

三维人体自动测量技术综述*

彭三城¹, 孙星明², 刘国华³, 阳爱民¹

(1. 株洲工学院 计算机科学系, 湖南 株洲 412008; 2. 湖南大学 计算机与通信学院, 湖南 长沙 410082; 3. 燕山大学 计算机科学系, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 详细介绍了有关三维人体自动测量的现状、主要过程、应用、分类及各种测量方法的原理和特点, 并讨论了各种测量方法的利弊, 指出了目前制约三维人体测量技术发展的主要因素, 最后提出了三维人体自动测量下一步的发展趋势。

关键词: 三维人体自动测量; 摄像机定标; 图像采集; 图像处理

中图法分类号: TP393 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2005)04-0001-05

Survey on 3D Human Body Auto-measurement Technology

PENG San-cheng¹, SUN Xing-ming², LIU Guo-hua³, YANG Ai-min¹

(1. Dept. of Computer Science, Zhuzhou Institute of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China; 2. School of Computer & Communications, Hunan University, Changsha Hunan 410082, China; 3. Dept. of Computer Science, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei 066004, China)

Abstract: The actuality, main procedure, application, taxonomy and the principle and characteristic of each measurement method are presented in detail, meanwhile their advantages and disadvantages are discussed. The main factors which embarrass the 3D human body auto-measurement technology move forward at present are pointed out. Finally, the possible new directions of 3D human body auto-measurement are also stated.

Key words: 3D Human Body Auto-measurement; Vidicon Calibration; Image Capture; Image Processing

随着服装行业的迅速发展, 采用传统的手工人体测量方法已很难满足快速、准确、大批量测体的需要。由于计算机视觉技术的不断发展, 导致了人体测量技术由手工向自动, 接触式向非接触式方向发展。非接触式三维人体自动测量技术弥补了以前测量方法的不足, 使得测量结果更加准确、可靠。

所谓三维人体自动测量就是以现代光学为基础, 融光电子学、计算机图形学、信息处理、机械技术、电子技术、计算机视觉、软件应用技术和传感技术等科学技术于一体的测量技术^[1]。它在测量人体时把图像当作检测和传递信息的手段或载体加以利用, 其目的是从人体图像中提取有用的信息(包括服装设计所需的人体特征数据)。

1 三维人体自动测量的现状

人体测量技术在几十年的发展历程中, 大致经历了由手动到自动、接触式到非接触式、二维到三维的发展过程。尤其是近年来, 国内外纺织服装工业计算机辅助设计(CAD)技术日趋成熟, 促进了三维人体测量技术的发展。美国、法国、加拿大、英国、德国和日本等服装业发达的国家不仅开始得早, 即大致在 20 世纪 70 年代中期开始, 还提出了许多新的测量原理和方法^[2,3]。我国在这方面的研究起步较晚, 但在近几年有一些研究机构, 如中国航天科技集团公司第 710 研究所、北京轻工

业学院、西安电子科技大学、总后勤部军需装备研究所和北京服装学院等先后开展了研究工作, 并取得了一些研究成果和积累了一定的经验。但与生产实用仍存在很大的差距, 因此, 在今后这仍是一个重点的研究领域。

三维人体自动测量是实现服装数字化设计、三维虚拟试衣和量身定做等应用的前提。它可分为接触式和非接触式测量两种。

(1) 接触式自动测量主要用于标准人台表面人体型值点的测量^[4]。具体方法是: 应用三坐标测量仪测量并记录人台不同部位的型值点, 其中曲面曲率较大处的测量间隔密, 型值点多; 曲面较平坦处的测量间隔疏, 型值点少。该方法不适合于真实人体的测量。

(2) 非接触式自动测量主要用于获取真实人体特征数据。非接触三维人体自动测量弥补了常规的接触式自动测量的不足, 主要特点是快速、准确、效率高等。它是现代图像测量技术的一个分支, 以现代光学为基础, 融光电子学、计算机图像学、信息处理、机械技术、电子技术、计算机视觉等科学技术于一体的测量技术。它在测量被测对象时把图像当作检测和传递信息的手段或载体加以利用, 其目的是从图像中提取有用的信息。

2 三维人体自动测量的主要过程

一个典型的计算机视觉测量应用系统包括光源、光学系统、图像捕捉系统、图像数字化模块、数字图像处理模块、智能判断决策模块。其主要过程如下:

(1) 摄像机定标。所谓摄像机定标^[5~8],就是要解决世界坐标系、观察者中心坐标系(或相机坐标系)与图像坐标系之间的关系。如果将世界坐标系取为观察者中心坐标系,前一个问题,即世界坐标系与观察者中心坐标系(或相机坐标系)之间的关系就不存在了。更具体一点讲,摄像机标定就是从摄像机获取的图像信息出发计算三维空间中物体的几何信息,并由此重建和识别物体,而空间物体表面某点的三维几何位置与其在图像中对应点之间的相互关系是由摄像机成像的几何模型决定的,这些几何模型参数就是摄像机参数。在大多数条件下这些参数必须通过实验与计算才能得到,这个过程被称为是摄像机定标。

(2) 图像采集。即人体被光源照亮并由白光或激光扫描,接着 CCD(Charge Coupled Device) 摄像机探测到被测物反射光,通过反射光的表现形式可以计算目标与 CCD 摄像机之间的距离,即将投影变换后的图像通过采集卡输入到计算机。

(3) 图像处理。计算机视觉系统中,视觉信息的处理技术主要依赖于图像处理方法,它包括图像增强、数据编码和传输、平滑、边缘锐化、分割、特征抽取、图像识别与理解等内容。经过这些处理后,输出图像的质量得到相当程度的改善,既改善了图像的视觉效果,又便于计算机对图像进行分析、处理和识别,最终获取真实的人体特征数据。

(4) 将通过测量获取的人体特征数据存储到数据库中以便使用。

3 非接触式三维人体自动测量技术的分类及特点

一般来说,按照其测量过程中所采用照明方式的不同,常用的非接触式三维人体自动测量可分为被动式和主动式两大类^[9]。

(1) 被动式方法。它是指不向被测人体发射可控制的光束,即人体的照明由其周围的背景光来提供。根据直接拍摄人体的图像进行距离测量的方法。主要可以分为双目视觉、三目视觉、单目视觉等方法。

(2) 主动式方法。它是指向被测人体发射可控制的光束,即使用一个专门的光源对被测人体进行照明,然后拍摄光束在人体表面上所形成的图像,通过几何关系计算出被测物体距离的方法,如激光测量法、三角法、莫尔条纹测量法、白光相位法等,它们仅仅在光源形式和方法上稍有差异,因此,又可以将它们分为四类: 基于激光的扫描技术,如激光测量法、三角法等,其代表性产品有英国的 Cyberware 系统; 基于普通光的扫描技术,如莫尔条纹测量法、白光相位法,其代表性产品有美国 TC² 公司的 PMP 系统; 基于红外线的扫描技术,如基于 PSD (Phase Sensitive Demodulator) 的光电二极管^[10] 测量法,其代表性产品有日本的 Hamamatsu 人体扫描系统、日本的 Cousette 红外线人体扫描系统; 基于 X 射线的扫描技术,用于测量人体头颅部位的数据。

3.1 双目视觉法

双目视觉法^[11],也就是通常所说的立体摄影测量法,它通过位于不同位置的两台摄像机同时对人体进行摄影,分析人体表面上同一点在两幅图像上成像点的对应关系,再利用几何光学三角测量原理计算得到该成像点的三维坐标。其原理如图

1 所示。

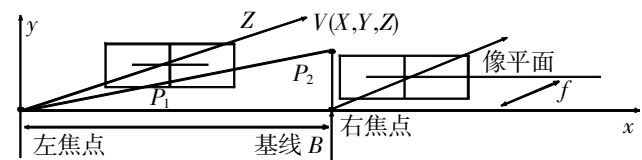


图 1 双目视觉测量原理图

两台摄像机沿基线相距 B , 其光轴平行于 Z 轴, 图像平面与 xy 平面平行。假设三维空间一点 $V(X, Y, Z)$ 在左、右两个像平面上的投影分别是 p_1 和 p_2 , 则视差定义为 $d = |p_2 - p_1|$ 。由相似三角形关系可得出:

$Z = B \cdot f^* / d$, 即得到物点的深度值。

双目视觉成像的原理简单,但由于要在左右图像中匹配出对应的点,实际的计算过程很复杂,立体匹配问题始终是双目视觉测量的一个主要难点,而且测量精度也不高,因此这种方法现在应用不多。

