

## 基于区域分割与融合的全景稳像算法

尹丽华<sup>1,2,3</sup>, 李范鸣<sup>1</sup>, 刘士建<sup>1</sup>

- (1. 中国科学院上海技术物理研究所 中国科学院红外探测与成像技术重点实验室, 上海 200083;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 上海科技大学, 上海 200031)

**摘要:** 车载红外全景扫描成像系统具有每列单独成像、360°全方位视场覆盖的特点, 从而导致传统的电子稳像算法无法直接适用, 因此, 提出一种基于区域分割与融合的全景稳像算法。首先, 通过局部列偏移调整方法对图像预补偿。接着, 以车头前进方向为基准, 对全景图像进行区域分割, 即前端、右端、后端、左端区域。然后, 根据各区域的成像特点, 选择不同的稳像模型进行稳像, 其中, 运动估计环节采用滑窗策略缩短运算时间, 运动补偿环节采用未定义区重构方法弥补边界缺失信息。最后, 利用局部区域扩展、渐入渐出加权平均融合方式对重叠区域进行区域拼接、融合, 保证全景图像无缝拼接。实验结果表明: 该算法有效解决了车体行进过程中红外全景扫描系统的稳像问题, 稳像关键指标——帧间峰值信噪比(PSNR)可以提高 14.7%, 运行时间可缩短为传统算法的 1/10, 基本满足了工程应用的需求。

**关键词:** 全景扫描成像; 电子稳像; 分割; 融合; 帧间峰值信噪比

**中图分类号:** TP391.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201847.0926004

## Panoramic image stabilization algorithm based on region segmentation and fusion

Yin Lihua<sup>1,2,3</sup>, Li Fanming<sup>1</sup>, Liu Shijian<sup>1</sup>

- (1. CAS Key Laboratory of Infrared System Detection and Imaging Technology, Shanghai Institute of Technical Physics of the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. ShanghaiTech University, Shanghai 200031, China)

**Abstract:** Vehicle infrared panoramic scanning imaging system has the characteristics of column single imaging and 360° full field view, which result in that traditional electronic image stabilization methods could not be directly applied, therefore, the panoramic image stabilization algorithm based on region segmentation and fusion was proposed. First, the image pre-compensation was completed by local column offset adjustment method. Then the panoramic image was divided by the area, i.e., the front region, the right region, the end region and the left region, based on vehicle forward direction. Then each region used different image stabilization models for stabilization according to imaging characteristics, and the

收稿日期: 2018-04-21; 修订日期: 2018-05-30

基金项目: 国家 863 计划(2011AA7031002G); 中国科学院上海技术物理研究所创新基金(CX-122)

作者简介: 尹丽华(1988-), 女, 博士生, 主要从事数字图像处理、模式识别、视频稳像等方面的研究。Email: yinlihua\_1122@126.com

导师简介: 李范鸣(1969-), 男, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事红外光电系统工程即信息与图像处理技术等方面研究。

Email: lfmjws@163.com

sliding window strategy was used to shorten the computation time in motion estimation process, the undefined area reconstruction method was used to compensate for missing information in motion compensation process as well. Finally, the local area expansion strategy and the progressive fade-weighted average fusion strategy were adopted to complete the region's splicing and fusion, resulting in the seamless splicing effect of panoramic images. Experimental results indicate that the proposed method which can meet the requirements of engineering applications can effectively solve image stabilization problems of the system in the course of the vehicle moving forward, the precision of Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) is increased by 14.7% compared with the original image sequence, running time is reduced to the 1/10 of traditional algorithms.

**Key words:** panoramic scanning imaging; electronic image stabilization; segmentation; fusion; PSNR

## 0 引言

车载红外全景扫描成像系统<sup>[1]</sup>采用 4N 系列的线列探测器,能实现全方位的覆盖,具有目标识别、跟踪功能。车体行进过程中的颠簸和振动会导致采集的图像序列间有抖动,影响后续目标识别、跟踪,所以需要通过稳像技术消除。稳像技术经历了机械、光学、电子稳像<sup>[2]</sup>,电子稳像技术以体积小、质量轻、成本低的优势成为目前的主要发展趋势。

目前,关于全景图像的稳像处理方法研究仍是重点和难点。经典的电子稳像方法主要有:光流法<sup>[3-4]</sup>、投影算法<sup>[5-6]</sup>、块匹配算法<sup>[7]</sup>、特征点匹配算法<sup>[8]</sup>、位平面匹配算法<sup>[9]</sup>、相位匹配算法<sup>[10]</sup>。舰载成像系统的电子稳像主要采用基于海天线的稳像算法<sup>[11]</sup>,该方法基于明显的海天线特征,仍具有一定的局限性。对于基于车载折射全景侦察系统的稳像,马子领等<sup>[12]</sup>提出对展开的全景图进行运动估计和补偿的电子稳像方法,缺点是整帧图像采用了同一组运动参数,稳像补偿的误差较大。裁剪法、预留黑框法、拼接法<sup>[13]</sup>是处理稳像后边界缺失的常用方法,Matsushita Y 等<sup>[14]</sup>提出了光流法补偿稳像后图像未定区的缺失像素,但是该方法复杂度较高,不利于实时处理。

红外全景扫描成像系统成像特点为:(1)每次仅成像一列,单帧图像中的列与列之间的抖动情况有差异;(2)360°全方位视场覆盖,在车体发生随机运动时,系统视场各部分随之变化,且变化方向、大小不一致。上述特点导致传统的电子稳像方法无法直

