



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102580300 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 07

(21) 申请号 201110363773. 2

(22) 申请日 2011. 11. 16

(30) 优先权数据

2010-259234 2010. 11. 19 JP

(73) 专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 中冈康

(74) 专利代理机构 北京金信知识产权代理有限公司

公司 11225

代理人 黄威 孙丽梅

(51) Int. Cl.

A63B 69/36 (2006. 01)

A63B 71/06 (2006. 01)

G01C 19/00 (2013. 01)

G01P 15/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101031803 A, 2007. 09. 05,

US 7587065 B2, 2009. 09. 08,

CN 101850172 A, 2010. 10. 06,

CN 101549205 A, 2009. 10. 07,

审查员 陈亮

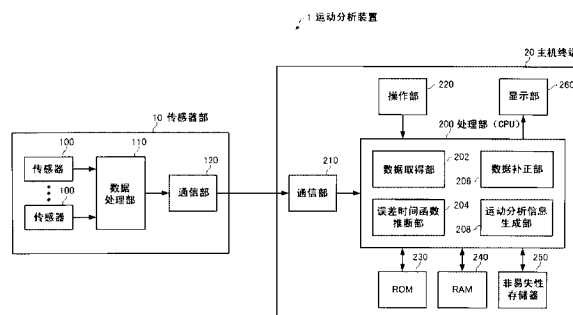
权利要求书1页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

运动分析装置

(57) 摘要

一种运动分析装置,其易操作且可得到足够精度的分析信息。传感器部(10)安装在对象物上并检测所需的物理量。数据取得部(202)取得包含该物理量的 m 阶时间积分值的真值为已知的第一期间和作为运动分析对象的第二期间在内的期间内的传感器部的输出数据。误差时间函数推断部(204)对传感器部的输出数据进行 m 阶时间积分,根据传感器部的输出数据在第一期间内的 m 阶时间积分值与真值的差而推断传感器部检测出的物理量的值相对于真值的误差的时间函数。数据补正部(206)根据误差时间函数推断部的推断结果而补正传感器部的输出数据在第二期间内的 m 阶时间积分值。运动分析信息生成部(208)根据由数据补正部补正后的第二期间内的 m 阶时间积分值而生成对象物的运动分析信息。



1. 一种运动分析装置,包括:

传感器部,其被安装在对象物上,并对物理量进行检测;

数据取得部,其取得包含所述物理量的 m 阶时间积分值的真值为已知的第一期间和作为运动分析的对象的第二期间在内的期间内的、所述传感器部的输出数据,其中, m 为 1 以上的整数;

运动分析信息生成部,

所述运动分析装置的特征在于,还包括:

误差时间函数推断部,其对所述输出数据进行 m 阶时间积分,并根据所述输出数据在所述第一期间内的 m 阶时间积分值与所述真值之间的差,而对由所述传感器部检测出的所述物理量的值相对于所述真值的误差的时间函数进行推断;

数据补正部,其根据所述误差时间函数推断部的推断结果,而对所述输出数据在所述第二期间内的 m 阶时间积分值进行补正;

所述运动分析信息生成部根据由所述数据补正部补正后的所述第二期间内的 m 阶时间积分值,而生成所述对象物的运动分析信息。

2. 如权利要求 1 所述的运动分析装置,其中,

所述误差时间函数推断部通过利用多项式而对所述误差的时间函数进行近似,并对该多项式的系数进行计算,从而对所述误差的时间函数进行推断。

3. 如权利要求 1 所述的运动分析装置,其中,

所述第一期间被设定有多个,

所述误差时间函数推断部根据所述数据取得部在多个所述第一期间中的每一个期间内所取得的数据,而对所述误差的时间函数进行推断。

4. 如权利要求 3 所述的运动分析装置,其中,

多个所述第一期间中的至少一个为所述第二期间开始前的期间,

多个所述第一期间中的至少一个为所述第二期间结束后的期间。

5. 如权利要求 1 所述的运动分析装置,其中,

所述第一期间为所述对象物处于静止中的期间。

6. 如权利要求 1 所述的运动分析装置,其中,

所述传感器部将加速度以及角速度中的至少一个作为所述物理量而进行检测。

运动分析装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种运动分析装置。

背景技术

[0002] 目前在各种各样的领域中需要对人或物体的运动进行分析的装置。例如,通过对网球拍或高尔夫球杆的挥动轨道、棒球的投球或击球的姿势等进行分析,且根据分析结果而明确改善点,从而能够与竞技力的提高紧密关联。

[0003] 目前,作为实用的运动分析装置,一般使用如下装置,即,该装置通过由红外线照相机等对带有标识的被测定物进行连续拍摄,并使用所拍摄的连续图像而计算出标识的移动轨迹,从而对运动进行分析。

[0004] 然而,在这种运动分析装置中,由于需要用于对图像进行拍摄的红外线照相机,因此存在装置大型化且难以操作的问题。例如,当想要从多个角度对网球练习中的图像进行拍摄时,需要按照想要进行拍摄的角度而移动红外线照相机的位置、或改变运动员的朝向。

[0005] 对此,近年来,提出了一种将小型的惯性传感器安装在被测定物上,而根据传感器的输出数据对被测定物的运动进行分析的装置,由于其不需要红外线照相机,因此具有容易操作的优点。例如,通过对加速度传感器检测出的加速度值 $a(t)$,分别进行下式 (1) 以及下式 (2) 所示的时间积分处理,从而能够计算出被测定物的速度 $v(t)$ 以及位置 $p(t)$ 。

[0006] 式 1

$$[0007] \quad v(T) = \int_0^T a(t)dt + v_0 \cdots (1)$$

[0008] 式 2

$$[0009] \quad p(T) = \int_0^T v(t)dt + p_0$$

$$[0010] \quad = \int_0^T \int_0^t a(\tau)d\tau dt + v_0 T + p_0 \cdots (2)$$

[0011] 但是,通常在惯性传感器的输出值中,除了想要进行观测的值以外还包含误差。因此,例如,加速度传感器的输出数据 $x(t)$ 能够使用加速度值 $a(t)$ 和误差 $\varepsilon(t)$ 而表示为下式 (3)。

[0012] 式 3

$$[0013] \quad x(t) = a(t) + \varepsilon(t) \cdots (3)$$

[0014] 因此,当根据加速度传感器的输出数据 $x(t)$,而分别进行下式 (4) 以及下式 (5) 所示的时间积分处理,从而计算出被测定物的速度 $v(t)$ 以及位置 $p(t)$ 时,由于误差 $\varepsilon(t)$ 也将被时间积分,因此随着时间 t 的经过,速度 $v(t)$ 以及位置 $p(t)$ 的误差将急速地增大。

[0015] 式 4

$$[0016] \quad \int_0^T x(t)dt = v(T) + \int_0^T \varepsilon(t)dt + c_1 \cdots (4)$$

[0017] 式 5

$$[0018] \quad \int_0^T \int_0^t x(\tau)d\tau dt = p(T) + \int_0^T \int_0^t \varepsilon(\tau)d\tau dt + c_1 T + c_2 \cdots (5)$$

[0019] 总之,现状为,在使用了惯性传感器的运动分析装置中,实际上传感器自身的特性并不充分,当对惯性传感器的输出数据进行积分处理,从而计算出姿态、速度、位置等时,由于传感器的输出中所包含的误差将通过积分处理而急速地增大,因此得不到足够的分析(测定)性能。

[0020] 在先技术文献

[0021] 专利文献

[0022] 专利文献 1 :日本特开 2004-24488 号公报

发明内容

[0023] 本发明是鉴于上述的问题点而实施的,根据本发明的几种方式,能够提供一种容易操作且可得到足够精度的分析信息的运动分析装置。

[0024] (1) 本发明为一种如下的运动分析装置,所述运动分析装置包括:传感器部,其被安装在对象物上,并对物理量进行检测;数据取得部,其取得包含所述物理量的 m 阶时间积分值(m 为 1 以上的整数)的真值为已知的第一期间和作为运动分析的对象的第二期间在内的期间内的、所述传感器部的输出数据;误差时间函数推断部,其对所述输出数据进行 m 阶时间积分,并根据所述输出数据在所述第一期间内的 m 阶时间积分值与所述真值之间的差,而对由所述传感器部检测出的所述物理量的值相对于所述真值的误差的时间函数进行推断;数据补正部,其根据所述误差时间函数推断部的推断结果,而对所述输出数据在所述第二期间内的 m 阶时间积分值进行补正;运动分析信息生成部,其根据由所述数据补正部补正后的所述第二期间内的 m 阶时间积分值,而生成所述对象物的运动分析信息。