Loughborough 人体阴影扫描装置^[12]由英国 Loughborough 大学于 1989 年研制,它相当于立体摄影测量法。当一个人站立不动时,投影在其身上的光线将被电视摄影机录取下来,身体形状由一系列横切面表达,并以平面方式各用 16 点拉曲线表示。此程序重复 32 片平面,每一片都与有关骨骼标记相关联,重建三维身体的表面模型,此系统未被广泛使用。

3.2 三目视觉法

引入三目视觉方法的主要目的是为了增加几何约束条件,减小双目视觉中立体匹配的困难,但结构上的复杂性也引入了测量误差,降低了测量效率,所以在实际测量中应用较少^[13, 14]。

3.3 单目视觉法

单目视觉法^[9]只采用一个摄像机,所以结构简单,相应地对摄像机的标定也较为简单,同时避免了双目视觉中立体匹配的困难。单目视觉方法又可以分为聚焦法和离焦法。

(1) 聚焦法。它是使摄像机相对于被测点处于聚焦位置,然后根据透镜成像公式可求得被测点相对于摄像机的距离。摄像机偏离聚焦位置会带来测量误差,寻求精确的聚焦位置是关键所在。

(2) 离焦法。这种方法不要求摄像机相对于被测点处于聚焦位置,而是根据标定出的离焦模型计算被测点相对于摄像机距离。这就避免了由于寻求精确的聚焦位置而降低测量效率的问题,但离焦模型的准确标定是该方法的主要难点。

这种方法具有较高的分辨率,但工作距离小,不太适用于人体测量。

3.4 基于激光的扫描技术

3.4.1 激光测量法

激光测量法^[15]的本质是三角测量法,运用相似三角形原理,用多个激光测距仪(由激光和 CCD 摄像头组成)对站立在测量箱内的被测者从多个方位进行测量。摄像头接收激光光束射向人体表面的反射光,与测距仪同步移动时,可根据受光位置、时间间隔、光轴角度,通过计算机算出人体同一高度若干点的坐标值,从而测得人体表面的全部数据。这种方法精度较高,但要求人体在几分钟内保持不变姿势显得较困难,而且小剂量的激光会给被测量者带来一定的心理压力。

Cyberware 全身扫描系统^[12] 是英国的 Cyberware 公司于 1995 年引进一个商品化的全身扫描机 WB2 和 WB4。此设备用激光扫描三角测量技术来获取三维影像。通过工作站的软件控制整个扫描及移动过程, 完成一次扫描仅需几秒钟, 使用者可用工作站上的图像工具来看扫描结果, 把多个扫描图像结合起来就构成一个完整的人体模型。

3. 4. 2 三角法

三角法^[16] 的基本思路是利用照明中的几何信息帮助提取景物中的立体信息。大家都知道, 对于一个三角形, 如果已知其中一条边和相应的两个角, 则可以求出三角形中其他的边或角的值。三角法中, 一般把光源与摄像机之间的距离 l 作为已知量(基线), 由光源投射到物体上的光线, 与基线之间的夹角 α 可根据结构光的各自特性来决定, 另一个角 β 可通过物体的像在摄像机中的不同位置计算出来。三角法是三维测量中最常用的一种, 根据入射光的不同, 以三角法为原理的测量方法可分为点光源入射、线光源入射和栅光源入射三种形式。

其优点是结构简单、分辨率高、工作距离大, 但原理上存在非线性, 被测表面质量对测量结果有影响, 且被测面倾角不宜大于 45° 。

3. 5 基于普通光的扫描技术

3. 5. 1 莫尔条纹测量法

莫尔条纹测量法^[17,18] (也称密栅云纹法), 是应用光栅的阴影(投影) 和光栅形成的莫尔条纹来捕捉人体模型。自 Meadows 等人于 1970 年提出莫尔轮廓法以来, 在此基础上提出了影像莫尔法、投影莫尔法、扫描莫尔法, 以及这些方法的改进方法, 使莫尔等高线三维测量技术不同程度地达到实用化程度。

(1) 影像莫尔法^[19]。其测量原理如图 2 所示。

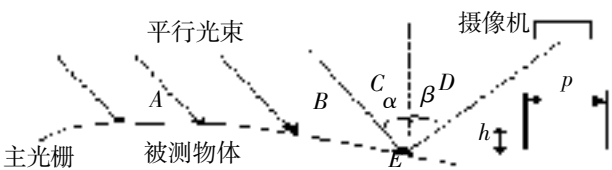


图 2 影像莫尔法原理图

光源照射到置于被测物体上的主光栅, 其影像投在物体上, 物体上的 E 点与光栅上的 C 点的高度差 W 为

$$W = N \times P / (\tan(\alpha) + \tan(\beta)) \tag{1}$$

式(1) 中 N 为莫尔条纹的阶; 如 AD 包含 m 条宽度为 P 的线对, AB 包含 n 条, 则 $N = m - n$ 。影像莫尔法特点是原理简单, 精度高, 但由于制造面积较大的光栅很困难, 故该方法只适用于小物体的测量。

