

融合深度与肤色特征的自适应手部跟踪算法

钮晨霄 孙 瑾 丁永晖

(南京航空航天大学民航学院 南京 210016)

(南京航空航天大学飞行模拟与先进培训工程技术研究中心 南京 210016)

摘 要 手部跟踪技术是实现自然人机交互的关键。针对现有跟踪方法易受光照、环境等影响及鲁棒性差的不足,提出一种融合深度与肤色特征的自适应手部跟踪算法。考虑手部运动过程的形变,该算法首先利用深度平滑连续性选取深度阈值以实现跟踪区域的自适应尺度变化,获得手部候选区域。在此基础上建立 YCbCr 空间肤色归一化直方图,在粒子滤波框架下将跟踪问题转换为贝叶斯估计问题,基于最大后验准则确定手部位置,并通过监测粒子重要性权值的方差解决跟踪失效问题,实现复杂观测环境下的鲁棒跟踪。实验结果表明,该跟踪算法可适应不同复杂环境,鲁棒性良好。

关键词 深度特征,粒子滤波,自适应手部跟踪,肤色归一化直方图

中图法分类号 TP391 文献标识码 A

Adaptive Hand Tracking Based on Fusing Depth and Skin Features

NIU Chen-xiao SUN Jin DING Yong-hui

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

(Engineering Research Center for Flight Simulation and Advanced Training, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract Hand tracking is key to realize natural human-computer interaction. The existing hand tracking algorithms for human-computer interaction can be easily affected by illumination and have poor robustness. In this paper, an adaptive hand tracking by the fusion of depth and skin color features was put forward. Considering the deformation of hand, the algorithm uses the depth threshold to achieve adaptive changes of tracking region with the continuity and smoothness of depth feature and obtains the hand alternative regions. Then, via skin color feature of YCbCr space, the skin normalized histograms were established to describe the alternative regions. Under the framework of particle filter, the hand tracking is converted into Bayes estimation problem and the algorithm determines the hand position based on the maximum a posteriori (MAP). The variance of particle weights was monitored to solve the problem of tracking failure. Experimental results show that, the proposed algorithm can achieve accurate and robust tracking performance in real-time with complex background.

Keywords Depth feature, Particle filter, Adaptive hand tracking, Skin normalized histogram

人机交互技术作为虚拟现实的一个重要环节受到人们越来越多的关注,随着计算机技术的发展,人们对它提出了更高的要求,研究符合人类自然习惯的人机交互技术得到了国内外学者的广泛关注,其中基于手的信号控制是人机交互研究的重点,建立基于手部识别计算机视觉技术的人机交互环境在小型化家庭计算机娱乐设施、医疗和教育等方面都具有极大的发展前景。

目前,手部跟踪识别有两种解决方案,数据手套等硬件设备是目前解决手部人机交互的首选设备,但存在穿戴不适、价格昂贵、约束手部活动以及易损坏等问题,随着摄像机、计算机等硬件设备价格的降低,虚拟现实技术的研究和广泛应用为基于计算机视觉技术的手部交互研究提供了新的研究思

路,利用计算机视觉技术,通过分析计算确定手部的位置、运动以及手形。作为一种非接触式交互,基于视觉的手部交互更符合人的习惯,它使得交互过程更加自然,充分体现了自然和谐交互中“以人为中心”的交互特征,因此受到越来越多的关注。

基于计算机视觉技术的手部交互首要任务是实现手部的跟踪识别,目前基于计算机视觉的手部跟踪识别技术主要分为基于表现^[1,2]的方法和基于 3D 建模的方法。基于表现的算法中,基于色彩图像的检测技术得到较多研究。肤色特征具有高效和直观的特点,但存在两个问题:1) 如何选择合适的颜色空间,并确定规则中的参数;2) 无法有效排除非跟踪目标的肤色区域。针对第一个问题,已有大量学者做了相关研究,

本文受研究生创新基地(实验室)开放基金(kfjj201447),南京航空航天大学基本科研业务费青年科技创新基金(NS2013066)资助。

钮晨霄(1991—),男,硕士生,主要研究方向为航空器运行支持的信息技术、图像处理与分析,E-mail:niuchenxiao@nuaa.edu.cn;孙瑾(1977—),女,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为计算机视觉、图像处理与分析。

为降低光照影响,基于肤色模型检测跟踪算法大量应用于手部和脸部检测^[3-6],如 Chai^[4]采用 YCbCr 颜色空间的 C_b 、 C_r 平面,通过限定 C_b 、 C_r 范围获得肤色区域。文献^[5]为提高准确度,在 Y 分量上分段定义肤色区域(C_b 、 C_r)的范围。但第二个问题一直无法得到完善的解决,相关实验往往通过限定图像内出现的物体,或者利用标定的方法来解决这个问题。

