

RME:基于滑动窗口的实时人脸检测算法^①

李佳田^② 牛一如^③ 贾成林 李应芸 鲁 强

(昆明理工大学国土资源工程学院 昆明 650093)

摘 要 研究了基于滑动窗口的视频实时人脸检测,提出了刚性运动估计(RME)算法。该算法以小尺度人脸瞬时刚性运动为假设,根据几何变换对窗口图像的运动进行描述,以光流代替运动矢量计算运动参数进而识别窗口图像的刚性、非刚性运动类型,通过排除非刚性窗口以提高人脸检测效率。对比实验与分析表明,该算法在准确率与时间效率方面具有优势。

关键词 滑动窗口, 刚性, 几何变换, 运动估计, 实时人脸检测

0 引 言

人脸检测是人脸识别的前提与基础^[14]。视频实时人脸检测是一种随机数据条件之下的固定模式搜索过程,因此,无论算法原理上有什么差异^[5,6],在算法实现上多数是以滑动窗口(sliding window, SW)^[7,8]作为支撑。滑动窗口将搜索图像空间划分为密集窗口集合,并以某一(些)窗口图像来准确地表示人脸的位置与大小。基于滑动窗口的视频实时人脸检测算法可分为两类,一类是检测与跟踪耦合算法^[9],另一类是滑动窗口增强算法^[10-13]。后者单纯地以滑动窗口优化技术来提高检测效率,并且与已有人脸检测算法结合性更强,因而备受学术界关注。Lampert 等^[10]提出了高效子窗口搜索(efficient sub-window search, ESS)算法,它依据模式参数剖分图像空间,通过分支界限函数(branch-and-bound)定量描述模式与窗口的相似度以限定所需处理窗口数量。ESS 算法的前提条件是模式数量已知,当其应用至人脸检测时分支界限函数较难与分类器结合。Butko 等^[11]模拟人的视觉机理建立了视网模中央凹(fovea)模型,以中央凹为中心并用不同大小的窗口

模拟搜索过程,然而其只适用于图像空间包含单模式实例的情况。Subburaman 等^[12]通过使用二元特征与决策树在局部邻域预测人脸位置,减少需要处理的窗口数量以提高检测效率,算法需要额外的离线训练以构建决策树。Comaschi^[13]经统计得出分类器值较小的窗口,其所包含人脸的概率同样较小,以此为基础提出了自适应增大偏移值的方法以减少处理窗口的数量,被认为是目前较为有效的算法,由于分类器值与偏移值之间的严格数学关系并未给出,该算法存在检测准确率不高的问题。

运动特征越来越多地被人脸表情识别研究所重视,究其根本原因在于高分辨率图像情况下光流可捕获与描述人脸局部运动细节^[14,15]。以人体作为运动目标整体来分析,人脸所占部分相对较小,这为利用运动特征进行人脸检测提供了这样的一个契机,即在较低图像分辨率条件下人脸的运动细节被隐藏,满足形状与大小不变的刚性目标运动特点。本文尝试以运动特征的几何变换为标准对窗口进行分类,提出了刚性运动估计(rigid motion estimation, RME)算法,通过排除非刚性运动窗口提高视频人脸检测效率。

① 国家自然科学基金(41561082, 41161061)资助项目。
② 男,1975 年生,博士,教授;研究方向:视觉测量与机器场景理解;E-mail: ljtwcx@163.com
③ 通讯作者,E-mail: 2279365497@qq.com
(收稿日期:2016-06-02)

1 刚性运动估计算法

1.1 单一几何变换

假设窗口图像做刚性运动,则其运动形式可用几何变换描述,即为独立平移、缩放与旋转变换或者它们的组合形式。设 t_0 时刻像点 $p_0(x_0, y_0)$ 在 t_1 时刻运动到像点 $p_1(x_1, y_1)$, 平移量为 $\Delta x, \Delta y$, 旋转角度为 θ , 缩放因子为 s , 则由 p_0 致 p_1 的刚性几何变换可描述为

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \tag{1}$$

其中, $\Delta x = x_1 - x_0, \Delta y = y_1 - y_0, \{(\Delta x, \Delta y), \theta, s\}$ 为变换参数。扩展(1)式中的像点为有限像点集合所构成的微小邻域 (neighborhood), 由微积分原理式(1)转变为