(2) 投影莫尔法。这种方法是将光栅投射到被测物体上, 然后在观察侧用第二个光栅观察物体表面的变形光栅像。这样就得到莫尔条纹。分析莫尔条纹就可以得到物体的深度信息。该方法的特点是适合于测量较大的物体。

(3) 扫描莫尔法。其投影侧与投影莫尔法相同, 但在观察侧不用光栅来形成莫尔条纹, 而是用电子扫描光栅和变形像叠加生成莫尔等高线。它的优点是利用现代电子技术, 可以很方便地改变扫描光栅栅距、位相等。生成不同位相的莫尔等高线条纹图像, 便于实现计算机自动处理。其缺点是需要扫描机构, 数据获取速度低、稳定性较差、对噪声敏感。

1995 年香港理工大学已设计和建造了密栅云纹的原型摄

影器材来测量胸围模杯, 这一方法于 1998 年得到进一步发展, 用来分析西装表面的云纹影子曲线^[18]。

3. 5. 2 白光相位法

白光相位法(也称为投影光栅相位测量法), 是一种基于光学干涉计的相位测量技术。采用一般的白光照明, 将光栅投影到人体表面, 由于物体表面形状的凸凹不平, 光栅图产生畸变而携有物体表面轮廓信息。用摄像机把变形后的相移光栅图摄入计算机内, 经过数字图像处理, 求得畸变光栅的相位分布图, 并可求得被测物体表面高度。

白光相位法的人体三维测量系统成本相对便宜, 同时原理简单, 测量结果准确可靠。从扫描、数据处理到最后得出数据时间短, 符合目前服装快速自动化作业要求, 具有很好的前景。国外著名的美国纺织服装技术中心 TC^2 分层轮廓测量法^[20~22] 是白光相位法最具代表性的应用。近年来, 由总后勤部军需装备研究所和北京服装学院共同研制的人体尺寸测量系统就是应用双视点投影光栅相位测量原理, 通过普通白色光源, 摄取人体前后投影光栅的相位变化, 取得人体三维信息。通过数据处理, 可获取服装设计所需的尺寸, 还可根据需要获取人体图像上任一点的三维坐标。通过人机交互操作。可方便地进行在线和离线测量, 并可满足单人特体测量和现场快速测量的需要。

3. 6 基于红外线的扫描技术

前面所介绍的几种测量方法, 所测人体尺寸或是着装尺寸, 都需要被测者脱去服装而造成诸多不便, 而且使测量效果也受到影响, 而基于 CCD 与红外传感技术的红外线测量法可以克服这一缺点, 既可避免对人体造成伤害, 又可排除人体着装影响, 从而得到所需的人体裸尺寸。基于 PSD(Phase Sensitive Demodulator) 的光电二极管测量方法就是如此, 基于位置传感探测器(PSD) 的光电二极管(Low Emitting Diode, LED) 技术应用于日本的 Hamamatsu 人体扫描系统中。红外光电二极管通过脉冲传送并通过投射镜头从被测物表面反射成像, 第二级镜头收集光线并聚焦到探测器上。在该系统中, PSD 的作用是探测质心位置。其测量原理如图 3 所示。

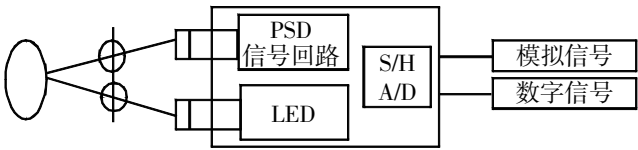


图 3 基于 PSD 的 LED

从被测物反射的光线冲击光电二极管和 PSD, 光电子在二极管中向两极发散。由于 PSD 的单向性, 结合机械扫描部分、多重传感器和电视视觉扫描步骤可以得到三维图像。

Hamamatsu 系统使用八台呈 U 形排列的传感器, 测量值由三维点阵导出。该公司最初开发的 BL 扫描仪用于日本女性人体躯干研究, 为紧身内衣提供第一手数据。目前, 除了日本外, 美国、英国和德国都有研究和应用机构。

