

本文引用格式: 黄启华,杜玉晓.基于 HSV+Canny 模型、HED 网络模型的衣物轮廓提取算法研究[J].自动化与信息工程,2024,45(4):1-9;17.

HUANG Qihua, DU Yuxiao. Research on clothing contour extraction algorithm based on HSV+Canny model and HED network model[J]. Automation & Information Engineering, 2024,45(4):1-9;17.

基于 HSV+Canny 模型、HED 网络模型的 衣物轮廓提取算法研究*

黄启华 杜玉晓

(广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510006)

摘要: 针对边缘检测算法在衣物轮廓提取过程中易受噪声影响的问题, 采用传统的图像处理方法和深度学习方法对衣物轮廓提取算法进行研究。传统的图像处理方法主要基于 HSV 模型和 Canny 算法, 首先, 通过 HSV 模型分割前景图像; 然后, 对二值化图像进行形态学处理; 最后, 利用 Canny 算法提取衣物轮廓, 此方法能准确地提取大部分颜色的衣物轮廓。深度学习方法主要基于 HED 网络模型, 针对 HED 网络模型输出边缘定位缺失和较为粗糙等问题, 对 HED 网络模型进行改进, 首先, 去除第 3、4 阶段的池化层; 然后, 在特征融合阶段引入注意力机制; 最后, 融合 Canny 算法进行边缘细化。对比实验结果表明: HSV+Canny 算法比 Canny 算法的 ODS 值和 OIS 值分别提升了 13.16% 和 14.72%, 检测速度有小幅提升; 改进的 HED 网络模型比 HED 网络模型的 ODS 值和 OIS 值分别提升 4.84% 和 3.97% 的同时, 检测速度持平。

关键词: 衣物轮廓提取; HSV 模型; Canny 算法; HED 网络模型; 注意力机制

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1674-2605(2024)04-0001-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2024.04.001

开放获取

Research on Clothing Contour Extraction Algorithm Based on HSV+Canny Model and HED Network Model

HUANG Qihua DU Yuxiao

(School of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In response to the problem of edge detection algorithms being easily affected by noise in the process of clothing contour extraction, traditional image processing methods and deep learning methods are used to study the clothing contour extraction algorithm. Traditional image processing methods are mainly based on the HSV model and Canny algorithm. Firstly, foreground images are segmented using the HSV model; Then, perform morphological processing on the binary image; Finally, the Canny algorithm is used to extract clothing contours, which can accurately extract clothing contours of most colors. The deep learning method is mainly based on the HED network model. To address the problems of missing and rough edge localization in the output of the HED network model, improvements are made to the HED network model. Firstly, the pooling layers in stages 3 and 4 are removed; Then, introduce attention mechanism in the feature fusion stage; Finally, the Canny algorithm is integrated for edge refinement. The comparative experimental results show that the HSV+Canny algorithm has improved the ODS and OIS values by 13.16% and 14.72% respectively compared to the Canny algorithm, with a slight increase in detection speed; The improved HED network model improves the ODS and OIS values by 4.84% and 3.97% respectively compared to the HED network model, while maintaining the same detection speed.

Keywords: clothing contour extraction; HSV model; canny algorithm; HED network model; attention mechanism

0 引言

在计算机视觉和图像处理领域，衣物轮廓提取是一个具有挑战性的问题。衣物轮廓提取在虚拟试衣、人像编辑、衣物自动裁剪等领域应用广泛。常用的衣物轮廓提取方法主要有传统的图像处理方法（基于色彩分离方法、边缘检测算法等）和深度学习等方法。

目前，国内外已有很多衣物轮廓提取的相关研究，基于传统的图像处理方法的衣物轮廓提取研究也取得了一定成果。文献[1-3]利用 Otsu 算法将 Canny 算法中的人工阈值替换为自适应阈值，提高了 Canny 算法的检测性能，但在衣物图像噪声较多时，检测准确率有所下降。文献[4-5]在优化 Otsu 算法的基础上，分别利用自适应高斯滤波器和中值滤波器替代高斯滤波器，消除了部分噪声干扰，但在衣物内部纹理较多和衣物面料不同的情况下，边缘误检率较高。文献[6]在 Canny 算法输出图像后引入卷积运算，可输出无干扰的女裤图像轮廓边缘信息，但会导致部分真实边缘不连续。文献[7]提出一种改进的 Canny 算法，先采用全变分模型对服装图像进行去噪，再使用 Canny 算法提取服装轮廓，但仍存在假边缘，无法达到人工提取轮廓的标准。文献[8]先在 RGB 色彩空间中对布料图案进行分割，再利用 Sobel 算法检测轮廓边缘，取得了较好的分割效果，但当衣物颜色不同时，衣物主体分割不完整，影响后续轮廓的提取效果。

