

# Kinect 人体运动捕捉误差及其空间分布

吴玮莹 王豫 李秦 攸兴杰 陈天远 蒲放 樊瑜波

**摘要** 目的 针对微软发布的体感捕捉设备 Kinect 开展精度测试实验,检测系统定位的位置误差及其空间分布,为基于 Kinect 体感交互的生物医学工程应用提供参考。**方法** 本实验利用 Kinect 和高精度运动捕捉设备 NDI Optotrak 同时进行人体运动捕捉,并采用 Kinect 和 NDI 进行测量,结果取相对位移值进行比较。以 NDI 的测量数据作为真实数据的有效近似,评估 Kinect 的测量精度。**结果** 本实验最终测得 Kinect 识别精度误差为  $(0.0283 \pm 0.0186)$  m,均方根误差为 0.0303 m,水平角度识别范围为  $51.49^\circ$ 。**结论** Kinect 的精度和稳定性在 cm 级,可应用于康复训练、手术室设备控制等生物医学工程领域,但对于精度要求更高的领域,如智能手术机器人的控制等,其精度和稳定性还有待提高。

**关键词** Kinect; 自然交互; 手势识别; 精度模型

DOI:10.3969/j.issn.1002-3208.2014.04.03.

中图分类号 R318.6 文献标志码 A 文章编号 1002-3208(2014)04-0344-05

## Positioning error and its spatial distribution of motion capture with Kinect

WU Weiyang, WANG Yu, LI Qin, YOU Xingjie, CHEN Tianyuan, PU Fang, FAN Yubo  
School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100191

**【Abstract】 Objective** To achieve the accuracy measurement by using the human-computer natural technique of the somatosensory capture device Kinect and to provide reference for the application prospect of the human-computer natural interaction in biomedical engineering (BME) field. **Methods** In this experiment, Kinect is used to locate the space coordinates and compared with the NDI motion capture system. The position is located at each measurement point both by Kinect and NDI. The relative displacement is adopted to assess the accuracy of Kinect while the data from NDI is used as a valid approximation of the real data. **Results** In the software and hardware testing platform we constructed, the error is  $(0.0283 \pm 0.0186)$  m, and the root-mean-square error (RMS) is 0.0303m. These data are collected over a range of  $51.49^\circ$  degrees. **Conclusions** The accuracy and stability of Kinect are both in centimeter degree. It is acceptable in certain BME applications like rehabilitation training and the control of the operating room devices. The accuracy and stability need to be improved in other fields with higher requests, like the control of operating room robots.

**【Key words】** Kinect; human-machine nature interaction; hand posture recognition; accuracy modeling

## 0 引言

Kinect 是微软在 2010 年发布的一种体感控制器, Kinect 结合红外测距及光学摄像头实时捕获人

体运动参数,可实现基于肢体动作的自然交互<sup>[1]</sup>。Kinect 最初只作为 Xbox 360 游戏机的外设装置,但体感交互的功能显然并不局限于游戏领域。自 Kinect 发布起就有各种基于 Kinect 的新奇应用,范围涉及虚拟交互、人体建模、运动捕捉、机器人控制等。2012 年微软发布了 Windows 版的 Kinect 和 Kinect for Windows SDK 开发包<sup>[2]</sup>,可以预见 Kinect

基金项目:国家自然科学基金(61201313)资助  
作者单位:北京航空航天大学生物与医学工程学院(北京 100191)  
通信作者:王豫。E-mail: kurtwangyu@126.com

的应用将会越来越普遍<sup>[3-7]</sup>。

在生物医学工程领域,由于 Kinect 特有的人机自然交互属性,故其在数字化手术室控制、人机自然交互、智能医学仪器控制方面应用前景广阔<sup>[8-12]</sup>。然而,由于生物医学领域的应用本身对仪器精度要求较高,而微软发布的数据中并未对 Kinect 的具体精度进行详细测定,故本文旨在对 Kinect 的精度及误差分布规律进行研究。

Dutta 等<sup>[13-15]</sup>在 2012 年对 Kinect 的标定精度进行了测定,但其使用的是传统的棋盘格测定,只考虑了 Kinect 镜头本身的标定精度,而并未考虑实际使用 Kinect 进行人体运动捕捉时的实际精度。本文使用 Kinect 和 NDI Optotrak 三维运动捕捉系统进行对比,对 Kinect 的实际运动跟踪误差及其分布进行了研究。

