

# 基于尺寸建立个性化人体模型的方法

高一荻 蒋夏军 施慧彬

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院 南京 211100)

**摘要** 近年来,人体模型定制已成为计算机图形学领域的重要研究课题之一。文中提出一种基于少量人体尺寸生成个性化人体模型的方法——分块优化法。首先,根据MPI人体扫描模型数据库获得人体外形形变参数与尺寸参数,采用线性相关分析方法实现由若干尺寸恢复完整人体尺寸集。其次,通过参数优化的线性回归方法分析各部位三维人体外形参数与二维尺寸数据之间的关系,并根据输入尺寸对人体模型进行进一步精调。实验表明,上述方法能够生成准确反映人体外形的人体模型。

**关键词** 三维人体模型,人体测量学,线性回归,参数优化

**中图分类号** TP391.9 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.12.050

## Personalized Human Body Modeling Method Based on Measurements

GAO Yi-di JIANG Xia-jun SHI Hui-bin

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211100, China)

**Abstract** In recent years, human body modeling has become an important task in the field of computer graphics. This paper proposed a new modeling method called optimistic segmentation method to generate 3D human body models from some anthropometric measurements. Firstly, according to the MPI scanned human body model database, the human body shape deformation parameters and measurement parameters are obtained, and the linear correlation analysis method is used to estimate the full human body measurement set. Secondly, the relationship between the 3D human body shape and the 2D measurement data is analyzed by the linear regression method, and the human body model is further refined according to the input measurements. The results of the experiment show that this method can generate a human body model which can accurately reflect the appearance of the human body.

**Keywords** 3D human body model, Anthropometry, Linear regression, Parameter optimization

人体建模是计算机图形学和计算机仿真中的热点研究课题之一。在服装设计以及人体工学领域,设计师需要为不同体型的用户建立相应尺寸的人体模型来模拟真实的场景。近年来,许多学者提出了各种不同的个性化人体模型生成方法,主要包括扫描模型法、创建模型法以及重建模型法。由于扫描模型法与创建模型法存在价格昂贵或精确度低、需要专人进行操作等缺陷,因此越来越多的学者采用重建模型法来生成符合个性人体特征的人体模型。

### 1 重建模型建模法

重建人体模型法包含多种不同的方法:基于模板模型的比例缩放法、基于图像的模型重建法以及基于人体测量学的模型重建法。

基于模板模型的比例缩放法可以比较简单地生成人体模型,但是其生成的人体模型的真实性和精度较差,不能准确地反映人体的表面形状。例如,Seo等提出了利用样条曲线对人体进

行局部编辑的方法<sup>[1]</sup>;随后,Seo等人又提出了一种基于人体测量参数的个性化人体建模方法,根据8个人体测量参数的输入值,对多个由三维扫描仪得到的人体皮肤表面模型进行插值,从而生成个性化的人体皮肤表面模型<sup>[2,3]</sup>。

基于图像的模型重建法利用二维人体图像中包含的人体外形信息重建三维人体模型。例如,浙江大学邓卫燕等人<sup>[4]</sup>以及香港理工大学的Zhu等人<sup>[5]</sup>采用人体正面、侧面图像获取人体的关键尺寸信息,并通过神经网络获得二维人体尺寸与人体三维特征围度之间的映射关系。上述方法生成的人体模型能够较准确地反映用户的外形信息,但是也存在着图像处理速度较慢、上传图像可能会暴露用户个人信息等问题。

基于人体测量学的模型重建法只要用户输入自己相应的尺寸数据,即能生成一个与自己体型相似的三维人体。Angelov等人<sup>[6]</sup>提出的经典人体参数化建模方法SCAPE也采用了模型重建法。该方法将扫描模型与模板模型对齐,根据

到稿日期:2016-09-22 返修日期:2016-12-26 本文受江苏省自然科学基金(BK20140826)资助。

高一荻(1991-),女,硕士生,主要研究方向为计算机仿真、人体建模等;蒋夏军(1973-),男,讲师,主要研究方向为计算机仿真、数据库技术等, E-mail: xiajunja@nuaa.edu.cn;施慧彬(1966-),男,副教授,主要研究方向为计算机体系结构、可重构计算等。