随着卷积神经网络和深度学习的迅速发展，基于深度学习的方法逐渐应用于衣物轮廓提取。基于深度学习的衣物轮廓提取方法通过训练大量的图像数据，学习更复杂的特征表示，能较好地捕捉衣物图像的边缘信息。文献[9]采用 U^2 -Net 深度学习网络对服装线稿图像进行边缘检测，能够提取清晰而连贯的服装边缘轮廓，整体效果接近手绘线稿图像。文献[10]采用整体嵌套边缘检测（holistically-nested edge detection, HED）网络模型提取服装轮廓，通过多层次的特征融合来增强边缘检测的准确性，具有较好的检测效果，但输出边缘较为粗糙。文献[11]采用 HED 网络模型提取服装轮廓，利用 pix2pix 网络提供的附加后处理方

法对边缘进行简化，虽然能够得到较为精细的服装轮廓，但存在部分边缘丢失的问题。文献[12]提出一种基于改进的 HED 网络模型的布料图案轮廓检测方法，在 HED 网络模型的基础上增加了平滑处理，当布料图案比较简单时，能够满足工艺要求，但布料图案和纹理较多时，会出现边缘轮廓丢失和边缘模糊的情况。

综上所述，虽然传统的图像处理方法和深度学习方法在衣物轮廓提取中各有优势，也取得了较好的效果，但仍然存在一些局限性：1）传统的图像处理方法在面对不同颜色、纹理和面料的衣物时，抗噪声能力较弱、检测准确率较低、易出现伪边缘等现象；2）深度学习方法中的 HED 网络模型因采用了多尺度融合的方法，导致出现了低层次特征信息丢失和模糊边缘响应等现象。

针对目前较为成熟的轮廓提取算法无法很好地适用于衣物轮廓提取的问题，本文基于传统的图像处理方法和深度学习方法开展衣物轮廓提取算法的研究，分别对 Canny 算法和 HED 网络模型进行改进，以更好地适应衣物轮廓提取的需求。

1 基于图像处理方法的衣物轮廓提取算法

1.1 边缘检测算法

边缘检测算法是图像处理常用的一种方法，其通过计算图像像素的梯度或二阶导数来检测边缘，主要包括 Roberts、Prewitt、Sobel、Laplacian 和 Canny 等算法。其中，Canny 算法具有较好的信噪比和较高的检测精度，应用广泛。Canny 算法边缘检测的具体步骤为：

- 1) 利用高斯滤波去除衣物图像噪声；
- 2) 计算衣物图像每个像素点的梯度幅值和方向；
- 3) 遍历衣物图像每个像素点，并进行非极大值抑制^[13-14]；
- 4) 利用双阈值筛选，得到准确的衣物边缘^[15-16]。

1.2 基于 HSV+Canny 模型的衣物轮廓提取算法

边缘检测算法受噪声影响较大，利用其提取衣物轮廓前，需对衣物图像进行预处理和形态学处理，去除大部分噪声。衣物图像的背景颜色特征比较明显

(大多数呈绿色), 而前景有各种颜色, 如图 1 所示。

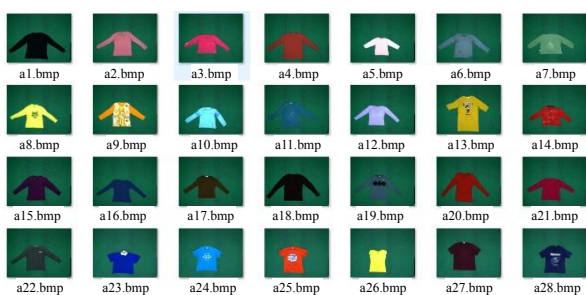


图 1 部分衣物图像数据集

本文采用背景差分的方法, 先通过阈值提取绿色背景图; 再将 HSV 模型图与背景图进行差分运算, 得到待分割的前景 (衣物)。

基于 HSV+Canny 模型的衣物轮廓提取算法流程如图 2 所示。

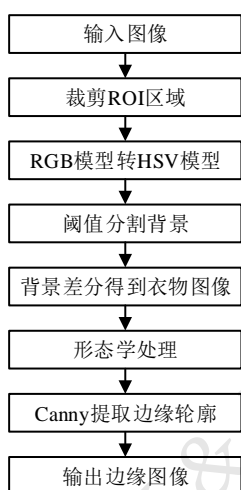


图 2 基于 HSV+Canny 模型的衣物轮廓提取算法流程图

1.2.1 基于 HSV 模型的衣物分割

1.2.1.1 颜色空间转换

RGB 模型通过红色 (Red)、绿色 (Green)、蓝色 (Blue) 来描述颜色, 其像素与人类对色彩的感知差距较大。而 HSV 模型对颜色的描述更加直观、准确, 其将颜色分离为色调 H (Hue)、饱和度 S (Saturation) 和亮度 V (Value)。其中, 色调 H 由角度度量, 表示不同的颜色; 饱和度 S 即色彩的纯度^[17], 表示颜色的深浅; 亮度 V 表示颜色的明暗程度。HSV 模型更适合人类视觉的颜色空间^[18]。