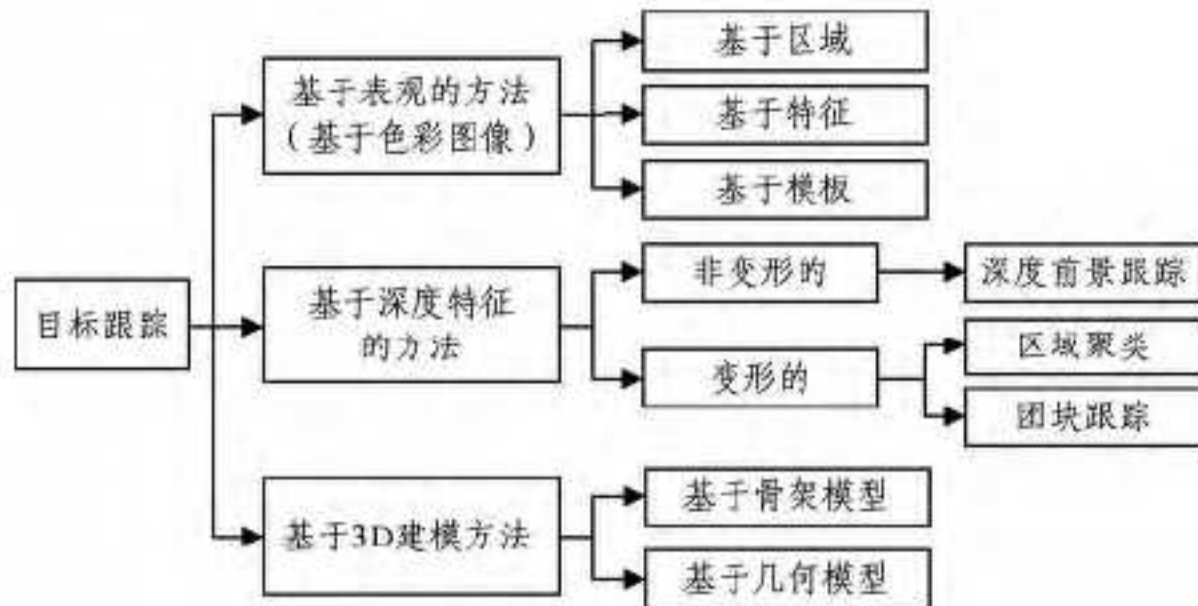


图1 检测跟踪算法的分类

Kinect 等深度摄像头的问世使基于深度特征检测^[7-14]成为热门的研究方向,目前利用深度图像特征实现目标检测主要有以下几种方法:基于深度阈值的分割^[7,8]、模型分析法^[9,10]、运动目标的检测、结合深度与颜色的分割^[11]、聚类法等。其中基于深度阈值的分割算法得到了较多的研究,如深度直方图分割^[8]、固定阈值分割、区域分割^[7]和动态阈值分割等。其中深度直方图分割区域大于手部区域,固定阈值分割限定了人与摄像头之间的距离。

目前,虽然出现了大量基于 Kinect 和深度特征的相关研究,但相关算法的研究重点是手部分割和手势识别,专门基于深度特征的手部跟踪算法的研究并不多。现有算法一般使用 Kinect 骨骼框架算法实现跟踪,但它规定人体必须半身都完整地出现在视频中,之外的其他算法一般使用帧差算法^[12],或是直接用连续检测代替跟踪^[9]。

为克服现有技术的不足,提高跟踪过程的准确性和鲁棒性,本文采用 Kinect 摄像机获取深度图像和色彩图像,基于深度特征利用深度阈值实现手部检测以解决手部运动过程中的形变问题,并结合深度和肤色特征采用粒子滤波实现高效的自适应手部跟踪。

1 手部检测跟踪框架

采用 Kinect 摄像机获取深度图像和色彩图像,提出基于融合深度与肤色特征的自适应手部跟踪算法(Adaptive Hand Tracking Based on Fusing Depth and Skin Features, AHT-DS),算法流程如图2所示。在图像预处理阶段,建立统一视角的深度图像和肤色图像,用合理的模型描述深度和肤色特征,手部检测时,利用自适应深度阈值分割算法实现手部检测和分割,自适应手部跟踪(Adaptive Hand Tracking, AHT)阶段,利用深度特征结合粒子滤波(Particle Filter, PF)实现自适应手部跟踪预测,通过度量 YCrCb 空间归一化直方图的相似性实现手部准确跟踪。

根据图2,为提高手部跟踪的准确性和鲁棒性,AHT-DS 算法同时利用肤色和深度特征。为减少类肤色区域的影响,该算法在手部分割阶段利用深度特征,为了自适应地进行手部跟踪,在连续跟踪阶段融合深度和肤色特征。