[0025] 成为分析的对象的对象物既可以是人,也可以是人以外的物体(例如运动器械或车辆等)。

[0026] 用于分析对象物的运动的信息可以为,例如,对象物的轨迹的信息或对象物的速度变化的信息等。

[0027] m 阶时间积分既可以为连续时间系统中的 m 阶时间积分,也可以为离散时间系统中的 m 阶时间积分(m 阶时间差分)。

[0028] 根据本发明,通过将传感器部的检测误差作为时间函数而进行推断,并使用推断出的误差的时间函数,对检测对象的物理量的 m 阶时间积分值进行补正,从而能够生成具有足够精度的分析信息。而且,根据本发明,由于使用传感器以取代红外线照相机,因此能够采用简便的结构,且操作也比较容易。

[0029] (2) 在该运动分析装置中,也可以采用如下方式,即,所述误差时间函数推断部通过利用多项式而对所述误差的时间函数进行近似,并对该多项式的系数进行计算,从而对所述误差的时间函数进行推断。

[0030] 根据该方式,能够通过比较简单的运算,而以足够的精度对检测误差的时间函数进行推断。而且,多项式的次数只需根据运动分析所要求的精度而决定即可。

[0031] 而且,例如,所述误差时间函数推断部可以对超定方程组进行求解,从而计算出所述多项式的系数,其中,在所述超定方程组中,设定所述数据取得部所取得的数据在所述第一期间内的 m 阶时间积分值相对于真值的误差近似于,所述多项式在所述第一期间内的 m 阶时间积分值。

[0032] 以此种方式,通过在第一期间中取得更多的数据而建立超定方程组,从而能够提高检测误差的时间函数的推断精度。而且,也可以通过例如最小二乘法对超定方程组进行求解。

[0033] (3) 在该运动分析装置中,也可以采用如下方式,即,所述第一期间被设定有多个,所述误差时间函数推断部根据所述数据取得部在多个所述第一期间中的每一个期间内所取得的数据,而对所述误差的时间函数进行推断。

[0034] 通过以此方式设置多个第一期间,从而能够进一步提高对检测误差的时间函数的推断精度。

[0035] (4) 在该运动分析装置中,也可以采用如下方式,即,多个所述第一期间中的至少一个为所述第二期间开始前的期间,多个所述第一期间中的至少一个为所述第二期间结束后的期间。

[0036] 根据该方式,由于能够进一步提高作为运动分析的对象的第二期间内的、检测误差的时间函数的推断精度,因此能够生成精度更高的运动分析信息。

[0037] (5) 在该运动分析装置中,也可以采用如下方式,即,所述第一期间为所述对象物处于静止中的期间。

[0038] 根据该方式,能够使例如第一期间内的对象物的速度、姿态、位置成为已知。

[0039] (6) 在该运动分析装置中,也可以采用如下方式,即,所述传感器部将加速度以及角速度中的至少一个作为所述物理量而进行检测。

附图说明

[0040] 图 1 为表示本实施方式的运动分析装置的结构图。

[0041] 图 2 为表示通过处理部而实施的运动分析信息的生成处理的一个示例的流程图。

[0042] 图 3 为表示数据取得期间、第一期间以及第二期间的示例的图。

[0043] 图 4 为误差时间函数的推断处理以及数据补正处理的流程图。

[0044] 图 5 为本实验例中的传感器部的概要结构图。

[0045] 图 6 为表示本实验例中的传感器部的安装示例的图。

[0046] 图 7 为用于对本实验例中的被实验者的动作顺序进行说明的图。

[0047] 图 8 为用于对本实验例中的坐标系的定义进行说明的图。

[0048] 图 9 为本实验例中的处理部的处理的流程图。

[0049] 图 10 为表示本实验例中的轨迹数据的图。

[0050] 图 11 为对本实施方式的方法和现有方法的两个轨迹数据进行比较的图。

具体实施方式

[0051] 以下,利用附图对本发明的优选实施方式进行详细说明。并且,以下所说明的实施方式并不是对权利要求范围内所记载的本发明的内容进行不恰当限定的实施方式。而且,在下文中所说明的全部结构并不一定为本发明的必要结构要素。

[0052] 图 1 为表示本实施方式的运动分析装置的结构图。

[0053] 本实施方式的运动分析装置 1 被构成为,包括一个或多个传感器部 10、和主机终端 20,且对对象物的运动进行分析。传感器部 10 和主机终端 20 之间既可以被无线连接,也

可以被有线连接。

[0054] 传感器部 10 被安装在运动分析的对象物上,并且实施对所需的物理量进行检测的处理。在本实施方式中,传感器部 10 被构成为,包括一个或多个传感器 100、数据处理部 110、通信部 120。

[0055] 传感器 100 为,对所需的物理量进行检测,并输出与检测出的物理量(例如,加速度、角速度、速度、角加速度等)的大小相对应的信号(数据)的传感器。传感器 100 也可以为,例如惯性传感器。

[0056] 数据处理部 110 实施如下的处理,即,使各个传感器 100 的输出数据同步,并将该数据设为与时刻信息等进行了组合的信息组而向通信部 120 输出。而且,数据处理部 110 也可以实施传感器 100 的偏压补正或温度补正的处理。另外,也可以将偏压补正或温度补正的功能编入传感器 100 中。

[0057] 通信部 120 实施向主机终端 20 发送从数据处理部 110 接受的信息组数据的处理。

[0058] 主机终端 20 被构成为,包括:处理部(CPU)200、通信部 210、操作部 220、ROM230、RAM240、非易失性存储器 250、显示部 260。

[0059] 通信部 210 实施如下处理,即,接收由传感器部 10 发送的数据,并向处理部 200 发送。

[0060] 操作部 220 实施如下处理,即,取得来自使用者的操作数据,并向处理部 200 发送。操作部 220 为,例如触摸屏型显示器、按钮、键、话筒等。

[0061] ROM230 存储用于处理部 200 进行各种计算处理和控制处理的程序、用于实现应用功能的各种程序和数据等。

[0062] RAM240 被用作处理部 200 的作业区域,并且为对从 ROM230 中读取的程序或数据、从操作部 220 输出的数据、处理部 200 根据各种程序而执行的运算结果等进行临时存储的存储部。

[0063] 非易失性存储器 250 为,对通过处理部 200 的处理而生成的数据中的、需要长期保存的数据进行记录的记录部。

[0064] 显示部 260 将处理部 200 的处理结果显示为文字、图表或其他的图像。显示部 260 为,例如 CRT、LCD、触摸屏型显示器、HMD(头戴式显示器)等。而且,也可以由一个触摸屏型显示器来实现操作部 220 和显示部 260 的功能。

[0065] 处理部 200 根据被存储于 ROM240 中的程序,而实施对于从传感器部 10 经由通信部 210 而接收的数据的、各种计算处理或各种控制处理(对于显示部 260 的显示控制等)。

[0066] 尤其是,在本实施方式中,处理部 200 作为在下文中进行说明的数据取得部 202、误差时间函数推断部 204、数据补正部 206、运动分析信息生成部 208 而发挥功能。

[0067] 数据取得部 202 实施如下处理,即,在包含作为传感器 100 的检测对象的物理量的、 m 阶时间积分值的真值为已知的第一期间和作为运动分析的对象的第二期间在内的期间内,取得传感器部 10 的输出数据。所取得的数据例如被存储在 RAM240 中。

[0068] 误差时间函数推断部 204 实施如下处理,即,对传感器部 10 的输出数据进行 m 阶时间积分,并根据该输出数据在第一期间内的 m 阶时间积分值与真值之间的差,而对由传感器部 10 检测出的物理量的值相对于真值的误差的时间函数(以下,称为“误差时间函数”)进行推断。

[0069] 数据补正部 206 实施如下处理,即,根据误差时间函数推断部 204 的推断结果,而对传感器部 10 的输出数据在第二期间内的 m 阶时间积分值进行补正。

[0070] 运动分析信息生成部 208 进行如下处理,即,根据由数据补正部 206 补正后的第二期间内的 m 阶时间积分值,而生成用于分析对象物的运动的信息(以下,称为“运动分析信息”)。所生成的运动分析信息既可以以文字、图表、图等方式被显示在显示部 260 上,也可以向主机终端 20 的外部输出。