接适用,因此文中提出一种基于区域分割与融合的全景稳像算法,对于无稳台的成像系统仍能实现车载平台运动中的稳像。

## 1 基于区域分割与融合的全景稳像算法

从区域分割的层面实现了全景视场到小视场的拆分;从区域融合的层面实现了小视场区域间的无缝拼接、融合。

首先,分析全景图像列与列之间的抖动差异,通过局部列偏移调整方法进行图像预补偿。接着,以车头前进方向为准,对全景图像进行区域分割。

然后,依据各区域的成像特点进行局部区域稳像,采用滑窗策略提高运动估计的实时性、未定区重构方法弥补边界的缺失像素。

最后,利用固定窗口扩展局部区域获得重叠区域,并采用渐近渐出加权平均融合方法对重叠区域进行区域拼接、融合,保证拼接的平滑过度。

文中算法的流程图如图 1 所示。

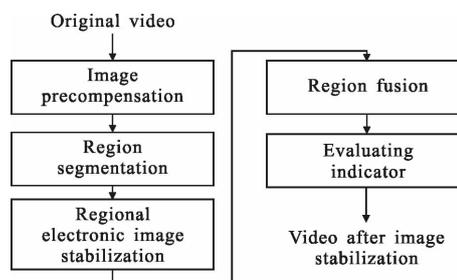


图 1 文中算法的流程图

Fig.1 Flow chart of the proposed algorithm

### 1.1 预补偿:局部列偏移调整

全景图像列与列之间的俯仰码值存在差异,反映在图像上就是像素点在垂直方向的位置差异,如果不进行预补偿,列偏移的误差会影响后续运动估计的精度,而运动估计精度是决定电子稳像精度的关键因素,所以需要进行预补偿。

同一帧图像中的俯仰角值差异示意图如图 2 所示,其中,俯仰角值与俯仰码值相对应。

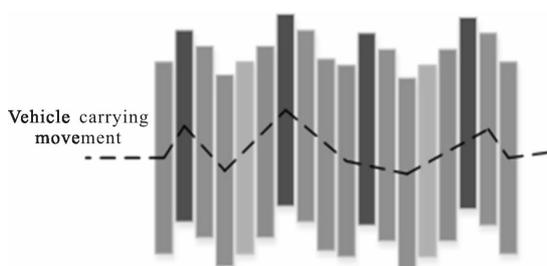


图 2 全景图像的俯仰角值差异示意图

Fig.2 Schematic diagram of panoramic image pitch angle difference

局部列偏移预补偿过程如下。

(1) 对相邻列的俯仰角值作差,并取绝对值:

$$\varepsilon(i)=|Pit(i)-Pit(i-1)|, 2 \leq i \leq c \quad (1)$$

式中:当  $i=1$  时,  $\varepsilon(1)=0$ ;  $Pit(i)$  为第  $i$  列的俯仰角值;  $\varepsilon(i)$  为第  $i$  列与第  $i-1$  列间的俯仰角绝对差;  $c$  为全景图像的总列数。

(2) 计算第  $ref$  列与第  $i$  列之间的绝对差值累加和  $sum$ , 计算公式如下:

$$sum = \sum_{j=ref}^i \varepsilon(j) \quad (2)$$

式中:  $ref$  表示基准列, 初始  $ref=1$ 。判断  $sum$  值与阈值  $Th$  之间是否满足如下的关系式:

$$sum > Th \quad (3)$$

确定是否需要更新  $ref$  的值。如果公式(3)满足, 则重新更新  $ref=i$ , 否则, 以  $Pit(ref)$  为基准计算第  $i$  列的偏移补偿量  $offset(i)$ , 即

$$offset(i) = \left[ \frac{r}{w} \cdot (Pit(i) - Pit(ref)) \right] \quad (4)$$

阈值  $Th$  选取原则为:  $Th=r \cdot u/w$ ,  $w$  为俯仰方向的视场总范围,  $r$  为全景图像对应的总行数,  $u$  为允许的最大像素偏移量(一般  $1 \leq u \leq 3$ ), 默认值为 1。

(3) 根据  $offset(i)$  值对全景图像每列的像素位置进行补偿。如果  $offset(i) > 0$ , 则第  $i$  列的像素位置向

上调整  $|offset(i)|$ , 否则向下调整  $offset(i)$ 。

该预补偿方法适用于全景图像中列与列间的抖动差异较小的情况, 对于列与列间抖动差异较大的情况, 结合平台惯导信息来实现图像的初步校正, 消除列与列间的抖动差异, 具体参见参考文献[15]。

### 1.2 区域分割

所谓区域分割, 是在车行进中没有发生大幅度拐弯( $<15^\circ$ )的前提下, 以车前进方向为准, 将全景视场进行拆分。采集图像前需要进行初始校正, 保证零点方位对应车头的方向。

区域分割法的示意图如图 3 所示。

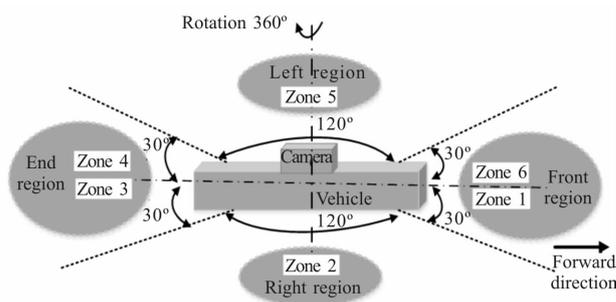


图 3 区域分割法示意图

Fig.3 Schematic diagram of region segmentation method

区域分割法的过程为: 首先以  $0^\circ$  方位为起点将全景图像展开, 对应分区编号为 1~6; 然后进行各分区归并, 其中分区 1、6 属于前端区域, 分区 2 属于右端区域, 分区 3、4 属于后端区域, 分区 5 属于左端区域。假设第  $i(i=1 \sim 6)$  分区的起始列、末尾列在全景图像中的位置分别为  $cb(i)$ 、 $ce(i)$ ,  $f$  为全景图像的像素数据, 共有  $r$  行  $c$  列, 则各区域分割结果如下:

$$\text{前端区域 part 1} = [f(:, cb(6):c), f(:, cb(1):ce(1))]$$

$$\text{右端区域 part 2} = [f(:, cb(2):ce(2))]$$

$$\text{后端区域 part 3} = [f(:, cb(3):ce(3)), f(:, cb(4):ce(4))]$$

$$\text{左端区域 part 4} = [f(:, cb(5):ce(5))]$$

### 1.3 区域稳像

各区域的成像特点存在差异, 要选取对应的稳像模型, 前、后端的稳像模型一致, 左、右端的稳像模型一致。电子稳像一般流程为: 预处理、前景/背景分割、运动估计、滤波、补偿、未定义区重构。稳像模型的主要区别是在运动滤波、运动补偿环节, 各区域的稳像流程如图 4 所示。

