

文章编号:1004-4213(2010)02-0357-7

基于加权 mean-shift 可见光/红外双通道目标跟踪*

程咏梅,王进行,魏坤,潘泉,程承

(西北工业大学 自动化学院,西安 710072)

摘要:为提高目标亮度突变时的跟踪性能,在每一帧进行目标跟踪时,首先提取可见光图像的颜色特征,红外图像的垂直投影图像和水平投影图像特征,然后利用可见光/红外各自通道的 Bhattacharyya 系数计算该通道的权值,并对加权 mean-shift 双通道跟踪方法进行了推导,提出了基于加权 mean-shift 可见光/红外双通道目标跟踪算法.该方法使前后两帧目标相似度大的通道取大的权值,从而达到有效利用各通道有利信息、提高跟踪性能的目的.实验表明,用本文提出的算法进行可见光/红外双通道目标跟踪时,与基于 mean-shift 单通道(可见光或红外)目标跟踪算法相比,可提高目标跟踪的准确度,特别是当目标进入树荫区域,引起目标亮度发生显著变化时,跟踪性能基本不受影响.

关键词:可见光/红外双通道;加权 mean-shift;目标跟踪

中图分类号: TN911

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103902.0357

0 引言

由于成像机理的差异,可见光成像和红外成像各有优缺点.可见光成像具有色彩、纹理等信息,在光线充足、稳定时易于运动目标检测跟踪.红外有助于解决可见光运动目标检测跟踪的一些难题,譬如影子、光照突变、夜间环境等的影响,但是红外图像提供的信息有限,整体跟踪效果偏低.利用红外和可见光融合,可实现复杂环境下鲁棒运动目标检测跟踪^[1-2].

文献[3]利用可见光及红外对背景进行多模型建模,在阴影干扰下,实现了准确跟踪;文献[4]在完成可见光前景图像(Visible Foreground, VisF)、红外前景图像(Infrared Foreground, InfF)提取后,基于可传递置信模型进行融合,对候选目标进行筛选和确认,通过前后帧目标关联完成跟踪.文献[5]用可见光及红外,在信号级和决策级进行信息融合,完成了复杂环境下的目标跟踪.

在以往研究红外和可见光融合目标跟踪时,很少考虑光照突变时的稳定跟踪,充分利用可见光和红外各通道的优势,避免其劣势,使目标在保持整体跟踪准确度的同时,能够对目标亮度的变化不敏感,

是本文要研究的内容.

mean-shift 算法以其优良的性能在目标跟踪中得到了很好的应用^[4,6-7].它利用两帧目标图像的 Bhattacharyya 系数进行相似性度量,进一步完成跟踪.两个通道相比,Bhattacharyya 系数值越大,说明该通道提供的信息越丰富.本文利用 mean-shift 算法的该特点,以红外和可见光通道的 Bhattacharyya 系数为权值,提出基于加权 mean-shift 的可见光/红外双通道目标跟踪算法.该算法使前后两帧目标相似度大的通道取大的权值,从而有效利用各通道有利信息,实现光照突变时的稳定持续跟踪.

1 基于 mean-shift 目标跟踪

1.1 目标模型

对初始帧图像中目标区域内所有的像素点,计算特征空间(比如 RGB 颜色空间)中每个特征值的概率,称为目标模型的描述^[6].假定跟踪彩色视频序列图像中目标,将 RGB 颜色空间中的每个子空间 R、G、B 空间分成 k 个相等的区间,每个区间称为一个 bin,构成特征空间,特征空间中特征值的个数为 $m = k^3$.定义函数 $b: R^2 \rightarrow \{1, \dots, m\}$ 是像素点 x 的函数, $b(x)$ 与该点的颜色相对应.

设目标区域的中心为 x_0 ,目标有 n 个像素点,用 $\{x_i\}_{i=1, \dots, n}$ 表示,特征值的个数为 m 个,那么目标模型为^[6-7]

$$\hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{x_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(x_i) - u] \quad u=1, \dots, m \quad (1)$$

* 国家自然科学基金重点项目(60634030)、高等学校博士学科点专项科研基金(20060699032)和航空科学基金(2006ZC53037,2007ZC53037)资助

