

基于色彩相似度的自适应立体匹配

李洪¹, 李大海^{1*}, 王琼华^{1,2}, 陈盈锋¹, 张充¹

(1. 四川大学 电子信息学院, 成都 610064; 2. 四川大学 视觉合成图形图像技术国防重点学科实验室, 成都 610065)

(* 通信作者电子邮箱 lidahai@scu.edu.cn)

摘要:提出了一种结合权值矩阵和相似性系数矩阵构造的区域匹配方法。该方法首先运用色彩相似性和距离临近性对窗内的每一点相对于待匹配点的自适应权值进行分配,得到一个权值矩阵,为了提高在视差不连续区域的匹配精度,使用了边界点矩阵来降低相对应点的权值。然后在 RGB 色彩空间中根据待匹配点和对应点的匹配窗内的每一点的颜色绝对差值和来自自适应分配相似性系数矩阵。最后利用上述方法对 Middlebury 网站上提供的四幅立体图像对 Tsukuba、Venus、Teddy 和 Cones 进行了实验,总体正确率分别达到了 91.82%、96.19%、76.6% 和 86.9%。

关键词:立体匹配; 权值矩阵; 边界点; 相似性系数; 视差图

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Adaptive stereo matching based on color similarity

LI Hong¹, LI Da-hai^{1*}, WANG Qiong-hua^{1,2}, CHENG Ying-feng¹, ZHANG Chong¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China;

2. Key Laboratory of Fundamental Synthetic Vision Graphics and Image for National Defense, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: A kind of area matching method that combined weights matrix with similarity coefficient matrix was proposed in this article. The article was organized as follows: first of all, the method got the weights matrix by using color similarity and distance proximity, and the value of the matrix was corrected with an edge matrix for improving correction of the edge pixels. Then a similarity coefficient matrix was adaptively obtained according to each point pair's sum of absolute difference in matching window between left image and right image. Finally, the method was investigated by matching four stereo images (Tsukuba, Venus, Teddy, and Cones) with ground truth provided in Middlebury stereo database and the rate of overall accuracy reaches 91.82%, 96.19%, 76.6%, 86.9%, respectively.

Key words: stereo matching; weights matrix; edge pixel; similarity coefficient; parallax image

0 引言

立体匹配是立体视觉研究中的一个关键步骤,在立体图像匹配算法中,主要有局部算法和全局算法两大类^[1]。局部算法中,根据匹配基元的不同可分为基于区域的匹配^[2-4]、特征匹配^[5-7]、基于相位的匹配^[8]和基于梯度的算法^[9]等,而区域匹配和特征匹配是最常见的两种方法。其中,区域匹配算法是在一幅图像中以待匹配点为中心选取一个区域,在另一幅图像中找到与该区域匹配代价最小的区域,并把找到区域的中心认为是待匹配点的对应点的过程。常用的区域相似性测度有归一化互相关(Normalized Cross Correlation, NCC)、差值平方和(Sum of Squared Difference, SSD)、归一化差值平方和(Normalized SSD)、绝对差值和(Sum of Absolute Difference, SAD)、归一化绝对差值和(Normalized SAD)等。在这些相似性测度中,非归一化的方法计算量较小,但容易受到光照影响,轻微的光照差异可能造成很大的匹配误差;归一化的方式受光照影响相对较小,但计算量巨大,效率低下。因此,本文提出了一种满足效率且对光照差异不敏感的相似性测度算法。

首先,运用彩色相似度^[10]和距离临近性对窗内的每一点相对于待匹配点的自适应权值进行分配,得到一个权值矩阵,为了提高在视差不连续区域的匹配精度,使用了边界点矩

阵^[11]来降低相对应点的权值;然后,在 RGB 色彩空间中,根据待匹配点和对应点的匹配窗内每一点的颜色绝对差值和自适应地分配相似性系数矩阵;最后,结合权值矩阵和相似性系数矩阵构造的区域匹配方法对 4 幅立体像对 Tsukuba、Venus、Teddy 和 Cones 进行了实验验证,结果表明,相对于传统的区域匹配算法,本文方法在非遮挡区域、总体和视差不连续区域都取得了不错的效果,证明本文方法是可行的。

