

内容感知的双视点立体图像缩放

阎维青, 侯春萍, 周 圆

(天津大学 电子信息学院, 300072 天津)

摘 要: 为适应不同立体显示终端多样化尺寸的需求,需要对某些尺寸一定的立体图像进行缩放调整. 对于双视点的立体图像而言,需要考虑左右两视点的一致性问题,以及视差大小的问题. 为此,将视差和匹配引入立体图像的尺寸调整,提出了一种基于 Seam Carving 的立体图像缩放算法. 该算法在选择左视点缝隙时将匹配算法和视差融入其中,在缝隙的选择方面,通过提出新的能量函数做出更精确的选择,从而在调整图像大小的同时,达到了保持图像内容,调整视差大小的目的,并且保证了左右视点缝隙的一致性.

关键词: 双目立体图像;重新定位;缝隙调整;视差控制

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2013)09-0117-05

Binocular stereo images retargeting based on content-aware

YAN Weiqing, HOU Chunping, ZHOU Yuan

(College of Electronic and Information Engineering, Tianjin University, 300072 Tianjin)

Abstract: As far as the stereo images, the matching between the left and right image and the disparity should be considered, and the matching and the resizing of disparity are fused on the retargeting of the stereo images. A resizing method by using stereo extension of seam carving is proposed, which can keep the image content more precise during adjusting the size of the image, adjust the size of disparity, and ensure the consistency between the left and right images.

Key words: binocular stereo image; retargeting; seam caring; disparity control

随着立体显示终端的发展,人们开始使用便携式并带有立体显示功能的数字化终端. 这些终端产品是人们相互交流、分享和交换信息不可或缺的重要工具. 由于立体显示终端种类繁多,宽/高比规格不一,若将宽/高比一定的图像放在宽/高比不同的立体终端上显示,就必须先对图像尺寸进行调整,以达到立体显示的效果. 传统的图像缩放的方法是通过裁剪或者是按固定比例进行缩放,这样做可能会出现图像中的内容减少或者导致显著物体变形. 对于立体图像而言,沿水平或垂直方向的拉伸或缩小处理会严重地影响立体效果,导致双目视差的变化,引起场景深度的失真,然而若调整后的视差过大,则会使观看者产生不舒适感觉,甚至无法将立体图像在大脑中融和成单一的图像^[1-2];若视差过小,则会影响立体效果的再现,严重时甚至使立体效果完全丧失.

近几年,平面图像的 Retargeting 有了很大的发展. 2007 年, A. Shai 等^[3] 提出了 Seam Carving 算法. 这种算法是一种基于内容的平面图像调整算法,通过增加或者是减少缝隙 (Seam) 来调整图像的大小. 同时利用动态规划的方法找到全局最小的缝隙,然后根据需要,删除或者增加这些缝隙,从而达到基于内容调整图像大小的目的. 文献 [4] 对 Seam Carving 的算法进行了改进,在 LAB 颜色空间定义新的能量代替了文献 [3] 中定义的梯度能量,从而减少了可感知的图像变形,突出了显著性内容.

收稿日期: 2012-07-13.

基金项目: 国家高技术研究发展计划重大资助项目 (2012AA03A301); 国家自然科学基金重点资助项目 (60932007); 国家自然科学基金资助项目 (61201179); 教育部博士点基金资助项目 (20110032110029); 天津市科技支撑计划资助项目 (11ZCKFGX02000).

作者简介: 阎维青 (1988—), 女, 博士研究生;
侯春萍 (1957—), 女, 教授, 博士生导师.

通信作者: 周 圆, zhoyuan@tju.edu.cn.

由于双视点的立体图像中含有双目视差,视差的变化会对观看者的舒适感带来影响.因此,若将 Seam Carving 算法直接应用于双视点立体图像对的尺寸变换,则面临着双视点图像之间缝隙一致性的问题.文献[5]提出了立体图像的 Seam Carving 方法,该方法是基于视差图来解决双视点图像之间缝隙一致性的问题,通过定义新的能量函数,找出左右两视点的最优缝隙进行处理.然而该方法是对预先匹配好的立体图像对进行处理,并不能用于没有进行匹配的立体图像对.对于双视点立体图像的 Retargeting 要考虑两个问题:1)在图像缩放的同时保持左右视点缝隙的一致性问题即左右两视点缝隙是否匹配问题^[6-9],否则 Retargeting 后的立体图像对将不能在大脑中融合成单一图像;2)在图像缩放的过程中要控制视差大小^[10-11],否则将没有立体效果或者导致观看者产生不舒适感.为此,本文提出了一种内容感知的双视点立体图像的缩放算法,该算法基于 Seam Carving,保留了图像的显著性内容,并且在缝隙的选择方面将匹配算法和视差控制融入其中,从而解决了上述提出的问题,保证了图像的一致性,同时保证立体视差处在正常的观看范围.