Tel: 029-88431320

Email: chengym@nwpu.edu.cn

收稿日期: 2008-08-21

修回日期: 2009-02-08

式中 $k(x)$ 为核函数的轮廓函数, 函数 $k(x)$ 中 $\left\| \frac{x_0 - x_i}{h} \right\|$ 的作用是为消除不同大小目标计算时的影响, 将目标区域所在的椭圆表示为一个单位圆. $\delta(x)$ 是 Delta 函数. C 是归一化系数, 使得 $\sum_{u=1}^m \hat{q}_u = 1$, 因此

$$C = \left[\sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{x_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

运动目标在第二帧及以后的每帧中可能包含的目标区域称为候选区域, 其中心坐标设为 y , 也是核函数的中心坐标. 该区域中的像素点用 $\{x_i\}_{i=1, \dots, n_h}$ 表示, 参照式(1), 候选区域目标候选模型为^[6-7]

$$\hat{p}_u(y) = C_h \sum_{i=1}^{n_h} k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(x_i) - u] \quad (3)$$

$u = 1, \dots, m$

式中, $C_h = \left[\sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \right]^{-1}$ 是归一化系数.

1.2 相似性度量

相似性度量用来描述目标模型和目标候选模型之间的相似程度. Bhattacharyya 系数是一种散度型度量, 在文献[6]中 Comaniciu 证明了在 mean-shift 算法中使用 Bhattacharyya 系数优于其它相似性度量. 因此, 使用 Bhattacharyya 系数进行相似性度量, 定义为

$$\hat{\rho}(y) \equiv \rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u} \quad (4)$$

其值在 0~1 之间. $\hat{\rho}(y)$ 的值越大, 表示两个模型越相似, 在当前帧中不同的候选区域计算得到的候选模型, 使得 $\hat{\rho}(y)$ 最大候选区域即是在本帧中目标的位置.

设当前帧候选目标中心的初始值为前一帧目标中心位置 \hat{y}_0 , 从这一点开始寻找最优匹配的目标, 其中心为 \hat{y} . 根据式(3), 先计算当前帧候选目标在位置 \hat{y}_0 处特征的概率 $\{\hat{p}_u(\hat{y}_0)\}_{u=1, \dots, m}$, 对式(4)在 $\hat{p}_u(\hat{y}_0)$ 处展开 Taylor 级数, 取其前两项进行逼近得

$$\rho[\hat{p}(y), \hat{q}] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(\hat{y}_0) \hat{q}_u} + \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^{n_h} w_i k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \quad (5)$$

式中

$$w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(\hat{y}_0)}} \delta[b(x_i) - u] \quad (6)$$

使 $\rho[\hat{p}(y), \hat{q}]$ 的一阶导数等于 0 的 y 值就是 $\rho[\hat{p}(y), \hat{q}]$ 取最大时的 y 值, 根据 mean-shift 迭代

原理^[7], 可以求出

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_i w_i g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^{n_h} w_i g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (7)$$

式中 $g(x) = -k'(x)$, 依次迭代, 当满足一定条件 (如迭代次数大于某个值或 $|\hat{y} - \hat{y}_0|$ 小于某个值) 停止迭代, 完成目标定位.

2 加权 mean-shift 双通道目标跟踪

2.1 特征选择

在用红外和可见光双通道信息进行目标跟踪时, 对可见光和红外我们选取不同的特征. 选择可见光颜色作为特征, 这是因为颜色作为特征符合人类视觉习惯, 是最基本的图像特征, 也是包含最多信息的特征, 这样每一个像素点, 就由 (R, G, B) 三个基本特征构成特征向量.

红外图像只有亮度, 不能像可见光图像那样选择 (R, G, B) 特征向量. 而一般来说红外图像的信噪比小于可见光图像的信噪比, 为了达到尽可能好的跟踪效果, 需要尽可能多地提取特征. 参照文献[8], 本文从红外灰度图像提取两个特征图像, 即垂直投影图像和水平投影图像. 求目标 (或候选目标) 区域的每一列像素点的均值, 作为其垂直投影图像该列所有像素点的值, 同理可以求出其水平投影图像. 图 1 给出了室外环境下行人的红外实验图像, 垂直投影图像和水平投影图像. 图 2 给出了行和列投影图.

