(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2014 年 8 月 7 日 (07.08.2014)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2014/117447 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 17/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2013/075129

(22) 国际申请日: 2013 年 5 月 3 日 (03.05.2013)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201310047151.8 2013 年 2 月 2 日 (02.02.2013) CN

(71) 申请人: 浙江大学 (ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 翁彦琳 (WENG, Yanlin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 柴蒙磊 (CHAI, Menglei); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 王律迪 (WANG, lvdi); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。 周昆 (ZHOU, Kun); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区玉古路 147 号黄鸿年科技综合大楼 215 室/周烽, Zhejiang 310058 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: VIRTUAL HAIRSTYLE MODELING METHOD OF IMAGES AND VIDEOS

(54) 发明名称 : 一种图像与视频的虚拟发型建模方法

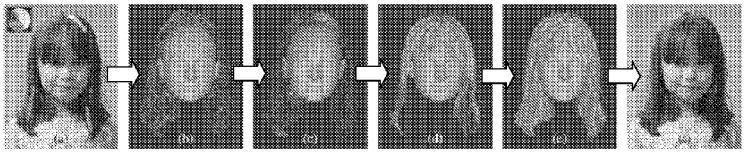


图 1 / Fig. 1

(57) Abstract: Disclosed are a virtual hairstyle modeling method of images and videos. The method comprises: using a digital device to perform data collection on a target figure, and obtaining by division an area of a hairstyle part in an image; solving a direction ambiguity problem of an image hairstyle direction field, to obtain a static hairstyle model which is uniformly distributed and satisfies the hairstyle area of the original image; and calculating the movement of the hairstyle in a video by tracking head model movement and estimating non-rigid deformation, to create a dynamic hairstyle model of each moment in the movement process and make the dynamic hairstyle model naturally fit to real movement of the hairstyle in the video. The method is used for performing virtual three-dimensional model reestablishment with physical rationality on the hairstyle of a figure in a single image and a video sequence, and can be widely applied to creation of virtual roles in related fields such as digital media and hairstyle editing applications of a plurality of images and videos, such as three-dimensional portrait, hairstyle movement simulation, and interactive hairstyle edition.

(57) 摘要: 本发明公开了一种图像与视频的虚拟发型建模方法，该方法首先使用数码设备对目标人物进行数据采集，并分割得到图像中发型部分区域；然后求解图像发型方向场的方向歧义性问题，得到分布均匀、符合原图发型区域的静态发型模型，通过追踪头部模型运动并估算非刚性形变来计算视频中发型的运动，生成运动过程中每一时刻的动态发型模型，使其自然拟合视频中发型的真实运动；该方法用于对单幅图像及视频序列中的人物发型进行具物理合理性的虚拟三维模型重建，可广泛应用于数字媒体等相关领域中虚拟角色的创建以及诸多图像与视频的发型编辑应用中，如肖像立体化、发型运动仿真、交互式发型编辑等。

WO 2014/117447 A1

一种图像与视频的虚拟发型建模方法

技术领域

本发明涉及虚拟人物建模以及图像视频编辑领域，尤其涉及虚拟人物发型建模以及图像视频中发型编辑方法。

背景技术

本发明相关的技术背景简述如下：

一、虚拟人物的发型建模

尽管在业界的实际应用中，已有许多软件可以辅助创作人员完成手工的虚拟发型建模工作，但是其往往极其复杂耗时，需要熟练的技巧以及繁杂的手工操作，因此会大大延长产品的创作周期以及成本开销（WARD, K., BERTAILS, F., KIM, T.-Y., MARSCHNER, S. R., CANI, M.-P., AND LIN, M. C. 2007. A survey on hair modeling: styling, simulation, and rendering. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 13, 2, 213－234.）。于是，在此基础上，一些现有方法尝试采集真实的发型图像来合成更为真实的发型模型并减少工作量，但是多数此类基于图像的建模方法需要采集不同光照、不同视点或不同焦距下的多张图像才可能得到足够真实的发型三维结构（PARIS, S., BRICE˜NO, H., AND SILLION, F. 2004. Capture of hair geometry from multiple images. ACM Trans. Graph. 23, 3, 712－719.; WEI, Y., OFEK, E., QUAN, L., AND SHUM, H.-Y. 2005. Modeling hair from multiple views. ACM Trans. Graph. 24, 3, 816－820.; PARIS, S., CHANG, W., KOZHUSHNYAN, O. I., JAROSZ, W., MATUSIK, W., ZWICKER, M., AND DURAND, F. 2008. Hair photobooth: geometric and photometric acquisition of real hairstyles. ACM Trans. Graph. 27, 3, 30:1－30:9.; JAKOB, W., MOON, J. T., AND MARSCHNER, S. 2009. Capturing hair assemblies fiber by fiber. ACM Trans. Graph. 28, 5, 164:1－164:9.）。