[0071] 图 2 为表示通过处理部 200 而实施的运动分析信息的生成处理的一个示例的流程图。

[0072] 首先,处理部 200 作为数据取得部 202,而在数据取得期间结束之前(步骤 S20 中的否)周期性地从传感器部 10 取得新的数据(步骤 S10)。

[0073] 接下来,当数据取得期间结束时(步骤 S20 中的是),处理部 200 对数据进行 m 阶积分(步骤 S21),并作为误差时间函数推断部 204,而根据在步骤 S10 中所取得的数据在第一期内的 m 阶时间积分值与真值之间的差,而对误差时间函数进行推断(步骤 S30)。

[0074] 接下来,处理部 200 作为数据补正部 206,而根据在步骤 S30 中推断出的时间函数,对在步骤 S10 中所取得的数据在第二期间内的 m 阶时间积分值进行补正(步骤 S40)。

[0075] 最后,处理部 200 作为运动分析信息生成部 208,而根据在步骤 S40 中进行了补正的第二期间内的 m 阶时间积分值,生成运动分析信息(步骤 S50)。

[0076] 图 3(A) 以及图 3(B) 为,表示数据取得期间、第一期以及第二期间的示例的图。

[0077] 在图 3(A) 的示例中,在时刻 $t_2 \sim t_3$ 间设置有分析对象物进行运动的第二期间,并且在第二期间的前后设置有时刻 $t_0 \sim t_1$ 和 $t_4 \sim t_5$ 这两个在时间上分离的第一期间。而且,时刻 $t_0 \sim t_5$ 成为数据取得期间,在该数据取得期间内,通过主机终端 20,而以固定的周期取样(取得)传感器部 10 的输出数据。由于在两个第一期期间内,作为传感器部 10 的检测对象的物理量的 m 阶积分值的真值为已知,因此可知传感器部 10 的输出数据的 m 阶时间积分值与真值之间的差。根据该差的信息,能够在整个数据取得期间内推断出相对于传感器部 10 的输出数据的误差时间函数。而且,虽然可以不设置第一个第一期期间(时刻 $t_0 \sim t_1$)和第二个第一期期间(时刻 $t_4 \sim t_5$)中的某一个,但为了提高误差时间函数的推断精度,优选在第二期间的前后设置第一期期间。总之,由于为了提高误差时间函数的推断精度,以反映由电源变动或温度变动等而引起的随机的误差的变动的方式,对误差时间函数进行推断的方法是有效的,因此优选设置在时间上分离的多个第一期期间。尤其是,由于通过在第二期间的前后设置第一期期间,从而提高了在第二期间内的推断误差的精度,因此能够提高第二期间内的数据的补正精度。

[0078] 此外,在图 3(B) 的示例中,在时刻 $t_2 \sim t_3$ 和时刻 $t_4 \sim t_5$ 间设置有分析对象物进行运动的第二期间,且在第一个第二期间(时刻 $t_2 \sim t_3$)之前设置有第一个第一期期间(时刻 $t_0 \sim t_1$),在两个第二期间之间设置有第二个第一期期间(时刻 $t_3 \sim t_4$),在第二个第二期间之后设置有第三个第一期期间(时刻 $t_6 \sim t_7$)。而且,时刻 $t_0 \sim t_7$ 成为数据取得期间。由于在三个第一期期间内,作为传感器部 10 的检测对象的物理量的 m 阶积分值的真值为已知,因此可知传感器部 10 的输出数据的 m 阶时间积分值与真值之间的差。根据该差的信息,能够在整个数据取得期间内推断出相对于传感器部 10 的输出数据的误差时间函数。而且,在图 3(B) 的示例中,由于设置有两个成为运动分析的对象的第二期间,因此能够通过

以夹着两个第二期间的方式在时间上分离的位置处设置三个第一期间,从而提高在两个第二期间内的误差时间函数的推断精度。即,通过在成为运动分析的对象各个第二期间的前后设置第一期间,从而即使在隔开时间而反复进行分析对象的运动的情况下,也能够提高各个第二期间内的数据的补正精度。

[0079] 误差时间函数的推断以及数据补正

[0080] 接下来,对误差时间函数的推断以及数据补正的方法的一个示例进行详细说明。

[0081] 首先,当将处理部 200 中的成为计算对象的物理量在时刻 t 的值设定为 $F_m(t)$,且传感器部 10 对其 m 次导函数的值 $f(t)$ 进行测定时,下式 (6) 成立。

[0082] 式 6

$$[0083] \quad \frac{d^m F_m(t)}{dt^m} = f(t) \cdots (6)$$

[0084] 在此,当传感器部 10 的输出数据 $x(t)$ 包含误差 $\varepsilon(t)$ 时,则 $x(t)$ 表示为下式 (7)。

[0085] 式 7

$$[0086] \quad x(t) = f(t) + \varepsilon(t) \cdots (7)$$

[0087] 如下式 (8) 所示,考虑利用 n 次多项式 $g(t)$ 来对误差时间函数 $\varepsilon(t)$ 进行近似。

[0088] 式 8

$$[0089] \quad \varepsilon(t) \approx g(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \cdots + a_n t^n = \sum_{k=0}^n a_k t^k \cdots (8)$$

[0090] 在作为对传感器部 10 的输出数据 $x(t)$ 进行了 m 阶时间积分的结果的 $X_m(t)$ 中,也在成为计算对象的物理量 $F_m(t)$ 之外还包含由于 $\varepsilon(t)$ 和初始状态误差(积分常数)而产生的误差成分 $E_m(t)$ 。因此, $X_m(t)$ 表示为下式 (9)。

[0091] 式 9

$$[0092] \quad X_m(t) = F_m(t) + E_m(t) \cdots (9)$$

$$[0093] \quad \begin{cases} \frac{d^m X_m(t)}{dt^m} = x(t) \\ \frac{d^m E_m(t)}{dt^m} = \varepsilon(t) \end{cases}$$

[0094] 当考虑到该误差成分 $E_m(t)$ 也能够利用多项式 $G_m(t)$ 来进行近似时,下式 (10)、(11) 成立,其中,在多项式 $G_m(t)$ 中,相对于 $g(t)$ 的 m 阶时间积分而考虑了积分常数(初始状态误差) c_k 。

[0095] 式 10

$$[0096] \quad \frac{d^m G_m(t)}{dt^m} = g(t) \cdots (10)$$

[0097] 式 11

$$[0098] \quad E_m(t) \approx G_m(t) = \sum_{k=0}^n \frac{k!}{(k+m)!} a_k t^{k+m} + \sum_{k=0}^{m-1} \frac{c_{m-k}}{k!} t^k \cdots (11)$$

[0099] 因此,当已知某一时刻 t_r 的物理量 $F_m(t_r)$ 时,下式 (12) 的关系成立。

[0100] 式 12

$$[0101] \quad X_m(t_r) - F_m(t_r) \approx G_m(t_r) = \sum_{k=0}^n \frac{k!}{(k+m)!} a_k t_r^{k+m} + \sum_{k=0}^{m-1} \frac{c_{m-k}}{k!} t_r^k \cdots (12)$$

[0102] 通过仅准备成为计算对象的物理量的值已知的时刻的数量的该关系式 (12), 从而对于近似多项式 (11) 的系数 a_k 以及 c_k , 能够建立如下的超定方程组 (13)。

$$[0103] \begin{bmatrix} X_m(t_{r1}) - F_m(t_{r1}) \\ X_m(t_{r2}) - F_m(t_{r2}) \\ X_m(t_{r3}) - F_m(t_{r3}) \\ \vdots \end{bmatrix} \approx U \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} + V \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{bmatrix} \cdots (13) \text{式 13}$$

$$[0104] \begin{cases} U = \{u_{ij}\}, & u_{ij} = \frac{j!}{(m+j)!} t_{ri}^{m+j} \\ V = \{v_{ij}\}, & v_{ij} = \frac{1}{(m-j)!} t_{ri}^{m-j} \end{cases}$$

[0105] 根据该超定方程组 (13), 可通过例如最小二乘法来求出近似多项式 (11) 的系数 a_k 以及 c_k 。

[0106] 式 14

[0107] $M = [U \ V] \cdots (14)$

[0108] 式 15

$$[0109] \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{bmatrix} = (M^T M)^{-1} M^T \begin{bmatrix} X_m(t_{r1}) - F_m(t_{r1}) \\ X_m(t_{r2}) - F_m(t_{r2}) \\ X_m(t_{r3}) - F_m(t_{r3}) \\ \vdots \end{bmatrix} \cdots (15)$$