令图像的 R 、 G 和 B 三个分量中最大的分量为 M_{\max} , 最小的分量为 M_{\min} , 则 RGB 模型到 HSV 模型的转换关系为

$$H = \begin{cases} 0^\circ, M_{\max} = M_{\min} \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{M_{\max}-M_{\min}} + 0^\circ, M_{\max} = r \text{ and } g > b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{M_{\max}-M_{\min}} + 360^\circ, M_{\max} = r \text{ and } g \leq b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{M_{\max}-M_{\min}} + 120^\circ, M_{\max} = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{M_{\max}-M_{\min}} + 240^\circ, M_{\max} = b \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} 0^\circ, M_{\max} = 0 \\ \frac{M_{\max}-M_{\min}}{M_{\max}}, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$V = M_{\max} \quad (3)$$

利用 RGB 模型到 HSV 模型的转换关系对衣物图像进行转换, 得到 HSV 模型图如图 3 所示。

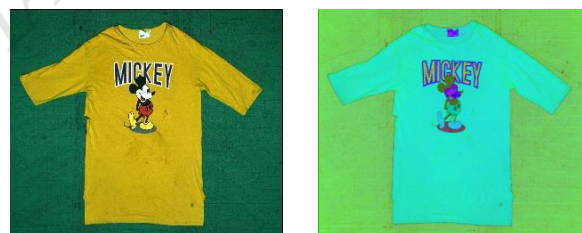


图 3 衣物原图与 HSV 模型图

1.2.1.2 确定 HSV 模型分割阈值

在 HSV 模型中, 确定提取衣物图像绿色背景的阈值范围时, 不能仅通过单通道对衣物图像进行二值化, 而需要通过三通道对衣物图像进行二值化^[19-21]。根据表 1 的 HSV 颜色参考范围, 先初步确定 HSV 模型提取衣物图像绿色背景阈值的大致范围为 ($H = 35 \sim 77$, $S = 43 \sim 255$, $V = 46 \sim 255$); 再通过观察 HSV 模型的直方图 (见图 4), 经过不断地细化调整, 最终确定 HSV 模型的二值化阈值范围为 ($H = 35 \sim 60$, $S = 162 \sim 214$, $V = 48 \sim 125$)。

通过背景差分方法, 得到衣物图像的前景如图 5 所示。

表 1 HSV 颜色参考范围

	H_{min}	H_{max}	S_{min}	S_{max}	V_{min}	V_{max}
黑	0	180	0	255	0	46
灰	0	180	0	43	46	200
白	0	180	0	30	221	255
红	0	10	43	255	46	255
橙	156	180	43	255	46	255
黄	11	25	43	255	46	255
绿	26	34	43	255	46	255
青	35	77	43	255	46	255
蓝	78	99	43	255	46	255
紫	100	124	43	255	46	255
紫	125	155	43	255	46	255

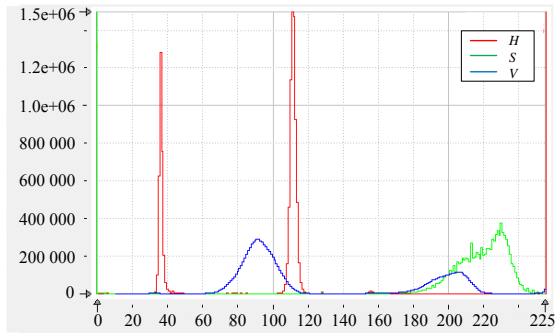
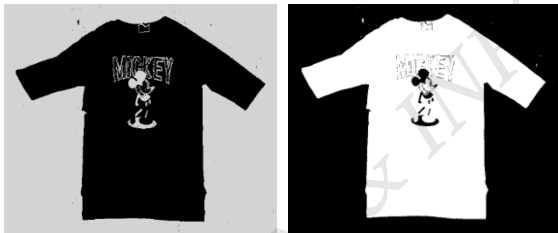


图 4 HSV 模型直方图



(a) 阈值分割得到背景 (b) 背景差分得到前景

图 5 HSV 模型的衣物分割图

1.2.2 形态学处理

虽然通过背景差分得到了衣物图像的前景，但衣物图像周围仍存在少量的突出物和未闭合的孔洞。本文采用形态学处理对衣物图像进行平滑与去噪。

形态学处理通常包括图像腐蚀和图像膨胀 2 个操作^[22]。一般利用集合的形式定义图像腐蚀和图像膨胀，规定集合 $A, B \subset Z^2$ ，记 ϕ 为空集。