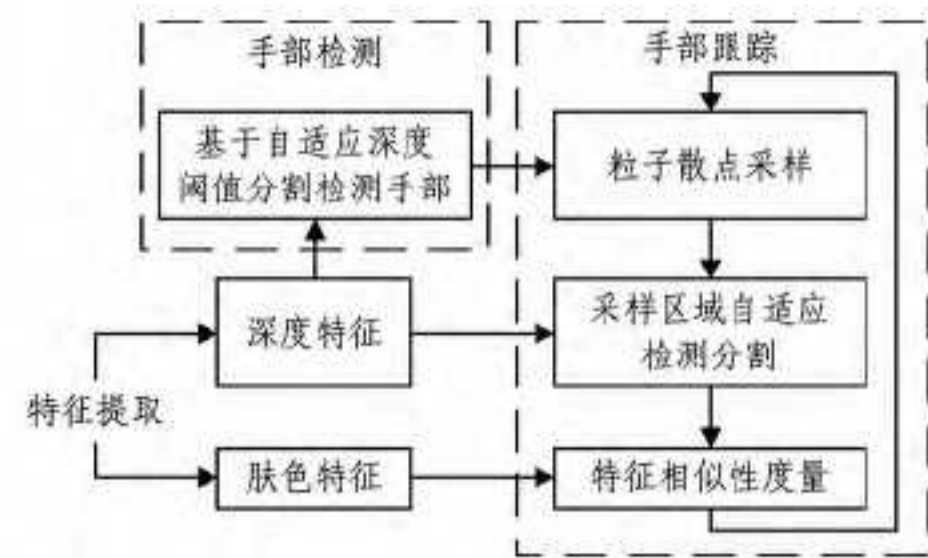


图2 融合深度和肤色特征的手部跟踪框架

2 特征提取与手部检测

为实现手部连续跟踪,首先需要选择合适的目标特征进行手部分割。

2.1 肤色模型及其特征相似性

肤色模型是关于肤色知识的计算机表示。图3示出大量统计肤色随机样本在特征空间中的分布结果符合高斯分布。肤色在颜色空间具有聚类性,但易受光照影响。考虑到肤色在色度空间的聚类性,采用 YCbCr 空间模型描述肤色特征,为克服光照,放弃亮度分量 Y ,采用归一化直方图统计 C_b 、 C_r 分量的特征。如图4对比了不同环境的手势以及随机背景的归一化直方图。可知,由 YCbCr 描述的肤色特征有良好的聚类性。

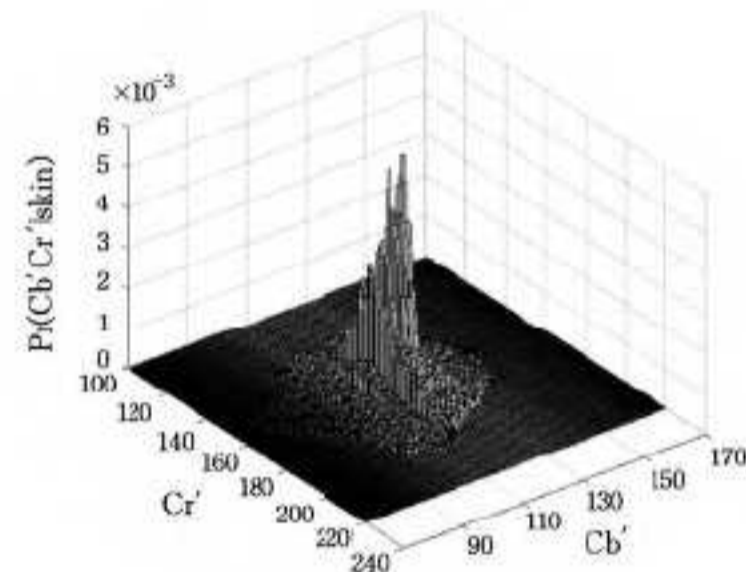


图3 YCbCr 空间肤色统计

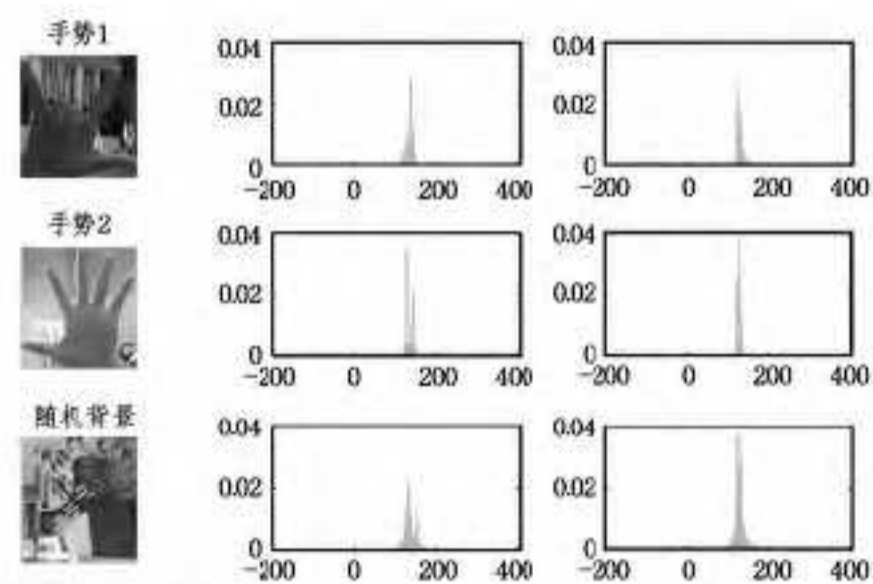


图4 不同手势以及随机环境归一化对比

肤色特征模型可以有效区分肤色区域,但无法区分脸部与手部。因此本文首先基于深度特征进行手部的检测,只将肤色特征引入跟踪的判别阶段。

2.2 深度特征及其稳定性

为获取深度特征,本文选用 Kinect 摄像头,Kinect 深度图像描述的是摄像头视景范围中物体相对于摄像头的距离,深度图像中每一个深度点都描述了对应物体的深度特征。在描述深度时,深度图往往转化成灰度图,用图像灰度值来描述深度特征。

由于深度特征描述的内容相对单一,因此它具有很强的稳定性,应用在手部检测时,可以有效地剔除环境干扰。图5

对比了相同情况下,分别利用深度特征与肤色特征进行检测的结果。由此可知,深度特征在复杂环境下,具有很强的手部检测稳定性。



图5 深度和肤色特征的检测对比

2.3 基于深度特征的图像小采样集分割算法

本文利用开源库 OpenNI2 读取 Kinect 设备的图像流,并利用 OpneNI2 内嵌的函数实现图像校准,建立深度和彩色图像统一视角,提取深度特征。为保证不同距离检测分割的鲁棒性,在手部检测阶段,本文提出了自适应深度阈值的方法。

通常图像遍历的计算量较大,影响跟踪效率,考虑到相邻像素深度信息的连续性,检测时在 2×2 的像素区间内只选取 1 个像素点,用小采样集分割结果代替遍历图像的分割结果,从而减少单幅图像 $3/4$ 的计算量,图 6 显示了两者的分割结果基本相同。