Bonneel 等人提出了一个发型外观估计方法，用以从单张室内闪光灯拍摄的图片中得到统计上类似的三维发型模型（BONNEEL, N., PARIS, S., PANNE, M. V. D., DURAND, F., AND DRETTAKIS, G. 2009. Single photo estimation of hair appearance. Computer Graphics Forum 28, 1171－1180.），但是其合成的发型模型并不能在像素级别上拟合原图像中的人物发型，因此并不适用于图像发型编辑应用中。Luo 等人发现发丝方向特征通常比原始图像的像素颜色更为可靠，在多试点发型建模中使用方向信息来估计更准确的发型体（LUO, L., LI,

H., PARIS, S., WEISE, T., PAULY, M., AND RUSINKIEWICZ, S. 2012. Multi-view hair capture using orientation fields. In Proc. CVPR 2012.)，但是此方法生成的发型通过多边形网格来表示，并不符合数字媒体产业对发型模型的质量需求。Beeler 等人提出了一个同时采集稀疏面部毛发和被遮挡的皮面表面的方法（BEELER, T., BICKEL, B., NORIS, G., BEARDSLEY, P., MARSCHNER, S., SUMNER, R. W., AND GROSS, M. 2012. Coupled 3D reconstruction of sparse facial hair and skin. ACM Trans. Graph. 31, 4.)，该方法得到的高质量建模结果印证了毛发对刻画虚拟角色真实性的重要性，但其只能应用于面部的稀疏的较短毛发，例如胡须与眉毛，无法用于普通的头发。

与静态的发型建模相比，视频中的动态发型建模则更为复杂，在本领域中仍是个尚待解决的问题。Yamaguchi 等人直接将多试点发型建模方法（WEI, Y., OFEK, E., QUAN, L., AND SHUM, H.-Y. 2005. Modeling hair from multiple views. ACM Trans. Graph. 24, 3, 816－820.）进行扩展用以处理视频（YAMAGUCHI, T., WILBURN, B., AND OFEK, E. 2009. Video based modeling of dynamic hair. In the 3rd Pacific Rim Symposium on Advances in Image and Video Technology, 585－596.)。Zhang 等人进一步使用基于物理的运动仿真来改进初始重建的发型模型序列。由于缺乏准确的发丝对应关系，这些方法结合多试点得到的动态发型模型会过约束发型的运动，导致过分光滑的结果，会与真实情况存在较大的出入。

二、三维信息指导下的图像编辑

在面向个人娱乐产业的数字图像编辑应用中，用户的输入通常仅仅是任意的单幅图像。由于缺少准确的三维信息，从单幅图像重建准确的三维模型是不适定问题，但是现有的一些方法证明了使用适当的特定三维表示（proxy）可以大大扩展可能的图像编辑操作的适用范围。与通常的基于图像的建模技术不同，这些三维表示往往被设计来更好刻画并代表特定类型对象的共有结构，但并不一定能准确地拟合真实的物体形状。

针对普通的场景图像，业界常用的现有方法包括分层深度图（OH, B. M., CHEN, M., DORSEY, J., AND DURAND, F. 2001. Image-based modeling and photo editing. In Proc. SIGGRAPH, 433－442.)，使用平面告示牌结构的图像立体化（HOIEM, D., EFROS, A. A., AND HEBERT, M. 2005. Automatic photo pop-up. ACM Trans. Graph. 24, 3, 577－584.)，使用长方体表示的合成物体插入（KARSCH, K., HEDAU, V., FORSYTH, D., AND HOIEM, D. 2011. Rendering synthetic oobject into legacy photographs. ACM Trans. Graph. 30, 6, 157:1－12.)

以及以语义方式对图像中已有物体的编辑(ZHENG, Y., CHEN, X., CHENG, M.-M., ZHOU, K., HU, S.-M., AND MITRA, N. J. 2012. Interactive images: Cuboid proxies for smart image manipulation. ACM Trans. Graph. 31, 4.)，这些方法的三维表示通常都较为简单，用以粗略表示场景的大致三维信息，效果往往比较有限，通常应用于电影的立体化处理等。

针对图像中的特定人体对象，有更有效的三维表示方法。Blanz 与 Vetter 提出了一种对图像人脸部分拟合参数化的可变形人脸模型（morphable head model）的方法（BLANZ, V., AND VETTER, T. 1999. A morphable model for the synthesis of 3D faces. In Proc. SIGGRAPH ’99.)，使用这种低参数维度三维人脸模型可以用于更真实的表情迁移(expression transfer)(YANG, F., WANG, J., SHECHTMAN, E., BOURDEV, L., AND METAXAS, D. 2011. Expression flow for 3D-aware face component transfer. ACM Trans. Graph. 30, 4, 60:1 - 60:10.)以及人脸替换(BITOUK, D., KUMAR, N., DHILLON, S., BELHUMEUR, P. N., AND NAYAR, S. K. 2008. Face Swapping: Automatically replacing faces in photographs. ACM Trans. Graph. 27, 39:1 - 39:8.; DALE, K., SUNKAVALLI, K., JOHNSON, M. K., VLASIC, D., MATUSIK, W., AND PFISTER, H. 2011. Video face replacement. ACM Trans. Graph. 30, 6, 130:1 - 130:10.)。类似的，通过使用完整身体的三维可变形模型，可以实现图像与视频的参数化人体变形（ZHOU, S., FU, H., LIU, L., COHEN-OR, D., AND HAN, X. 2010. Parametric reshaping of human bodies in images. ACM Trans. Graph. 29, 4, 126:1 - 126:10.; JAIN, A., THORM¨AHLEN, T., SEIDEL, H.-P., AND THEOBALT, C. 2010. MovieReshape: Tracking and reshaping of humans in videos. ACM Trans. Graph. 29, 6, 148:1 - 148:10.)。这些方法可应用于电影特效的制作以及图像编辑处理等。但是，值得注意的是，人脸与身体等部分通常比发型有更明显的共性特征，也更容易进行参数化拟合。

