

工作报告

王天宇

2019.10.23

1 当前工作进展 (2019.9.29)

1.1 半自动的基于单幅图像的头发建模工具

关于我自己 propose 的做一个半自动的基于单幅图像进行头发建模的工具, 经过上周的技术 survey, 大致确定了一个通过简单的用户对输入图像进行交互标注, 随后可以无需用户参与, 完全自动生成头发模型的解决方案, 该方案主要以 [Chai et al., 2016] 的 pipeline 为基础. 根据公司实际业务需求 (符合艺术审美, 可应用于物理模拟等方面), 艺术家通常需要的头发模型不仅需要在视觉上满足一些艺术审美要求, 另外应当是完整的可应用于真实物理模拟的头发模型, 因此早期的如 [Chai et al., 2012, Chai et al., 2013] 并不适用, 这些技术生成的头发一方面不完整: 只有相机视角所见范围内的头发 [Chai et al., 2012], 另一方面早期的头发发丝生成算法 [Chai et al., 2012] 不能够生成有效的可应用于物理模拟的头发模型, 无法满足公司业务需求.

算法流程上, 给定一张图片 I , 如图 1(a):

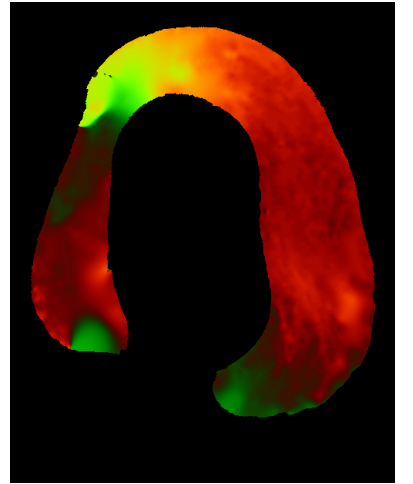
a. 用户交互的进行头发部分的分割 (这部分可以由 paint selection 技术 [Liu et al., 2009] 高效完成), 获得头发的 mask M , 如图 1(b);



(a) I



(b) M



(c) $D_{dense} = ((\cos + 1)/2, (\sin + 1)/2, 0)$

图 1:

b. 获得头发区域 M 后, 经过 [Chai et al., 2012] 的迭代式的方向滤波 [Paris et al., 2004], 获得

对于头发区域方向的估计 theta map D 和对于该方向估计的置信度评估 confidence map C ;

c. 由于图像生成的噪声, 拍摄光照等因素, 系统根据 confidence map C 进行截断 theta map D , 认为高于某一 threshold 的 D 为可靠的方向估计, 由此我们获得稀疏的可用的发丝走向的度量 D_{sparse} , 如图 2;

