

基于非均匀 B 样条小波的服装纸样 优化识别方法及应用

朱同林¹, 刘越畅², 柴丽芳³, 章晓华¹

(1 华南农业大学 信息学院, 广东 广州 510642; 2 中山大学 软件研究所, 广东 广州 510275;

3 华南农业大学 艺术学院, 广东 广州 510642)

摘要: 针对服装样片纸样的形状与结构特点, 提出一种由曲率确定型值点分布的非均匀 B 样条曲线拟合识别方法, 并用其样条小波进行型值点压缩和优化, 以达到在给定误差下型值点数目尽量少的目的. 通过分析比较和实例检验表明, 这种算法识别服装纸样方便可靠, 为服装计算机辅助设计(CAD)中样片的编辑设计提供一种智能高效的输入技术.

关键词: 服装纸样识别; 服装计算机辅助设计(CAD); 型值点优化; 非均匀 B 样条小波

中图分类号: TP237

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2004)04-0107-04

Garment pattern optimized identification based on non-uniform B-spline wavelet and its application

ZHU Tong-lin¹, LIU Yue-chang², CHAI Li-fang³, ZHANG Xiao-hua¹

(1 Information College, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Software Institute of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3 Art College, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: With the peculiarities of garment pattern shape and structure in mind, the authors proposed a method for non-uniform B-spline curve fitting in which the distribution of data points was determined by curvature. The spline wavelet was used to compress and optimize the data points so as to make its number as small as possible under the permissible error margin. Being robust, the method provided an intellectual and efficacious input technology for pattern design in garment computer aided design (CAD).

Key words: garment pattern identification; garment computer aided design (CAD); data points optimizing; non-uniform B-spline wavelet

随着计算机图象处理技术(CIP)研究的深入, 人们提出了把工程图纸扫描输入的二值图象转变成矢量图形, 为 CAD 中经典工程图纸的翻新与改造提供快速输入方法^[1]. 服装纸样是服装裁剪和缝合的指令, 是服装设计技术的核心. 但由于纸样尺寸一般很大, 所需扫描仪规格超大, 价格昂贵, 所以对纸样的精确识别研究和应用受到严重制约. 我国服装加工行业队伍庞大, 但大部分的工作性质是对现有或经典款式重版与改造而进行快速加工生产, 而且随

着科学技术的迅速发展, 大规格扫描仪的价格也在逐步下降, 同时在实际应用中还可以用价格便宜的数字化仪来代替扫描仪, 所以服装纸样的识别研究是有前途的. 由于服装纸样的曲线类型比较典型, 主要是直线和自由曲线, 而且不同部位的曲线类型一般是服装师所共识的. 对于自由曲线, 无论是用各种绘图模板进行手工绘制的还是服装 CAD 中用的 Bezier 曲线、样条曲线或非均匀 B 样条曲线所构造的曲线^[2,3], 均可通过选择适当的型值点用非均匀 B 样

条曲线进行精确地逼近, 再加之服装 CAD 中的放码、排版和制板均是基于型值点的, 所以型值点的分布问题是解决其样片设计中效率和精度矛盾的关键. 本文根据服装样片及纸样的特征提出首先整体识别直线段和曲线段端点, 然后由曲率来选定非均匀 B 样条曲线型值点精确重建曲线, 并用准均匀 B 样条小波对型值点进行压缩和优化, 从而为服装 CAD 用户提供一种智能高效的样片输入手段.

1 关键算法及原理

服装纸样的传统识别方法与其他工程图纸传统识别一样主要是细化算法, 即得到二值图象中“黑线”条的“中轴”或“骨架”, 二维细化算法不胜枚举, 例如: 有较早的迭代算法、跟踪算法、极值算法、异步算法和剥皮法、数学形态学细化法^[4]、小波细化法^[5]. 对服装纸样的粗率识别都十分快捷有效, 但是, 细化是以“象素”操作为基本工具, 突出了图象的局部性质, 难于正确地提取拓扑关系, 特别是在分叉点与交叉点, 这些都是“骨架化”方法难于解决的“死角”, 即出现一条连续直线被分割而呈现凹凸不平的现象; 而且图形输入以后, 后续处理困难, 修改不便, 无法与高层次的 CAD 系统相连. 为此, 我们必须考虑在整体识别的基础上进行智能校正其精度的方法, 才能真正获得原设计图形的再现.

1.1 整体识别

对于一般工程图纸扫描图象整体识别与图形重建的理论和方法, 谭建荣^[1]概括了 12 个要点, 这些方法对服装纸样识别当然也适用. 然而服装纸样(图 1)是一种相对比较简单工程纸样, 主要是直线居多, 其他曲线均可用适当的 Bezier 曲线或样条曲线进行逼近, 而且尺寸和坐标精度也没有其他工程纸样要求那么高, 可用以下几个步骤来完成.