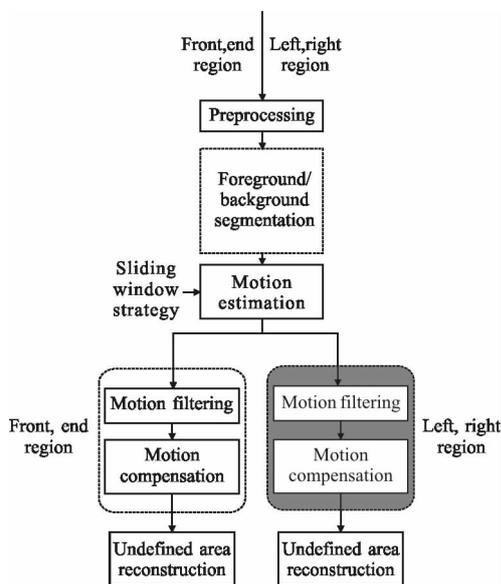


图 4 各区域的电子稳像流程图

Fig.4 Flow chart of each region's electronic stabilization

文中图像运动模型采用了相似模型，相似模型能有效描述摄像机的平移、旋转和变焦运动，具体变换公式如下：

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} = s_k \cdot \begin{bmatrix} \cos\alpha_k & -\sin\alpha_k \\ \sin\alpha_k & \cos\alpha_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x_k \\ \Delta y_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中： $[x_k; y_k]$  为当前第  $k$  帧中的特征点坐标； $[x_1; y_1]$  为参考帧中的特征点坐标； $s_k, \alpha_k$  分别为缩放尺度、旋转角度； $\Delta x_k, \Delta y_k$  分别为水平、垂直方向偏移量。

### 1.3.1 基于滑窗策略的运动估计

基于滑窗的策略可以大大降低运动估计的时间，进而提高稳像的实时性。图 5 为基于滑窗策略的运动估计方法流程图，具体过程为：

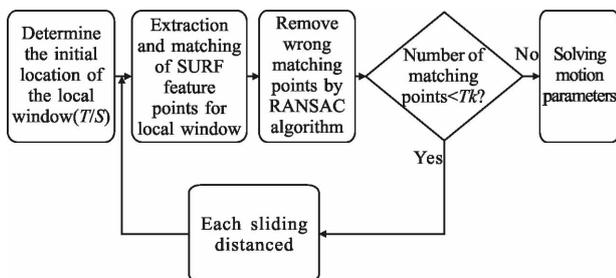


图 5 基于滑窗策略的运动估计方法流程图

Fig.5 Flow chart of motion estimation method based on sliding window strategy

(1) 确定局部窗口的初始滑动位置，在参考帧和当前帧中的局部窗口分别为  $T$  和  $S$ ；

(2) 对局部窗口  $T$  和  $S$  进行 SURF 特征点提取、匹配，通过随机抽样一致(RANSAC)去除误匹配；

(3) 判断特征点的匹配对数  $n$  是否小于阈值  $Tk$ ，如果是，则继续进行滑窗，每次滑行距离为  $d$ ，否则，利用当前局部窗口求解运动参数，并作为全局窗口的最终运动参数 $(s_k, \alpha_k, \Delta x_k, \Delta y_k)$ 。阈值  $Tk = \lfloor num/3 \rfloor$ ，其中， $num$  为在参考帧、当前帧中提取的 SURF 特征点数目最小值。

### 1.3.2 运动滤波、补偿

#### (1) 左、右两端区域

对于左、右两端区域，拍摄场景位于车体两侧，车体行进过程中，图像的缩放系数  $s_k \approx 1$ ，旋转参数  $\alpha_k$  需要完全补偿，对于平移参数  $\Delta x_k, \Delta y_k$ ，造成  $x$  和  $y$  方向的全局运动原因不一样。首先利用参考文献[1]中的判断准则区分，是属于完全的随机运动还是包含有意的主动运动；然后对包含主动运动的方向进行运动滤波，分离出无意的随机运动分量，只补偿随机抖动分量。

均值滤波器就是对包含有意主动运动的方向，通过平滑滤波，降低序列的抖动程度，滤波公式为：

$$\Delta v_k^{扫描} = \frac{1}{m} (\Delta v_k + \Delta v_{k-1} + \dots + \Delta v_{k-m+1}) \quad (6)$$

式中： $m$  为滤波器的窗口大小； $\Delta v_k$  为第  $k$  帧在  $x$  或  $y$  方向的全局运动参数； $\Delta v_k^{补偿}, \Delta v_k^{扫描}$  为第  $k$  帧在  $x$  或  $y$  方向的随机抖动、扫描分量，则

$$s_k^{补偿} = 1, \alpha_k^{补偿} = \alpha_k, \Delta v_k^{补偿} = \Delta v_k - \Delta v_k^{扫描} \quad (7)$$

#### (2) 前、后两端区域

对于前、后两端区域，拍摄场景位于车体的前、后端，由于成像设备距拍摄景物距离变化而导致的图缩放变化( $s_k \neq 1$ )是有意的主动运动，不需要补偿，所以补偿时要取倒数

$$s_k^{补偿} = \frac{1}{s_k} \quad (8)$$

式中： $s_k$  为通过运动模型求取的第  $k$  帧的缩放系数，则  $\alpha_k^{补偿} = \alpha_k, \Delta v_k^{补偿} = \Delta v_k - \Delta v_k^{扫描}$ 。