1 Seam Carving

Seam Carving 算法的基本思想是通过图像中能量低的缝进行删除或者增加来达到调整图像的目的.

将能量定义为 sobel 梯度的一阶范数为

$$E_{\text{grad}}(x, y) = \left| \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \right|.$$

式中: x 为图像的行所在的位置; y 为图像的列所在的位置; I 为图像的灰度图; $E_{\text{grad}}(x, y)$ 为图像在 (x, y) 位置的梯度大小,即定义的能量.

将垂直/水平缝隙 (vertical/horizontal seam) 定义为能量低的像素从图像的顶部(左边)到底部(右边)的连接路径,以八邻域内能量最低的一个像素作为缝在这一行中选取的点.利用动态规划,可以找到一个垂直(水平)的最优缝隙,首先,从图像的第1行到最后一行,计算每一个可能连接的缝隙的最小的累积能量 $M(x, y)$,即

$$M(x, y) = E_{\text{grad}}(x, y) + \min \begin{cases} M(x-1, y-1), \\ M(x-1, y), \\ M(x-1, y+1). \end{cases}$$

以累积能量 $M(x, y)$ 最小的路径为最优缝隙路径,全局最小的垂直缝隙是 M 中最后一行到第1行最小的能量.水平缝隙选取也是如此.

在删除或者插入缝后,由于缝隙相邻的八邻域内像素发生了变化,所以能量可能变大,为了消除这种影响,R. Michael 等^[12]提出了前向能量的方法.设3个变量 $C_{\text{VL}}(x, y)$ 、 $C_{\text{VU}}(x, y)$ 和 $C_{\text{VR}}(x, y)$ 为

$$\begin{aligned} C_{\text{VL}}(x, y) &= |I(x-1, y) - I(x, y-1)| + C_{\text{VU}}(x, y), \\ C_{\text{VU}}(x, y) &= |I(x, y+1) - I(x, y-1)|, \\ C_{\text{VR}}(x, y) &= |I(x-1, y) - I(x, y+1)| + C_{\text{VU}}(x, y). \end{aligned}$$

对于一条垂直缝隙,累积能量 $M(x, y)$ 被下列函数代替

$$M(x, y) = E_{\text{grad}}(x, y) + \min \begin{cases} M(x-1, y-1) + C_{\text{VL}}(x, y), \\ M(x-1, y) + C_{\text{VU}}(x, y), \\ M(x-1, y+1) + C_{\text{VR}}(x, y). \end{cases}$$

设3个变量 $C_{\text{LL}}(x, y)$ 、 $C_{\text{LU}}(x, y)$ 和 $C_{\text{LR}}(x, y)$ 为

$$C_{\text{LL}}(x, y) = |I(x, y-1) - I(x-1, y)| + C_{\text{LU}}(x, y), \quad (1)$$

$$C_{\text{LU}}(x, y) = |I(x-1, y) - I(x+1, y)|, \quad (2)$$

$$C_{\text{LR}}(x, y) = |I(x, y-1) - I(x+1, y)| + C_{\text{LU}}(x, y). \quad (3)$$

相应的,水平缝隙的能量函数可表示为

$$M(x, y) = E_{\text{grad}}(x, y) + \min \begin{cases} M(x-1, y-1) + C_{\text{LL}}(x, y), \\ M(x, y-1) + C_{\text{LU}}(x, y), \\ M(x+1, y-1) + C_{\text{LR}}(x, y). \end{cases} \quad (4)$$

2 Seam Carving 和视差匹配的立体图像 Re-targeting 算法

就立体图像而言,不能仅仅考虑对变化不明显的缝隙进行处理,还要考虑左、右两视点之间的一致性关系.这种关系包括确定的和非确定的两种:1)确定的对应关系是指左视点中的点在右视点中有确定的点与之匹配;2)不确定的对应关系是指左视点中的点在右视点中没有点与之对应,这一般是由遮挡引起的.

如果仅把 Seam Carving 的方法直接分别应用于左、右视点,或者在左视点上进行缝隙调整,然后在右视点上相应的位置做出同样的缝隙调整,这两种方法都没有考虑视差和匹配的问题,会导致立体效果的减弱或者导致无法融像.为解决上述问题,本文把匹配算法融入缝隙所定义的能量函数,并结合能量函数删除不匹配的点和图像内容变化不明显的点.

