(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2023 年 3 月 30 日 (30.03.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/045108 A1

(51) 国际专利分类号:
A61B 5/103 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/137587

(22) 国际申请日: 2021 年 12 月 13 日 (13.12.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111126979.3 2021年9月26日 (26.09.2021) CN

(71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: 王博 (WANG, Bo); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 尚鹏 (SHANG, Peng); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 刘程祥 (LIU, Chengxiang); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 杨德龙 (YANG, Delong); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 罗朝晖 (LUO, Zhaohui); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。 张笑千 (ZHANG,

(54) **Title:** FOOTPRINT STATISTICAL ANALYSIS METHOD BASED ON LARGE-SCALE HIGH-DENSITY PIEZORESISTIVE FILM

(54) 发明名称: 一种基于大规模高密度压阻薄膜的足迹统计分析方法

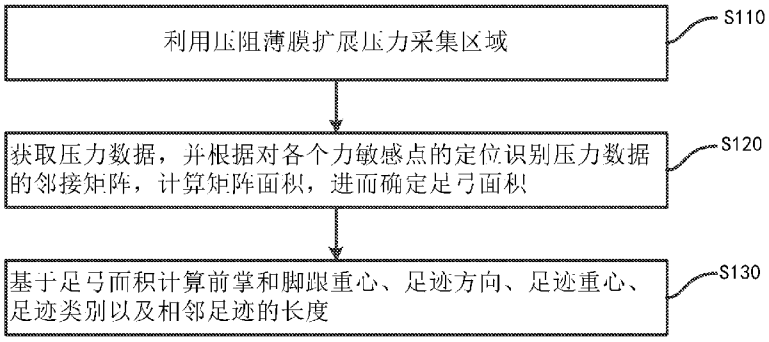


图 1

S110 Expand a pressure collection area by using a piezoresistive film

S120 Acquire pressure data, identify an adjacent matrix of the pressure data according to the positioning of each force-sensitive point, calculate the area of the matrix, and further determine the area of an arch

S130 On the basis of the area of the arch, calculate the center of gravity of a heel and a half sole, the direction of a footprint, the center of gravity of the footprint, the category of the footprint and the length of adjacent footprints

(57) **Abstract:** A footprint statistical analysis method based on a large-scale high-density piezoresistive film. The method comprises: constructing a pressure collection area by using a piezoresistive film, and collecting a pressure signal during a target walking process, wherein the piezoresistive film comprises a plurality of force-sensitive point units, and each force-sensitive point unit is positioned by using a set index; obtaining an adjacent matrix of a plantar pressure image according to the collected pressure signal, wherein each element of the adjacent matrix corresponds to the magnitude of the pressure of the related force-sensitive point unit, and each adjacent matrix corresponds to one footprint; determining the direction of a footprint and the area of internal and external arches according

WO 2023/045108 A1

[见续页]

Xiaoqian)；中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道1068号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人：北京中巡通大知识产权代理有限公司 **(BEIJING ZHONG XUN TONG DA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.)**；中国北京市西城区榆树馆胡同东口1层106, Beijing 100195 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

to the area and orientation of the adjacent matrix; and determining one or more of the center of gravity of a heel and a half sole, the category of the footprint, the center of gravity of the footprint and a step length of the footprint, wherein the category of the footprint is determined according to the area of the internal and external arches. By using the method, a footprint feature can be extracted accurately and efficiently in real time.

(57) 摘要：一种基于大规模高密度压阻薄膜的足迹统计分析方法，包括：利用压阻薄膜构建压力采集区域，并采集目标行走过程中的压力信号，其中压阻薄膜包含多个力敏感点单元，针对每个力敏感点单元，采用设定的索引进行定位；根据所采集的压力信号，获得足底压力图像的邻接矩阵，该邻接矩阵的每个元素对应相关力敏感点单元的压力大小，每个邻接矩阵对应一个足迹；根据邻接矩阵的面积和朝向确定足迹的方向以及内外足弓面积；确定脚跟与前掌重心、足迹类别、足迹重心以及足迹步长中的一项或多项，其中根据内外足弓面积确定足迹类别。利用该方法能准确、实时、高效地提取足迹特征。

一种基于大规模高密度压阻薄膜的足迹统计分析方法

技术领域

本发明涉及医疗康复技术领域，更具体地，涉及一种基于大规模高密度压阻薄膜的足迹统计分析方法。

背景技术

足底压力可为跌倒预测、多种疾病的诊断和康复治疗提供有价值的信息，但是现有的足底压力分析技术并不能在连续的步态下自动识别出左右脚位置，无法进行下一步的动态步态分析。并且在跌倒预测方面，由于设备面积的限制，很难铺设大面积的设备采集足底压力数据。

例如，现有的足底压力监测都是基于单个压力薄膜下的足底压力检测技术，针对的压力数据面积较小，而且通常是静态数据分析，即使针对动态数据，也无法真正分析动态步态下的数据。对于在动态步态下，数据分析与识别技术非常急缺。并且针对足底压力数据，通常采取后续标注分析方式对足底压力分析处理，包含足迹压力区域标注，左右脚识别，前后脚掌识别，步态方向识别，目前缺少自动化提取足迹特征的算法。此外，尽管在现有技术中，针对左右脚识别，存在一种可穿戴式薄膜鞋垫，在硬件端已经确定了左右脚，但是具有采集设备大，无线距离短等问题。

总之，现在市面上的压力薄膜尺寸一般是400mm×400mm，该尺寸的压力薄膜只能够实现原地的足底压力数据收集，无法实现真实行走时的动态足底压力的收集及分析。并且现有的压力薄膜采集足底压力数据，除了已经定义好左右脚的压力鞋垫，目前缺少自动识别左右脚的识别算法。