[0110] 由于使用该系数 a_k 以及 c_k 而决定了近似多项式 $g(t)$ 以及 $G_m(t)$, 因此能够将物理量 $F_m(t)$ 和其 m 次导函数的值 $f(t)$ 分别推断为下式 (16)、(17)。

[0111] 式 16

[0112] $F_m(t) \approx X_m(t) - G_m(t) \cdots (16)$

[0113] 式 17

[0114] $f(t) \approx x(t) - g(t) \cdots (17)$

[0115] 在图 4 中图示了基于以上所说明的方法的误差时间函数的推断处理以及数据补正处理的流程。

[0116] 首先, 对所取得的数据 $x(t)$ 进行 m 阶时间积分, 从而计算出 $X_m(t)$ (步骤 S32)。

[0117] 接下来, 利用多项式 $g(t)$ 而对误差时间函数 $\varepsilon(t)$ 进行近似, 且使用第一期间内的各个时刻 t_r 的 m 阶时间积分值 $X_m(t_r)$ 和真值 $F_m(t_r)$ 而生成超定方程组 (13) (步骤 S34)。

[0118] 接下来, 对在步骤 S34 中所生成的超定方程组 (13) 进行求解, 从而计算出 $g(t)$ 的系数值 a_k 、 c_k (步骤 S36)。

[0119] 接下来,使用在步骤 S36 中计算出的系数值 a_k 、 c_k ,而通过式 (11) 来计算 $G_m(t)$ (步骤 S38)。

[0120] 最后,使用在步骤 S32 中计算出的 $X_m(t)$ 和在步骤 S36 中计算出的 $G_m(t)$,而通过式 (16) 来计算 $F_m(t)$ (步骤 S42)。

[0121] 另外,步骤 S32 ~ S38 的处理对应于图 2 中的流程图的步骤 S30 的处理,步骤 S42 的处理对应于图 2 中的流程图的步骤 S40 的处理。

[0122] 如以上所说明的那样,根据本实施方式的运动分析装置,能够通过推断传感器部 10 的输出数据的误差时间函数而对传感器部 10 的输出数据的 m 阶时间积分值进行补正,从而生成具有足够精度的运动分析信息。而且,根据本实施方式,由于使用传感器以取代红外线照相机,因此能够实现具有简单的结构且容易操作的运动分析装置。

[0123] 此外,根据本实施方式,由于利用多项式而对误差时间函数进行近似,因此能够通过例如式 (15) 这种比较简单的运算,从而以足够的精度而对误差时间函数进行推断。而且,通过在第一期间内取得更多的数据而建立超定方程组 (13),从而能够提高误差时间函数的推断精度。

[0124] 运动分析的实验例

[0125] 接下来,对应用了本实施方式的运动分析方法的实验例进行说明。在本实验例中,如图 6 所示,将以图 5 所示的方式而构成的传感器部 10 安装在作为分析对象物的网球拍的握柄末端,而显示被实验者握住该网球拍击打网球时的、网球拍的顶端 302 和握柄末端 304 的轨迹 (运动分析信息的一个示例)。

[0126] 如图 5 所示,本实验例中所使用的传感器部 10 具有 6 轴运动传感器以作为图 1 所示的传感器 100,其中,所述 6 轴运动传感器由对 x 轴、 y 轴、 z 轴方向上的加速度进行检测的 3 轴加速度传感器 102x、102y、102z (惯性传感器的一个示例),和对 x 轴、 y 轴、 z 轴方向上的角速度进行检测的 3 轴陀螺传感器 (角速度传感器) 104x、104y、104z (惯性传感器的一个示例) 组成。 x 轴、 y 轴、 z 轴可根据例如右手坐标系来决定。

[0127] 数据处理部 110 除了实施使 6 轴运动传感器的输出数据同步并向通信部 120 输出的处理之外,还实施对由于 6 轴运动传感器的安装角度的偏差而产生的检测误差进行补正的处理等。

[0128] 通信部 120 实施如下处理,即,向主机终端 10 发送从数据处理部 110 接收到的数据。

[0129] 例如,如图 6 所示,以 x 轴与网面 (击球面) 垂直的方式,将该传感器部 10 安装在网球拍 300 的握柄末端 304 上。安装传感器部 10 的朝向可以为任意的朝向。例如,如图 6 所示,以 x 轴方向成为从纸面纵深侧朝向近前侧的垂线方向、 y 轴方向成为水平右方、 z 轴方向成为垂直上方的方式,来安装传感器部 10。

[0130] 在该实验例中,使被实验者实施固定的动作顺序。使用图 7 对该动作顺序进行说明。首先,将网球拍 300 置于预先决定的第一位置处,并使其至少静止一秒左右 (时刻 $t_0 \sim t_1$)。接下来,被实验者握住网球拍 300 并使其向第二位置移动,以进行挥拍的准备 (时刻 $t_1 \sim t_2$)。接下来,朝向被实验者发球,并且被实验者用网球拍 300 来击打网球 (时刻 $t_2 \sim t_3$)。接下来,挥拍结束之后,被实验者握住网球拍 300 并使其向第一位置移动,从而将网球拍置于第一位置处 (时刻 $t_3 \sim t_4$)。最后,使网球拍 300 至少静止一秒左右 (时刻 $t_4 \sim$

t5)。时刻 $t_0 \sim t_5$ 的期间相当于数据取得期间,例如以每秒 500 次取样的取样率 (0.5kHz) 而对传感器部 10 的输出数据进行取样。而且,时刻 $t_0 \sim t_1$ 的期间和时刻 $t_4 \sim t_5$ 的期间相当于传感器部 10 的位置为已知的第一期间。此外,时刻 $t_2 \sim t_3$ 的期间相当于成为运动分析的对象的第二期间。

[0131] 而且,在该实验例中,如图 8 所示,以网球拍 300 的顶端 302 为最大速度时(网球 300 碰到网球拍 300 的网面之前的瞬间)的传感器部 10 的位置为原点,以顶端 302 的最大速度的方向为 X 轴,而利用右手坐标系来决定 Y 轴、Z 轴。而且,将第二期间(时刻 $t_2 \sim t_3$ 的期间)内的、XYZ 坐标系中的网球拍 300 的顶端 302 和握柄末端 304 的轨迹图表化而进行表示。

[0132] 图 9 为,从处理部 200 开始对传感器部 10 的输出数据的取得起,到对第二期间内的、XYZ 坐标系中的网球拍 300 的顶端 302 和握柄末端 304 的轨迹进行图表表示为止的处理的流程图。

[0133] 首先,在数据取得期间结束之前(步骤 S120 中的否),周期性地从传感器部 10 取得新的 3 轴加速度数据和 3 轴角速度数据(步骤 S110)。

[0134] 接下来,当数据取得期间结束时(步骤 S120 的是),对在步骤 S110 中于两个第一期间(时刻 $t_0 \sim t_1$ 的期间和时刻 $t_4 \sim t_5$ 的期间)内所取得的 3 轴角速度数据相对于真值(0)的误差进行计算,并对 3 轴陀螺传感器的输出误差(角速度误差)的时间函数进行推断(步骤 S130)。例如,可以利用多项式来对角速度误差的时间函数进行近似从而进行推断。

[0135] 接下来,使用在步骤 S130 中推断出的时间函数,将在步骤 S110 中所取得的 3 轴角速度数据的误差去除再进行积分,从而计算出传感器部 10 在 XYZ 坐标系中的姿态(步骤 S140)。

[0136] 接下来,使用在步骤 S140 中计算出的、传感器部 10 在 XYZ 坐标系中的姿态,而将在步骤 S110 中所取得的 3 轴加速度数据(xyz 坐标系中的加速度矢量)坐标转换为 XYZ 坐标系中的加速度矢量(步骤 S150)。

[0137] 接下来,对通过步骤 S150 中的坐标转换而得到的 XYZ 坐标系中的加速度矢量进行 2 阶积分,从而计算出数据取得期间(时刻 $t_0 \sim t_5$ 的期间)内的、XYZ 坐标系中的传感器部 10 的位置(步骤 S160)。

[0138] 接下来,对两个第一期间(时刻 $t_0 \sim t_1$ 的期间和时刻 $t_4 \sim t_5$ 的期间)内的、XYZ 坐标系中的传感器部 10 的位置相对于真值(第一位置)的误差进行计算,并对 XYZ 坐标系中的加速度矢量在 X 轴、Y 轴、Z 轴的各个方向上的加速度误差的时间函数进行推断(步骤 S170)。