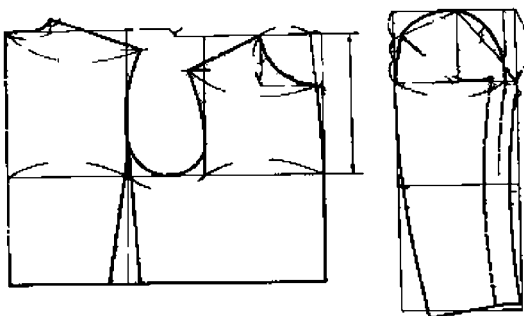


图 1 服装前后衣片和两片袖纸样

Fig. 1 Garment front & back pieces, two-piece sleeve pattern

(1)宏观性粗略识别: 为了得到一个完整的参照图, 首先将扫描二值化纸样图象进行细化, 本文选用数学形态学细化方法, 得到其“骨架”曲线(又称“骨架曲线”), 用特别的颜色(如红色)画出, 附在原图象

上, 然后根据服装纸样的名称和服装设计规则、规律, 粗略判别出服装的基本结构和纸样中直线段端点与曲线段端点坐标, 用线段将其结构顺序连接起来, 端点用实心小方点表示, 这样, 便作出服装轮廓线的简略图.

(2)直线段精确确定: 服装纸样中的直线段是非常明显的, 特别对于服装设计师来说一眼就可以看出. 对于简略图形, 按照原图“骨架”曲线, 纸样标示尺寸以及节点和交叉点中点原则精确调试其端点坐标, 这样实际上是将纸样中服装轮廓的直线段完全确定了, 曲线段端点也完全确定了.

(3)辅助信息的识别与重标: 对服装纸样中的箭头和尺寸以及文字信息, 只需按照其原数据、原信息内容和大概位置进行重新标注, 不必用那些复杂的识别算法进行自动识别. 这些信息只须让用户看得懂, 不必讲究其形式上的一致性, 但也不要忘记和忽略它.

1.2 曲线的非均匀 B 样条识别

直线段及曲线段端点确定后, 剩下的任务就是精确识别曲线的型值点, 以及精确重建整个曲线. Bezier 曲线局部性差, 一点改变位置将影响整条曲线, 准均匀 B 样条曲线的节点分布是均匀的, 对曲率变化快的地方逼近得不好, 非均匀有理 B 样条对于刻画圆弧及椭圆曲线效果最佳, 并且包含了 Bezier 均匀 B 样条曲线、准均匀 B 样条曲线和非均匀 B 样条曲线^[6], 但是权因子的计算和调整十分麻烦, 而服装纸样很少用到圆弧和椭圆曲线这样的标准曲线, 因此不必采用如此复杂的工具. 非均匀 B 样条曲线过端点, 能根据弧长来调节曲线拱度, 1 点坐标只影响 4 个基函数, 即只影响周围 3 段曲线, 所以只要适当分布型值点就可达到很好的逼近效果. 显然型值点取得越多越逼近, 但运算速度也越慢. 更关键的是, 服装样片的放码等操作都是针对单个型值点而进行的^[4], 型值点多了, 其操作将会非常麻烦的. 这就为我们提出了一个非常有意义的问题: 如何分布型值点使得尽量少的点数又能非常逼近曲线? 解决这个问题的办法是利用曲率来自我调整型值点的分布. 这里所说的曲率是指下列意义下的粗略离散曲率, 即假设 $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$, $C(x_3, y_3)$ 是曲线上的 3 个点, $\angle ABC = \alpha$, 则 C 点的曲率 v 为:

$$v = \frac{\pi - \alpha}{\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}} \quad (1)$$

我们采用三次非均匀 B 样条曲线, 其基函数由型值点之间的线段长度 (l_1, l_2, \dots, l_n) 来获得基函数的节点矢量: $(0, 0, 0, 0, l_1 + l_2, \dots, \sum_{i=1}^j l_i, \dots, \sum_{i=1}^{n-2} l_i,$

L, L, L, L), 其中 $L = \sum_{i=1}^n l_i$ 为边长的总和, 由型值点反求控制点, 由控制点插值曲线等方法与算法是非常成熟的^[6,7], 关键是反复利用 DeBoor 迭代公式

$$B_{j,0}(x) = \begin{cases} 1, & t_j \leq x < t_{j+1} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$B_{i,k}(x) = \frac{x-t_i}{t_{i+k}-t_i} B_{i,k-1}(x) + \frac{t_{i+k+1}-x}{t_{i+k+1}-t_{i+1}} B_{i+1,k-1}(x), k > 0, \quad (2)$$