发明内容

本发明的目的是克服上述现有技术的缺陷，提供一种基于大规模高密度压阻薄膜的足迹统计分析方法，该方法包括以下步骤：

步骤 S1：利用压阻薄膜构建压力采集区域，并采集目标行走过程中的压力信号，其中压阻薄膜包含多个力敏感点单元，针对每个力敏感点单

元，采用设定的索引进行定位；

步骤 S2：根据所采集的压力信号，获得足底压力图像的邻接矩阵，该邻接矩阵的每个元素对应相关力敏感点单元的压力大下，每个邻接矩阵对应一个足迹；

步骤 S3：根据所述邻接矩阵的面积和朝向确定足迹的方向以及内外足弓面积；

步骤 S4：根据所述内外足弓面积确定脚跟与前掌重心、足迹类别、足迹重心以及足迹步长中的一项或多项。

与现有技术相比，本发明的优点在于，利用自动识别方式取代手工获取足迹数据主要参数的工作；对采集到的动态行走的压力，实现足迹的可视化，进而利用统计方法来区分左足迹和右足迹，用于步态动态分析。此外，本发明能够获得足迹的方向和步长，用于跌倒预测。

通过以下参照附图对本发明的示例性实施例的详细描述，本发明的其它特征及其优点将会变得清楚。

附图说明

被结合在说明书中并构成说明书的一部分的附图示出了本发明的实施例，并且连同其说明一起用于解释本发明的原理。

图 1 是根据本发明一个实施例的基于大规模高密度压阻薄膜的足迹统计分析方法的流程图；

图 2 是根据本发明一个实施例的单片压力薄膜示意图；

图 3 是根据本发明一个实施例的六片拼接的压力薄膜示意图；

图 4 是根据本发明一个实施例的数据处理流程图；

图 5 是根据本发明一个实施例的足底压力可视化数据示意图；

图 6 是根据本发明一个实施例的左脚的足底压力分布及旋转角示意图；

图 7 是根据本发明一个实施例的左脚压力邻接矩阵的垂直投影示意图；

图 8 是根据本发明一个实施例的右脚足底压力分布及上下足弓判断示意图；

附图中，the adjacency matrix of the footprint-足迹的邻接矩阵；center of

the ball of the foot-脚掌的重心；center of the footprint-足迹的重心；center of the heel-脚跟的重心；vertical projection-垂直投影；Column number-列号；arch area-弓形区域；medial arch area-内侧弓区；lateral arch area-外侧弓区。

具体实施方式

现在将参照附图来详细描述本发明的各种示例性实施例。应注意到：除非另外具体说明，否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本发明的范围。

以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的，决不作为对本发明及其应用或使用的任何限制。

对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论，但在适当情况下，所述技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。

在这里示出和讨论的所有例子中，任何具体值应被解释为仅仅是示例性的，而不是作为限制。因此，示例性实施例的其它例子可以具有不同的值。

应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

结合图 1 和图 4 所示，所提供的基于大规模高密度压阻薄膜的足迹统计分析方法包括以下步骤。

步骤 S110，利用压阻薄膜扩展压力采集区域。

为了采集目标真实行走时的动态足底压力，可采用多个压阻薄膜扩展采集区域。如图 2 所示，以压阻薄膜（Rouxi，RX-M3232L）为例，其尺寸是 400mm×400mm，具有 1024 个力敏感点单元。通过采用六片压阻薄膜将压力采集区域扩展至 2400mm×400mm（对应 6144 个力敏感点单元），如图 3 所示，通过选择行（row）中的通道和列（column）中的通道定位每个力敏感点。在后续处理中，可利用数模转换器将测量的电压转换为数字数据，然后，可设计数据采集设备将数据传输到计算机或其他的数据处理设备。

步骤 S120，获取压力数据，并根据对各个力敏感点的定位识别压力数据的邻接矩阵，计算矩阵面积，进而确定足弓面积。

在一个实施例中，提出的足迹分析方法如图 4 所示，用于区分左足迹和右足迹，并获得足迹的方向和步长等足迹分析的主要参数。

例如，在实际应用中，为获得足底的数据，可利用开发的软件通过串口从所设计的信号采集设备接收数据，并可视化足底压力。压阻薄膜上多个足迹如图 5 所示，其中一个小正方形表示压阻薄膜中的力敏感点单元，不同级别的压力值用不同的颜色表示，使用矩阵 32×192（即对应 6144 个力敏感点单元）计算力敏感点单元的相对位置。

此外，视觉图像以设定的速率进行更新，例如以每秒约 12 帧的速度更新，从而可在一定的行走速度范围内捕捉足迹的动态变化。考虑到在压阻薄膜上行走时可能会捕获多幅图像，因此优选地在面积最大的压力面积上进一步分析，过滤掉面积小于阈值的足底压力区域。由于信号采集设备硬件中的电子干扰，图像上可能会显示一些小的激活区域，这可能会对图像产生干扰，因此采用阈值法滤除噪声。

通过上述方法获得足底压力图像的邻接矩阵（对应足底压力框），如图 6 所示，然后计算邻接矩阵长边与 x 轴之间的角度 R，以旋转足底压力框使其平行于 x 轴。计算邻接矩阵的垂直投影以定位前掌和后掌的位置，垂直投影值相对于列数的变化如图 7 所示。从图 7 中可清楚地看到，三个峰值，其中最大的两个峰值是由脚掌和脚跟区域的压力产生的，最小的峰值是由脚趾区域的压力产生。由于行走过程中脚印的动态变化，通过比较两个最大峰值来确定脚跟和脚掌的位置是不准确的。因此，前三列中的和值与后三列中的和值进行比较，以区分足迹的朝向，面积小的靠近脚掌，面积大的靠近脚跟。

步骤 S130，基于足弓面积计算前掌和脚跟重心、足迹方向、足迹重心、足迹类别以及相邻足迹的长度。

如图 6 和图 8 所示，可根据其几何形状的显著差异来识别左右脚印。如图 8 所示的右脚印，可识别出内侧足弓的位置在上方，外侧足弓的位置在下方，则该脚印被识别为右脚印。相应地，若内侧足弓的位置在下方，