不同参数对模型进行刚性姿态变形、非刚性姿势变形和外形改变,可以生成不同人体、不同姿态的三维模型。在此基础上,Hasler 等人<sup>[7]</sup>提出了相对旋转编码方法,以获得人体外形参数,并根据尺寸、体重等语义信息指导人体模型形变。Koo 等人<sup>[8]</sup>采用人工标记的实例人体模型,测量其 13 个人体测量学尺寸,通过建立这些尺寸与人体外形的映射关系来达到人体模型的个性化的目的。Zhang 等人<sup>[9]</sup>根据人体测量学的定义,从实例模型中提取 30 个人体尺寸,同时获得人体尺寸之间的统计关系,实现由若干个输入的人体尺寸恢复完整的 30 个人体尺寸;并且获得尺寸与人体表面顶点之间映射的径向基函数(RBF)模型,由尺寸数据恢复人体表面数据。

尺寸驱动人体建模的方法能够避免泄露过多的用户信息,同时能够较准确地生成符合用户外形特征的人体模型。这些方法虽然能够较准确地生成人体模型,但是所获得的结果受限于训练数据集的人体模型的多样性,难以生成在训练数据集中人体模型空间之外的人体模型。

本文提出了一种可以准确且全面反映人体外形特征并建立个性化的人体模型的方法——分块优化法。该方法参考文献[7]中的 MPI 人体扫描数据库并将其作为实例数据集,提高了人体模型生成的准确度与真实度。

## 2 算法概述

分块优化法能够根据用户提供的若干个人体尺寸来生成符合这些输入尺寸的人体模型。与传统方法相比,该方法减少了对输入数据数量的限制,能够快速生成个性化的人体模型。整个生成模型的处理过程包括以下两个部分:实例数据处理与分析,以及人体模型的生成。算法框架如图 1 所示。

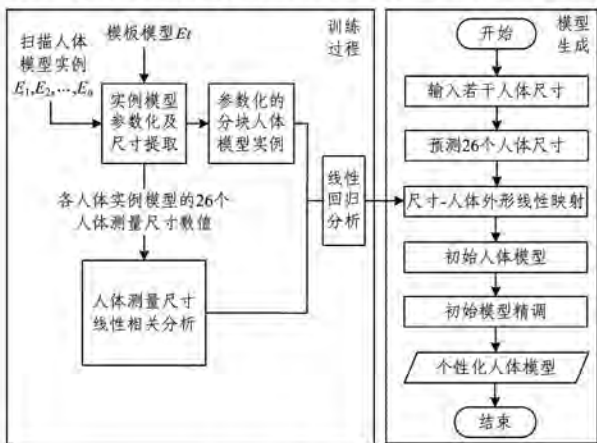


图1 训练算法框架图

在实例数据处理与分析部分,从实例模型中获取人体尺寸并将其分为 16 个人体部位,建立尺寸与每个人体部位形变的线性映射关系;在人体模型生成部分,根据实例模型尺寸间的统计关系,由若干个人体尺寸恢复出完整人体尺寸数据,通过学习到的尺寸-外形参数线性映射关系从人体尺寸数据获得分块的人体表面信息,最后将其拼接为完整的个性化人体模型。

分块优化法的优点:1)对人体模型进行分块化处理,各人体部位可以通过组合的形式进行拼接,增加了训练数据集人

体模型的多样性,同时可以更加精细化地生成人体模型;2)减少了对输入数据的要求,通过人体测量尺寸数据的相关性分析,得到各尺寸数值间的线性关系,用户只需输入若干个人体尺寸数据,即可生成逼真的、符合输入尺寸的个性化人体模型;3)在建立尺寸-外形参数的线性回归模型时,对尺寸参数进行了变量选择,排除了无关的尺寸对当前人体块形变参数的影响,提高了回归模型的可解释性和预测精度。