并约定 $0/0 = 0$, 式中 k 表示 B 样条的幂次, t 为节点, 下标 i 为样条序号。

构造三次非均匀 B 样条基函数, 然后利用控制点 $\{P_i\}$ 与基函数 $\{B_{ik}(t)\}$ 的线性组合

$$f(t) = \sum_{i=1}^n P_i B_{ik}(t), \quad (3)$$

即得到所要的样条曲线。显然型值点的取舍主要取决于曲率 ν 的取值, 而 ν 的值是根据曲线的总长度、角度变化度来决定的, 但拐点和极值点一定要取上, 且其旁边稍微取密一点。

2 型值点的小波优化

在形状保持不变的情况下解决型值点最少问题的最自然的想法是用遗传算法^[8]全局优化, 即模拟自然界优胜劣汰的自然过程, 通过选择、交叉、变异算子的操作, 使得问题的解在竞争中得以进化, 从而求得满意解。但遗传算法涉及复杂的数据训练, 所以效率不高。小波分析中的多分辨率分解是解决造型中压缩问题的有效手段。朱心雄^[9]首先在非均匀 B 样条曲线上重新进行离散化采样, 获得 $2^j + 1$ 个型值点, 然后由型值点反算出 $2^j + 3$ 个控制点, 再利用准均匀 B 样条曲线来逼近非均匀 B 样条曲线, 从而把问题转化为准均匀 B 样条曲线的多分辨率表示。刘建等^[9]利用半正交和双正交 B 样条小波的概念, 提出了对任意非均匀 B 样条和 NURBS 曲线进行精确的半正交分解和重构的新算法。该小波分解算法是由 B 样条曲线的节点插入和删除算法所推导的, 它解决了任意 NURBS 曲线及任意节点的小波多分辨率分解, 而且分解后的主要部分和细节部分的型值点是上一层的全部型值点。这是服装 CAD 很想获得的特征, 但是它需要人工选择, 更关键的是它分解后型值点没有重建计算, 一般难于保持形状不变, 特别是极值点、拐点、扭点等关键型值点在自动化选点下难于保证保留下来, 如隔点删除其分辨效果还不如准均匀 B 样条小波, 更不用说其速度无法跟准均匀 B 样条小波相比, 并且还可以根据递推公式推导出

其三次准 B 样条基函数的数学表达式^[10], 这样可大大加快计算速度。实际上准均匀算法在服装 CAD 中的效果要好一些, 但型值点改变又是服装 CAD 中不允许太多出现的事情。

3 实例研究

识别和重建服装纸样曲线的关键步骤为: 第 1 步, 扫描原始服装或纸样, 获得扫描图象(图 1); 第 2 步, 对扫描纸样图象的外轮廓线进行细化, 得到骨架; 第 3 步, 粗略提取特征型值顶点; 第 4 步, 对曲线再进行三次非均匀 B 样条曲线的逐段识别, 得到矢量化图形; 第 5 步, 在下列最小最大方法的误差下, 利用准均匀 B 样条小波对其型值点进行优化和压缩。为了进行型值点优化, 要事先给定一个误差额差及计算方法。本文采用最小最大方法, 即定义新曲线上的一点到原曲线各点的距离的最小值, 然后取这些最小值的最大值即为两曲线的误差。由于新曲线与原曲线的距离很小, 而且其分布基本相同, 所以只需计算这一点与原曲线的对应点[在式(3)中取相同 t 值]的前后各少数几个点的欧氏距离。如图 2, 计算逼近曲线的某个点与原曲线的 10 个点的距离, 这 10 个点依次分别相隔一两个点(相隔多少点可根据实际来调整)。如图 2 中, 对逼近曲线的某个点 b 分别计算其与原曲线的 a_1, a_2, \dots, a_{10} 这 10 个点的距离, 然后取其最小值。给定所允许的误差 ϵ , 对所获得的曲线进行小波压缩, 计算误差, 若小于 ϵ , 再压缩, 直到大于或等于 ϵ , 取前一次的结果为最后优化结果。

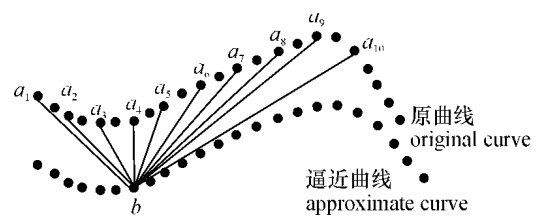


图 2 两曲线误差定义示意

Fig. 2 Diagram indicating of error between two curves

图 3(a)是由上述第 4 步抽取的一段曲线, 图 3(b)和图 3(c)分别是 11 个控制点和 7 个控制点(红色), 误差分别是 $\alpha = 3.030$ 和 $\alpha = 5.440$ 像素, 从图上可以看出分解后的曲线的两端点发生微小变化(不一定能过端点), 这样, 若多条曲线组合, 则不能首尾相接, 所以需要做一些处理。事实上, 就用原来两端点值反回去代替新的端点控制点, 其误差很小, 而这样就把端点问题解决了。图 4(a)是服装样片原纸样, 图 4(b)11 个控制点, 误差 $\alpha = 2.611$, 图 4(c)7 个控制点, 误差 $\alpha = 3.458$, 图 5(a)是抽取的一段曲线, 图 5(b)A、B、C、D 段控制点数分别为 7、5、5、5, 误差

