

一种改进 Mean shift 算法的视频监控系统

亢朋朋¹, 朱锡芳², 南东亮¹, 金运策¹

(1 河海大学 能源与电气学院, 江苏 南京 210098; 2 常州工学院 光电工程学院, 江苏 常州 213002)

摘 要: 在 TiDavinciDM6446DSP 硬件基础上, 结合 Mean shift 跟踪算法本身的特点, 针对跟踪物体在大比例或相对时间长的阻挡, 以及视频的采集、处理、传输过程可能出现的失真丢包现象, 采用改进型的牛顿插值算法, 确定目标接近真实位置的最优位置. 插入改进后的算法具有很好的实时性和准确性.

关键词: Mean shift 跟踪算法; 目标像素; 遮挡; 优化; 牛顿插值法

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)02-0153-04

An Improved Mean Shift Algorithm of Video Monitoring System

KANG Peng-peng¹, ZHU Xi-fang², NANG Dong-liang¹, JIN Yun-ce¹

(1 College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2 School of Optoelectronics Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China)

Abstract: For tracking objects in a large proportion or relative time length of the barrier, and video acquisition, processing, transmission may occur distortion loss phenomenon. Using the modified Newton interpolation algorithm, and combined with characteristics of Mean shift tracking algorithm to determine the target close to the true location of the optimal location, based on TiDavinciDM6446DSP hardware. Insertion of the improved algorithm has good accuracy and real-time performance.

Key words: Mean shift tracking algorithm; target pixel; shielding; optimization; Newton interpolation

1 引言

运动目标跟踪一直是视频监控系统研究领域的热点问题. 它要求在遮挡、光照变化等各种因素的干扰下, 能准确有效对视频序列中的目标进行实时、有效跟踪. 常见的目标跟踪、识别的方法有: 匹配法、差分检测法、背景剔除法^[1]、Mean shift 方法^[2]等. 其中 Mean shift 算法用核函数对目标的色彩或灰度直方图分布进行加权, 用相似度函数来进行模板匹配. 由于灰度或色彩直方图体现了目标的灰度或色彩分布的统计特性, 它不受目标外形变化的影响, 是比较有效的模版之一. 它的迭代过程就是寻找邻域内极大值. 一般迭代的初始位置取上一帧目标位置, 找到邻域内的极大值后, 迭代停止.

传统的 Mean shift 方法由于自身理论的原因具有以下常见缺点^[3]: 核函数直方图对目标的特征

描述比较弱, 在灰度图像或者纹理信息较少图像的目标跟踪时, 不能取得很好的跟踪效果; Mean shift 是一种爬山 (climb hilling) 算法, 因此这种算法容易陷入局部的极大值, 收敛速度慢, 不能很好地解决目标存在遮挡的问题. 针对这些问题本文在 Mean shift 方法基础上, 插入一种改进后的牛顿插值算法, 计算出一个相对精确的目标位置, 把它作为 Mean shift 算法的起始位置, 最后迭代出目标的当前的最优位置. 结合 DM6446dsp 强大算法处理能力, 对采集的视频序列试验跟踪测试验证.

2 算法实现的硬件系统

本文算法实现的硬件系统为 SEEDDVS6446 视频监控板系统. CPU 采用 TiDavinciDM6446DSP 芯片, 广泛用于智能视频监控领域. TIDM6446 是 TI C6000 系列中速度 4800MIPS 的双核处理器, 片

上集成了高速 C64x+ DSP 处理器和 ARM926EJS 处理器. 其中 DSP 处理器单独完成运动检测, 目标跟踪, 视频压缩、视频解码等多项任务, 而 ARM 处理器完成对整个系统的控制, 二者协同工作. 在智能监控系统中完全满足大量运动检测、目标跟踪、数据压缩等算法对实时性, 计算能力和大量的外部存储器的要求. 因此本文采用此系统可以完全满足视频跟踪算法处理的要求.

3 Mean shift 算法^[4-7]

Mean shift 对于目标的描述需要提取相应的特征, 一般用物体的灰度或色彩分布来描述目标物体, 计算核函数加权下的搜索窗口的直方图分布; 并用同样的方法计算当前帧对应窗口的直方图分布; 以两个分布的相似性最大为原则使搜索窗口沿密度增加最大的方向移动目标的真实位置. 简要过程如下, 当前帧的目标模型为:

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

式中 $k(\|x\|^2)$ 是核函数, 随着样本点与目标中心处的距离越远, 对最终结果产生的影响将越小, h 表示核函数的带宽, x_i 是目标模型中各像素点位置. 函数 $\delta[b(x_i) - u]$ 是用来判断 x_i 处的颜色值是否属于特征值 u , c 是满足所有特征值 u 的概率和为 1 的标准化常量系数.