针对发型的三维表示，最近 Chai 等人提出了一个单视点的三维发型重建方法（CHAI, M., WANG, L., YU, Y., WENG, Y., GUO, B., AND ZHOU, K. 2012. Single-view hair modeling for portrait manipulation. ACM Trans. Graph. 31, 4, 116:1 - 8.)。但是这个方法仅仅通过大量空间发丝来拟合原图中的发型区域，并不能生成具有物理合理性的三维发型模型，其结果难以被直接用于产业的相关应用中。

发明内容

本发明的目的在于针对现有技术的不足，提供一种图像与视频的发型建模

方法。该方法可对单幅图像以及视频序列中的人物发型进行具物理合理性的三维模型重建，可广泛应用于数字媒体等产业中虚拟人物的创建以及诸多图像视频发型编辑应用中，如肖像立体化、发型运动仿真、交互式发型编辑等，具有很高的实用价值。

本发明的目的是通过以下技术方案来实现的：一种图像与视频的虚拟发型建模方法，包括如下步骤：

（1）发型图像数据的采集与预处理：使用数码设备对目标人物进行数据采集，要求发型部分清晰完整，并使用画笔选取工具分割得到图像中发型部分区域；

（2）基于图像的发型方向场计算：求解图像发型方向场的方向歧义性问题，将该无歧义的图像发型方向场结合空间发型体区域求解空间发型方向场；

（3）静态发型模型的迭代构建：通过以拟合的人物头部模型上定义的头皮区域为发根位置，于空间发型方向场内以发根采样点起始进行生长得到初始的发型模型，随后通过迭代方式改进该初始结果，得到分布均匀、符合原图发型区域的静态发型模型；

（4）基于视频的动态发型建模：在步骤 3 得到的静态发型模型的基础上，通过追踪头部模型运动并估算非刚性形变来计算视频中发型的运动，生成运动过程中每一时刻的动态发型模型，使其自然拟合视频中发型的真实运动；

（5）发型建模结果的导出：将上述步骤的建模结果，包括步骤 3 得到的静态发型模型以及步骤 4 得到的动态发型模型，导出与存储。

本发明的有益效果是，本发明对单幅图像及视频序列中的虚拟人物发型进行具物理真实性的三维模型重建，可广泛应用于数字媒体与相关产业的虚拟人物创建以及图像视频发型编辑中。本发明首次提出了对基于图像的复杂发型的具有物理合理性的三维建模方法，在良好拟合原图像发型区域的同时保证生成的发型模型符合其原本的物理特性，即由头皮区域的发根位置生长的发丝曲线构成，且具合适且连续的长度与几何特性。相比现有的基于图像的发型三维建模技术，本方法可以得到更高质量的发型模型，满足许多复杂动态发型编辑应用对模型的要求，从而可用于更多应用领域，达到先前方法难以达到的效果。

附图说明

图 1 是本发明发型建模过程的示意图，图中，（a）为原始采集图像以及用户笔刷，（b）为初始发丝，（c）为求解方向后的发丝，（d）为初始发型模型，（e）为第一次迭代后的发型模型，（f）为最终模型渲染结果；

图 2 是在静态发型建模中本发明方法与现有方法的比较示意图，图中，（a）为原始采集图像，（b）为方向场方法得到的结果，（c）为带方向歧义的结构张

量方法得到的结果，（c）为本方法得到的结果；

图 3 是本发明中一些建模结果的示意图；

图 4 是在动态发型建模中本方法与现有方法的比较示意图，图中，（a）（b）为原始图像与初始发型建模结果，（c）为使用不符合物理真实性模型得到的结果，（d）为只使用特征场得到的结果，（e）为只使用光流场得到的结果，（f）为本方法得到的结果；

图 5 是本发明中一些视频发型编辑应用的示意图。

具体实施方式

本发明的核心是对单幅图像以及视频序列中的虚拟发型对象进行具有物理合理性的三维模型重建方法。本发明的核心方法主要分为如下五个部分：发型图像数据的采集与预处理、基于图像的发型方向场计算方法、静态发型模型的迭代构建方法、基于视频的动态发型建模方法以及发型建模结果的导出与应用。

1.发型图像数据的采集与预处理：使用数码设备对目标人物进行数据采集，要求发型部分清晰完整，使用画笔选取工具分割得到图像中发型部分区域。

1.1 图像采集

本方法应用于普通的数码相片以及视频数据。作为输入数据，本方法需要对真实的人物对象使用包括普通数码相机、数码摄像机、手机在内的具备拍摄及摄录功能的数码设备进行拍摄与摄录，以获得原始输入数据。由于本方法的主要操作对象为图像及视频中人物的发型对象，因此本步骤要求采集图像中的发型区域清晰完整。