1 基于边界修正的自适应权值算法

1.1 初始权值获取

许多研究者指出匹配窗的形状和大小都可以自适应地改变,所谓对具有任意形状的视差边缘能提供很好的支持,但匹配窗的选择过于复杂。因此一些研究者仍然选择使用形状和大小固定的窗,通过自适应地调整窗内每个像素参与匹配时的权重,来完成窗的选取。其中,比较有影响性的是 Yoon 和 Kweon 提出的自适应权值算法^[12]。该方法认为,匹配窗内的所有像素点,只有与待匹配点具有同一深度信息的像素才能为匹配过程作出贡献。因此,窗内某个像素的权值分配问题,可以转化为估计该像素与待匹配点具有同一深度的概率大小问题。即:

$$w'(s, t) \propto P_r(d_s = d_t) \quad (1)$$

其中: s 是待匹配点, t 是 s 的匹配窗内的某一点, $w'(s, t)$ 表示

收稿日期: 2012-07-02; 修回日期: 2012-08-14。

作者简介: 李洪(1984-), 男, 四川内江人, 硕士研究生, 主要研究方向: 三维立体显示、三维测量; 李大海(1968-), 男, 贵州松桃人, 教授, 博士, 主要研究方向: 光学信息处理、波前传感、三维立体显示、三维测量。

t 所获得的权重, d_s 和 d_t 分别代表了 s 点和 t 点的视差值 (Tsukuba、Venus、Teddy 和 Cones 视差搜索范围分别为 $[0, 15]$ 、 $[0, 19]$ 、 $[0, 59]$ 和 $[0, 59]$), $P_t(d_s = d_t)$ 表示事件 $\{d_s = d_t\}$ 的概率。由于视差信息在匹配的过程中是未知的。因此, Yoon 和 Kweon 选择了色彩相似性 (similarity) 和距离邻近性 (proximity) 来作为权重分配的依据, 即:

$$w'(s, t) = \exp\left(-\left(\frac{\Delta C_{st}}{\gamma_c} + \frac{\Delta g_{st}}{\gamma_s}\right)\right) \quad (2)$$

其中: ΔC_{st} 和 Δg_{st} 分别表示 $s(i, j)$ 点和 $t(i', j')$ 点的色彩差异和欧氏距离; γ_c 为经验参数, 可以通过实验来确定; γ_s 是匹配窗的半径大小。Yoon 和 Kweon 选择 CIE Lab 色彩空间计算其色彩相似性。为了计算简易性, 本文选择在 RGB 色彩空间中度量其色彩相似性, 因此 ΔC_{st} 可以如下表示:

$$\Delta C_{st} = \sqrt{(R_s - R_t)^2 + (G_s - G_t)^2 + (B_s - B_t)^2} \quad (3)$$

Δg_{st} 表示为:

$$\Delta g_{st} = \sqrt{(i - i')^2 + (j - j')^2} \quad (4)$$

1.2 降低边界点的权值

由于在匹配过程中, 选择的是形状和大小都固定的窗, 不能保证窗口内只包含具有同一视差属性的像素点, 匹配窗可能跨越视差不连续区域, 将会在深度变化边缘区域出现错误匹配。假设深度不连续边缘包含在明显的灰度变化边界内, 基于这样的假设条件下, 为了使得匹配精度更高, 可以降低灰度变化剧烈的像素点的权值。

实验发现, 对于彩色图像的某些区域, 其色彩差异非常明显, 但是转化为灰度图像后, 其灰度差异却非常小, 所以, 在提取图像边界时, 需要将图像色彩的变化也考虑进来, 获得更为完整的物体轮廓信息。在此, 选择在 RGB 色彩空间中提取左图像的边界信息, 并将结果保存在矩阵 **edge** 中。

$$\begin{aligned} \text{edge}(x, y) = & U(\text{Max}(|R(x, y) - R(x \pm 1, y \pm 1)| + \\ & |G(x, y) - G(x \pm 1, y \pm 1)| + \\ & |B(x, y) - B(x \pm 1, y \pm 1)|) - \delta) \end{aligned} \quad (5)$$

其中: $R(x, y)$ 、 $G(x, y)$ 、 $B(x, y)$ 分别为图像在点 (x, y) 的三分量值, $\text{Max}()$ 为求最大值函数, $U()$ 为阶跃函数, δ 为实验经验值。

