

基于骨干长度比例之运动重定目标算法

杨熙年¹⁾ 张家铭²⁾ 赵士宾¹⁾

¹⁾(清华大学,台湾) ²⁾(清华大学资讯工业策进会多媒体实验室,台湾)

摘要 为了减轻动画制作劳动强度,提高动画制作产能以及自动产生仿真动画,提出了一种结合运动捕获器(Motion Capture)技术与逆向运动学原理的用于完成关节动画中实时运动重定目标(Motion Retargeting)的新算法。该算法的主要概念是首先根据“原动者”与“标的者”之身材比例,推算出“标的者”末端效应器之定位,然后再利用逆向运动学之算法求得“标的者”各关节之旋转角度,因为该算法充分地利用了捕获器所纪录的“原动者”运动信息的密集重复性,而且所设计之定位法则能满足原运动对末端效应器之约束,所以该方法能展现出与原运动十分相似的动画,同时不违背原设定之约束。实验数据也展示,并说明了该算法之效能与优点。

关键词 角色动画 运动重定目标 运动编辑 逆向运动学

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)09-0871-05

Motion Retargeting with Geometry Scaling

YANG Shi-nine¹⁾, CHANG Chia-ming²⁾, CHAO Shi-pin¹⁾

¹⁾(Tsinghua University, Taiwan) ²⁾(Institute for Information Industry, Taiwan)

Abstract This paper proposes an improved motion retargeting algorithm based on existing captured motion data and inverse kinematics. The basic notion of proposed algorithm is to estimate the end-effector trajectories of target character by exploiting the ratio between skeleton lengths of the original character and the target character. Since important aspects of the original motion are identified as end-effector constraints which is satisfied during the retargeting process, the retargeted motion preserves desired main features. Moreover, the retargeted motion data behaves quite naturally, since the anthropometric proportions are incorporated in the algorithm. Several empirical tests are given to demonstrate the effectiveness and quality of our algorithm.

Keywords Character animation, Motion retargeting, Motion editing, Inverse kinematics

0 引言

计算机动画中三维人物的运动主要是借助于该人物各关节旋转角度的变化来达到动画的效果。过去,每一段逼真的仿真动作只能靠动画师在关键帧上将各关节的角度设置合适,但是运动感的逼真性不易掌握,而且人体关节甚多,也使得这项工作既困难又耗时。于是,为减轻动画师的负担和提升动画制作的产能,自动产生仿真“人类移动”(Human Locomotion)的动画技术就成为近年来十分重要的研究课题。这方面相关的算法主要可分为以运动学

为基础之算法、以动力学为基础之算法和对捕获或计算完成的运动资料加以编修之算法^{[1]3}类。近几年来,由于运动捕获器技术日趋成熟,而且此种技术产生之动画常较前两种方式形成的动画来得逼真,所以栩栩如生的运动资料常被真实地记录,并储存于运动数据库中,以待进一步之编修与再利用。

目前运动资料编修的算法研究又可分为运动资料的混合(blending)和运动资料的变形(warping)两个方向。关于运动资料混合的研究,Unuma等人将运动资料中各个关节角度运动轨迹视为随时间变化的信号,并经由傅立叶变换将包含不同情感的运动资料,由时域空间转为频域空间后,再由动画师于频域空间上,

通过调整不同信号之线性插值系数,再经线性插值混合出各种不同情感的运动资料^[2].此外,Guo 与 Wiley 等人则是对时域空间上不同运动资料之参数坐标值进行插值,以获得更多混合的运动资料^[3,4].至于运动资料变形的研究,Witkin 等人设计了一时域空间上关节角度运动轨迹平移与缩放的函数式,可让动画师通过调整平移与缩放系数,进而得到一条变形后的新运动轨迹^[5].Bruderlin 等人则将时域空间上的关节角度运动轨迹,以多层次分辨率之方式展现,并由动画师对不同层次分辨率之资料设定不同之权重,而得到一条变形的新关节角度运动轨迹^[6].