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \tag{2}$$

其中, $(x_0, y_0), (x_1, y_1)$ 分别为邻域 n_0 与 n_1 的坐标均值, $\Delta x = x_1 - x_0, \Delta y = y_1 - y_0$ 。

考虑对称性将窗口划分为 5×5 形式,如图 1 所示,并以(2,2)邻域为中心沿水平方向的左右、垂直方向的上下分别取 2 个邻域,构成如图 1 所示的对称 8 邻域形式。从 t_0 时刻窗口出发,依据像点运动位置对应关系,构建 8 组对应于 t_0 时刻窗口的像点集,即 $(x_{01}, y_{01}) \leftrightarrow (x_{11}, y_{11}), (x_{02}, y_{02}) \leftrightarrow (x_{12}, y_{12}), \dots, (x_{08}, y_{08}) \leftrightarrow (x_{18}, y_{18})$, 其中,有下两式成立: $y_{01} = y_{02} = y_{03} = y_{04}, x_{05} = x_{06} = x_{07} = x_{08}$ 。

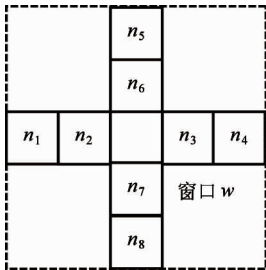


图 1 窗口及其邻域划分

选取邻域 1 与邻域 4, 以 $n_{ti}(t=0, 1, i=1, 2, \dots, 8)$ 形式描述邻域, 它们满足式(2), 有

$$\begin{bmatrix} x_{11} \\ y_{11} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{01} \\ y_{01} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} x_{14} \\ y_{14} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{04} \\ y_{04} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \tag{4}$$

将式(3)与式(4)相减, 可得

$$\begin{bmatrix} x_{11} - x_{14} \\ y_{11} - y_{14} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{01} - x_{04} \\ y_{01} - y_{04} \end{bmatrix} \tag{5}$$

同理, 选取邻域 5 与邻域 8, 可得

$$\begin{bmatrix} x_{15} - x_{18} \\ y_{15} - y_{18} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{05} - x_{08} \\ y_{05} - y_{08} \end{bmatrix} \tag{6}$$

(1) 当窗口仅存在平移变换时, 即不考虑缩放与旋转变换, 则有 $s = 1, \theta = 0$, 此时式(2)变为如下形式:

$$\begin{bmatrix} x_{1i} \\ y_{1i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{0i} \\ y_{0i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \tag{7}$$

其中, $i \in \{1, 2, \dots, 8\}$ 。将 8 个邻域代入式(7)中, 得由 t_0 时刻至 t_1 时刻窗口的平均平移变换参数如下:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{\Delta x} \\ \overline{\Delta y} \end{bmatrix} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^8 \Delta x_i \\ \sum_{i=1}^8 \Delta y_i \end{bmatrix} \tag{8}$$

(2) 当窗口仅存在缩放变换时, 即不考虑旋转与平移变换, 则有 $\theta = 0, \Delta x = 0, \Delta y = 0$, 此时式(2)变为如下形式:

$$\begin{bmatrix} x_{1i} \\ y_{1i} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} x_{0i} \\ y_{0i} \end{bmatrix} \tag{9}$$

式(5)变为

$$\begin{bmatrix} x_{11} - x_{14} \\ y_{11} - y_{14} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} x_{01} - x_{04} \\ y_{01} - y_{04} \end{bmatrix} \tag{10}$$

因为 $y_{01} = y_{04}$, 因此, 缩放参数计算如下式:

$$s_{14} = \frac{x_{11} - x_{14}}{x_{01} - x_{04}} \tag{11}$$

同理, 选取竖直方向邻域 5 与邻域 8, 缩放参数计算式为

$$s_{58} = \frac{y_{15} - y_{18}}{y_{05} - y_{08}} \tag{12}$$

选择多组邻域, 可计算得到多个缩放参数, 即 1-4, 1-3, 2-3, 2-4, 5-7, 5-8, 6-7, 6-8 共计 8 组邻域, 最

终按式

$$s = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^8 s_i - \max(s_i) - \min(s_i) \right] \quad (13)$$