1.2 用户辅助交互

由于图像中发型区域的内容及边界存在着复杂的形态特征，很难鲁棒地进行自动识别与分割，因此本方法依赖少量的用户辅助交互来对数据进行预处理以方便后续步骤的进行。通过采用画笔选取（paint selection）技术（LIU, J., SUN, J., AND SHUM, H.-Y. 2009. Paint selection. ACM Trans. Graph. 28, 3.），在发型区域内描绘少量笔画对图像进行分割，得到发型区域$\mathbf{R}_{hair}$。

2.基于图像的发型方向场计算：解决图像发型方向场的方向歧义性问题，并将该无歧义的图像发丝方向场结合空间发型体区域求解空间发型方向场。

2.1 头部模型拟合

本方法采用基于图像特征点以及训练数据库的头部模型标定与拟合技术（CHAI, M., WANG, L., YU, Y., WENG, Y., GUO, B., AND ZHOU, K. 2012. Single-view hair modeling for portrait manipulation. ACM Trans. Graph. 31, 4, 116:1－8.），通过 ASM（active shape model）方法自动标定人脸特征

点，随后基于这些特征点与主元分析（principle component analysis）降维后的三维头部模型数据库（采用 FaceGen 软件内置数据），通过最小二乘（least-squares）优化估算头部的变换参数同时拟合得到图像中的三维头部模型。

2.2 无方向二维发丝追踪

本方法使用一系列有向滤波函数$\{K_\theta\}$对 1.2 步中得到的发型区域R_{hair}进行滤波操作，其中每个滤波函数K_θ用来检测角度θ对应方向的响应值。令$\mathrm{F}(x,y,\theta)=(K_\theta * \mathrm{I})_{(x,y)}$表示$K_\theta$在像素$(x,y)$上的响应值。则像素$(x,y)$上的局部方向为$\tilde{\theta}_{(x,y)}=\arg\max_\theta(\mathrm{F}(x,y,\theta))$，并求得该局部方向的置信度为$w_{(x,y)}=\mathrm{F}(x,y,\tilde{\theta}_{(x,y)})\Big/\sum\mathrm{F}(x,y,\theta)$。在此二维方向场的基础上，于发型区域内选取置信值$w_{(x,y)}$的局部最大值点P作为种子点，令其满足：

$$\frac{w_{\mathrm{P}}-\max(w_{\mathrm{P}_L},w_{\mathrm{P}_R})}{w_{\mathrm{P}}}>\epsilon,$$

$$w_{\mathrm{P}}>w_{high};$$

其中w_{P_L}与w_{P_R}为在垂直于P上局部方向$\tilde{\theta}_{\mathrm{P}}$的两边方向上，通过双线性插值方法采样得到的临近置信度值。对于普通图片，令$w_{high}=0.3$，$w_{low}=0.05$，$\epsilon=0.2$。

对于任一选取的种子点P_{seed}及其局部方向$\tilde{\theta}_{\mathrm{P}_{seed}}$，本方法同时从其相反的两个方向上进行发丝追踪。类似现有的方法，每一步发丝追踪都通过在当前位置P沿角度$\tilde{\theta}_{\mathrm{P}}$对应的方向$\mathrm{v}_{\mathrm{P}}$，向前延伸曲线：

$$\mathrm{P}_{i+1}=\mathrm{P}_i+\delta\mathrm{v}_{\mathrm{P}_i};$$

最终得到一系列无方向二维发丝。

2.3 求解方向歧义

本方法将 2.2 步得到的无方向二维发丝中的每个曲线γ_i表示为一个均匀分布的发丝顶点列表，其中$\gamma_{i(j)}$表示γ_i的第j个顶点。可以定义$\gamma_{i(j)}$处原始的发丝方向$\tilde{\mathrm{t}}_{i(j)}$为$\gamma_{i(j-1)}$到$\gamma_{i(j+1)}$的单位向量。在步骤 2.2 中，初始二维发丝的方向都是随机指定的，可以将发丝的生长方向表示为$\hat{\mathrm{t}}_{i(j)}=s_i\tilde{\mathrm{t}}_{i(j)}$，其中$s_i\in\{-1,1\}$。类似的，步骤 1.2 中的用户交互笔画也可表示为同样的发丝方向，但由于其本身是准确的，我们将s_i替换为全局参数$w_m=10$。

对每条发丝曲线γ_i定义分数P形如：

$$P(\gamma_i)=\sum_j\sum_{\gamma_{p(q)}\in N_{i(j)}}\hat{\mathrm{t}}_{i(j)}\cdot\hat{\mathrm{t}}_{p(q)};$$

其中$N_{i(j)}$包括邻近$\gamma_{i(j)}$的所有已求解得到方向的非处于同一发丝上的所有

发丝顶点。求解如下的二值整数优化问题（binary integer programming）：

$$\arg\max_{\{s_i\}} \sum_i P(\gamma_i)；$$

本方法通过如下的贪婪算法来近似求解这个 NP 完全问题（NP-complete problem）：将所有发丝划分为已求解、求解中的与未求解的三个集合，在算法开始时，求解中的与未求解的集合均为空，以求解的集合仅包含用户的辅助笔画。算法反复进行如下步骤直至所有发丝都被求解：