要充分利用已捕获的运动资料,通常会面临两项困难^[7]:一是高速取样下所产生的资料量非常庞大,致使动画师对这些运动资料进行逐帧的编修非常耗时费劲;二是由于运动资料所纪录之各个关节角度运动轨迹是由当时表演者之身材推算而得到的,因此运动资料只适合套用到身材比例相似之角色上,若直接套用到身材比例差异甚大之角色,则会产生滑步、脚穿透或悬浮于地面等错误,也使得本方法在应用的一般性上有所缺失.为了弥补第2项缺点,Gleicher 提出了一种运动重定目标的概念^[8].该方法能把已有的运动资料,通过重定目标算法赋给另一个具相同关节结构的不同肢干长度的角色,并能保持原运动的质量.不过由于其算法涉及复杂的优化解算过程,因而无法满足实时作业的要求.

有关实时重定目标之算法,过去也曾经有些文献探讨过,如 Choi 等人利用捕获资料之密集重复性提出了一实时运动重定目标算法^[9],其将每一帧中原动者末端效应器的空间位置设定为标的者末端效应器的强制(hard)约束,同时还利用了逆向率控制(Inverse Rate Control)的技术,并要求标的帧之间关节角度差异最小.因为运动捕获资料具有密集重复性,所以使得标的者关节角度之变化具有连续性.同时因其每次仅求单一帧之优化解,所以能实现实时重定目标的计算.然而 Tak 等人指出,文献^[9]运动重定目标算法隐含着—个重大缺点^[7],其原因是由于该算法是将每一帧中原动者末端效应器之位置设定为标的者末端效应器之强制约束,一旦标的者末端效应器到达,甚至超过标的者末端效应器所能达到之活动空间时,势必造成标的者关节角度之变化产生不连续的现象,进而降低重定目标后动画的品质,所以文献^[7]改将每一帧中原动者末端效应器之空间位置设定为标的者末端效应器之非强制

(soft)约束,再利用原动者末端效应器之位置来指引标的者末端效应器,然后再分别调节彼此间的关节差异及彼此间末端效应器之位置差异等的权重,但此算法无法保证标的者末端效应器之强制约束,为此参考 Raibert 之研究结果^[10]改进了文献^[7]的算法,以确保末端效应器之强制约束,并提供了实验资料,以说明算法的效能及动画品质.

1 基于骨干长度比例之运动重定目标

根据具有相同骨干架构的不同身材大小的角色间,其运动位移量之比值应等于骨干长度之比值的结论^[10,11].利用不同角色间之身材比例,设计了末端效应器调适机制,进而以逆向运动算法来求解重定目标之运动资料.

1.1 骨干中心的调适

标的者在运动时,其骨干中心的位移可参考原动者的位移,并依据两者下肢总长度的比值做适当的调整.骨干中心调适算法如下:第1帧中标的者骨干的中心位置可按下式来调整其高度位置.

$$p'_y = p_y \times \alpha \quad (1)$$

其中, p_y 原动者骨干中心之高度, p'_y 为标的者骨干中心之高度, $\alpha = \frac{\sum_{k=1}^n l'_k}{\sum_{k=1}^n l_k}$ 为原动者与标的者下肢总长度比值,简称为缩放比值,其中 l_k 为原动者下肢第 k 段之长度, l'_k 为标的者下肢第 k 段之长度, n 为下肢总段数.

第2帧以后的标的者骨干中心位置,可由前一帧之骨干中心位置,加上标的者骨干中心位移量 d' 得到,而 d' 可由原动者骨干中心之位移量乘以缩放比值求得

$$d' = d \times \alpha \quad (2)$$

1.2 末端效应器位移量的调适

首先将原动者骨干的下肢,按缩放比值 α 进行比例缩放,进而得到一个相似多边形之虚拟骨干(图1虚线部分),然后设定此虚拟骨干末端效应器的位置为标的者末端效应器的强制约束(hard constraints),以修正标的者末端效应器位置(将图1中 E 点修正至 E^C 点).如此,则标的者末端效应器之位移量便能够配合其骨干中心的位移量,而达到所希望满足的约束条件.根据图2所描述之几何关系,可由下式求得标的者末端效应器位置