计算得到由 t_0 时刻至 t_1 时刻窗口的缩放参数, n 为有效窗口数。

(3) 当窗口仅存在旋转变换时, 则有 $s = 1, \Delta x = 0, \Delta y = 0$, 又由于运动时间间隔较小, 所以窗口旋转角度较小, 则有 $\cos \theta = 1, \sin \theta = \theta$, 因此, 式(5)变为

$$\begin{bmatrix} x_{11} - x_{14} \\ y_{11} - y_{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\theta \\ \theta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{01} - x_{04} \\ y_{01} - y_{04} \end{bmatrix} \quad (14)$$

又由于 $y_{01} = y_{04}$, 因此, 邻域 1 与邻域 4 之间的旋转参数可由下式计算:

$$\theta_{14} = \frac{y_{11} - y_{14}}{x_{01} - x_{04}} \quad (15)$$

同理, 选取竖直方向邻域 5 与邻域 8, 得到邻域 5 与邻域 8 之间的旋转参数见下式:

$$\theta_{58} = -\frac{x_{15} - x_{18}}{y_{05} - y_{08}} \quad (16)$$

与缩放参数求取方法相同, 得到由 t_0 时刻至 t_1 时刻窗口的缩放参数见下式:

$$\theta = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^8 \theta_i - \max(\theta_i) - \min(\theta_i) \right] \quad (17)$$

n 为有效窗口数。

1.2 组合几何变换

在实际情况中, 窗口图像变化复杂, 表现为平移、旋转与缩放变换的组合形式, 由式(5)可得

$$x_{11} - x_{14} = s \left[(x_{01} - x_{04}) \cos \theta - (y_{01} - y_{04}) \sin \theta \right] \quad (18)$$

$$y_{11} - y_{14} = s \left[(x_{01} - x_{04}) \sin \theta + (y_{01} - y_{04}) \cos \theta \right] \quad (19)$$

将式(18)与式(19)相比, 并且分子分母同时除以 $\cos \theta$, 得到

$$\frac{x_{11} - x_{14}}{y_{11} - y_{14}} = \frac{x_{01} - x_{04} - (y_{01} - y_{04}) \tan \theta_{14}}{(x_{01} - x_{04}) \tan \theta_{14} + y_{01} - y_{04}} \quad (20)$$

又因为 $y_{01} = y_{04}$, 因此, 可得,

$$\begin{aligned} \tan \theta_{14} &= \frac{y_{11} - y_{14}}{x_{11} - x_{14}} = \frac{y_{01} + \Delta y_1 - (y_{04} + \Delta y_4)}{x_{11} - x_{14}} \\ &= \frac{\Delta y_1 - \Delta y_4}{x_{11} - x_{14}} \end{aligned} \quad (21)$$

同理, 选取竖直方向邻域 5 与邻域 8, 可得

$$\begin{aligned} \tan \theta_{58} &= -\frac{x_{15} - x_{18}}{y_{15} - y_{18}} = -\frac{x_{05} + \Delta x_5 - (x_{08} + \Delta x_8)}{y_{15} - y_{18}} \\ &= -\frac{\Delta x_5 - \Delta x_8}{y_{15} - y_{18}} \end{aligned} \quad (22)$$

综合上述计算过程, 可先由式(21)、(22)求得旋转参数 θ_i , $i = 1, 2, \dots, 8$, 根据式(17)得到由 t_0 时刻至 t_1 时刻窗口的平均旋转参数 θ ; 将 θ_i 代入式(18)或式(19)中求得 s_i , 并根据式(13)计算窗口平均缩放参数 s ; 将 θ_i 代入式(21)、(22)中, 可得到 $\Delta x_i, \Delta y_i$, 最终可得到窗口平均平移参数 Δx 与 Δy 。

1.3 窗口运动估计

由式(18)、(19)、(21)与(22)可计算得出窗口几何变换参数 $\{(\Delta x, \Delta y), \theta, s\}$, 如果窗口 w 位置表示刚性运动目标, 那么窗口 w 位置几何变换应具有一致的形式; 否则, 即为非刚性目标运动。

对于窗口 w 整体, 设其包含 N 个几何变换像点, 并构成集合 P 。对于 $\forall p_i \in P$, 设 t_0 时刻 p_i 由位置 (x_i, y_i) 移动至 t_1 时刻位置 (x_i^r, y_i^r) , (x_i^r, y_i^r) 由光流计算得到, 视为真实值。将 (x_i, y_i) 代入式(2), 计算得到 (x_i^e, y_i^e) 作为估计值。根据端点误差平均值 AEE 或角误差平均值 AAE^[16], 则有

$$AEE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i^r - x_i^e)^2 + (y_i^r - y_i^e)^2} \quad (23)$$