外侧足弓的位置在上方，则该足迹被标识为左侧足迹。因此，足弓的几何特征用于区分左右脚印。具体地，首先，定义了足弓面积由两个最大峰值的连线和邻接矩阵的长边构成。随后，从足弓区域提取两部分（上半部分和下半部分），描述计算上半部分和下半部分面积，如以下伪代码所示。将上半部分和下半部分的面积进行比较，并假设内弓位于面积较大的部分，外弓位于面积较小的部分。

****

Algorithm 1: Identify footprint is left or right

Input: The footprint matrix C detected from sensor matrix;

Output: The area of upper and lower half;

Calculate the vertical projection V of footprint area S ;

Find the two peak of V and get the Corresponding coordinate area A ;

for *column number i of matrix A* **do**

  if *The up flag A[up][i] in current matrix A is smaller than next element A[up + 1][i + 1]* **then**

    upper move to next row ;

  upper add up value ;

  if *The low flag A[lo][i] in current matrix A is smaller than next element A[lo − 1][i + 1]* **then**

    lower move to previous row ;

  lower add up value ;

return *upper* and *lower*;

****

获得脚跟和前掌（或称脚掌）的重心坐标之前，在邻接矩阵中脚跟和前掌的区域两个最大峰值之间寻找分割线，将整个足底压力区域分为前掌和脚跟。矩阵中脚跟重心的坐标表示为(x_h, y_h)，计算方法如公式 1 和公式 2 所示。

$$x_h = \frac{\sum_{(x,y)\in \Omega_h} x \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in \Omega_h} p(x,y)} \quad (1)$$

$$y_h = \frac{\sum_{(x,y)\in \Omega_h} y \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in \Omega_h} p(x,y)} \quad (2)$$

其中，$p(x,y)$表示压力，x 表示横坐标，y 表示纵坐标，Ω_h表示脚跟的面积。脚跟区域中心的坐标表示为(x_b, y_b)，计算方法如公式 3 和公式 4 所示。

$$x_b = \frac{\sum_{(x,y)\in \Omega_b} x \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in \Omega_b} p(x,y)} \quad (3)$$

$$y_b = \frac{\sum_{(x,y)\in \Omega_b} y \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in \Omega_b} p(x,y)} \quad (4)$$

Ω_b表示前掌的面积。根据两个重心点的位置和属性可确定足底压力矩阵的方向，即脚的前进方向或称足迹方向。

Ω_c表示足迹的面积，矩阵中足迹重心的坐标表示为(x_c, y_c)，计算方法如公式 5 和公式 6 所示：

$$x_c = \frac{\sum_{(x,y)\in\Omega_c} x \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in\Omega_c} p(x,y)} \quad (5)$$

$$y_c = \frac{\sum_{(x,y)\in\Omega_c} y \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in\Omega_c} p(x,y)} \quad (6)$$

下一步（即下一足迹）的足迹重心计算方式同公式 5 和公式 6，记为(x_{c+1}, y_{c+1})。

通过计算两个相邻的邻接矩阵的中心距离来计算两个连续足迹的步长，可表示为如公式 7 所示。

$$L_s = \sqrt{(x_{c+1} - x_c)^2 + (y_{c+1} - y_c)^2} \quad (7)$$

其中，L_s表示两个连续的足底压力长度，即当前的步长；x_{c+1}和x_c表示两个连续邻接矩阵中心的水平坐标；y_{c+1}和y_c表示两个连续邻接矩阵中心的纵向坐标，计算方法如上的重心计算方法。

需说明的是，在不违背本发明精神和范围的前提下，本领域技术人员可对上述实施例进行适当的改变或变型。例如，在计算重心时，也可使用图形重心法，但是无法准确获取足迹方向；又如，采用更多数目的压阻薄膜来扩展压力采集区域；此外，所涉及的邻接矩阵旋转尽是为了在同一方向上进行数据分析，在实际应用中，只要将邻接矩阵作统一旋转即可，而不限制旋转的方向和角度。并且，对力敏感点单元的定位只要能唯一标识即可，不必须采用行号和列号进行定位。

为进一步验证本发明的效果，进行了实验。有三个实验者参与了实验，他们各自的脚长分别为 A（265mm）、B（270mm）、C（285mm），并且设计了四种速度，包括慢速行走（0.5～1.1m/s）、正常行走（1.1～1.5mm）、快速行走（1.5～1.8mm）、慢跑（1.8～2.1mm），每种速度都采集了 114 组数据，共计 1368 个脚印数据。在各场景下，特征提取的准确率参见下表 1。

表 1：实验结果

步速	A(270mm)	B(265mm)	C(285mm)
0.5～1.1 m/s	1	1	1
1.1～1.5 m/s	0.83	0.77	0.73
1.5～1.8 m/s	0.75	0.68	0.625
1.8～2.1 m/s	0.61	0.55	0.50

由表 1 可以看出，本发明在非跑步状态下有较高的识别率，能够在正常行走状态下实时检测出各项特征，并且对于不同人的脚和不同步行速度均能提取准确的足迹特征。

综上所述，本发明提供针对大规模柔性传感器的足迹自动识别方法，能够准确、实时、高效地识别足迹位置、足迹类别、足迹重心、前后脚掌、前后脚掌重心、足迹方向和足迹步长等特征。针对现有技术没有体现足底压力方向的方法，本发明创造性地提出一种可根据足底特征构造足底压力方向的方法，可用于实时足底压力的特征提取。本发明适用范围更广，针对不同目标人群、不同步速均实现了准确的足迹分析。