$$E_i^C = E_{i-1}^C + (E_i^C - E_{i-1}^C) \times \alpha \quad (3)$$

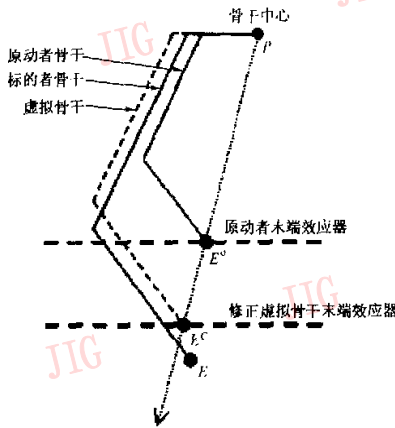


图 1 原动者骨干、虚拟骨干与标的者骨干之比较

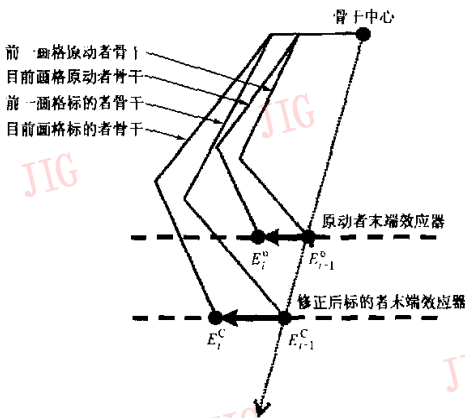


图 2 标的者末端效应器之修正

由修正过后的标的者末端效应器位置可逆推回标的者骨干的组态,进而得到重定目标后的运动;最后再利用式(1)与式(2)来调适标的者的骨干中心,进而求得与原动者末端效应器高度相同的位置。因为下肢末端效应器为脚,所以只要原动者的运动不发生脚穿透或悬浮于地面的错误,就能够保证标的者也不会发生此类的错误。另外,由于虚拟骨干末端效应器的活动空间与标的者骨干末端效应器的活动空间是相同的,因而不会出现滑步与关节变化不连续等现象。

2 实时重定目标算法

运动重定目标若与场景产生互动时,则必须依照不同的互动关系来设计合适的外在约束,比如,当原来的运动是要拿取桌上的杯子时,则不同身材比例的另一角色也必须能拿到桌上的杯子,这时便有绝对空

间位置上的约束,当然还有其他更多、更复杂的约束需要考虑,这些考虑可以参考文献[12],[13]。但是,当运动未涉及其他对象的互动时,便应该首先考虑运动相似度最大的情况,由于运动都在地板上进行,与场景中的其他对象并无互动产生,所以应最先考虑在地板上运动的定位,接下来再考虑运动的相似度。

由于基于骨干长度比例之运动重定目标算法是以每一独立帧重定目标为基础,而并非对所有帧进行优化处理,所以能够达到实时计算的效果,并于实际处理时,选择 CCD(Cyclic Coordinate Descent)^[14]为逆向运动学解算器,使得标的帧之间的关节角度差异最小;同时因为运动捕获资料之密集重复性而使得标的者关节角度的变化能具有连续性。实时运动重定目标算法具体步骤如下(图 3):

- (1) 读取原动者运动资料和标的者骨干资料,再经由骨干中心调整算法来计算标的者骨干中心的正确位置。
- (2) 利用原动者运动资料来预测末端效应器位置。
- (3) 根据步骤 2 所计算的位置来调整标的者末端效应器的位置。
- (4) 将步骤 3 的资料传送至逆向运动解算器,以求得各关节的角度。
- (5) 将步骤 1 与步骤 4 的结果组合成复位目标后,即得到标的者的运动资料。

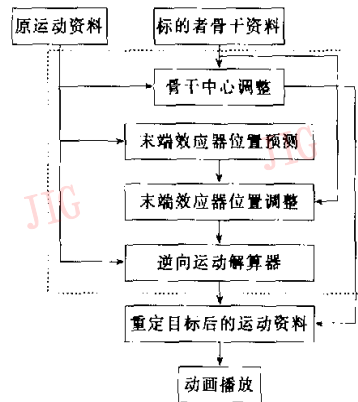


图 3 基于每一帧独立重定目标的实时运动重定目标算法流程

3 逆向运动学的实现

之所以要选择 CCD^[14]为逆向运动学解算器,主

要是考虑 CCD 具有以下 4 个优点:

(1) 传统的逆向运动学解算器(如 Inverse Jacobian, Transpose Jacobian)对于初始状态特别敏感,一旦末端效应器的空间位置,在达到其工作空间边界时,就会造成无解的情况,而 CCD 则可以避免此种状况.