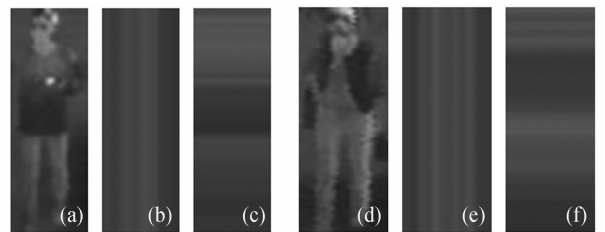


图 1 红外目标及特征图
Fig. 1 Infrared target and feature image

从图 1 和图 2 可以看出, 室外环境下行人的垂直投影图像和水平投影图像有明显的特征. 由于人体的辐射特征, 使得在红外图像中人的头、手部、腿部区域呈现比较亮的趋势, 这样在其垂直投影图中就会形成中间亮两边暗的形状, 其水平投影图中形成两个波峰中间一个波谷的形状.

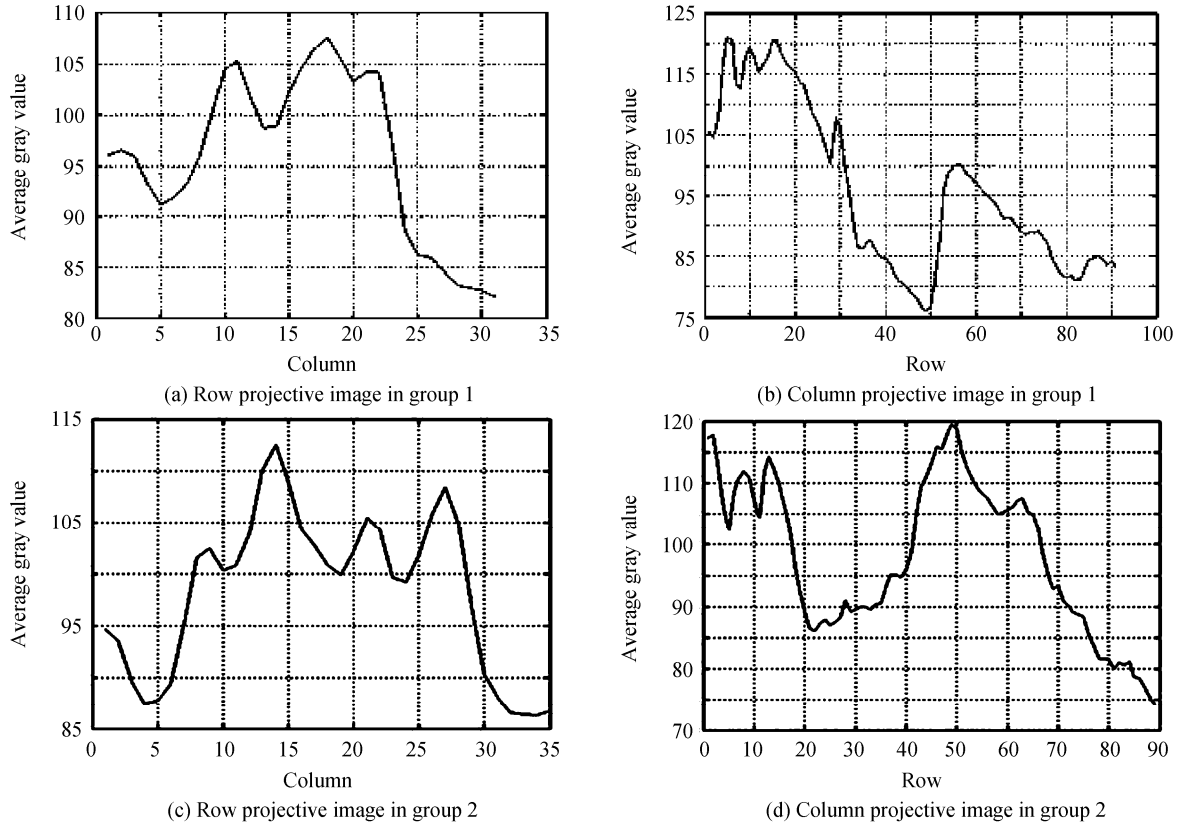


图2 图1中两组图像的行和列投影图
Fig.2 Row and column projective image in Fig.1

为便于描述,将可见光通道和红外通道的 Bhattacharyya 系数分别记为 $\hat{\rho}_{vis}(y)$ 和 $\hat{\rho}_{IR}(y)$ 。

2.2 权值计算

相似性度量贯穿 mean-shift 算法的推导过程和算法流程,用于衡量每一步迭代时候选目标和目标的相似程度,在每一帧迭代结束时,前后两帧目标的相似度的大小也就反应了该通道提供有用信息的多少.因此,在用红外和可见光双通道进行目标跟踪时,可以用相似度的函数来描述每个通道的权重。