本发明可以是系统、方法和/或计算机程序产品。计算机程序产品可以包括计算机可读存储介质，其上载有用于使处理器实现本发明的各个方面的计算机可读程序指令。

计算机可读存储介质可以是可以保持和存储由指令执行设备使用的指令的有形设备。计算机可读存储介质例如可以是但不限于电存储设备、磁存储设备、光存储设备、电磁存储设备、半导体存储设备或者上述的任意合适的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子（非穷举的列表）包括：便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、可擦式可编程只读存储器（EPROM 或闪存）、静态随机存取存储器（SRAM）、便携式压缩盘只读存储器（CD-ROM）、数字多功能盘（DVD）、记忆棒、软盘、机械编码设备、例如其上存储有指令的打孔卡或凹槽内凸起结构、以及上述的任意合适的组合。这里所使用的计算机可读存储介质不被解释为瞬时信号本身，诸如无线电波或者其他自由传播的电磁波、通过波导或其他传输媒介传播的电磁波（例如，通过光纤电缆的光脉冲）、或者通过

电线传输的电信号。

这里所描述的计算机可读程序指令可以从计算机可读存储介质下载到各个计算/处理设备，或者通过网络、例如因特网、局域网、广域网和/或无线网下载到外部计算机或外部存储设备。网络可以包括铜传输电缆、光纤传输、无线传输、路由器、防火墙、交换机、网关计算机和/或边缘服务器。每个计算/处理设备中的网络适配卡或者网络接口从网络接收计算机可读程序指令，并转发该计算机可读程序指令，以供存储在各个计算/处理设备中的计算机可读存储介质中。

用于执行本发明操作的计算机程序指令可以是汇编指令、指令集架构（ISA）指令、机器指令、机器相关指令、微代码、固件指令、状态设置数据、或者以一种或多种编程语言的任意组合编写的源代码或目标代码，所述编程语言包括面向对象的编程语言—诸如 Smalltalk、C++、Python 等，以及常规的过程式编程语言—诸如“C”语言或类似的编程语言。计算机可读程序指令可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中，远程计算机可以通过任意种类的网络—包括局域网(LAN)或广域网(WAN)—连接到用户计算机，或者，可以连接到外部计算机（例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接）。在一些实施例中，通过利用计算机可读程序指令的状态信息来个性化定制电子电路，例如可编程逻辑电路、现场可编程门阵列（FPGA）或可编程逻辑阵列（PLA），该电子电路可以执行计算机可读程序指令，从而实现本发明的各个方面。

这里参照根据本发明实施例的方法、装置（系统）和计算机程序产品的流程图和/或框图描述了本发明的各个方面。应当理解，流程图和/或框图的每个方框以及流程图和/或框图中各方框的组合，都可以由计算机可读程序指令实现。

这些计算机可读程序指令可以提供给通用计算机、专用计算机或其它可编程数据处理装置的处理器，从而生产出一种机器，使得这些指令在通过计算机或其它可编程数据处理装置的处理器执行时，产生了实现流程图

和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的装置。也可以把这些计算机可读程序指令存储在计算机可读存储介质中，这些指令使得计算机、可编程数据处理装置和/或其他设备以特定方式工作，从而，存储有指令的计算机可读介质则包括一个制造品，其包括实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的各个方面的指令。

也可以把计算机可读程序指令加载到计算机、其它可编程数据处理装置、或其它设备上，使得在计算机、其它可编程数据处理装置或其它设备上执行一系列操作步骤，以产生计算机实现的过程，从而使得在计算机、其它可编程数据处理装置、或其它设备上执行的指令实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作。

附图中的流程图和框图显示了根据本发明的多个实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或指令的一部分，所述模块、程序段或指令的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。在有些作为替换的实现中，方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如，两个连续的方框实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这依所涉及的功能而定。也要注意的是，框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。对于本领域技术人员来说公知的是，通过硬件方式实现、通过软件方式实现以及通过软件和硬件结合的方式实现都是等价的。

以上已经描述了本发明的各实施例，上述说明是示例性的，并非穷尽性的，并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择，旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术改进，或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。本发明的范围由所附权利要求来限定。

权利要求书

1．一种基于大规模高密度压阻薄膜的足迹统计分析方法，包括以下步骤：

步骤 S1：利用压阻薄膜构建压力采集区域，并采集目标行走过程中的压力信号，其中压阻薄膜包含多个力敏感点单元，针对每个力敏感点单元，采用设定的索引进行定位；

步骤 S2：根据所采集的压力信号，获得足底压力图像的邻接矩阵，该邻接矩阵的每个元素对应相关力敏感点单元的压力大下，每个邻接矩阵对应一个足迹；

步骤 S3：根据所述邻接矩阵的面积和朝向确定足迹的方向以及内外足弓面积；

步骤 S4：根据所述内外足弓面积确定脚跟与前掌重心、足迹类别、足迹重心以及足迹步长中的一项或多项。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述压力采集区域设有多片压阻薄膜，每片压阻薄膜具有行、列排列的多个力敏感点单元，对于每个力敏感点单元，采用行号和列号的组合进行定位。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，对于所述足底压力图像的邻接矩阵根据以下步骤进行可视化：

采用一个正方形表示压阻薄膜中的一个力敏感点单元，不同级别的压力值用不同的颜色表示，使用一个位置矩阵表征力敏感点单元的相对位置；

对于获得的视觉图像，以设定的速度进行更新，以捕捉足迹的动态变化。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，在步骤 S3 中，根据以下子步骤确定足迹的方向以及内外足弓面积：

计算邻接矩阵长边与 x 轴之间的角度 R，以旋转该邻接矩阵使其平行于 x 轴；

计算邻接矩阵的垂直投影以定位前掌和后掌的位置，进而确定足迹的方向；

根据邻接矩阵对应的几何形状差异识别足迹类别是左脚印或右脚印并计算内外足弓面积。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，在步骤 S4 中，根据以下子步骤确定脚跟与前掌重心、足底重心以及足迹步长：

在邻接矩阵中脚跟和前掌的区域两个最大峰值之间寻找分割线，将整个足底压力区域分为前掌和脚跟，计算脚跟重心的坐标，表示为(x_h, y_h)：

$$x_h = \frac{\sum_{(x,y)\in\Omega_h} x \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in\Omega_h} p(x,y)}$$

$$y_h = \frac{\sum_{(x,y)\in\Omega_h} y \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in\Omega_h} p(x,y)}$$