类似式(1), x_i 是候选目标中归一化像素点位置, 当前帧图像中的中心点在 y_0 处. 采用同样的核剖面函数 $k(\|x\|^2)$, 带宽为 h , 特征概率 u , 则候选目标模型为:

$$\hat{p}_u(y_0) = c_h \sum_{i=1}^{n_h} k\left(\left\|\frac{y_0 - x_i}{h}\right\|^2\right) \delta[b(x_i) - u] \quad (2)$$

用当前目标目和候选目标模型间的距离来定义其相似度, 相似函数为:

$$\rho(y) = \rho[p(y), q] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u} \quad (3)$$

为使 $\rho(y)$ 最大, 在 y_0 域内寻找局部目标最优位置 y . 对式(3) 在 $\hat{p}(y_0)$ 处进行泰勒展开, 相似性函数可近似为:

$$\rho[\hat{p}(y), q] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y_0) \hat{q}_u} + \frac{c_h}{2} \sum_{i=1}^{n_h} \omega_i k\left(\left\|\frac{y - x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (4)$$

其中 $\omega_i = \sum_{i=1}^m \delta[b(x_i) - u] \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(y_0)}}$ 为权值,

对式(4) 求极值就能实现目标最优匹配, 得到新的位置为:

$$\dot{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_i \omega_i g\left(\left\|\frac{y_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^{n_h} \omega_i g\left(\left\|\frac{y_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (5)$$

通过对 Mean shift 算法反复迭代最后得到在当前帧目标的最优位置 y .

4 Mean shift 目标跟踪算法优化

在文献[3] 中提到 Mean shift 算法的自身缺点以及泰勒展开的性质, 式(4) 中当前帧的窗口中心 y_0 在 $\hat{p}(y_0)$ 处相似性函数必须是在领域 y_0 内泰勒展开, 则 y_0 与 y 间的距离就要相近, 这对 Mean shift 算法应用就有很大的局限性. 当在目标物体在运动过快, 受遮挡的比例较大以及视频采集、处理、传输过程中的出现的图像失真丢包现象都可能导致 y_0 与 y 间的距离变大, 由式(5) 迭代求得最优位置就会有很大偏差, 从而不能得到准确的跟踪视频图像. 因此在这里采用改进型的牛顿插值法, 优化 Mean shift 算法的迭代初始位置 y_0 , 使其在一定程度上接近目标的真实位置.

4.1 牛顿插值模型的建立

根据牛顿插值法^[8] k 阶均差定义:

$$\begin{aligned} a_k &= f[t_0, t_1 \cdots t_k] \\ &= \frac{f[t_0 \cdots t_{k-2}, t_k] - f[t_0, t_1 \cdots t_k]}{t_k - t_{k-1}} \end{aligned} \quad (6)$$

式中 $t_k (k = 0, 1, 2 \cdots n)$ 在此表示第 k 帧为当前帧中候选跟踪目标的像素位置, 它的范围为 $[t_0, t_n]$, $f(t_k)$ 为待跟踪目标的中心位置. 借助均差的定义则 n 阶牛顿插值多项式为:

$$\begin{aligned} f(t) &= a_0 + a_1 \omega_1(t) + a_2 \omega_2(t) + \cdots + a_n \omega_n(t) + \\ &\quad f[t, t_0, \cdots t_n] \omega_{n+1}(t) \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $\omega_n(t) = (t - t_0)(t - t_1) \cdots (t - t_{n-1})$, 令

$$\begin{aligned} P_n(t) &\approx f(t) \\ &= a_0 + a_1 \omega_1(t) + a_2 \omega_2(t) + \cdots + a_n \omega_n(t) \end{aligned} \quad (8)$$

$$R_n(t) = f(t) - P_n(t) = a_n \omega_{n+1}(t) \quad (9)$$

式(7) 中 $f(t)$ 为通过当前已知候选跟踪目标的像素位置迭代出的目标像素(目标像素的 X 和 Y 轴方向位置坐标值需分别计算) 在当前帧可能出现的位置, $P_n(t)$ 为其近似值, 截断误差 $R_n(t)$ 为插值余项(此处看作一定的误差裕度).