#### (3) 运动补偿

利用待补偿全局运动参数进行图像变换，文中采用基于双线性插值的后向映射方式，补偿模型为：

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} = s_k^{补偿} \cdot R \cdot \begin{bmatrix} x_1' \\ y_1' \end{bmatrix} + V^{补偿} \quad (9)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\alpha_k^{\text{补偿}} & -\sin\alpha_k^{\text{补偿}} \\ \sin\alpha_k^{\text{补偿}} & \cos\alpha_k^{\text{补偿}} \end{bmatrix}, V^{\text{补偿}} = \begin{bmatrix} \Delta x_k^{\text{补偿}} \\ \Delta y_k^{\text{补偿}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中:  $[x_k; y_k]$  为当前第  $k$  帧的特征点坐标;  $[x_1'; y_1']$  为稳像后校正帧的特征点坐标。

### 1.3.3 未定义区重构

电子稳像需要经过图像变换, 容易导致稳像后的图像边界出现部分缺失, 传统处理方法为: 预留丢失区域为黑框, 但该方法视觉效果较差; 裁剪法通过扩展补偿后图像到整个屏幕, 图像分辨率会降低, 传统的未定义区重构方法如图 6 所示。

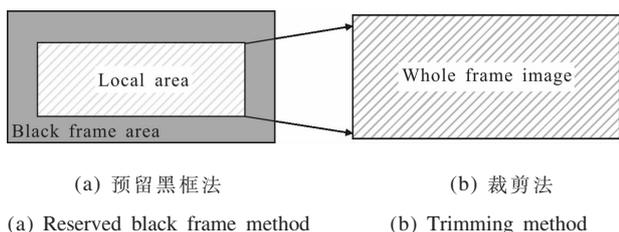


图 6 传统的未定义区重构方法

Fig.6 Traditional undefined area reconstruction methods

文中提出利用相邻帧的像素信息补偿校正帧的缺失像素, 并结合标准差公式评判相邻帧像素的有效性, 有效弥补了传统方法的劣势, 该方法对静态背景能取到很好的补偿效果。

假设当前待补偿帧为第  $t$  帧, 其相邻帧序号用  $N_t = \{j: t-k \leq j \leq t+k \cap j \neq t\}$  表示, 其中,  $k$  值一般为 3, 像素坐标位置为  $p_t = [x_t, y_t, 1]^T, t' \in N_t, T_t'$  为第  $t$  帧到第  $t'$  帧的图像坐标变换矩阵, 像素坐标位置为  $p_{t'} = [x_{t'}, y_{t'}, 1]^T, I_t(p_t)$  表示第  $t$  帧图像,  $I_{t'}(T_t' p_t)$  表示在第  $t'$  帧中有第  $t$  帧图像对应坐标的像素。

对于未定义区域的每一个像素  $p_t$ , 需要通过如下标准差计算公式评判相邻帧的像素的有效性, 即:

$$\text{std}(p_t) = \sqrt{\frac{\sum_{t' \in N_t} (I_t(T_t' p_t) - \bar{I}_t(T_t' p_t))^2}{n-1}} \quad (11)$$

式中:  $\bar{I}_t(T_t' p_t) = \frac{1}{n} \sum_{t' \in N_t} I_{t'}(T_t' p_t); n$  为有效的相邻帧数目。

根据  $\text{std}(p_t)$  与阈值  $Thresh$  的关系对  $I_t(p_t)$  进行赋值, 当  $\text{std}(p_t) < Thresh$  时, 说明相邻帧之间像素差异较小, 像素  $p_t$  属于静态背景, 则

$$I_t(p_t) = \text{mean}_{t'}(I_{t'}(T_t' p_t)) \quad (12)$$

否则, 说明相邻帧之间像素差异较大, 定义差值函数

$E_t'$ , 即

$$E_t' = \frac{1}{m} \sum_{p_t \in M_t} |I_t(p_t) - I_{t'}(T_t' p_t)| \quad (13)$$

式中:  $M_t$  表示帧  $I_{t'}(T_t' p_t)$  和  $I_t(p_t)$  的重叠像素区域;  $m$  为重叠的像素个数。利用  $E_t'$  最小时对应的帧  $t1$  进行像素  $p_t$  的替代, 即

$$I_t(p_t) = I_{t1}(T_{t1}' p_t), t1 = \arg \min(E_t') \quad (14)$$

该方法能很好补偿稳像后图像的边界缺失像素, 尤其是对静态背景区域的补偿效果最佳, 并对含局部运动物体的区域也有较好的补偿效果, 未定义区域的重构结果如图 7 所示, 图中矩形框内为边界区域的局部运动物体(即行人)。

通过图 7 可以看出, 图 7(a) 为未补偿前图像, 边界有大量缺失像素; 图 7(b) 为补偿后图像, 缺失像素区域得到很好的补偿, 并且对边界区域的行人也实现了较好的补偿效果。



图 7 未定义区的重构结果

Fig.7 Results of undefined area reconstruction

### 1.4 区域融合

四个区域完成局部稳像处理后, 要通过区域拼接、融合, 重新生成  $360^\circ$  的全景图像, 其处理难点在于如何保证无缝拼接。针对该问题采用如下两种策略: (1) 利用固定尺寸窗口扩展局部区域; (2) 渐入渐出加权平均融合方式, 区域融合策略的示意图如图 8 所示。

(1) 策略 1: 利用固定尺寸窗口扩展局部区域

图 8(a) 为局部区域扩展示意图, 如果直接对前、右、后、左端区域进行拼接, 而各区域之间无重叠, 导致拼接的狭缝会比较明显。利用尺寸为  $r \times \Delta c$  的窗口扩展局部区域, 保证前端与右端之间、右端与后端之间、后端与左端之间分别有尺寸为  $r \times 2\Delta c$  的重叠区域, 通常  $\Delta c = 30$ 。

各局部区域扩展后的结果分别如下:

(a) 前端区域

$$\text{epart 1}=[\text{part 1},f(:,\text{ce}(1)+1:\text{ce}(1)+\Delta c)]$$

(b) 右端区域

$$\text{epart 2}=[f(:,\text{cb}(2)-\Delta c:\text{cb}(2)-1),\text{part 2},f(:,\text{ce}(2)+1:\text{ce}(2)+\Delta c)]$$

