



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102292721 B

(45) 授权公告日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201080005374. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 01. 15

G06F 17/21 (2006. 01)

(30) 优先权数据

G06F 17/28 (2006. 01)

12/359, 819 2009. 01. 26 US

G06F 17/22 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

审查员 谢宜瑾

2011. 07. 25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2010/050855 2010. 01. 15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/084974 EN 2010. 07. 29

(73) 专利权人 三菱电机株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 E·J·加库巴卡 罗纳德·N·佩里

莎拉·F·福斯肯

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

代理人 李辉 黄纶伟

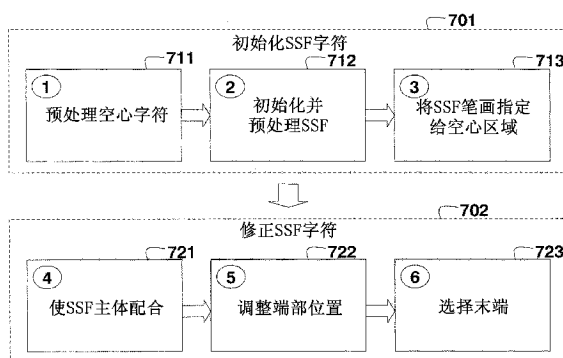
权利要求书2页 说明书9页 附图13页

(54) 发明名称

将空心字符转换成风格化笔画字符的方法

(57) 摘要

一种通过首先识别空心字符的区域而将空心字符转换成风格化笔画字符的方法, 其中, 各个区域是闭合和分离的。针对各个区域, 确定风格化笔画字符的笔画主体和末端的候选位置。然后, 将笔画主体初始化并且组织成层级树结构, 并且按照该层级树结构的顺序修正笔画主体。然后, 调整经修正的笔画主体的端部位置以与空心字符一致, 并且最后为经调整的笔画主体选择末端。



1. 一种将空心字符转换成风格化笔画字符的方法,该方法包括如下步骤:
识别所述空心字符的区域,其中,各个区域是闭合的和分离的;
针对各个区域,确定笔画主体,以及确定末端的候选位置;
使用来自均匀宽度笔画字体的对应字符初始化所述风格化笔画字符的所述笔画主体;
将所述笔画主体组织成层级树结构;
按照所述层级树结构的顺序修正所述笔画主体以产生经修正的笔画主体,其中,首先,将所有的风格化笔画字体(SSF)笔画,即层级树的根结点中包含的所有笔画作为一个单元进行修正,然后,独立地修正各风格化笔画字体(SSF)笔画集,即层级树的根结点的各子节点,按层级树的结构顺序下降,直到最后独立地修正了各风格化笔画字体(SSF)笔画,即层级树的叶节点为止;
调整所述经修正的笔画主体的端部位置,使得经调整的笔画主体与所述空心字符一致;以及
选择所述经调整的笔画主体的所述末端。
2. 根据权利要求1的方法,其中,各个区域由距离场表示,并且所述确定利用了规定所述区域的轮廓的密集采样线段近似的德洛内三角剖分。
3. 根据权利要求2的方法,其中,在使用来自均匀宽度笔画字体的对应字符初始化所述风格化笔画字符的所述笔画主体时,所述笔画主体具有均匀的宽度,并且所述笔画主体的中心线使用对应的均匀宽度笔画字符的路径,并且具有角部的路径被分割以形成多个笔画主体。
4. 根据权利要求1的方法,其中,针对各个区域,独立地修正和调整所述笔画主体。
5. 根据权利要求3的方法,该方法还包括:
在按照所述层级树结构的顺序修正所述笔画主体时,将各个笔画主体的所述中心线与所述空心字符的对应的隐含笔画的中心线对齐。
6. 根据权利要求5的方法,其中,利用反映所述区域的所述距离场夹着各个笔画主体的所述中心线如何变化的能量来量化所述对齐。
7. 根据权利要求6的方法,其中,通过沿各个笔画主体的所述中心线施加力以减少所述能量并且使各个笔画主体的所述中心线接近所述空心字符的对应的隐含笔画的所述中心线,反复地修正各个笔画主体的所述中心线。
8. 根据权利要求7的方法,其中,所述能量是沿各个笔画主体的所述中心线的等间隔采样点处的能量的平均值。
9. 根据权利要求7的方法,其中,减少所述能量,直到能量变化小于预定阈值为止。
10. 根据权利要求5的方法,其中,所述对齐使用仿射变换。
11. 根据权利要求1的方法,其中,在选择所述经调整的笔画主体的所述末端后,各个末端被平移、旋转和缩放,使得所述末端的开口与特定笔画主体的中心线垂直并且与该特定笔画主体的边缘对齐。
12. 根据权利要求1的方法,该方法还包括:
在选择所述经调整的笔画主体的所述末端后,测量空心字符的距离场与所述风格化笔画字符的距离场之间的差异以识别转换误差。

13. 根据权利要求 1 的方法,其中,所述调整步骤还包括:
连接并延伸经修正的笔画主体以与所述空心字符一致。

将空心字符转换成风格化笔画字符的方法

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及字体转换,更具体地,涉及将以空心字体表示的空心字符转换成由风格化笔画字体 (SSF:Stylized Stroke Font) 表示的风格化笔画字符。

背景技术

[0002] 处理器和内存受限装置 (例如,移动电话、个人数字助手、汽车导航系统、打印机、相机和电器) 的扩散以及经由互联网根据需求传送包含字体的 Applets 的实践 (例如,Flash 和 Java) 已经展示了现有的字体表示的缺点。

[0003] 当脚本包括大量字符时,这些处理器和内存约束造成了特定问题。较大的高质量字体集要求大量内存并且处理缓慢。如表 1 所示,中文、日文和韩文 (CJK) 脚本包含比拉丁文脚本多很多的字符。

[0004] 表 1

[0005]

字符的数量	字符集
224	拉丁文-1
7043	日文 (日文汉字)
7580	简体中文
13860	繁体中文
17142	韩文
18267	具有香港字符集的繁体中文

[0006] 图 1A 示出了由传统表达的空心字体表示的中文字符。空心字体使用形成闭合轮廓的直线段和曲线段。在内存和处理器受限装置上难以支持空心字体,用于呈现高质量空心字符的传统方法要求可观的 CPU 资源并且这些字体的内存占用很大。

[0007] 在内存受限装置上进行位图表示也需要太多的内存。另外,单色位图并不是平滑的,位图是不可缩放的,并且手调位图的劳动强度非常大。

[0008] 为了优化内存使用,能够使用均匀宽度笔画的字体。这些字体通常将一般在整个字体的中文字符中的重复笔画 (即,偏旁或字母) 集组合成以后跨字符重复使用的单个简单形状。

[0009] 图 1B 示出了由常规的均匀宽度笔画的字体表示的中文字符,该字符需要少得多的内存 (约 250KB),但是不能够反映中文书法的丰富的笔刷风格,并且因此缺乏文化认同。

[0010] 风格化笔画字体 (SSF) 是基于增强型笔画的字体,它的笔画具有可变粗细和有风格化的笔画端部 (参见 “An Improved Representation for Stroke-based Fonts”,

SIGGRAPH 2006 Conference Abstracts and Applications, Elena J. Jakubiak, Ronald N. Perry, and Sarah F. Frisken)。SSF 采用对字体内的形状的重复提供补充支持的模块化结构,使得与当前的均匀宽度笔画字体进行比较,SSF 能够将空心字体的表达与内存占用相匹配。

[0011] 为了使 SSF 成为空心字体的可行替代,需要与空心字体所提供的多样化相匹配的 SSF 的集合。不幸的是,从零开始创建一个 SSF CJK 字体能够耗费多年的工作。因此,存在着对一种将 CJK 字形从传统的空心表示(例如, TrueType 字体)自动转换成 SSF 的方法的需要。

[0012] 将 CJK 空心字体转换成风格化笔画字体 (SSF) 的有效方法必须要求最少的人工输入(例如,对参数进行调谐或者编辑失败的转换),并且必须能够自动检测转换失败。

[0013] 此外,该转换过程需要足够准确,使得用于纠正转换失败的时间明显小于从零开始形成 SSF 的时间。本发明的目的在于将空心字体自动转换成 SSF,并且提供使得字体设计人员能够快速纠正任何转换欠佳的字符的编辑和诊断工具。

[0014] 用于建立 CJK 字体并且降低内存要求的现有技术方案包括:从核心成分建立字符,使用字符的参数描述,充分利用形状的重复来压缩现有的空心字体,并且设计偏旁化的笔画宽度均匀的字体。

[0015] 大约十个基本笔画的核心集合被用于书写所有的中文字符。这些基本笔画的组合在很多字符中被重复地使用。因此,用于使字体创造流水线化并降低内存要求的一个方案是从基本的笔画集合或者笔画分组创造字体。然而,由于字符内的笔画的位置确保空间平衡和协调(对于一般文化认同是重要的),因此这个构造方案不能表现重要的字体细微之处。

[0016] 另一个方案利用一组几何方程以数学的方式定义笔画或字符的部分。这些以数学方式设计的字符还具有使创造时间减到最少并降低内存要求的能力。然而,字体设计员是在平衡和协调方面进行设计的专业艺术家。引用 Donald Knuth, "...asking an artist to become enough of a mathematician to understand how to write a font with 60 parameters is too much," Knuth, 1986, The METAFONT book, Addison-Wesley。因此,空心字体继续占上风。

[0017] 对空心表示法进行压缩的尝试已经获得了 25% 的压缩率,但是这些节省仍然不够。因此,铸字厂已经开发出与空心相对的由变得简单的中心线表示并且在字体中重复利用笔画组合的均匀宽度笔画字体。这些字体要求少得多的内存(例如,针对具有 7663 个字符的标准国标 (GB) 2312 简体中文字符集,占用 250KB),但是这些字符是简单化的并且不能反映 CJK 字符的丰富的毛笔风格。