图6 原图、采样集分割和遍历分割对比

考虑到实际过程中,一般的手势都在视景最前面,算法默认手部永远出现在视景最前端。基于深度分割算法的流程如图 7,具体步骤如下:

- 1) 对视频输入进行图像预处理,采用小采样集方法,通过比较获得图像内深度最小值 min, min 值对应的点代表视景最前端。
- 2) 基于 min 建立自适应阈值空间 $[min, min + l]$, 其中 min 为阈值下限, $min + l$ 为阈值的上限, l 为通过实验获得的固定参数。
- 3) 基于阈值 $[min, min + l]$ 将点集 N 内所有采样点进行二值化,利用二值化图像分割手部,获得可靠的手部区域。

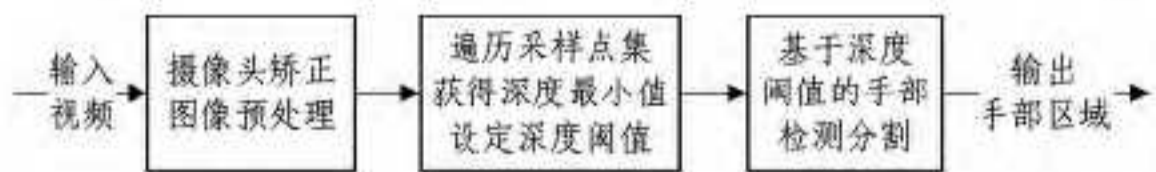


图7 基于自适应深度阈值的手部分割

上述算法不仅分割出手部区域,同时基于深度阈值获得的手部区域大小 $H(a \times b)$ 决定了后续跟踪检测采样区域的大小,而且手部区域提取的肤色特征将会成为后续跟踪判别的依据。

3 AHT-DS 算法

虽然在检测和分割时深度特征具有高稳定性,但是深度

特征无法避免其单一性的缺陷,单纯利用深度特征无法实现高效的目标跟踪。与此同时,基于肤色的跟踪算法易被脸部等肤色区域干扰,但肤色特征具有很强的聚类性。因此将两个特征相融合,利用其各自优点,提出自适应手部跟踪算法,利用深度特征剔除多余肤色区域并解决手部变形造成的跟踪区域大小变化的自适应问题,利用肤色特征解决跟踪匹配的问题。

具体算法流程如图 8 所示。

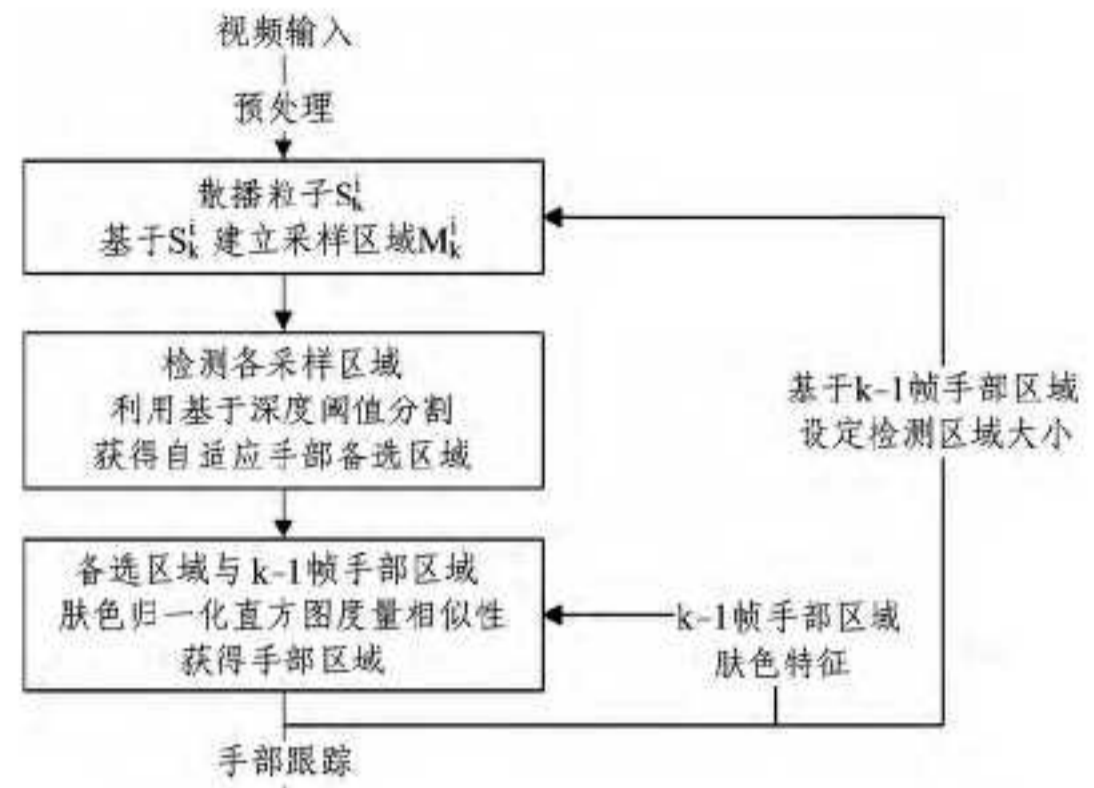


图8 手部跟踪流程图

3.1 粒子滤波基本原理

经典的目标跟踪算法有卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波、马尔科夫蒙特卡洛方法以及粒子滤波等^[15]。