3. 7 基于 X 射线的扫描技术

自从 1895 年, 德国物理学家伦琴在研究阴极射线时发现了 X 射线^[23]。此后, 布拉格和劳埃分别研究 X 射线, 各自得出了布拉格公式和劳埃方程, 为利用 X 射线衍射原理来分析物质的晶体特征、内部结构、物质组分及含量奠定了理论基础。而莫塞莱建立了 X 射线光谱分析方法, 提出了 X 射线波长与

原子序数之间的关系定律,即有名的莫塞莱定律,从而,为根据物质被入射 X 射线激发而产生荧光 X 射线来对试样进行定性和定量分析打下了理论基础。如今 X 射线成像技术不仅广泛应用于科研行业,而且已被广泛地应用于工业生产的生产控制和分析检测、医学设备的制造中。文献[4]指出利用 X 射线法可以测量人体头颅部位的数据,因为 X 射线的穿透能力很强,可以排除头发的干扰,从而准确得到头部的人体特征数据。

4 三维人体测量技术的应用

4.1 实现服装生产的合体性

无论是服装批量生产商还是个体制作者,都力求生产出舒适合体的服装,这必须以对目标消费者进行人体测量为前提,才能在服装结构设计中对各部位的尺寸有可靠的依据,从而保证服装适合人体的体型特征,使着装既舒适又美观。

4.2 真正实现服装号型标准化

我国的服装号型标准是通过在全国范围内开展大量调查测试工作,运用数学分析、统计、归纳等方法,并借鉴某些发达国家的模式才制定出来的。它的制定是建立在大量人体测量的基础之上的,即通过大范围的人体测量,取得大量的人体数据,然后将所得数据进行整理、分析研究,才能制定正确、合理的服装号型标准。

4.3 为标准人台设计提供依据

标准人台是简化和美化了的人体,常用于服装立体裁剪、商品检查或服装展示。而人台的设计又必须建立在大量的对实际人体各部位测量数值的统计和处理的基础上,才具有实用意义。

4.4 为建立适应我国国民体型的原型提供依据

目前国内尚无适合人们体格的原型,而世界发达国家如英、法、美、日等都早已形成较成熟的原型技术,并根据风格的不同形成各种流派,在其服装设计和生产中起着重要作用。要建立适合的原型,最根本的途径就是首先建立人体体型尺寸的测量系统,在不同区域进行大量的人体测量,为我国原型的建立提供数据依据。

4.5 推进建立虚拟试衣系统

所谓虚拟试衣系统^[24]就是通过扫描顾客的体型,进行非接触三维人体自动测量,从而准确地获取人体尺寸。系统根据获取的人体尺寸建立三维服装模型,该模型可以穿上各种款式的服装,并展示出试穿的效果。

4.6 推动建立服装快速反应系统

建立服装快速反应系统^[25]是当今世界服装业取得竞争实力的关键措施。而服装快速反应系统的确立必须对服装设计、供料、生产制造方法及商品流通各个领域的业务进行根本性改革。服装快速反应系统目标是要实施针对顾客的价值创造,为此服装企业必须与面料商、服装零售业建立良好的合作伙伴关系,借助三维 CAD 系统及网络技术来实施。人体三维扫描系统的研制为人体测量提供更准确的数据,并建立人体的立体模型,显示所设计的衣服穿着后的直观效果,再根据面料和花型的输入,能够瞬时显示虚拟的样品。在图案设计者、款式设计

师、顾客或零售商的参与下对样品进行充分的探讨,变更直至满意。这就使服装的策划、设计、试制、生产、销售相互更好地联系,使服装快速反应系统成为可能。

4.7 推进研制量身定做系统

高质量的服装必须适合人体体型,符合个性穿着的要求。如今的量身定做,已不是原来意义上的完全手工操作,也不同于传统的按型号批量生产的方式,而是一种完全以顾客为中心的服装生产制作系统,一种高度自动化的工业化生产方式。其流程如下:

- (1) 按顾客要求选定服装款式和面料;
- (2) 利用三维人体自动测量系统对顾客进行三维人体测量;
- (3) 自动计算所测人体特征数据并转换为服装尺寸;
- (4) 打版、放码、排料;
- (5) 自动单件剪裁;
- (6) 采用单元生产系统完成特定的服装制作。