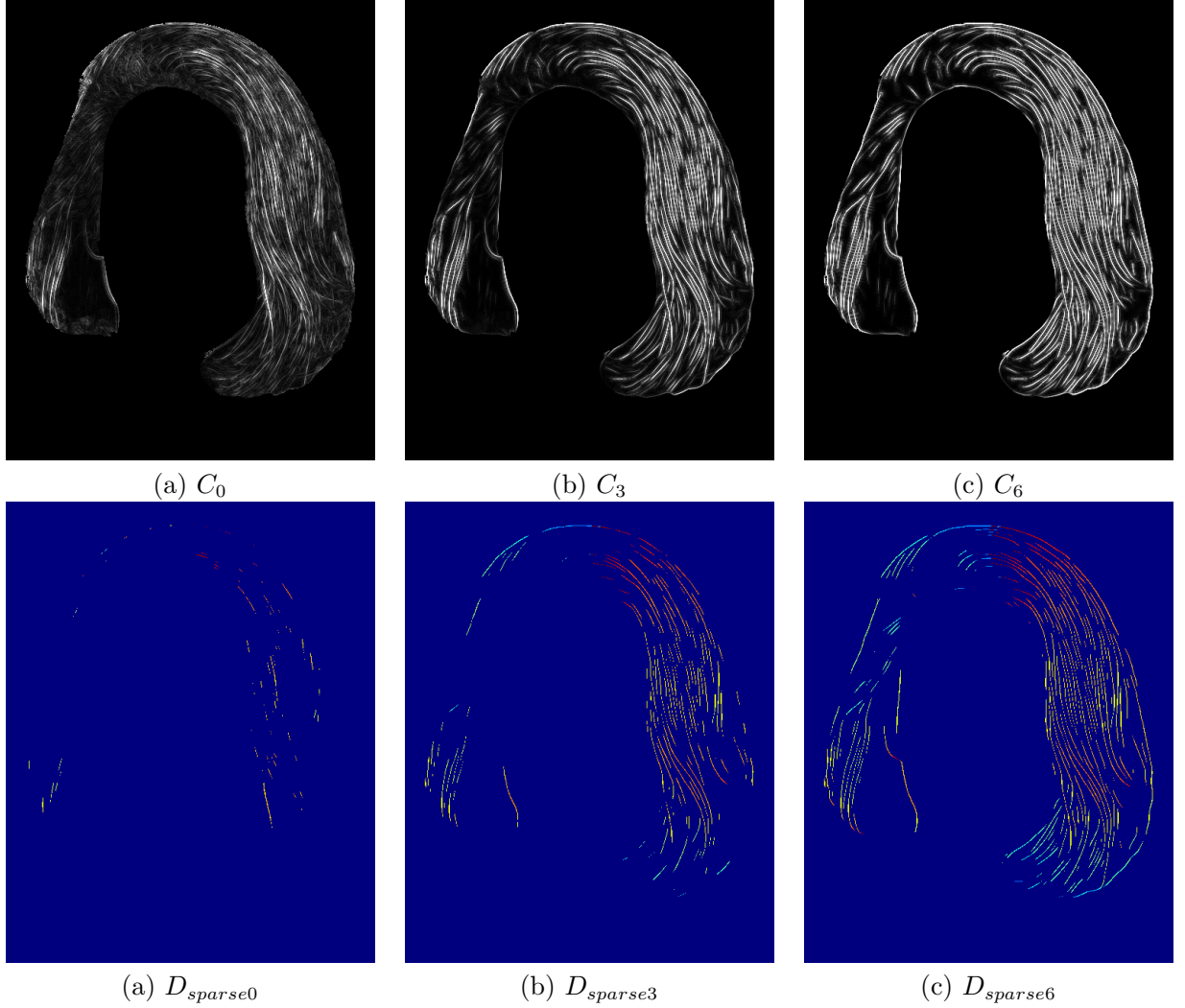


图 2: 如图, 我们迭代的获得精细化的 sparse direction field 和 confidence map

d. 因为滤波获得的方向本身具有二义性 [Chai et al., 2013], 即无法确定正向还是反向 (我们定义从头皮生成出来的方向为正方向, 而滤波器无法获得该高级语义), 因此我们提供给用户一个交互界面, 如图 3, 让用户将头发区域分割成若干子区域, 并且标注每个子区域的从头皮生成出来的头发的整体走向, 根据该标注, 我们校正上一步获得稀疏的有效的发丝走向 D_{sparse} , 获得 $D_{sparse/correct}$, 如图 4;

e. 为了获得密集的头发生成每个像素的发丝走向 D_{dense} , 我们将上一步获得的稀疏的发丝走向 $D_{sparse/correct}$ 进行 diffuse (通过解一个带约束的二次优化来完成该 diffuse 过程, 参考 [Fu et al., 2007]),



(a) 交互的语义标注

图 3: 交互的语义标注

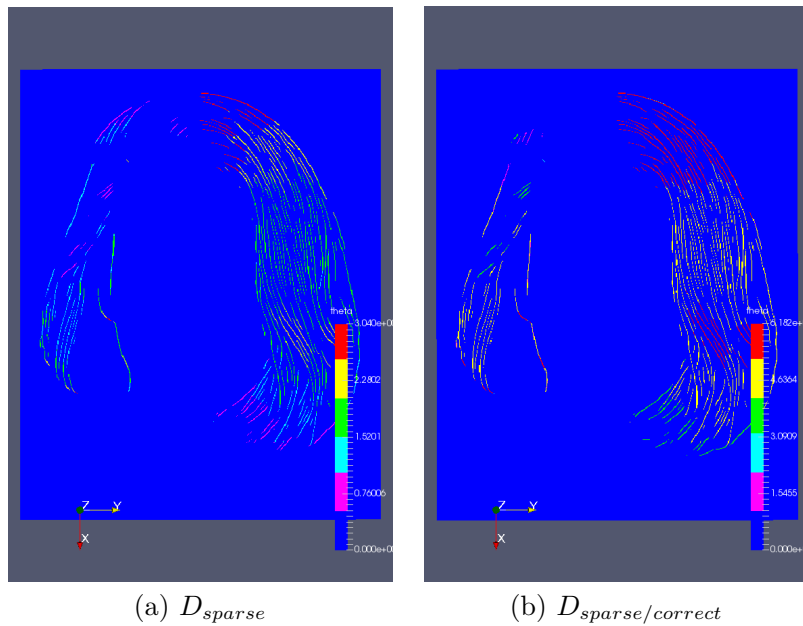
(a) D_{sparse} (b) $D_{sparse/correct}$

图 4: 我们通过用户标注解除原始属于 $[0, \pi]$ 的方向场 (a) 的二义性, 获得属于 $[0, 2\pi]$ 的无二义性的方向场 (b)

获得 D_{dense} , 如图 1(c);

f. 另一方面我们在 300 多个收集来的三维头发模型, 如图 5 的基础上, 进行 recombination(数据扩充) 获得约 40K 个三维头发模型, 并且将其投影至二维上也获得其头发走向标签 D^* 和头发区域分割标签 M^* ;

g. 我们根据给定图片的头发走向 D_{dense} 在该三维模型集合中进行匹配 (这一步可以通过训练一个回归器代替 [Chai et al., 2016] 的搜索算法), 获得最优的候选三维模型集合 S_h ;

h. 对候选模型集合 S_h 中的每一个模型 h_i 和输入图片的头发轮廓进行 boundary matching(通过解一个动态规划来完成, 参考 [Forney, 1973]), 从而可以根据输入图片的二维信息对候选三维模型进



(a) 三维头发模型数据集

图 5:

行 warping deformation, 参考 [Donato and Belongie, 2002, Zhou et al., 2005](因为上一步匹配出来的仍可能存在明显差异, 我们需要通过此方法对模型进行后处理);

i. 我们对变形后的候选三维模型集合中进行选择, 选择投影的二维头发方向场 D^* 最匹配于输入图片的头发方向场 D_{dense} 的模型 h_{best} 作为最终模型;

j. 获得最终的 mesh 模型后, 我们将其体素化进行三维 diffuse, 获得 dense 的三维头发方向场 $D_{dense3d}$, 并根据 [Chai et al., 2013], 从头皮开始 trace 头发, 生成最终可用的发丝, 如图 6.



(a) 通过三维 mesh 头发模型, 生成最终发丝

图 6:

本周 a-e 步已经写完, 结果如图所示.

1.2 关于在 UE 里利用已有商用物理引擎进行头发和布料模拟

三楼的美术已经和我聊过他们在 maya 里如何进行头发和服装资产制作的流程, 但是对于具体需要我做什么, 需求尚不明确. 如果您有空, 我们可以一块讨论下可以做些什么.