（1）选取每个与任一以求解发丝顶点相邻的未求解发丝$\gamma_{i(j)}$并移至求解中集合构成的堆（heap）结构中，并令其得分为$\left|P_{(\gamma_i)}\right|$；

（2）从求解中发丝中选取分值最大的γ_i，选取$s_i \in \{-1,1\}$使得$P(\gamma_i)$非负，并将γ_i移至已解决集合中；

（3）更新第（2）步中移至已解决集中的γ_i的所有相邻求解中发丝的得分。

2.4 发型体的构建

本方法采用单视点发型建模方法（CHAI, M., WANG, L., YU, Y., WENG, Y., GUO, B., AND ZHOU, K. 2012. Single-view hair modeling for portrait manipulation. ACM Trans. Graph. 31, 4, 116:1－8.）求解二维发丝的深度信息，构建发型体（hair volume）在空间中的区域定义$H \in \mathbb{R}^3$为封闭的发型区域减去 2.1 中头部模型所在区域。

2.5 求解空间发型方向场

在 2.4 步中得到的发型体H内部，构建一个均一空间网格，通过如下的优化方法求解离散的无方向歧义的空间矢量场D：令在网格单元i处的三维方向向量为v_i，优化的能量方程表示为：

$$E_d(D) = \sum_{i \in H} \|\Delta \mathrm{v}_i\|^2 + w_c \sum_{i \in C} \|\mathrm{v}_i - \mathrm{c}_i\|^2；$$

其中Δ为离散拉普拉斯算子（Laplacian operator），C为所有存在方向约束c_i的网格单元集合，w_c为控制约束权重的参数，本方法令$w_c = 10$。定义方向约束如下：将所有二维带方向发丝曲线投影至H的边界表面，生成的三维曲线的切向量存储于所在网格单元处。同时，对所有靠近头皮区域的网格令其约束方向为所在头皮的法向量。

3. 静态发型模型的迭代构建：以拟合的头部模型上定义的头皮区域为发根位置，于空间发型方向场内以发根采样点起始进行生长得到初始的发型模型，随后通过迭代方式改进该初始结果，得到分布均匀、符合原图发型区域的静态发型模型。

3.1 头皮参数化

作为静态发型模型构建的开始，本方法首先在 2.1 步中拟合得到的头部模型上定义发根分布的头皮区域，为了使该头皮区域能符合特定图像中的发型区域，将头皮区域与发型区域相交部分进一步排除。在头皮区域对应的二维参数空间内使用（WANG, L., YU, Y., ZHOU, K., AND GUO, B. 2009. Example-based hair geometry synthesis. ACM Transactions on Graphics 28, 3, 56:1－9.）中方法均匀采样得到发根位置n_s并反投回三维空间中。

3.2 初始模型构建

从 3.1 中得到的参数化头皮上的发根位置开始，按照 2.5 步中得到的空间发型方向场D通过二阶 Runge-Kutta 法（second-order Runge-Kutta）延长初始发丝，直至其长度超过特定最大发丝长度或越过H的边界，最后得到一系列初始发丝集合S作为初始静态发型模型。

3.3 迭代改进

给定 3.2 步得到的初始静态发型模型S，本方法迭代地对其增加新的发丝来填补H中的空白区域，使得最终的发型模型在视觉和物理上均同初始模型一样可信。基本的迭代过程为：1）通过在H的空白区域中随机选取采样点，生成一个备选发丝集合S^*；2）对每个备选发丝$\xi^* \in S^*$，检查是否有合适的发丝$\xi \in S$部分靠近ξ^*，如果有，则对ξ与ξ^*进行剪切与重组生成一个合并的新发丝ξ'并将其添加至S中。重复这两步直至没有合适的备选发丝可被使用。

令$\|\xi\|$表示发丝ξ中的顶点数量，$\xi_{(i)}$为ξ中的第i个顶点（从发根开始计数）。剪切重组过程分别寻找一对已有发丝ξ与备选发丝ξ^*对在空间相邻的两个顶点$\xi_{(i)}$与$\xi^*_{(i)}$，并生成新发丝ξ'使得：

$$\xi'_{(k)} = \begin{cases} \xi_{(k)} & \text{if} \quad k < i, \\ \left(\xi_{(i)} + \xi^*_{(j)}\right)/2 & \text{if} \quad k = i, \\ \xi^*_{(k-i+j)} & \text{if } i < k < i + \left|\xi^*\right| - j. \end{cases}$$

其中ξ'靠近发根的部分总是来自于已有的发丝，使得$\xi'_{(1)}$保证位于头皮表面。为了选取合适的发丝$\xi \in S$以及对应的顶点来进行剪切重组，本方法定义衡量标准对应的能量方程如下：

$$E_c\left(\xi'\right) = \sum_k e^{-\frac{(k-i)^2}{2\sigma_c^2}} \Delta\xi'_{(k)} + w_\rho \sum_k \rho\left(\xi'_{(k)}\right);$$