发明内容

[0018] 本发明提供了一种将传统空心字符自动转换成风格化笔画字符的方法。基于 SSF 风格化笔画的表示法特别适于中文、日文和韩文 (CJK) 字体,中文、日文和韩文 (CJK) 字体中的每一种字体都能够包括超过 12000 个字符。

[0019] 传统的空心 CJK 字体至少需要 3MB 到 10MB 的内存。使用根据本发明的实施方式的方法,相当的 SSF 要求大约 250KB。尽管使用均匀宽度笔画字体能够实现相似的内存减

少,但是 SSF 保持了空心字体的出众的风格特征。

[0020] 用于自动转换的方法使用距离场。该方法初利用一般的均匀宽度笔画字体来初始化 SSF 并且接着反复地修正各个风格化笔画字符,以与目标空心字体的对应字符的形状和风格相一致。该方法使用距离场来测量风格化笔画字符与其对应的空心字符之间的误差并且为每次重复确定需要的修改。

附图说明

- [0021] 图 1A 是由传统的空心字体表示的中文字符；
- [0022] 图 1B 是由传统的均匀宽度笔画字体表示的中文字符；
- [0023] 图 2 是书写为架构完美的笔刷笔画的中文字符；
- [0024] 图 3 是根据本发明的实施方式的由风格化笔画字体表示的中文字符；
- [0025] 图 4 是根据本发明的实施方式的风格化笔画；
- [0026] 图 5A 是根据本发明的实施方式的由转换后的空心字体表示的中文字符；
- [0027] 图 5B 是根据本发明的实施方式的图 5A 的具有闭合路径的字符；
- [0028] 图 5C 是具有由图 5B 的闭合路径表示的图 5A 的合成形状的字符；
- [0029] 图 6 是根据本发明的实施方式的被表示为距离场的中文字符；
- [0030] 图 7 是根据本发明的实施方式的将空心字符转换成风格化笔画字符的方法的流程图；
- [0031] 图 8A 是由空心字体表示的中文字符；
- [0032] 图 8B 是根据本发明的实施方式的由描绘空心字符的闭合的、分离的区域的闭合轮廓表示的图 8A 的中文字符；
- [0033] 图 9A 至图 9D 是根据本发明的实施方式的应用了线段分割、三角型剖分、接合和掩模操作的中文字符；
- [0034] 图 10 是根据本发明的实施方式的中文字符的层级树形表示；
- [0035] 图 11A 至 11C 是根据本发明的实施方式的指定了笔画的中文字符；
- [0036] 图 12A 至 12F 是根据本发明的实施方式的应用了图 7 的方法的步骤的中文字符；
- [0037] 图 13 是根据本发明的实施方式的末端集合；
- [0038] 图 14 是根据本发明的实施方式的具有配合的末端的笔画；以及
- [0039] 图 15 示出了根据本发明的实施方式确定沿 SSF 中心线的采样点的能量和力量的方法。

具体实施方式

[0040] 本发明提供了将由传统空心字体表示的字符（即，空心字符）自动转换成由风格化笔画字体表示的字符（即，风格化笔画字符）的方法。

[0041] 字符结构

[0042] 如图 2 所示,中文书法笔画的字体主要由笔刷沿纸张的移动的三个阶段（即,开始 201、展开 202 和结束 203）限定。

[0043] 如图 3 和图 4 所示,SSF 笔画的结构反映了这种笔刷移动。SSF 笔画的主体 301 包括中心线 401 和轮廓 402,其中,中心线 401 反映了图 2 中毛笔展开时的路径,轮廓 402 反映

了笔刷展开时的压力变化。SSF 笔画的末端 302 是当将笔尖置于纸张上并开始移开时笔刷移动的开始的和结束的风格化表示。各中心线和末端都由线段和贝塞尔 (Bezier) 曲线的开放的、分段的连续路径表示。轮廓由单个二次贝塞尔曲线表示,它规定了从笔画中心线到笔画的两个边缘的垂直距离。

[0044] 将各个空心字符转换成 SSF 表示。针对给定的空心字符,我们的方法使用来自均匀宽度笔画字体的对应字符来初始化风格化笔画字符,然后对该风格化笔画字符进行反复修正以与空心字符一致。使用均匀宽度笔画字符的路径来初始化 SSF 中心线 401。将 SSF 轮廓 402 初始化为常量,并且将 SSF 笔画初始化为不具有末端。

[0045] 图 5A 示出了由图 5B 中的以闭合路径表示的空心字符,该空心字符是如图 5C 的字符中的隐含笔画的合成形状。因此,空心字符其实是规定该字符的笔画的合成形状。风格化笔画字符的笔画实际上被修正为与空心字符的隐含笔画一致。

[0046] 距离场

[0047] 如图 6 所示,对于字符 600 而言,距离场针对空间内的任一点都规定了从该点到字符的边界的距离。通常,外部点 601 是负数,内部点 602 是正数,并且轮廓上的点 603 是零。

[0048] 由于字符的距离场为空间内的任何点提供了与该字符的边界的距离和方向,所以对于修正 SSF 笔画以与空心字符的隐含笔画一致而言,距离场特别有用。

[0049] 如图 15 所示,沿各 SSF 中心线规则间隔的采样点 1501 被用于确定如何修改 SSF 笔画以与空心字符的相应的隐含笔画一致。采样点 1501 处的带符号的距离值指示采样点 1501 是位于空心字符之内还是之外以及到字符边缘上的最近点的距离,从而提供 SSF 中心线应该如何移动以到达空心字符的相应的隐含笔画的中心线的线索。

[0050] 由于空心字符的距离场平滑地变化,所以这个方案对于采样位置和频度来说是相对鲁棒的。在 SSF 笔画就位以后,SSF 中心线沿空心字符的距离场的梯度为零的区域展开。此外,SSF 主体和末端的边缘沿空心字符的距离场的零级等值面展开。

[0051] 转换方法

[0052] 如图 7 所示,将空心字符转换成风格化笔画字符(即,SSF 字符)的方法具有两个阶段 701 和 702。在第一阶段 701 内,初始化风格化笔画字符,然后计算风格化笔画字符和空心字符二者的字符形状和结构信息。在第二阶段 702 内,形状和结构信息被用于反复修正风格化笔画字符以与空心字符一致。

[0053] 各个阶段中都有三个步骤:步骤 1- 预处理空心字符 711;步骤 2- 初始化并预处理风格化笔画字符 712;步骤 3- 识别 SSF 笔画与空心字符的闭合的、分离的区域之间的对应关系 713;步骤 4- 修正 SSF 笔画以与空心字符的隐含笔画 721 一致;步骤 5- 调整 SSF 笔画的结束位置 722;以及步骤 6- 选择 SSF 笔画的末端 723。

[0054] 步骤 1- 预处理空心字符

[0055] 如图 8A 所示,要转换的空心字符由描绘出闭合的、分离的区域的一系列闭合轮廓表示。步骤 1 识别空心字符的闭合的和分离的区域。接下来,确定各个区域的带符号的采样距离场。如图 9A 所示,使用公知的对规定了各个区域的轮廓进行密集采样线段近似的德洛内三角剖分来分析各个区域,以确定笔画主体和末端的候选位置。

[0056] 德洛内三角剖分包含三种类型的三角形(即,接合三角形(junction triangle)、末端三角形(terminal triangle)和套接三角形(sleeve triangle))。如图 9B 所示,这些

类型的区别在于在三角形与线段近似之间共享的边缘的数量。

[0057] 如上所述,空心区域的形状是规定该区域的隐含笔画的合成形状,如图 5 所示。因此,各种类型的三角形都对应于隐含笔画的可能部分。接合三角形或末端三角形表示形状的变化。因此,如图 9C 所示,接合三角形和末端三角形的外接圆被用作隐含笔画之间的交叉部、角部和接合部(例如,T 形结)和针对隐含笔画结束的候选区域(由圆圈表示)。套接三角形表示缓慢变化或不变的形状并且可以对应于单个隐含笔画的主体。

[0058] 参见图 9D,该方法使用德洛内三角剖分的顶点来确定加权掩模(weighted mask)。掩模的各个采样点被赋予了该采样点位于空心区域的单个隐含笔画的主体内的可能性。

[0059] 如下确定遮掩。德洛内三角形剖分中的各个顶点 v 被赋予 0 与 1 之间的权重。属于接合三角形或末端三角形的顶点总是具有权重 0。各个其余顶点 v 的权重基于其法线和与顶点 v 共享边缘的各个顶点 u 的法线的点积的权重,即,权重 $(v) = 1 - \min\{N_u \cdot N_v\} / 2$,其中, N_u 和 N_v 是顶点 u 和 v 处空心轮廓的法线, $N_u \cdot N_v$ 是 N_u 和 N_v 的点积,并且 $\min\{N_u \cdot N_v\}$ 是在从 v 延伸的所有边缘 $e = (u, v)$ 上的 $N_u \cdot N_v$ 的最小值。通过在顶点之间插入这些权重来确定掩模。

[0060] 步骤 2- 初始化并预处理 SSF 字符

[0061] 使用来自均匀宽度笔画字体的对应字符来初始化风格化笔画字符。使用对应的均匀宽度笔画字符的路径来初始化 SSF 中心线。SSF 轮廓被初始化成常量。SSF 笔画主体被初始化成不具有末端。注意,具有角部的路径被分割以形成多个 SSF 笔画主体。

[0062] 风格化笔画字符的笔画形成一个或多个不交叠的笔画集。各个笔画集内的 SSF 笔画彼此具有特定关系,该特定关系用于定义 SSF 笔画集的子集。

[0063] 步骤 2 将来自各个不交叠笔画集的 SSF 笔画组织成这些子集的层级树,参见图 10。如图 10 所示,SSF 字形的笔画能够划分成独立的不交叠笔画集。各个笔画集构成了子集的层级,用于反映 SSF 笔画之间的关系。图 10 示出了所示字形的两个这种笔画集。各个层级都由树形数据结构表示,其中,叶结点表示各个 SSF 笔画,中间结点表示 SSF 笔画子集(同一路径的初始部分的 SSF 笔画或彼此交叉的 SSF 笔画或 SSF 笔画的子集),根结点表示该笔画集内的所有 SSF 笔画。