2 未来工作计划 (2019.9.29)

2.1 半自动的基于单幅图像的头发建模工具

关于 image based hair modeling 这个 topic 和具体到该项目, 有以下这些可以继续做:

1. 根据算法流程, 写完整个建模系统, 完成 prototype.
2. 可以结合当前的 rgbd 相机或者 multi view 算法, 修改技术选择, 提供更好的头发模型结果, 使其满足其他视角下的艺术风格需求.
3. 算法本身多处可并行化, 可以将其并行化, 提高运行效率.
4. 可以考虑利用 NN 训练回归器, 代替算法 g 步的传统搜索算法.
5. refine 以至于可以当做一个可以被艺术家使用的工具

2.2 关于在 UE 里利用已有商用物理引擎进行头发和布料模拟

...

3 当前工作进展 (2019.10.20)

3.1 半自动的基于单幅图像的头发建模工具

这周, 关于我自己 propose 的做一个半自动的基于单幅图像进行头发建模的工具, 根据前面 f 步说的我们需要构造一个数据集, 具体做法是我们对 300 多个收集来的头发模型, 如图 5, 对于每个模型先通过并查集进行分片 (strip), 再将每个 strip 使用 polyline 表示, 如图 7, 计算每对 polyline 之间的距离, 获得 $n \times n$ 的距离矩阵 (distance matrix), 通过 Agglomerative Clustering 层级聚类算法 (有一些其他可替代的聚类算法 (SpectralClustering, AffinityPropagation, DBSCAN, OPTICS), 经过实验, 这个效果最好), 将模型进行分簇 (cluster), 再在 cluster level 上将两两模型进行 add new cluster and remove conflict cluster 操作 (通过计算两两点云之间的 hausdorff distance 判断 conflict 的可能性), 获得新的模型, 进行数据集扩充, 但是有一些组合不可避免的会将头皮暴露出来, 如图 9, 需要剔除: 一个自动的办法, 是对于每个 result 从头皮发射射线求交, 如果有不相交的部分, 说明暴露头皮, 即生成的 result 不合法, 需要剔除, 但是这个方法有点难写, 来不及, 所以目前尚未做。至此, 我们可以通过一种数据扩充的算法扩充头发模型的数据集, 生成新的合理的头发模型, 如图 8。

上周, 我对 iamge based hair modeling 相关的最近的 the state of the art paper 做了一个基本完整的调查, 涵盖了从 2012 年起的发在顶会 (SIGGRAPH(Asia) or CVPR) 上的 18 篇 paper, 并做了一个简单的技术分类和使用过的输入输出的数据总结, read the section 5 for details.

3.2 关于在 UE 里利用已有商用物理引擎进行头发和布料模拟

无

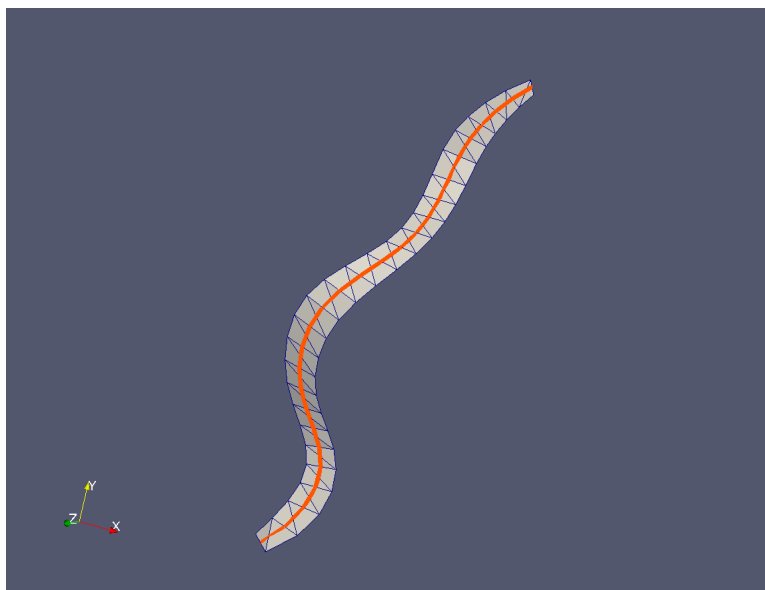


图 7: 一个头发模型的一个 strip 的三角网格表示和简化的 polyline 表示

4 未来工作计划 (2019.10.20)

4.1 半自动的基于单幅图像的头发建模工具

to be defined

4.2 关于在 UE 里利用已有商用物理引擎进行头发和布料模拟

因为头发数据集生成的算法已经有了, 并且输入的 image 的特征提取算法也已经写完, 至此, 已经获得了所有主要的素材去完成 image based 头发建模, 剩下的技术选择根据 section 5 的 survey 有多种选择, 可以先讨论下, 不用急着写代码。所以, 从下周起, I will focus on this UE related project, 先和黄镇讨论下。

5 image based hair modeling 相关工作 survey

1.[Luo et al., 2012]: 使用多张不同角度拍摄的头发获得的照片重建外层的头发模型 (一层表面三角网格, 不可用于直接的物理模拟): 因为头发的拍摄视角依赖的高光, 因此颜色不适合作为特征应用于多视角的 correspondence 中。[Luo et al., 2012] 对每张图像抽取发丝方向特征, 根据该特征通过 MRF 优化获得部分深度信息, 最后根据部分深度信息进行泊松重建并 refine 获得最终的 hair mesh. The key contribution is the orientation map's importance.