1.2.2.1 图像腐蚀

图像腐蚀能够将图像中的目标区域缩减、细化。

腐蚀操作采用符号 “ \ominus ” 表示，定义为

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subset A\} \quad (4)$$

1.2.2.2 图像膨胀

图像膨胀是图像腐蚀的逆操作，能够将目标区域扩张。膨胀操作采用符号 “ \oplus ” 表示，定义为

$$A \oplus B = \{x | (B)_x \cap A \neq \phi\} \quad (5)$$

1.2.2.3 开运算

先腐蚀，后膨胀的运算称为开运算。开运算一般能够断开较窄的狭颈，消除细的突出物^[23]。开运算采用符号 “ \circ ” 表示，定义为

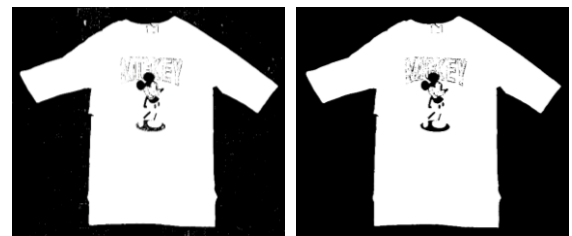
$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (6)$$

1.2.2.4 闭运算

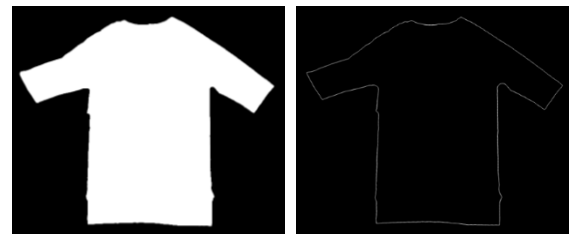
先膨胀，后腐蚀的运算称为闭运算。闭运算有填充作用，有助于关闭前景内的小孔或物体上的小黑点。闭运算采用符号 “ \bullet ” 表示，定义为

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (7)$$

利用开运算处理衣物图像周围存在的细小突出物；利用闭运算处理衣物图像内部存在的未填充空洞；采用 Canny 算法提取衣物图像的外轮廓，形态学处理过程效果如图 6 所示。



(a) 前景图 (b) 开运算操作后



(c) 闭运算操作后 (d) Canny 提取轮廓

图 6 形态学处理过程效果图

由图 6 可知：经过开运算处理后，衣物图像细的突出物消除；经过闭运算处理后，衣物内部的小孔被填充，得到了较为完整的衣物图像主体。

1.3 实验结果分析

分别采用 Prewitt、Sobel、Laplacian、Canny 和基于 HSV+Canny 模型的衣物轮廓提取算法对衣物图像进行边缘轮廓提取，边缘检测效果仿真图如图 7 所示。



图 7 边缘检测效果仿真图

由图 7 可知：Prewitt 算法和 Sobel 算法抗噪声能力较弱，误检率较高；Laplacian 算法导致边缘信息出现不连续的现象，甚至出现虚假边缘；Canny 算法相较于其他边缘检测算法，具有较好的准确性和连续性，但衣物内部的噪声也被检测出来；HSV+Canny 算法能够较准确地分割衣物，并提取出衣物轮廓。

2 基于深度学习的衣物轮廓提取算法

HED 网络模型是一种用于图像边缘检测的深度学习模型，其通过综合全局信息和局部信息，实现更

加准确和细腻的边缘检测，相比于边缘检测算法，可获得更加丰富的图像特征信息。HED 网络模型实现了端到端的边缘检测，并将每层卷积层输出的特征图在最后进行融合^[24]。本文采用 HED 网络模型对衣物图像进行边缘提取。