分别为 3.456、4.407、4.725、6.064, 图 5(c) A、B、C、D 段控制点数分别为 5、4、4、4, 误差分别为 4.937、5.129、8.238、5.954, 从以上图中可以看出: 对于曲率较大的曲线(如图 5 的 A 段), 当经过小波分解到 4 个控制点的时候, 曲线普遍发生较大的偏差; 而对于较平缓的曲线(如图 5 的 B、C、D 段), 即使小波分解到最少的 4 个控制点的时候, 曲线也一般不会发生大的改变。

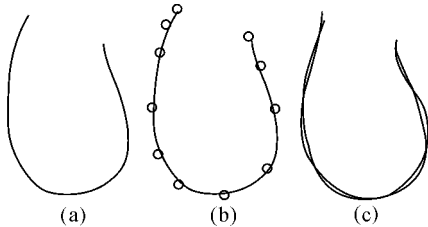


图 3 袖窿线的样条小波优化识别结果

Fig. 3 Optimized identification of a basic style sleeve by B-spline wavelet

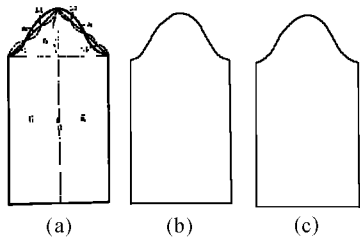


图 4 袖原型纸样及其两优化结果

Fig. 4 Original basic style sleeve and its two optimizations

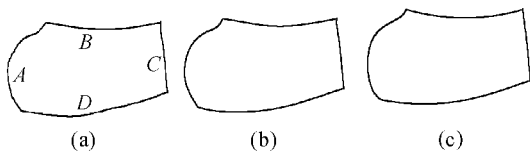


图 5 两片袖中大袖小波优化结果

Fig. 5 Wavelet optimization of the larger element of a two-piece sleeve

4 结论

理论分析和实验结果表明, 本文提出的整体识别直线段和精确识别非均匀曲线段型值点的服装纸样识别方法, 既操作简单又非常实用, 并充分利用非均匀 B 样条曲线的拱度与节点之间的相对距离的关

系, 利用准均匀 B 样条小波对样条曲线的型值点进行压缩和优化, 使得型值点数目少而逼近程度高。这实际上为服装 CAD 中的一种快速有效的输入方法, 在重版、改版、放码及排版等服装 CAD 组成部分中起到重要的作用。另一方面, 如果利用大型号数字仪, 其成本比大型号扫描仪低得多, 可直接对服装纸样或服装样片样板进行点采样, 用上述方法(稍做修改)也可以达到型值点尽量少, 而重建效果和精度好。根据这些开发一种方便实用的小型服装 CAD 输入系统, 受到许多中小型服装加工厂的青睐。进一步工作是研究任意节点的准(非)均匀 B 样条小波的小波分解公式及其快速算法。

参考文献:

- [1] 谭建荣. 计算机工程图学的探索与实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 1994. 36—45.
- [2] 郭瑞良, 张辉. 服装 CAD 系统中的板型曲线拟合的讨论[J]. 北京服装学院学报, 2002, 22(2): 64—67.
- [3] 关履泰, 罗笑南, 黎罗罗, 等. 计算机辅助几何设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999. 276—329.
- [4] 田绪红, 李庆华. 基于数学形态学的工程图符识别方法[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(4): 446—449.
- [5] YANG L H, CHING Y S, YANG Y Y. A width-invariant property of curves based on wavelet transform with a novel wavelet function[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Part B): Cybernetics, 2003, 33(3): 541—548.
- [6] 朱心雄. 自由曲线曲面造型技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 138—169.
- [7] PIEG L L, TILLER W. The NURBS book[M]. 2nd. New York: Springer-Verlag, 1997. 51—139.
- [8] 李继云, 耿兆丰. 给定误差最少数据点 B 样条拟合的遗传算法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(3): 334—337.
- [9] 刘建, 关右江, 秦开怀. 任意 NURBS 曲线的小波分析和造型技术[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(9): 894—900.
- [10] 朱同林, 唐新建, 陈明浩. 基于准均匀 B 样条基函数的 DEM 形表面快速拟合算法[J]. 华南农业大学学报, 2003, 24(增刊): 24—27.

【责任编辑 李晓卉】