2.[Chai et al., 2012]: 使用单张正面的肖像照片和少量的用户交互标注 (标注脸部区域和头发区域) 重建 2.5D 的正面头发和脸部模型用于图像的替换发型和 relighting (不可用于直接的物理模拟)。对于头发区域通过 Gabor 滤波获得稀疏的可靠的发丝方向并追踪这些方向生成稠密的 2D 头发 strand(并不是从头皮开始); 最后结合拟合的 3D 脸部模型, 对每个 2D 头发顶点估计深度获得对应的 3D 头发, 并生成更多的 3D 头发填充头发区域。annotation to solve the direction ambiguity.

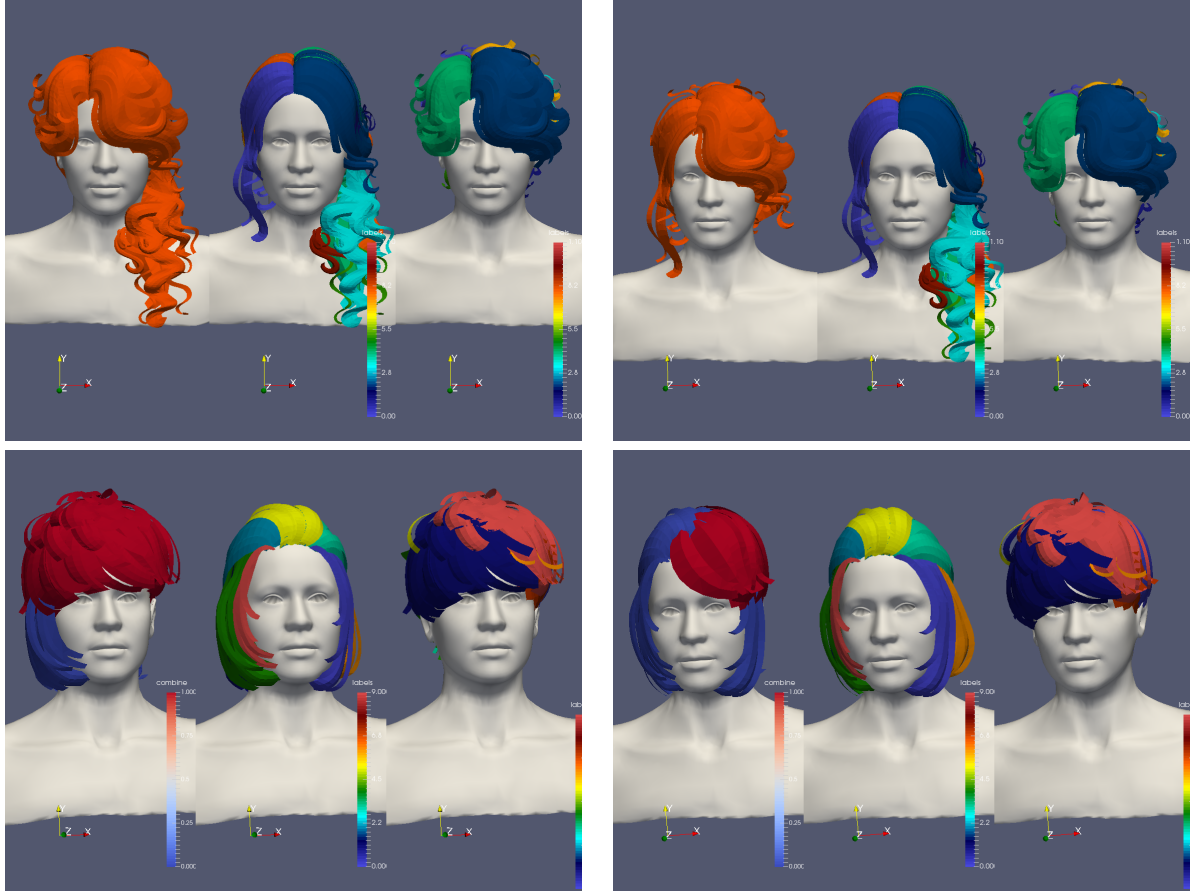


图 8: 每幅图中, 我们将 medium and right 进行聚类, 并且做簇和簇之间的 recombination 获得合理的头发模型 as left

3.[Chai et al., 2013]: 使用单张正面的肖像图片和少量用户标注（标注头发的发丝从头皮开始的走向）重建可用于物理模拟的但不完整的头发和脸部模型。通过用户标注的走向结合 Gabor filter 获得的发丝方向，生成 2D 的无歧义的发丝方向，并使用 [Chai et al., 2012] 的方法估计其深度信息获得稀疏的 3D 方向，并进行 diffuse 获得稠密的 3D 头发方向，最后使用一种迭代式的头发生成算法，生成从头皮生长出的头发。The key contribution is the novel hair generation algorithm.

4.[Luo et al., 2013]: 使用多张不同角度拍摄的头发获得的照片生成可用于模拟的完整的头发模型（结果看上去很好）。1. 通过 PMVS algorithm 重建点云，2. 根据 [Luo et al., 2012] 计算 2D 方向图，3. 根据 1,2 结果重建 3D 方向场，4. 获取 Ribbons 表示的 3D 头发模型（相互连接，连接到头皮，方向性分析（避免方向的二义性）），this is useful to convert a 3D direction field into a hair model expressed by ribbons，5. 生成头发。

5.[Hu et al., 2014b]: 使用多张不同角度拍摄的头发获得的照片生成受约束的特定发型-辫子。1. 通过 [Luo et al., 2013] 的方法获得点云模型和 3D 方向场，2. 通过过程式的方法构造一个辫子数据库，3. 将输入点云和数据库做 fitting（部分匹配，相互连接），4.diffuse and hair generation as[Luo et al., 2013]. data driven strategy