2.1 HED 网络模型

HED 网络模型在 VGG16 网络模型的基础上进行了改进，结构如图 8 所示。

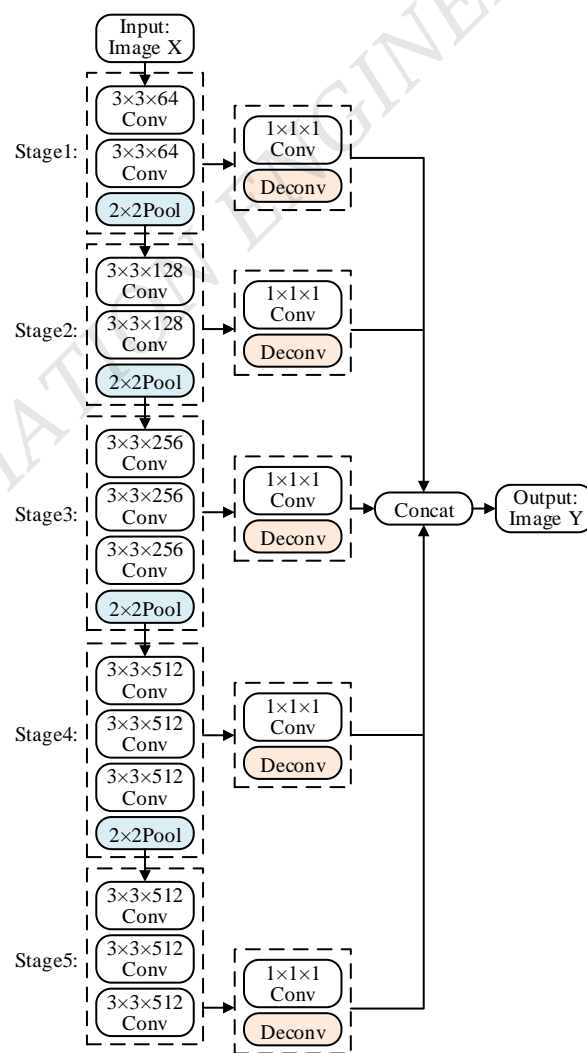


图 8 HED 网络模型结构

相较于 VGG16 网络模型，HED 网络模型的结构变化如下：

- 1) 去除了 VGG16 网络模型的最后 1 个池化层、3 个全连接层和 1 个 Softmax 层；
- 2) 在每个阶段的最后一个卷积输出端，添加 1

个侧输出层^[25]，并将它们连接起来，实现高层边缘轮廓语义信息和底层边缘位置细节信息的融合，从而得到更加精确的检测结果。

2.2 改进的 HED 网络模型

2.2.1 引入注意力机制

由于 HED 网络模型引入了过多的池化层，使图像信息被进一步压缩，导致深层输出的衣物特征图分辨率偏低，大量衣物轮廓定位信息缺失^[26]。因此，本文去除 HED 网络模型结构第 3、4 阶段的池化层，提高每个卷积层输出图像的分辨率。

HED 网络模型采用多个卷积层来提取不同层次的特征信息，但随着网络加深，特征图的感受野越来越大，HED 网络模型对边缘的响应也越来越模糊^[27]。针对上述问题，本文在 HED 网络模型中引入注意力机制，使 HED 网络模型动态地学习并分配输入序列不同位置的权重，使其更关注衣物轮廓区域和模糊的弱边缘，减少对背景的关注，从而获得更准确的边缘检测结果。

卷积块注意力模块 (convolutional block attention module, CBAM) 是一种双重注意力模块，能够同时关注通道维度和空间维度。通过在通道维度和空间维度上设置不同的权重，CBAM 能够增强有用特征的表达，抑制不太重要的特征^[28]。CBAM 的结构如图 9 所示。

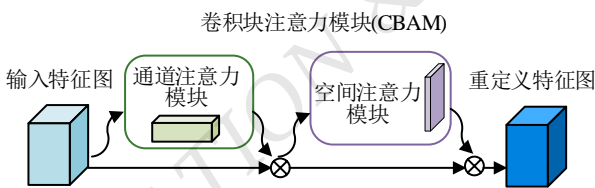


图 9 CBAM 结构

本文在 HED 网络模型的特征融合阶段引入 CBAM，在通道维度上重整了特征图，提高了表达能力和抗噪声能力；在空间维度上提取更有效的轮廓特征，使 HED 网络模型更加关注衣物轮廓的有效特征，忽略不太重要的背景边缘特征，增强了 HED 网络模型的特征提取能力，提高了模型性能。

2.2.2 融合 Canny 细化功能

HED 网络模型利用卷积神经网络来提取图像特征，取得了较好的效果，但较大的卷积核会产生更大的感受野，使网络无法准确捕捉细小的边缘细节，导致边缘检测结果较为粗糙。

Canny 算法采用非极大值抑制方法，提取的边缘较为精细。因此，针对 HED 网络模型存在的输出边缘粗糙、边缘像素定位不准确的问题，本文融合 HED 网络模型与 Canny 算法，利用 HED 网络模型去除噪声的同时，Canny 算法对边缘进行细化处理。由于图像经过 HED 网络模型预测已去除了大部分噪声，因此在 Canny 算法中省略了高斯滤波操作。改进的 HED 网络模型如图 10 所示。