在实际的跟踪过程中,两个通道前后两帧的相似度可能出现三种情况:

- 1)两个通道前后两帧相似度都比较大;
- 2)一个通道前后两帧相似度大,另一个较小;
- 3)两个通道相似度都比较小。

$\hat{\rho}_{vis}(y)$ 与 $\hat{\rho}_{IR}(y)$ 的取值范围是 0~1,根据实验分析, $\hat{\rho}_{vis}(y)$, $\hat{\rho}_{IR}(y)$ 大部分的取值范围在 0.9 以上,基于 $\hat{\rho}_{vis}(y)$, $\hat{\rho}_{IR}(y)$ 的取值特征和以上三点分析,设计如下函数,用来计算 $\hat{\rho}_{vis}(y)$, $\hat{\rho}_{IR}(y)$ 通道权值

$$f(\hat{\rho}) = \begin{cases} 2.541 \times (e^{-\frac{(\hat{\rho}-1)^2}{0.2}} - 0.6065) & 0.9 \leq \hat{\rho} \leq 1 \\ 0 & 0 \leq \hat{\rho} < 0.9 \end{cases} \quad (8)$$

而后对式(8)求出结果进行归一化,得到可见光通道和红外通道的权值

$$C_{vis} = \frac{f(\hat{\rho}_{vis})}{f(\hat{\rho}_{vis}) + f(\hat{\rho}_{IR})}$$

$$C_{IR} = \frac{f(\hat{\rho}_{IR})}{f(\hat{\rho}_{vis}) + f(\hat{\rho}_{IR})} \quad (9)$$

2.3 加权 mean-shift 双通道目标跟踪算法推导

参照 mean-shift 目标跟踪的推导过程,对加权 mean-shift 双通道目标跟踪算法进行推导。

Taylor 级数展开,取其前两项进行逼近,基于加权的双通道相似性函数,即 Bhattacharyya 系数为

$$\rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = C_{vis} \rho[\hat{p}_{vis}(y), \hat{q}_{vis}] + C_{IR} \rho[\hat{p}_{IR}(y), \hat{q}_{IR}]$$

$$\hat{q}_{IR} \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m (C_{vis} \sqrt{\hat{p}_{u,vis}(\hat{y}_0) \hat{q}_{u,vis}} + C_{IR} \sqrt{\hat{p}_{u,IR}(\hat{y}_0) \hat{q}_{u,IR}}) + \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^{n_h} [C_{vis} \omega_{i,vis} k \cdot (\left\| \frac{y-x_i}{h} \right\|^2) + C_{IR} \omega_{i,IR} k \cdot (\left\| \frac{y-x_i}{h} \right\|^2)] \quad (10)$$

式(10)中 $\omega_{i,vis}$, $\omega_{i,IR}$ 的计算同式(6).式(10)中只有第二项随 y 变化,所以只分析第二项,令

$$f_{n,k} = \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^{n_h} \left[C_{\text{vis}} \omega_{i,\text{vis}} k \left(\left\| \frac{y-x_i}{h} \right\|^2 \right) + C_{\text{IR}} \omega_{i,\text{IR}} k \left(\left\| \frac{y-x_i}{h} \right\|^2 \right) \right] \quad (11)$$

为使式(10)最大,只需式(11)最大即可.为计算式(11)最大时的 y 值,对 $f_{n,k}$ 求导,且令

$$\hat{\nabla} f_{n,k}(x) = 0 \quad (12)$$

根据 mean-shift 迭代原理^[7],可以求出

$$\hat{y} = \frac{C_{\text{vis}} \sum_{i=1}^{n_h} x_i \omega_{i,\text{vis}} g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^{n_h} \omega_{i,\text{vis}} g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} + \frac{C_{\text{IR}} \sum_{i=1}^{n_h} x_i \omega_{i,\text{IR}} g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^{n_h} \omega_{i,\text{IR}} g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (13)$$

2.4 加权 mean-shift 双通道目标跟踪步骤

假定两通道目标模型: $\{\hat{q}_{u,\text{vis}}, \hat{q}_{u,\text{IR}}\}_{u=1,\dots,m}$, 目标在前一帧的被估计位置为 \hat{y}_0 .