2.1 新的能量函数

由于双目立体视觉是基于水平视差,因此在匹配算法中也只考虑同一水平线上的像素匹配.

为了找到左视点中的某一点在右视点中的匹配点,仿照 SSD 算法定义融合了匹配算法的能量函数为

$$E_{\text{match}}(x, y) = \min_{d \in D} \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n |g_L(x+i, y+j) - g_R(x+i, y+d+j)| + |I_{\text{Lgrad}}(x+i, y+j) - I_{\text{Rgrad}}(x+i, y+d+j)|.$$

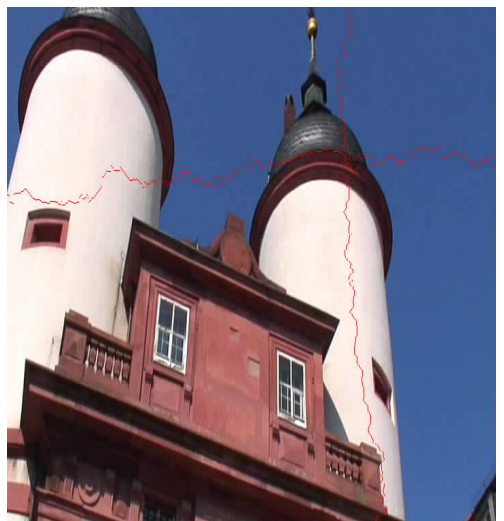
式中: E_{match} 为匹配的能量函数; g_L, g_R 分别为左、右视点的灰度图; $I_{\text{Lgrad}}, I_{\text{Rgrad}}$ 分别为左、右视点的 sobel 梯度图; n 为矩形窗尺寸的大小; d 为视差; D 为视差的取值范围. 通过上述的匹配算法,既可以在右视点中找到左视点中的对应点,又可以对选择的缝隙进行约束.

从而,适应立体图像 Seam Carving 的新的能量函数可以表示为

$$E(x, y) = E_{\text{grad}}(x, y) + \frac{1}{E_{\text{match}}(x, y) + \varepsilon}. \quad (5)$$



(a) 左视点的垂直和水平最优缝隙



(b) 右视点的垂直和水平对应缝隙

图1 左、右视点的垂直和水平缝隙

3 视差的调整

基于两视点的立体图像的调整大小,视差大小尤为重要,视差太小没有立体效果,但是视差过大又会令观测者产生不舒适感,所以在调整尺寸的过程中,必须保持视差在一定的范围内.

基于上述思想,在匹配的过程中,将视差 d 限制在一定的范围 $d_{\min} \leq d(i, j) \leq d_{\max}$ 内. 在计算 $M(x, y)$ 时,首先判断 $M(x-1, y-1)$ 、 $M(x-1, y)$ 和 $M(x-1, y+1)$ 这3个像素位置的视差 $d(x-1, y-1)$ 、 $d(x-1, y)$ 和 $d(x-1, y+1)$ 是否在允许的视差范围内. 如果该像素的视差 d 在这个范

式中 ε 为任意小的数,保证分母不为零.

2.2 双视点立体图像的最优缝隙的确定

用式(5)代替式(4)中的 $E_{\text{grad}}(x, y)$,可得到新的累积能量公式为

$$M(x, y) = E_{\text{grad}}(x, y) + \frac{1}{E_{\text{match}}(x, y) + \varepsilon} + \min \begin{cases} M(x-1, y-1) + C_{\text{VL}}(x, y), \\ M(x-1, y) + C_{\text{VU}}(x, y), \\ M(x-1, y+1) + C_{\text{VR}}(x, y). \end{cases} \quad (6)$$

根据式(6),可确定左视点的垂直最优缝隙. 由于左视点的垂直最优缝隙是由 E_{match} 和 E_{grad} 共同确定,而 E_{match} 中包含左视点最优缝隙的每个像素在右视点中对应像素的位置信息,所以可以得到右视点的对应缝隙.

左、右视点对应的最优缝隙如图1所示.

围内,按照式(6)继续计算能量. 当某一像素的视差 d 超出了这个范围,则应把该像素所在位置的 M 值设为0,这样可以保证删除的点是超过视差范围的点. 不妨设视差超出范围的像素的位置为 $(x-1, y-1)$,此时就令 $M(x-1, y-1) = 0$. 此时累积能量公式为

$$M(x, y) = E_{\text{grad}}(x, y) + \frac{1}{E_{\text{match}}(x, y) + \varepsilon} + \min \begin{cases} C_{\text{VL}}(x, y), \\ M(x-1, y) + C_{\text{VU}}(x, y), \\ M(x-1, y+1) + C_{\text{VR}}(x, y). \end{cases}$$

4 结果与分析

首先在左视点上根据提出的算法在垂直方向上找出一条最优缝隙,在垂直方向上做出调整,根据需要再重复找出多条最优缝隙,最终达到所需的尺寸. 根据匹配算法在右视点中找到相应的缝,右视点同样做出调整. 然后在左视点中根据提出的算法在水平方向上找出最优缝,在水平方向上做出调整,同样可以得到右视点中相应的最优缝,做出调整.