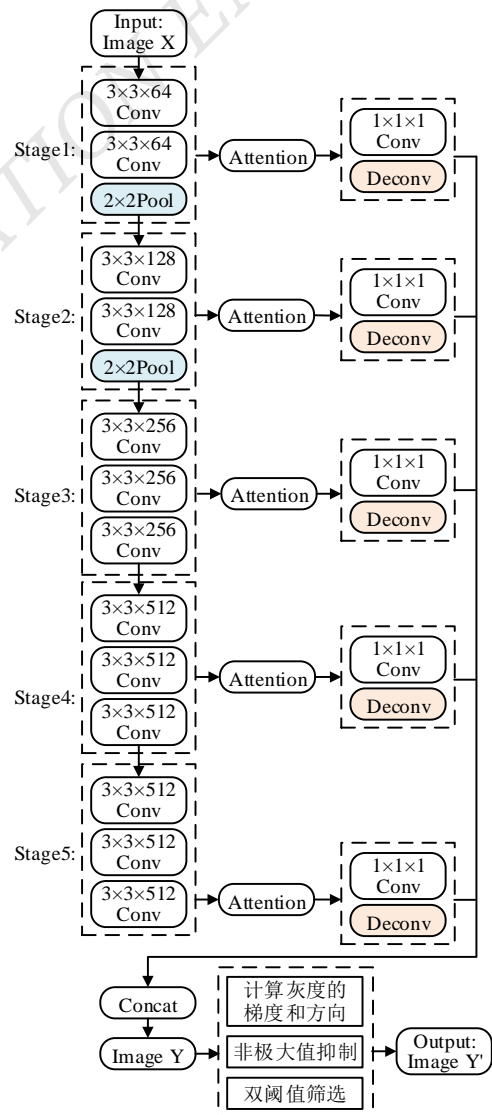


图 10 改进的 HED 网络模型

3 性能评价与结果分析

3.1 评价指标

本文采用精准率-召回率 (precision recall, PR) 曲线和 $F_{1-score}$ 作为边缘检测效果的评价指标。精准率 (precision) 是指边缘检测中输出的边界像素是真实边界的概率, 用来衡量检测的准确程度。召回率 (recall) 是指检测到真实边界像素占有所有真实边界像素的概率, 用来衡量衣物轮廓检测的完整程度。

PR 曲线的计算公式为

$$P_{\text{precision}} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

$$R_{\text{Recall}} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

式中: TP 为正确识别的边缘点, FP 为错误识别的边缘点, FN 为未正确识别的真实边缘点。

$F_{1-score}$ 值越大, 表明网络的学习性能越好^[29], 其计算公式为

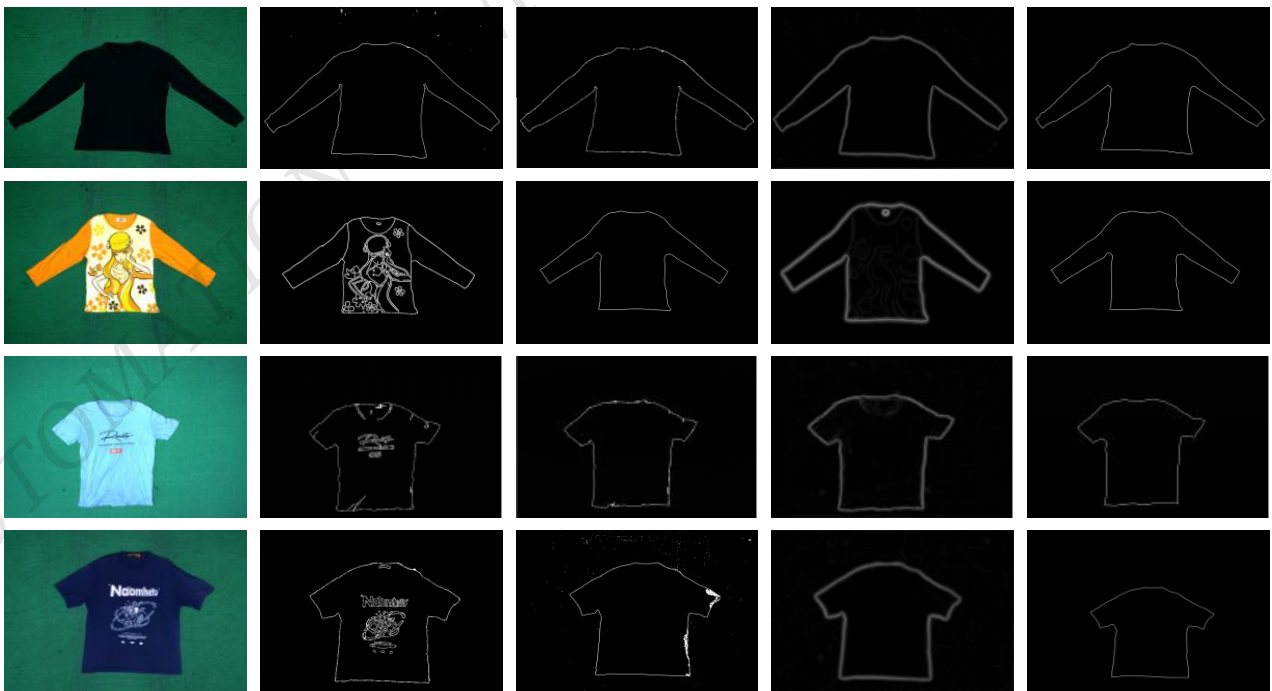
$$F_{1-score} = \frac{2 \times P_{\text{precision}} \times R_{\text{Recall}}}{P_{\text{precision}} + R_{\text{Recall}}} \quad (10)$$

$F_{1-score}$ 值由最佳数据集尺度 (optimal dataset scale, ODS) 或最佳图像尺度 (optimal image scale, OIS) 得到^[30]。其中, ODS 是输出图像二值化时, 使用某个固定阈值在整个数据集上获得的最大 $F_{1-score}$ 值; OIS 是输出图像二值化时, 使用某个固定阈值在单幅图像上获得的最大 $F_{1-score}$ 值。

此外, 检测速度是边缘检测算法的另一个重要性能指标, 通常用每秒帧数 (frames per second, FPS) 来表示。FPS 值越高, 表明每秒检测的图像帧数越多, 边缘检测的实时性越好。