$AAE =$

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \arccos \frac{x_i^e \times x_i^r + y_i^e \times y_i^r}{\sqrt{(x_i^e)^2 + (y_i^e)^2} \sqrt{(x_i^r)^2 + (y_i^r)^2}} \quad (24)$$

由式(23)与式(24)可知, AEE 是计算像点几何变换的真值与估计值的平均位移偏差, 而 AAE 则是以真值矢量为基础, 通过夹角余弦公式计算估计矢量与真值矢量之间的夹角平均值。

阈值由位于邻域 $n_i, i = 1, 2, \dots, 8$ 内的像点确定, 设共包含 M 个像点, 并将像点几何变换真实值与估计值代入式(23)与式(24), 计算得到 ε_{AEE} 与 ε_{AAE} , 考虑斜向方向相对于水平与垂直方向的几何变换更大, 根据距离关系增加 $2^{0.5}$ 系数, 则有以下式:

$$AEE \leq \sqrt{2} \varepsilon_{AEE} \text{ 或者 } AAE \leq \sqrt{2} \varepsilon_{AAE} \quad (25)$$

如果窗口 w 的 AEE 或 AAE 值满足式(25), 则其为

刚性运动,否则,为非刚性运动。

1.4 算法过程与优化

上述计算过程可进一步优化,主要表现在两个方面:(1) 邻域,根据条件 $y_{01} = y_{02} = y_{03} = y_{04}, x_{05} = x_{06} = x_{07} = x_{08}$,可将邻域化简为水平与垂直的两条直线段;(2) 运动估计,以窗口边界样点估计方式代替窗口整体估计,以节省计算量,刚性运动估计(RME)算法过程如下:

- 输入:图像 I_0 ,图像 I_1 ,窗口集合 W ;
- 输出:刚性运动窗口集合 W' ;
- 步骤 1. 插值缩小 I_0 与 I_1 的宽(高)为原始大小的 1/2,块匹配算法,生成 (I_0, I_1) 光流场 F_x 与 F_y ,插值扩大 I_0 与 I_1 的宽(高)为原始大小的 2 倍;
- 步骤 2. 构建 F_x 与 F_y 的积分图像, Π_x, Π_y ;
- 步骤 3. 对于 $\forall w_i \in W, w_i(x, y, w, h)$;
- 3.1 分别以 $\lfloor h/2 \rfloor, \lfloor w/2 \rfloor$ 分别取 w_i 的整行 r_i 与整列 c_i ;
- 3.2 以 $\lfloor w/5 \rfloor$ 为步长,标识邻域 $n_i(x_0, x_1), i = 1, \dots, 4$,以 $\lfloor h/5 \rfloor$ 为步长,标识邻域 $n_j(y_0, y_1), j = 5, \dots, 8$;
- 3.3 根据式(21)、式(22)与式(17),利用 Π_x 与 Π_y ,分别求 θ_i 与 θ_j ;
- 3.4 根据式(18)、(19)与式(13),计算得出 s ;
- 3.5 依据 θ_i ,根据式(21)、式(22)与式(8),计算得出 Δx 与 Δy ;
- 3.6 以随机数发生器,在每个邻域随机取 x 个样点,根据式(22)计算得出 ε_{AEE} ;
- 3.7 以 $\lfloor w/5 \rfloor$ 为步长,取位于 w_i 边界(上、下、左、右)的样点,根据式(23)计算 AEE 值;

- 3.8 如果 $AEE \leq \varepsilon_{AEE}$,置 $w_i \rightarrow W'$;
- 步骤 4. 返回 W' ;
- 步骤 5. 结束。

利用积分图像可以有效地计算邻域像素位移均值,并且步聚[3.1]~[3.8]与窗口大小无关。需要说明的是,刚性运动估计算法只是作为现有人脸检测算法的增强过程,例如,Viola-Jones 算法^[8]中滑动窗口通常以 20×20 像素为基础窗口,因此,上述算法过程中有 $w = h$,并且每邻域内部最少的像点数 x 为 4。