图 2 中原图像的大小为 576×720 , 调整后的图像大小为 496×620 .



图 2 图像的实验结果

图 3 中原图像的大小为 768×781 , 调整后的图像大小为 768×681 .

将应用 3 种方法处理后的图像放到两视点立体显示屏上进行主观评价,依据 ITU (2002) 电视图像质量主观评价推荐准则^[13],评价后的结果如图 4 所示.

主观评价值的最后均值分别为本文算法得分 3.96,文献[5]得分为 3,按比例缩放得分为 3.5. 在图 3 中的(c)、(d)和(e) 的图像大小相同,但是可以看出本文提出的 Retargeting 算法和按比例压缩

的方法以及文献[5]中提出的算法相比,图 4 中的主体内容失真更小,能够更加突出主体内容,具有更好的显示效果,且能够保持良好的立体感.



图 3 图像的实验结果

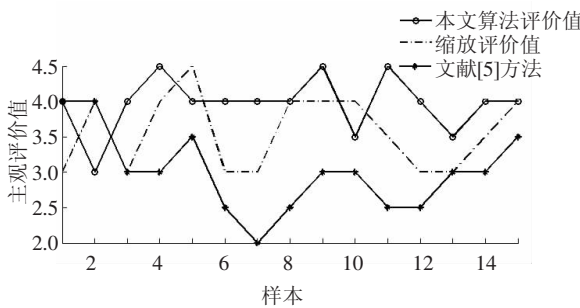


图 4 3 种方法立体感饱和度评价

5 结 论

1)将匹配的算法融入到缝隙调整算法中,将匹配与图像调整同时进行,保持左、右视点删除或者是保留缝隙对应一致性。

2)在缝隙的选择方面,通过提出新的能量函数,从而做出更精确的选择,可以在视差范围内选择要删除或者是增加的缝隙,以维持视差在正常观看范围。

3)实验结果表明,本文提出的基于视差和内容匹配立体图像 Retargeting 算法具有更好的显示效果,并保证了双目立体图像的一致性。

参考文献

- [1] LAMBOOIJ M, FORTUIN M, IJSSELSTEIJN W A, *et al.* Measuring visual discomfort associated with 3D displays[J]. *Journal of Society of Information Displays*, 2010, 18(11): 931–943.
- [2] MARC L, MARTEN F, INGRID H, *et al.* Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review [J]. *Journal of Imaging Science and Technology*, 2009, 53(3):30201–(1–14).
- [3] AVIDAN S, SHAMIR A. Seam carving for content-aware image resizing [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2007, 26(3):1–9.
- [4] ACHANTA R, SUSSTRUNK S. Saliency detection for content-aware image resizing [C]//*Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009:1001–1004.
- [5] UTSUGI K, SHIBAHARA T, KOIKE T, *et al.* Seam carving for stereo images [C]//*3DTV-Conference: The True Vision-capture, Transmission and Display of 3D Video(3DTV-CON)*. Washington, DC: IEEE, 2010: 1–4.
- [6] 尹传历, 刘冬梅, 宋建中. 改进的基于图像分割的立体匹配算法[J]. *计算机辅助设计与图形学*, 2008, 20(6):808–812.
- [7] 王华, 丛建亭, 侯相深, 等. 畸变图像的有效配准算法 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2010, 42(4):597–601.
- [8] 白明, 庄严, 王伟. 双目立体匹配算法的研究与进展 [J]. *控制与决策*, 2008, 23(12):721–729.
- [9] 王磊, 张钧萍, 张晔. 基于特征的图像与光学图像自动配准[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2005, 37(1): 22–25.
- [10] BEN-ARI R, SOCHEN N. Stereo matching with mumford-shah regularization and occlusion handling [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32(11):2071–2084.
- [11] JANG Woo-Seok, HO Yo-Sung. Efficient disparity map estimation using occlusion handling for various 3D multimedia applications [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2011, 57(4):1937–1943.
- [12] RUBINSTEIN M, SHAMIR A, AVIDAN S. Improved seam carving for video retargeting [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2008, 27(3):1–9.
- [13] ITU. ITU BT. 500–11. Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Picture [S], 2002.

(编辑 张 红)