构造一个和权值窗口 $w(s, t)$ 相同大小的矩阵 **edge**, 把与 $w'(s, t)$ 相应位置的 **edge** 矩阵里的值赋给小矩阵 **edge**, 并用 **edge** 来修正 $w'(s, t)$ 矩阵, 即:

$$w(s, t) = w'(s, t)(1 - \gamma_e \text{edge}_s) \quad (6)$$

其中: $w(s, t)$ 为修正后的权值矩阵; γ_e 为经验系数, 实验表明 γ_e 的取值在 0.75 ~ 0.84 时^[9], 匹配正确率较高。

2 自适应色彩相似性系数算法

区域匹配的过程就是建立立体图像对中左图像像素点与右图像像素点的候选对应匹配关系的过程, 为了建立这种关

$$\text{Corr}_d(i, j) = \frac{\sum_{x=-\frac{1}{2}(W_x-1)}^{\frac{1}{2}(W_x-1)} \sum_{y=-\frac{1}{2}(W_y-1)}^{\frac{1}{2}(W_y-1)} w((i, j), (i+x, j+y)) \times \text{coeff}\left(x + \frac{W_x+1}{2}, y + \frac{W_y+1}{2}\right)}{\sum_{x=-\frac{1}{2}(W_x-1)}^{\frac{1}{2}(W_x-1)} \sum_{y=-\frac{1}{2}(W_y-1)}^{\frac{1}{2}(W_y-1)} w((i, j), (i+x, j+y))} \quad (9)$$

式中: W_x 和 W_y 分别代表匹配窗的宽和高, 均为 m , 本文中取值为 19。

系, 本文选择在 RGB 色彩空间中自适应分配相似性系数, 方法步骤如下。

1) 图 1(a) 中点 P_1 为待匹配点 $L(i, j)$, P_2 为图 1(b) 中对应点 $R(i, j+d)$, d 为该点的视差值, 构造匹配窗口 M 、系数矩阵 $\text{coeff}(i, j)$ 的大小与前面的 $w(s, t)$ 窗口大小相同, 大小为 $m \times m$ 。

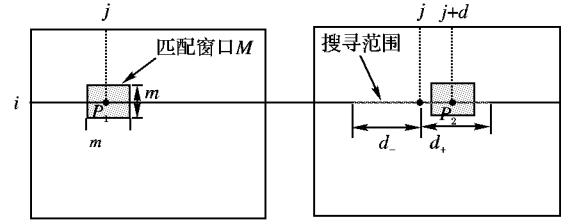


图 1 匹配示意图

2) 求出图 1(a) 中以 P_1 为中心的匹配窗内的每一点 $L(i, j)$ 和其在图 1(b) 中 P_2 为中心的匹配窗内的对应点 $R(i, j+d)$ 之间的绝对差值和 AD , 即:

$$\begin{aligned} AD = & |R_L(i, j) - R_R(i, j+d)| + \\ & |G_L(i, j) - G_R(i, j+d)| + \\ & |B_L(i, j) - B_R(i, j+d)| \end{aligned} \quad (7)$$

其中: $R_L(i, j)$ 、 $G_L(i, j)$ 、 $B_L(i, j)$ 、 $R_R(i, j+d)$ 、 $G_R(i, j+d)$ 、 $B_R(i, j+d)$ 分别是图 1(a) P_1 为中心、图 1(b) P_2 为中心的匹配窗内每一对应点的 RGB 分量。

3) 如果立体图像左图像、右图像中两点的 AD 值越大, 说明它们的相关性越小, 因此可以根据式 (6) 自动地分配相似性系数矩阵 $\text{coeff}(i, j)$ 的值。

$$\text{coeff}(i, j) = (T - AD) * \frac{1}{T} \quad (8)$$

式中 T 为经验参数, 本文中取 80, 认为绝对差值和小于 80 时, 两点具有正相关性。

3 视差的计算

常用的区域相似性测度有归一化互相关 (Normalized Cross Correlation, NCC)、差值平方和 (Sum of Squared Difference, SSD)、归一化差值平方和 (Normalized SSD)、绝对差值和 (Sum of Absolute Difference, SAD)、归一化绝对差值 (Normalized SAD) 等。在这些相似性测度中, 非归一化的方法计算量较小, 但容易受到光照影响, 轻微的光照差异可能造成很大的匹配误差; 归一化的方式受光照影响相对较小, 但计算量巨大, 效率低下。因此, 本文提出了一种满足效率且对光照不敏感的相似性测度算法。该算法是在 RGB 色彩空间中自适应的分配相似性系数, 并与前面获得的权值矩阵构造的相似性测度函数 Corr_d , 如果 $P_2(i, j+d)$ 是 $P_1(i, j)$ 点的对应点, 那么 $P_2(i, j+d)$ 窗内的点也应该是 $P_2(i, j+d)$ 点窗内的点的对应点, 由此 $P_1(i, j)$ 点与 $P_2(i, j+d)$ 点相关度 Corr_d 可以表示为:

本文把相关度 Corr_d 越大的点 $P_2(i, j+d)$ 认为是左图像中的点 $P_1(i, j)$ 的对应点, 而此时所对应的 d 认为是 $P_1(i, j)$

与对应点 $P_2(i, j + d)$ 的视差值,即:

$$D(i, j) = \arg \max_{d \in R_d} (Corr(i, j + d)) \tag{10}$$

其中 $R_d = \{d_{\min}, d_{\min+1}, \cdots, d_{\max}\}$ 表示预定的视差搜索范围。

4 实验结果及分析

为了验证上述思想,本文采用了 Middlebury 网站上提供

的 4 幅立体像对 Tsukuba、Venus、Teddy 和 Cones 进行立体图像匹配,并和标准视差图进行了比较,图 2(a)为 Middlebury 网站提供的标准视差图,图 2(b)为本文方法得到的视差图。

图 2(b)的视差图在 Middlebury 网站评测出的非遮挡区域错误率(nonocc)、总体错误率(all)和视差不连续区域错误率数据(disc)如表 1 所示。

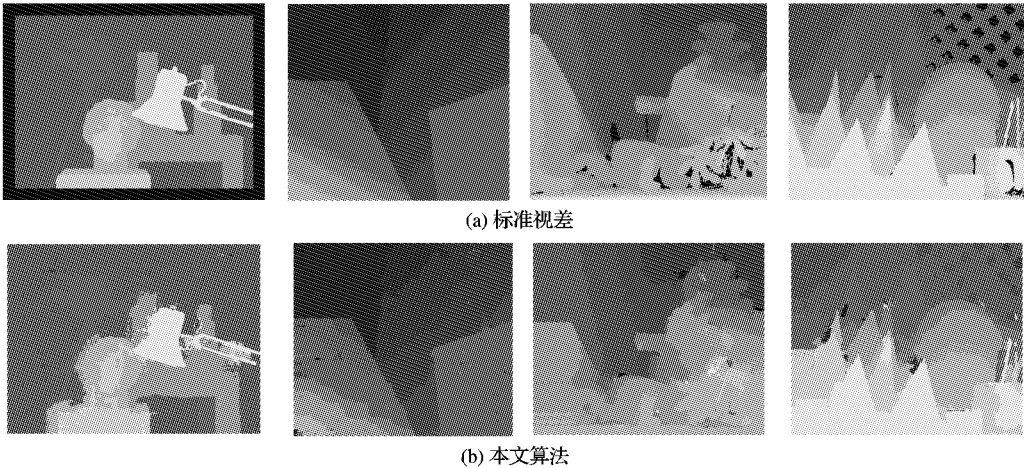


图 2 标准视差图和本文算法匹配图

表 1 算法相对于标准视差图错误率 %			
标准视差图	nonocc	all	disc
Tsukuba	6.54	8.18	23.0
Venus	3.40	3.81	17.1
Teddy	15.50	23.40	30.6
Cones	6.41	13.10	16.0

从表 1 可以看到,场景相对简单的 Tsukuba 和 Venus 的在无遮挡区域和总体的误匹配率都比较理想,而场景更加复杂的 Teddy 和 Cones 的匹配精度相对较低。对于 Teddy 图像,本文方法的匹配效果并不理想,这是因为 Teddy 图像中存在

大量的无纹理和重复纹理区域,比如图中紫色小熊周围的区域,在这种情况下,本文算法的辨别力下降从而导致错误的匹配结果。另外,当有大面积的无纹理区域存在时,本文方法可能会因为使用的窗口较小而产生匹配错误,可以通过适当增大窗口面积来解决。四幅图像在视差不连续区域的匹配精度并不理想,这是因为在匹配过程中,固定窗口跨越了视差不连续区域,可适当的增大窗口面积来提高匹配精度。