3.2 结果分析

为了评估基于改进的 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法的性能, 将 Canny 算法、基于 HSV+Canny 模型的衣物轮廓提取算法、基于 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法和基于改进的 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法的检测效果进行对比, 从主观评价 (效果图) 和客观指标 2 个方面进行评估。4 种算法的衣物轮廓检测效果图如图 11 所示。



(a) 原图

(b) Canny

(c) HSV+Canny

(d) HED

(e) 改进的 HED

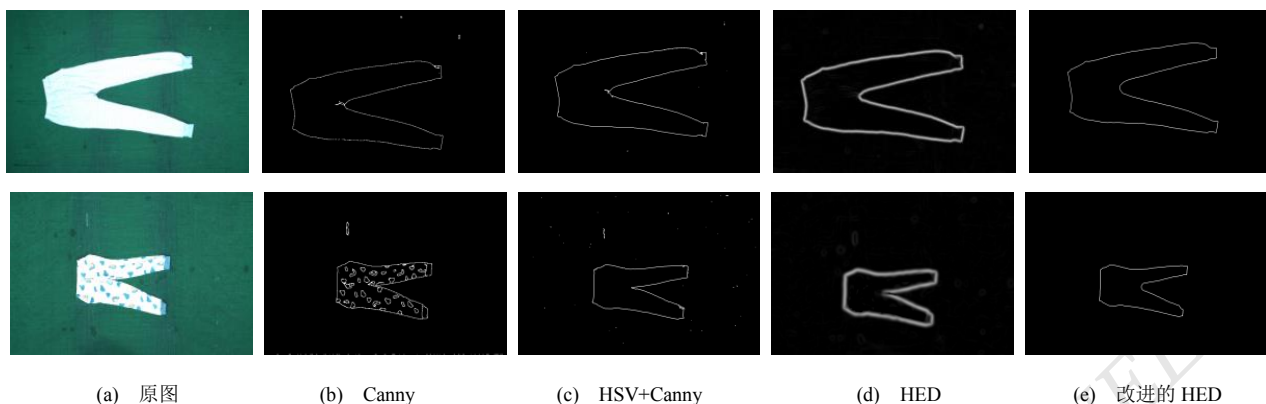


图 11 4 种算法的衣物轮廓检测效果图

由图 11 可知：Canny 算法在有背景噪声和衣物图像内部含有边缘干扰时，受影响较大；HSV+Canny 算法经过图像分割后再使用 Canny 算法，排除了一部分干扰，但仍存在衣物边缘漏检的情况，可见传统的图像处理方法易受背景和光照等噪声的干扰，检测效果相对较差；基于深度学习的方法较传统的图像处理方法具有更好的检测效果，能够去除大部分图像噪声，得到完整的衣物轮廓，但基于 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法输出的边缘线条较粗，精确度不高；基于改进的 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法输出的边缘更为精细，轮廓也较为完整。

人工及 4 种检测算法的 PR 曲线如图 12 所示。

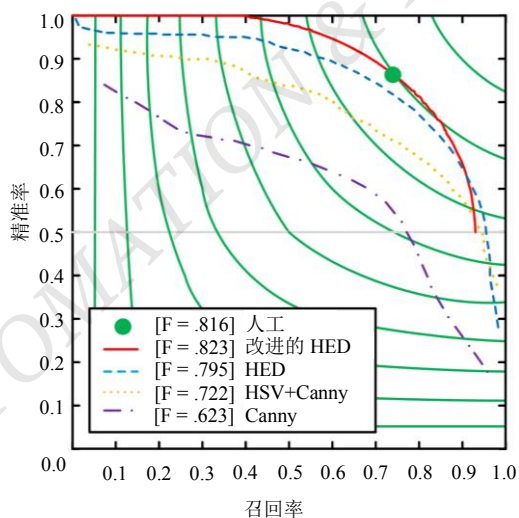


图 12 人工及 4 种检测算法的 PR 曲线

由图 12 可知：在衣物轮廓提取中，基于 HSV+

Canny 的衣物轮廓提取算法比 Canny 算法的 $F_{1-score}$ 值提升了 0.099，但传统的图像处理方法性能低于深度学习方法；基于改进的 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法比基于 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法的 $F_{1-score}$ 值提升了 0.028，具有更好的性能。

利用 ODS 值、OIS 值和 FPS 值对以上 4 种算法进行对比分析，结果如表 2 所示。

表 2 4 种算法性能指标对比

算法	ODS	OIS	FPS
Canny	0.623	0.659	28
HSV+Canny	0.705	0.756	29
HED	0.785	0.806	32
改进的 HED	0.823	0.838	32