计算脚跟区域重心的坐标表示为(x_b, y_b)：

$$x_b = \frac{\sum_{(x,y)\in\Omega_b} x \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in\Omega_b} p(x,y)}$$

$$y_b = \frac{\sum_{(x,y)\in\Omega_b} y \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in\Omega_b} p(x,y)}$$

计算足迹重心的坐标表示为(x_c, y_c)：

$$x_c = \frac{\sum_{(x,y)\in\Omega_c} x \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in\Omega_c} p(x,y)}$$

$$y_c = \frac{\sum_{(x,y)\in\Omega_c} y \cdot p(x,y)}{\sum_{(x,y)\in\Omega_c} p(x,y)}$$

通过计算两个相邻的邻接矩阵的重心距离来确定两个连续足迹的步长，表示为：

$$L_s = \sqrt{(x_{c+1} - x_c)^2 + (y_{c+1} - y_c)^2}$$

其中，$p(x,y)$表示位置(x,y)处的压力，Ω_c表示足迹的面积，Ω_h表示脚跟的面积，Ω_b表示前掌的面积，L_s表示两个连续的足底压力长度，作为当前的步长；x_{c+1}和x_c表示两个连续邻接矩阵重心的水平坐标，y_{c+1}和y_c表示两个连续邻接矩阵重心的纵向坐标。

6. 根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，以邻接矩阵平行于 x 轴为参考，如果识别出内侧足弓的位置在上方，外侧足弓的位置在下方，则将足迹类别确定为右脚印；若内侧足弓的位置在下方，外侧足弓的位置在上方，则将足迹类别确定为左侧脚印。

7. 根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述内外足弓面积由邻接矩阵中脚跟和前掌区域的两个最大峰值的连线和邻接矩阵的长边构成。

8. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，步骤 S2 还包括：对于获得的邻接矩阵，过滤掉面积小于设定阈值的足底压力区域。

9. 一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，该程序被处理器执行时实现根据权利要求 1 至 8 中任一项所述方法的步骤。

10. 一种计算机设备，包括存储器和处理器，在所述存储器上存储有能够在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述程序时实现权利要求 1 至 8 中任一项所述的方法的步骤。

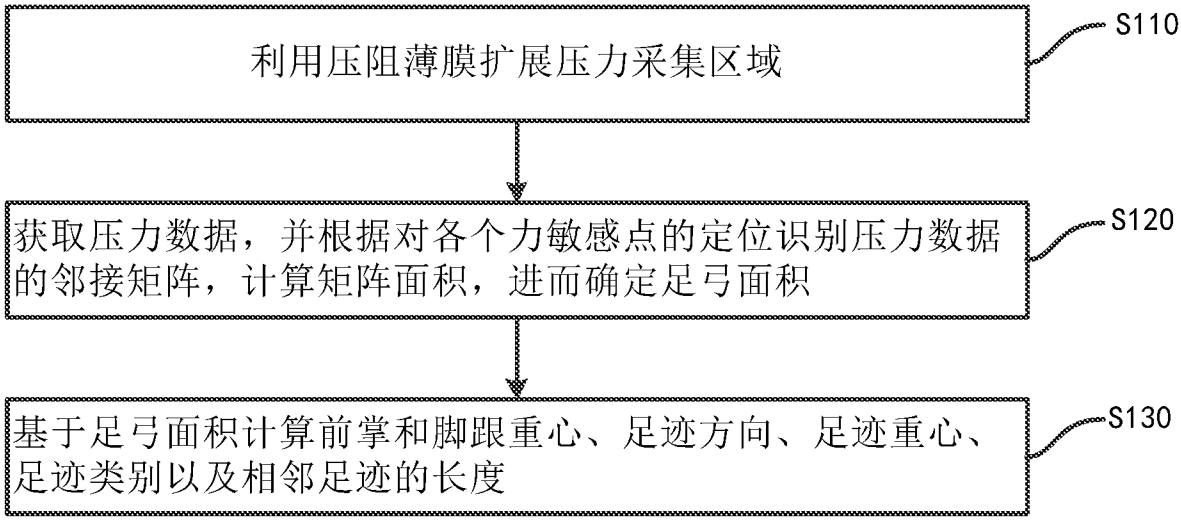

利用压阻薄膜扩展压力采集区域
S110
获取压力数据，并根据对各个力敏感点的定位识别压力数据的邻接矩阵，计算矩阵面积，进而确定足弓面积
S120
基于足弓面积计算前掌和脚跟重心、足迹方向、足迹重心、足迹类别以及相邻足迹的长度
S130