## 3 实例数据的处理与分析

### 3.1 人体尺寸的获取

由于本文采用的数据集是简化后的网格人体模型,数据集中所有模型拥有相同的拓扑结构,点云模型的人体尺寸获取方法<sup>[10]</sup>并不适用于本数据集,因此本文采用基于 Morse 函数的方法<sup>[11-12]</sup>来获取人体网格模型的关节点与关键尺寸参数。首先,选取测地距离函数作为 Morse 函数,以获得人体 Reeb 图;在人体 Reeb 图的基础上,将人体模型分为躯干、四肢等 5 个部分,再根据数据集中人工标定的人体测量学标记点获得相应的人体围度。在测量躯干尺寸时,首先根据标记点计算出当前标记点到头顶点的测地距离  $g(x_i)$ ,在躯干部位的人体表面寻找所有与该点有相同 Morse 函数值且相互连通的顶点,以该 Morse 函数等值线为人体关键围度。围度尺寸为关键围度与骨架方向垂直平面的凸包围长;宽度尺寸为该关键围度在人体正面方向上的最大欧氏距离;高度尺寸为该关键尺寸中心点到人体双脚末端点平均位置的欧氏距离。同理,获取四肢上的关键围度时,只需获得以当前部位末端点为源点、经过人体测量学标记点的 Morse 函数等值线,即可获取四肢部位的关键围度。需要获取的关键尺寸参数如图 2 所示。

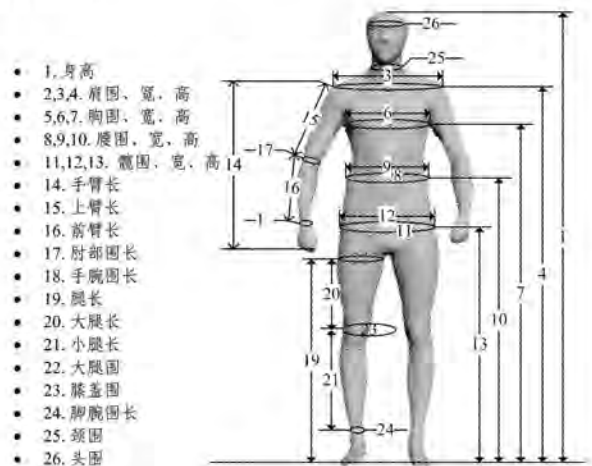


图2 获取人体关键尺寸图

在此基础上,根据各围度包含的三角形,将每个实例人体模型划分为 16 个刚性区域。由于这些模型都已经经过配准,其表面顶点包含的语义信息相同或近似,例如:A、B 模型表面编号相同的点,如果该点在 A 模型左臂,那么其对应的点也在 B 模型的左臂上,因此不同模型、相同人体块包含的三角形数量与其索引号也大致相同。我们取该数据集中所有模型某一刚性区域包含的三角形索引号的并集来表示该刚性区域。分块结果如图 3 所示。



图 3 人体分块示意图

### 3.2 人体尺寸统计关系

在获得了 26 个人体测量尺寸之后,对这些尺寸进行相关性分析,以得到尺寸之间的线性关系。本文使用 Pearson 相关系数来衡量尺寸对之间的线性关系:

$$r_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \left( \frac{f_k^i - \bar{f}^i}{s_i} \right) \left( \frac{f_k^j - \bar{f}^j}{s_j} \right) \quad (1)$$

其中,  $n$  为训练数据集中的样本总数;  $s$  为某个尺寸值的标准差;  $r$  描述的是两个变量间线性相关强弱的程度,在  $-1 \sim +1$  之间取值,其绝对值越接近 1,说明两个变量之间的线性关系越强,越接近 0,说明两个变量之间无线性关系。根据尺寸之间的线性关系,实现将若干个尺寸恢复为完整的 26 个人体尺寸。

### 3.3 人体外形的参数化表示

将人体实例模型分块后,采用相对旋转编码方式对人体模型进行参数化。使用模板模型作为其余实例模型形变参考项。矩阵  $M_k$  表示每个参考模型表面三角面相对于模板模型对应三角面的变换矩阵,将矩阵  $M_k$  做极分解,得到一个旋转分量  $V_k$  与拉伸分量  $U_k$ ,由于拉伸分量具有旋转不变性,因此只需将旋转分量进行相对编码,即可获得具有旋转不变性的三角面编码。为了获得相对旋转编码,将每个三角面的旋转量用以下公式表示:  $V_{k,j} = V_k \cdot V_j^{-1}$ ,其中  $V_j$  是第  $k$  个三角面的相邻面旋转分量。引入相邻面旋转分量作为当前面片的形变参数,虽然增加了参数的冗余性,但同样增加了稳定性,使得模型的外形参数不会随着实例模型的旋转而改变。因此,实例模型每个三角面  $k$  的形变由一个  $15 \times 1$  的向量  $d_k$  表示。根据上文获得的分块结果,可以获取实例模型每一块的三角形形变参数,并对其进行主成分分析(Principal Component Analysis, PCA),从而得到人体模型不同刚性块的外形形变参数。