1) 初始化当前帧候选目标位置为 \hat{y}_0 , 候选模型: $\{\hat{p}_{u,\text{vis}}(\hat{y}_0), \hat{p}_{u,\text{IR}}(\hat{y}_0)\}_{u=1,\dots,m}$, 估计各通道 Bhattacharyya 系数

$$\hat{\rho}_{\text{IR}}(\hat{y}_0) \approx \rho[\hat{p}_{\text{IR}}(\hat{y}_0), \hat{q}_{\text{IR}}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_{u,\text{IR}}(\hat{y}_0) \hat{q}_{u,\text{IR}}} \quad (14)$$

$$\hat{\rho}_{\text{vis}}(\hat{y}_0) \approx \rho[\hat{p}_{\text{vis}}(\hat{y}_0), \hat{q}_{\text{vis}}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_{u,\text{vis}}(\hat{y}_0) \hat{q}_{u,\text{vis}}} \quad (15)$$

2) 由式(6)计算权值 $\{\omega_{i,\text{vis}}, \omega_{i,\text{IR}}\}_{i=1,\dots,m}$.

3) 由式(8)~(9)计算各通道权值 $C_{\text{vis}}, C_{\text{IR}}$.

4) 由式(13)计算新的候选目标位置 \hat{y}_1

$$\hat{y}_1 = \frac{C_{\text{vis}} \sum_{i=1}^{n_h} x_i \omega_{i,\text{vis}} g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^{n_h} \omega_{i,\text{vis}} g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} + \frac{C_{\text{IR}} \sum_{i=1}^{n_h} x_i \omega_{i,\text{IR}} g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^{n_h} \omega_{i,\text{IR}} g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (16)$$

5) 若 $\max(\rho_{\text{vis}}(\hat{y}_1), \rho_{\text{IR}}(\hat{y}_1)) \leq \max(\rho_{\text{vis}}(\hat{y}_0), \rho_{\text{IR}}(\hat{y}_0))$, 则 $\frac{1}{2}(\hat{y}_0 + \hat{y}_1) \rightarrow \hat{y}_1$, 并计算 $\rho[\hat{p}_{\text{IR}}(\hat{y}_1), \hat{q}_{\text{IR}}], \rho[\hat{p}_{\text{vis}}(\hat{y}_1), \hat{q}_{\text{vis}}]$.

6) 如果 $\hat{y}_1 - \hat{y}_0 \leq \epsilon$, 则认为找到新的目标位置, 停止搜索. 否则令 $\hat{y}_1 \rightarrow \hat{y}_0$, 并转向步骤 2).

3 实验结果及分析

本文实验所采用的图像全部是由我们自己搭建

的采集设备采集获得,图3给出了可见光/红外像机及可见光/红外图例.红外热像仪是由昆明物理研究所研制,采用非制冷焦平面阵列成像,工作波段 $8 \sim 12 \mu\text{m}$,视场角 $5.5^\circ \times 4.1^\circ \pm 5\%$;可见光像机采用台湾产 480 线 MINTRON 像机,可见光镜头采用可变焦长镜头,以调整可见光像机焦距与红外热像仪近似,便于手动配准.

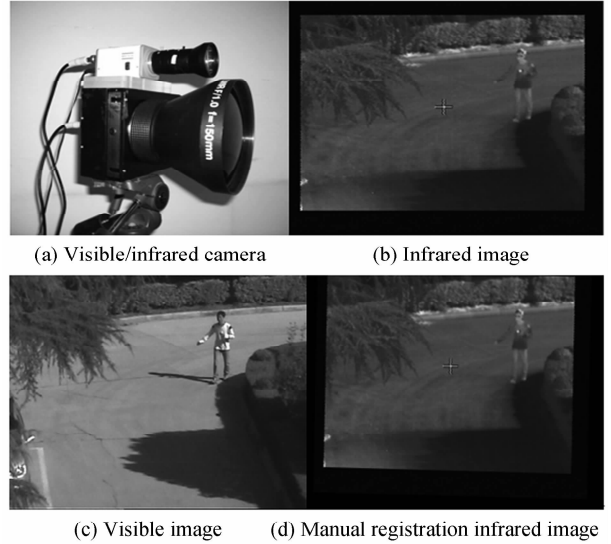


图3 本文所用采集设备及红外/可见光图例

Fig. 3 Equipment used in article and visible/infrared image

可见光和红外双通道时空同步是双通道检测跟踪的前提.时间同步通过多通道采集卡同步采集来实现;将红外和可见光传感器固定在一起,使两个传感器空间相对位置固定,通过手动配准来实现空间同步.