4.2 改进的牛顿插值法

改进牛顿插值法就是对 3.1 中的模型进行取不同的步长,根据相邻帧的相似性原则,把失真的误差图像屏蔽掉,多次迭代计算,最后取收敛结果。

这里取不同的步长就是分别选取间隔递增帧数的已知候选跟踪目标的像素位置进行式(8)、(9)插值计算。步长设为 $s(s=1,2,3\cdots j)$,当 $s=1$ 时,得到一组当前帧目标像素可能位置 $P_{n,1}(t), P_{n,2}(t), P_{n,3}(t)\cdots P_{n,n}(t)$ 和一组插值余项 $R_{n,1}(t), R_{n,2}(t), R_{n,3}(t)\cdots R_{n,n}(t)$ 。当 $s=j$ 时得到的两组数据为 $P_{n,1}(t), P_{n,1+j}(t), P_{n,1+2j}(t)\cdots P_{n,1+(n-1)j}(t)$ 和 $R_{n,1}(t), R_{n,1+j}(t), R_{n,1+2j}(t)\cdots R_{n,1+(n-1)j}(t)$ 。

可以看出后一组数据就是对前一组的部分截取,这样就可以舍去其中有误差的部分。对上面后一组数据的前半部分求取平均值和后半部分取最大值:

$$\overline{P_n(t)} = \frac{P_{n,1}(t) + P_{n,1+j}(t) + \cdots + P_{n,1+(n-1)j}(t)}{1 + (n-1)j} \quad (10)$$

$$R_n(t)_{\max} = \max\{R_{n,1}(t), R_{n,1+j}(t) \cdots R_{n,1+(n-1)j}(t)\} \quad (11)$$

通过误差裕度 $R_n(t)_{\max}$ 分析来判断是否发生了较大比例的阻挡和图像失真现象。

4.3 算法实现简要过程

(1) 如果 $R_n(t)_{\max} \geq \alpha$ (α 为门限阈值),说明图像出现了较大比例阻挡、丢包和失真,这里需要改变式(10)中对应的步长 s (s 取 $s+1$),使视频帧数间隔变大,再进行式(9)、(11) 计算判断。

(2) 直到 $R_n(t)_{\max} < \alpha$,表明此时消除了阻挡、丢包和失真等引起的误差影响,然后计算式(8)、(10),把此处得到的均值 $\overline{P_n(t)}$ 即当前帧目标像素的可能位置。

(3) 把(2)中结果作为 Mean Shift 算法的起始位置 y_0 代入式(5) 进行反复迭代计算。然后 Mean shift 会在这个位置的邻域内寻找到目标在当前帧位置 y ,并将它作为当前帧目标的最优位置,最后退出循环进入下一帧的计算。

5 实验分析

把文中的优化算法程序载入 SEEDDVS6446 视频监控系统,采集视频测试序列和通过算法处理后得到的跟踪序列,分别对基于 Mean shift 算法和插入改进的牛顿插值法后的优化算法序列进行试验比较分析。参考的视频序列中快速移动的人体为跟踪

目标,如图 1 为视频的原始图像。图 2、图 3 分别为 Mean shift 算法和基于本文插入改进型的牛顿插值法优化后的算法的跟踪视频序列图像,分别截取它们视频序列的第 3、15、30 帧。