### 3.4 线性回归分析

通过线性回归分析获得人体外形主成分权重与人体尺寸之间的映射关系,但并非每一个尺寸参数都会对当前人体块的形变参数产生影响,因此采用算法 1 获得人体尺寸-外形参数的线性回归模型,并对尺寸数据进行参数选择,得到优化的人体尺寸与外形的线性映射关系,并用该模型实现参数化人体建模。

#### 算法 1 人体分块线性回归

输入:人体尺寸参数集合  $F$ ,第  $i$  块人体外形形的 pca 权重  $W$ ;

输出:简化后的尺寸到人体外形参数的回归函数

1. 假设回归模型为:  $W_i = FB_i + \epsilon_i$ ,使用式(2)最小二乘法计算初始化矩阵  $\hat{B}$ ,并设残差  $SSE = \inf, \hat{\beta} = 0, T = \sum_{j=1}^T \| \hat{\beta}_j^0 \|^2, \hat{\beta}_j^0$  是  $\hat{B}$  的行向量。

$$\hat{B} = (F^T F)^{-1} F^T W \quad (2)$$

2. 设压缩系数  $s = 0.01 \cdot t, t = s \times T$ 。对每一个  $s$  做如下操作:
3. 计算  $\beta^1 = r \cdot \beta^0, r$  是 0 到 1 之间的随机数。
4. 如果  $\| \beta^1 \|^2 < \text{threshold}$ ,则  $\beta^1 = 0$ ;如果  $\sum_{j=1}^T \| \hat{\beta}_j^1 \|^2 (t)$ ,使  $SSE1 = \text{trace} (W - F \hat{B})^T (W - F \hat{B})$ ,且当  $SSE1 < SSE$  时,令  $SSE = SSE1, \hat{\beta} = \hat{\beta}^1$ 。
5. 重复步骤 3 和步骤 4,得到相应压缩系数下的  $\beta(s)$ ,最终获得简化后的线性回归模型。

实验中设定阈值 threshold 的变量值为 0.2,使对人体外形影响较小的变量回归系数为 0,排除该变量对当前人体块形变的影响。

## 4 人体模型的生成

获得人体尺寸与三维形变的映射关系后,可以通过尺寸数据恢复三维人体模型的表面信息。

### 4.1 人体尺寸恢复

当尺寸对  $i, j$  的相关系数  $r_{i,j} > 0.90$  或  $r_{i,j} < -0.90$  时,认为两者之间有强线性相关关系,使用线性函数  $y = kx + b$  表示两个尺寸的关系,采用最小二乘法估算公式中  $k$  与  $b$  的值。当给定若干输入尺寸集合时,采用以下方法计算其余需要补充的人体尺寸数据:首先根据线性函数计算出与输入尺寸集合  $M_{in}$  中有强线性关系的尺寸,并将得到的尺寸数据加入已知尺寸集合。采用算法 2 来计算未知的且与其他已知尺寸无强线性关系的尺寸。

#### 算法 2 人体尺寸恢复算法

1. 取尺寸相关系数矩阵  $R$  中输入尺寸  $M_{in}$  所在行与未知尺寸  $M_{unknown}$  所在列数据组成线性关系矩阵  $M_r$ 。
2. 将关系矩阵  $M_r$  进行奇异值分解,得到  $M_r = U \Sigma V^T$ 。
3. 计算原数据集中  $M_{in}$  集合的平均尺寸值  $A_{in}$  与  $M_{unknown}$  的平均尺寸值  $A_{unknown}$ 。
4. 计算  $\Delta U = U^{-1} (M_{in} - A_{in})$ 。
5. 若  $\sum (k, k) > 0.5$ ,则  $\Delta v = \Delta u$ ,否则,  $\Delta v = 0$ 。
6. 计算  $M_{unknown} = A_{unknown} + V \Delta v$ 。