其中顶点$\xi'_{(k)}$的拉普拉斯算子Δ通过到$\xi'_{(i)}$的测地距离加权来反映接点附近

的光滑程度。$\rho\left(\xi'_{(k)}\right)$表示$\xi'_{(k)}$附近区域的发丝密度值。本方法使用$\sigma_c=1$且密度权重$w_\rho=0.01$。对每个备选发丝，本方法以预先定义的搜索半径在$S$中遍历其所有的临近顶点寻找一个接点使得能量最小。为了提高连接后新发丝的光滑程度，本方法对ξ'中靠近接点的顶点进行低通滤波（low-pass filter），得到改进后的静态发型模型。

4.基于视频的动态发型建模：在步骤 3 的静态发型模型的基础上，通过追踪头部模型运动并估算非刚性形变来计算视频中发型的运动，生成运动过程中每一时刻的动态发型模型，使其自然拟合视频中发型的真实运动。

4.1 初始模型构建

首先选取输入视频序列的某初始帧r使用步骤 1～3 的方法构建该时刻的静态发型模型S_r。

4.2 头部运动追踪

本方法使用多重线性头部模型（Multilinear model）（VLASIC, D., BRAND, M., PFISTER, H., AND POPOVIC, J. 2005. Face transfer with multilinear models. ACM Trans. Graph. 24, 3, 426－433.; DALE, K., SUNKAVALLI, K., JOHNSON, M. K., VLASIC, D., MATUSIK, W., AND PFISTER, H. 2011. Video face replacement. ACM Trans. Graph. 30, 6, 130:1－130:10.）来追踪视频中的头部运动$\mathbf{M}_i$作为时间T_i下的刚性变换（rigid transformation）。

4.3 光流场计算

对于发型的非刚性变换(non-rigid transformation)，本方法首先使用(LI, X., JIA, J., AND MATSUSHITA, Y. Motion detail preserving optical flow estimation. TPAMI 34.9 1744-1757.）的方法计算从时刻T_{i-1}到T_i的稠密光流场（optical flow）$\mathbf{V}_i$（时刻T_{i-1}下的二维位置$\mathbf{p}$对应于时刻T_i下的位置$\mathbf{p}+\mathbf{V}_i(\mathbf{p})$）。

4.4 特征场计算

由于误差的累积，光流场会随着时间逐渐变得越来越不精确，尤其是在靠近发型区域边界的位置。为了修正这个问题，本方法另外从初始帧r开始追踪少量可靠的特征点，这些特征点可以由 Kanade-Lucas-Tomasi 方法自动检测得到，也可由用户手工标定。随后，将这些稀疏的特征对应通过边界保持的方式扩散到整幅图像区域（LANG, M., WANG, O., AYDIN, T., SMOLIC, A., AND GROSS, M. 2012. Practical temporal consistency for image-based graphics applications. ACM Trans. Graph. 31, 4.）来计算一个从初始帧r到其它各帧i的二维变形场（warping flow）$\mathbf{W}_i^\dagger$。在某些情况下，由于运动模糊、遮挡或是其它原因导致追踪偏移，本方法允许用户交互地调整某帧中的特征点位置，

随后将这些修正光滑地传递至整个序列，得到准确的特征场。

4.5 动态发丝变形

在上述步骤 4.2、4.3、4.4 计算得到的刚性变换、光流场、特征场的基础上，本方法对某一帧的所有发丝顶点进行变换从而得到当前时刻下的动态发型模型。

首先结合光流场与特征场定义非刚性变形场 W_i^* 如下：

$$\mathrm{W}_i^*(\mathrm{p}) = 0.5\mathrm{W}_i^{\square}(\mathrm{p}) + 0.5\left[\mathrm{W}_{i-1}(\mathrm{p}) + \mathrm{V}_i\left(\mathrm{p} + \mathrm{W}_{i-1}(\mathrm{p})\right)\right],$$

$$\mathrm{W}_r^*(\mathrm{p}) = \mathrm{W}_r^{\square}(\mathrm{p}) = \mathrm{V}_r(\mathrm{p}) = 0;$$

令 v_r 与 p_r 分别表示初始发型模型中发丝顶点的三维位置与到 XY 平面上的投影位置。为计算时刻 i 下该顶点的变形位置，本方法首先使用 4.2 步中得到的刚性变换 M_i，得到 $\mathrm{v}_i^{'} = \mathrm{M}_i\mathrm{v}_r$，使得发型模型能够与头部运动较好地对齐。

随后对 $\mathrm{v}_i^{'}$ 计算二维偏移向量如下：

$$\mathrm{W}_i\left(\mathrm{v}_i^{'}\right) = \mathrm{W}_i^*(\mathrm{p}_r) - \left(\mathrm{p}_i^{'} - \mathrm{p}_r\right);$$

其中 $\mathrm{p}_i^{'}$ 为 $\mathrm{v}_i^{'}$ 到 XY 平面的投影位置。

最后得到动态顶点位置为 $\mathrm{v}_i = \mathrm{v}_i^{'} + \beta\mathrm{W}_i\left(\mathrm{v}_i^{'}\right)$，其中 β 为发根为 0 渐变到发尖为 1 的权值函数，以保证发根永远位于头皮表面。

