteristic and compression degradation

男性较为喜爱的节目,适当细化其量化区间,改善视频整体质量,从而保证用户观看的舒适性。因此合理分析用户数据信息,因人而异采取相应解决措施,有助于提高立体视觉服务质量,节省传输带宽,达到整体性能最优化。

## 4 结 论

主要采用基于H.264压缩算法处理的立体视频作为实验素材,结合ITU-R BT.500和ITU-R BT.1438协议进行大量主观实验获取评价数据,设计了一套较为有效的数据处理方法,并对最终处理结果展开分析探究,分析得到:立体视频压缩降质的量化参数阈值范围;参考视点携带的视觉信息占据主导地位;视频的高分辨率有助于降质补偿,缓解视觉损伤;男性对视觉降质变化更为敏感等结论。此外,由于影响立体视觉压缩感知的因素是多方面的,因此在今后的工作中,还会从测试信源处理方式的多样性,不同年龄、国别的评测者对于压缩降质的感知等方面入手研究,从而丰富完善立体视频质量主观评价的相关结论。

## 参 考 文 献

- 1 Cheng Yuqing, Jiang Xiuhua. Latest research result of subjective and objective evaluation methodology for the video quality of 3DTV [J]. Journal of Communication University of China (Science and Technology), 2012, 19(1): 31-36.  
成于庆, 姜秀华. 3D电视视频质量主客观评价最新技术研究[J]. 中国传媒大学学报自然科学版, 2012, 19(1): 31-36.
- 2 Gorley P, Holliman N. Stereoscopic image quality metrics and compression [C]. SPIE, 2008, 6803: 680305.
- 3 Zhou Wujie, Yu Mei, Zhou Junming, *et al.*. Research on stereoscopic images quality assessment methods [C]. International Conference of China on Communication and Information Technology, Nanning, 2010.  
周武杰, 郁梅, 周俊明, 等. 立体图像质量评价方法研究[C]. 2010年中国通信国际会议, 南宁, 2010.
- 4 Qu Yi, Zhang Yuan, Li Zhonghai. Study on stereoscopic artifacts of 3D video [J]. Video Engineering, 2013, 37(13): 195-197.  
曲熠, 张远, 李中海. 3D视频的质量损伤类型分析[J]. 电视技术, 2013, 37(13): 195-197.
- 5 Umar A S, Swash R M, Sadka A H. Subjective quality assessment of 3D videos [C]. IEEE AFRICON, 2011. 1-6.
- 6 Carreira J, Pinto L, Rodrigues N. Subjective assessment of frame loss concealment methods in 3D video [C]. Picture Coding Symposium, 2010. 182 - 185.
- 7 Kulyk V, Tavakoli S, Folkesson M, *et al.*. 3D video quality assessment with multi-scale subjective method [C]. 2013 5th International Workshop on Quality of Multimedia Experience, 2013. 106-111.



- 8 Du Xiangkun, Jiang Xiuhua, Wang Caihong, *et al.*. Subjective quality assessment method of 3DTV videos [J]. *Video Engineering*, 2013, 37(23): 241-245.  
杜祥坤, 姜秀华, 王彩虹, 等. 立体电视视频质量主观评价方法研究[J]. *电视技术*, 2013, 37(23): 241-245.
- 9 Flaki P, Hannuksela M M, Hakkinen J. Subjective study on compressed asymmetric stereoscopic video [C]. 2010 17th IEEE International Conference on Image Processing, 2010. 4021-4024.
- 10 Seuntiens P J H. Visual Experience of 3D TV [D]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2006.
- 11 Recommendation ITU-R BT.500-11: Methodology for the subjective assessment of the quality of televisionpictures [S]. Geneva: International Telecommunication Union, 2002.
- 12 Recommendation ITU-R BT.1438: Subjective assessment of stereoscopic television pictures [S]. Geneva: International Telecommunication Union, 2002.
- 13 Zhang Yingjing, Li Sumei, Wei Jinjin, *et al.*. Subjective quality evaluation method of stereo image [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, 41(5): 602-607.  
张英静, 李素梅, 卫津津, 等. 立体图像质量的主观评价方案[J]. *光子学报*, 2012, 41(5): 602-607.
- 14 Zhou J, Jiang G, Mao X, *et al.*. Subjective quality analyses of stereoscopic images in 3DTV system [C]. *Visual Communications and Image Processing*, IEEE, 2011. 1-4.
- 15 Deng Bo. On the inspection and treatment of outliers [J]. *University Chemistry*, 1995, 10(4): 5-9.  
邓 勃. 关于异常值的检验与处理[J]. *大学化学*, 1995, 10(4): 5-9.
- 16 Wang Wenzhou. An improved t test [J]. *Journal of Xihua University (Natural Science Edition)*, 2008, 27(6): 91-94.  
王文周. 改良 *t* 检验法[J]. *西华大学学报 (自然科学版)*, 2008, 27(6): 91-94.
- 17 Kawano T, Yamagishi K, Hayashi T. Performance comparison of subjective assessment methods for 3D video quality [C]. 2012 4th International Workshop on Quality of Multimedia Experience, 2012. 218- 223.
- 18 Carreira J, Pinto L, Rodrigues N. Subjective assessment of frame loss concealment methods in 3D video [C]. *Picture Coding Symposium*, 2010. 182-185.
- 19 Lewandowski F, Paluszkiwicz M, Grajek T. Subjective quality assessment methodology for 3D video compression technology [C]. 2012 International Conference on Signals and Electronic Systems, 2012. 1-5.