[0064] 步骤 3- 向空心区域分配 SSF 笔画集

[0065] 步骤 3 确定哪些 SSF 笔画集对应于各个 v 区域,参见图 11A 到图 11C。对 SSF 字形进行变换以将其轴对齐边界框映射到对应的空心字形的轴对齐边界框上。利用空心区域的距离场,将各个 SSF 笔画集指定到与其最接近的空心区域。如果一空心区域没有被指定 SSF 笔画集,则附近的 SSF 笔画子集或 SSF 笔画被再指定给该空心区域。最接近该空心区域的 SSF 笔画子集或 SSF 笔画(该 SSF 笔画不是 SSF 笔画子集的一部分)被再指定给该空心区域。

[0066] 为了例示步骤 3,在图 11A 到图 11C 中给出了例子。步骤 3 确定与各个空心区域(a 至 e)对应的 SSF 笔画集。首先,各 SSF 笔画集(见图 11B)被指定给与其最接近的空心区域,参见图 11A。如果一空心区域没有被指定 SSF 笔画集(例如,空心区域 e),则对包含最接近该区域的 SSF 笔画的 SSF 笔画集(例如,SSF 笔画集 c)在没有 SSF 笔画的空心区域(空心区域 e)与初始指定了该 SSF 笔画集的空心区域(空心区域 c)之间进行分割。

[0067] 步骤 4- 使 SSF 主体配合

[0068] 在步骤 3 中,将 SSF 笔画集指定给空心区域,一个或多个 SSF 笔画集被指定给各空心区域。如上所述,各空心区域的形状是规定该区域的隐含笔画的合成形状。

[0069] 在步骤 4 中,各 SSF 笔画集中的笔画的主体被修正以与在它们对应的空心区域中的隐含笔画的主体一致。该方法单独地处理空心区域及其对应的笔画。

[0070] 对与空心区域相对应的 SSF 笔画进行初始变换,使得它们的边界框的联合体与空心区域的边界框对齐。然后,如下所述,利用空心区域的距离场来修正各 SSF 笔画以使其主体与空心区域中的对应的隐含笔画的主体一致。

[0071] 能量和力量

[0072] 最终,笔画主体的各 SSF 中心线与空心字符的对应隐含笔画的笔画主体的中心线对齐。利用反映空心区域的距离场如何在整个 SSF 中心线上进行变化的能量来量化 SSF 中心线的对齐。通过沿 SSF 中心线施加力量反复修正 SSF 中心线以减少能量,使得 SSF 中心线接近其对应的隐含笔画的中心线。

[0073] 如图 15 所示,SSF 中心线的能量是沿 SSF 中心线的等间隔采样点 1501 处的能量的平均值。使用 p 处和在与 p 处的 SSF 中心线正交的各个方向从 p 偏移了很短的距离的两个点 p_a 和 p_b 处的距离来计算点 p 处的能量: $\text{Energy}_{\text{CNTR}}(p) = |\text{Distance}(p_a) - \text{Distance}(p_b)| * (C - \text{Distance}(p))$, 其中, C 是大于 $\text{Distance}(P)$ 的最大值的常数,使得 $(C - \text{Distance}(P)) > 0$ 。在理想情况下, C 等于空心区域的距离场的最大值,使得当 p 接近隐含笔画的中心线时, $(C - \text{Distance}(P))$ 较小。

[0074] 当空心区域的距离场在 SSF 中心线两侧对称时(当 $|\text{Distance}(p_a) - \text{Distance}(p_b)| = 0$ 时),能量为零。当空心区域的距离场在 SSF 中心线两侧不对称时,SSF 中心线越接近空心区域的隐含中心线,能量就越低。

[0075] 在沿 SSF 中心线的采样点处的力量用于修正 SSF 中心线以减少其能量。每个力都与 SSF 中心线以及在距离变大的方向上的点正交。力量的大小与 SSF 中心线在采样点 p 处的能量成比例: $F(p) = N^+ * \text{Energy}_{\text{CNTR}}(p) * \text{STEP_SIZE}$, 其中, N^+ 是指 SSF 中心线在 p 处的指向距离变大的方向的法线,并且 STEP_SIZE 由用户定义。

[0076] 每个力都具有来自在对空心字符进行预处理的步骤 1 中确定的掩模的关联权重,该关联权重反映了它的采样点位于与隐含空心笔画的主体对应的区域内的可能性。

[0077] 修正 SSF 主体

[0078] 与空心区域对应的 SSF 笔画被按照层级树结构的顺序反复修正。与空心区域对应的 SSF 笔画集被置于树结构 T 内,其中,各 SSF 笔画集都是 T 的根结点的子节点,参见图 10。

[0079] 首先,将所有的 SSF 笔画(即, T 的根结点中包含的所有笔画)作为一个单元进行修正。当中心线能量在连续的反复之间的变化较小时,独立地修正各 SSF 笔画集(即, T 的根结点的各子节点)。图 10 的层级按顺序下降,直到最后独立地修正了各 SSF 笔画(即, T 的每个叶结点)为止。

[0080] 随着 SSF 中心线接近它们对应的隐含笔画的中心线,修正 SSF 主体的方式发生变化。

[0081] 最初,使用仿射变换对 SSF 中心线进行粗略成形和定位。各采样点处的力量限定了该采样点的期望位置。针对包含在当前结点内的所有 SSF 笔画,使用加权最小二乘法求解器计算仿射变换,将采样点与它们的期望位置的平方距离之和减到最小。然后,将仿射变

换应用于 SSF 中心线的控制顶点以更新它们的位置和形状。

[0082] 在与空心区域对应的所有 SSF 笔画都被独立变换并且它们的中心线能量的变化小于预定阈值以后,该方法开始精确调谐各 SSF 主体。

[0083] SSF 主体的三个属性(即,SSF 中心线的形状、SSF 主体的长度和 SSF 轮廓的形状)被反复修正,使得 SSF 主体的形状与其对应的隐含笔画的主体的形状一致,参见图 12D。

[0084] 利用基于距离的曲线拟合方法来修正各 SSF 中心线的形状。如上所述,计算沿中心线的一组采样点的力量并且使用在对空心字符进行预处理的步骤 1 中确定的掩模进行加权。然后,组合并应用这些采样点力量以对限定中心线的控制顶点进行重新定位,从而修正中心线的形状。

[0085] 具体地,在采样点力量的加权的方向上将各控制顶点移动很短的距离。加权 and 的权重涉及公知的伯恩斯坦多项式,该多项式定义中心线的各个部分的系数。

[0086] 例如,沿通过 $p(t) = (1-t)^2C_1 + 2t(1-t)C_2 + t^2C_3$ (其中, $t \in [0,1]$) 定义的二次贝塞尔曲线的采样点 $P(t)$ 的权重对于控制顶点 C_1 来说是 $(1-t)^2$,对于控制顶点 C_2 来说是 $2t(1-t)$,并且对于顶点 C_3 来说是 t^2 。

[0087] 基于确定 SSF 主体的端部与其它在的区域配合得如何的一系列属性测试,延长和缩短 SSF 笔画主体。

[0088] 如果 (1) SSF 主体的端部位于它的对应空心区域之外, (2) 则 SSF 主体的端部位于另一个 SSF 主体之内, (3) SSF 中心线的端部没有与它的对应的隐含中心线对齐,或者 (4) 沿 SSF 主体的端部的形状不与沿隐含笔画的端部的形状一致,则缩短 SSF 笔画。否则就延长笔画。

[0089] 通过利用加权线性最小二乘法更新 SSF 主体的轮廓 402 以将二次贝塞尔曲线拟合沿 SSF 中心线的采样点距离,调整了 SSF 主体的形状。权重反映了采样点距离与在采样点处的笔画宽度对应得如何。如下确定权重。

[0090] 当 SSF 中心线 401 完美地与它对应的隐含笔画的中心线对齐时,中心采样点 p (例如,在不与隐含笔画的交叉点相对应的区域内的位于它的对应隐含中心线上的采样点) 处的距离 $Distance(p)$ 指示在该采样点处的笔画宽度 $Width(p)$ 。

[0091] 各个采样点 p 都具有两个关联偏移点 P_a 和 P_b ,这两个偏移点 P_a 和 P_b 在与 p 处的 SSF 中心线正交的各个方向上从 p 偏移 $Width(p)$ 。当以 p 为中心时, P_a 和 P_b 位于空心区域的距离场的零级等值面上。当其发生时,距离在 P_a 和 P_b 处为零,并且 P_a 和 P_b 处的距离场的梯度大致与 p 处的中心线正交。

[0092] 利用 P_a 和 P_b 处的距离和梯度,在各采样点 p 处计算权重。该权重指示 p 是否是中心。距离场梯度与各个偏移点处的正交的对应中心线之间的差异按偏移点处的距离来调整。

[0093] 步骤 5- 调整 SSF 主体的端部位置

[0094] 在使 SSF 主体配合的步骤 4 中,强迫 SSF 主体在它们不配合的区域之外收缩(图 12D),即使这些区域可能对应于隐含笔画的主体。例如,SSF 主体可能由于它的端部位于与两个隐含笔画的接合点相对应的区域内而收缩。

[0095] 为了保持空心字符的拓扑,明确地将应当形成角部或接合部的 SSF 主体连接起来,并且需要将 SSF 主体的没有连接到其它 SSF 主体的端部定位在空心区域的与末端对应

的区域内（图 12E）。在本说明书中，SSF 主体的端部位置的连接和延长被称作调整 SSF 主体。隐含笔画的端部、接合部和角部的候选区域的集合指示如何连接和定位（即，调整）SSF 主体的端部。

[0096] 各 SSF 中心线都朝着其路径上的下一个候选区域依次延伸，使得 SSF 中心线的端部尽可能靠近候选区域的中心。使用三条规则来确定何时停止延长 SSF 中心线。

