

·测试、试验与仿真·

量化颜色直方图的改进与应用

黄雁华, 武文远, 龚艳春, 杜华月

(解放军理工大学, 江苏 南京 211101)

摘要:对图像进行灰度量化的时候,容易把颜色不同而灰度相同的像素归为一类,造成量化误差而影响评价结果。基于HSV颜色空间,通过统计样本数据,结合人眼观察彩色的视觉特性,确定了颜色量化范围,建立了适合伪装特点的颜色直方图,利用距离函数进行了目标颜色特征的伪装效果评价。实验结果表明,利用改进的量化颜色直方图评价目标伪装效果,能够客观地表征目标及其背景的颜色特征,伪装效果的评价结果与人眼观察结果吻合,可以作为一种评价目标颜色特征伪装效果的量化方法。

关键词:HSV;颜色量化;直方图;伪装效果评价

中图分类号:TP391;E951.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)04-0076-05

Improvement and Application of Color Histogram

HUANG Yan-hua, WU Wen-yuan, GONG Yan-chun, DU Hua-yue

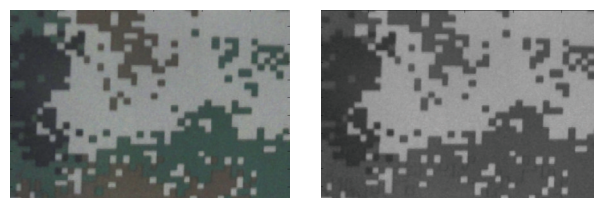
(College of Science, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 211101, China)

Abstract: The pixels of the different colors and same gray can be assorted easily, which can result in the quantization errors and impact the evaluation results, when the grayscale is quantified. Based on the HSV color space, combining with the visual characteristics of the human eye, the quantitative range of the color is determined and the color histogram suitable for the camouflage characteristics is established. The camouflage effectiveness of the target color characteristics is evaluated using the distance function. The experimental results show that the evaluation of the camouflage effectiveness using the improved quantitative color histogram can objectively evaluate the target and its background color characteristics, and evaluation results are consistent with the results of human eye. This quantitative color histogram can be used as a quantitative method for evaluating camouflage effectiveness of the target color characteristics.

Key words: HSV; color quantization; histogram; camouflage effectiveness evaluation

数字图像分析技术已经应用于伪装效果评价中,在利用目标的图像特征评价伪装效果时,灰度量化的时候容易把不同颜色而灰度相同的像素归为一类,造成量化误差而影响评价结果。目前广泛使用的是基于灰度技术评价伪装效果^[1],图1显示了灰度量化前后的对比图,可以看出原图有4种颜色,而量化后的灰度图只有3种灰度,产生了量化误差,影响评价结果。

颜色量化可以避免上述问题的出现。所以,结



(a) 原图

(b) 灰度图

图1 林地迷彩样本原图与灰度图对比

合伪装要求,选择一种适合人眼视觉特性的颜色空间,进行合理的颜色量化对于客观地评价伪装效果

收稿日期:2011-05-18

作者简介:黄雁华(1980-),男,云南宜良人,硕士,讲师,研究方向为图像处理与伪装理论技术。

具有重要的意义。

1 HSV 颜色空间

RGB 颜色空间是一种常见的颜色表示法,但是 RGB 颜色空间与人眼的感知差异很大。例如,距离为 50 的(0,0,0)与(50,0,0)两种 RGB 颜色认为是同一黑色,而距离为 50 的(200,50,0)与(200,100,0)则是差别很大的 2 种颜色(红色和黄色),也就是说其空间的相似不代表实际颜色的相似。HSV 颜色空间与人的视觉特性比较接近^[2],更能在视觉上体现出颜色和亮度的差别,HSV 颜色空间分成了色调 H 、饱和度 S 和亮度 V 3 个分量,在许多图像处理中有其独特的优点:(1)亮度分量与色度分量是分开的,亮度分量与图像的色彩信息无关;(2)色调和饱和度的概念互相独立并与人的感知紧密相连。这些特点使得 HSV 颜色空间非常适合基于人眼视觉特性进行图像分析,为此文中选择 HSV 颜色空间作为分析模型。