(2) CCD 亦将关节角度变化量最小与极限关节角度等约束条件隐含到解算机制中,使得求出的关节状态具有连续性与合理性,而传统的逆向运动学解算器,则需利用 Inverse Rate Control 技术于优化函数式中特别定义.

(3) CCD 可应用于各种自由度条件的关节,而传统的逆向运动学解算器,则必须取决于关节旋转与平移等不同自由度的情况,而有不同的 Jacobian 矩阵定义.

(4) CCD 运算时间复杂度低.

4 实验结果

在 Intel Pentium III 650MHz CPU, 512MB RAM 的个人计算机实现了上述算法.许多实例都显示用上述算法重定目标后的运动,可以成功地解决脚步定位的问题(图 4),亦即脚于运动中不再会发生浮空、陷入地面及滑步等错误的情况.



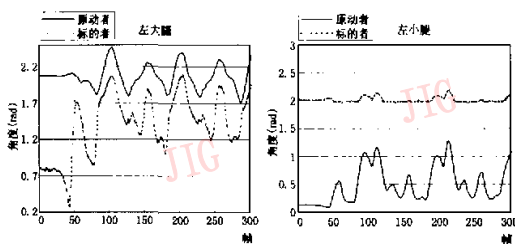
图 4 重定目标比较图

表 1 给出了进行实时重定目标时两组实验标的者的不同身材比例,并以大腿与小腿之关节角度运动轨迹为例来说明算法的功用与效能,图 5~图 8 为两组实验标的者之骨干长度比例与关节角度运动轨迹图.

经过重定目标后,无论是使用原动者末端效应器的空间位置,还是经末端效应器调整过后的末端

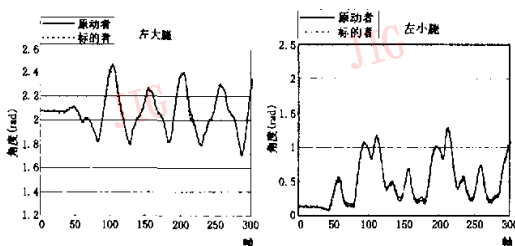
表 1 标的者肢体长度

		单位:cm		
		原动者	标的者	缩放值
实验 1	骨盆	127.206 7	127.296 7	1.00
	大腿	466.298 3	699.447 5	1.5
	小腿	405.326 5	810.653 0	2
实验 2	骨盆	127.206 74	127.296 74	1.00
	大腿	466.298 37	373.038 69	0.8
	小腿	405.326 50	202.663 25	0.5



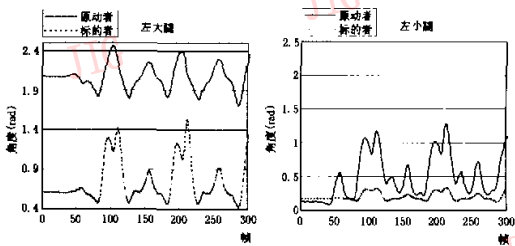
(a) 大腿关节角度运动轨迹 (b) 小腿关节角度运动轨迹

图 5 实验 1 中直接套用原动者末端效应器位置的运动轨迹



(a) 大腿关节角度运动轨迹 (b) 小腿关节角度运动轨迹

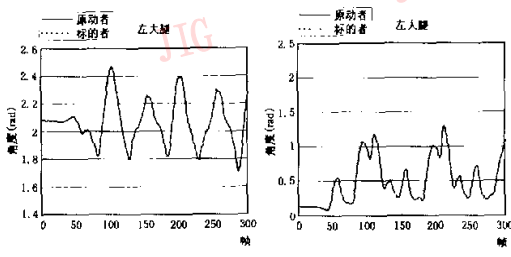
图 6 实验 1 中经末端效应器调整后的运动轨迹



(a) 大腿关节角度运动轨迹 (b) 小腿关节角度运动轨迹

图 7 实验 2 中直接套用原动者末端效应器位置的运动轨迹

效应器空间位置,由于都是由末端效应器通过推算关节角度来驱动运动,所以运动的定位都是正确的.从以上两个实验的运动轨迹图可以观察出,其重定目标后的运动轨迹图和原动者的运动轨迹图的趋势