[0097] 首先，如果 SSF 中心线的端部延伸进入另一 SSF 中心线，则仅当存在空心区域的与 SSF 中心线的端部相对的、未被 SSF 笔画覆盖的区域（例如，在交叉的 SSF 笔画的另一侧）时，才允许该 SSF 中心线继续延伸。

[0098] 第二，如果 SSF 主体的端部遇到该端部的形状不与它的对应隐含笔画的主体的形状一致的区域（在它到达下一个候选区域之前），则将 SSF 中心线复位到它的先前位置。

[0099] 第三，如果 SSF 中心线的端部到达代表下一个候选区域的圆圈但是它到该圆圈的边缘的距离小于到达代表它的前一个候选区域的圆圈的边缘的距离，则将 SSF 中心线复位到它的先前位置。

[0100] 在 SSF 中心线停止前进以后，针对位于包含其它 SSF 中心线的候选区域内的 SSF 中心线的端部，可能需要明确地形成接合部和角部。依次考虑各 SSF 中心线的端部。

[0101] 如果 SSF 中心线的端部位于包含另一 SSF 中心线的一部分的候选区域内，则形成接合部或角部：(1) 如果 SSF 中心线的端部位于包含另一 SSF 中心线的端部的圆圈内并且这两个 SSF 中心线中的任一个需要进一步延伸以进行连接或者这些 SSF 中心线的端部之间的距离小于这两个 SSF 中心线端部处的 SSF 轮廓的尺寸，则形成角部；(2) 否则，形成接合部。

[0102] 步骤 6- 选择 SSF 末端

[0103] 从图 13 所示的末端的集合 1300 中选择 SSF 末端（图 12F）。这些末端是通过交互式检验空心字体的一小组的样本字符而预先确定的。为了使 SSF 末端配合 SSF 主体，各个 SSF 末端都具有关联的用户定义的最大允许旋转和缩放。定义 SSF 末端的路径应该位于空心区域的距离场的零级等值面上。当其发生时，在沿该路径的任何点 p 处，空心区域的距离场在 p 处为零，距离场的梯度与 p 处的末端路径正交。

[0104] 如图 14 所示，通过将集合中的各个 SSF 末端安放在 SSF 主体的端部处并且接着在沿 SSF 主体滑动该 SSF 末端的同时测量该 SSF 末端的配合度，确定 SSF 笔画的最佳末端 1400 及其沿笔画的位置。

[0105] 在对 SSF 末端进行变换（即，平移、旋转和缩放）时，更新 SSF 末端的方向和尺寸，使得它的开口与 SSF 中心线垂直并且与 SSF 主体的边缘对齐。利用沿 SSF 末端路径的等间隔采样点处的距离场和距离场的梯度来测量末端的配合误差。

[0106] 该误差是沿 SSF 末端路径的采样点处的误差的平均值： $\text{Error}_{\text{TERM}}(p) = ||\text{Normal}(p) - \text{Gradient}(p)|| * |\text{Distance}(p)|$ 。

[0107] 在一特定位置处超过最大缩放或旋转的 SSF 末端在该位置处被忽视。SSF 中心线端部延伸到 SSF 末端之外的位置也被放弃。这就防止了 SSF 末端沿 SSF 主体滑动太远。SSF 主体的形成了接合部的端部没有末端。SSF 主体的形成了角部的端部仅使用具有配合得更好的末端的 SSF 笔画端部的 SSF 末端。

[0108] 步骤 1 到 6 的总结

[0109] 图 12A 到 12F 示出了根据本发明的方法步骤的总结。图 12A 示出了如何在一开始变换风格化笔画字符以将它的轴对齐边界框映射到空心字符的轴对齐边界框。在将 SSF 笔画集合指定给空心区域以后（图 12B），变换与各个空心区域相对应的笔画，使得它们的边界框的联合体与空心区域的边界框对齐。

[0110] 使用仿射变换对 SSF 中心线进行粗略成形和定位以与它们的对应隐含笔画的中心线一致（图 12C）。确定 SSF 轮廓，调整 SSF 笔画长度，并且使 SSF 中心线弯曲从而改进 SSF 笔画与它们对应的隐含笔画之间的一致（图 12D）。利用笔画的角部、接合部、交叉部和端部的候选区域的集合，将 SSF 中心线连接到或延伸到与隐含笔画末端相对应的区域内（图 12E）。为 SSF 笔画选择末端（图 12F）。

[0111] 扩展

[0112] 我们的自动转换方法适应大量扩展和变型，例如：(1) 轮廓 402 能够被表示为线段和贝塞尔曲线的分段连续路径而非单个二次贝塞尔曲线；(2) 轮廓 402 可由左轮廓和右轮廓构成，而非由单个轮廓构成，从而使得该转换过程能够更好地与目标空心字符一致；(3) 能够以各种方式表示距离场，诸如采样距离映射、自适应采样距离场 (ADF)、手续、或者存储在内存中的距离值的集合等；(4) 可以使用偶匹配方法 (bipartite matching method) 来改进将 SSF 笔画与区域匹配的过程。

[0113] 工作环境

[0114] 本发明在大量的通用或专用计算系统环境或结构下进行工作。适于于使用本发明的公开计算系统、环境和 / 或结构的例子包括但不限于个人计算机、服务器计算机、手持或膝上装置、多处理器或多核系统、图形处理单元 (GPU)、专用集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA)、基于微控制器的系统、机顶盒、可编程消费电子装置、网络 PC、迷你计算机、大型计算机、包括任何以上系统或装置的分布式计算环境等。

[0115] 本发明的效果

[0116] 对中国政府教育部列出的 2500 个频繁使用的汉字中的 2484 个汉字测试了这个自动转换的方法。选择这个字符集是因为它的字符形状的变化代表整个中文字符集。

[0117] 测试结果显示，转换的字符在 70ppem 情况下没有可见差异，88% 的字符在 30ppem 情况下没有可见差异。转换的字符与目标空心字符几乎相同，特别在小磅值的情况下，并且所得字体具有小得多的内存占用（例如，空心字体的十分之一）。对内存要求的这种幅度的降低非常有意义。

[0118] 使用风格化笔画字符的距离场与对应的空心字符的距离场之间的平方差的平均值来测量各个风格化笔画字符的误差。这种误差测量使得能够识别转换不佳的字符以进行自动校正。

[0119] 尽管以优选实施方式作为例子描述了本发明，但是应该理解，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，可以进行各种其它改动和变型。因此，所附权利要求的目的在于涵盖落入本发明的真实精神和范围内的所有这些变动和变型。