2 算例与分析

为了验证本文算法的有效性,算例将刚性运动估计算法嵌入 Viola-Jones 人脸检测过程,如图 2 所示。Viola-Jones 检测过程描述如下:对于视频序列中的每一帧,以滑动窗口形式建立窗口集合 W ,将任意窗口 $w \in W$ 代入级联分类器(cascade),判断其是否是人脸。其中,cascade 由若干层级分类器加权构成,每个层级分类器又由若干弱分类器组成,例如由 OpenCV 2.4^[17]提供的 cascade 共包含 22 个层级共 2135 个弱分类器。如图 2 所示,将刚性运动估计算法作为步骤(3)嵌入在步骤(2)与(4)之间,排除非刚性运动窗口,将集合 W 缩减为 W' ,通过有效地减少窗口数量以提高计算效率。算例在准确性与效率两个方面进行分析。视频序列采用伦敦大学电子工程学院提供用于人脸检测和跟踪的测试视频,大小为 640×480 像素,共 2769 帧,室内场景,4 位参与者正面运动。

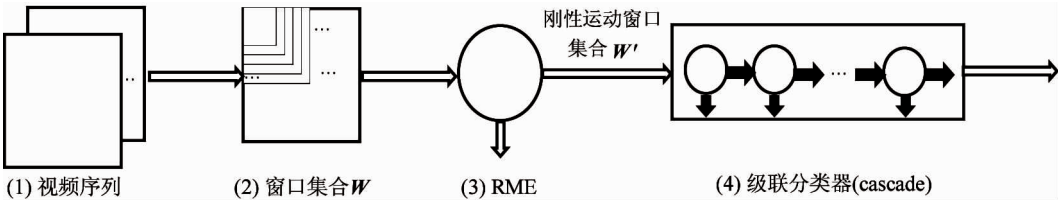


图 2 算例过程

(1) 准确率(accuracy rate)。RME 算法只是起到排除非刚性运动窗口的目的,其不能做出窗口图

像是否为人脸的判断,因此,RME 算法的准确性(ar)用下式评价:

$$ar = \frac{f_{RME}}{f_{VJ}} \tag{26}$$

其中, f_{VJ} 是 Viola-Jones 算法检出的人脸数;而 f_{RME} 为先经 RME 算法得出刚性运动窗口 W' ,再将 W' 代入 Viola-Jones 算法检出的人脸数, f_{VJ} 与 f_{RME} 均是通过人工判别去除假正人脸后的数值。根据式 (26) 得出 ar 值为 0.973,而文献[13]的运行时间自适应滑动窗口(RASW)和 Viola-Jones 算法所能达到的最高准确率为 0.884。经观察,由移动目标的边缘形

成的窗口部分遮挡是造成 RME 算法漏检的主要原因。如图 3(a)所示,通过光流场可知,左侧参与者向右运动,与此同时,右侧参与者呈微动状态,从窗口区域上分析,前者头发所形成的光流位于后者人脸窗口内部,因两者运动不一致,导致通过窗口边界样点所计算的 AEE 值过大并误分类为非刚性。类似的情况如图 3(b)所示,左侧参与者向左运动,而右侧参与者向右运动。

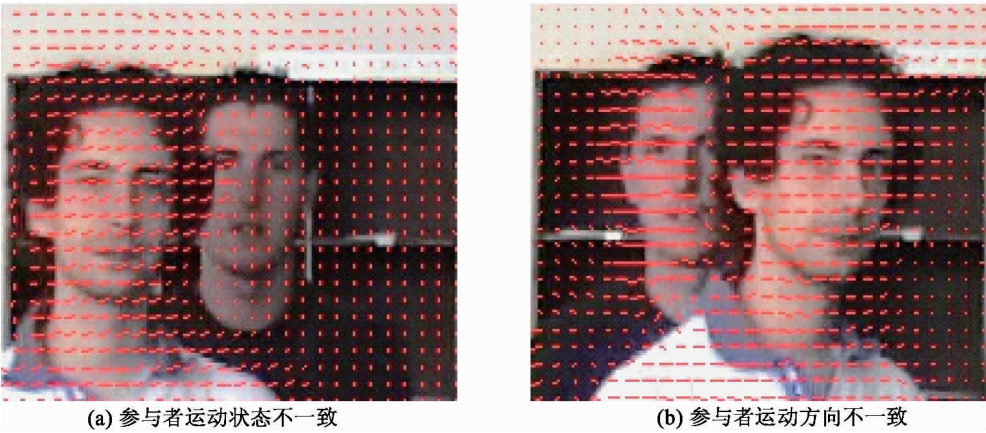


图 3 运动遮挡的影响

(2) 效率分析。将原始 Viola-Jones 算法 (OpenCV2.4)、文献[13]RASW 和 Viola-Jones 算法与刚性运动估计 (RME) 和 Viola-Jones 算法进行对比分析(图 4),其中, W 中窗口初始大小为 20×20 像素, $s = 1.25$, $step = 1.5$,共计包含 2725719 个窗口。Viola-Jones 算法平均耗时为 323ms,耗时方差 7.9,表明算法稳定;RASW 和 Viola-Jones 算法平均耗时为 163ms,耗时方差为 5.4,相较于 Viola-Jones 算法更加稳定,并且印证文献[13]的结论,即