5. 发型建模结果的导出与应用：将上述步骤的建模结果以通用格式导出与存储，并导入其他多媒体、数字娱乐产业系统的相关应用之中作后续用途。

5.1 结果的导出

本方法的步骤 3、4 对图像及视频数据构建静态与动态的发型模型。与业界的通用数据格式相兼容，具体可以将发型模型数据表示为大量发丝曲线的集合，而其中每个发丝都是由一串有序顶点构成。本方法通过将结果存储为相关文件格式作为本方法的最终结果导出形式。

5.2 结果的应用

作为通用的发型对象表示形式，导出后的本方法结果可以应用于所有已有的发型应用系统中，包括电影特效与动漫制作中虚拟人物的构建、多媒体应用中的图片编辑、特效制作以及虚拟现实领域的发型设计与虚拟合成等。

实施实例

发明人在一台配备 Intel Xeon E5620 中央处理器，NVidia GTX680 图形处理器的机器上实现了本发明的实施实例。发明人采用所有在具体实施方式中列出的参数值，得到了附图中所示的所有实验结果。所有生成的发型模型包括大

约 20 到 40 万个发丝曲线，每个单独的发丝都表示为一条多个顶点相连的线段，并从原始图像中采样顶点颜色，实际渲染过程中这些发丝都通过几何着色器扩展成与屏幕对齐的多边形带进行实时渲染。

发明人邀请了一些用户来测试本方法的原型系统。结果表明，用户一般只需要大约绘制 2 至 8 个简单笔画来对一张普通的肖像进行交互操作。对大约 500×800 大小的图像，系统通常需要 2 分钟时间来进行所有三维建模过程。

权 利 要 求 书

1.一种图像与视频的虚拟发型建模方法，其特征在于，包括如下步骤：

（1）发型图像数据的采集与预处理：使用数码设备对目标人物进行数据采集，要求发型部分清晰完整，并使用画笔选取工具分割得到图像中发型部分区域；

（2）基于图像的发型方向场计算：求解图像发型方向场的方向歧义性问题，将该无歧义的图像发型方向场结合空间发型体区域求解空间发型方向场；

（3）静态发型模型的迭代构建：通过以拟合的人物头部模型上定义的头皮区域为发根位置，于空间发型方向场内以发根采样点起始进行生长得到初始的发型模型，随后通过迭代方式改进该初始结果，得到分布均匀、符合原图发型区域的静态发型模型；

（4）基于视频的动态发型建模：在步骤 3 得到的静态发型模型的基础上，通过追踪头部模型运动并估算非刚性形变来计算视频中发型的运动，生成运动过程中每一时刻的动态发型模型，使其自然拟合视频中发型的真实运动；

（5）发型建模结果的导出：将上述步骤的建模结果，包括步骤 3 得到的静态发型模型以及步骤 4 得到的动态发型模型，导出与存储。

2.根据权利要求 1 所述的图像与视频的虚拟发型建模方法，其特征在于，所述步骤 2 包括如下子步骤：

（2.1）对输入图像中人物头部区域自动拟合三维人头模型；

（2.2）在步骤 1 分割得到的发型区域内计算稀疏的图像发型方向场，并基于此追踪得到一系列二维发丝曲线；

（2.3）求解二维发丝的方向信息，得到无方向歧义的二维发丝集合；

（2.4）利用步骤 2.3 获得的无方向歧义的二维发丝与步骤 2.1 拟合得到的人头模型估算发丝的深度信息并构建空间中的头发体；

（2.5）在步骤 2.4 的头发体内构建空间网格，求解定义在该网格单元上的空间发型方向场。

3.根据权利要求 2 所述的图像与视频的虚拟发型建模方法，其特征在于，所述步骤 3 包括如下子步骤：

（3.1）基于步骤 2.1 中得到的拟合三维人头模型，对其上的头皮区域进行二维参数化构建，并均匀采样得到初始发根位置；

（3.2）以步骤 3.1 中发根为起始点于步骤 2.5 得到的空间发型方向场为生长方向定义追踪所有发丝直至结束，得到初始静态发型模型；

（3.3）以如下方式进行迭代改进：在空间中发型体内采样得到备选发丝的初始位置，以双向追踪的方式得到一系列备选发丝，对当前发型模型与所有备选发丝进行剪切与重组得到改进的静态发型模型。

4.根据权利要求 1 所述的图像与视频的虚拟发型建模方法，其特征在于，所述步骤 4 包括如下子步骤：

（4.1）对输入视频序列的参考帧构建静态发型模型；

（4.2）追踪头部模型的运动得到各帧相对参考帧的刚性变换；

（4.3）对视频序列中各帧求解参考帧到该帧的稠密光流场；

（4.4）在图像的发型区域中通过自动检测或用户指定的方式指定可靠的特征点位置，追踪这些特征点得到稀疏的特征对应关系，将该稀疏特征对应关系通过保持边缘的滤波方法扩散到整个图像区域中得到特征场；