图 1

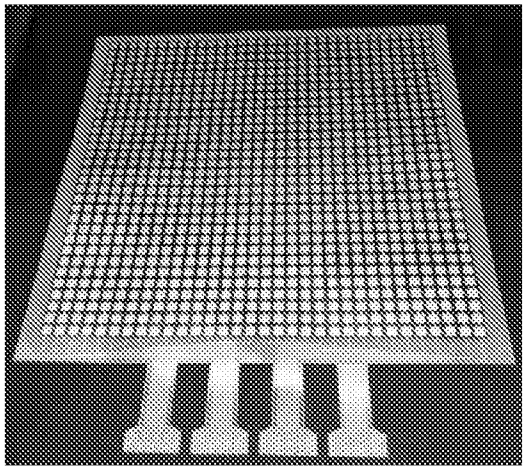


图 2

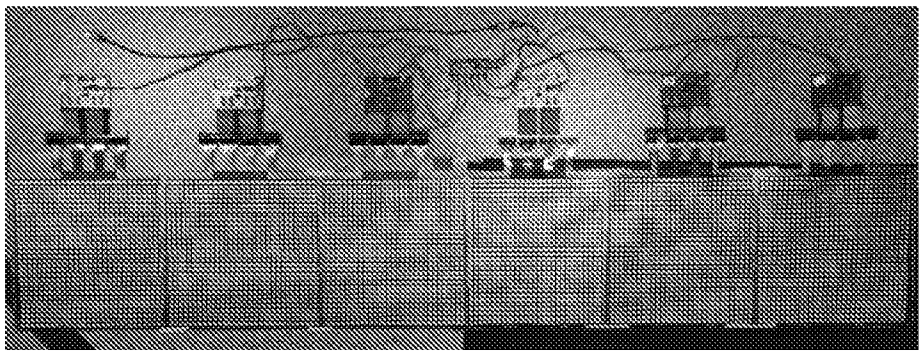


图 3

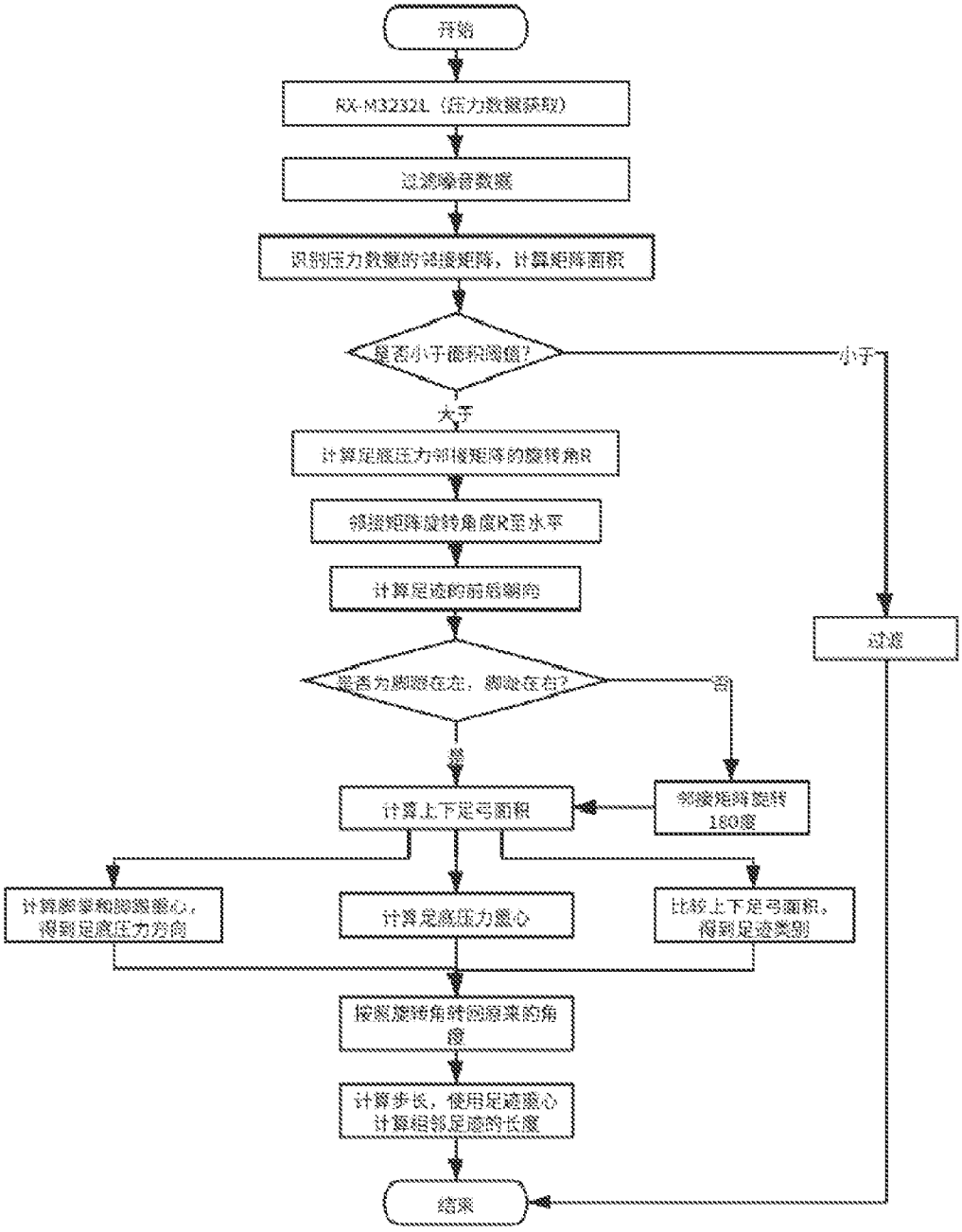

开始
RX-M3232L（压力数据获取）
过滤噪音数据
识别压力数据的连接矩阵，计算矩阵面积
是否小于面积阈值？
小于
大于
过滤
计算足底压力和模板矩阵的旋转角R
邻接矩阵旋转角度R至水平
计算足迹的前后朝向
是否为脚跟在左，脚趾在右？
否
是
计算上下足弓面积
邻接矩阵旋转180度
计算脚掌和脚跟重心，得到足底压力方向
计算足底压力重心
比较上下足弓面积，得到足迹类别
按照旋转角转回原来的角度
计算步长，使用足迹重心计算相邻足迹的长度
结束