一般来说,动态系统的数学模型可由式(1)描述:

$$\begin{cases} X_t = f(X_{t-1}, V_{t-1}) \\ Z_t = h(X_t, U_t) \end{cases} \quad (1)$$

其中, X_t, V_t, Z_t 和 U_t 分别为 t 时刻系统的状态向量、观测向量、系统噪声和观测噪声。 f 函数为系统状态转移方程; h 函数为系统观测模型。

粒子滤波算法通过蒙特卡罗方法来实现递归贝叶斯推理,其基本思想是从概率分布 $p = (X_k | Z_k)$ 中抽取 N 个样本 $\{X_i^k | i=1, 2, \dots, N\}$, 以样本的均值代替积分运算,获得状态的最小方差估计:

$$p(X_t | Z_t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k(X_t - X_i^t) \quad (2)$$

其中, k 函数为 Dirac delta 函数, N 为样本(粒子)数量。

粒子滤波可以解决非线性非高斯情况下的目标跟踪问题,适用于手部运动跟踪。AHT-DS 算法将深度和肤色特征与粒子滤波跟踪算法相结合,利用深度进行候选区域预测,利用肤色特征进行跟踪判定,提高跟踪准确度。

3.2 基于深度阈值的自适应粒子采样

手部运动包括移动、转动、收缩和远近位移等变化,因此实现手部跟踪区域自适应变化是手部识别的重要前提。该算法中时间序列 $\{t_k | k$ 为图像帧数} 对应图像序列中的连续离散随机状态 $\{X_k | k$ 为图像帧数}。状态 X_k 描述的是第 k 帧手部最小外接区域的具体位置。由于运动是离散随机的,根据粒子滤波原理,任意时间点下 t_k 状态 X_k 只与跟踪的前一状态 X_{k-1} 相关,与状态 X_1, X_2, \dots, X_{k-2} 都无关。AHT-DS 算法旨在利用状态 X_{k-1} 的跟踪结果,计算状态 X_k 的手部区域跟踪结果。

该算法结合 2.3 节所提自适应深度阈值分割,针对每个粒子点 S_k^i 建立待检测区域 M_k^i , 在图像预处理之后,对每个检

测区域都进行独立的自适应深度分割,获得若干自适应的手部候选区域 H_k^i 。具体步骤如下:

1) 根据前一个状态 X_{k-1} 获得跟踪手部区域大小 $H_{k-1}(a \times b)$, 以此作为实现初始跟踪时选用的第一次自适应检测的手部区域大小。

2) 在当前图像帧内, 散播粒子点 $\{S_k^i | i=1, 2, \dots, N\}$, 初始设定所有粒子权重 $1/N$, 本文算法采用一阶自回归方程:

$$X_k = AX_{k-1} + W \quad (3)$$

其中, W 为随机高斯噪声, A 为单位矩阵, 在 t_k 时刻粒子的散播状态是在 t_{k-1} 时刻的系统上添加一个扰动量。

3) 考虑到手部在运动过程中的形变, 基于粒子点 $S_k^i(x_i, y_i)$ 建立对应的检测区域 $M_k^i((a+100) \times (b+100))$, 区域大小是对手部区域 $H_{k-1}(a \times b)$ 的适当放大。

4) 对单个检测区域 M_k^i 均进行 2.3 节中描述的自适应深度阈值分割, 最终获得若干候选区域 H_k^i 。由于对采样区域进行了放大, 可能在两个粒子检测区域中同时出现完整手部, 此时将重复的检测结果忽略。

传统粒子滤波选择目标的先验密度函数作为重要性密度函数^[18,19], 如式(4)所示:

$$q(X_t | X_{0:t-1}, Z_{1:t}) = p(X_t | X_{t-1}) \quad (4)$$

此方法易于实现, 但会造成粒子匮乏, 从而可能造成跟踪失效等问题。为防止跟踪失效, 在跟踪过程中监测粒子重要性权值的方差, 如式(5)所示, 方差 s^2 越大表示粒子匮乏的问题越严重。设定方差上限 Q , 当方差大于 Q 时, 该跟踪算法重新进行手部检测初始化, 并重新设定随机粒子点集 $\{S_k^i | i=1, 2, \dots, N\}$, 所有粒子权重为 $1/N$, 从而有效地解决跟踪失效, 进一步增强了算法鲁棒性。

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\omega_k^i - \bar{\omega}_k)^2 \quad (5)$$

其中, $\bar{\omega}_k$ 为重要性权值的均值, ω_k^i 代表各粒子点重要性权值。

3.3 归一化肤色特征相似性度量

为实现对状态 X_k 手部区域的准确跟踪, 需要将 X_k 状态下通过粒子滤波获得的备选区域 H_k^i 进行鉴别, 获得最终的跟踪目标。为此, 本算法利用 2.1 节提及的 YCbCr 空间下肤色特征的聚类性与稳定性, 将粒子滤波检测获得的各个候选区域 H_k^i 与 X_{k-1} 状态的手部区域 H_{k-1} 进行相似性度量, 获得手部跟踪区域。

考虑到手部运动的形变造成备选区域与跟踪目标区域的尺寸变化, 同时考虑计算效率, 选用的判断依据为肤色在 YCbCr 空间的归一化直方图。为减少光照的影响只选用 C_b, C_r 两个特征量进行归一化计算, 并在相似度计算时各占 50% 的权重系数。

具体的跟踪判别算法如下:

1) 将基于深度自适应检测的粒子候选区域 M_k^i 从 RGB 空间转化为 YCbCr 空间, 提取 C_b, C_r 空间特征量;