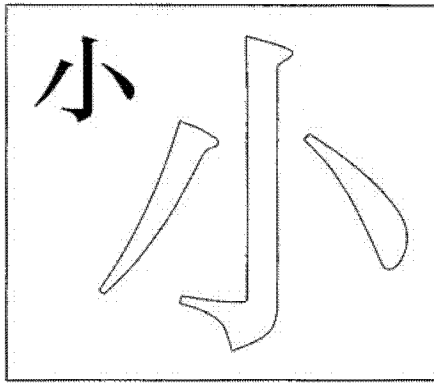


图 1A 现有技术

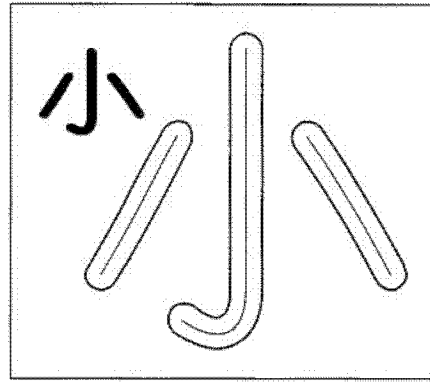


图 1B 现有技术

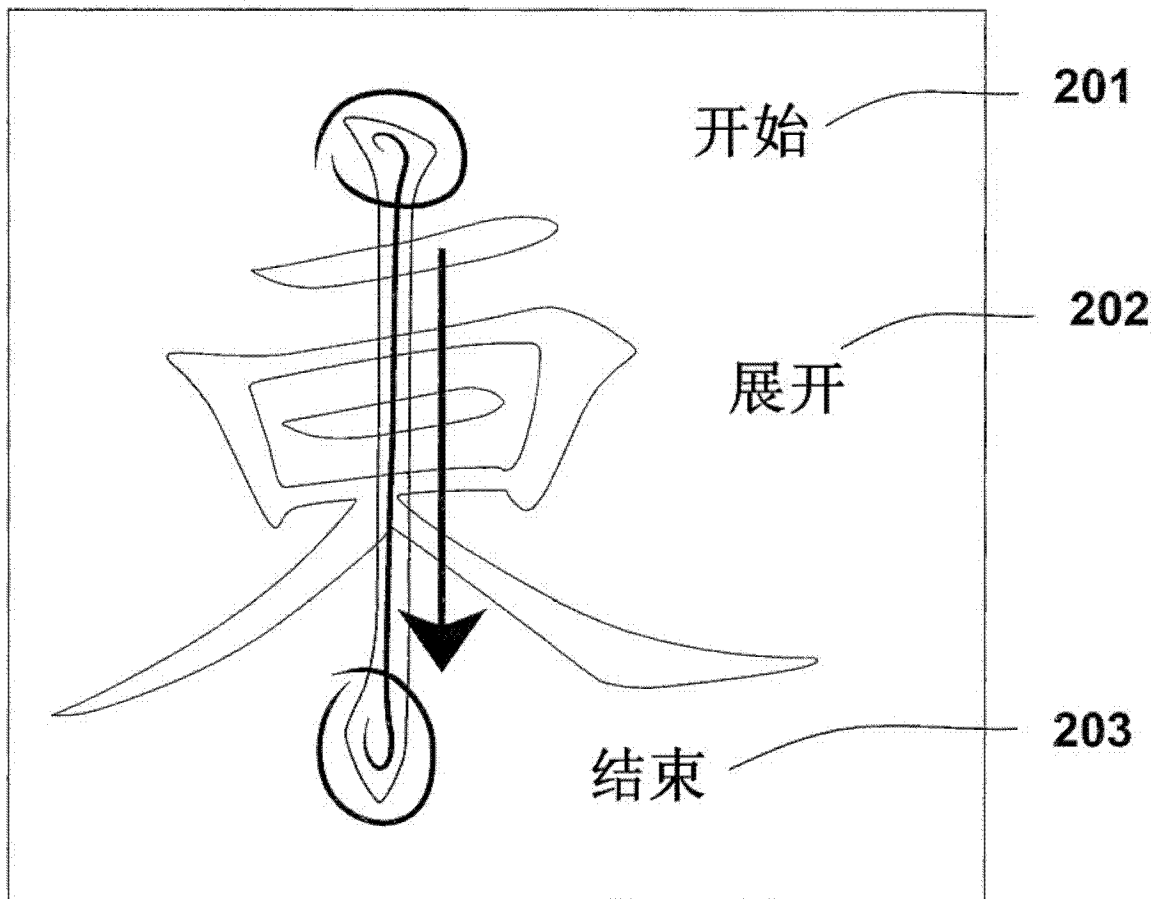


图 2 现有技术

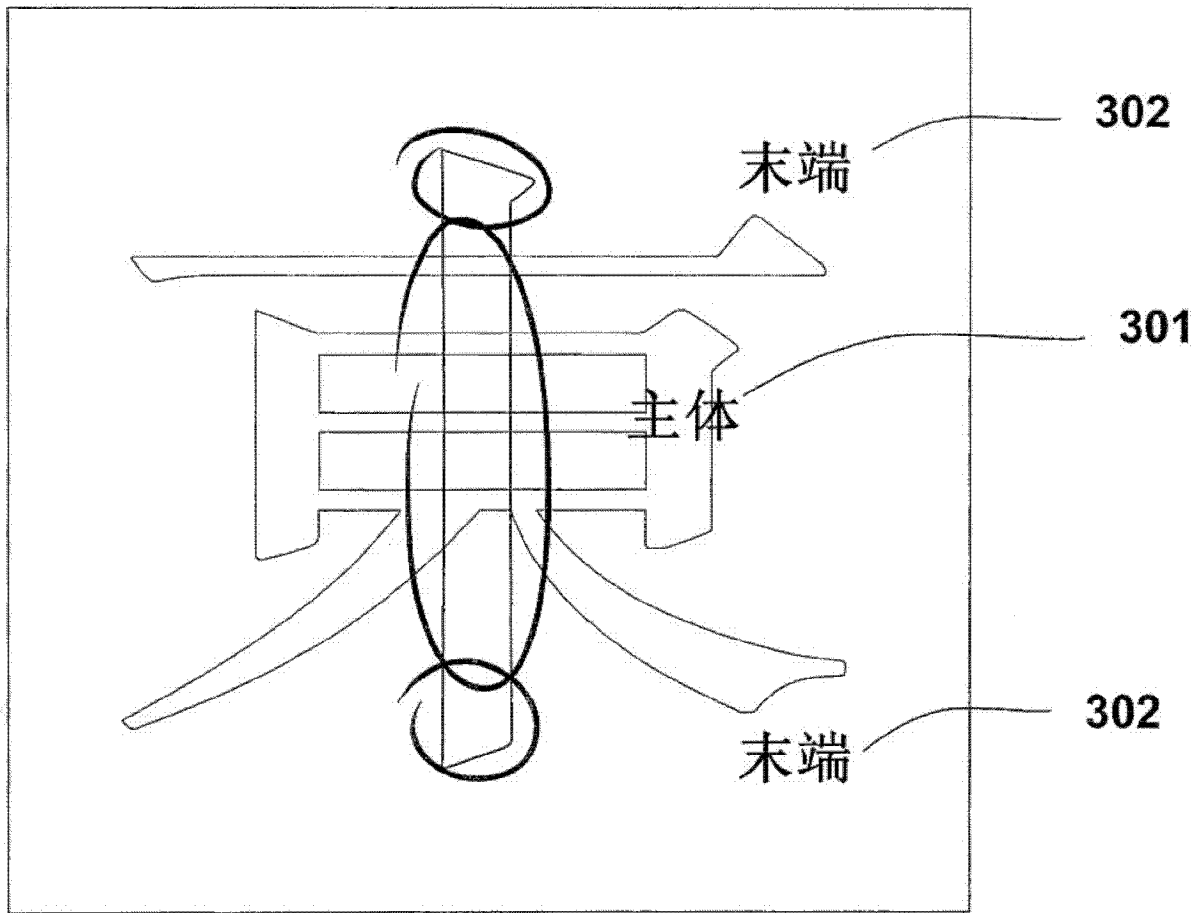


图 3

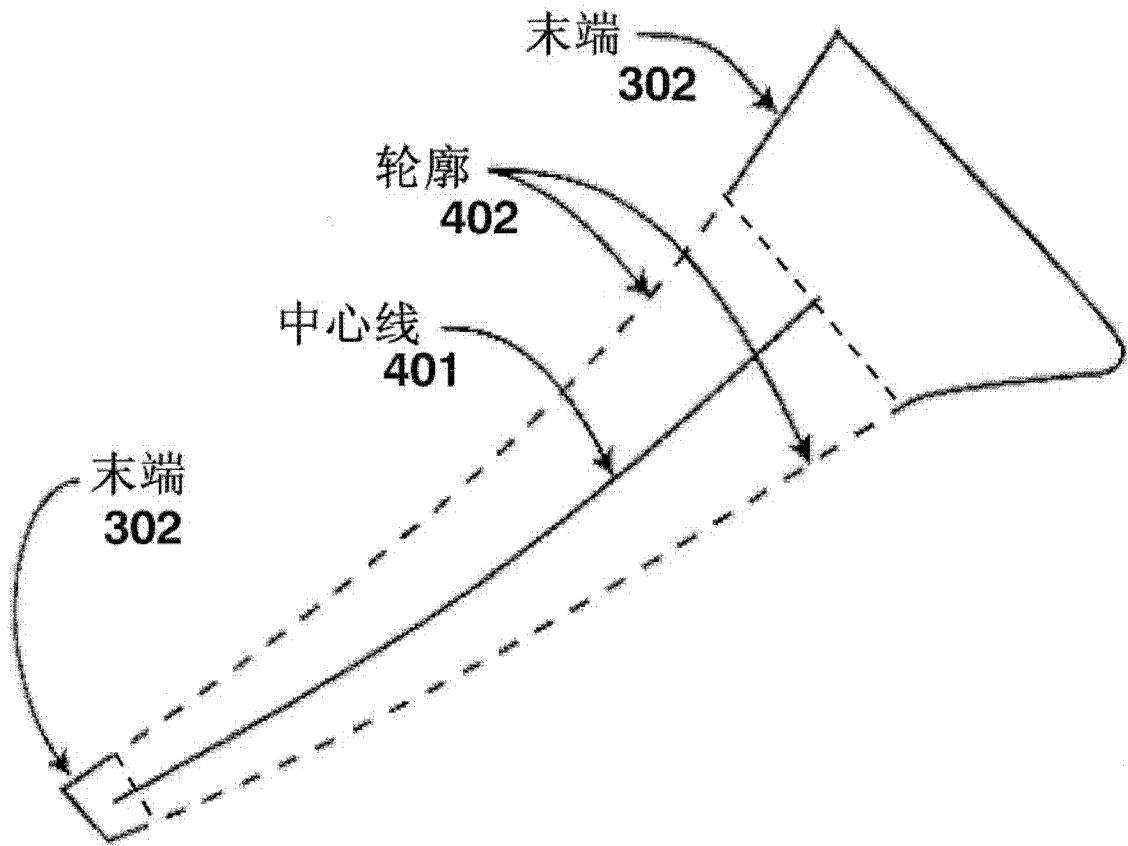


图 4



现有技术

图 5A

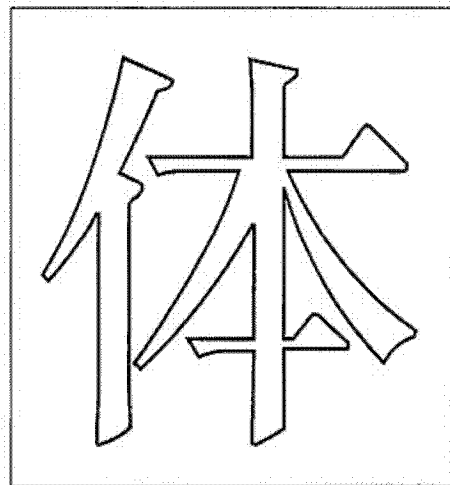


图 5B