由表 2 可知：Canny 算法的 ODS 值和 OIS 值较低，这是因为该算法对背景噪声较为敏感，边缘误检率较高；HSV+Canny 算法比 Canny 算法的 ODS 值和 OIS 值分别提升了 13.16% 和 14.72%；基于深度学习方法的 ODS 值和 OIS 值均较高，改进的 HED 网络模型算法比 HED 网络模型算法的 ODS 值和 OIS 值分别提升了 4.84% 和 3.97%。在检测速度方面，HSV+Canny 算法比 Canny 算法的 FPS 值有所提高；HED 网络模型算法和改进的 HED 网络模型算法的 FPS 值均为 32，说明了改进的 HED 网络模型算法在提升精度的同时，实时性也能够与 HED 网络模型算法相持平。

4 结论

本文就目前衣物轮廓提取算法存在易受噪声影响的问题展开研究, 从 Canny 算法和 HED 网络模型着手, 分别提出了基于 HSV+Canny 模型的衣物轮廓提取算法和基于改进的 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法。本文通过对比实验和数据分析得出结论: 在衣物轮廓提取中, HSV+Canny 算法的性能相较于 Canny 算法有较大提升; 基于改进的 HED 网络模型的衣物轮廓提取算法在滤除噪声、边缘清晰度和边缘完整性等方面得到提升。本研究丰富了衣物轮廓提取算法的技术手段, 弥补了传统的图像处理方法易受噪声影响的不足, 提出的改进算法能够更好地适应衣物轮廓提取的需求。但仍存在局限性, 如实验数据集相对有限, 算法的泛化能力有待进一步验证, 未来可通过探索更多针对噪声干扰和复杂背景的衣物图像进行验证, 以提高衣物轮廓提取算法在实际应用中的效果和性能。

©The author(s) 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

参考文献

- [1] 王雅静, 宋丹, 陈晓玲. 基于改进 Canny 算法的女性服装款式轮廓检测研究[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2020, 30(2):62-66.
- [2] CAO J, CHEN L, WANG M, et al. Implementing a parallel image edge detection algorithm based on the Otsu-canny operator on the Hadoop platform[J]. Computational Intelligence & Neuroscience, 2018, 2018(1):3598284.
- [3] LI Y, JIANG L, LI X, et al. Non-contact clothing anthropometry based on two-dimensional image contour detection and feature point recognition[J]. Industria Textila, 2023, 74(1):67-73.
- [4] LU X, ZHANG Y. An improved canny detection method for detecting human flexibility[M]//Intelligent IoT Systems in Personalized Health Care. Academic Press, 2021: 207-234.
- [5] 罗敏, 刘洞波, 陈鑫海, 等. 基于改进 Canny 算法的服装图像边缘检测[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2018, 28(3):39-44.
- [6] 王晓玉. 基于数字图像处理的女裤裤型识别研究[D]. 郑州: 中原工学院, 2023.
- [7] LIU N, MA Y, SHAO L, et al. Rapid extraction of clothing sample profile based on the improved canny algorithm[J]. Advances in Multimedia, 2022, 2022(1):7554652.
- [8] 陶鹤鸣. 基于机器视觉的智能布料图案切割系统设计[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
- [9] 杨雪莲. 基于生成对抗网络的服装线稿图像着色研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2023.
- [10] LI X, YANG Y, YE Y, et al. An online visual measurement method for workpiece dimension based on deep learning[J]. Measurement, 2021, 185:110032.
- [11] LI Y, YU X, HAN X, et al. A deep learning based interactive sketching system for fashion images design[J]. arXiv preprint arXiv:2010.04413, 2020.
- [12] YU N, ZHANG Z, XU Q, et al. An improved method for cloth pattern cutting based on Holistically-nested Edge Detection [C]//2021 IEEE 10th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS). IEEE, 2021:1246-1251.
- [13] GUPTA K K, VIJAY R, PAHADIYA P. Detection of abnormality in breast thermograms using Canny edge detection algorithm for thermography images[J]. International Journal of Medical Engineering and Informatics, 2022, 14(1): 31-42.
- [14] 贾雁飞, 陈广大, 杨淼, 等. 基于深度学习的高压输电线路防振锤检测[J]. 机床与液压, 2022, 50(13):21-25.
- [15] KIEU S T H, BADE A, HIJAZI M H A. Modified canny edge detection technique for identifying endpoints[J]. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2022, 2314(1): 012023.
- [16] 沈光辉, 杨龙兴. 改进 Canny 算法的热管焊头缺口边缘检测研究[J]. 机电工程技术, 2022, 51(4):162-166.
- [17] YUDHANA A, FAHMI M. SVM-CNN hybrid classification for waste image using morphology and HSV color model image processing[J]. Traitement du Signal, 2023, 40(4):1763-1769.
- [18] HU S, DUAN H, ZHAO J, et al. A rust extraction and evaluation method for navigation buoys based on improved U-Net and Hue, saturation, and value[J]. Sensors, 2023, 23(21): 8670.
- [19] 翟善发, 方中纯. 基于 HSV 色彩空间提取糖尿病变色试纸[J]. 信息技术与信息化, 2022(12):35-38.

(下转第 17 页)