2) 利用归一化分布直方图描述 C_b, C_r 色彩分量, 归一化公式为:

$$H(P) = [h(x_1), h(x_2), \dots, h(x_n)] \quad (6)$$

$$h(x_i) = \frac{S(x_i)}{\sum S(x_j)} \quad (7)$$

其中, $h(x_i)$ 为 C_b, C_r 各分量值的比率, $S(x_i)$ 为各分量值像素的个数, $\sum S(x_j)$ 为总像素数;

3) 将 X_k 跟踪候选区域 H_k^i 的归一化直方图与 X_{k-1} 手部

区域 H_{k-1} 的归一化直方图进行特征相似性度量, 获得 X_k 的手部跟踪区域。

为了兼顾跟踪的准确度和实时性, 需要定义合理的特征相似性度量方式。目前, 相似性度量基本都是通过特征空间中特定形式的距离测度实现的。本文利用归一化直方图描述肤色特征, 因此选用直方图相交法^[16] 度量相似度:

$$\tilde{D}_{his}(q, v) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^d \min(q_i, v_i)}{\min(\sum_{i=1}^d q_i, \sum_{i=1}^d v_i)} \quad (8)$$

其中, q 为备选区域图像特征, v 为 X_{k-1} 状态的手部区域图像特征, d 为特征维数, q_i 和 v_i 分别表示特征分量。

随着算法跟踪的不断迭代, 可能出现所有备选区域 M_k^i 都没有包含手部区域的极端情况, 造成跟踪丢失。为此, 在备选区域进行相似度匹配时, 如果匹配相似度低于限定值 P (实验设定 $P=0.7$), 算法将认定为跟踪丢失, 与跟踪失效时一样, 跟踪算法会重新进行手部检测初始化。

4 手部跟踪算法

手部跟踪实现流程如下。

初始化及预处理: 利用 Kinect 获取校准后的深度和色彩图像进行图像预处理, 利用灰度图描述深度特征, 利用 YCbCr 空间模型描述肤色特征;

检测: 利用自适应深度阈值分割方法实现手部区域检测, 获得初始手部区域位置, 同时以所有粒子权重 $1/N$ 设定粒子点集 $\{S_k^i | i=1, 2, \dots, N\}$;

预测: t_k 时刻依据初始手部区域位置建立手部采样区域 $\{M_k^i | i=1, 2, \dots, N\}$, 基于深度阈值对每个采样区域进行自适应的手部检测, 获得对应的候选区域 $\{H_k^i | i=1, 2, \dots, N\}$;

匹配: 对候选区域 H_k^i 逐一建立 YCbCr 空间肤色归一化直方图, 并将其与 $k-1$ 帧手部区域利用直方图相交法度量相似性确定手部准确位置;

跟踪失效 & 丢失: 设定粒子重要性权值方差上限 Q , 以及匹配相似度下限 P , 当方差 s^2 超过上限 Q 或跟踪匹配相似度低于 P 时, 系统将进行初始化, 并重新检测手部位置。

5 实验结果与分析

实验 1 针对不同光照环境和不同检测距离的情况进行实验。图 9(a) 显示了不同距离情况下手部检测结果, 图 9(b) 显示了不同光照情况下手部检测的结果。结果表明, 不同光照环境或不同距离对基于深度的检测算法并无明显影响, 说明基于自适应深度阈值的手部检测算法可有效抵抗光照影响, 并具有较高的稳定性和准确性。



(a) 不同距离情况

(b) 不同光照条件

图 9 不同环境下的深度检测效果

实验2 针对连续变换的手势进行跟踪实验,选取的粒子数 $N=30$ 。为验证跟踪算法的鲁棒性,对复杂情况下的手姿进行跟踪。在并没有刻意布置的环境下,图10显示了连续手势每隔10帧的跟踪结果。实验结果表明,针对复杂情况下的手部运动和变形,该算法可以实现准确跟踪,鲁棒性良好。



图10 连续手势的跟踪情况

实验3 录制了一段连续视频,针对同一组图像序列对比了AHT-DS算法与单纯基于肤色特征的粒子滤波跟踪算法的跟踪结果。图11分别显示了两种方法的跟踪效果。实验结果表明,单纯基于肤色的跟踪算法在遇到手部区域和脸部重叠时可能会受到脸部干扰,而当手型有较大变化时跟踪框很难贴合手部轮廓,相较于此,AHT-DS算法跟踪效果能自适应贴合,具有良好的准确度。