[0139] 接下来,使用在步骤 S170 中推断出的加速度误差的时间函数,将 XYZ 坐标系中的加速度矢量的误差去除再进行 2 阶积分,从而计算出传感器部 10 在 XYZ 坐标系中的位置(网球拍 300 的握柄末端 304 的位置)(步骤 S180)。

[0140] 接下来,从传感器部 10 到顶端的距离和方向被预先计测而设为已知,从而根据在步骤 S160 中计算出的传感器部 10 在 XYZ 坐标系中的位置、和在步骤 S140 中计算出的传感器部 10 在 XYZ 坐标系中的姿态,而计算出网球拍 300 的顶端 302 在 XYZ 坐标系中的位置(步骤 S190)。

[0141] 最后,抽取成为运动分析的对象的第二期间(时刻 $t_2 \sim t_3$ 的期间)内的、网球拍 300 的顶端 302 和握柄末端 304 在 XYZ 坐标系中的位置坐标,而进行图表表示(步骤 S200)。

[0142] 图 10(A) 以及图 10(B) 为表示第二期间(时刻 $t_2 \sim t_3$ 的期间)内的网球拍 300 的顶端 302 和握柄末端 304 的轨迹的一个示例的图。图 10(A) 为 X-Y 平面上的轨迹,图 10(B) 为 X-Z 平面上的轨迹。在图 10(A) 中,由 L1 所示的曲线为顶端 302 的轨迹,而由 L2 所示的曲线为握柄末端 304 的轨迹。而且,在图 10(B) 中,由 L3 所示的曲线为顶端 302 的轨迹,而由 L4 所示的曲线为握柄末端 304 的轨迹。图 10(A) 以及图 10(B) 的轨迹符合实际的挥拍的轨迹。

[0143] 为了进行比较,在图 11(A) 以及图 11(B) 中各自图示了,将应用了在未对 3 轴加速度数据的误差进行补正的条件下进行积分的现有方法时的轨迹,与图 10(A) 以及图 10(B) 中的轨迹重叠表示的图。在图 11(A) 中,轨迹图 G1 为图 10(A) 中的轨迹图(应用了本实施方式的方法时的 X-Y 平面上的轨迹图),轨迹图 G2 为应用了现有方法时的 X-Y 平面上的轨迹图。此外,在图 11(B) 中,轨迹图 G3 为图 10(B) 中的轨迹图(应用了本实施方式的方法时的 X-Z 平面上的轨迹图),轨迹图 G4 为应用了现有方法时的 X-Z 平面上的轨迹图。从图 11(A) 以及图 11(B) 中可明确以下内容,即,在应用了现有方法时的轨迹图 G2 和 G4 中,X 轴方向的位移为大约 4m,从而与实际的挥拍的轨迹不一致。根据该结果可知,通过应用本实施方式的方法,大幅度地提高了挥拍的轨迹的精度。

[0144] 本发明并不限于本实施方式,其能够在本发明的技术思想范围内进行各种变形并实施。

[0145] 例如,虽然在本实施方式中,以对将加速度数据进行了 2 阶时间积分后的位置数据进行补正的情况为例进行了说明,但是,作为其他的示例,也可以对将加速度数据进行了 1 阶时间积分后的速度数据进行补正。此时,例如,如果将第一期间设为对象物的静止期间,则只需在第一期间内将速度作为零而对加速度误差的时间函数进行推断即可。通过以此种方式对速度进行补正,从而能够精度良好地对例如网球拍、高尔夫球杆、球棒等的挥动速度进行计测。而且,作为其他的示例,也可以对将陀螺传感器输出的角速度数据进行了 1 阶时间积分后的、绕一个轴的角度(旋转角度)的数据进行补正。此时,例如,如果将第一期间设为对象物的静止期间,则只需在第一期间内将旋转角度作为零而对角速度误差的时间函数进行推断即可。通过以此种方式对旋转角度进行补正,从而能够精度良好地对例如球刚刚碰到网球拍或高尔夫球杆等之后的(刚碰撞之后)、击球面的旋转角度进行计测。

[0146] 本发明包括与实施方式中所说明的结构实质性相同的结构(例如,功能、方法以及结果相同的结构,或者目的以及效果相同的结构)。而且,本发明包括对实施方式中所说明的结构的非本质的部分进行置换而得到的结构。而且,本发明包括能够起到与实施方式中所说明的结构相同的作用效果的结构,或者能够达成相同的结构的目的。而且,本发明包括在实施方式中所说明的结构中附加了公知技术的结构。

[0147] 符号说明

[0148] 1 运动分析装置;

[0149] 10 传感器部;

[0150] 20 主机终端;

[0151] 100 传感器;

- [0152] 102x、102y、102z 加速度传感器；
- [0153] 104x、104y、104z 陀螺传感器；
- [0154] 110 数据处理部；
- [0155] 120 通信部；
- [0156] 200 处理部（CPU）；
- [0157] 202 数据取得部；
- [0158] 204 误差时间函数推断部；
- [0159] 206 数据补正部；
- [0160] 208 运动分析信息生成部；
- [0161] 220 操作部；
- [0162] 210 通信部；
- [0163] 230 ROM；
- [0164] 240 RAM；
- [0165] 250 非易失性存储器；
- [0166] 260 显示部；
- [0167] 300 网球拍；
- [0168] 302 顶端；
- [0169] 304 握柄末端；
- [0170] 400 网球。