设 RGB 颜色空间中任意颜色表示为 (r, g, b) 、 $r, g, b \in [0, \dots, 255]$,则转换到 HSV 颜色空间的 h, s, v 值($h \in [0, 2\pi]$; $s, v \in [0, 1]$)计算如下

$$h = \begin{cases} \arccos \frac{(r-g)+(r-b)}{2\sqrt{(r-g)^2+(r-b)(g-b)}}, & b \leq g \\ 2\pi - \arccos \frac{(r-g)+(r-b)}{2\sqrt{(r-g)^2+(r-b)(g-b)}}, & b > g \end{cases} \quad (1)$$

$$s = \frac{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)}{\max(r, g, b)} \quad (2)$$

$$v = \frac{\max(r, g, b)}{255}$$

2 改进的量化颜色直方图

(1) 色调和饱和度量化范围确定

颜色量化是根据图像中的颜色分布,在选定的颜色空间中找出 m 种具有代表性的颜色,依据给定的算法把图像中的所有颜色映射成这 m 种代表色。目标伪装的目的是减低目标的显著性,要求目标与背景有协调一致的颜色分布,即在色调(饱和度)直方图上呈现有限的区域,而不是整个颜色区域。为了研究色调 H 和饱和度 S 分量,通过统计 20

幅伪装照片,确定色调和饱和度分量的量化范围,实验步骤如下:

- ① 采用 20 幅实际伪装照片样本,不考虑占整个图像像素总和的 1% 的颜色;
- ② 每幅图分别产生色调直方图和饱和度直方图,并找出各样本的色调、饱和度取值范围;
- ③ 统计实验结果,把取值范围区间中的最大值和最小值作为色调、饱和度的量化范围。

实验结果如表 1, $[\min KH, \max KH]$ 表示色调取值范围, $[\min KS, \max KS]$ 表示饱和度取值范围,分析实验数据,可以得到实验结果:色调的量化范围为 $[20^\circ, 270^\circ]$,其他色调值设置为 0。饱和度的量化范围为 $[0.1, 0.85]$,其他饱和度值设置为 0。

表 1 20 幅伪装样本的色调和饱和度范围统计

样本图	$[\min KH, \max KH]$	$[\min KS, \max KS]$
1	$[22^\circ, 73^\circ]$	$[0.144\ 5, 0.378\ 9]$
2	$[38^\circ, 57^\circ]$	$[0.164\ 1, 0.335\ 9]$
3	$[28^\circ, 41^\circ]$	$[0.566\ 4, 0.695\ 3]$
4	$[29^\circ, 95^\circ]$	$[0.144\ 5, 0.355\ 5]$
5	$[20^\circ, 271^\circ]$	$[0.139\ 1, 0.564\ 1]$
6	$[25^\circ, 37^\circ]$	$[0.242\ 2, 0.394\ 5]$
7	$[30^\circ, 56^\circ]$	$[0.316\ 4, 0.507\ 8]$
8	$[21^\circ, 42^\circ]$	$[0.656\ 3, 0.824\ 2]$
9	$[30^\circ, 89^\circ]$	$[0.234\ 4, 0.468\ 8]$
10	$[34^\circ, 61^\circ]$	$[0.289\ 1, 0.460\ 9]$
11	$[25^\circ, 55^\circ]$	$[0.390\ 6, 0.582\ 0]$
12	$[31^\circ, 121^\circ]$	$[0.121\ 1, 0.347\ 7]$
13	$[38^\circ, 91^\circ]$	$[0.410\ 2, 0.574\ 2]$
14	$[61^\circ, 181^\circ]$	$[0.154\ 7, 0.652\ 3]$
15	$[61^\circ, 166^\circ]$	$[0.105\ 5, 0.308\ 6]$
16	$[31^\circ, 241^\circ]$	$[0.10\ 5, 0.281\ 3]$
17	$[45^\circ, 265^\circ]$	$[0.105\ 5, 0.218\ 8]$
18	$[36^\circ, 97^\circ]$	$[0.144\ 5, 0.834\ 2]$
19	$[72^\circ, 99^\circ]$	$[0.191\ 4, 0.277\ 3]$
20	$[24^\circ, 241^\circ]$	$[0.139\ 1, 0.571\ 9]$

(2) 改进的量化颜色直方图

一幅彩色背景图像的颜色种类非常多,颜色直方图的维数多,计算量大,进行颜色的统计和提取十分困难。为此,人们对直方图进行量化来减小其所包含的向量个数。对于 HSV 空间量化, MPEG7 标准推荐采用一致性量化方案^[3],但忽视了 HSV 空间色调的不均匀性和灰度分量的识别作用。

文献[4]提出了改进的 HSV 颜色空间,当亮度 $V < 0.15$,认为是黑色,量化为 $H=0, S=0, V=0$;当 $V >$

0.85, 饱和度 $S < 0.1$, 认为是白色, 量化为 $H=0, S=1, V=1$; 其他区域为彩色区。对于灰度区, 文献[5]根据视觉心理学证据, 分析了彩色—灰度分界曲线函数, 当 $0.15 < V < 0.85$, 饱和度 $S < 0.1$, 认为是灰色, 灰度区量化为 $H=0, S=0, V$ 为任意 $0 \sim 1$ 范围。

结合目标伪装的颜色特征要求, 考虑到 HSV 颜色空间的特点、人眼视觉特性及颜色空间量化效率等因素, 对 HSV 颜色空间进行量化时, 主要采取以下措施:

① 根据实际目标伪装与背景的颜色特点, 在保证主色数量不变的前提下, 适当减少运算量;

② 由于人眼视觉特征的非线性特点, 对 HSV 颜色空间考虑非均匀量化;

③ 通过量化把不同颜色区域适当地细化, 并对量化的区间数目和范围进行了适当调整。

④ HSV 颜色空间的值域 h, s, v 分别按照 12 个、5 个和 5 个区间进行量化, 量化后的色调、饱和度和亮度值分别为 H, S, V ; 色调 H 的量化范围为 $[20^\circ, 270^\circ]$, 其他色调值设置为 0, 非均匀量化; 饱和度 S 的量化范围为 $[0.1, 0.85]$, 其他饱和度值设置为 0; 亮度 V 量化范围为 $[0.15, 1]$, 其他亮度设置为 0。

综合以上讨论, 改进的量化结果为

$$\begin{aligned}
 H &= \begin{cases} 0, & \text{if } h \in [270^\circ, 20^\circ] \\ 1, & \text{if } h \in [20^\circ, 45^\circ] \\ 2, & \text{if } h \in [45^\circ, 55^\circ] \\ 3, & \text{if } h \in [55^\circ, 80^\circ] \\ 4, & \text{if } h \in [80^\circ, 100^\circ] \\ 5, & \text{if } h \in [100^\circ, 120^\circ] \\ 6, & \text{if } h \in [120^\circ, 140^\circ] \\ 7, & \text{if } h \in [140^\circ, 165^\circ] \\ 8, & \text{if } h \in [165^\circ, 190^\circ] \\ 9, & \text{if } h \in [190^\circ, 220^\circ] \\ 10, & \text{if } h \in [220^\circ, 255^\circ] \\ 11, & \text{if } h \in [255^\circ, 270^\circ] \end{cases} \\
 S &= \begin{cases} 0, & \text{if } s \in [0.0, 0.1] \\ & \cup [0.85, 1] \\ 1, & \text{if } s \in [0.1, 0.25] \\ 2, & \text{if } s \in [0.25, 0.45] \\ 3, & \text{if } s \in [0.45, 0.65] \\ 4, & \text{if } s \in [0.65, 0.85] \end{cases} \\
 V &= \begin{cases} 0, & \text{if } v \in [0.0, 0.15] \\ 1, & \text{if } v \in [0.15, 0.4] \\ 2, & \text{if } v \in [0.4, 0.6] \\ 3, & \text{if } v \in [0.6, 0.8] \\ 4, & \text{if } v \in [0.8, 1.0] \end{cases} \quad (3)
 \end{aligned}$$

量化完成后, 将 HSV 颜色空间分成了 300 个颜

色区间, 每个区间用相应的平均颜色来表示, 按照量化结果, 将 3 个颜色分量 H, S, V 合成一个特征量 Q 为

$$Q = 25H + 5S + V \quad (4)$$

其中, $Q = 0, 1, \dots, 299$, 对每一个颜色区间, Q 是唯一的。如图 2 所示下方的彩色条就是量化的 Q 值对应的颜色条, 色调 H 被量化成了 5 个主色区, 分别是 1 个红区 ($Q=0 \sim 24$)、3 个黄色区 ($Q=25 \sim 99$)、4 个绿色区 ($Q=100 \sim 199$)、3 个蓝色区 ($Q=200 \sim 274$) 和 1 个紫色区 ($Q=275 \sim 299$); 每个主色区有 5 个颜色条, 对应不同的饱和度 S 的量化值; 每个颜色条有 5 种随亮度变化的颜色, 对应不同亮度 V 的量化值。