获取了 26 个人体尺寸之后,根据每一块人体尺寸与人体外形之间的映射关系,即可建立个性化的三维人体模型。

### 4.2 人体模型生成

对于一组输入的人体尺寸参数,可以通过式(3)计算每一块的人体形变 pca 权重参数:

$$W_{new}^{(i)} = f_{new} B^{(i)} \quad (3)$$

其对应的形变空间参数为:  $d_{new}^{(i)} = C^{(i)} w_{new}^{(i)} + \bar{D}^{(i)}$ ,由于相邻的人体块之间存在重叠区域,因此重叠区域的形变参数需要单独计算。 $i$  与  $j$  是相邻的两个人体刚性块,其重叠部分的形变向量分别为:  $U^{(i)} = [v_1^i, v_2^i, \dots, v_n^i]^T, U^{(j)} = [v_1^j, v_2^j, \dots, v_n^j]^T$ ,该重叠区域的形变参数为:  $U_{new} = \alpha U^{(i)} + \beta U^{(j)}$ ,其中  $\alpha = \beta = 0.5$ 。获得完整的人体形变参数后,即可根据模板模型,对相对旋转编码的模型进行反变换,将其投影回三维空间。

### 4.3 人体模型优化

经过人体模型生成步骤后,可以得到初步的三维人体模

型。根据输入的尺寸数据对人体模型的关键尺寸部位(也是分块的重合部位)进行进一步微调。首先采用3.1节中的方法获取生成的人体模型的各尺寸数据。由线性回归模型得到的初步人体模型记为 $X_{init}$ ,优化后的人体模型记为 $X_{opt}$ ,关键尺寸包含的点记为 $p_1, p_2, \dots, p_n$ 。尺寸误差项包括围度误差项、长度误差项和形变误差项。围度误差项、长度误差项均为当前模型尺寸与实际模型的尺寸误差值的平方和,该误差项使得微调后的人体模型的关键尺寸与目标尺寸间的误差最小。形变误差项则是一次优化后关键点位位移量的平方和,该误差项保证微调前后的表面顶点位置不发生较大改变,使微调后的人体模型表面光滑。3种误差项如式(4)所示:

$$\begin{cases} E_{dist} = \sum_{dist \in f_d} w_i (dist(p_i, p_j) - dist_i^t)^2 \\ E_{girth} = \sum_{girth \in f_d} w_i (cir(X_{opt}, i) - girth_i^t)^2 \\ E_{deform} = \sum_{(p_i, p_j) \in edge(X_{init})} (\Delta p_i - \Delta p_j)^2 \end{cases} \quad (4)$$

误差函数表示为3个误差项的线性组合:

$$E = \alpha E_{dist} + \beta E_{girth} + \gamma E_{deform} \quad (5)$$

其中,  $\alpha=1, \beta=1, \gamma=0.01$ 。若 $\gamma$ 值过大,则会导致模型关键尺寸不发生形变;若过小,则会导致模型局部产生剧烈形变。采用信赖域算法将误差函数最小化,从而得到优化后的人体模型。对于非输入尺寸,由于预测得到的尺寸本身即存在一定误差,因此先判断生成人体模型的尺寸与预测尺寸的差值是否超过15mm,若超过,则对该围度或高度尺寸进行优化。其中输入尺寸的优化权重为1.0,而预测尺寸的权重为0.5,非线性的优化方法可以使生成的人体模型的尺寸不受训练数据集形变空间的限制,更加符合输入的人体尺寸。

### 5 实验结果

从文献[7]中的人体模型数据集中选取90%的标准姿态人体模型作为训练数据集,选取剩余的10%标准姿态人体数据作为测试数据集进行实验。由于男性和女性在人体外形方面有着较大的不同,因此将男性模型与女性模型分开进行训练与预测。

#### 5.1 尺寸恢复结果

使用3.1节中的方法获得训练数据集中所有人体模型的26个尺寸数据,采用本方法与简单的线性回归算法进行人体尺寸估计,并进行对比。实验随机选取 $n$ ( $n$ 在1~10之间取值)个不同尺寸作为输入尺寸,进行100次实验后得到如图4所示的实验结果,图4给出了输入不同数目的人体尺寸时,其余尺寸的平均绝对误差值。由图4可以看出,基于线性分析的方法能够更加有效地恢复人体尺寸,当输入尺寸数目为10时,生成尺寸的平均绝对误差小于5mm。