(c) 后端区域

$$\text{epart 3}=[f(:,\text{cb}(3)-\Delta c:\text{cb}(3)-1),\text{part 3},f(:,\text{ce}(4)+1:\text{ce}(4)+\Delta c)]$$

(d) 左端区域

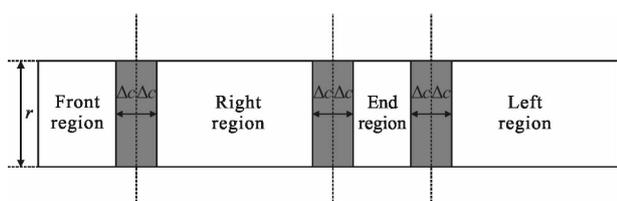
$$\text{epart 4}=[f(:,\text{cb}(5)-\Delta c:\text{cb}(5)-1),\text{part 4}]$$

(2) 策略 2: 渐入渐出加权平均融合方式

图 8(b) 为渐入渐出法示意图, 重叠区域需要进行配准、渐入渐出加权平均融合, 通过对重叠区域的像素赋予不同的权重值, 通过加权平均获得融合结果, 融合公式具体如下:

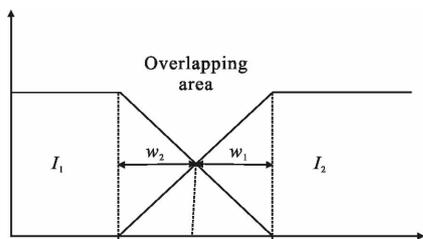
$$I_1(x,y)=\begin{cases} I_1(x,y), & (x,y) \in R_1 \\ I_2(x,y), & (x,y) \in R_2 \\ w_1I_1(x,y)+w_2I_2(x,y), & (x,y) \in R_3 \end{cases} \quad (15)$$

式中: 权重系数分别为  $w_1$ 、 $w_2$ , 且满足  $w_1+w_2=1, 0 < w_1, w_2 < 1$ 。由此可以实现重叠区域中的慢慢平滑过渡, 从而实现无缝拼接。权值  $w_1=(x_2-x)/(x_2-x_1), w_2=1-w_1, x_1 \leq x \leq x_2$ 。



(a) 局部区域扩展法示意图

(a) Schematic diagram of local area expansion method



(b) 渐入渐出法示意图

(b) Schematic diagram of gradually fade image fusion method

图 8 区域融合策略示意图

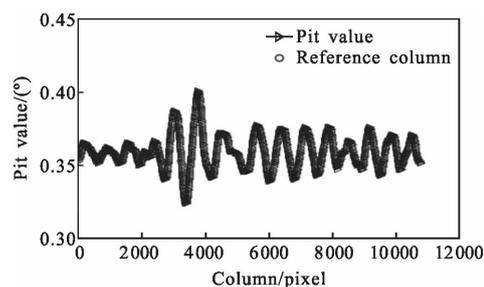
Fig.8 Schematic diagram of regional fusion strategy

## 2 实验结果与分析

### 2.1 预补偿前、后结果对比

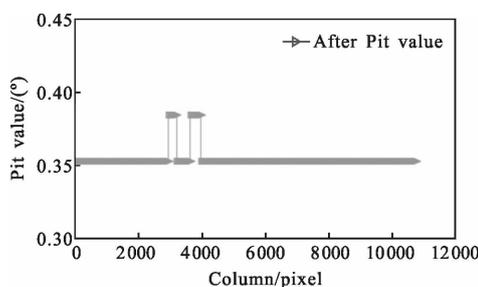
由系统成像特点可知: 每列单独成像, 列与列之间的俯仰角值存在差异。而全景图像中列与列之间的抖动差异会导致像素垂直位置的差异, 抖动差异越大, 后续的运动估计误差越大, 所以预补偿是提高全景稳像精度的关键环节。全景图像预补偿前、后的实验结果如图 9 所示, 实验中  $u=2$ 。

从图 9(a) 中可以看出, 预补偿前全景图像中列与列之间俯仰角值 ( $Pit$ ) 偏差较大, “o” 表示参考基准列  $ref$  对应的  $Pit(ref)$ 。从图 9(b) 中可以看出, 预补偿后全景图像列与列之间的俯仰角偏差明显变小。表明图像经过预补偿步骤后缩小了全景图像列与列之间抖动差异, 降低了抖动差异对后续运动估计的影响, 保证了全景稳像精度。



(a) 预补偿前的俯仰角

(a) Pitch angle before pre-compensation



(b) 预补偿后的俯仰角

(b) Pitch angle after pre-compensation

图 9 预补偿前、后的俯仰角对比

Fig.9 Pitch angle contrast between before and after pre-compensation

### 2.2 区域稳像结果

全景图像通过区域分割分成四个区域, 分别为前端、后端、左端、右端。为说明各区域的成像特点差异, 从视频 1 中选取 15 组红外全景图像, 将第 1 帧

图像作为参考帧,依次对第 2~15 帧图像进行匹配实验,其中每一帧全景图像分为四个局部区域。图 10 为各区域的缩放系数对比,其中横坐标为图像帧数,纵坐标为缩放系数。

通过图 10 可以看出,随着帧数的不断增加,对于前、后端区域:前端区域的缩放系数不断增大,后

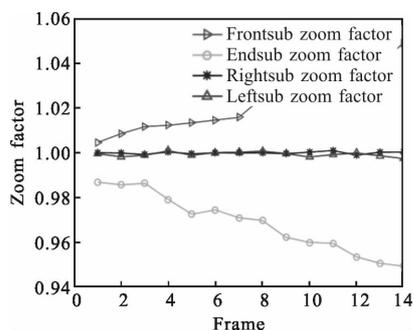


图 10 各区域的缩放系数对比

Fig.10 Comparison of scaling factors for each region

端区域的缩放系数不断减小,其中缩放系数最大值与最小值偏差最可达到 0.04;对于左、右端区域,缩放系数约等于 1。左、右端区域的缩放变化比较小,可忽略,前、后端的缩放变化明显,不能忽略。这充分