1 材料与方法

1.1 测量系统

1.1.1 测量系统硬件

测试系统电脑为戴尔 14 R,处理器类型为 Intel core i5 380 M,主频为 2.53 GHz,内存容量 2 GB,在 Windows7 系统下进行操作。

本实验所测精度的 Kinect,具有 320 × 240、16 bit、30 fps 的深度感应镜头和 640 × 480、32 bit、30 fps 的颜色感应镜头,微软给出的 Kinect 设备参数的测量范围如表 1 所示。

表 1 Kinect 设备参数

Table 1 Device parameters of Kinect

参数	范围
水平视角	57°
垂直视角	43°
Kinect 机身转动范围	±27°
传感深度范围/m	1.2 ~ 3.5

利用 NDI Optotrak 动作捕捉系统作为对比基准来测定 Kinect 的误差,该设备自从 1989 年首次推出后,在医学和人体运动研究领域当中迅速被确立为准确和可靠的测量系统标准,其精度最高可达 0.1 mm RMS,分辨率 0.01 mm。

1.1.2 测量系统软件

本实验所使用的 Kinect 运动跟踪软件在

Microsoft Visual Studio 2010 环境下开发,使用 C#语言以及 Kinect SDK V1.6 开发包,读取 Kinect 各关节节点数据,其中本实验所探测的精度数据由右手关节节点数据为准。NDI Optotrak 使用该系统自带的 NDI Optotrak 软件包,其中包括 NDI First Principles (用来测定、回放、管理系统捕捉到的数据)和 DataView (允许逐帧或逐个查看系统跟着踪、测定的数据),软件界面如图 1 所示。

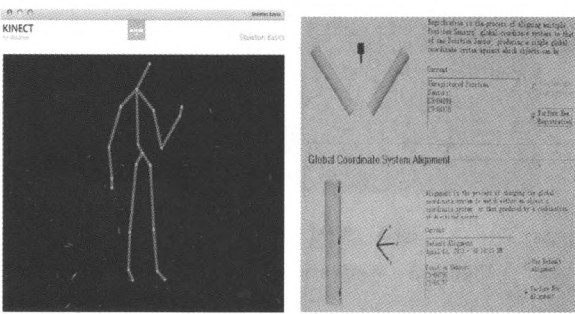


图 1 Kinect 和 NDI 软件界面

Figure 1 Software interface for Kinect and NDI

1.2 测量方法及测量环境

1.2.1 测量方法

实验的测量环境和方法如图 2 所示。

Kinect 位于如图 2 中位置,置于 0.84 m 高度(取合理高度);图中每一个圆点代表一个测量位置。

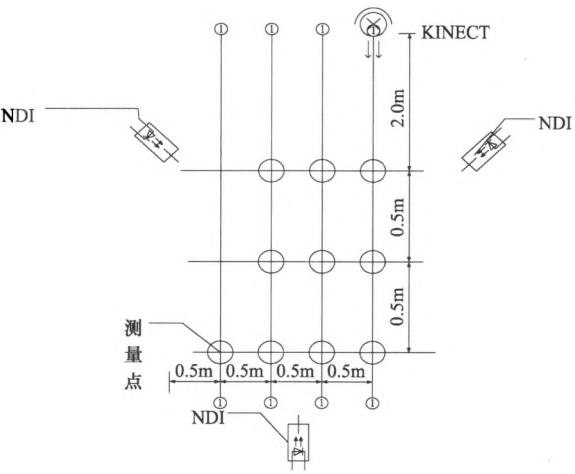


图 2 测量数据点平面分布

Figure 2 Horizontal distribution of testing points

NDI Optotrak 位于图中三个位置,实现空间 360°无死角的测量,测量过程中,在掌心放置 NDI

主动式 Marker, 设备可以实时跟踪该 Marker 的空间位置信息。

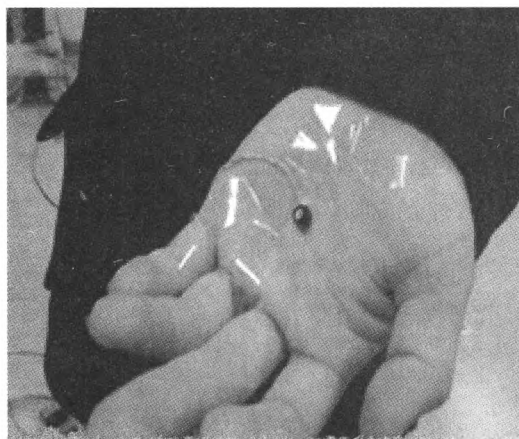


图 3 NDI 主动式 Marker

Figure 3 Active marker for NDI system

由于 Optotrak 的识别点与 Kinect 的识别点并不严格重合, 所以在测量过程中并不直接使用位置信息(两台仪器的空间坐标也不重合), 而是使用相对距离信息, 因为在实验者改变位置的过程中, 相对位移对于两台仪器相同。故在实验者的每一个测量点, 同时采用 Kinect 和 Optotrak 进行测量, 结果取差值进行比较。