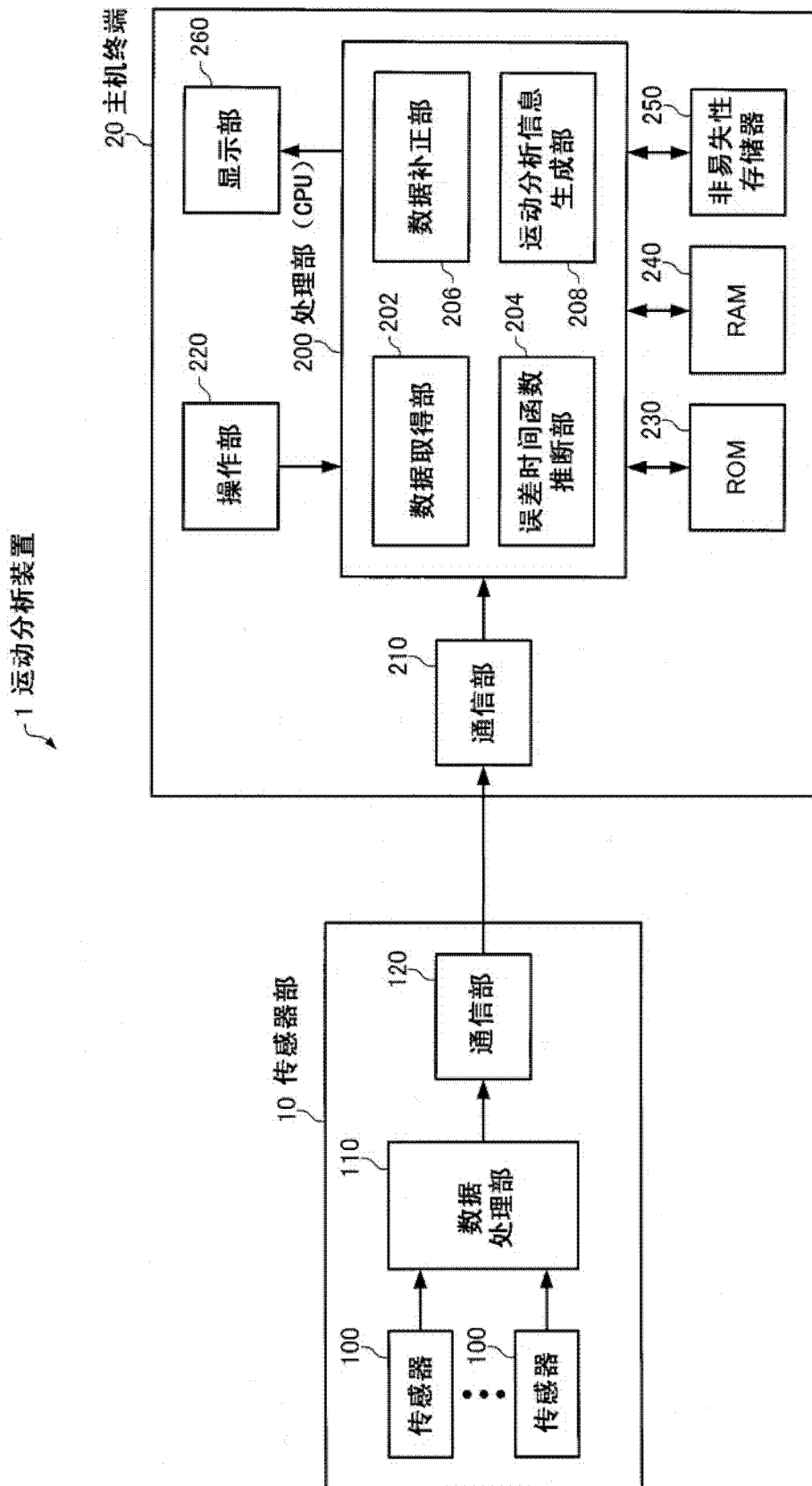


图 1

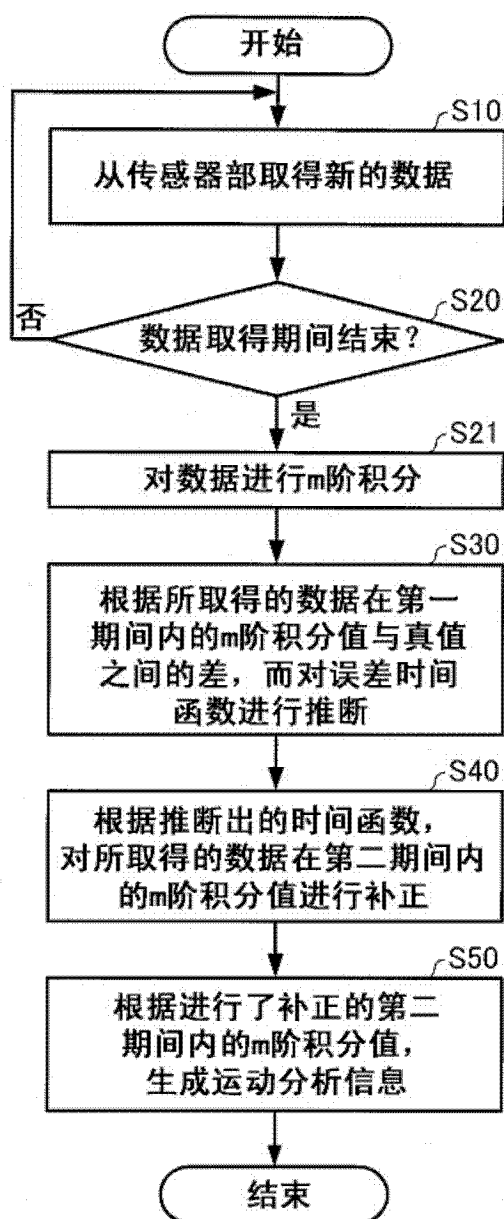


图 2

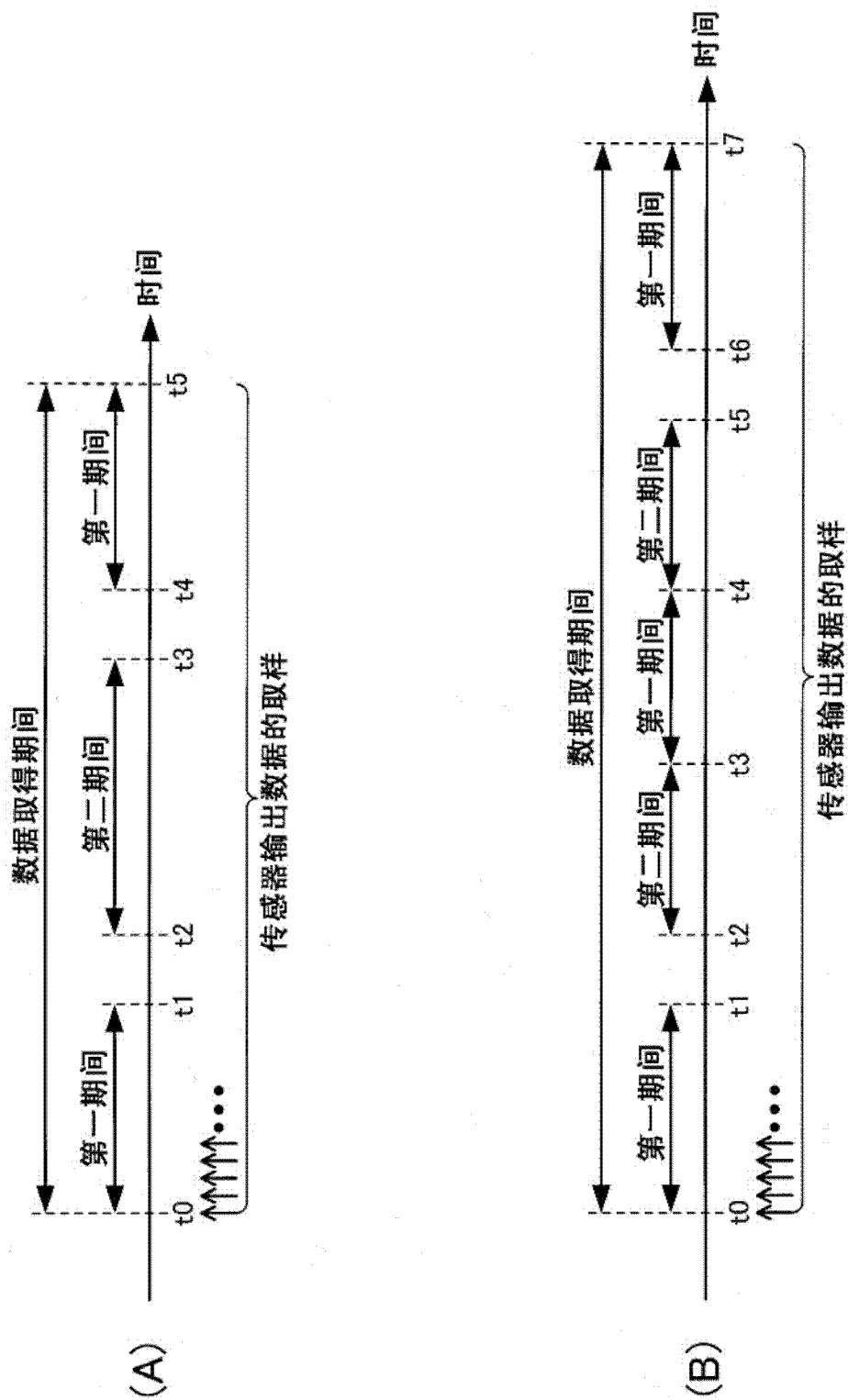


图 3

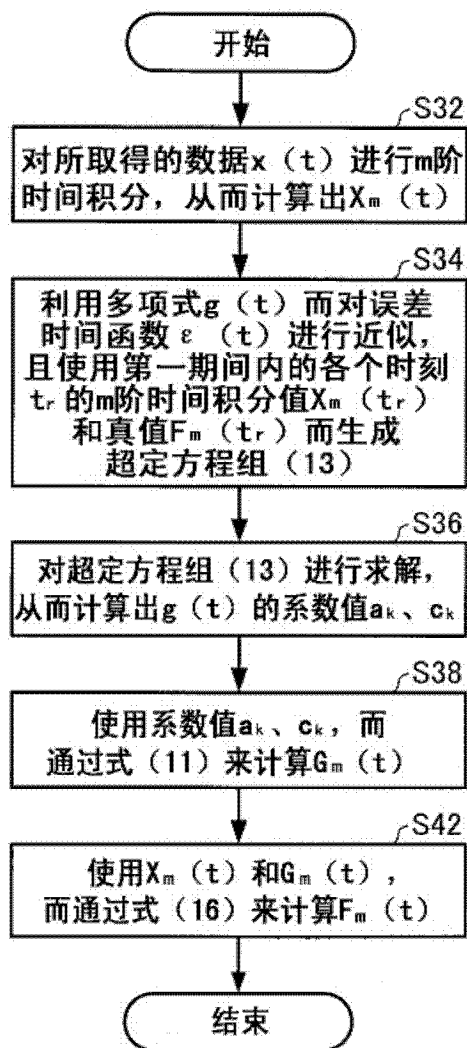


图 4