说明了同一帧图像中不同区域的变化趋势是不一致的,需要进行不同区域区分处理。

为了充分验证文中稳像算法相对于传统稳像算法的优势,从以下三方面展开说明:(1) 稳像精度;(2) 实时性;(3) 稳像后图像边界缺失信息处理效果。

目前,传统的全景稳像处理方法是基于整体处理的<sup>[12]</sup>,但是这种基于整体区域的稳像处理算法对于折反射全景成像系统有较好的稳像效果,而对于车载红外全景扫描成像系统的稳像效果并不理想,主要原因是各局部区域间成像差异较大。为验证文中算法的优势,利用视频 2 中选取出的 20 帧红外全景图像,分别采用参考文献[12]中提出的基于全局处理的算法和文中算法进行稳像实验。

全景图像中右端局部区域的视频稳像结果如图 11 所示,图中,横线、竖线是为了便于较直观地比较稳像补偿的效果。

通过图 11 可以看出,原始视频的图像序列晃动非常明显,使用参考文献[12]中基于全局的稳像算法后,视频的稳像效果较差,而采用文中的稳像算法能很好地去除随机抖动,而保留人为的扫描运动,取

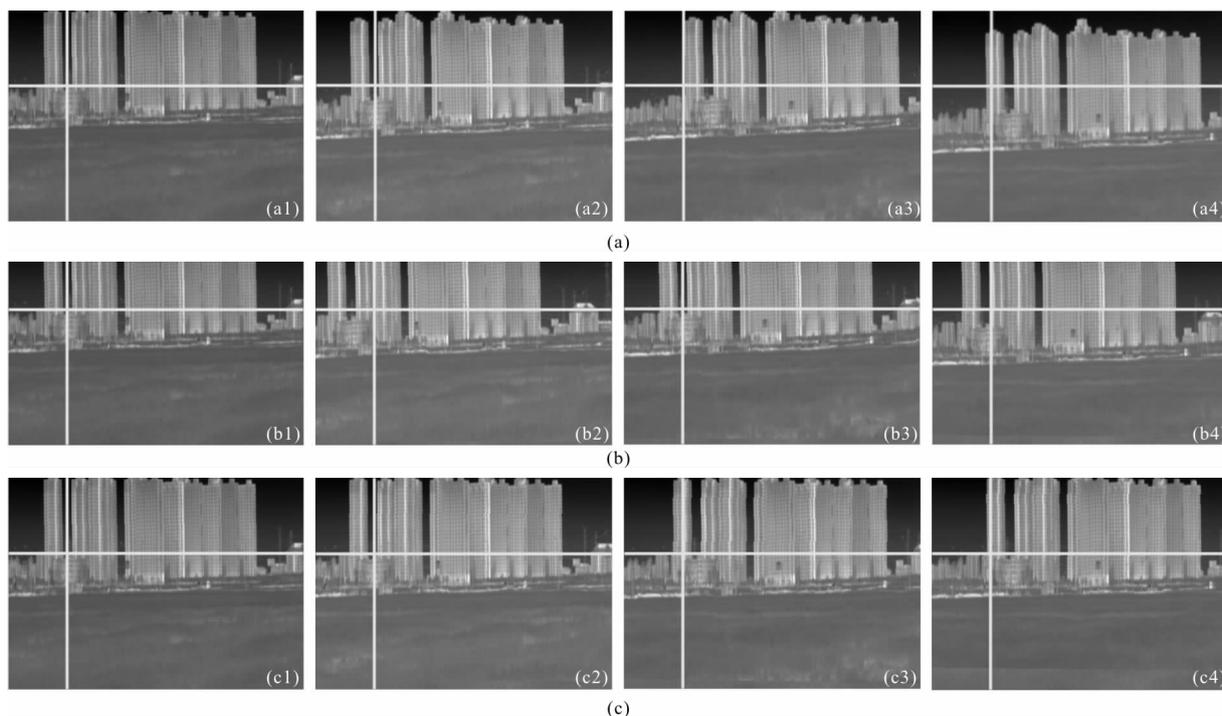


图 11 全景图像中右端局部区域的视频稳像结果((a) 原始图像序列,(b) 参考文献[12]稳像算法后的图像序列,(c) 文中稳像算法后的图像序列)

Fig.11 Video stabilization results of the right side of the panorama image area: ((a) original image sequence, (b) image sequence using the image stabilization algorithm in reference [12], (c) image sequence using the proposed image stabilization algorithm)

得了很好的稳像效果。

为了更客观地说明文中全景稳像算法的优势,利用常用的评价指标——帧间峰值信噪比(PSNR)、基于随机性检验的方法进行稳像效果评价。

$$PSNR(I_1, I_0) = 10 \log \frac{I_{\max}^2}{MSE(I_1, I_0)} \quad (16)$$

式中:  $I_{\max}$  为最大亮度值;  $MSE(I_1, I_0)$  为参考帧与当前帧之间的均方差。PSNR 值越大,说明帧间灰度差越小,稳像效果越好,文中实验中的图像数据位数均为 14bit。

图 12 为不同算法的 PSNR 值对比结果,其中,PSNR0 为原始图像序列的 PSNR 值,PSNR1 和 PSNR2 分别为使用参考文献[12]中基于全局的稳像算法、文中稳像算法后的图像序列 PSNR 值。

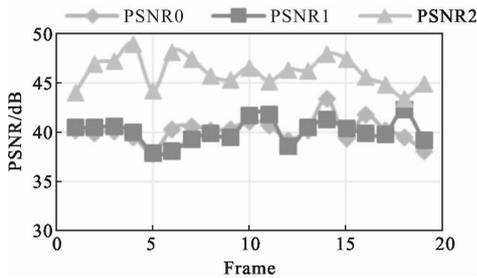


图 12 不同算法的 PSNR 值对比结果

Fig.12 Comparison of PSNR values for different algorithms

从图 12 中可以看出,经过传统的全景稳像算法后 PSNR 值提高程度并不明显,而使用文中的稳像算法后,PSNR 值可以提高 14.7%,充分说明文中的全景稳像算法可以取得更优的稳像效果。