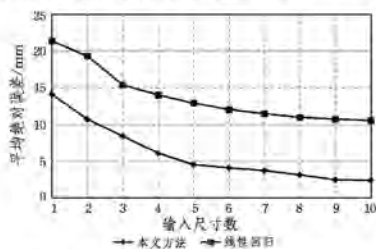


图4 两种方法预测尺寸的平均误差

### 5.2 人体模型生成

图5给出了采用分块优化法利用26个人体尺寸生成的人体模型与数据集中原模型的对比情况。第一行模型是采用分块优化法生成的5个男性人体模型与5个女性人体模型,第二行是其对应尺寸的实例模型。



图5 本文方法生成的人体模型与原模型的对比

为了证明本文算法的有效性,采用Hasler等人提出的通过语义驱动模型变形的的方法以及一种非线性的尺寸-人体块映射模型——隐变量高斯过程模型(SGPLVM)方法<sup>[13]</sup>来进行对比。输入测试数据集的完整的26个人体尺寸数据,在获得了最终的人体模型后,统计各尺寸与原模型的误差,结果如表1所列。

表1 不同方法生成人体模型的尺寸误差

	平均绝对误差/mm	标准差/mm	最大误差/mm	最小误差/mm	平均相对误差/%
Hasler方法	16.27	19.48	43.78	1.78	2.31
SGPLVM	26.37	34.46	75.06	2.52	3.29
分块优化法	1.78	1.85	5.18	0.18	0.31

从表1可以看出,分块优化法生成的人体模型在关键尺寸上的误差较其他方法小很多。其中,SGPLVM算法生成的人体模型趋近平均人体模型,不能很好地反映出不同尺寸下人体外形的变化。为了综合反映生成人体模型与原测试数据集中人体模型的相似度,采用相对豪斯多夫距离来表示生成模型与原模型的误差,相对误差公式如下:

$$e_n = H(X_{gen}, X_{test}) / D_{diag} \quad (6)$$

其中, $H(X_{gen}, X_{test})$ 为生成模型与原模型的豪斯多夫距离, $D_{diag}$ 为原模型的边界框对角线长度。3种方法生成模型的相对豪斯多夫误差如表2所列。

表2 不同方法生成人体模型的相对豪斯多夫误差/%

	Hasler方法	SGPLVM	分块优化法
数千平均误差	5.1020	5.0086	3.8574
整体平均误差	7.2348	5.4888	4.0532
最大误差	10.5865	8.3771	7.5325

**结束语** 本文提出一种根据人体尺寸生成个性化人体模型的方法——分块优化法。本文首先根据人体尺寸的统计关系,通过若干个人体尺寸生成完整的人体尺寸数据集,然后根据获得的完整人体尺寸分块建立人体表面模型。与现有算法相比,分块优化法放松了对输入尺寸数量的限制,用户可以根据几个人体尺寸创建符合自身特点的人体模型。相比其他方法,该方法创建的人体模型更加精确且更符合工业要求。本文使用了真实的人体扫描模型进行实验,因此在实际应用中本文所提方法对于真实人体的尺寸数据也同样有效,但该算法目前只针对标准姿势的人体模型,生成的人体模型也更接

(下转第303页)