(a) AHT-DS 算法跟踪

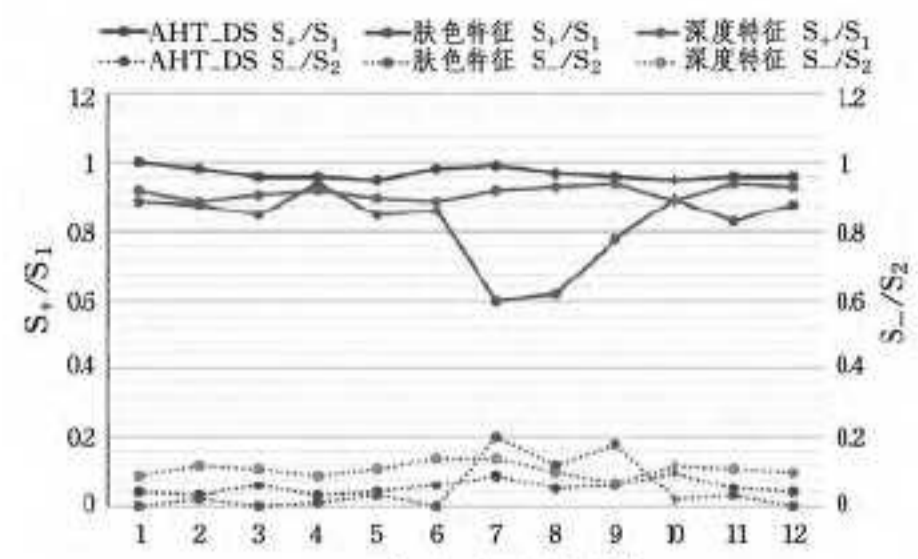


(b) 基于肤色的粒子滤波跟踪

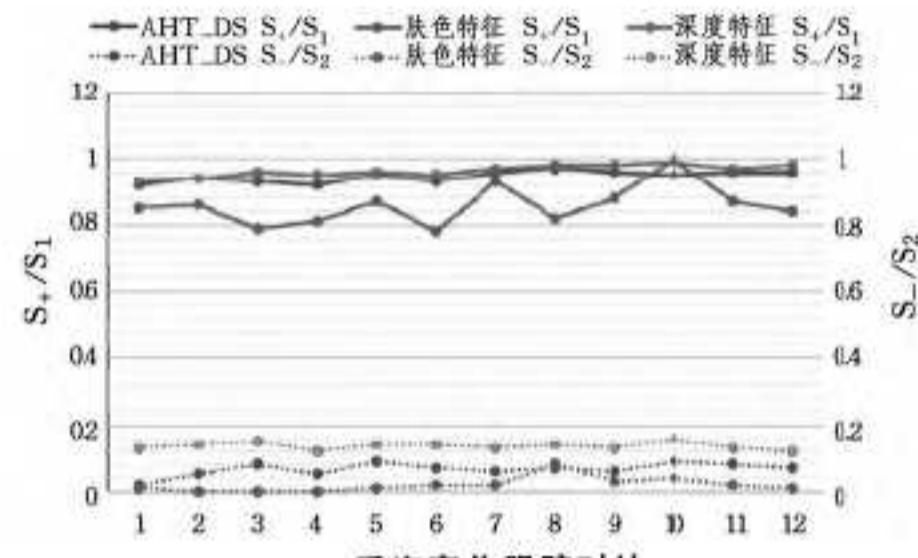
图11 手势跟踪效果对比

实验4 为验证AHT-DS算法粒子滤波的准确性及鲁棒性并进行定量分析,给出了本文算法与传统肤色跟踪以及基于深度特征的跟踪算法的比较。由于跟踪过程存在变化,因此通过 S_+/S_1 、 S_-/S_2 对准确度进行判别,其中 S_+ 为跟踪框内手部区域面积, S_1 为跟踪框的面积, S_- 为跟踪框外漏检的手部区域面积, S_2 为实际的手部区域面积,为便于计算,此处的 S_+ 、 S_1 、 S_- 和 S_2 都是区域外接矩形的面积,而非不规则手部形状的面积。因而可知,当 S_+/S_1 越接近1而 S_-/S_2 越接近0时,跟踪的准确度越高。

图12(a)、图12(b)分别显示了手部位移变化与手型姿态变化这两种情况下,AHT-DS算法与普通肤色或深度算法的 S_+/S_1 、 S_-/S_2 值。



(a) 手部移动跟踪对比



(b) 手姿变化跟踪对比

图12 3种算法跟踪对比

如图12所示,单纯基于深度特征的算法的整体跟踪水平都不错,但由于深度特征是一维特征,各个粒子备选区域特征统计成深度直方图时,存在很大的相似性,一旦遇到手部变形,可能造成跟踪的不准确,存在部分漏检区域,基于肤色特征的算法漏检率比较低,但是在移动过程中,接近脸部时,存在明显的跟踪干扰,而在两种情况下,AHT-DS算法都具有较高鲁棒性和稳定性。

结束语 手部检测跟踪是实现人机交互的核心算法之一。通过对比分析基于深度和基于肤色的跟踪算法,提出了一种融合深度与肤色的特征,并在此基础上结合粒子滤波提出了一种自适应的手部跟踪算法(AHT-DS)。该算法首先利用深度信息排除肤色区域干扰,并实现跟踪过程中手部尺度自适应变化,在此基础上用肤色特征对手部区域进行有效的判别,该算法对背景干扰、光照变化等复杂环境均具有较好的鲁棒性,在复杂情况下能实现稳定的检测和跟踪。此外,该算法能稳定地实现变形手势的自适应跟踪,确保了跟踪算法的准确性。这一跟踪策略可适用于人机交互、虚拟现实技术以及计算机视觉等其他领域。

参考文献

- [1] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active contour models[J]. International journal of computer vision, 1988, 1(4): 321-331
- [2] Wachs J P, Kölsch M, Stern H, et al. Vision-based hand-gesture applications[J]. Communications of the ACM, 2011, 54(2): 60-71
- [3] 陈锻生, 刘政凯. 肤色检测技术综述[J]. 计算机学报, 2006, 29(2): 194-207
- [4] Chai D, Ngan K N. Locating facial region of a head-and-shoulders color image[C]// 1998 Proceedings Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. 1998: 124-129
- [5] 雷明, 董济扬. 一种可变光照条件下的肤色检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(24): 123-125
- [6] Wang R Y, Popović J. Real-time hand-tracking with a color glove [J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2009: 63

(下转第164页)