图 4

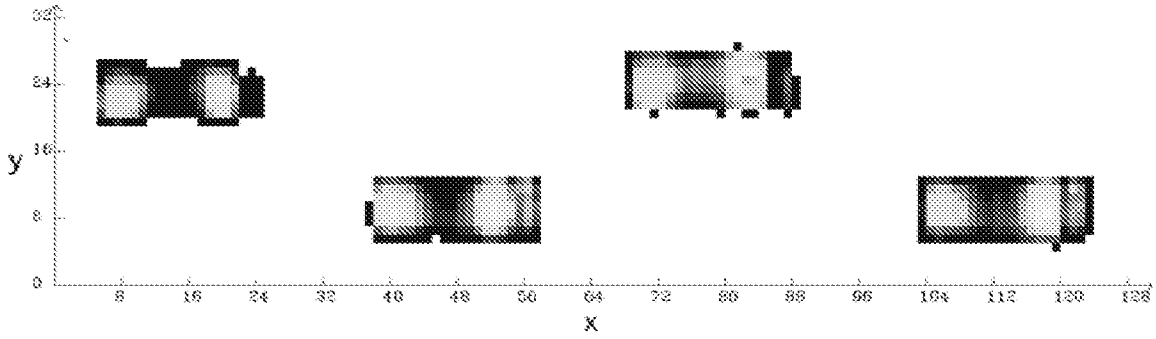

y
x
0
8
16
24
32
40
48
56
64
72
80
88
96
104
112
120
128

图 5

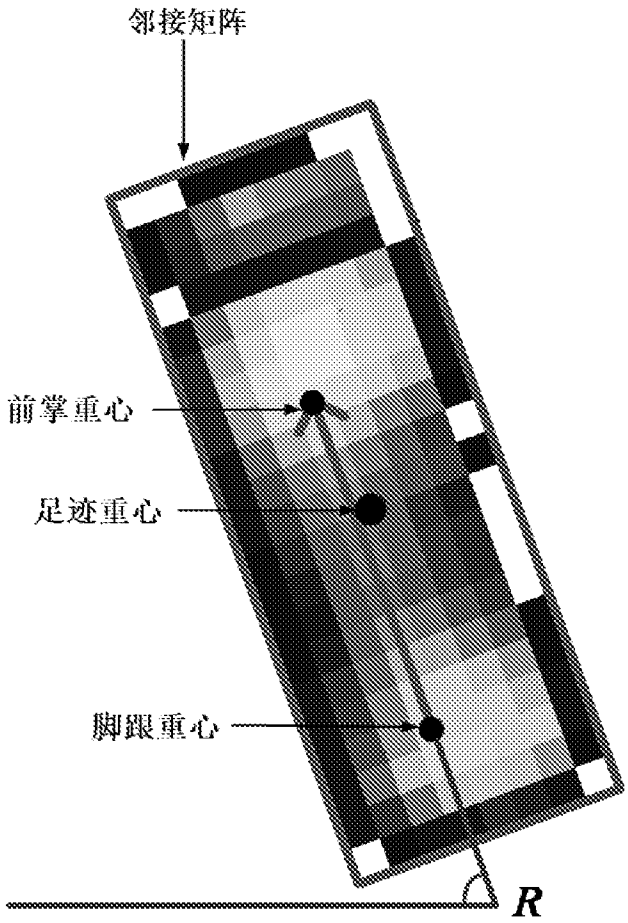

邻接矩阵
前掌重心
足迹重心
脚跟重心
R

图 6

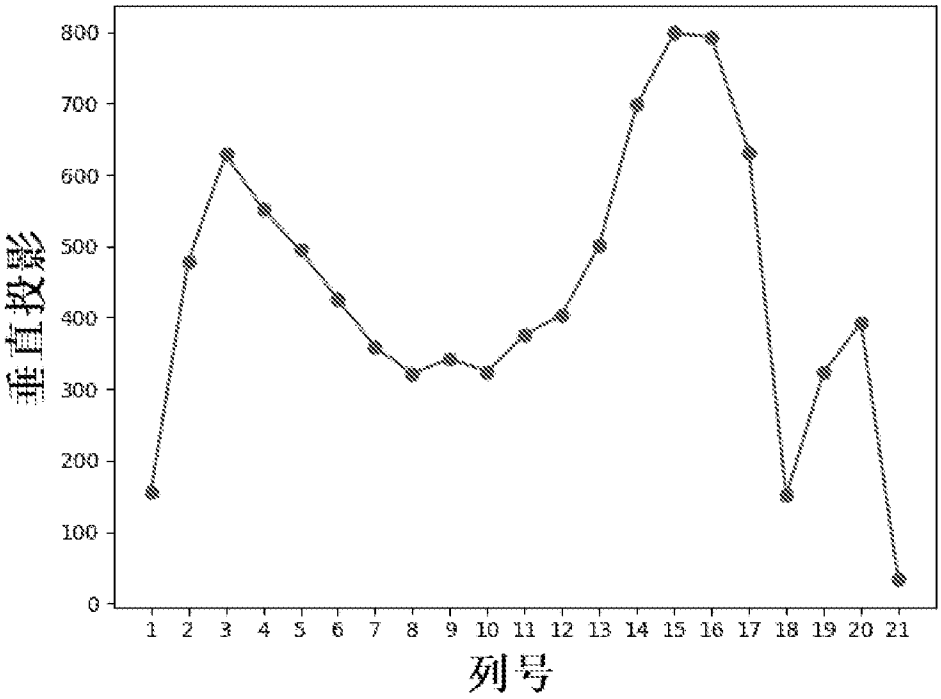

垂直投影
800
700
600
500
400
300
200
100
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
列号