- Based Saliency Region Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2015, 37(3):569-582.
- [2] ZHAO Q, CAO J L, HU Y L. Computational complexity with multi-scale transform and color Gauss[J]. Journal of Saliency Detection Instrument, 2013, 33(2):405-412. (in Chinese)  
赵倩, 曹家麟, 胡越黎. 结合高斯多尺度变换和颜色复杂度计算的显著区域检测[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(2):405-412.
- [3] YANG X Y, LI X W, ZHANG L B. Visual saliency detection of remote sensing images based on multiscale frequency domain analysis[J]. Journal of Optics, 2014, 34(13):111-115. (in Chinese)  
杨绪业, 李雪薇, 张立保. 基于多尺度频域分析的遥感图像视觉显著区域检测[J]. 光学学报, 2014, 34(13):111-115.
- [4] RANTALANKILA P, KANNALA J, RAHTU E. Generating Object Segmentation Proposals Using Global and Local Search [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2014:2417-2424.
- [5] ZHANG L N, KONG Y Q, LI S H, et al. Significance detection method based on commuting distance[J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 2016, 28(3):395-403. (in Chinese)  
张丽娜, 孔雨秋, 李淑华, 等. 基于通勤距离的显著性检测方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(3):395-403.
- [6] CARREIRA J, SMINCHISESCU C. Cpmc: Automatic object segmentation using constrained parametric min-cuts[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(7):1312-1328.
- [7] ENDRES I, HOIEM D. Category-Independent Object Proposals with Diverse Ranking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2014, 36(2):222-34.
- [8] ALEXE B, DESELAERS T, FERRARI V. Measuring the Objectness of Image Windows[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2012, 34(11):2189-2202.
- [9] ZITNICK C L, DOLLÁR P. Edge boxes: Locating object proposals from edges[C]//European Conference on Computer Vision. Springer International Publishing, 2014:391-405.
- [10] DOLLÁR P, ZITNICK C L. Structured forests for fast edge detection[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2013:1841-1848.
- [11] BHARGAVA D N, KUMAWAT A, BHARGAVA D R. Threshold and binarization for document image analysis using otsu's Algorithm[J]. International Journal of Computer Trends & Technology, 2014, 17(5):272-275.
- [12] ERICHSON N B, DONOVAN C. Randomized low-rank Dynamic Mode Decomposition for motion detection[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2016, 146:40-50.

(上接第 282 页)

近标准站姿。未来将计划生成不同姿态、不同体型的人体模型。

### 参 考 文 献

- [1] SEO H, CORDIER F, PHILIPPON L, et al. Interactive modeling of mpeg-4 deformable human body models[M]//Deformable Avatars. Springer US, 2001:120-131.
- [2] SEO H, MAGNENEAT-THALMANN N. An automatic modeling of human bodies from sizing parameters[C]//Proceedings of the 2003 Symposium on Interactive 3D Graphics. ACM, 2003:19-26.
- [3] SEO H, MAGNENEAT-THALMANN N. An example-based approach to human body manipulation[J]. Graphical Models, 2004, 66(1):1-23.
- [4] DENG W Y. Research on Method of 3D Personalized Human Body Modeling Based on Photos and Neural Network[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008. (in Chinese)  
邓卫燕. 基于用户照片和神经网络的三维个性化人体建模方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [5] ZHU S, MOK P Y, KWOK Y L. An efficient human model customization method based on orthogonal-view monocular photos[J]. Computer-Aided Design, 2013, 45(11):1314-1332.
- [6] ANGUELOV D, SRINIVASAN P, KOLLER D, et al. SCAPE: shape completion and animation of people[J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3):408-416.
- [7] HASLER N, STOLL C, SUNKEL M, et al. A statistical model of human pose and body shape[J]. Computer Graphics Forum. Blackwell Publishing Ltd, 2009, 28(2):337-346.
- [8] KOO B Y, PARK E J, CHOI D K, et al. Example-based statistical framework for parametric modeling of human body shapes[J]. Computers in Industry, 2015, 73:23-38.
- [9] ZHANG Y, ZHENG J, MAGNENEAT-THALMANN N. Example-guided anthropometric human body modeling[J]. The Visual Computer, 2015, 31(12):1615-1631.
- [10] LAI J, WANG B, FU Q, et al. Automatic extraction method of human body sizes based on 3D point clouds[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014(8):2676-2683. (in Chinese)  
赖军, 王博, 付全, 等. 基于点云模型的人体尺寸自动提取方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014(8):2676-2683.
- [11] YONG Y, WANG Z, XIA S, et al. Pose-Independent Joint Extraction from Scanned Human Body[J]. Journal of Computer Research & Development, 2008, 45(7):1249-1258.
- [12] CHEN G D, LI J W, PAN L, et al. Algorithm for Extracting Skeleton of 3D Human Body Model Based on Body Characteristic[J]. Computer Science, 2009, 36(7):295-297. (in Chinese)  
陈国栋, 李建微, 潘林, 等. 基于人体特征三维人体模型的骨架提取算法[J]. 计算机科学, 2009, 36(7):295-297.
- [13] SALZMANN M, EK C H, URTASUN R, et al. Factorized Orthogonal Latent Spaces[J]. Journal of Machine Learning Research, 2010, 9:701-708.