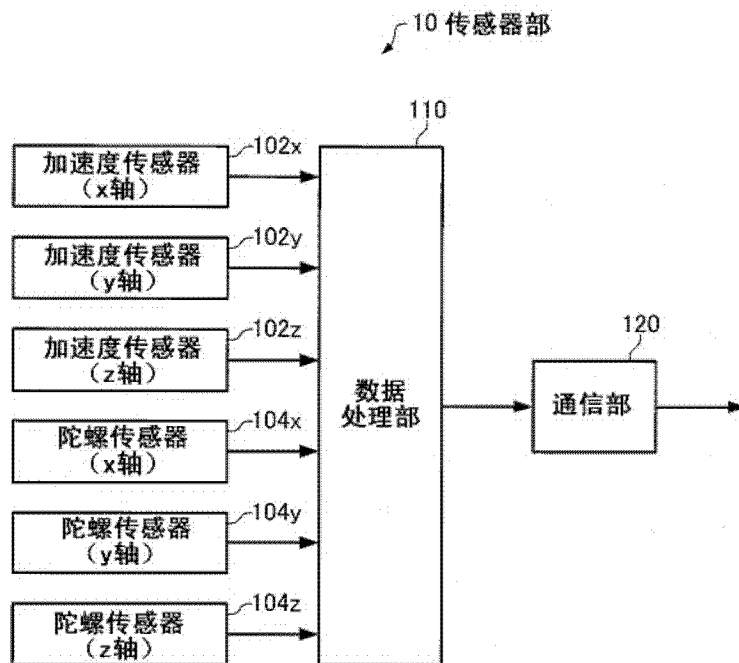


图 5

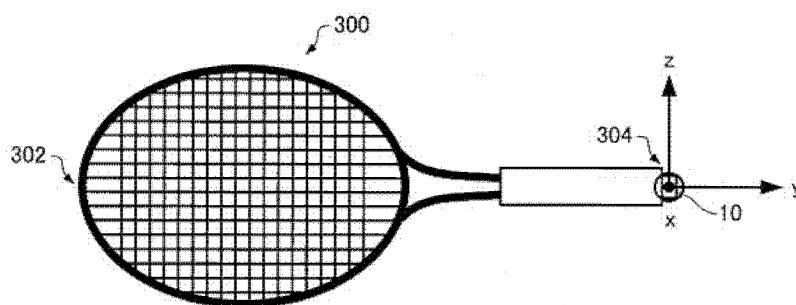


图 6

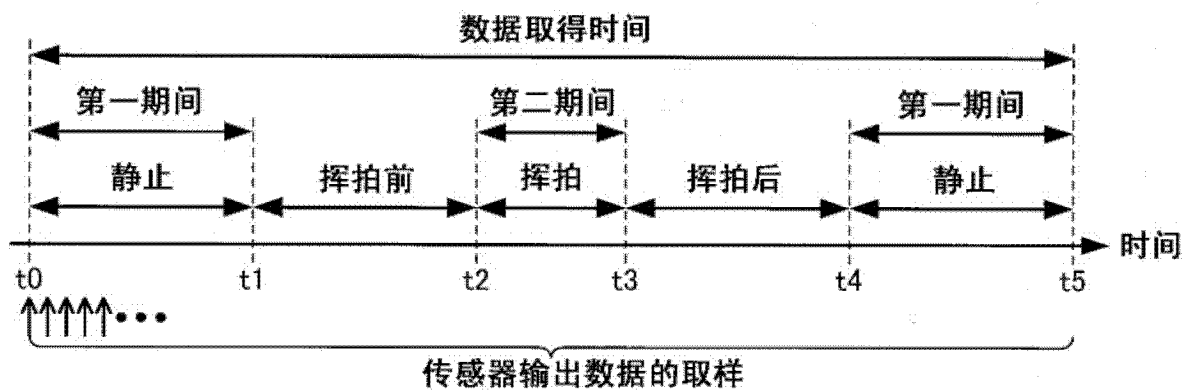


图 7

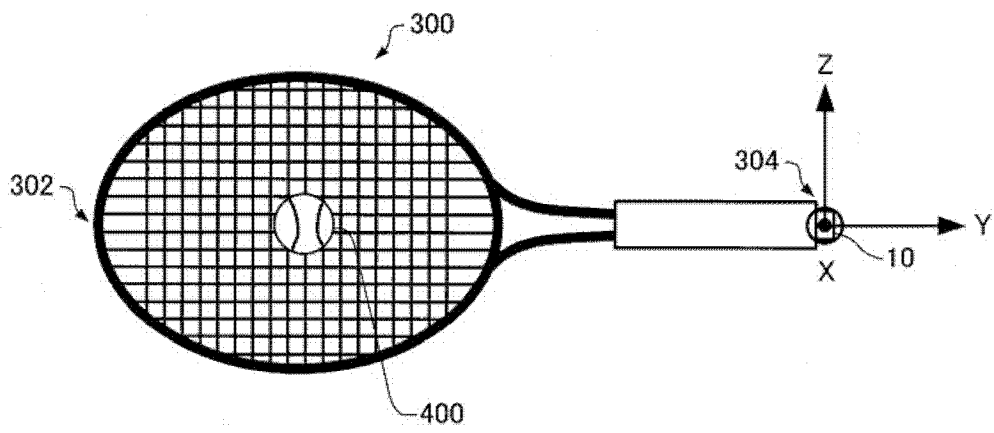