（4.5）对视频序列的每一帧，首先依据步骤 4.2 得到的刚性变换对步骤 4.1 得到的发型模型进行三维对齐，随后结合步骤 4.3 得到的光流场和步骤 4.4 得到的特征场生成二维变形场，对刚体对齐后的发型模型所有顶点进行变形偏移并保持发丝的连续性得到该帧的动态发型模型。

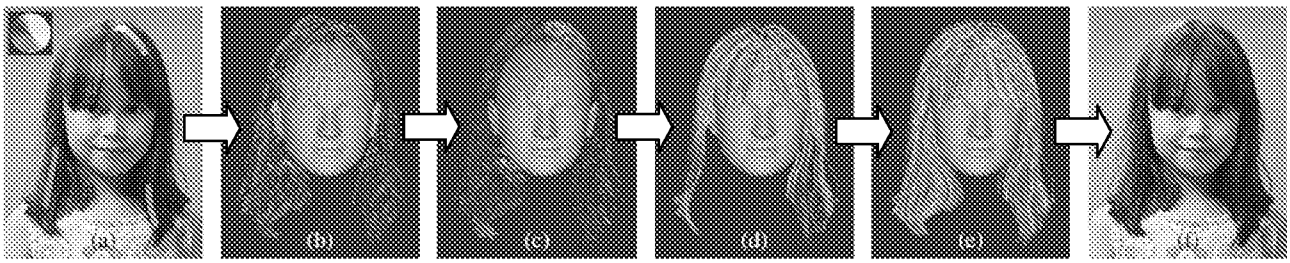


图 1

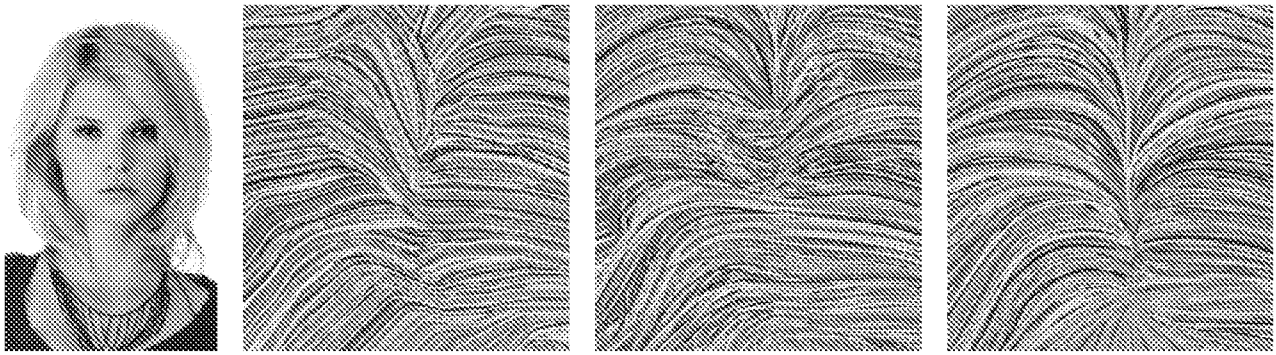


图 2



图 3


(a)
(c)
(e)
(b)
(d)
(f)

图 4


(a) Original
(b) 3D strands
(c) Appearance editing
(d) Hair replacement 1
(e) Hair replacement 2

图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/075129

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 17/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H04N, G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNKI, CNTXT, VEN: hair style, direction, ambiguity, scalp, hair root, HEAD, RECONSTRUCTION, HAIR, 3D, THREE DIMENSIONAL, MODEL

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102419868 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD. et al.), 18 April 2012 (18.04.2012), the whole document	1-4
A	CN 102663820 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 12 September 2012 (12.09.2012), the whole document	1-4
A	CN 101344373 A (THE QUARTERMASTER EQUIPMENT INSTITUTE OF THE PLA GENERAL LOGISTICS DEPARTMENT), 14 January 2009 (14.01.2009), the whole document	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
30 October 2013 (30.10.2013)	**21 November 2013 (21.11.2013)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **QI, Jingwei** Telephone No.: (86-10) **62411482**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/075129

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102419868 A	18.04.2012	None	
CN 102663820 A	12.09.2012	None	
CN 101344373 A	14.01.2009	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2013/075129

A. 主题的分类

G06T17/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: H04N, G06T

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNABS, CNKI, CNTXT, VEN: 发型，建模，头发，模型，方向，歧义，头皮，发根，HEAD, RECONSTRUCTION, HAIR, 3D, THREE DIMENSIONAL, MODEL

C. 相关文件

类　型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN102419868 A（三星电子株式会社等） 18.4 月 2012（18.04.2012）全文	1-4
A	CN102663820 A（清华大学）12.9 月 2012（12.09.2012）全文	1-4
A	CN101344373 A（中国人民解放军总后勤部军需装备研究所）14.1 月 2009（14.01.2009）全文	1-4

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。　　☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
30.10 月 2013（30.10.2013）	**21.11 月 2013 (21.11.2013)**

ISA/CN 的名称和邮寄地址：
中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088
传真号：(86-10)62019451

受权官员
齐经纬
电话号码：(86-10) **62411482**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/075129

检索报告中引用的专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN102419868 A	18.04.2012	无	
CN102663820 A	12.09.2012	无	
CN101344373 A	14.01.2009	无	