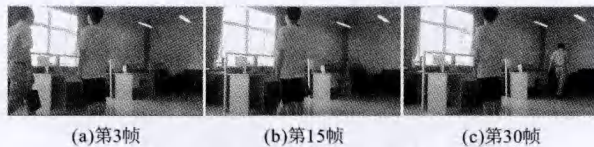


图 1 视频的原始图像

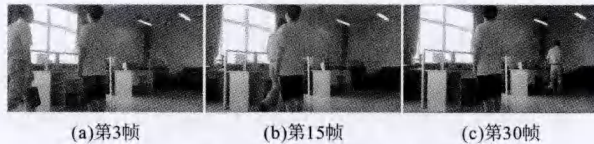


图 2 Mean shift 跟踪图像

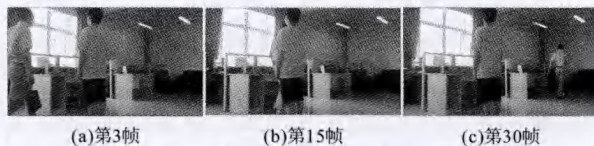


图 3 插入改进算法后的 Mean shift 跟踪图像

通过观察对图 1、2、3 的第 3、15 帧纵列比较,图像中目标人体基本都保持同步;而在第 15 帧纵列图像比较时,会发现图 2 中目标发生了较大偏差,而图 3 与图 1 还基本保持在同步状态。从而容易知道在遮挡情况下 Mean shift 算法跟踪效果出现很大偏差。为了给优化算法做更明确的量化评价,图 4、5 中分别绘制了在平面纵横坐标方向原始图像的目标像素的实际位置、Mean shift 算法跟踪预测位置和插入优化算法后的跟踪预测位置(下图横轴为截取的帧序列,纵轴分别为对应帧序列下的目标像素相对参考点相应位置)。

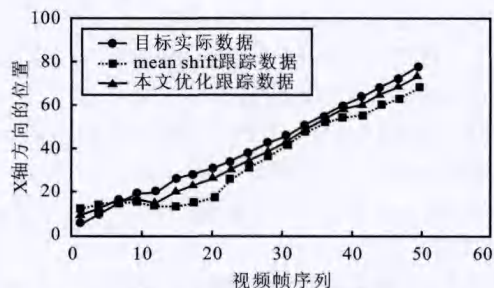


图 4 X 轴方向的目标像素的位置

通过图 4、5 可以看到单纯的 Mean shift 算法已近基本可以预测到目标像素的位置,但是在 10~20 帧间出现了障碍物的遮挡,预测的位置出现了较大的偏差,但是文中的优化算法恰好可以解决这一问题。观察 X、Y 轴数据曲线可知,本文算法量化数据曲线和实际数据曲线基本重合,具有很好地稳定性

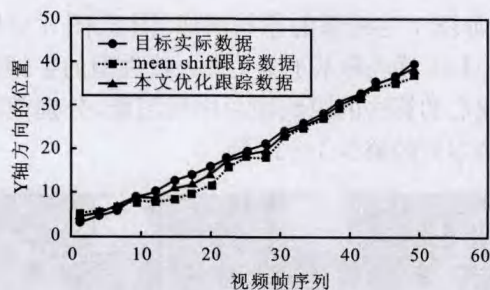


图5 Y轴方向的目标像素的位置和收敛性,保证对目标的实时、精确跟踪。

6 结束语

本文在 Mean Shift 跟踪算法的基础上,针对它的不足,插入改进的牛顿插值法进行优化,并给出门限阈值快速判断收敛。通过实验把改进后的算法与原算法视频比较验证了改进后的跟踪算法能很好解决跟踪阻挡问题,比较准确的预测目标下一帧的位置。最后根据量化数据图分析可以证明跟踪视频具有很好的稳定性和实时性,可在相关的视频监控推广及应用。但在加入改进插值算法后保证了跟踪的准确性和稳定性的同时,却增加了迭代次数,这对系统的硬件要求高,成本也相应的增加。因此在进一步研究中将解决这个问题,并将它运用在变电站监控系统中,实现变电站的无人值守。

参考文献:

- [1] Elgammal A, Duraiswami R. Background and foreground modeling using nonparametric Kernel density estimation for visual surveillance [J]. Proceedings of the IEEE, 2002, 90 (7): 1115-1163.
- [2] Comaniciu D, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-577.
- [3] Mark Fashing, Carlo Tomasi. Mean shift is a bound optimization [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27 (3): 471-474.
- [4] 朱胜利, 朱善安, 李旭超. 快速运动目标的 Mean shift 跟踪算法[J]. 光电工程, 2006, 33(5): 66-70.

- [5] 陈爱斌, 蔡自兴, 董德毅. 一种基于目标和背景加权的跟踪方法[J]. 控制与决策, 2010, 25(8): 1246-1250.
- [6] 冀峰, 高新波, 谢松云. Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(6): 652-653.
- [7] 胡波. 基于改进 Mean shift 算法的实时视频目标跟踪[J]. 光子学报, 2012, 41(4): 462-465.
- [8] 李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析[M]. (5版). 北京: 清华大学出版社, 2008.

作者简介:



亢朋朋 男, (1986—), 硕士生. 研究方向为电力系统保护与监控。



朱锡芳 男, (1965—), 博士, 教授. 研究方向为光学、应用电子。



南东亮 男, (1985—), 硕士生. 研究方向为电力系统保护与控制。



金运策 男, (1988—), 硕士生. 研究方向为电能质量分析与控制。