(a) 大腿关节角度运动轨迹 (b) 小腿关节角度运动轨迹

图8 实验2中经末端效应器调整后的运动轨迹

是符合的,但是因为使用原动者之末端效应器位置来重定目标时,其关节角度的变化差异比较大,所以两个运动轨迹图的差距较大;而修正末端效应器位置后,其关节的角度变化差异较小,所以两个运动轨迹图相当吻合,而且运动的姿势十分相像,可见新算法可以成功地使重定目标后的运动,能保持原动者的运动特性,且不会发生错误。

5 结论

因为结合运动捕获器技术与逆向运动学原理来实时完成关节动画中运动重定目标的新算法,能满足原运动对末端效应器的约束,所以重定目标后,动画的有效性受到保障。此外,由于末端效应器修正位置的估算可大大地减小关节角度变化的差异量,从而使得与原来动作更为接近。该算法经实例验证,不但对现有的运动资料,能有效地重定目标,而且重定后之动画仍保有原动画的运动特性。

此方法较适用于原动者与标的者骨干间长度比例差异不大者。若两者之骨干长度比例悬殊甚大,则该算法会由于顾及末端效应器位置的合法性,而牺牲了动作的相似性,因此希望在未来,对末端效应器位置,能提供局部性编修的功能,以提升重定目标后,动画的相似性。此外,由于运动的重定目标纯粹是从几何层面来分析,而并未考虑物理因素,所以希望未来能加入一些如身体平衡等物理约束,以提供更合理的解法。

参考文献

1 Franck Multon, Laure France, Marie-Paule Cani-Gascuel *et al.* Computer animation of human walking: A Survey[J]. Journal of Visualization and Computer Animation, 1999,10:39~54.

2 Munetoshi Unuma, Ken Anjyo, Ryozo Takeuchi. Fourier principles for emotion-based human figure animation[A]. In: SIGGRAPH'95 Conference Proceedings [C], Los Angeles, California USA, August 1995:91~96.

3 Guo S, Roberge J. A high-level control mechanism for human locomotion based on parametric frame space interpolation[A]. In: Proceedings of Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation [C]. Poitiers, France: Springer Verlag, September 1996:95~107.

4 Wiley D J, Hahn J K. Interpolation synthesis of articulated figure motion[J]. IEEE Computer Graphics and Application, November 1997:39~45.

5 Witkin A, Popovic Z. Motion warping[A]. In: SIGGRAPH'95 Conference Proceedings [C], Los Angeles, California USA, August 1995:105~108.

6 Bruderlin A, Williams L. Motion signal processing[A]. In: SIGGRAPH'95 Conference Proceedings [C], Los Angeles, California USA, August 1995:97~104.

7 Tak Seyoon, Hyeongsgeok Ko. Example guided inverse kinematics [A]. In: the Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Imaging (CGIM) 2000 [C], Las Vegas, Nevada, USA, November 2000:19~23.

8 Gleicher M. Retargeting motion to new characters [A]. In: SIGGRAPH'98 Conference Proceedings [C], Orlando Florida USA, July 1998:33~42.

9 Kwangjin Choi, Hyeongsgeok Ko. Online motion retargetting[J]. The Journal of Visualization and Computer Animation, 2000,11(5):223~235.

10 Raibert M H, Hodgins J K. Animation of dynamic legged locomotion[A]. In: SIGGRAPH'91 Conference Proceedings[C], Las Vegas Nevada USA, July 1991:349~358.

11 Hodgins J K, Pollard N S. Adapting simulated behaviors for new characters[A]. In: SIGGRAPH'97 Conference Proceedings, Los Angeles, California USA, August 1997:153~162.

12 Boulic R, Thalmann D. Combined direct and inverse kinematic control for articulated figure motion editing [J]. Computer Graphics Forum, 1992,11(4):189~202.

13 Bindiganavale R, Badler N I. Motion abstraction and mapping with spatial constraints[A]. In: Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments, International Workshop, CAPTECH '98[C], Geneva, November 1998:70~82.

14 Li-Chun Tommy Wang, Chih Cheng Chen. A combined optimization method for solving the inverse kinematics problem of mechanical manipulators[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1991,7(4):489~499.