- [9] Goto H. Redefining the DCT-based feature for scene text detection[J]. International Journal of Document Analysis and Recognition (IJ DAR), 2008, 11(1): 1-8
- [10] Gomez L, Karatzas D. MSER-based Real-Time Text Detection and Tracking[C]// 2014 22nd International Conference on Pattern Recognition (ICPR). IEEE, 2014: 3110-3115
- [11] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005). IEEE, 2005, 1: 886-893
- [12] Ojala T, Pietikinen M, Harwood D. A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 51-59
- [13] Jun B, Kim D. Robust face detection using local gradient patterns and evidence accumulation[J]. Pattern Recognition, 2012, 45(9): 3304-3316
- [14] Cui A C, Asari V K, Braun A D. Robust textural features for real time face recognition[C]// Proc. SPIE9408. Imaging and Multimedia Analytics in a Web and Mobile World 2015. 2015: 940806-940806-13
- [15] 郑英娟, 张有会, 王志巍, 等. 基于八方向 Sobel 算子的边缘检测算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(11A): 354-356
- [16] Shen D H, Zhang L C, Xu E. An improved edge detection algorithm based on Sobel operator [J]. Information Technology, 2015, 347-350(4): 3541-3545
- [17] Tian Q C, Zhao X L, Wu X J, et al. Iris Classifier Enhanced Algorithm Based on AdaBoost[M]// Advanced Intelligent Computing Theories and Applications. With Aspects of Contemporary Intelligent Computing Techniques. Springer Berlin Heidelberg, 2007: 1001-1009
- [18] Mori M, Uchida S, Sakano H. Global feature for online character recognition[J]. Pattern Recognition Letters, 2014, 35(1): 142-148
- [19] Sok P, Taing N. Support Vector Machine (SVM) based classifier for Khmer Printed Character-set Recognition[C]// Asia-Pacific Signal and Information Processing Association, 2014 Annual Summit and Conference (APSIPA). IEEE, 2014: 1-9
- [20] Huang G B, Wang D H, Lan Y. Extreme learning machines: a survey[J]. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 2011, 2(2): 107-122
- [21] Iosifidis A, Tefas A, Ioannis Pitas[J]. Pattern Recognition Letters, 2015, 54: 11-17
- [22] Jung K, In Kim K, K Jain A. Text information extraction in images and video: a survey[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(5): 977-997
- [23] 何淑琳, 张雪英, 孙颖, 等. 基于极限学习机的语音情感识别[J]. 微电子学与计算机, 2015, 7(7): 50-54
- [24] 卢诚波, 梅颖. 前馈网络的一种高精度鲁棒在线贯序学习算法[J]. 上海交通大学学报, 2015, 49(8): 1137-1143
- [25] Iosifidis A, Tefas A, Pitas I. On the kernel Extreme Learning Machine classifier[J]. Pattern Recognition Letters, 2015, 54: 11-17
- [26] Cao L L, Huang W B, Sun F C. Optimization-Based Extreme Learning Machine with Multi-kernel Learning Approach for Classification[C]// 2014 22nd International Conference on Pattern Recognition (ICPR). IEEE Computer Society, 2014: 3564-3569
- [27] Bandarabadi M, Dourado A, Teixeira C A, et al. Seizure prediction with bipolar spectral power features using Adaboost and SVM classifiers[C]// Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2013: 6305-6308
- [28] 李小冬. 核极限学习机的理论与算法及其在图像处理中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2014
- [29] 杨彬, 夏思宇. 自然场景多方向文本检测方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015(S1): 228-232
- [30] Yao Cong, Bai Xiang, Liu Wen-yu, et al. Detecting texts of arbitrary orientations in natural images[C]// Proc of IEEE Conference on computer Vision and Pattern Recognition. Rhode Island: Curran Associates, 2012: 1083-1090
- [31] Kang L, Li Y, Doermann D. Orientation Robust Text Line Detection in Natural Images[C]// 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2014: 4034-4041
- [32] Epshtein B, Ofek E, Wexler Y. Detecting text in natural scenes with stroke width transform[C]// 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2010: 2963-2970

(上接第 129 页)

- [7] Bellon O R, Silva L. New improvements to range image segmentation by edge detection[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 2002, 9(2): 43-45
- [8] Biswas K, Basu S K. Gesture Recognition using Microsoft Kinect [C]// 2011 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA). 2011: 100-103
- [9] Raheja J L, Chaudhary A, Singal K. Tracking of fingertips and centers of palm using kinect[C]// 2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM). 2011: 248-252
- [10] 汤勇, 顾宏斌, 周末. 交互系统中实时手势分割及指尖检测方法[J]. 光电工程, 2010, 37(7): 145-150
- [11] 何小磊. 基于深度信息和彩色图像的手势识别[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012
- [12] 杨全, 彭进业. 采用 SIFT-BoW 和深度图像信息的中国手语识别研究[J]. 计算机科学, 2014, 41(2): 302-307
- [13] 陈子毫. 基于深度信息的手势检测与跟踪[D]. 广东: 华南理工大学, 2012
- [14] 邓瑞, 周玲玲, 应忍冬. 基于 Kinect 深度信息的手势提取与识别研究[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(4): 1263-1265
- [15] 王法胜, 鲁明羽, 赵清杰, 等. 粒子滤波算法[J]. 计算机学报, 2014(8): 1679-94
- [16] Swain M J. Interactive Indexing Into Image Databases [J]. Storage & Retrieval for Image & Video Databases, 1993, 1908: 95-103
- [17] Barla A, Odone F, Verri A. Histogram intersection kernel for image classification[C]// 2003 International Conference on Image Processing. 2003, III(2): 513-516
- [18] 胡士强, 敬忠良. 粒子滤波原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010
- [19] 朱志宇. 粒子滤波算法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010