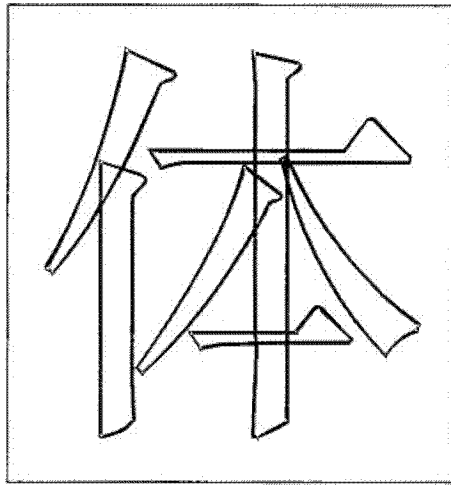


图 5C

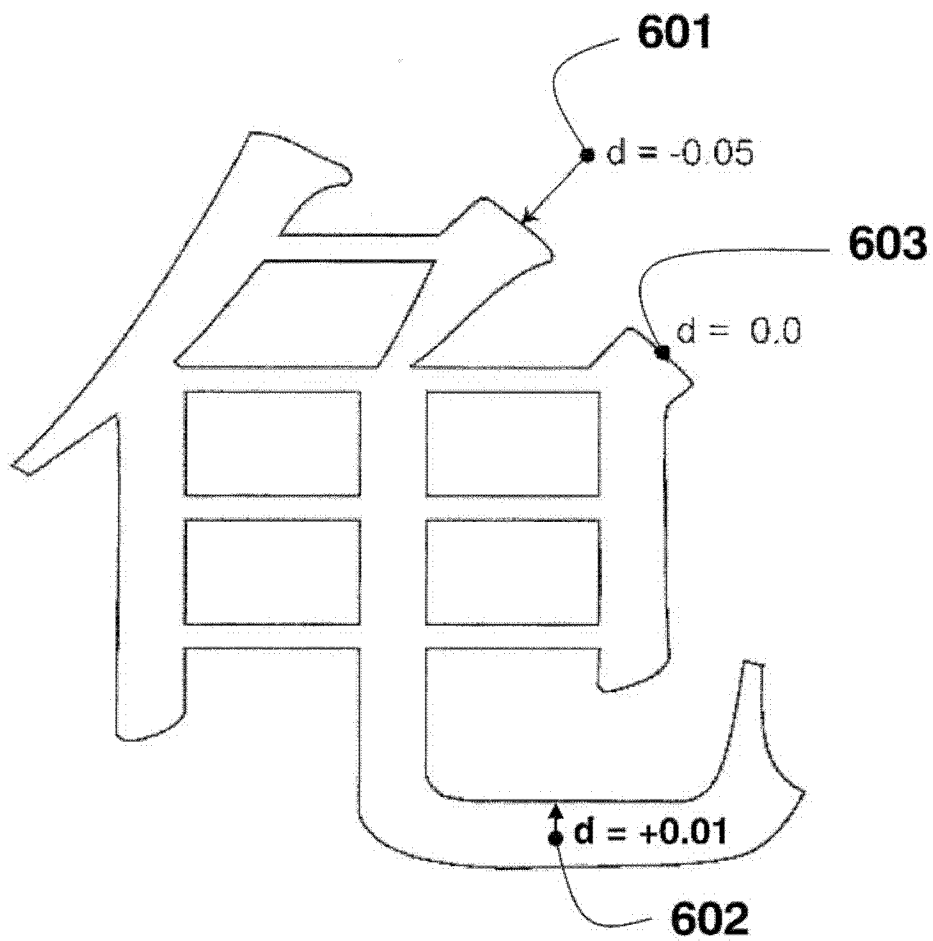


图 6

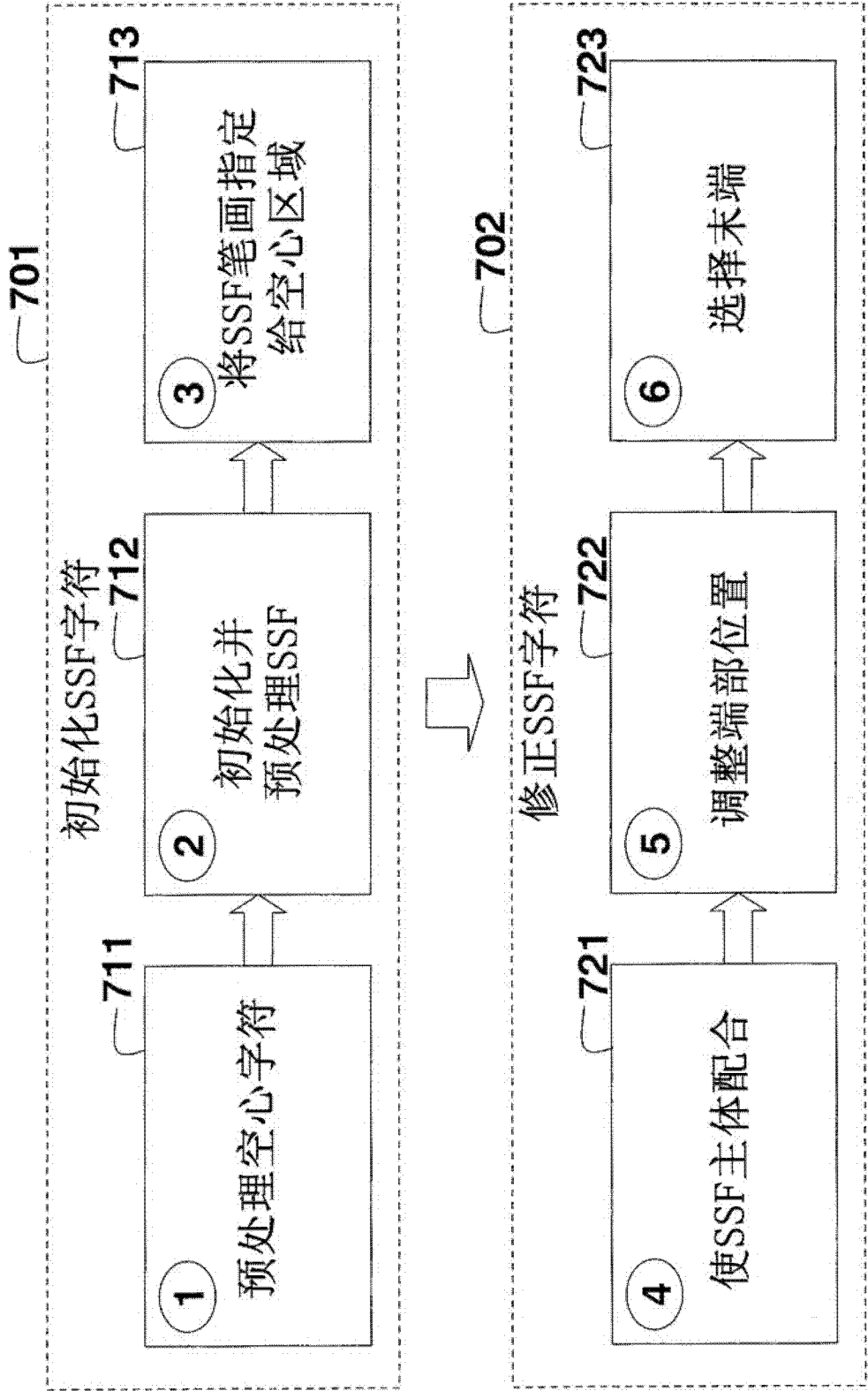


图 7



图 8A

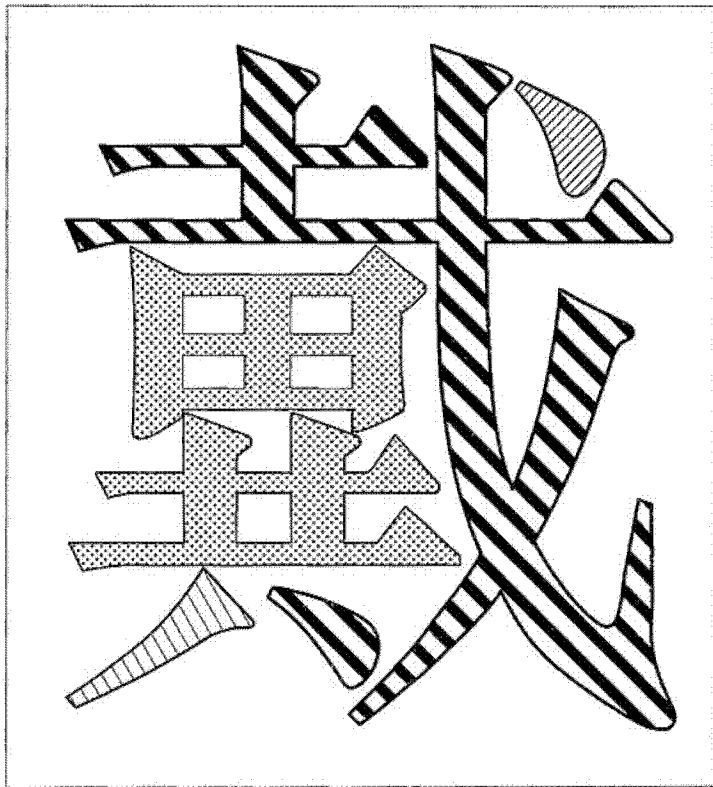


图 8B

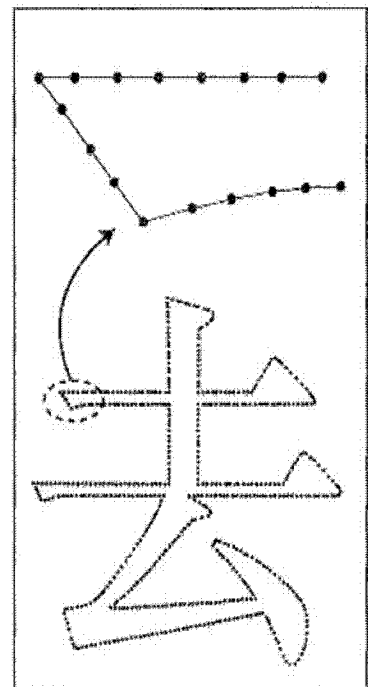


图 9A

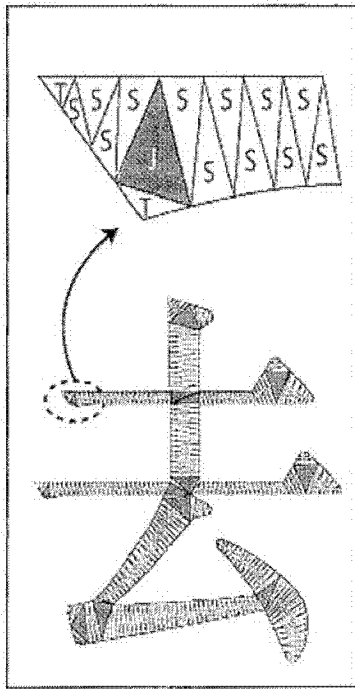


图 9B

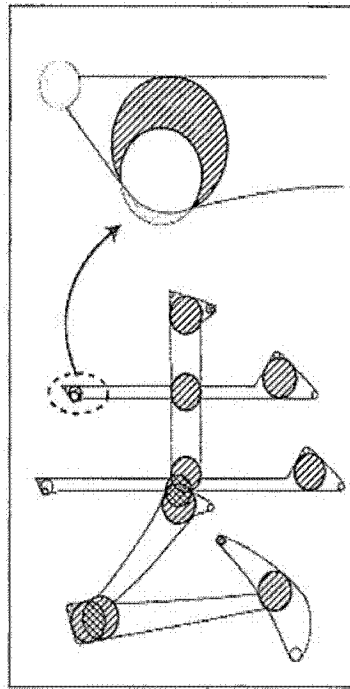


图 9C