本实验室旨在探索 Kinect 对人体运动的实际跟踪精度; 以及该精度在测量空间内的分布规律。

### 1.2.2 Kinect 的测量范围选择

本实验只考虑了 Kinect 测量精度在  $X$  轴和  $Y$  轴上的分布。由于 Kinect 使用时, 探测人体高度变化不大, 故探测  $z$  轴识别范围没有实际的应用意义, 因而本实验也未对  $Z$  轴上的识别范围进行测量。

根据微软发布的数据, Kinect 在深度距离 ( $Y$  轴) 上 1.2 ~ 3.5 m 可测, 实际测量中, 在 1.2 m 之前, Kinect 无法摄取完整的人体, 只有部分身体出现在镜头内, 图像抖动而不清晰, 误差极大; 在 3.8 m 之后, 屏幕中人体过小, 无法清晰地给出人体骨骼数据。根据预实验发现, Kinect 在 2 ~ 3 m 的范围内可以较好地识别人体, 精度较高, 故本次试验选择  $Y$  轴测试点为 2 m、2.5 m、3 m。

对  $X$  轴探测范围的确定: ① 取  $Y$  分别为 2.0 m、2.5 m、3.0 m, 实验人员立于 Kinect 摄像头正前方  $X$  轴坐标为 0 处, Kinect 获取当前实验人员  $X$  轴位置,

为  $X'_1$ ; ② 实验人员缓慢向左移动, 保持在屏幕当中可以获得清晰可识别的骨骼图像; ③ 当屏幕显示未探测到人体时 (偏离左端超过一定范围, 有部分人体脱离镜头之后, 人体就已经抖动而无法识别) 为临界点, 此时 Kinect 获取当前实验人员  $X$  轴位置, 为  $X'_2$ 。从而得出当前  $Y$  轴即深度坐标的探测范围  $|X'_1 - X'_2|$ , 对每一个  $Y$  轴位置重复以上步骤, 获取 Kinect 在不同  $Y$  轴位置的  $X$  轴测量范围。

### 1.2.3 探测精度测量方法

实验人员站立于如图 4 所示位置, 手上贴有 Marker 标记, 首先确定  $X=0$  的点, 由于本实验所测的坐标点为  $Y=2 \sim 3$  m 范围内的 10 个坐标点, 故实验人员从同一  $Y$  值的坐标点移动 0.5 m 距离 (即  $X$  轴方向移动的距离) 时, 可同时从 Kinect 和 NDI 的跟踪数据中得出实验人员实际移动的距离。由于 NDI 的误差为 0.1 mm, 相对于预实验测得的 Kinect 厘米级的误差可忽略不计, 故将 NDI 的测量值作为真值与 Kinect 进行对照。

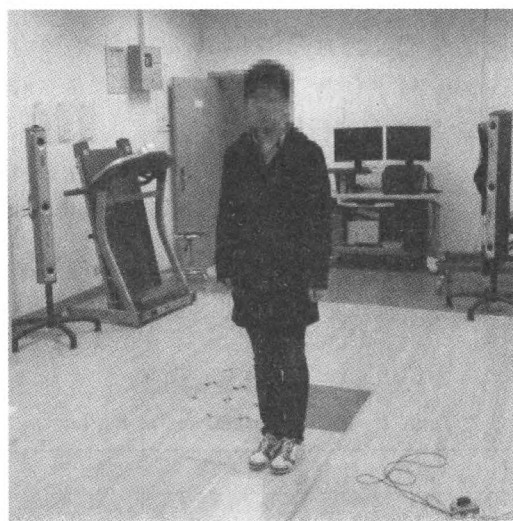


图 4 实验场景

Figure 4 Experimental scene

Kinect 与 NDI 的相对位置如图 5 所示,

其中将每一  $Y$  值不变  $X$  值相对移动 0.5 m 时 (0.5 m 仅为粗测值移动距离的真实值, 由 NDI 测量数据得出) 的距离记为  $X_i$ , 如 ( $Y, X$ ) 为 (2.0, 0.5) 时相对 (2.0, 0) 移动的距离为  $X_1$ , (2.0, 1.0) 相对 (2.0, 0.5) 移动的距离为  $X_2$ , 以此类推至  $X_n$ 。