基于随机性检验的评价方法是根据稳定后视频

相邻帧间的全局运动矢量(包括旋转、水平和垂直分量)随机程度来评价视频的的稳定程度,对运动矢量进行二进制编码,稳像后的视频越稳定,则图像的全局运动矢量符号呈现一致、连续的状态,反之,呈现随机变化的状态,下面以水平分量为例。

图 13 为水平分量的随机性检验结果,从图中可以看出,稳像前水平分量方向变化具有很大的随机性,而使用文中的稳像算法后,水平分量的符号呈现一致、连续的状态,很好地实现了稳像的目的。

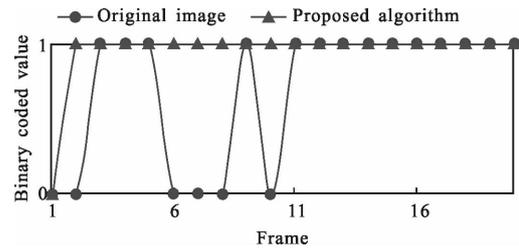


图 13 水平分量的随机性检验结果

Fig.13 Randomness test results of horizontal component

对电子稳像算法来说,运动估计算法实时性是制约稳像算法实时性的关键。传统算法采用全局策略(Wholistic strategy),而文中算法基于全景稳像的实时性,采用滑窗策略(Sliding window strategy)。

为验证文中算法运动估计的优势,选取四组不同场景下的红外全景图像(即 Group 1、Group 2、Group 3、Group 4),将文中算法与传统算法进行对比,前端(Front\_sub)、后端(End\_sub)、右端(Right\_sub)、左端(Left\_sub)区域的运动估计时间结果如表 1 所示。

表 1 不同算法的运动估计时间对比

Tab.1 Motion estimation running time contrast of different algorithms

Motion estimation running time/s	Traditional algorithm(Wholistic strategy)					Proposed algorithm(Sliding window strategy)				
	Front_sub/s	Front_sub/s	Right_sub/s	Left_sub/s	Total 1/s	Front_sub/s	Front_sub/s	Right_sub/s	Left_sub/s	Total 2/s
Group 1	6.638 99	6.814 57	21.329 98	17.153 21	51.936 7	0.874 02	0.872 39	1.894 19	1.548 63	5.189 2
Group 2	7.539 21	7.942 12	28.645 62	21.896 76	66.023 7	0.987 64	0.893 243	2.657 238	1.736 08	6.274 2
Group 3	7.470 96	7.957 58	19.656 45	23.398 54	58.483 5	0.974 10	0.924 50	1.802 58	1.973 44	5.674 6
Group 4	8.063 50	8.322 48	22.624 71	21.543 22	60.559 3	1.022 08	0.963 99	2.016 97	1.712 87	5.715 9

通过表 1 可以得出,对于场景 Group 1、Group 2、Group 3、Group 4,全局策略下的运动估计总时间是滑窗策略下运动估计总时间的 10.0 倍、10.5 倍、

10.3 倍、10.6 倍,具体的计算公式为 Total 1/Total 2。综上可以得出,文中算法的运动估计时间可缩短为传统算法的 1/10,有利于提高全景稳像的实时性。

为了进一步验证文中稳像算法在处理稳像后图像边界方面的优越性,与目前传统的裁剪、预留黑框法进行对比。各种未定义区重构方法的对比结果如图 14 所示。



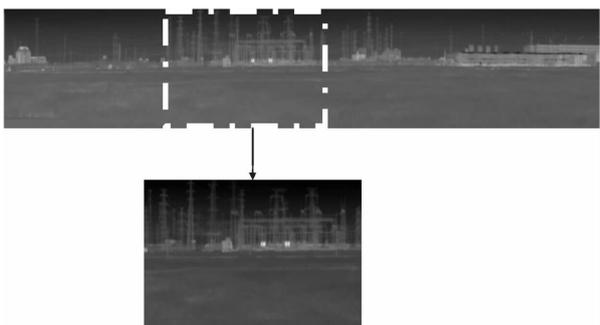
(a) 裁剪法结果

(a) Result of trimming method



(b) 预留黑框法结果

(b) Result of reserved black frame method



(c) 文中算法的结果和局部细节图

(c) Result of the proposed method and image's local details

图 14 各种未定义区重构方法对比

Fig.14 Undefined area reconstruction methods comparison

图 14(a)为裁剪法的结果,图中虚线框内的局部图像区域通过扩展作为最终的稳像结果,图像的分辨率会降低;图 14(b)为预留黑框法的结果,缺失像素利用某一固定像素替代,影响整体的视觉效果;



图 16 全景区域融合结果

Fig.16 Panoramic area fusion results

### 3 结论

针对基于车载的红外全景扫描成像系统具有每列单独成像、360°全方位视场覆盖的特点,导致传统

图 14(c)为文中算法的结果和局部细节图,很好地实现了边界缺失像素的补偿,另外,通过局部细节图可以看出,补偿结果实现了平滑的过度,不存在明显的灰度差异。

### 2.3 区域融合结果

当各区域稳像完成后,如果直接进行区域拼接、融合,会出现明显的拼接狭缝和错位,从而影响整体视觉效果。针对这种情况,文中采用如下两种策略:扩展局部区域、渐入渐出加权平均融合。