6.[Xu et al., 2014]: 动态头发建模 from video。时空约束。

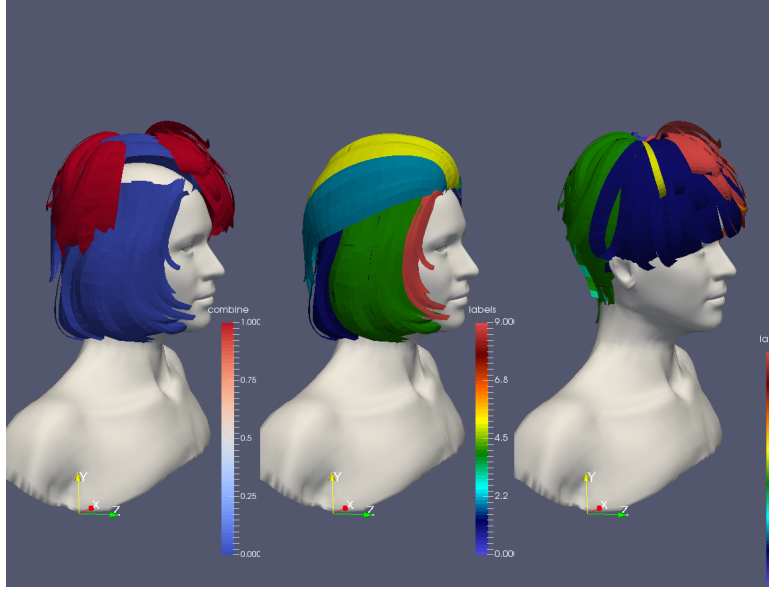


图 9: 因为 recombine 中 remove 冲突的 cluster 不可避免会生成类似的暴露头皮的无效 result, 需要剔除

7.[Hu et al., 2014a]: 使用多张不同角度拍摄的头发获得的照片生成可用于模拟的完整的头发模型。其使用模拟生成的头发作为初始样例, 解决 [Luo et al., 2013] 的方向性分析方法的问题, 可以在不对初始点云进行清洗的情况下, 获得比 [Luo et al., 2013] 更好的结果。它首先将模拟生成的头发和点云对应的 sparse hair strand 进行 ICP fitting, 然后根据点云对应的 sparse hair strand 生成头发模型的 ribbons 表示, 但是和 [Luo et al., 2013] 不同, 它使用 fitting 后的模拟的头发发丝作为指引连接 ribbon 片段, 提高鲁棒性, 但是受算法策略限制, 相比较 [Luo et al., 2013] 在局部细节上表现不好。The key idea is using the simulated examples as the direction guidance.

8.[Chai et al., 2015]: 使用一张单张正面的肖像图片和少量用户标注重建出精确的深度图。shape from shading. 1. 构造一个包含头发区域和脸部区域的基本形状, 2. 使用 SFS 估计精确的头发和脸部的法向量, 3. 通过构造螺旋线表示的头发来拟合图像头发区域, 获得该螺旋线的法向量, 4. 数值优化求解 per pixel's depth 满足基本形状的深度约束, SFS 法向量约束和拟合获得的螺旋线法向量的约束, 获得深度图表示的头发模型 (并不能用于物理模拟, 和工业界的常规需求不是很一致)。

9.[Hu et al., 2015]: 使用单张正面的肖像图片重建出可用于物理模拟的完整的头发模型。1. 给定图像的头发区域一些标注表示典型的头发走向, 在一个三维头发模型中查找和给定标注最相似的作为候选, combine 候选, 将 combine 以后的候选根据给定图像的 2D 方向场进行头发丝级别的 deform。和 [Chai et al., 2016] 的做法比较相似, 但是在 retrieval 步使用的表示不一样, combine 和 retrieval 的顺序不一样。

10.[Chai et al., 2016]: 使用单张正面的肖像图片重建出可用于物理模拟的完整的头发模型。通过构造一个肖像图图片和对应标注的头发区域的 segmentation mask and 2D direction map, 训练一个神经网络, 从而可以输入一个肖像获得对应的 hair region segmentation mask and its 2D direction map; 另一方面构造一个三维头发模型数据集, 通过肖像的 segmentation 和 2D direction 信息在数据集进行搜索候选模型并进行形变, 最终根据 [Chai et al., 2013] 的方法进行 diffuse and hair generation。Some previous papers' algorithm's combination(1.orientation from Ga-

bor filter from [Luo et al., 2012, Chai et al., 2012] / 2. annotation for solving the ambiguity from [Chai et al., 2013] / 3. wisp's construction from [Luo et al., 2013] / 4. hair database idea from [Hu et al., 2015] / 5. hair generation algorithm from [Chai et al., 2013] / 6. hair strand deformation algorithm from [Hu et al., 2015]) and a novel hair wisp level deformation processing from itself.

11. [Zhang et al., 2017]: 使用前后左右四张头发照片重建出可用于物理模拟的完整的头发模型。1. 对四张图片进行头发区域分割和相机参数估计, 2. 利用估计的相机参数绘制头发模型数据库中每个模型的 2 维投影, 3. 通过投影的轮廓线距离进行搜索获得最优模型, 转成 water tight 闭合 hair mesh, 4. 对 hair mesh 根据 4 张给定图像进行 deform, similar to [Chai et al., 2016], 5. 对 hair mesh 贴四张图片的纹理, 根据纹理估计其表面头发走向并 diffuse 至内部, 6. 生成头发。data driven strategy. sparse multi-view based hair modeling.