设实验场景中行人由阳光直射状态进入树荫区域,而后再从树荫下走出.当行人进入树荫区域时,其亮度会发生变化,本实验就是要验证当目标亮度有变化时,本文所提的基于加权 mean-shift 可见光/红外双通道目标跟踪算法的有效性.

3.1 基于 mean-shift 可见光通道目标跟踪

图4给出基于 mean-shift 可见光通道图像跟踪时,第10帧到第70帧每隔20帧的跟踪结果.从图中可以看出,在进入树荫之前(第30帧之前),都能获得较好的跟踪结果,这是由于行人在起始帧处于阳光直射状态下,目标模型也是在该状态下得到的,所以在进入树荫之前行人能较好地跟踪,当目标进入树荫区域,行人的亮度发生突变,导致跟踪结果与真实目标位置有很大的偏差(第50~70帧).

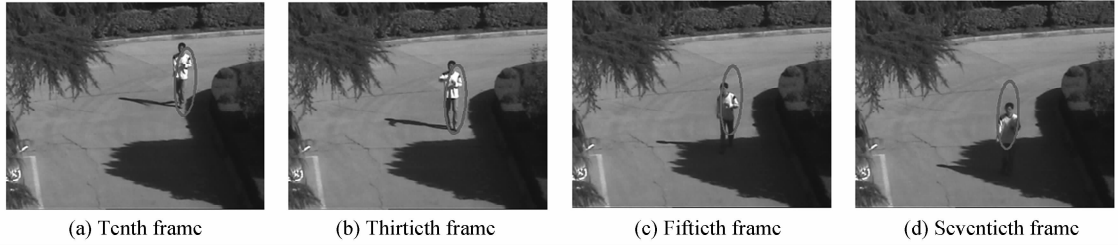


图 4 基于 mean-shift 可见光通道目标跟踪结果
Fig. 4 Visible channel target tracking based on mean-shift

3.2 基于 mean-shift 红外通道目标跟踪

图 5 给出基于 mean-shift 红外通道图像跟踪时,第 10 帧到第 70 帧每隔 20 帧的跟踪结果.从图中可以看出,由于红外图像提供的信息量少,其整体

跟踪结果不是很好,但是在树荫区域的跟踪效果和阳光直射下的跟踪效果相当,这说明红外通道的跟踪不受光照和阴影的影响.

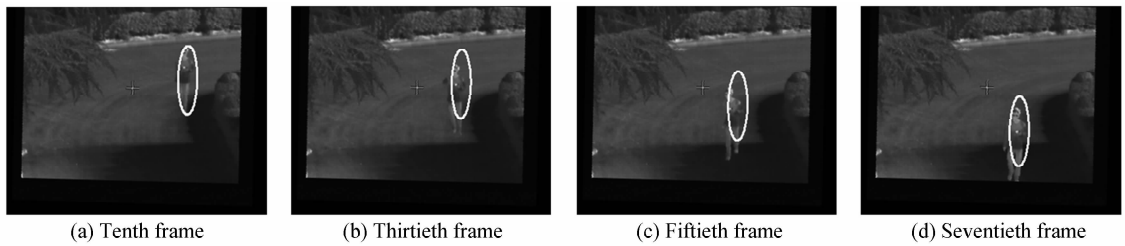


图 5 基于 mean-shift 红外通道目标跟踪结果
Fig. 5 Infrared channel target tracking based on mean-shift

3.3 加权 mean-shift 可见光/红外双通道目标跟踪

从 3.1 节和 3.2 节可以看出,由于成像机理的差异,可见光通道进行目标跟踪时,由于可见光图像颜色信息丰富,信噪比高,在没有光照条件突变等影响时,能达到很好的跟踪效果,但是当出现光照突变时,目标亮度发生突变,致使跟踪效果变差;而在红外通道中,目标的亮度主要由目标本身辐射产生,受光照变化影响小,一般来说,其亮度不会发生突变^[9-10],但是红外图像提供的信息有限,整体跟踪效果偏差.同时利用可见光和红外进行目标跟踪,可以充分利用各通道的优势,避免其劣势.

跟踪效果相近,在 42~70 帧,红外通道的相似度明显高于可见光通道,这是因为在这些帧中,目标从阳光直射区域进入树荫区域引起目标亮度发生突变,致使可见光相似度变差,根据“权值计算”一节中的权值计算方法,可见光通道的权值会很小,而红外通道的权值会很大,这时,红外通道在决定目标位置时起到决定作用,而可见光通道作用很小,这样,就使得有利信息起决定作用,而不利信息作用小,达到有效利用双通道信息的目的.

图 6 给出了双通道跟踪时两个通道的相似度,可以看出:在 10~42 帧,红外和可见光跟踪相似度很相近,并且值都接近 1,说明在这些帧中两个通道

跟踪效果相近,在 42~70 帧,红外通道的相似度明显高于可见光通道,这是因为在这些帧中,目标从阳光直射区域进入树荫区域引起目标亮度发生突变,致使可见光相似度变差,根据“权值计算”一节中的权值计算方法,可见光通道的权值会很小,而红外通道的权值会很大,这时,红外通道在决定目标位置时起到决定作用,而可见光通道作用很小,这样,就使得有利信息起决定作用,而不利信息作用小,达到有效利用双通道信息的目的.

图 7 给出了基于加权 mean-shift 红外/可见光双通道目标跟踪算法的跟踪结果,为便于与图 4 和图 5 进行比较,图 7 分别在可见光通道和红外通道中显示了双通道跟踪结果.与图 4 和图 5 相比,基于加权 mean-shift 红外/可见光双通道目标跟踪算法,对跟踪效果有两个方面的改进:①在阳光直射区域,跟踪准确度更高.图 4 可见光通道中,第 10 帧跟踪结果和实际目标位置有一定的偏差,而图 5 红外通道中,第 10 帧也存在偏差,而在图 7 中,由于综合利用红外和可见光的信息,增加了信息量,使得跟踪效果比单独用红外和可见光都好;②在树荫区域,提高了可见光的跟踪准确度.图 4 中可以看出,在进入树荫区域后,可见光的跟踪效果急剧下降,这是由目标的亮度发生突变引起,而红外在这些帧中跟踪效果比可见光好,结合红外信息,在这些帧仍然取得好的跟踪效果.

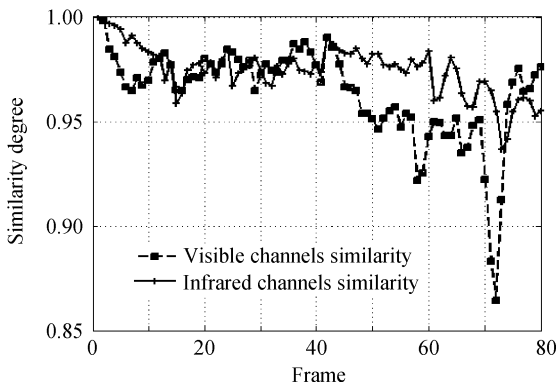


图 6 可见光/红外通道相似度比较图
Fig. 6 Comparison of visible/infrared channels similarity degree

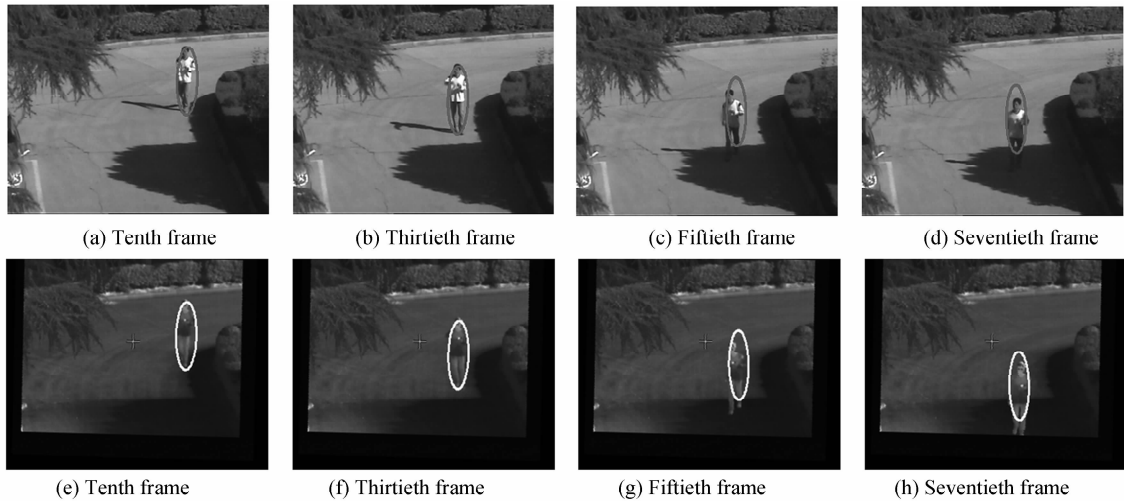


图7 基于加权 mean-shift 可见光/红外双通道跟踪结果

Fig.7 Visible/infrared dual-channel target tracking based on weighted mean-shift

4 结论

本文结合可见光和红外双通道信息,利用 mean-shift 算法中的 Bhattacharyya 系数计算各通道权值,提出了基于加权 mean-shift 可见光/红外双通道目标跟踪方法,该方法使前后两帧目标相似度大的通道取大的权值,从而有效利用了有利信息,实验表明,基于加权 mean-shift 可见光/红外双通道目标跟踪方法与基于 mean-shift 单通道(可见光或红外)目标跟踪方法相比提高了跟踪准确度,特别是当目标进入树荫区域,引起目标亮度发生显著变化时,跟踪性能基本不受影响。

参考文献

- [1] CONAIRE C Ó, COOKE E, O'CONNOR N, *et al.* Fusion of infrared and visible spectrum video for indoor surveillance[C]. *6th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services*, 2005.
- [2] CONAIRE C Ó, COOKE E, O'CONNOR N, *et al.* Background modelling in infrared and visible spectrum video for people tracking[C]. *IEEE*, 2005, **3**: 20-25.
- [3] LEYKIN A, HAMMOUD R. Robust multi-pedestrian tracking in thermal-visible surveillance videos [C]. *Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, 2006, **17**(22): 136-143.
- [4] CONAIRE C Ó. Multi-spectral object segmentation and retrieval in surveillance video[C]. *Proceedings of the 13th International Conference on Image Processing*, 2006: 2381-2384.
- [5] CHEN Cheng-yao, WOLF W. Background modeling and object tracking using multi-spectral sensors[C]. *Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Video Surveillance and Sensor Networks*, 2006: 27-34.
- [6] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P, *et al.* Kernel-based object tracking [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(5): 564-577.
- [7] ZHUN Sheng-li. A study of mean shift and correlative algorithm in visual tracking [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
朱胜利. MeanShift 及相关算法在视频跟踪中的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [8] FANG Y, YAMADA K, NINOMIYA Y, *et al.* Comparison between infrared-image-based and visible-image-based approaches for pedestrian detection[C]. *IEEE*, 2003: 505-510.
- [9] WANG Yong-zhong, ZHAO Chun-hui, LANG Yan, *et al.* A method for IR imaging target tracking based on texture feature [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(11): 2163-2167.
王永忠, 赵春晖, 梁彦, 等. 一种基于纹理特征的红外成像目标跟踪方法[J]. 光子学报, 2007, **36**(11): 2163-2167.
- [10] WEI Kun, ZHAO Yong-qiang, PAN Quan, *et al.* An improved similarity measure based IR target tracking algorithm[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(5): 987-991.
魏坤, 赵永强, 潘泉, 等. 一种改进相似度量度的红外目标跟踪算法[J]. 光子学报, 2008, **37**(5): 987-991.

Visible/Infrared Dual-channel Target Tracking Based on Weighted Mean-shift

CHENG Yong-mei, WANG Jin-xing, WEI Kun, PAN Quan, CHENG Cheng

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: According to the visible and infrared image sequences, when tracking in every frame, color features of visible image, vertical projective image and horizontal projective image features of infrared image are extracted. The weight in each channel was calculated with Bhattacharyya coefficient, and the weighted mean-shift tracking algorithm in dual-channel videos was derived. So visible/infrared dual-channel target tracking algorithm based on weighted mean-shift was proposed to improve tracking performance while luminance of object is changed. The proposed algorithm can effectively use the better information of each channel, for it makes the channel whose Bhattacharyya coefficient is higher have higher weight. The experiment in object tracking demonstrates that the proposed algorithm overall performance outperforms one channel (visible or infrared) target tracking algorithm based on mean-shift, and it almost remains the tracking performance when luminance of object is changed.

Key words: Visible/infrared dual-channel; Weighted mean-shift; Target tracking



CHENG Yong-mei was born in 1960. She received the Ph. D. degree in control theory and control engineering at the Northwestern Polytechnical University, Xi'an in 2001. Now she is a professor in the College of Automation at Northwestern Polytechnical University. Her research interests focus on digital signal processing, image processing, information fusion, target tracking and recognition, integrated navigation.