图 8

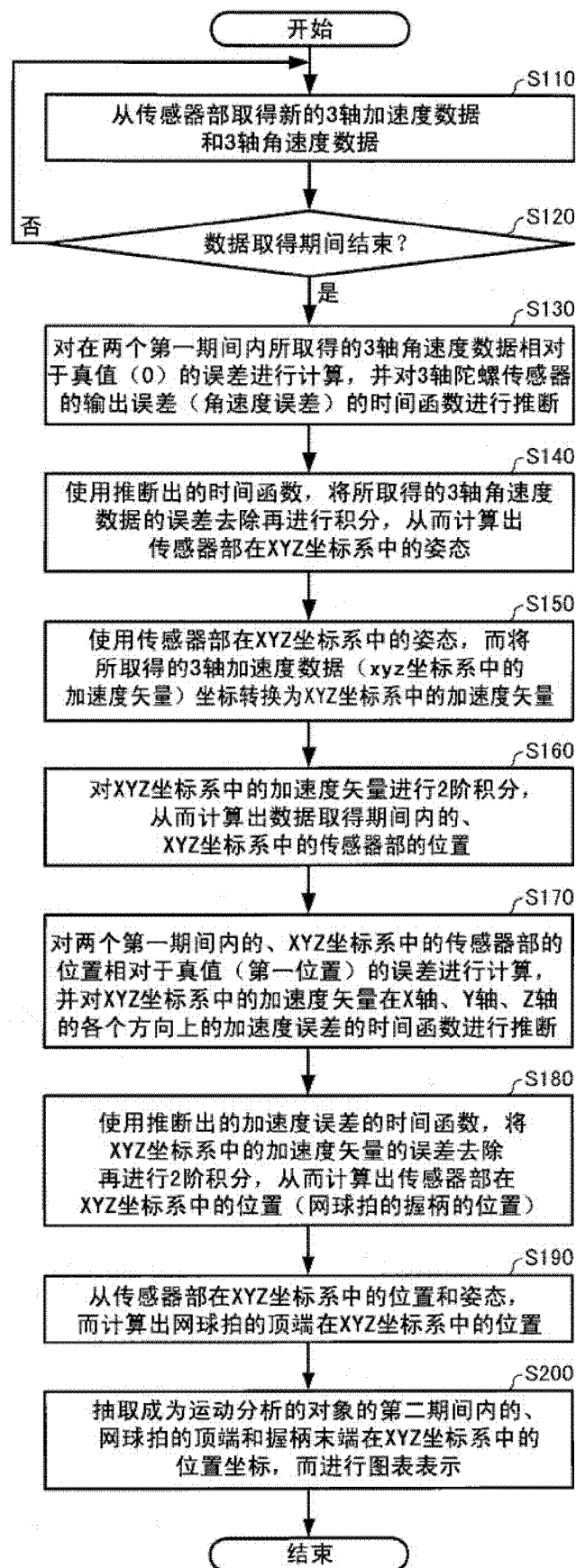


图 9

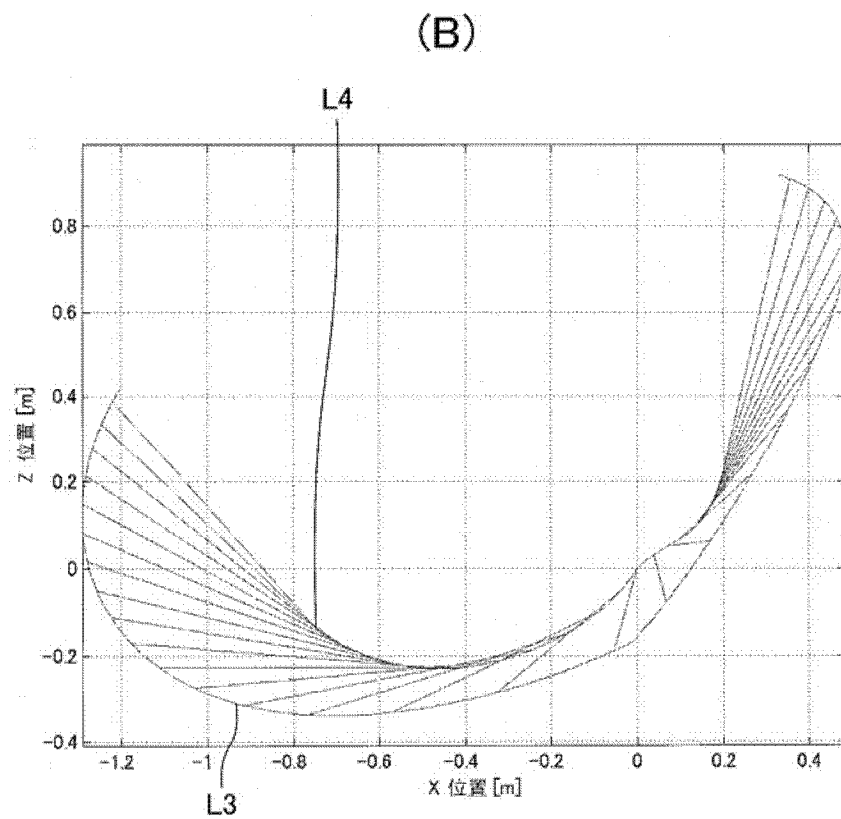
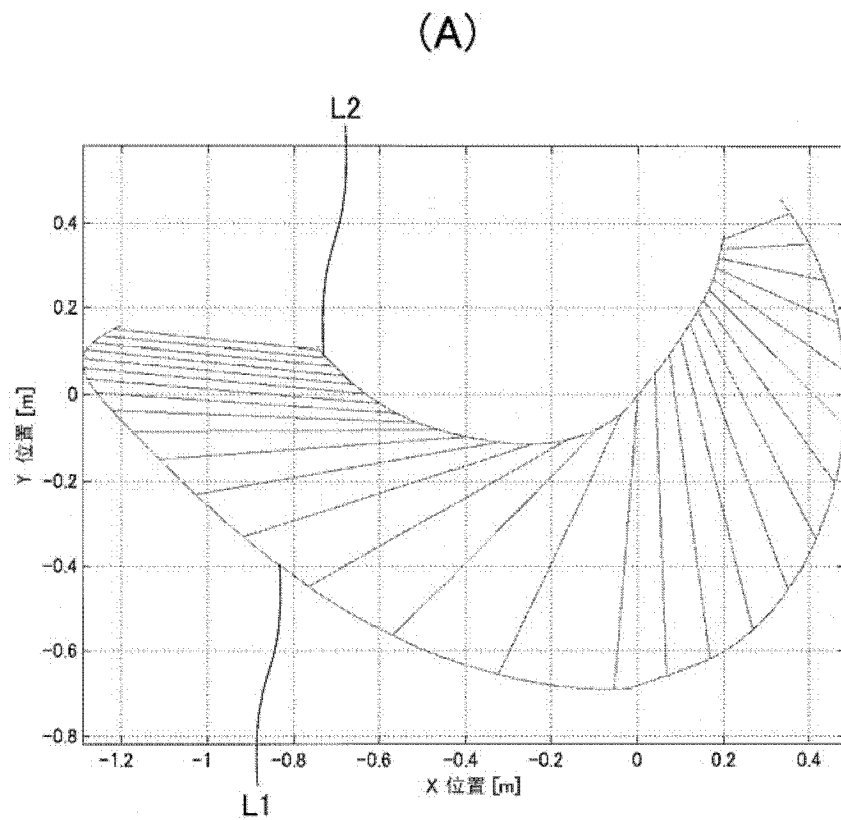


图 10

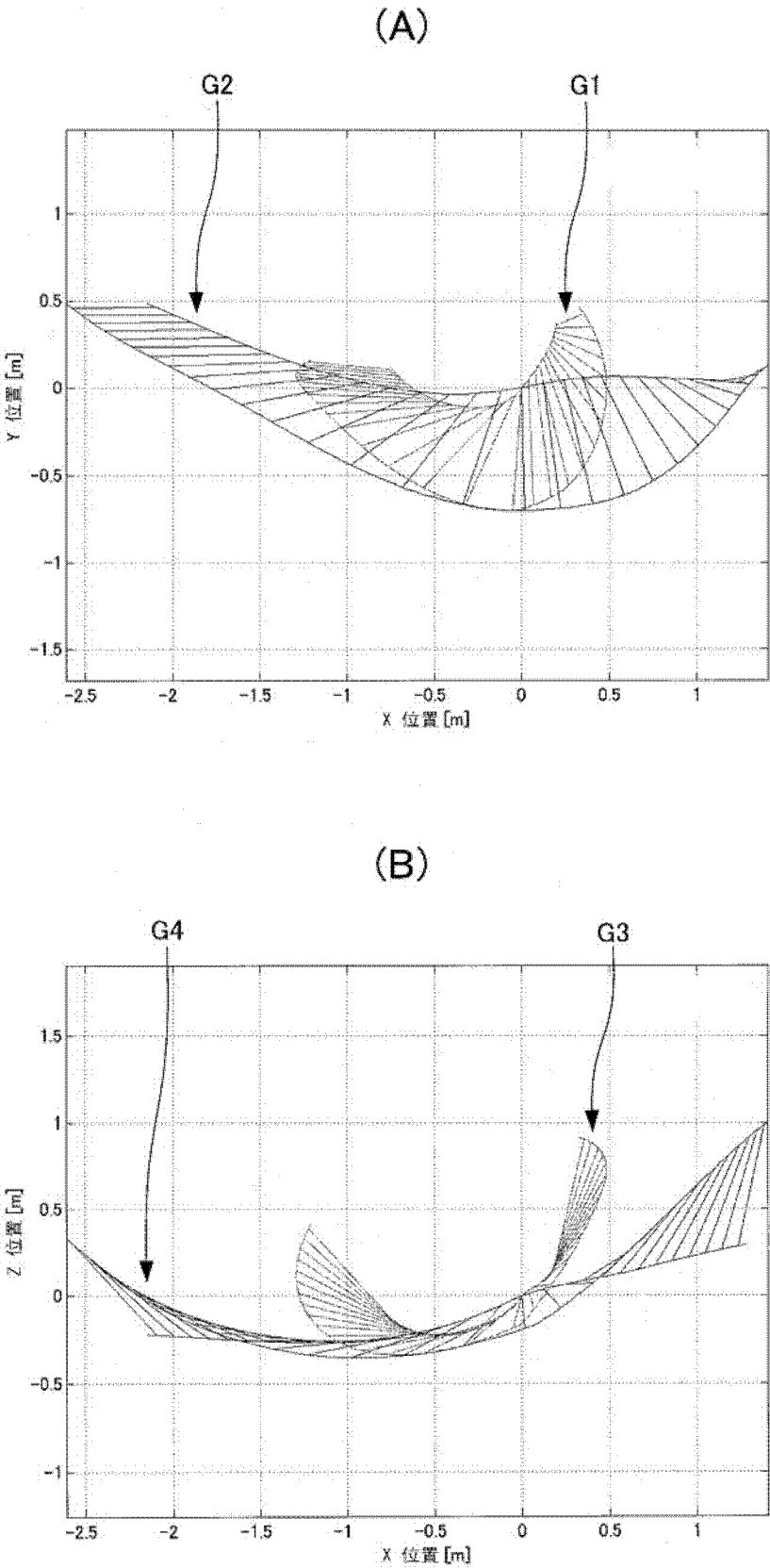


图 11