RASW 和 Viola-Jones 算法的时间效率约是 Viola-Jones 算法的 2 倍;RME 和 Viola-Jones 算法平均耗时为 125ms,表现为三者中最快,可以达到实时 8fps 的检测速度,但耗时方差为 13.7,表明算法受到场景影响较大。

场景对时间消耗的影响主要表现在以下两个方面:(1) 目标运动。如图 5(a)所示,当参与者细微运动时,非刚性运动被弱化,邻域之间运动趋于一致,因此,被误判为刚性运动,与其相关的窗口会被

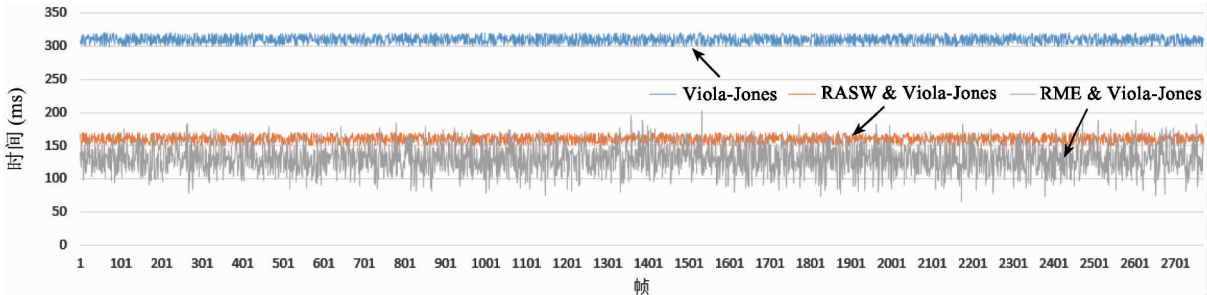


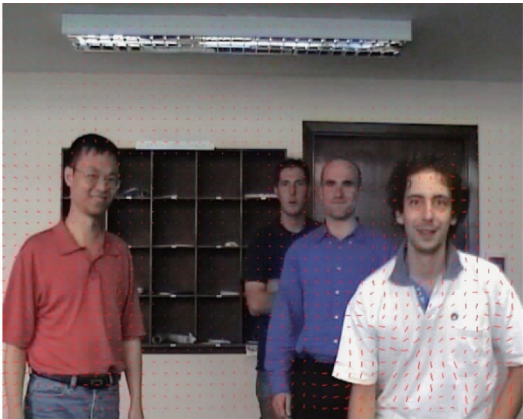
图 4 三种算法时间效率比较

代入 cascade;而当参与者增大动作幅度时,刚性与非刚性运动的光流差异显著,如图 5(b)所示,最右侧参与者所穿 T 恤的区域光流表现不一致,即为非刚性运动,其所关联的窗口没有被代入 cascade。(2) 光照变化。理想情况下,场景的静止区域没有光流或光流值为零,而实际情况中,光照变化会引起

梯度图像改变,进而会产生非真实光流,如图 5(c),5(d)所示,111-112 帧光流场能够正确描述参与者的运动,而 117-118 帧光流场受到光照变暗(自然光照变化、参与者运动遮挡阴影)影响,在场景顶部日光灯位置与右侧墙面产生非真实光流,并且光流具有一致性,被误判为刚性运动。



(a) 583-584 帧图像与光流场



(b) 601-602 帧图像与光流场



(c) 111-112 帧光流场



(d) 117-118 帧光流场

图 5 运动与光照对光流场的影响

3 结 论

以几何变换为基础,结合光流场,本文将窗口进行刚性与非刚性分类,通过将刚性窗口作为人脸检测计算域以提高算法整体效率,RME 算法过程可为其它实时目标检测任务提供借鉴。在算例与分析部分,与 RASW & Viola-Jones 算法进行结果比较,表明本文算法具有较高的准确率和时间效率,并分析了影响 RME & Viola-Jones 算法有效性的因素。