12. [Saito et al., 2018]: 使用单张正面的肖像图片重建出可用于物理模拟的完整的头发模型。1. 训练一个 VAE, encode the hair feature into the latent space, input is the hair occupancy volume and flow volume and the output is the reconstructed hair occupancy volume and flow volume. 2. 训练一个 hair embedding network 预测 latent code from input image.

13. [Zhou et al., 2018]: 使用单张正面的肖像图片重建出可用于物理模拟的完整的头发模型。1. 训练一个 AE, encode the 2D orientation info and mask info into a latent space named as hair feature, decode the hair feature as hair strand feature. hair strand feature 直接表示为一个 $N \times M$ matrix, N 根头发, 每根头发有 M 个有序顶点。训练数据生成方法在 [Chai et al., 2016] 基础上有所变动。[Zhou et al., 2018] and [Saito et al., 2018] 很相似, 只不过 [Zhou et al., 2018] 用了一个网络直接从图像特征到 hair strand 特征, [Saito et al., 2018] 用了两个网络, 一个 encode/decode, 另一个用来从图像特征预测。

14. [Zhang et al., 2018]: 通过 RGB-D 相机重建出可用于物理模拟的完整的头发模型。1. 对 color images 进行头发区域和方向估计 as [Chai et al., 2016], 2. 利用深度 images 获得 3D fusion model, 3. 对于前后两个视角下的 RGB 图片估计的 hair mask 和 2D direction field 在一个预定义的 hair 数据库寻找局部细节相似的模型, 4. 构建 3 中寻找到的模型和深度相机获得的 fusion model 之间的 NNF 映射, 5. 构建 3D 方向场生成头发。The key idea is combining the global feature given by the fusion model and the local feature given by the searched model with 2D direction clues.

15. [Liang et al., 2018]: 通过一段人物的多个角度的视频重建出三维头部和头发。1. SFM 重建出 visual hull, 2. 获取逐帧的 2D hair direction and strand, 3. 通过一帧正面肖像重建人脸, 4. 通过 2D strands 检索 hair database, 获取多个 candidate, 5. global and local deformation of the hair candidate at strand level.

16. [Zhang and Zheng, 2018]: 使用单张正面的肖像图片重建出可用于物理模拟的完整的头发模型。非常直接的 idea: 通过训练 single image's 2D feature (hair mask and 2D direction field) 到 volumetric 3D hair model feature (space occupancy and 3D direction field) 的映射 using GAN。of course, some needed post-processing (smooth and hair strand deformation)

17.[Nam et al., 2019]: 使用多张不同角度拍摄的头发获得的照片生成不可用于模拟的完整的头发模型。MVS->strand generation-> refine.1. 一个新的 MVS 算法 (line-based PatchMatch multi-view stereo) 获得更精确的点云 (每个点代表一个有向线段 (包含位置和方向)), 2. 重建 hair strand from 点云, 3. 利用原始的多视角 image refine hair strand, 获得更长的头发。The key contribution is the high accuracy of the reconstructed hair strand but the weakness is that the hair strand is not generated from the scalp so that it can not be used in physical simulation.

18.[Yang et al., 2019]: 动态头发建模 from video by DCNN。训练两个网络, 一个负责将生成静态头发的方向场, 一个负责生成相邻两帧视频之间的 warping field, 数据集包含静态头发和动态模拟生成的头发, 最后通过一个和 [Xu et al., 2014] 相似的时空约束优化进行 correction 获得最终的动态头发结果。其结果过于 smooth, 缺少 local details.

根据 paper 使用的建模策略不同做如下分类:

1.dense multi-view based static hair modeling:

- a.point cloud from MVS -> fitted ribbons -> strands:[Luo et al., 2012, Luo et al., 2013, Hu et al., 2014a, Nam et al., 2019] 硬件复杂, 结果不错, 当前硬件不满足要求
- b.(data-driven)point cloud from MVS -> search database -> strands:[Hu et al., 2014b] 生成辫子, 比较特殊的 topic, 当前硬件不满足要求
- c.(data-driven)2D strand similar to [Chai et al., 2016] and visual hull from SFM-> search database-> strand deform:[Liang et al., 2018] 需要 hair database, 轻量级的硬件要求, 但是 pipeline 很复杂, 结果不错

2.single view or sparse multi-view based static hair modeling:

- a.shape from shading strategy:[Chai et al., 2015] 不适用于工业界需求
- b.estimate 2D direction and depth from single image: [Chai et al., 2012, Chai et al., 2013] 不适用于工业界需求
- c.(data-driven)2D image feature(direction/ segmentation) -> search(retrieval) candidate in hair database -> deform hair candidate and generate hair strand: [Hu et al., 2015, Chai et al., 2016, Zhang et al., 2017, Zhang et al., 2018] 需要 hair database, 轻量级的硬件要求
- d.(DNN based data-driven method):[Zhang and Zheng, 2018, Zhou et al., 2018, Saito et al., 2018] 需要 hair database

3.dynamic hair modeling:(和目前无关的 topic)

- a.sparcetime constraint problem:[Xu et al., 2014]
- b.DCNN:[Yang et al., 2019]

总结下这些 paper 中出现过的 2D 和 3D 信息的表示:

2D image 特征表示: RGB color / hair segmentation mask / hair orientation field/ depth field

3D hair 表示: ribbons mesh/ strands/ uniform sample strands as matrix/ watertight mesh/ volumetric occupancy and volumetric direction / point cloud

6 当前工作进展 (2019.10.23)

6.1 半自动的基于单幅图像的头发表建模工具

无

6.2 实时的高精度的头发和布料模拟引擎

for cloth simulation:

首先, 经过我的调查, 目前并不存在已经集成到 UE4 中成熟的公开的商业物理引擎可以在做到实时的高精度的 (可用于类似虚拟直播 or 虚拟试衣 or 交互编辑) 布料模拟的同时并且可以被艺术家直接使用 (基本不用写代码, 只需要简单的界面操作)。

首先介绍下目前的布料模拟的解决方案, 大致可以分为两种:

1. 给定三角网格的物理模型 (弹簧质点 or FEM) 解运动方程, 对于网格的穿透进行 CCD (连续碰撞检测) or DCD (离散碰撞检测), 做碰撞响应 (根据运动轨迹解除穿透等)。

加速策略上: 有一帮人 [Liu et al., 2013, Bouaziz et al., 2014] 试图修改网格的物理模型, 但是对于 cloth 最本质的由于复杂碰撞导致的有趣的物理状态却避而不谈 (经常用 SDF 近似, 给一些和球碰撞的结果就了事), 这种只能发发 paper; 还有一些老师会试图去设计 GPU 友好的碰撞检测的数据结构和处理流程 [Tang et al., 2018], 但是目前 state of the art 只能做到 (16k triangles 0.27s/frame)。

2. 基于粒子的布料模拟。NVIDIA 把他们的 position based dynamics[Müller et al., 2007] 和 2014 和 2015 两篇 [Macklin et al., 2014, Müller et al., 2015] 做了一个 Flex library, 因为在这个算法中所有物体 (刚体, 流体, 弹性体, 布料) 都被离散成 particle, 网格碰撞被粒子碰撞代替, 从算法上可以实现 fully GPU simulation。NVIDIA 提供了一个 Flex plugin for UE, 但是只是提供了一些算法 level 的接口调用。这种把 cloth 当做 particle 的策略启发了后面一些 paper: Jiang 等 [Jiang et al., 2017] 利用类似策略将 cloth simulation 集成到 MPM framework 中。

这里有一些 Flex 的 realtime 布料模拟结果: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/76956578>, 这是今年 SIGGRAPH 上 NVIDIA 展示的最新结果 (这个专栏的作者是 matthias-mueller-fischer 的同事)。有趣的是在去年也就是 2018 年初, 有个哥么 (https://en.wikipedia.org/wiki/Jim_Hugunin) release 了一个他一个人根据 NVIDIA paper 自己写的布料模拟器, 算法和 Flex 应该基本相同 (<https://forums.unrealengine.com/development-discussion/rendering/117351-real-time-high-resolution-cloth-simulation-via-gpu>), 但是他的比 Flex 快了 60 倍,

从结果上非常优秀 (<https://www.youtube.com/watch?v=KBfxnaylIOY>), 可以模拟非常写实的布料 (他在论坛上提供了一个基于此的虚拟试衣的测试版软件 (<https://artfulphysics.com/>) (no code)), 并且非常贴合人体且没有穿透, 帧率上可以进行交互, 当然这哥么是一个被写进 wiki 的顶级工

程师 (numpy 的原型是他写的...)。

公司目前使用的是 NVIDIA Apex 插件, 它基于第一种解决方案, 它提供给艺术家一些很方便的界面操作即可完成实时布料模拟, 但是 no free lunch。这个插件本身对刚体模拟集成的比较好, 但是对于布料模拟它做了很多限制, 碰撞体只能是一些可解析的胶囊体 (球, 椭球, 圆柱等), 因此对于布料和角色的碰撞, 首先需要对于角色用若干胶囊体包裹, 所以最终绑定到骨骼上的本质上是一些胶囊体, 并且对胶囊体数量有限制 (from 刘晗's feedback), 适用于一般的游戏开发 (of course, 牛逼的游戏公司也不会直接用它)。这导致一些问题: 1. 对于细节操作, 比如叉腰需要很多的胶囊体去近似手指才能得到比较好的结果, 但是同时就会损失一些别的地方的胶囊体, 导致 artifact; 2. 对于类似弯腰这种幅度很大的动作很难用有限的胶囊体去始终近似好整个序列。

有几种解决或者 hack 的方案:

1. 沿用 Apex 插件, 去看下能不能去除胶囊体的数量限制, hack 一下 (时间成本: 学习 UE4 操作, 看 Apex 插件的代码, try)
2. 放弃 Apex 插件, 试着用下 NVIDIA Flexs 插件, 试着去使用它的低级接口去写一个适用于虚拟直播精度的布料解算流程, 完成布料模拟 (时间成本: 学习 UE4 操作, 学习 Flex, 看相关的 paper, 学习 UE4 的代码编写, try)
3. 根据 NVIDIA 的这几篇 paper 重新实现一个类似这个哥么做的插件 (时间成本: 学习 UE4 操作, 学习 Flex, 看相关的 paper, 学习 UE4 的代码编写, 学习 UE4 的 plugin 编写, CUDA 编程, try) (这哥么业余时间写了四年 (from his youtube info))