为了更好说明本文算法在立体图像匹配中的性能,图 3(a)、图 3(b)、图 3(c)分别是采用 SAD、SSD、NCC 三种算法对 Tsukuba、Venus 的匹配结果^[10],图 3(d)是本文方法对 Tsukuba、Venus 的匹配结果。

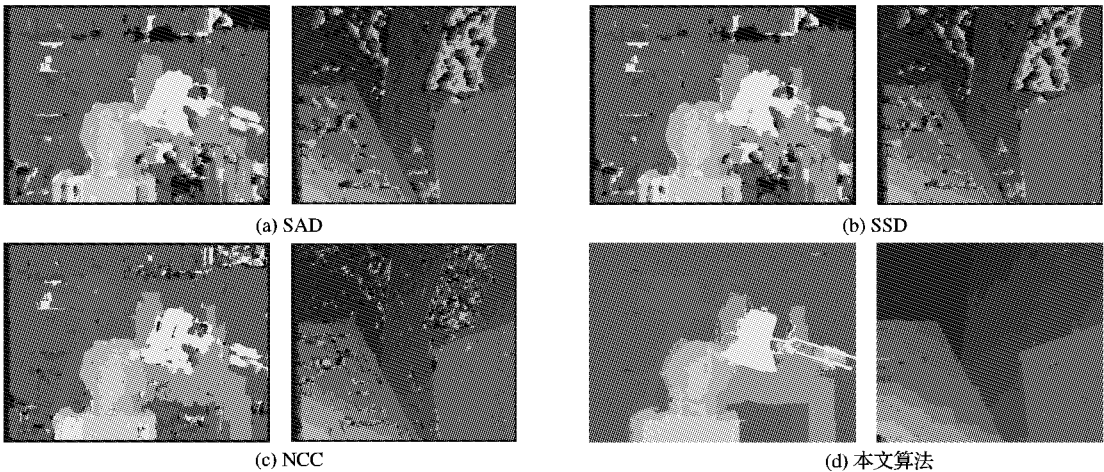


图 3 4 种算法的匹配结果

表 2 显示了 4 种算法对于不同图像的匹配精度。

表 2 4 种算法的匹配精度比较 %				
标准视差图	SAD	SSD	NCC	本文方法
Tsukuba	89.2	88.4	87.7	91.82
Venus	74.6	75.4	74.8	96.19

从表 2 可以看出,本文方法匹配精度均比其他 3 种方法好,其中 Venus 的匹配精度远远高于其他三种方法,匹配精度

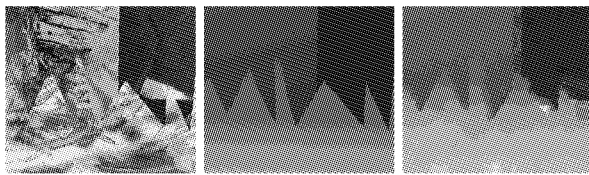
达到了 96%。更多的测试结果如图 4,所用的测试图像为 Sawtooth。

图 5 为标准视差图与本文算法的差异图,白色区域为匹配正确区域。

5 结语

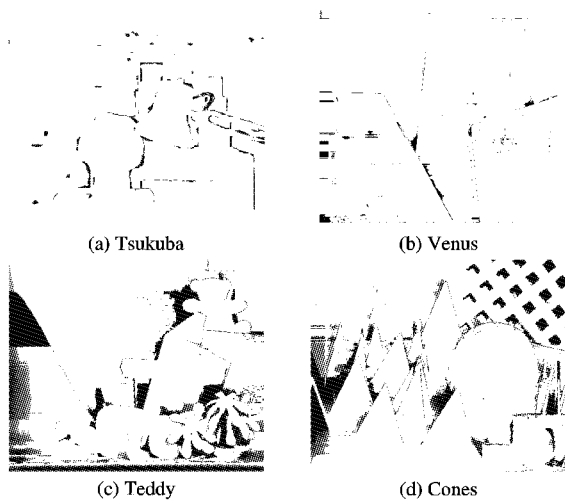
本文结合自适应权值和色彩相似性进行立体图像匹配。在获取权值矩阵时,考虑到匹配窗可能会跨越视差不连续区

域,造成匹配精度的降低,因此利用了边界点来降低对应点在匹配过程中的权值。最后用本文的方法对 5 个测试图像集 Cones、Tsukuba、Teddy、Venus 和 Sawtooth。分别进行立体匹配计算,总体正确率分别达到了 91.82%、96.19%、76.6% 和 86.9%,经实验验证表明,本文方法具有一定的实用价值,能得到比较理想的立体图像对的视差图。