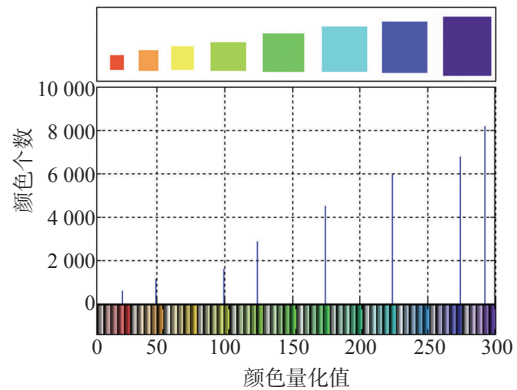


图2 颜色测试图的实验结果

式(4)把三维的颜色空间 HSV 转化为一维的量化颜色特征量 Q , 即可以用直方图来描述颜色特征。文献[6]提出了基于量化颜色直方图提取颜色特征, 该方法能够准确地提取背景颜色特征。颜色直方图是一种概率统计方法, 它将图像中各颜色像素的个数进行统计, 并用直方图的形式表示出来。利用式(4)得到的量化结果, 定义颜色直方图如下

$$H(Q) = (h_{c_1}(Q), h_{c_2}(Q), h_{c_3}(Q), \dots, h_{c_i}(Q)) \quad (5)$$

其中, $h_{c_i}(Q) = \frac{\|Q_{c_i}\|}{N}$, $\|Q_{c_i}\|$ 表示图像中所有颜色为 C_i 的像素个数, N 为图像像素总和。横轴表示颜色区间 ($Q = 0, 1, \dots, 299$), 纵轴表示各个区间内颜色的像素点个数 $H(Q)$ 。

3 实验及讨论

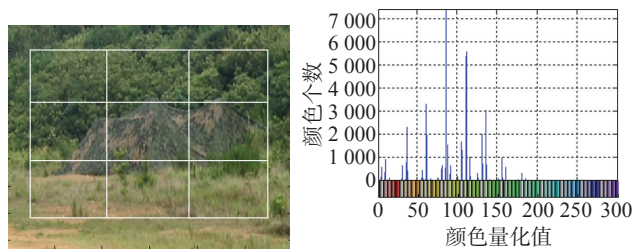
(1) 计算机模拟实验

图 2(上)是利用 Photoshop 产生的一幅 720×120 的图像, 图像分别设置 8 种颜色: 红、橙、黄、淡绿、青

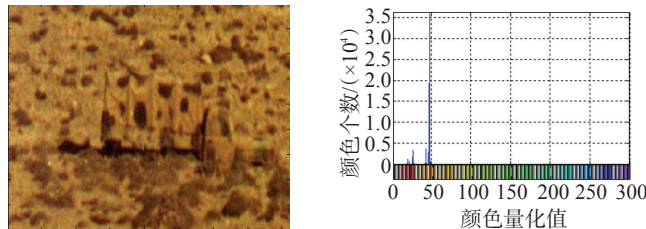
绿、青、蓝、紫,且各颜色所占的图像面积依次递增,对应的颜色坐标值(H,S,V)依次是:(0, 0.7, 1)、(30, 0.7, 1)、(60, 0.7, 1)、(90, 0.7, 1)、(130, 0.7, 1)、(180, 0.7, 1)、(240, 0.7, 1)、(260, 0.64, 0.57)。图2(中)为测试结果,图2(下)的彩色条为式(4)的颜色量化特征量Q,分别为24,49,99,129,174,224,274,292级。从图2可知,直方图能够客观反映测试图中各颜色的颜色信息和颜色数量,从而验证了量化颜色直方图分析图像颜色特征的有效性。