量身定做系统采用先进的制版和裁剪技术,最主要的是三维人体自动测量技术等先进手段取代了传统的手工测量,从而使所测人体特征数据更好地适用于量身定做系统。如英国的 Baird Menswear 西服公司,其销售到国内和国际市场的西服中有 80 % 是通过“量身定做”系统完成的,并且服装系列涵盖了由不同款式、颜色和规格的成千上万种组合。

4.8 促进对人体生长发育规律的研究

对不同年龄群体或个体进行人体测量,对所测量的数据进行分析 and 统计,并绘出生长曲线和生长速率曲线,可以有助于找到人体生长发育的规律^[26]。

4.9 实现人体数据库的建立

目前,在美国有“SIZE USA”,在英国“SIZE UK”的大规模人体测量活动,其目的一方面是为了获得最新的人体数据,建立本国国民人体体型数据库;另一方面也是因为我国的服装号型标准陈旧滞后,不能适应服装行业变化的需要,通过三维人体测量活动可以获得人体特征数据,有助于修订服装号型等一系列的相关标准。

4.10 其他应用

除了上述应用外,三维人体自动测量技术在建筑业、室内设计、机械工业、汽车制造业、动画业、医学、人类学等领域都有广阔的应用前景。相信通过进一步的研究,它将给人们的生活带来更大的便利。随着时代的发展和社会的进步,三维人体测量的应用前景将会越来越广阔。

5 目前制约三维人体自动测量技术发展的因素

(1) CCD 摄像机的分辨率及其定标过程制约了测量精度。CCD 摄像机的内外参数都是未知的,利用针孔模型求解 CCD 摄像机的内外矩阵,这样的参数矩阵不宜再分解成内外参数,因为分解的结果误差较大,而且与计算机的接口也比较复杂。另外,它的分辨率较低,这些都影响了测量精度和测量范围。

(2) 现有的测量系统的价格普遍较高,几乎都在十万元以上,其成本高于所带来的益处,因而不能被大范围推广应用,难免给三维人体自动测量的研究带来了一定的负面影响。

(3) 在具体实现过程中它还不同程度地会受到当时计算机软硬件发展水平的影响和限制。

(4) 在广义的图像处理中, 图像识别是关键步骤, 它使用一定的数学算法对数字图像矩阵进行运算, 数字图像的矩阵运算量是十分大的, 因此, 图像处理速度也是目前制约三维人体自动测量技术发展的一个因素, 需要有更高效的图像处理算法。

6 三维人体自动测量技术下一步的发展趋势

虽然各种测量方法经过多年的发展, 取得了一些进步, 但是只有近年来出现了低成本的计算机、光电器件和激光光源, 这些技术才在商品化方面取得了较大的突破, 但是它与其他很多领域相比还远远不够。笔者认为三维人体自动测量技术下一步的发展趋势主要体现在以下几个方面:

(1) 建立评价三维人体自动测量技术的标准, 该标准主要应包括: 已知尺寸、表面粗糙度的标准人台; 数学模型和误差表示特征; 测量速度和精度、测量范围; 重复性和再现过程; CCD 摄像机的定标过程; 可靠性评价。

(2) 综合利用各种技术和方法, 包括综合使用不同的匹配方法(如主动式法与被动式法的组合、主动式法与主动式法组合、被动式法与被动式法组合等)、综合运用各种技术(如模式识别、人工智能和神经网络等技术的综合运用), 以提高系统的性能。

(3) 实现测量智能化, 随着模式识别、人工智能和神经网络等技术的发展, 为人体测量技术智能化、人性化奠定了基础, 使系统具有测量、识别、分析等多种功能。智能化主要包括扫描过程的智能化、人机界面的智能化、数据采集与分类的智能化、投影的高度自适应等。

(4) 实现测量网络化, 21 世纪是网络飞速发展的世纪, 三维人体自动测量技术将以网络为基础向更广泛的领域发展和延伸。三维人体自动测量技术的网络化, 是今后人体测量技术发展的必然趋势。设计过程、制造过程和流通过程的一体化, 将促使人体测量在网络经济时代发生巨大的变革。

7 结束语

上述对三维人体自动测量技术的应用、主要过程、制约其发展的主要因素、分类及各种测量方法的原理和特点的讨论, 为开发新一代三维人体自动测量系统提供了有益的参考, 以期使中国在该领域的研究赶上甚至超过国际先进水平。

参考文献:

[1] 桑新柱, 吕乃光. 三维形状测量方法及发展趋势[J]. 北京机械工业学院学报, 2001, 16(2): 32-38.