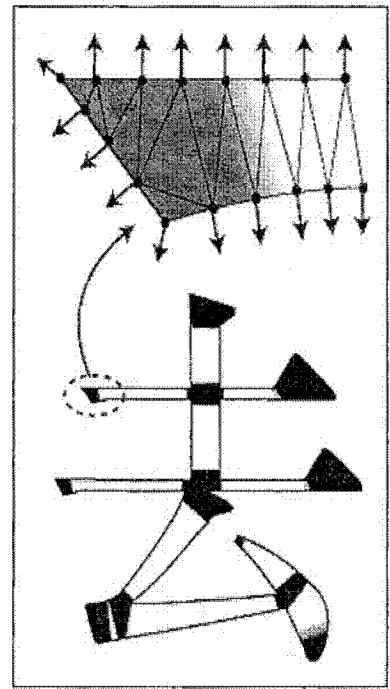


图 9D

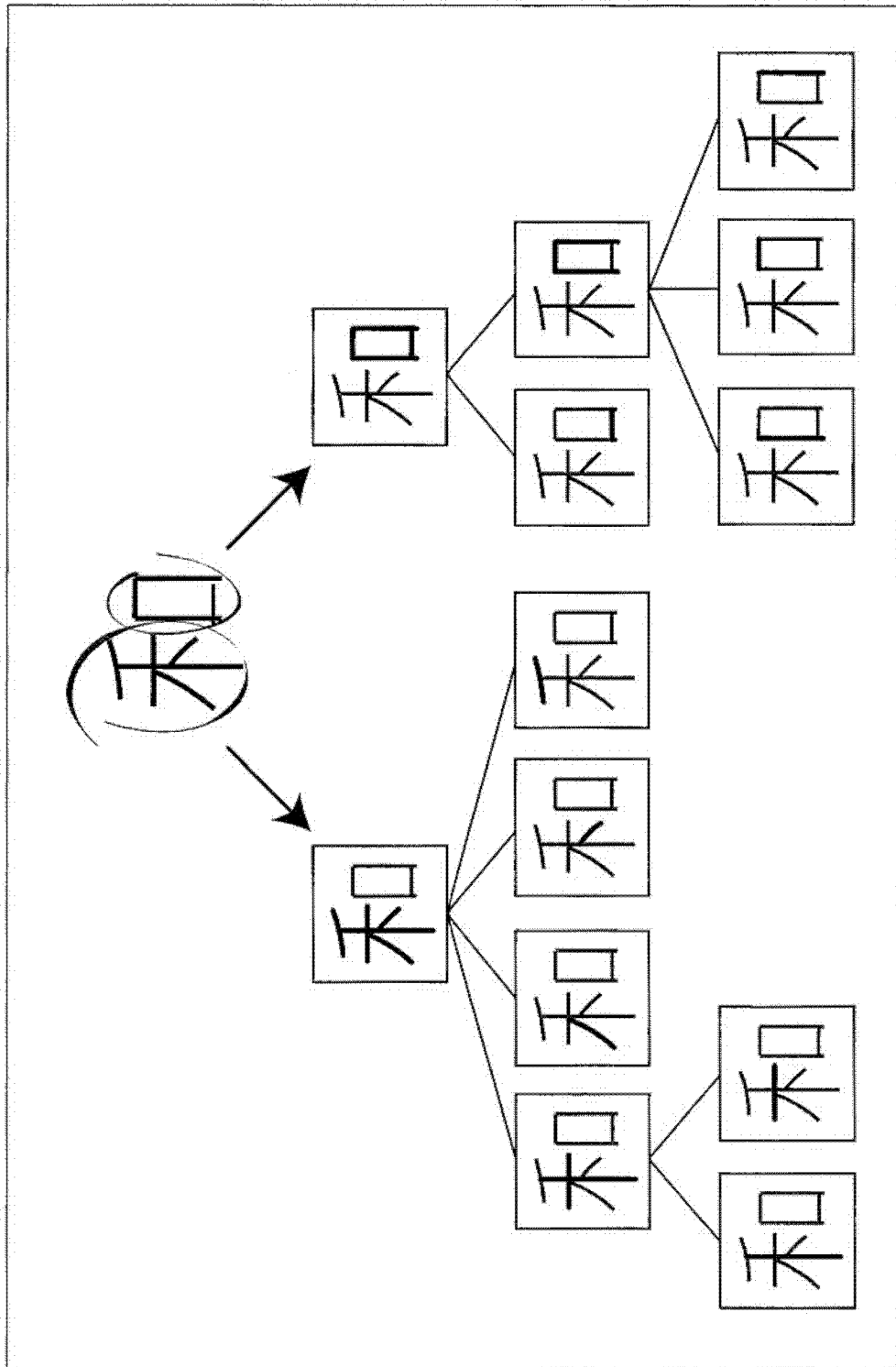


图 10

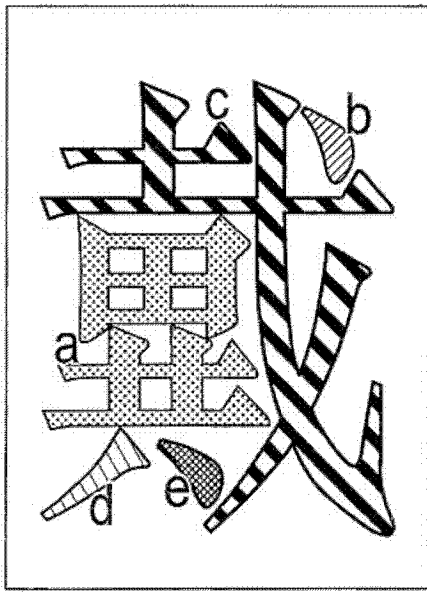


图 11A

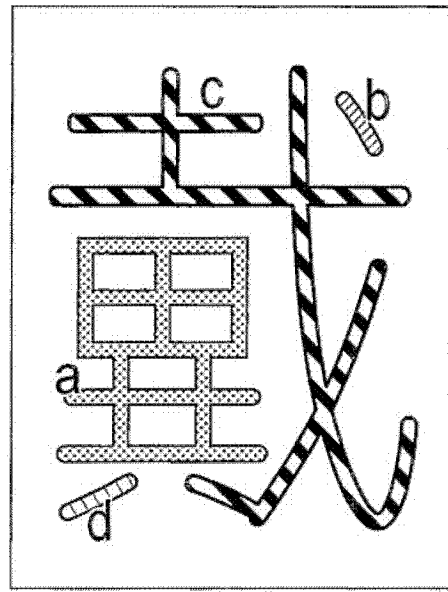


图 11B

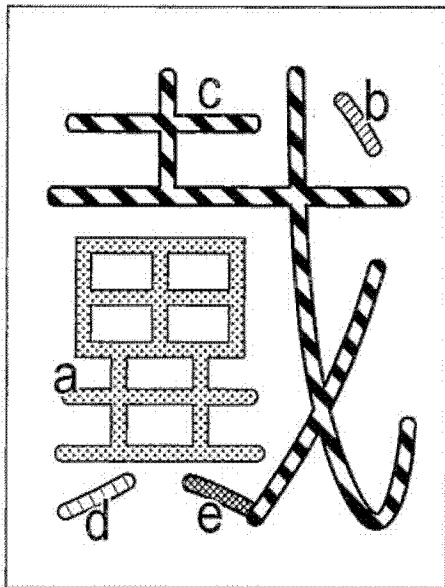


图 11C

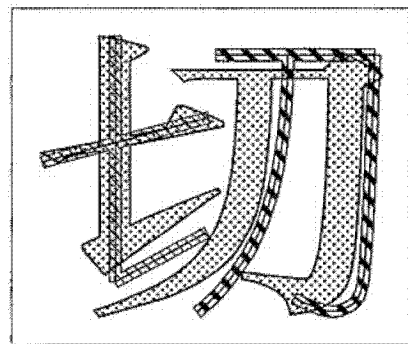


图 12A

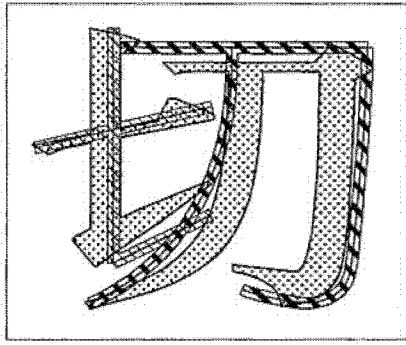


图 12B