for hair simulation:
to be defined

参考文献

- [Bouaziz et al., 2014] Bouaziz, S., Martin, S., Liu, T., Kavan, L., and Pauly, M. (2014). Projective dynamics: fusing constraint projections for fast simulation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(4):154.
- [Chai et al., 2015] Chai, M., Luo, L., Sunkavalli, K., Carr, N., Hadap, S., and Zhou, K. (2015). High-quality hair modeling from a single portrait photo. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 34(6):204.
- [Chai et al., 2016] Chai, M., Shao, T., Wu, H., Weng, Y., and Zhou, K. (2016). Autohair: Fully automatic hair modeling from a single image. *ACM Transactions on Graphics*, 35(4).
- [Chai et al., 2013] Chai, M., Wang, L., Weng, Y., Jin, X., and Zhou, K. (2013). Dynamic hair manipulation in images and videos. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 32(4):75.
- [Chai et al., 2012] Chai, M., Wang, L., Weng, Y., Yu, Y., Guo, B., and Zhou, K. (2012). Single-view hair modeling for portrait manipulation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 31(4):116.
- [Donato and Belongie, 2002] Donato, G. and Belongie, S. (2002). Approximate thin plate spline mappings. In *European conference on computer vision*, pages 21–31. Springer.
- [Forney, 1973] Forney, G. D. (1973). The viterbi algorithm. *Proceedings of the IEEE*, 61(3):268–278.
- [Fu et al., 2007] Fu, H., Wei, Y., Tai, C.-L., and Quan, L. (2007). Sketching hairstyles. In *Proceedings of the 4th Eurographics workshop on Sketch-based interfaces and modeling*, pages 31–36. ACM.
- [Hu et al., 2014a] Hu, L., Ma, C., Luo, L., and Li, H. (2014a). Robust hair capture using simulated examples. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(4):126.
- [Hu et al., 2015] Hu, L., Ma, C., Luo, L., and Li, H. (2015). Single-view hair modeling using a hairstyle database. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 34(4):125.
- [Hu et al., 2014b] Hu, L., Ma, C., Luo, L., Wei, L.-Y., and Li, H. (2014b). Capturing braided hairstyles. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(6):225.
- [Jiang et al., 2017] Jiang, C., Gast, T., and Teran, J. (2017). Anisotropic elastoplasticity for cloth, knit and hair frictional contact. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 36(4):152.
- [Liang et al., 2018] Liang, S., Huang, X., Meng, X., Chen, K., Shapiro, L. G., and Kemelmacher-Shlizerman, I. (2018). Video to fully automatic 3d hair model. In *SIGGRAPH Asia 2018 Technical Papers*, page 206. ACM.
- [Liu et al., 2009] Liu, J., Sun, J., and Shum, H.-Y. (2009). Paint selection. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 28(3):69.

- [Liu et al., 2013] Liu, T., Bargteil, A. W., O'Brien, J. F., and Kavan, L. (2013). Fast simulation of mass-spring systems. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 32(6):214.
- [Luo et al., 2012] Luo, L., Li, H., Paris, S., Weise, T., Pauly, M., and Rusinkiewicz, S. (2012). Multi-view hair capture using orientation fields. In *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 1490–1497. IEEE.
- [Luo et al., 2013] Luo, L., Li, H., and Rusinkiewicz, S. (2013). Structure-aware hair capture. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 32(4):76.
- [Macklin et al., 2014] Macklin, M., Müller, M., Chentanez, N., and Kim, T.-Y. (2014). Unified particle physics for real-time applications. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(4):153.
- [Müller et al., 2015] Müller, M., Chentanez, N., Kim, T.-Y., and Macklin, M. (2015). Air meshes for robust collision handling. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 34(4):133.
- [Müller et al., 2007] Müller, M., Heidelberger, B., Hennix, M., and Ratcliff, J. (2007). Position based dynamics. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 18(2):109–118.
- [Nam et al., 2019] Nam, G., Wu, C., Kim, M. H., and Sheikh, Y. (2019). Strand-accurate multi-view hair capture. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 155–164.
- [Paris et al., 2004] Paris, S., Briceño, H. M., and Sillion, F. X. (2004). Capture of hair geometry from multiple images. In *ACM transactions on graphics (TOG)*, volume 23, pages 712–719. ACM.
- [Saito et al., 2018] Saito, S., Hu, L., Ma, C., Ibayashi, H., Luo, L., and Li, H. (2018). 3d hair synthesis using volumetric variational autoencoders. In *SIGGRAPH Asia 2018 Technical Papers*, page 208. ACM.
- [Tang et al., 2018] Tang, M., Liu, Z., Tong, R., Manocha, D., et al. (2018). I-cloth: Incremental collision handling for gpu-based interactive cloth simulation. In *SIGGRAPH Asia 2018 Technical Papers*, page 204. ACM.
- [Xu et al., 2014] Xu, Z., Wu, H.-T., Wang, L., Zheng, C., Tong, X., and Qi, Y. (2014). Dynamic hair capture using spacetime optimization. *To appear in ACM TOG*, 33:6.
- [Yang et al., 2019] Yang, L., Shi, Z., Zheng, Y., and Zhou, K. (2019). Dynamic hair modeling from monocular videos using deep neural networks. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 36(4):156.
- [Zhang et al., 2017] Zhang, M., Chai, M., Wu, H., Yang, H., and Zhou, K. (2017). A data-driven approach to four-view image-based hair modeling. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 36(4):156.
- [Zhang et al., 2018] Zhang, M., Wu, P., Wu, H., Weng, Y., Zheng, Y., and Zhou, K. (2018). Modeling hair from an rgb-d camera. In *SIGGRAPH Asia 2018 Technical Papers*, page 205. ACM.
- [Zhang and Zheng, 2018] Zhang, M. and Zheng, Y. (2018). Hair-gans: Recovering 3d hair structure from a single image. *arXiv preprint arXiv:1811.06229*.
- [Zhou et al., 2005] Zhou, K., Huang, J., Snyder, J., Liu, X., Bao, H., Guo, B., and Shum, H.-Y. (2005). Large mesh deformation using the volumetric graph laplacian. In *ACM transactions on graphics (TOG)*, volume 24, pages 496–503. ACM.
- [Zhou et al., 2018] Zhou, Y., Hu, L., Xing, J., Chen, W., Kung, H.-W., Tong, X., and Li, H. (2018). Hairnet: Single-view hair reconstruction using convolutional neural networks. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pages 235–251.