(2) 伪装照片的颜色直方图

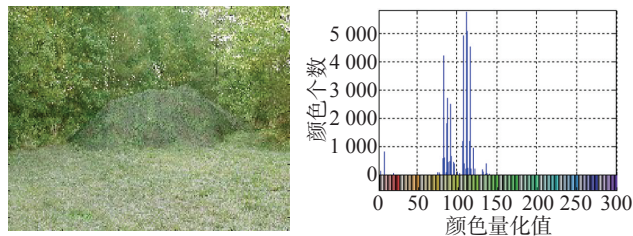
为了结合伪装照片进一步检验建立的颜色直方图的有效性,选取了3幅伪装照片进行实验验证,图3颜色直方图曲线客观反映了各图片主要颜色分布情况,实验表明文中的颜色量化方法是合理的。



(a) 迷彩伪装



(b) 荒漠伪装



(c) 超轻伪装网(美)

图3 伪装照片颜色直方图实验结果

(3) 伪装效果评价实验

为了定量地评价目标遮障面与周围背景颜色特征的伪装效果,需要考虑距离函数,距离度量越小,两幅图像从人类视觉感知上来观察,越接近;反

之,越不相似。通过比较遮障面与背景图像的颜色直方图差异,研究两者在色调特性方面的差别。利用式(5),设背景颜色直方图矩阵为 $H_b(Q)=\{Q_{ij}^b\}$,遮障面颜色直方图矩阵为 $H_o(Q)=\{Q_{ij}^o\}$,并将其归一化,即将矩阵各元素除以矩阵元素之和。经过归一化处理后,颜色直方图矩阵元素之和为1,定义颜色分布相似度S为^[7]

$$S = 1 - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j |Q_{ij}^b - Q_{ij}^o| \quad (6)$$

式(6)描述目标遮障面和背景之间的颜色直方图的相似程度。此公式表示两者之间的重叠面积,可以形象地描述目标与背景之间不同颜色分布的相似程度。S表示了遮障面与背景颜色特性分布交叠域的面积,S越大,交叠的面积就越大,目标与背景颜色特性分布的直方图越相似,反之二者就越不相似。

以图3为例,采用九宫格方式提取目标和背景(图3a所示),得到颜色相似度如表2,其中5区为目标,<1,5>表示图像左上角区域与目标区颜色直方图相似度值。3幅伪装照片的颜色直方图平均相似度分别为0.815 9、0.831 4、0.920 7。

表2 对图3的3个样本图各区颜色相似度

图	<1,5>	<2,5>	<3,5>	<4,5>	<6,5>
(a)	0.833 4	0.835 7	0.792 8	0.791 1	0.813 3
(b)	0.832 8	0.829 5	0.834 1	0.837 5	0.840 0
(c)	0.927 1	0.940 7	0.903 4	0.909 2	0.934 4
图	<7,5>	<8,5>	<9,5>	均值	
(a)	0.787 5	0.826 5	0.846 5	0.815 9	
(b)	0.830 8	0.829 5	0.817 0	0.831 4	
(c)	0.923 8	0.919 0	0.908 0	0.920 7	

4 结 论

结合伪装效果评价要求,通过统计伪装样本,得到了样本色调、饱和度量化范围分别为 $[20^\circ, 270^\circ]$ 和 $[0.1, 0.85]$,其他值为0。建立了符合伪装特点的颜色直方图,得到了一维的300级颜色特征量,利用相似度距离公式,对伪装照片进行了伪装效果评价。实验结果表明,利用改进的量化颜色直方图评价目标伪装效果,能够客观地表征目标及其背景的颜色特征,评价结果与人眼观察结果吻合,可以作为一种评价目标颜色特征伪装效果的量化方

法。但以上方法只是从颜色分布的相似程度来分析伪装效果,伪装效果的客观评价需要综合多个图像特征,才能更加准确地给出符合人眼视觉特性的评价结果。

参考文献

- [1] 汪东,吕绪良,许卫东,等.基于灰度直方图分析技术的伪装应用模型[J].解放据理工大学学报(自然科学版),2004,5(3):74-77.
- [2] Smith A R. Color gamut transformation pairs[J]. Comput-

(上接第60页)

- rieval[C]// Proc. ICIP(6),2007:373-376.
- [3] Thibault Napoleon, Tomasz Adamek, Francis Schmitt, et al. SHREC'08 entry: Multi-view 3D retrieval using multi-scale contour representation[C]//2008 IEEE International Conference on Shape Modeling and Applications,2008.
- [4] David G Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [5] 王瑞瑞,马建文,陈雪.多传感器影像配准中基于虚拟匹配窗口的SIFT算法[J].武汉大学学报·信息科学版,2011,36(2):163-166.
- [6] 钟金琴,檀结庆,李莹莹等.基于二阶矩的SIFT特征匹配算法[J].计算机应用,2011,31(1):29-32.
- [7] Ryutarou Ohbuchi, Kunio Osada, Takahiko Furuya, et

(上接第63页)

法的优点,在于它结合了接收方对压缩的主观要求,实现了感兴趣区动态编码。此外文中算法与标准JPEG2000相比,需要分别对ROI和背景确定截止门限,由于确定截止门限采用二分法搜索方法,计算量不会成倍增加,只是略有增加,满足了系统实时性的需求。

参考文献

- [1] Zhou Wang, Bovik Alan C. Bitplane-by-Bitplane Shift (BbBShift)-A Suggestion for JPEG 2000 Region of Interest Image Coding [J]. IEEE Signal Processing Lett (S1070-9908),2002,9(5):160-162.
- [2] Zhou Wang, Serene Banerjee, Brian L, et al. Generalized Bitplane-by-Bitplane Shift Method for JPEG2000 ROI Coding[C]//Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing. Rochester, NY, USA, III81-III84,2002:22-25.
- [3] Taubman D, Marcellin M W. JPEG2000: Image Com-

er Graphics,1978,12(3):12-19.

- [3] B S Manjunath, J R Ohm, V V Vasudenva, et al. Color and Texture Descriptor s[J]. IEEE Trans. on CSVT, 2001,11(6):703-715.
- [4] 王涛,胡事民,孙家广.基于颜色-空间特征的图像检索[J].软件学报,2002,13(10):2031-2036.
- [5] 沈云涛.基于视觉感知特性的图像检索研究[D].西安:西北工业大学,2005:52-63.
- [6] 徐英.基于背景代表色提取的迷彩伪装颜色选取算法[J].光电工程,2007,34(1):100-104.
- [7] 许卫东,吕绪良,陈兵.一种基于纹理分析的伪装器材效果评价模型[J].兵工学报,2002,23(3):329-331.

al. Salient Local Visual Features for Shape-Based 3D Model Retrieval[C]// Proc. IEEE Shape Modeling International(SMI). NY, USA, Stony:BrookJune,2008:4-6.

- [8] Robert Osada, Thomas Funkhouser, Bernard Chazelle, et al. Shape Distributions[J]. ACM Transactions on Graphics,2002, 21(4):807-832.
- [9] Ryutarou Ohbuchi, Masatoshi Nakazawa, Tsuyoshi Takei. Retrieving 3D Shapes Based on Their Appearance [C]//5th ACM SIGMM international workshop on multimedia information retrieval. Berkeley, California, USA, 2003:39-45.
- [10] Ryutarou Ohbuchi, Takahiro Minamitani, Tsuyoshi Takei. Shape-Similarity Search of 3D Models by using Enhanced Shape Functions[J]. International Journal of Computer Applications in Technology (IJCAT),2003, 23(3/4/5):70-85.

pression Fundamentals, Standards, and Practice[M]. Boston:Kluwer Academic Publishers,2002.

- [4] Nguyen A, Chandran V, Sridharan S. Important Prioritization Coding in JPEG2000 for Interpretability with Applications to Surveillance Image[C]//Proc. of SPIE Visual Communication and Image Processing, 2003, 5150: 806-817.
- [5] Sanchez V, Basu A, Mandal M K. Prioritized Region of Interest Coding in JPEG2000[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., 2004, 14(9):1149-1155.
- [6] Rosenbaum R, Schumann H. Flexible, Dynamic and Compliant Region of Interest Coding in JPEG2000[C]// Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing. New York:Rochester,2002:101-104.
- [7] Tammam Tillo, Gabriella Olmo. A Novel Multiple description coding scheme compatiblewith the JPEG2000 decoder[J]. IEEE signal processing lett, 2004, 11(11) 908-911.
- [8] 侯俊,方向忠,李继良.多码率JPEG2000的感兴趣区域编码[J].计算机工程,2007,33(5):200-201.