### 1.2.4 实验数据处理

(1) 测量位置的平均值 经测量得到 Kinect 对

某测量点的  $X$  轴多次测量值为  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$  (其中的  $m$  是测量次数), 则可得该测量点平均值为

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{m}$$

(1)

(2) 测量位置相对 NDI 的均方根误差 同上, Kinect 对某测量点  $i$  的  $X$  轴进行  $m$  次测量值为  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ , NDI 对该测量点的  $X$  轴测量平均值 (此时相对 Kinect 测量值可以视为真值) 为  $\bar{a}$ , 则可



图 5 NDI 设备与 Kinect 布局  
Figure 5 Experiment layout of NDI and Kinect

得 Kinect 相对于 NDI 测量值的均方根误差为

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{a})^2}{n}}$$

(2)

(3) 测量点位置的标准差 同样地, 测量得到 Kinect 对的 某个测量点的  $X$  轴测量  $m$  次的测量值为  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ , 其标准差为

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2}{m}}$$

(3)

2 实验结果

经过对 Kinect 和 NDI 所测数据的统计整理及计算, 所得 Kinect 测量数据的误差、标准差及均方根误差如表 2 所示。

表 2 Kinect 测量误差与均方根误差  
Table 2 Error and root mean square error of Kinect measurement

Y 坐标/m	X 坐标/m	测量误差/m	均方根误差
2.0	0.5	0.0223 ± 0.0106	0.0592
2.0	1.0	0.0289 ± 0.0185	0.0464
2.5	0.5	0.0197 ± 0.0104	0.0217
2.5	1.0	0.0231 ± 0.0114	0.0253
2.5	1.5	0.0174 ± 0.0186	0.0148
3.0	0.5	0.0037 ± 0.0119	0.0089
3.0	1.0	0.0217 ± 0.0127	0.0209
3.0	1.5	0.0590 ± 0.0570	0.0239
3.0	2.0	0.0587 ± 0.0339	0.0339

计算误差平均值可得, 在 Kinect 较为精确的读数范围内, 其误差为  $(0.0283 \pm 0.0186)$  m, 而其均方根误差为 0.0303 m。

Kinect 测量误差、标准差和均方根误差的空间分布分别如图 6 ~ 图 8 所示。

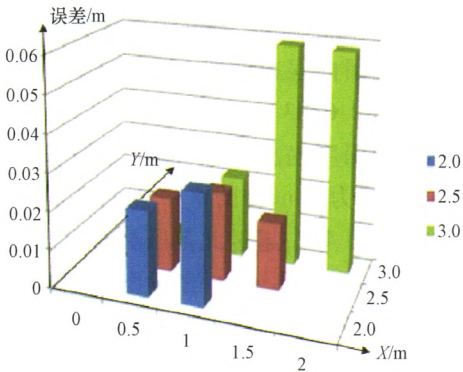


图 6 Kinect 数据误差分布  
Figure 6 Error distribution of Kinect data

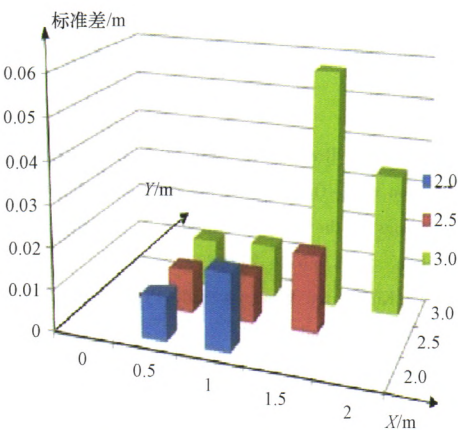


图 7 Kinect 数据标准差分布  
Figure 7 Standard deviation distribution of Kinect data



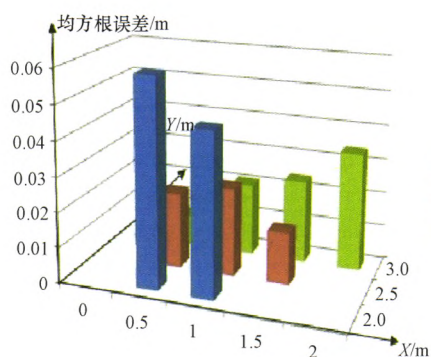


图 8 Kinect 数据均方根误差分布  
Figure 8 Root mean square error distribution of Kinect data

### 3 讨论与结论

经过以上计算可得到, Kinect 数据在深度为 2.0 ~ 3.0 m 的探测范围内。

Kinect 精度较高,而在同样为探测范围之内的 1 ~ 3.5 m 处的其他区域, Kinect 精度相对较低。在其最适精度范围内误差约为  $(0.0283 \pm 0.0186)$  m, 均方根误差为 0.0303 m。

在不同的深度坐标下, Kinect 水平探测范围是变化的,这是因为 Kinect 的水平探测范围的角度是固定的,约为  $51.49^\circ$ ,超过此范围将不会被探测到。

由此可以确定, Kinect 的精度和稳定性在 cm 级,对于人机自然交互系统在生物医学工程的康复训练,手术室相关设备控制等领域的相关应用,其误差范围是可以接受的。但是对于智能手术机器人等对精度要求较高的应用, Kinect 的精度显然有待提高,相信在不久的将来,其精度和稳定性将会大大提高。

#### 参考文献


- [1] Villaroman N, Rowe D, Swan B. Teaching natural user interaction using OpenNI and the Microsoft Kinect sensor [C]. Proceedings of the 2011 conference on Information technology education. ACM, 2011: 227-232.
- [2] Jana A. Kinect for Windows SDK Programming Guide [M]. Packt Publishing Ltd, 2012.
- [3] Ren Z, Meng J, Yuan J, et al. Robust hand gesture recognition with Kinect sensor [C]. Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia. ACM, 2011: 759-760.
- [4] Oikonomidis I, Kyriazis N, Argyros A. Efficient model-based 3d tracking of hand articulations using Kinect [C]. British Machine Vision Conference, 2011: 101.1-101.11.
- [5] Leyvand T, Meekhof C, Wei Y C, et al. Kinect identity: Technology and experience [J]. Computer, 2011, 44(4): 94-96.
- [6] Xia L, Chen CC, Aggarwal JK. Human detection using depth information by Kinect [C]. Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2011: 15-22.
- [7] Frati V, Prattichizzo D. Using Kinect for hand tracking and rendering in wearable haptics [C]. World Haptics Conference (WHC), 2011 IEEE. IEEE, 2011: 317-321.
- [8] Chang YJ, Chen SF, Huang JD. A Kinect-based system for physical rehabilitation: a pilot study for young adults with motor disabilities [J]. Research in developmental disabilities, 2011, 32(6): 2566-2570.
- [9] Zhang Z. Microsoft Kinect sensor and its effect [J]. Multimedia, IEEE, 2012, 19(2): 4-10.
- [10] Huang JD. Kinerehab: a Kinect-based system for physical rehabilitation: a pilot study for young adults with motor disabilities [C]. The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. ACM, 2011: 319-320.
- [11] Bó APL, Hayashibe M, Poignet P. Joint angle estimation in rehabilitation with inertial sensors and its integration with Kinect [C]. Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE. IEEE, 2011: 3479-3483.
- [12] Da Gama A, Chaves T, Figueiredo L, et al. Poster: Improving motor rehabilitation process through a natural interaction based system using Kinect sensor [C]. 3D User Interfaces (3DUI), 2012 IEEE Symposium on. IEEE, 2012: 145-146.
- [13] Dutta T. Evaluation of the Kinect™ sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace [J]. Applied ergonomics, 2012, 43(4): 645-649.
- [14] Khoshelham K. Accuracy analysis of Kinect depth data [C]. ISPRS workshop laser scanning, 2011, 38: 1.
- [15] Khoshelham K, Elberink SO. Accuracy and resolution of Kinect depth data for indoor mapping applications [J]. Sensors, 2012, 12(2): 1437-1454.

(2013-05-13 收稿, 2013-07-29 修回)

# Kinect人体运动捕捉误差及其空间分布

作者: [吴玮莹](#), [王豫](#), [李秦](#), [攸兴杰](#), [陈天远](#), [蒲放](#), [樊瑜波](#), [WU Weiyang](#), [WANG Yu](#), [LI Qin](#), [YOU Xingjie](#), [CHEN Tianyuan](#), [PU Fang](#), [FAN Yubo](#)

作者单位: [北京航空航天大学生物与医学工程学院, 北京, 100191](#)

刊名: [北京生物医学工程](#) 

英文刊名: [Beijing Biomedical Engineering](#)

年, 卷(期): 2014, 33 (4)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_bjswyxgc201404003.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_bjswyxgc201404003.aspx)