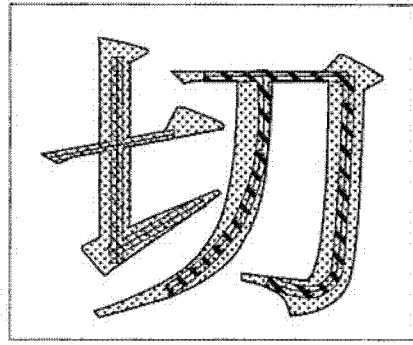


图 12C

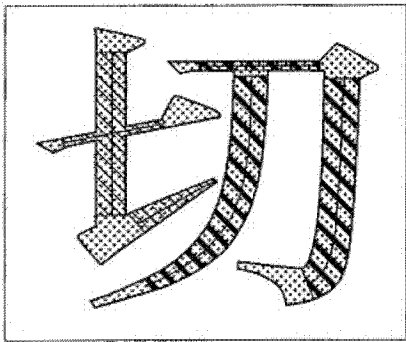


图 12D

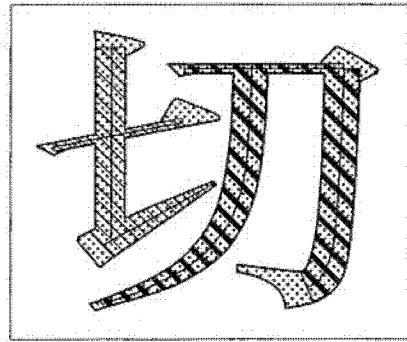


图 12E

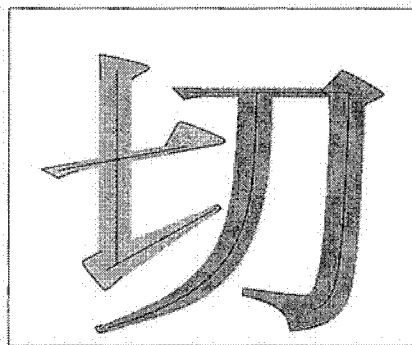


图 12F

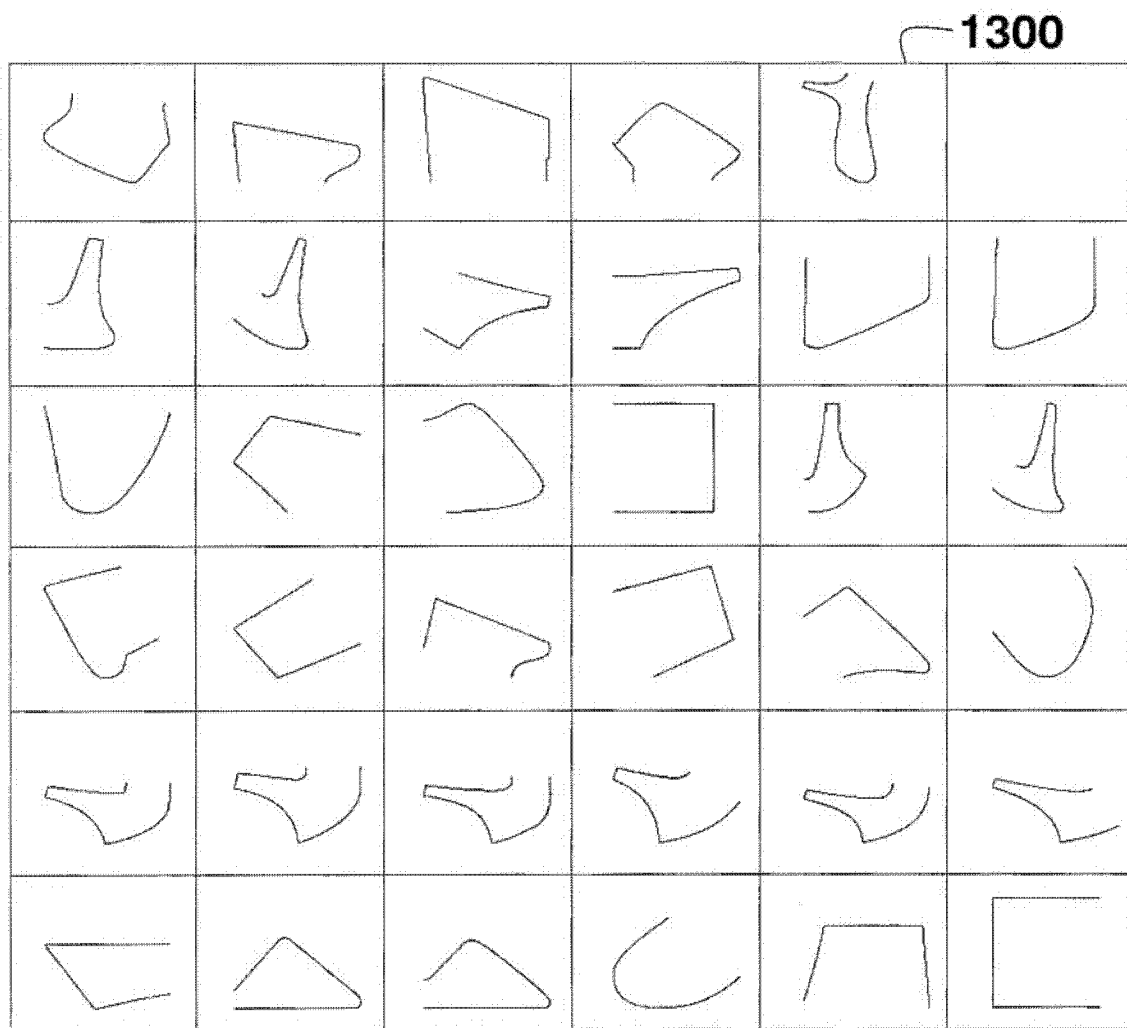


图 13

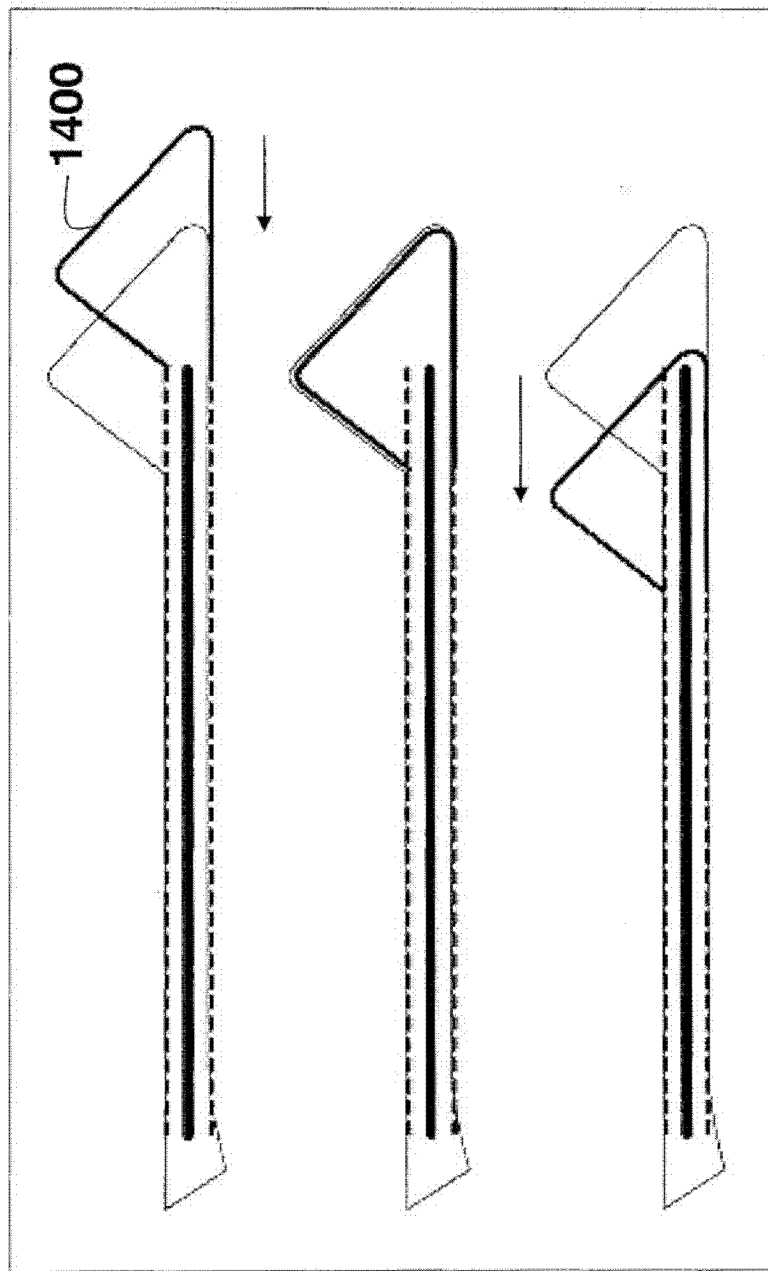


图 14

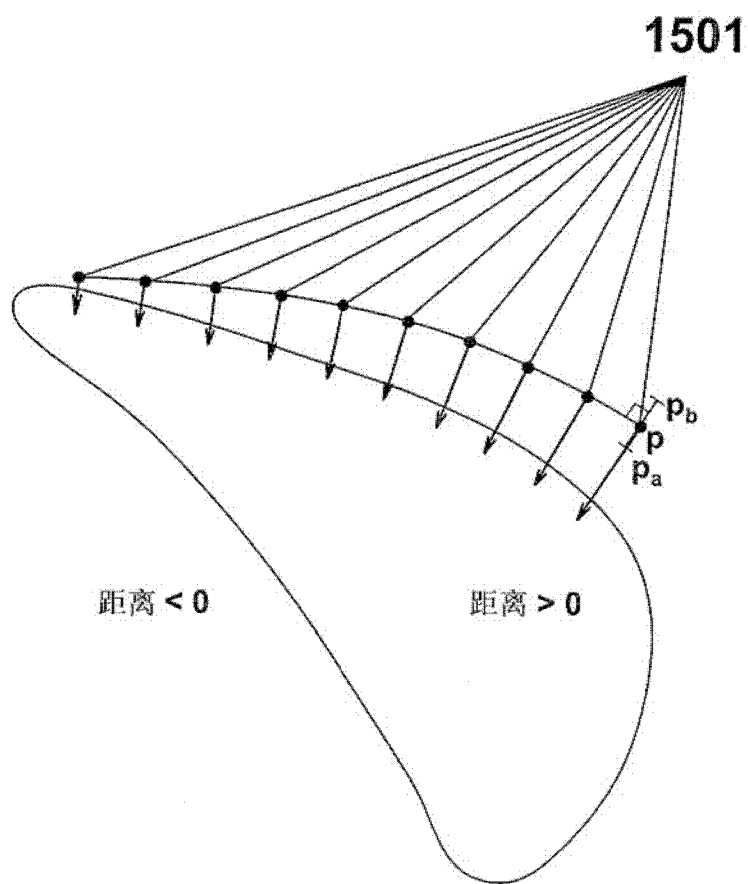


图 15