图 7

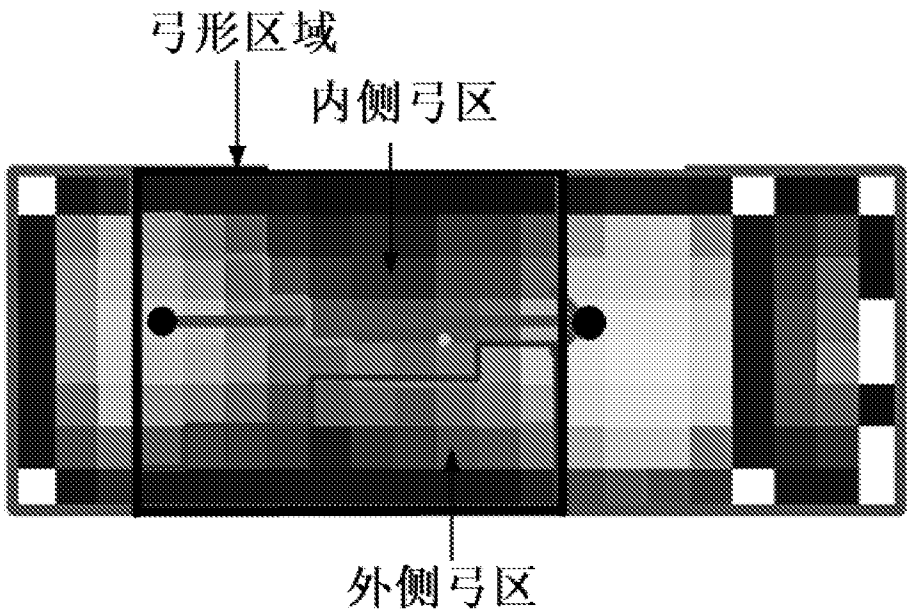

弓形区域
内侧弓区
外侧弓区

图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2021/137587

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 5/103(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B5, G06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT; CNABS; VEN; OETXT; CNKI: 中国科学院深圳先进技术研究院, 王博, 尚鹏, 刘程祥, 杨德龙, 罗照晖, 张笑千, 足底, 足部, 脚底, 行走, 步态, 峰值, 最值, 极值, 最大, 压力, 面积, foot, feet, pressure?, imag+, matrix, A61B5/1038(cpc)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 102921162 A (ANHUI BIOFORCEN INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 13 February 2013 (2013-02-13) description, paragraphs [0055]-[0193], and figures 1-14	1-10
Y	CN 104434128 A (HEFEI INSTITUTES OF PHYSICAL SCIENCE, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 25 March 2015 (2015-03-25) description, paragraphs [0007]-[0052], and figures 1-5	1-10
Y	林琴琴 等 (LIN, Qinqin et al.). "3-35岁健康男性自然行走时足底压力的特征与变化 (Characteristics and Changes of Plantar Pressure of Healthy Men Aged 3-35 Years Old During Natural Walking)" *中国组织工程研究 (Chinese Journal of Tissue Engineering Research)*, Vol. 25, No. 15, 05 November 2020 (2020-11-05), p. 2317, paragraph 1 to p. 2320, paragraph 3	1-10
A	CN 112766142 A (TIANJIN UNIVERSITY) 07 May 2021 (2021-05-07) entire document	1-10
A	CN 109443611 A (PEKING UNIVERSITY SHENZHEN GRADUATE SCHOOL) 08 March 2019 (2019-03-08) entire document	1-10

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
18 April 2022	**29 April 2022**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 111507209 A (HUBEI MINZU UNIVERSITY) 07 August 2020 (2020-08-07) entire document	1-10
A	US 2020060580 A1 (MILLER STEVEN et al.) 27 February 2020 (2020-02-27) entire document	1-10
A	US 2020375507 A1 (OCHANOMIZU UNIVERSITY) 03 December 2020 (2020-12-03) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2021/137587

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 102921162 A	13 February 2013	CN 102921162 B	21 January 2015
CN 104434128 A	25 March 2015	None	
CN 112766142 A	07 May 2021	None	
CN 109443611 A	08 March 2019	None	
CN 111507209 A	07 August 2020	None	
US 2020060580 A1	27 February 2020	CA 3057376 A1	27 September 2018
		WO 2018170600 A1	27 September 2018
		CA 3057376 C	15 September 2020
US 2020375507 A1	03 December 2020	WO 2019163714 A1	29 August 2019
		JP WO2019163714 A1	04 February 2021

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/137587

A. 主题的分类

A61B 5/103(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

A61B5， G06

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNTXT;CNABS;VEN;OETXT;CNKI:中国科学院深圳先进技术研究院,王博,尚鹏,刘程祥,杨德龙,罗照晖,张笑千,足底,足部,脚底,行走,步态,峰值,最值,极值,最大,压力,面积,foot,feet,pressure?,imag+,matrix,A61B5/1038(cpc)

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 102921162 A (安徽埃力智能科技有限公司) 2013年2月13日 (2013-02-13) 说明书第[0055]-[0193]段、附图1-14	1-10
Y	CN 104434128 A (中国科学院合肥物质科学研究院) 2015年3月25日 (2015-03-25) 说明书第[0007]-[0052]段、附图1-5	1-10
Y	林琴琴 等. "3-35岁健康男性自然行走时足底压力的特征与变化" 《中国组织工程研究》, 第25卷, 第15期, 2020年11月5日 (2020-11-05), 第2317页第1段至第2320页第3段	1-10
A	CN 112766142 A (天津大学) 2021年5月7日 (2021-05-07) 全文	1-10
A	CN 109443611 A (北京大学深圳研究生院) 2019年3月8日 (2019-03-08) 全文	1-10
A	CN 111507209 A (湖北民族大学) 2020年8月7日 (2020-08-07) 全文	1-10
A	US 2020060580 A1 (MILLER STEVEN等) 2020年2月27日 (2020-02-27) 全文	1-10

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2022年4月18日	2022年4月29日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 沈研研 电话号码 (86-10)62085634

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/137587

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2020375507 A1 (UNIV OCHANOMIZU) 2020年12月3日 (2020-12-03) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2021/137587

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102921162	A	2013年2月13日	CN	102921162	B	2015年1月21日
CN	104434128	A	2015年3月25日		无		
CN	112766142	A	2021年5月7日		无		
CN	109443611	A	2019年3月8日		无		
CN	111507209	A	2020年8月7日		无		
US	2020060580	A1	2020年2月27日	CA	3057376	A1	2018年9月27日
				WO	2018170600	A1	2018年9月27日
				CA	3057376	C	2020年9月15日
US	2020375507	A1	2020年12月3日	WO	2019163714	A1	2019年8月29日
				JP	WO2019163714	A1	2021年2月4日