(a) 立体图像左图像 (b) 标准视差图 (c) 本文结果

图 4 Sawtooth 像对匹配结果



(c) Teddy (d) Cones

图 5 Tsukuba、Venus、Teddy 和 Cones 差异图

参考文献:

- [1] BROWN M Z, BURCHKA D, HAGER G D. Advances in computational stereo[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(8): 993–1008.
- [2] VEKSLER O. Fast variable window for stereo correspondence using integral images[C]// 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: IEEE, 2003, 1: 556–561.
- [3] ROJAS A, CALVO A, MUNOZ J. A dense disparity map of stereo images[J]. Pattern Recognition Letters, 1997, 18(4): 385–393.
- [4] BHAT D N, NAYAR S K. Ordinal measures for image correspondence[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(4): 415–423.
- [5] BIGONE F, HENRICSSON O, FUA P, *et al.* Automatic extraction of generic house roofs from high resolution aerial imagery[C]// Proceedings of the 4th European Conference on Computer Vision. London: Springer-Verlag, 1996: 85–96.
- [6] VENKATESWAR V, CHELLAPPA R. Hierarchical stereo and motion correspondence using feature groupings[J]. International Journal of Computer Vision, 1995, 15(3): 245–269.
- [7] BIRCHFIELD S, TOMASI C. Multiway cut for stereo and motion with slanted surfaces[C]// Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision. Piscataway: IEEE, 1999: 489–495.
- [8] 徐彦君, 杜利民, 侯自强. 基于相位的尺度自适应立体匹配方法[J]. 电子学报, 1999, 27(7): 38–41.
- [9] KLUTH V S, KUNKEL G W, RAUHALA U A. Global least squares matching[C]// Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Piscataway: IEEE, 1992: 1615–1618.
- [10] 顾征. 计算机视觉中的图像匹配技术研究[D]. 成都: 四川大学, 2008.
- [11] 刘效勇, 李大海, 王琼华. 彩色图像对自适应匹配算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(1): 163–166.
- [12] YOON K J, KWEON I S. Adaptive support-weight approach for correspondence search[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(4): 650–656.
- [1] WANG ZHOU, SHANG XINLI. Spatial pooling strategies for perceptual image quality assessment[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway: IEEE, 2006: 2945–2948.
- [2] WANG ZHOU, BOVIK A C, SHEIKH H R, *et al.* Image quality assessment: from error measurement to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600–612.
- [3] WANG ZHOU, SIMONCELLI E P, BOVIK A C. Multi-scale structural similarity for image quality assessment[C]// Proceedings of IEEE Conference on Signals, Systems and Computers. Piscataway: IEEE, 2003: 1398–1402.
- [4] SHEIKH H R, BOVIK A C, de VECIANA G. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2117–2128.
- [5] MOORTHY A K, BOVIK A C. Visual importance pooling for image quality assessment[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2009, 3(2): 193–201.
- [6] LARSON E C, CUONG V U, CHANDLER D M. Can visual fixation patterns improve image fidelity assessment?[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. New York: IEEE, 2008: 2572–2575.
- [7] ENGELKE U, NGUYEN V X, ZEPENICK H J. Regional attention to structural degradations for perceptual image quality metric design[C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. New York: IEEE, 2008: 869–872.
- [8] WANG ZHOU, LI QIANG. Information Content weighting for perceptual image quality assessment[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(5): 1185–1198.
- [9] TREISMAN A, GELADE G. A feature-integration theory of attention[J]. Cognitive Psychology, 1980, 12(1): 97–136.
- [10] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91–110.
- [11] LARSON E C, CHANDLER D M. Unveiling relationships between regions of interest and image fidelity metrics[C]// Conference on Visual Communications and Image Processing. Boston: SPIE, 2008, 6822: 6822A1–6822A16.
- [12] SHEIKH H R, WANG Z, BOVIK A C. LIVE image quality assessment database release2[EB/OL]. [2011-05-10]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/>.
- [13] Video Quality Experts Group. Final report from the video quality experts group on the validation of objective models of video quality assessment[EB/OL]. [2011-08-08]. <http://www.itu.int/md/T01-SC09-C-0060/en>.

(上接第 3372 页)

参考文献: