

自然行走状态下的足底压力稳定性研究

丁 汉,唐云祁,郭 威

(中国人民公安大学 刑事科学技术学院,北京 100038)

摘 要:利用足底压力进行身份识别在人机交互、生物识别等领域已有一定的应用。只有每个人的足底压力是稳定的、个性化的,足底压力的身份识别才是科学的,但足底压力的稳定性问题一直没有得到验证。公安实践中,足迹可进行人身的同一认定,但也没有底层科学规律作为理论支撑。通过对采集的相关数据进行计算机编程处理,探究人自然行走状态下的足底压力数据的稳定性,为利用足底压力进行人身识别奠定科学基础。使用 MATLAB 软件,对 FOOTSCAN 足底压力测量分析系统采集的足底压力峰值数据运用欧氏距离特征向量方差算法进行处理,以分析足底压力的稳定性。实验结果表明,自然行走状态下每个人足底压力的欧氏距离特征向量的方差基本稳定,可以利用足底压力数据进行相关研究和应用。

关键词:足底压力;峰值数据;欧氏距离;稳定性

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)04-0153-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.04.034

Research on Stability of Plantar Pressure in Normal Human Walking Condition

DING Han, TANG Yun-qi, GUO Wei

(College of Forensic Science, Chinese People's Public Security University, Beijing 100038, China)

Abstract: The identity recognition using plantar pressure has been put into application in the fields of human-computer interaction and biological recognition etc. Only if the plantar pressure of each person is stable and personalized, its identification is scientific. However the stability problem of the plantar pressure has not been verified. In the public security practice the footprints can be considered as personal identification, whereas there is no underlying scientific principle taken as theoretical support. Investigation on the stability of human plantar pressure data in normal walking condition could supply scientific basis for personal identification using plantar pressure analysis. The dynamic plantar pressure peak data from plantar pressure measurement and analysis system, FOOTSCAN, have been processed with Euclidean distance feature vector variance algorithm using MATLAB software so as to analyze the stability of plantar pressure quantitatively. The computational results show that the feature vector variance of each person's plantar pressure is so basically constant that plantar pressure data can be used for both of exploration investigation and practical application.

Key words: plantar pressure; peak value; Euclidean distance; stability

0 引 言

纵观现有自然人机交互技术,绝大多数都是面向上肢和体态的方面,针对下肢的研究很少^[1]。事实上,下肢是人体运动的支撑,下肢运动跟手势一样能够表达丰富的肢体语言,适合用做交互载体。首先,下肢与上肢在生理结构上较为接近,虽不及上肢灵活,但上肢能表达的简单动作,下肢一般都能表达。Eduardo 在文献[2]中提到:“Feet excel at performing simple tasks”,“The performance of the feet might not be as bad

as people think”。而且在穿戴设备方面,相比上肢,下肢有其独特优势^[2]。其次,下肢承担行走任务,成长环境及生理构造的独特性,让下肢行走蕴含了丰富的个性化信息。这些个性化信息有助于个性化自然人机交互技术的研究。因此,研究基于人体下肢的人机交互技术对于丰富和发展自然人机交互理论具有十分重要的意义。

综上,研究基于人体下肢的人机交互技术意义重大。随着 Kinect、足压鞋垫等下肢交互设备的逐渐普

收稿日期:2016-07-04

修回日期:2016-10-18

网络出版时间:2017-03-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61503387);公安部技术研究计划项目(2015JSYJC52)

作者简介:丁 汉(1990-),男,硕士研究生,研究方向为刑事科学技术痕迹检验;唐云祁,讲师,研究方向为模式识别;郭 威,博士,教授,研究方向为刑事科学技术痕迹检验。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170307.0922.098.html>

及,在公安、医学等领域利用足底压力进行身份识别成为了一个新的研究方向^[3],受到越来越多的关注。相比于指纹识别^[4]、人脸识别^[5]、虹膜识别^[6]、声纹识别^[7]等,利用足底压力进行人身识别具有隐蔽性、非侵扰性等优点,但是,足底压力的稳定性问题并没有得到解决。如果个人的足底压力不稳定,利用足底压力进行身份识别是没有科学依据的,因此,需要对足底压力的稳定性问题进行研究。针对足底压力的稳定性研究目前还较少,但仍有一些研究者对此做出了较大贡献。早在 20 世纪 60 年代,国内公安专家马玉林在长期实践中发现:受人体生理构造及步态运动习惯等因素的影响,不同行人的足迹形态一般互不相同。利用这一特性,马玉林于 1959 年总结出了一套“从印到影、从影到印、对人对印”的步法追踪技术^[8]。步法追踪技术为国内公安机关侦查破案创出了一条独特的捷径,为起诉、审判犯罪嫌疑人提供了重要依据。这种从公安实践中发展起来的神奇破案方法,在经验层面说明了足底压力的稳定性。Lemaire 研究团队^[9]利用实验获取了足底压力中心轨迹、足底压力中心、最大重点等参数,通过对这些参数进行统计学分析,研究步态的稳定性。中科院自动化所研究团队利用 CASIA 步态数据库,也做了相关研究^[10]。

根据公安足迹专家的相关经验,结合 FOOTSCAN 足底压力测量分析系统,提出了足底压力欧氏距离特征向量方差分析算法,探究了自然行走状态下足底压力的稳定性,为利用足底压力进行人身识别奠定了科学基础,使其可更好地应用于刑事侦查^[11]等领域。

1 基于足底压力欧氏距离特征向量方差分析的稳定性研究

利用采集的每个人的 6 组足底压力峰值数据,设计了基于足底压力欧氏距离特征向量方差分析算法,如下所述:

(1) 对实验数据进行预处理,包括对静态足底压力矩阵进行全零行和全零列的去除和归一化处理。

(2) 根据式(2)计算出足底压力整体中心点 P_0 及每个人的局部(脚趾区、前脚掌区、后跟区)压力中心点 P_1 、 P_2 、 P_3 。

$$c = \sum_{i=1}^n (X_i \times P_i) / \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

$$Y_c = \sum_{i=1}^n (Y_i \times P_i) / \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

(3) 计算 P_0 到 P_1 、 P_2 、 P_3 之间的欧氏距离 d_1 、 d_2 、 d_3 ,那么,测试者双足的步态触觉特征记为一个向量 $D = (d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{21}, d_{22}, d_{23})$ 。由于个人足结构的不同,每人就形成方数据性的六维欧氏距离特征向量^[12]。

(4) 通过式(3)求出每个人每一维的特征向量的方差,记录下来以便分析稳定性。

$$S^2 = \frac{1}{n} [(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2] \quad (3)$$

其中, X 为各组数据的平均数; n 为数据个数; X_1, X_2, \dots, X_n 为每个数据的具体数值。

对脚底三个区域采用从后跟区占足底区域面积 40%,前脚掌区占足底区域面积 40%,脚趾区占足底区域面积 20% 的比例进行划分^[13]。

2 实验与分析

2.1 足底压力数据库的建立

2.1.1 使用设备

使用设备为 FOOTSCAN 足底压力分布步态分析系统(平板式)及配套软件, MATLAB R2013a 软件。FOOTSCAN 足底压力步态分析系统由比利时 RScan 公司研制生产,是具有世界先进水平和代表性的三维动态足底压力步态分析系统,利用机电一体化和图像方法进行足底压力分布测量和定量分析。该系统主要由 60 cm×40 cm 测力平板及配套软件组成。其中,测力平板上均匀分布 1 万 6 千多个传感器,分布密度为 4 个/cm²,采样频率最高达 500 Hz。

2.1.2 数据采集

利用 FOOTSCAN 系统及其配套软件,提取 50 名身体健康的大学生正常行走时赤足的足底压力数据(见图 1),每人分别提取 6 组。通过 FOOTSCAN 配套软件,提取出每个人每只脚的足底压力峰值数据(见图 2)。

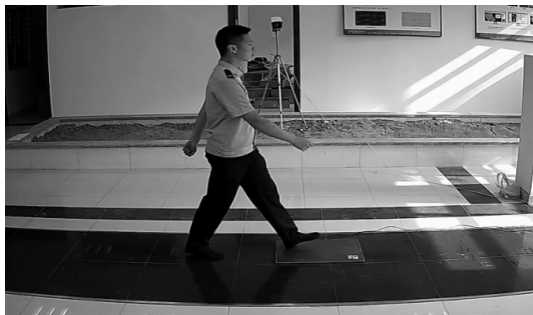


图 1 足底压力数据的采集

采集实验数据的大学生年龄段为 18-20 周岁,足部均无疾病。利用 MATLAB R2013a 软件将采集到的每个测试者的左脚 6 组和右脚 6 组的足底压力峰值数据组成步态数据库,用于判断其稳定性。

2.2 足底压力数据的预处理

首先对足底压力矩阵进行全零行和全零列的去除,得到只保留测试者的足底压力分布最小矩阵,以便后续分析。然后将足底压力分布最小矩阵进行旋转处

理,使其归一化。

0.3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
1.3	1.3	1	1	0.7	0.7
6.6	6.3	4.3	4.6	3.6	1.3
5.9	6.6	6.9	15.5	14.2	3.6
1.6	2.6	5.3	10.9	8.2	2.3
0.7	1	2	3	1.6	0.7
0	0.3	0.3	0.3	0	0.3
0.3	0	0	0	0	0.7
0.7	0.3	0.7	0.3	0.7	2.3
0.3	0.7	1	0.7	0.3	1.6
0	0.7	1	0.3	0	0.3
0	0	0.3	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

图2 足底压力峰值数据

2.3 足底压力欧氏距离特征向量方差分析算法运行结果

对50名测试者的足底压力峰值数据运行上述算法,结果见表1。设计比对实验,将前30名测试者中每个人同一足的1组足底压力欧氏距离特征向量进行组合,得30组数据作为比对数据。方差结果见表2。

表1 前30位测试者欧氏距离特征向量方差结果

测试者 编号	欧氏距离特征向量方差					
	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{r1}	d_{r2}	d_{r3}
1	5.274 0	0.926 7	0.749 6	1.512 6	1.487 5	1.756 2
2	3.971 4	0.345 0	1.416 5	0.683 4	4.197 1	0.499 2
3	2.120 8	0.668 3	0.887 1	1.390 7	2.667 5	0.798 8
4	1.926 9	2.597 3	0.222 0	1.617 7	1.245 4	1.523 2
5	4.311 2	50.744 1	3.525 1	8.051 9	4.398 0	4.953 7
6	0.272 3	1.594 1	0.523 3	1.451 3	0.185 4	2.659 3
7	6.494 6	3.535 0	5.538 0	1.477 8	11.010 3	1.245 1
8	8.410 5	28.908 0	10.332 5	13.813 0	16.535 7	13.463 8
9	2.796 0	1.551 1	1.702 9	1.559 6	13.031 4	31.057 5
10	5.941 3	32.961 0	3.477 5	3.461 7	2.950 9	2.811 0
11	10.984 1	4.684 1	1.913 7	7.534 8	2.473 7	0.802 1
12	3.084 0	2.633 4	0.902 3	0.965 4	0.679 4	0.737 1
13	3.569 2	3.649 2	1.581 0	3.324 6	1.179 4	4.321 3
14	1.011 3	1.175 5	1.203 1	1.154 7	0.902 6	0.814 9
15	1.998 3	2.627 3	2.480 3	0.817 0	6.977 9	1.400 6
16	6.425 7	0.491 6	1.380 1	1.521 2	1.903 0	1.263 0
17	4.369 0	2.480 3	0.309 1	1.164 5	1.329 8	0.272 9
18	0.225 1	3.356 0	0.418 8	0.629 6	4.657 7	0.047 1
19	2.393 2	2.742 1	0.761 7	1.695 2	0.893 3	1.151 9
20	3.282 1	4.975 6	2.649 5	4.257 1	1.466 3	27.221 7
21	4.631 3	10.117 7	8.502 3	4.277 3	2.540 1	35.728 2
22	3.705 0	32.776 9	2.410 4	3.231 8	3.946 9	4.848 9
23	10.964 2	12.779 5	7.740 7	24.628 9	9.105 6	37.253 1
24	2.548 1	6.256 9	26.550 9	3.701 5	2.620 3	2.394 0
25	0.741 9	3.685 4	2.028 7	1.630 9	2.687 1	35.735 1
26	2.453 5	2.731 6	0.696 2	4.478 5	0.557 5	1.419 1
27	17.143 5	17.607 5	11.335 8	10.878 9	13.762 1	27.945 2
28	5.450 3	0.866 0	0.610 8	1.615 3	0.954 4	0.974 1
29	7.280 9	3.266 0	2.639 1	2.690 4	3.628 7	5.011 2
30	5.550 3	4.374 1	2.851 8	1.382 6	4.192 2	5.550 3

表2 比对实验10组数据

对比组 编号	足底压力距离向量方差					
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6
1	8.945 6	2.450 3	2.289 7	4.105 7	5.755 2	0.819 4
2	1.914 4	4.526 4	5.440 5	4.240 9	5.286 1	13.663 8
3	3.736 5	3.399 4	2.614 7	3.802 9	2.263 0	1.124 4
4	3.237 4	64.306 8	5.084 4	8.067 1	9.224 3	4.533 7
5	2.566 9	5.475 9	5.836 9	6.206 5	5.049 3	1.441 7
6	4.197 6	59.031 3	4.642 5	7.007 7	4.790 2	2.237 6
7	1.745 8	73.151 4	2.750 0	7.660 4	3.608 8	12.468 3
8	2.163 2	3.664 9	47.701 1	15.557 3	4.677 1	2.651 1
9	8.656 3	5.070 0	10.953 0	3.231 0	4.321 0	4.000 2
10	4.908 6	12.544 1	17.160 7	14.849 6	6.969 9	32.508 8

经比对实验观察可知,同一人的足底压力欧氏距离特征向量是相对稳定的。测试者共有50人,每人有六维欧氏距离特征向量,那么,共得到50×6=300个特征向量的方差结果。以数量10为单位对测试者欧氏距离特征向量方差结构进行统计,结果如表3所示。

表3 测试者欧氏距离特征向量方差数量统计结果

方差区间	方差数量	所占比例/%
0~10(包含10)	261	87.000
10~20(包含20)	20	6.667
20~30(包含30)	7	2.333
30~40(包含40)	9	3.000
40~50(包含50)	1	0.003
>50	2	0.007

方差是各个数据与这些数据平均数之差的平方和的平均数。在概率论与数理统计中,方差用来度量随机变量与数学期望(即均值)之间的偏离程度^[14]。方差采用样本的波动大小去估计总体的波动大小,方差越小则波动性越小,稳定性也越好,反之,稳定性越差。通过对每个人的6个足底压力欧氏距离特征向量的方差进行横向比较发现,大多数情况下方差较小,且每个人的特征方差波动程度不大;有少数情况,每个人的6个特征方差中有1个波动较大,明显异于其他5个,这可能是由于在数据采集时,某些异常因素的出现影响了此次足底压力数据采集的稳定性。这些可能出现的异常因素还需利用实验时设置的监控视频等手段去分析验证,得出影响足底压力稳定性的因素可能有哪些。通过对每个人的6个足底压力中心点特征方差进行纵向比较发现,在所有300个数据样本中,方差值在0~10区间内的数量为261个,比例高达87%,方差值大于50的数量只有2个,仅占样本数量的0.007%。说明从总体上观察,人的足底压力特征是比较稳定的。

3 结束语

足底压力的稳定性是利用足底压力进行身份识别

的基础。鉴于足底压力进行身份识别的研究尚处于起步阶段,基于 FOOTSCAN 足底压力测量分析系统所采集的足底压力数据,初步探究分析了足底压力的稳定性。分析结果表明,人类个体在自然行走状态下的足底压力是基本稳定的,为今后利用足底压力进行身份识别奠定了科学基础。

参考文献:

- [1] Toshev A, Szegedy C. Deeppose: human pose estimation via deep neural networks[C]//IEEE conference on computer vision and pattern recognition. [s. l.]: IEEE, 2014: 1653–1660.
- [2] Velloso E, Schmidt D, Alexander J, et al. The feet in human-computer interaction[J]. ACM Computing Surveys, 2015, 48(2): 1–35.
- [3] Rozado D, Moreno T, San Agustin J, et al. Controlling a smart-phone using gaze gestures as the input mechanism[J]. Human-Computer Interaction, 2015, 30(1): 34–63.
- [4] Amjad A, Nasir S. GLCM-based fingerprint recognition algorithm[C]//Proceedings of 2011 4th IEEE international conference on broadband network and multimedia technology. [s. l.]: IEEE, 2011: 207–211.
- [5] Viola P, Jones M J. Robust real-time face detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2): 137–154.

(上接第 152 页)

Ajax 向服务器发送数据并取回必需的数据,通过在后台与服务器中的 CGI 程序进行少量的数据交换,实现网页的异步更新,即实现对卫星寻星仪便捷、实时的监控。所建立的嵌入式平台系统对基于嵌入式 Web 服务器监控系统的开发有一定的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 王 兴. Linux 网络服务器应用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [2] 徐春艳. 嵌入式 WEB 服务器的研究与实现[D]. 南京:南京理工大学,2008.
- [3] 谢新民,丁 峰. 自适应控制系统[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [4] 吴士力. 嵌入式 Linux 应用开发全程解与实战[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [5] INTELSAT SSOG 210. Earthstation verification tests[S]. [s. l.]: [s. n.], 2000.

- [6] Frucci M, Nappi M, Riccio D, et al. WIRE: watershed based iris recognition[J]. Pattern Recognition, 2015, 52: 148–159.
- [7] Malcangi M, Maroulis G. Robust speaker authentication based on combined speech and voiceprint recognition[J]. Computational Methods in Science & Engineering, 2009, 48(1): 872–877.
- [8] 高 毅. 论步法追踪技术的综合运用[J]. 森林公安, 2008(6): 9–11.
- [9] Shi C P, Li H G, Xu L, et al. Multi-resolution local moment feature for gait recognition[C]//Proceedings of the fifth international conference on machine learning and cybernetics. Dalian: [s. n.], 2006: 3709–3714.
- [10] Zheng S, Huang K Q, Tan T N, et al. A cascade fusion scheme for gait and cumulative foot pressure image recognition[J]. Pattern Recognition, 2012, 45(10): 3603–3610.
- [11] 汤澄清, 史力民, 黄 愿. Footscan 步态分析系统在足迹检验中的应用初探[J]. 刑事技术, 2008(4): 18–20.
- [12] 陈惠明. 图像欧氏距离在人脸识别中的应用研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(14): 3735–3737.
- [13] 方 正, 张兴亮, 王 超, 等. 基于青年人足底压力测试的步态实验研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2014, 31(6): 1278–1282.
- [14] 杨小勇. 方差分析法浅析—单因素的方差分析[J]. 实验科学与技术, 2013, 11(1): 41–43.

- [6] Agilent Technologies. User's/programmer's reference[M]. USA: Agilent, 2006.
- [7] 吕 鑫. 基于 ARM 和 Linux 嵌入式 Web 服务器的设计[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.
- [8] 张 勤. Linux 服务器配置全程实录[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [9] 吴玉成, 侯良伟, 冷建筑. 嵌入式 Linux 下 Web 服务器的设计与实现[J]. 数据通信, 2008(6): 43–46.
- [10] 王丽娜. 卫星通信系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [11] Stevens W R, Rago S A. Advanced programming in the UNIX environment[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [12] Helstrom C W. Statistical theory of signal detection[M]. Oxford: Pergamon Press, 1996.
- [13] Kraus J D, Marhefka R J. Antennas: for all applications[M]. New York: New McGraw-Hill, 2001.
- [14] Bridge W M. Cross coupling in a five horn monopulse tracking system[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1972, 20(4): 436–442.