[2] Schneider C T, Sinnreich K. Concept of on Optical Coordinate Measurement Macine[C]. Proc. SPIE, 1995. 816-821.

[3] Choate A G. Optical and Digital Processing Techniques in a Machine Vision Metrology System[J]. Optical Engineering, 1989, 28(12): 1311-1316.

[4] 徐军. 虚拟三维服装研究技术及发展[J]. 上海纺织科技, 2002, 30(3): 56-58.

[5] Roger Y Tsai. Aversatile Camera Calibration Technique for High-Ac-curacy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras

and Lenses [J]. IEEE Journal of Robotic and Automation, 1987, 3(4): 323-342.

[6] 邱茂林, 马颂德, 李毅. 计算机视觉中摄像机定标综述[J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 43-55.

[7] Wei G Q, Ma S D. Implicitand Explicit Camera Calibration: Theory and Experiments[J]. IEEE Trans. on PAMI, 1994, 16(4): 469-480.

[8] Wei G Q, Ma S D. Camera Calibration by Vanishing Point and Cross Ratio[C]. Proc. IEEE Int. Conf. ASSP, 1989. 1630-1633.

[9] 祝世平, 强锡富. 工件特征点三维坐标视觉测量方法综述[J]. 光学精密工程, 2000, 8(2): 192-197.

[10] 方方, 张渭源. 一种新兴的测量技术——3D 人体扫描系统[J]. 纺织导报, 2003, (2): 34-37.

[11] 黄锦, 张晓兵, 尹涵春, 等. 基于图像处理的三维测量方法[J]. 电子器件, 2002, 25(4): 364-368.

[12] 李勇, 付小莉, 尚会超. 三维人体测量方法的研究[J]. 纺织学报, 2001, (8): 61-63.

[13] Dhond U R, *et al.* A Cost-benefit Analysis of a Third Camera for Stereo Correspondence[J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 6(1): 39-58.

[14] Ayache N, *et al.* Trinocular Stereo Vision for Robotics[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(1): 73-85.

[15] 王祺明. 服装业三维人体测量技术的方法和现状分析[J]. 绍兴文理学院学报, 2002, 22(4): 65-68.

[16] 杜颖, 李真, 张国雄. 三维曲面的光学非接触测量技术[J]. 光学精密工程, 1999, 7(3): 1-6.

[17] Meadows DM, *et al.* Generation of Surface Contours by Moire Patterns[J]. Applied Optics, 1990, 9(9): 1467.

[18] Yu W M, Harlock S C, Yechnique K W. Contour Measurements of Moulded Brassiere Cups Using a Shadow Moire Technique [C]. Processings of 3rd Arian Textile Conference, 1995. 300-308.

[19] 李奇, 冯华君, 徐之海, 等. 计算机立体视觉技术综述[J]. 光学技术, 1999, (5): 71-73.

[20] YU W M, Yeung K W, Lam Y L. Assessment of Garment Fit [C]. Proceedings of the HKITA & CTES Conference on Hand-in-hand Marching into 21st Century, 1998. 128-129.

[21] Tait N. SAMAB CAD [J]. Textile Asia, 1998, (2): 37.

[22] SU-JEONG HWANG, B S, M S. Three Dimensional Body Scaning Systems with Potensional for Use in the Apparel Industry[J]. Textile Technology and Management, 2001: 18-19, 29-32.

[23] 田卫红. 浅谈 X 射线检测法的主要应用[J]. 有色金属设计, 2000, 27(2): 61-65.

[24] X Dai, *et al.* 服装虚拟试衣系统[J]. 国外纺织技术, 2000, (10): 30-32.

[25] 周旭东, 李艳梅. 人体三维测量技术分析[J]. 上海纺织科技, 2002, 30(6): 58-59.

[26] 罗仕鉴, 朱上上, 孙守迁. 人体测量技术的现状与发展趋势[J]. 人类工效学, 2002, 8(2): 31-34.

作者简介:

彭三城(1974-), 硕士, 主要研究方向为数据库、图像处理; 孙星明(1963-), 教授, 博士生导师, 博士, 主要研究方向为网络信息安全、自然语言处理、分布式数据库; 刘国华, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为数据库理论, 数据挖掘; 阳爱民, 副教授, 博士, 主要研究方向为计算机网络、知识库。