图 15 为前端、右端区域的融合结果。通过图 15 可以看出,文中算法的区域融合图像效果更好,避免了明显的拼接狭缝和边界缺失。

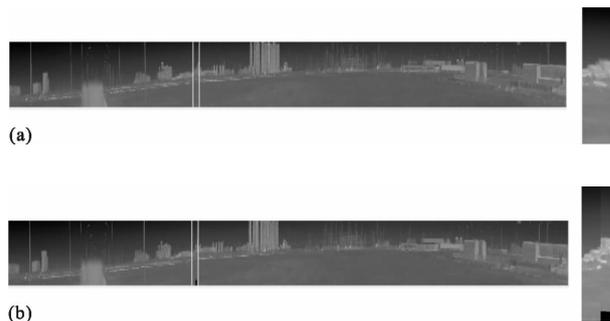


图 15 全景局部区域的融合效果((a):左侧为文中算法的区域融合结果,右侧为重叠区域的局部放大图;(b):左侧为直接区域融合的结果,右侧为重叠区域的局部放大图)

Fig.15 Fusion results of the panoramic local area((a): left side is regional fusion results of the proposed algorithm, right side is partial magnification of the overlapping area; (b): left side is regional fusion results of the direct algorithm, right side is partial magnification of the overlapping area)

全景区域的融合结果如图 16 所示,从图中可以看出,前端与右端之间、右端与后端之间、后端与左端之间融合效果很好,无明显拼接狭缝。

电子稳像算法无法适用的问题,提出了基于区域分割与融合的全景稳像算法。首先,利用局部列偏移调整方法降低列抖动差异对后续运动估计的影响;接着,根据车头方向对全景图像进行区域分割,分为前

端、右端、后端、左端区域;然后,选择各区域对应的稳像模型,采用滑窗策略缩短运动估计时间,通过未定义区重构方法弥补边界缺失像素;最后,利用局部区域扩展策略、渐入渐出加权平均融合方式进行区域无缝拼接、融合。实验结果表明:文中提出的全景稳像算法可以有效解决基于车载的红外全景扫描成像系统的稳像问题,对于无稳台的系统仍能取得很好的稳像效果,可以满足工程应用的需求。

### 参考文献:

- [1] Jia Juntao, Tang Yuefeng, Mao Xin, et al. Design and implement of infrared panoramic scanning and tracking imaging system[J]. *Journal of Applied Optics*, 2013, 34(3): 407-412. (in Chinese)  
贾俊涛,唐跃峰,毛鑫,等. 红外全景扫描跟踪成像系统设计及实现[J]. 应用光学, 2013, 34(3): 407-412.
- [2] Zhang Haojun. Research on key technologies for infrared image restoration, video stabilization and imaging system based on embedded system [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2012. (in Chinese)  
张浩钧. 红外系统中电子复原、稳像及嵌入式成像系统关键技术研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2012.
- [3] Lai Lijun, Xu Zhiyong, Zhang Xuyao. Improved gradient optical flow for digital image stabilization [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(4): 0428004. (in Chinese)  
赖丽君,徐智勇,张栩姚. 应用于稳像系统中的改进梯度光流法[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(4): 0428004.
- [4] Ma Tianyi, Zhang Huixiang, Song Minmin, et al. Anti-occluded infrared target tracking with salient feature space[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, 46(3): 0304002. (in Chinese)  
马天义,张会香,宋敏敏,等. 引入显著特征空间的抗遮挡红外目标跟踪[J]. 红外与激光工程, 2017, 46(3): 0304002.
- [5] Li Bo, Wang Xiaotong, Yang Changqing, et al. Three-point locally adaptive searching in gray scale projection algorithm for electronic image stabilization [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, 31(9): 69-72. (in Chinese)  
李博,王孝通,杨常青,等. 电子稳像的灰度投影三点局域自适应搜索算法[J]. 光电工程, 2004, 31(9): 69-72.
- [6] Yang W, Zhang Z, Zhang Y, et al. Real-time digital image stabilization based on regional field image gray projection[J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2016, 27(1): 224-231.
- [7] Cai Chengtao, Liang Xiaolong, Tan Jilai, et al. Adaptive optimal block matching video stabilization algorithm [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2013, 35(6): 1324-1329. (in Chinese)  
蔡成涛,梁小龙,谭吉来,等. 自适应最优块匹配视频稳像算法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(6): 1324-1329.
- [8] Zhang Kun, Xu Tingfa, Wang Ping, et al. Real-time full-frame digital image stabilization system by SURF [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(8): 1964-1972. (in Chinese)  
张坤,许廷发,王平,等. 高精度实时全帧频 SURF 电子稳像方法[J]. 光学精密工程, 2011, 19(8): 1964-1972.
- [9] Zhao H, Wang T. Image stabilization algorithm based on multi-bitplane[C]//SPIE, 2009, 7384: 325-331.
- [10] Xing Hui, Yan Jinglong, Zhang Shujiang. Digital image stabilization algorithm based on phase correlation [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, 34(3): 37-41. (in Chinese)  
邢慧,颜景龙,张树江. 基于相位相关的数字稳像算法研究[J]. 光电工程, 2007, 34(3): 37-41.
- [11] Zhu Qidan, Xu Congying, Cai Chengtao. Electronic image stabilization algorithm for on board catadioptric omnidirectional vision system[J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2015, 45(4): 1288-1296. (in Chinese)  
朱齐丹,徐从营,蔡成涛. 船载折反射全景视觉系统电子稳像算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2015, 45(4): 1288-1296.
- [12] Ma Ziling, Wang Jianzhong. Research on electronic image stabilizing algorithm of catadioptric panoramic reconnaissance system [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2010, 30(12): 1475-1479. (in Chinese)  
马子领,王建中. 折反射全景侦察系统电子稳像技术研究[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(12): 1475-1479.
- [13] Litvin A, Konrad J, Karl W C. Probabilistic video stabilization using Kalman filtering and mosaicing[C]//SPIE, 2003, 5022: 663-674.
- [14] Matsushita Y, Ofek E, Ge W, et al. Full-frame video stabilization with motion inpainting.[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2006, 28(7): 1150-1163.
- [15] Yin Lihua, Li Fanming, Liu Shijian, et al. The image correction technology for optical panoramic imaging system [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, 43(8): 53-58. (in Chinese)  
尹丽华,李范鸣,刘士建,等. 光电全景成像系统的图像校正技术[J]. 光电工程, 2016, 43(8): 53-58.