后期工作主要在以下几个方面:

- (1) 光流场构建尺度。建立光流场尺度越小,光流计算所需时间越少,但隐藏运动细节越大,有更多的窗口会被判断为刚性,导致后继代入 cascade 窗口会越多;相反地,建立光流场尺度越大,光流计算时间会增大。本文算例只是简单地缩小图像为原始的 1/4。根据场景条件,对这一过程定量地描述与计算是需要解决的问题。
- (2) 刚性窗口的再分类。检测与跟踪虽是两种不同的识别过程,但有时两者可相互转换。从算例

结果可知,代入 cascade 的刚性窗口仍有较多非人脸窗口,或许可以引入跟踪的思想来进一步增强算法。

参考文献

- [1] 郭耸,顾国昌,蔡则苏等. 基于组件距离匹配度函数检测部分遮挡的人脸方法. 高技术通讯, 2012, 22(4): 382-387.
- [2] 张新明,徐久成. 基于混沌理论和支持向量机的人脸识别方法. 高技术通讯, 2009, 15(5): 494-500
- [3] 崔法毅. 基于自适应融合色度与亮度特征的彩色人脸识别算法. 高技术通讯, 2015, 25(1): 89-96
- [4] 吉训生,沙威杰. 基于曲波系数加权融合的人脸识别. 高技术通讯, 2015, 25(5): 463-468
- [5] Yang M H, Kriegman D J, Ahuja N. Detecting faces in images: a survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(1): 34-58
- [6] Zafeiriou S, Zhang C, Zhang Z Y. A survey on face detection in the wild: past, present and future. *Computer Vision and Image Understanding*, 2015, 138: 1-24
- [7] Gualdi G, Prati A, Cucchiara R. Multistage particle windows for fast and accurate object detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, 34(8): 1589-1604
- [8] Viola P, Jones M J. Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 57(2): 137-154
- [9] 龚卫国,桂祖宏,李正浩等. 融合 Adaboost 和光流算法的视频人脸实时检测. 仪器仪表学报, 2008, 29(7): 1398-1402
- [10] Lampert Christoph H, Blaschko M B, Hofmann T. Be-

yond sliding windows: object localization by efficient sub-window search. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Anchorage, USA, 2008. 1-8

- [11] Butko N J, Movellan J R. Optimal scanning for faster object detection. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, USA, 2009. 2751-2758
- [12] Subburaman V B, Marcel S. Alternative search techniques for face detection using location estimation and binary features. *Computer Vision and Image Understanding*, 2013, 117(5): 551-570
- [13] Comaschi F, Stuijk S, Basten T, et al. RASW: A run-time adaptive sliding window to improve Viola-Jones object detection. In: Proceedings of the 7th International Conference on Distributed Smart Cameras, Palm Springs, USA, 2013. 1-6
- [14] Hsieh C K, Lai S H, Chen Y C. An optical flow-based approach to robust face recognition under expression variation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2010, 19(1): 233-240
- [15] Niese R, Al Hamadi A, Farag A, et al. Facial expression recognition based on geometric and optical flow features in colour image sequences. *Computer Vision IET*, 2012, 6(2): 79-89
- [16] Baker S, Scharstein D, Lewis J P, et al. A database and evaluation methodology for optical flow. *International Journal of Computer Vision*, 2011, 92(1): 1-31
- [17] <http://www.opencv.com/bienvenue-sur-open-cv.html>; opencv, 2016

RME: an algorithm for real-time face detection based on sliding window

Li Jiatian, Niu Yiru, Jia Chenglin, Li Yingyun, Lu Qiang

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract

The real-time video face detection based on sliding window was studied, and a detection algorithm using rigid motion estimation (RME) was proposed. The algorithm describes the motion of window images according to geometric transformation on the assumption that the instantaneous motion of a face in small scale is rigid, and under this condition, the motion types of rigid and non-rigid are recognized by substituting the motion vector with the optical flow to calculate motion parameters. On this account, the efficiency of face detection is promoted by eliminating non-rigid windows. The comparative experiment and analysis show that this algorithm has the advantages in accuracy rate and temporal efficiency.

Key words: sliding window, rigidity, geometric transformation, motion estimation, real-time face detection