

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B62K 11/00 (2006.01)

B60W 10/08 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610128070.0

[45] 授权公告日 2009年5月6日

[11] 授权公告号 CN 100484823C

[22] 申请日 2006.9.1

[21] 申请号 200610128070.0

[30] 优先权

[32] 2005.9.2 [33] JP [31] 2005-254857

[73] 专利权人 丰田自动车株式会社

地址 日本爱知县丰田市

[72] 发明人 不破稔夫

[56] 参考文献

CN2592496Y 2003.12.17

US5701965A 1997.12.30

US2002/0121394A1 2002.9.5

US2003/0146025A1 2003.8.7

US5248007A 1993.9.28

审查员 轩云龙

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责  
任公司

代理人 代易宁 车文

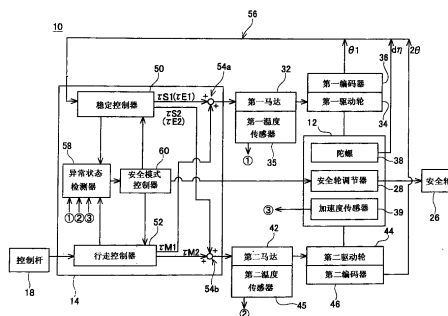
权利要求书2页 说明书21页 附图5页

[54] 发明名称

具有轮子的行走机器

[57] 摘要

本发明提供一种在发生异常状态的情况下能够防止主体翻转的行走机器。该行走机器基本上用同轴设置的驱动轮支撑其主体，并且在保持主体平衡的同时能够驱动。机器的控制模块包括计算用于保持主体平衡的第一转矩指令的稳定控制器和计算用于驱动该行走机器进行行走的第二转矩指令的行走控制器。第一转矩指令和第二转矩指令之和输入马达中。当异常状态检测器检测到异常状态的发生时，安全模式控制器阻止行走控制器输出第二转矩指令。这样当检测到异常状态的发生时，使马达能够输出的所有转矩用于保持主体平衡。因此即便当检测到异常状态的发生时，也能保持主体的平衡。或者，即使不能保持平衡，也能够在此之前延长一段时间，在这段时间，例如，通过从主体拉出安全轮能够防止主体翻倒。



1. 一种具有轮子的行走机器包括：  
主体；  
公用旋转轴，该公用旋转轴位于主体的设定预定位置；  
驱动轮，该驱动轮以与上述公用旋转轴同轴的方式设置在该公用旋转轴上，其中该主体能够绕该公用旋转轴倾斜；  
用于对该驱动轮施加转矩的马达；  
第一控制器，其向该马达输出第一转矩指令以将该主体的倾斜角保持在预定角度范围内，其中当该主体的倾斜角保持在预定角度范围内时，该主体的重心高于该公用旋转轴；  
第二控制器，其向该马达输出第二转矩指令以沿着想要的路径驱动该机器进行行走；  
异常状态检测器，用于检测关于机器行走的异常状态的发生；  
安全模式控制器，用于在异常状态检测器检测到异常状态的发生时，防止第二控制器输出第二转矩指令。
2. 如权利要求1所述的机器，还包括：  
相对于该主体能够上下移动的支撑部件，其中当该支撑部件移动到下位置并与地面接触时该支撑部件防止该主体下落。
3. 如权利要求2所述的机器，其中当检测到异常状态的发生时该支撑部件以第一速度移动到下位置，并且当该机器停止行走时该支撑部件以第二速度移动到下位置，该第一速度大于该第二速度。
4. 如权利要求2所述的机器，其中在该支撑部件移动到下位置之后，该第一控制器改变该转矩指令，从第一转矩指令改变到第三转矩指令，以将该主体倾斜到该支撑部件接近地面的方向。
5. 如权利要求1所述的机器，其中，当该驱动轮的旋转速度、该

---

主体的倾斜角度和该第一转矩指令和第二转矩指令的大小至少其中之一在预定范围之外时，该异常状态检测器判断异常状态已经发生。

---

## 具有轮子的行走机器

### 技术领域

本发明涉及一种行走机器，其具有同轴地设置在主体上实际上支撑它的轮子。

### 背景技术

已经研制出具有同轴地设置在主体上实际上支撑它的轮子的行走机器。这种行走机器的主体绕轮子的旋转轴是可倾斜的，并且当该主体的重心高于该旋转轴时该行走机器行走。因此，该行走机器需要控制该同轴设置的轮子，以便将该主体的倾斜角保持在预定的角度范围。具体说，为了将主体的倾斜角保持在预定的角度范围内，从马达对轮子施加适当的转矩。以下，这种行走机器可以简称为机器。将行走机器主体的倾斜角保持在预定的角度范围内可以简称为“保持主体平衡”。此外，被给予转矩的轮子可以称之为驱动轮。

该机器沿着想要的路径移动是重要的。为此，在该机器中，不仅用于保持该主体平衡而且还用于驱动该机器沿着想要的路径行走的转矩从马达产生以驱动轮子。因此，该机器在保持主体平衡的同时能行走到想要的目的地。

由于该机器在由同轴设置的轮子实际上支撑的同时能够行走，该机器总体上具有结构紧凑和转弯半径小的优点。该机器便于在狭窄的空间内运送行李或人。

### 发明内容

如果与机器的行走有关的异常状态发生了，那么机器可能不保持主体平衡。因此，在机器中需要处理与行走相关的异常状态的技术。

出版物（PCT国际公告WO2002/030730号）公开了一种当检测到异常状态时在主体跌倒之前减小主体速度的行走机器。

在该公告中公开的行走机器当检测到异常状态时逐渐减小机器的目标速度。最后，目标速度将趋向于零。换句话说，如果检测到异常状态的发生，该机器将变慢并停止。公开在该公告中的行走机器具有两个并联的、基本相同的控制系统，以便当检测到异常性的发生时可靠地控制该机器。如果异常状态发生在任何一个控制系统中，正常地起作用的另一个控制系统能够控制该机器，以便使其变慢并停止。换句话说，公开在该公告中的行走机器具有所谓的冗余控制系统。在该控制系统的任何一个中发生异常状态的情况下，通过利用正常地起作用的另一个控制系统，使该机器能够逐渐减速并停止。

在上述公告中公开的技术中，如果在控制系统的其中一个中发生异常状态，通过利用另一个控制系统，该机器能够逐渐减速并停止。但是，如果异常状态发生在马达（例如电动马达）或向马达供给电流的放大器中，供给的电流不能按照想要的方式驱动机器。在异常状态发生在马达或马达放大器中的情况下，即便冗余控制系统也难以在保持主体平衡的同时使机器减速。

因此，需要一种技术，用于即便异常状态发生在冗余设置的两个控制系统之外的任何部分，例如马达或马达放大器等，在没有使行走机器逐渐减速的控制时，也能防止倾翻。

对于行走机器，为了在保持主体平衡的同时沿着想要的路径驱动，控制器需要向马达输出保持主体平衡的转矩指令（称之为第一转矩指令）和沿着想要的路径驱动该机器进行行走的转矩指令（称之为第二转矩指令）。该第二转矩指令也包括以想要的速度/加速度驱动该机器进行行走的另一个转矩指令。事实上，向马达输出第一转矩指令和第

二转矩指令之和的总转矩指令。

由于异常性的发生，经常不能精确地估算将损耗多少行走机器的性能。例如，假设，在马达中发生的异常状态并且马达能够输出的最大转矩减少，即便机器的控制器在这种状态下向马达输出总的转矩指令，马达也可能不能产生相应于总转矩指令的转矩。换句话说，即便检测到马达发生异常状态，也不知道该机器是否能够在保持主体平衡的同时继续行走。

由于总的转矩指令是第一和第二转矩指令之和，由马达输出的转矩的一部分不仅用于保持主体平衡而且也用于保持机器行走。因此，在异常状态的情况下，即便马达不能产生相应于总转矩指令的转矩，它也应当能够产生仅仅用于保持主体平衡的转矩（相应于第一转矩指令的转矩）。或者，即便该马达不能产生足以保持主体平衡的转矩，它也应当能够产生用于延迟主体倾翻的转矩。因此，即便当由于发生异常性不知道该行走结构损害多大的性能时，如果能够延长在主体颠覆之前的一段时间，通过在这段时间采取措施也能够防止主体倾翻，例如，拉出将主体支撑在地面上的部件。

如果检测到关于行走机器行走的异常状态的发生，根据本发明的行走机器停止第二转矩指令的输出。换句话说，如果检测到异常状态的发生，仅向马达输出用于保持主体平衡所必需的第一转矩（指令）。这使马达输出的所有转矩能够用于保持主体平衡。结果，即便由于发生异常状态不知道行走机器将损害多少性能，也能够避免主体的倾翻，或通过利用所有的剩余功率在倾翻发生之前延长一段时间。如果主体倾翻之前的一段时间能够延长，通过在这段时间采取措施从主体拉出主体支撑部件，能够防止倾翻。

即便当第二转矩指令的输出停止，由于惯性力的作用该行走机器将不会突然停止。该机器的控制器向马达输第一转矩指令，以保持由

于惯性而继续行走的机器的主体的平衡。第二转矩指令输出的停止意图是不向机器提供用于沿着想要的路径以想要的速度积极驱动的转矩，但这并不意味着机器突然停止。当该机器由于惯性而行走时，马达输出的转矩仅仅用于保持主体平衡。

在用于保持主体平衡的控制起作用时，驱动轮旋转以便保持主体平衡。机器的控制器向马达输出保持主体平衡的转矩指令（第一转矩指令），而不输出沿着想要的路径并以想要的速度积极驱动该机器的转矩指令（第二转矩指令）。因此，驱动轮的旋转角度（即行走机器的位置）不在控制下。因此，机器的位置可以在允许的范围内变化。

根据本发明的行走机器包括主体、位于主体的设定预定位置的公用旋转轴、同轴地设置在公用旋转轴上以将该主体设置在预定位置的驱动轮以及用于对该驱动轮施加转矩的马达。该主体能够绕该公用的旋转轴倾斜。该机器还包括第一控制器、第二控制器、异常状态检测器以及安全模式控制器。该第一控制器向马达输出第一转矩指令，以将主体的倾斜角保持在预定角度范围内。当主体的倾斜角保持在预定范围内时，主体的重心高于该公用旋转轴。换句话说，该第一控制器向马达输出用于保持主体平衡的第一转矩指令。该第二控制器向马达输出用于沿着想要的路径驱动该机器进行行走的第二转矩指令。该异常状态检测器检测关于机器行走的异常状态的发生。该安全模式控制器在异常状态检测器检测到异常状态发生时防止第二控制器输出第二转矩指令。“想要的路径”是指当前路径上的数据预先给予该机器，或者操作者通过诸如控制杆的输入装置向机器提供实时路径。

第一控制器和第二控制器可以作为单独的单元实现，或者作为能够执行由第一控制器进行的过程和由第二控制器进行的过程的一个单元实现。在后者的情况下，例如，一个计算机可以单独地执行描述由第一控制器进行的过程的程序和描述由第二控制器进行的过程的程序，或者随着时间流逝通过切换所述程序而执行它们。

异常状态检测器判断关于机器行走的异常状态的发生，例如，如下面所述。即便用于保持主体平衡的控制器在起作用，当异常状态检测器检测到传感器在某段持续时间内连续输出某个值时，该异常状态检测器判断异常性已经发生。或者，当驱动轮的旋转速度、主体绕旋转轴的倾斜角、以及转矩指令的大小至少其中之一在预定范围之外时，该异常状态检测器判断异常性已经发生。或者，用于检测轮子旋转角的编码器的输出超过预定范围，或者马达温度超过预定范围时，该异常状态检测器判断异常性已经发生。或者，当传动系的齿轮处于异常状态下时，该异常状态检测器判断异常性已经发生。此外，如果设置有用于检测垂直于主体方向的加速度的加速度传感器，当该加速度传感器的输出值超过预定范围时，该异常状态检测器可以判断异常性的发生。因此，换句话说，“用于检测关于机器行走的异常状态发生的异常状态检测器”是指这样一种装置，该装置设置在该行走机器中，并且检测用于在保持主体平衡的同时控制行走所需要的传感器的输出值和/或在控制器内计算的转矩指令的至少任何一个超过预定的允许范围。

上述行走机器具有向马达输出用于保持主体平衡的第一转矩指令的第一控制器和向马达输出用于沿着想要的路径驱动该机器进行行走的第二转矩指令的第二控制器。当异常状态检测器检测到关于该机器行走的异常状态发生时，安全模式控制器防止该第二控制器输出第二转矩指令。在检测到关于行走的异常状态的情况下，这使马达能够输出的所有转矩能够给予驱动轮，而转矩仅仅是用于保持主体平衡。

根据本发明的行走机器，在发生异常状态的情况下，即便不知道异常状态的发生影响该机器多少的性能，马达也能够为驱动轮提供仅仅保持主体平衡的转矩。换句话说，如果检测到异常状态的发生，本发明的行走机器运转仅仅保持主体平衡。这能使该马达输出的转矩能够专门用于保持主体平衡。这将增加保持主体平衡可能性。如果不能

保持主体平衡，这将增加在主体倾翻之前的那段时间能够延长的可能性。如果在主体倾翻之前那段时间能够延长，则在那段时间内将能够采取诸如拉出主体支撑部的防倒措施件，因此能够防止主体倾翻。

优选地，该主体支撑件能够相对于主体上下移动。该支撑部件向下移动并且放在地上，能够防止主体倒下。这种支撑部件可以是诸如摩托车的撑脚架的杆，或者有点像具有连接于末端的轮子的着陆装置。

在正常行走时（没有检测到异常状态发生的行走状态），该支撑部件相对于该主体向上移动。这样防止该支撑部件妨碍行走。

优选地，当检测到异常性的发生时，该支撑部件以第一速度移动到下位置，并且当机器停止行走时以第二速度移动到下位置，其中该第一速度大于第二速度。

在机器正常行走时，该部件移动到上部位置。当在没有检测到异常性而该机器停止行走时，该支撑部件慢慢地移动到下位置。由于支撑部件慢慢地移动到下位置，防止该主体由于该支撑部件运动的作用而扰动。当没有检测到异常性时该支撑部件移动到下位置的移动速度优选为第二速度。

一方面，在发生异常性的情况下，存在主体翻倒的危险。因此，支撑部件比正常停止时更快地移动到下位置。该支撑部件迅速移动到该位置，在该位置它能够在该主体翻倒之前将该主体支撑在地面上，这样能够防止主体翻倒。当检测到异常性时，该支撑部件移动到下位置的移动速度称之为第一速度。

优选地，在支撑部件移动到下位置之后，第一控制器可以将第一转矩指令改变为第三转矩指令，以将主体倾斜到该支撑部件接近地面的方向。该第三转矩指令可以是预设值。

在用于保持主体平衡的控制中，基于该主体倾斜角度的反馈控制正在进行。即便驱动轮不再被正常地反馈控制，已经预设的转矩也可能输出给马达。当检测到异常性发生时，如果马达能够根据预设的转矩指令运行，那么该第一控制器向马达输出如上所述的第三转矩指令，并且主体能够可靠地倾斜到该支撑部件接近地面的方向。因此，主体将被同轴地设置的驱动轮和该支撑部件支撑在多于两个点上。这能够可靠地防止主体翻倒。

根据本发明，能够提供一种行走机器，在检测到异常性发生时其能够防止主体翻倒，不需要控制行走速度逐渐减速。

#### 附图说明

图1是实施例的行走机器的示意图。

图2是只有驱动轮着地的行走机器的示意图。

图3是驱动轮和安全轮着地的行走机器的示意图。

图4是行走机器的控制系统的方块图。

图5是行走机器的控制流程图。

图6是安全模式的控制流程图。

#### 具体实施方式

下面将描述实施例的技术特征。

优选地，该行走机器具有一对马达。马达中的每一个可独立地对相应的驱动轮施加转矩。根据该技术特征，如果异常性发生在任何一个马达中，在主体倾翻之前的持续时间能够由正常起作用的另一个马达更加可靠地延长。

下面将参考附图详细描述本发明的优选实施例。图1是行走机器10的示意图。该行走机器10包括主体12、设置在主体上的第一驱动轮34、

第二驱动轮44以及安全轮26。该第一和第二驱动轮34、44能够绕第一轴线C1（公用轴线）旋转。

安全轮26支撑在安全轮支撑件30的一端，以便它能够绕第二轴线C2旋转。该安全轮支撑件30的另一端通过安全轮调节器28连接于主体12。如果机器10被控制成该主体12只有第一和第二驱动轮34、44着地，该安全轮调节器28用安全轮支撑件30将该安全轮26移动到图1中由双点划线所示的位置。该主体12处于仅用驱动轮34、44与地接触的状态可以用“主体12平衡”来表达。而且，保持主体12处于平衡状态用“保持主体12的平衡”来表达。此外，安全轮26移动到由图1中的双点划线表示的位置的状态称之为“安全轮26在两轮着地的位置”。

一方面，当主体12用驱动轮34、44和安全轮26着地时，该安全轮26移动到由图1中的实线所示的位置（下位置）。由于安全轮26移动到该下位置，主体12用第一和第二驱动轮34、44和安全轮26着地的状态称之为“安全轮26在三轮着地的位置”。

人可以坐在其上的座椅22设置在行走机器10上。因此，机器10在有人骑坐在其上的情况下能够行走。

该机器10包括用于驱动第一驱动轮34的第一马达32、用于驱动第二驱动轮44的第二马达42以及为马达32、42提供电源的电池模块40。机器10这样构造：马达32、42为相应的驱动轮34、44而提供，而每个相应的驱动轮34、44能够被独立地驱动。第一马达32还具有用于检测第一马达过热的第一温度传感器35。如果过热，马达32可以不输出设计的最大转矩。同样，第二马达42具有第二温度传感器45。

该行走机器10还具有用于控制第一马达32、第二马达42和安全轮调节器28的控制模块14和由机器的乘员操作的操作模块20。该控制模块14响应该机器10的乘员提供给该操作模块20的操作，控制第一马达

32、第二马达42和安全轮调节器28。此外，该控制模块14还进行控制用于保持主体12的平衡。

该机器10具有用于检测主体12的倾斜角速率的陀螺38、用以检测该机器10的垂直加速度的加速度传感器39、用于检测第一驱动轮34的旋转角度的第一编码器36、用于检测第二驱动轮44的旋转角度的第二编码器46。该主体12的倾斜角速率换句话说就是主体12的倾斜角度的角速率。主体12的倾斜角表示由于相对于垂直方向倾斜绕主体12的第一轴线C1的旋转角。在该实施例中，假定该主体12的重心垂直地位于该第一轴线C1上方的状态是倾斜角的基准（零倾斜角）。此外，如图1实线所示主体12倾斜到安全轮26的方向是倾斜角的正方向。在乘员坐在主体2上的情况下，该主体12的重心表示考虑到该成员质量的重心。

每个驱动轮34、44的旋转角度是指每个驱动轮34、44相对于主体12的旋转角。

加速度传感器39检测主体12沿垂直方向的加速度。当加速度传感器39的输出变化超过允许范围时，它能够判断该机器10是在意想不到的粗造路面（崎岖不平的路面）上行走。

该操作模块20具有控制杆18。该控制杆18是输入装置，用于乘员调节机器10的行驶速度或行驶方向。通过调节控制杆18的操作量，乘员能够沿着想要的路径以想要的速度驾驶机器10。响应给予控制杆18的操作，机器10能够前进、停止、后退、左转弯、右转弯，进行顺时针转弯以及进行反时针转弯。

图2示意地示出该机器10只有驱动轮34、44着地的状态。换句话说，图2示出该主体平衡的状态。该状态称之为两轮着地状态。如图2所示，在主体12平衡的状态，安全轮26由安全轮调节器28和安全轮支撑件30向上移动到主体12里面。换句话说，图2所示的安全轮26在两轮着地位

置。

图2所示的符号  $\theta_2$  表示第二驱动轮44的旋转角。第二驱动轮44的旋转角  $\theta_2$  由设置在主体12中的第二编码器46检测。第一驱动轮的旋转角（图2未示出）可以用  $\theta_1$  表示。第一驱动轮34的旋转角  $\theta_1$  由设置在主体12中的第一编码器36（图2未示出）检测。

在图2中，符号G表示主体12的重心。符号  $\eta$  表示主体12的倾斜角。主体12的倾斜角  $\eta$  是直线L（连接第一旋转轴线C1和机器10的重心G的直线）和通过该第一轴线C1的垂直线S之间的夹角。重心G位于垂直线S上的状态是倾斜角  $\eta$  的基准（零倾斜角），并且图1中主体12倾斜到用实线表示的安全轮26的方向是倾斜角的正方向。倾斜角  $\eta$  通过积分角速率  $d\eta$  获得，该角速率  $d\eta$  由设置在主体12（图2中未视）中的陀螺38检测。

如图2所示，当主体12平衡时主体12的重心G高于第一轴线C1。此外，主体12的倾斜角  $\eta$  可以绕该第一轴线C1变化。因此，如图2所示，如果倾斜角  $\eta$  为正值，，除非该主体12被控制，由于由重力引起的绕该重心的力矩，该主体12将倾斜并且倾翻到图2的右侧。如果倾斜角  $\eta$  为负值，如果完全不控制，则主体12将倾斜并且倾翻到图2的左侧。

机器10的控制模块14控制为驱动轮提供转矩的马达32、34，以便该主体12不倾翻。更明确地说，它控制以使驱动轮34、44沿着该主体倾斜的方向前进。然后，由于机器10的转动，力矩作用以便使重心返回到第一轴线C1的垂直向上的区域。该控制模块14通过总是能够执行上述控制保持主体12平衡以使主体12的倾斜角  $\eta$  在预定范围内。更优选地，控制模块14控制马达32、42以使主体12的倾斜角  $\eta$  几乎为零。

换句话说，“主体平衡”是指支撑主体于地平面的部件实际上只是同轴地设置在公用轴线上的驱动轮，转矩适当地分配给所述驱动轮，

因此主体保持在对于垂直方向的倾斜角不会增加超过预定的角度范围。

图3示意地示出机器10处于用驱动轮34、44和安全轮26与地面接触的状态。该状态称之为三轮着地状态。如图3所示，在三轮着地状态，安全轮26被移动到低于两轮着地的位置。换句话说，如果机器10处于三轮着地状态，该安全轮26被安全轮调节器28移动到三轮着地位置（下位置）。

然后，由于重心G投影到地面的点在由驱动轮34、44的着地点和安全轮26的着地点构成的区域内，所以该主体12将不会倾翻。换句话说，主体12将不会翻倒，因为它在驱动轮34、44的着地位置和安全轮26的着地位置（这三个着地点不在一直线上）支撑于地面。

当保持在三轮着地状态时，机器10能够驱动、转弯、停止。这时图3中的  $\eta_z$  表示当机器10保持在三轮着地状态时主体12的倾斜角。角度  $\eta_z$  可以称之为安全轮的预期着地倾斜角。当机器10实际上保持在三轮着地状态时，主体12的倾斜角可以根据地面的倾斜、地面的不规则等而变化，在任何给定的时间不一定是安全轮的预期着地倾斜角  $\eta_z$ 。

下面，将描述行走机器10的控制系统。图4是该行走机器10的控制系统的方块图。虽然控制模块14控制机器10的各方面，例如，诸如乘员座椅22的倾斜角的调节，但是图4仅仅示出与驱动相关的部分。

控制模块14包括稳定控制器50、行走控制器52、异常状态检测器58以及安全模式控制器60。

该稳定控制器50从设置在该主体12中的陀螺38得到该主体12的角速率  $\eta_d$ 。它还从设置在该主体12中的第一编码器36得到第一驱动轮34的旋转角  $\theta_1$ 。还有，它也从设置在该主体12中的第二编码器46得到第

二驱动轮44的旋转角 $\theta_2$ 。

该稳定控制器50通过积分该得到的主体12的倾斜角速率 $d\eta$ 计算该主体10的倾斜角 $\eta$ 。它还通过对驱动轮34、44的旋转角进行微分计算该驱动轮34、44的旋转角速率 $d\theta_1$ 、 $d\theta_2$ 。

为了保持如图2所示的主体12平衡,该稳定控制器50还根据主体12的倾斜角 $\eta$ 和倾斜角速率 $d\eta$ ,以及驱动轮34、44的旋转角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 和旋转角速率 $d\theta_1$ 、 $d\theta_2$ 计算该驱动轮34、44应当产生的转矩。然后,该稳定控制器50向第一马达32和第二马达42输出对应于该计算的转矩的稳定转矩指令。由该稳定控制器50给予第一马达32的稳定转矩指令称作符号 $\tau_{S1}$ 。同样,由该稳定控制器50给予第二马达42的稳定转矩指令称作符号 $\tau_{S2}$ 。图4所示的( $\tau_{E1}$ )和( $\tau_{E2}$ )的含义将在下面描述。

该稳定控制器50得到主体12的倾斜角速率 $d\eta$ 以及驱动轮34、44的旋转角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 并构造成向马达32、42输出稳定转矩指令的反馈控制系统。在图4中用符号56表示的线代表反馈回路。

另一方面,在控制模块14中的行走控制器52,根据来自乘员操作的控制杆的信号,计算马达32、42应当产生以沿着该乘员想要的路径并以想要的速度驱动该机器10进行行走的转矩。该行走控制器52向第一马达32和第二马达42输出对应于计算出的转矩的驱动转矩指令。行走控制器52输出的 $\tau_{M1}$ 是给第一马达32的驱动转矩指令,而 $\tau_{M2}$ 是给第二马达42的驱动转矩指令。

加法器54a将稳定转矩指令 $\tau_{S1}$ 和驱动转矩指令 $\tau_{M1}$ 相加并将其输出给第一马达32。加法器54b将稳定转矩指令 $\tau_{S2}$ 和驱动转矩指令 $\tau_{M2}$ 相加并将其输出给第二马达42。相应的马达32、42输出对应于稳定转矩指令和驱动转矩指令之和的最终总的转矩指令的转矩。由马达32、

42输出的转矩分别传输给驱动轮34、44。

该行走控制器52根据控制杆18的操作量计算驱动转矩指令 $\tau M1$ 、 $\tau M2$ 并将它们输出给马达32、42。

另一方面，该稳定控制器50通过反馈主体12的倾斜角速率 $d\eta$ 以及驱动轮34、44的旋转角 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ 计算用于保持主体12平衡的稳定转矩指令 $\tau S1$ 、 $\tau S2$ ，并将它们输出给马达32、42。

换句话说，该实施例的行走机器10的稳定控制器50执行反馈控制以便总是保持该主体12的平衡，与该行走控制器52输出的驱动转矩指令 $\tau M1$ 、 $\tau M2$ 无关。换句话说，考虑到由于驱动转矩指令 $\tau M1$ 、 $\tau M2$ 是，比如说，作为扰动引起的变化，而引起主体12的倾斜角 $\eta$ 的变化，稳定控制器50执行控制以保持主体12平衡。在这个实施例中，稳定控制器50和行走控制器52的结构作为独立的控制器，使得该稳定控制器50能够将由驱动转矩指令引起的主体12的倾斜角 $\eta$ 的变化作为一种扰动处理。

设置在控制模块14中的异常状态检测器58监测在稳定控制器50和行走控制器52中的相应的信号，并检查每个信号的值是否不超过预定范围。换句话说，异常状态检测器58检测关于该机器10的行走的异常状态的发生。这里，相应信号的值表示，例如，控制杆18的操作量，由陀螺38检测到的主体倾斜角速率 $d\eta$ ，由编码器36、46检测到驱动轮34、44的旋转角 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ ，在稳定控制器50中计算的主体倾斜角 $\eta$ ，驱动轮34、44的旋转角速率 $d\theta 1$ 、 $d\theta 2$ ，在稳定控制器50中要被计算的稳定转矩指令 $\tau S1$ 、 $\tau S2$ ，在行走控制器52中计算的驱动转矩指令 $\tau M1$ 、 $\tau M2$ 等。异常状态检测器58也可以检查驱动轮34、44的旋转角加速度 $dd\theta 1$ 、 $dd\theta 2$ 的值，它们是否超过预定范围。该旋转角加速度 $dd\theta 1$ 、 $dd\theta 2$ 通过在稳定控制器50中对驱动轮34、44的旋转角速率 $d\theta 1$ 、 $d\theta 2$ 进行微分能够得到。

通过异常状态检测器58获得的控制杆18的操作量和在行走控制器52中计算的驱动转矩指令 $\tau_{M1}$ 、 $\tau_{M2}$ 用从行走控制器52向异常状态检测器58延伸的箭头表示。此外，主体倾斜角速率 $d\eta$ ，主体倾斜角 $\eta$ ，驱动轮34、44的旋转角速率 $d\theta_1$ 、 $d\theta_2$ ，以及由异常状态检测器58获得的旋转角加速度 $dd\theta_1$ 、 $dd\theta_2$ ，在稳定控制器50中计算的稳定转矩指令 $\tau_{S1}$ 、 $\tau_{S2}$ 在图4中用从稳定控制器50向异常状态检测器58延伸的箭头表示。

异常状态检测器58还得到用于检测第一马达32温度的第一温度传感器35和用于检测第二马达42温度的第二温度传感器45的检测值，并从设置在主体12中的加速度传感器39输出。在图4中，从第一温度传感器35向符号“带圆圈的数字1”（以下称作(1)）延伸的线对应于(1)，一个箭头从所述(1)延伸到异常状态检测器58。事实上，这意味着信号线从以温度传感器35连接到异常状态检测器58。同样地，符号“带圆圈的数字2”和“带圆圈的数字3”意味着每个信号连接于异常状态检测器58。

对于从异常状态检测器58得到的每个值预设一个允许的范围，这样当信号值超过其允许范围时，其判断异常状态的发生。此外，每个值的允许范围根据其他信号值可以大大地变化。例如，该设置应当使得随着主体12的垂直加速度增大，主体倾斜角 $\eta$ 的允许范围减小。这是因为当主体12的垂直加速度增大时，保持主体12的平衡变得很困难。

此外，如果该机器10的垂直加速度的波动范围超过允许值，估算机器10在意想不到的粗造路面（崎岖不平的路面）上的行走。在这个实施例中，在该机器10的垂直加速度的波动范围超过允许值的情况也包括在“发生关于机器10的行走的异常状态”的概念中。

当检测到发生关于机器10行走的异常状态时，于是，异常状态检

测器58通知安全模式控制器60，响应发生异常状态的通知，该安全模式控制器60向稳定控制器50、行走控制器52以及安全轮调节器28发送用于防止该主体翻倒的指令。当检测到异常性的发生时，安全模式控制器60控制相应设备的过程称之为安全模式过程。更明确地说，该安全模式控制器60控制行走控制器52，以便将安全轮26移动到三轮着地位置。该安全模式过程将在下面结合图5和图6详细地描述。

图5是在正常运行（当没有检测到异常状态的发生时）中在控制模块14中执行的该过程的流程图。

在正常运行中，获得关于机器10行走的状态量用于每个控制采样（步骤S100）。具体说，该状态量指的是由陀螺38检测的主体倾斜角速率 $d\eta$ ，或由编码器36、46检测的驱动轮34、44的旋转角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 。此外，在步骤S100中，还进行从获得的倾斜角速率 $d\eta$ 计算倾斜角 $\eta$ ，并进行从旋转角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 获得旋转角速率 $d\theta_1$ 、 $d\theta_2$ ，或旋转角加速度 $dd\theta_1$ 、 $dd\theta_2$ 的计算。该计算的倾斜角 $\eta$ ，旋转角速率 $d\theta_1$ 、 $d\theta_2$ 也包括在“关于行走的状态量”中。此外，由异常状态检测器58获得的温度传感器35、45的检测值或从设置在该主体12中的加速度传感器输出的检测值也是“关于行走的状态量”。在步骤100中的过程由陀螺38，编码器36、46，加速度传感器39以及稳定控制器50执行。

下一步，在步骤102中，获得从控制杆18输出的操作量。然后，在步骤104中，根据步骤102中的操作量计算用于驱动（包括转圈）机器10的驱动转矩指令 $\tau_{M1}$ 、 $\tau_{M2}$ 。在步骤S102、S104中的过程由行走控制器52执行。

然后，在步骤106中，根据在步骤100获得的状态量计算用于保持主体12平衡的稳定转矩指令 $\tau_{S1}$ 、 $\tau_{S2}$ 。在步骤106中的过程由稳定控制器50执行，如图4所示。

然后，在步骤S108中，检查每个信号值是否在预定范围之外。换句话说，在步骤S108检查是否检测到异常情况的发生。该过程由异常状态检测器58执行，如图4所示。对异常性进行判断的物理量包括在步骤S100获得的状态量，在步骤S102获得的操作量，在步骤S104计算的驱动转矩指令  $\tau_{M1}$ 、 $\tau_{M2}$  以及在步骤S106计算的稳定转矩指令  $\tau_{S1}$ 、 $\tau_{S2}$ 。

如果没有检测到异常性的发生（步骤S108：不是），在下一步S110转矩指令将输出给相应的马达32、42。输出给第一马达32的转矩指令是稳定转矩指令  $\tau_{S1}$  与驱动转矩指令  $\tau_{M1}$  之和。第二马达42的转矩指令是稳定转矩指令  $\tau_{S2}$  与驱动转矩指令  $\tau_{M2}$  之和。每个马达32、42根据该转矩指令运行，因此机器10在保持主体12平衡的同时沿着想要的路径行走。重复上述过程用于每次采样。

另一方面，在步骤S108中，如果检测到异常状态的发生，该过程转移到步骤S112。在步骤S112，执行防止主体12的翻倒的安全模式过程。然后，图4中的异常状态检测器58通知安全模式控制器60异常状态发生。

图6是该安全模式过程的流程图。在该安全模式中，首先，在步骤S200停止输出驱动转矩指令。该过程在图4中的安全模式控制器60中执行，向行走控制器52输出指令，用于防止输出驱动转矩指令。

然后，在步骤S202中，判断该检测到的异常状态的发生是否表示左右传动系均处于异常状态。这是用由该异常状态检测器58检测到的一种异常状态来判断。例如，如果只有第一编码器32检测的第一驱动轮34的旋转角速率  $d\theta_1$  的值在预定的允许范围外，则能够判断异常状态只发生在与第一驱动轮34有关的传动系中。另一方面，如果驱动轮34、44的旋转角速率  $d\theta_1$ 、 $d\theta_2$  的值均在预定的允许范围外，则能够判断异常状态发生在左右两个传动系中。

此外，在步骤202如果不能确定异常状态是发生在左右两个传动系中或只发生在一个传动系中，为了确保安全接近则判断异常状态发生在左右两个传动系中。例如，来自控制杆18（见图4）的输出值超过预定范围，则不能确定在左右轮的那个传动系发生异常状态。在这种情况下，在步骤S202判断异常状态发生在左右两个传动系中。此外，上述判断由安全模式控制器60执行，如图4所示。

如果在步骤S202判断异常状态发生在左右两个传动系中（步骤S202：是），然后，在步骤S204安全轮26以最快的速度（第二速度）移动到三轮着地位置。换句话说，该安全轮26从图1中的双点划线表示的该安全轮26所在的位置以最快速度移动到该位置。当安全模式控制器60向图4中的方块图中的安全轮调节器28发送指令时，这个过程被执行。此外，将安全轮26以最快的速度（第二速度）移动到三轮着地位置意味着第二速度快于在正常运行中（发生异常状态时）该安全轮26的移动速度（第一速度）。在正常运行中，当将机器10从图2所示的两轮着地的位置移动到图3所示的三轮着地的位置时，该安全轮26以慢速（第一速度）移动。这样防止保持平衡的主体12由于该安全轮26的运动所产生的反作用力引起扰动。由于当检测到异常状态的发生时需要在主体12翻倒之前将安全轮26向下移动，该安全轮26以比正常运行快的速度（第二速度）移动到该位置。

下一步，在步骤S206判断该安全轮26的移动是否完成。如果安全轮26的移动没有完成（步骤S206：不是），则在步骤S208中发生稳定控制。该稳定控制指的是图5所示的步骤S100、S106和S110的过程。换句话说，在步骤S100获得状态量，在步骤S106计算稳定转矩指令，以及在步骤S110该稳定转矩指令输出给马达。如果在步骤S202判断异常状态发生在左右两个传动系中，则努力进行保持主体12平衡的控制，直到该安全轮26移动到三轮着地的位置。这是期望具有下述效果。换句话说，在步骤S202如果不能确定异常性是发生在左右两个传动系中还

是只发生在一个中，则判断异常性发生在左右两个传动系中，以确保安全接近。那么，实际上至少第一马达32和第二马达44的传动系之一可以是正常的。如果至少一个传动系是正常的，步骤S208中的稳定控制更加可能保持主体12平衡。或者，能够延长在主体12翻倒之前的时间。例如，来自控制杆18的输出值超过预定范围，步骤S208的稳定控制有效地工作。

此外，在步骤S208的稳定过程中，优选计算并输出稳定转矩指令，以使主体12的重心G位于通过图2中的第一轴线C1的垂直线S上。如果稳定控制器50控制驱动轮33、34，使重心G位于垂直线S上，则机器10的速度也将接近于零并且主体12是最不易于翻倒的。

如果在步骤S206中判断该安全轮26的移动已经完成（步骤S206：是），在步骤S210由稳定控制器50输出的稳定转矩指令（对应于图4所示的 $\tau S1$ 、 $\tau S2$ ）改变为预设的转矩指令（对应于图4所示的 $\tau E1$ 、 $\tau E2$ ）。然后，在步骤S212中，该改变的转矩指令（对应于图4所示的 $\tau E1$ 、 $\tau E2$ ）被输出给马达32、42。

该预设的转矩指令（图4所示的 $\tau E1$ 、 $\tau E2$ ）是向安全轮26一侧倾斜主体12的转矩指令。例如，在图2所示的状态下，该预设的转矩指令（图4所示的 $\tau E1$ 、 $\tau E2$ ）是图2中驱动轮33、34反时针转动的转矩。在图2中当驱动轮33、34反时针旋转时，在图2中主体12向右倾斜（即向安全轮26倾斜）。这确保主体12向安全轮26一侧倾斜。由于在步骤S210和S212的过程能够没有反馈而进行，即便编码器36、46的输出值超过预定范围（即更加可能是编码器36、46失灵），它们也能够被执行。

然后，在步骤S214中，预定的转矩指令（图4所示的 $\tau E1$ 、 $\tau E2$ ）的输出继续进行，直到主体12向安全轮26一侧倾斜（步骤S214：否）。然后，如果在步骤S214判断主体12向安全轮26一侧倾斜（步骤S214：

是)，在步骤S216中控制停止并且安全模式过程结束。

更严格地说，在骤S214 中“直到主体12向安全轮26一侧倾斜”意味着直到主体12的倾斜角  $\eta$  取正值。为了描述，参考图2，取正值的主体12的倾斜角  $\eta$  是指比通过第一轴线C1并垂直向上延伸的直线S，重心G更加位于安全轮26一侧。如果直线S与安全轮26一侧相比，重心G位于更靠近安全轮26一侧上，即便控制停止，该主体12也继续向安全轮26一侧倾斜。如果安全轮26运动到三轮着地地位置已经完成，则主体12将处于防止主体翻倒的三轮着地状态。

一方面，如果在步骤S202检测到的异常状态的发生不是在左右两个传动系上的异常状态（步骤S202：否），则该过程将转移到步骤S220，向下移动安全轮26（将安全轮26移动到三轮着地位置）。如果左右驱动轮的传动系的任何一个正常工作（即步骤S202：否），用于保持主体12平衡的稳定控制能够只用一个正常起作用的传动系继续进行。这能够延长主体12翻倒的时间。因此，在步骤S220用于移动安全轮26的速度可以是在正常运行中的移动速度（第一速度）。这能够减少安全轮26的运动对主体12的倾斜角的影响。

直到安全轮26的运动完成（步骤S222：否）的持续时间内，在步骤S224稳定控制继续进行。由于在步骤S224稳定控制与步骤S208的稳定控制是同样的，其描述将略去。但是，在步骤S224，由于任何一个传动系是正常的，更加可能使继续进行的稳定控制能够保持主体12平衡。优选地，在步骤S224的稳定控制过程，检测到异常性的驱动轮被锁定（相对于主体12的旋转角被锁定），只有正常起作用的传动系受到稳定控制。

如果安全轮26的移动完成（步骤S222：是），安全轮着地控制在步骤S226进行。该安全轮着地控制是指通过逐渐增大主体倾斜角  $\eta$  到正方向（朝着安全轮26一侧）该安全轮26能够平滑地着地的控制。该

控制能够减少安全轮26着地的冲击。

当在步骤S226的安全轮着地控制终止时，该控制停止并且安全模式过程在步骤S216结束。

如上所述，根据图6的流程图，如果检测到关于机器行走的异常状态的发生，通过执行安全模式过程能够防止主体翻倒。

当检测到异常状态发生时，这个实施例的行走机器能够防止主体翻倒而没有冗余控制系统。如果输出用于保持主体平衡的稳定转矩指令的稳定控制器和输出用于沿着想要的路线以想要的速度驱动该机器行走的驱动转矩指令的行走控制器独立构造，并且当检测到异常状态的发生时，由该行走控制器输出的驱动转矩指令的输出停止，能够实现本段开头所说的当检测到异常状态发生时，行走机器能够防止主体翻倒而没有冗余控制系统。

而且，当检测到异常状态的发生时，将主体支撑与地面的安全轮（具有安全轮支撑件）能够以快于正常运行速度（第二速度）的速度（第一速度）向下移动，因而使安全轮能够移动到三轮着地的位置（下位置），直到主体翻倒为止。通过在主体翻倒之前将安全轮快速地移动到三轮着地的位置，该主体能够被更加可靠地放进三轮着地的位置。

此外，当检测到异常性的发生稳定控制器输出预设的转矩指令以便主体向安全轮一侧倾斜时，主体能够更加可靠地放在进三轮着地位置。

这个实施例的第一轴线C1对应于权利要求中的“公用旋转轴线”的一个例子。该安全轮26和安全轮支撑件30对应于权利要求中的“支撑部件”的一个例子。这个实施例的“三轮着地位置”对应于权利要求中的“下位置”。

此外，稳定控制器50对应于权利要求中的“第一控制器”的一个例子，而行走控制器52对应于权利要求中的“第二控制器”的一个例子。由稳定控制器50输出的稳定转矩指令 $\tau_{S1}$ 、 $\tau_{S2}$ 对应于权利要求中的“第一转矩指令”的一个例子。由行走控制器52输出的驱动转矩指令 $\tau_{M1}$ 、 $\tau_{M2}$ 对应于权利要求中的“第二转矩指令”的一个例子。

还有，当检测到异常状态的发生（将由稳定控制器50输出的稳定转矩指令（图4所示的 $\tau_{S1}$ 、 $\tau_{S2}$ ）改变到预设转矩指令（图4所示的 $\tau_{E1}$ 、 $\tau_{E2}$ ）的过程）时，在图6的步骤210中执行的过程中的预设转矩指令（图4所示的 $\tau_{E1}$ 、 $\tau_{E2}$ ）对应于权利要求中的“第三转矩指令”。

已经详细地描述了本发明的实施例。但是这些实施例只是示范性的，并且不限制权利要求的范围。在权利要求中描述的技术可以包括上述实施例的许多变化和修改。

例如，取代控制杆18，可以设置用于检测乘员重量变化的传感器。第二转矩指令可以由行走控制器52根据重量的变化计算。

此外，图4所示的稳定控制器50和行走控制器52可以构造成独立的分开的控制器，或者稳定控制器和行走控制器可以做成一个控制模块。此外，一个计算机可以执行描述稳定控制器执行的过程的程序和描述行走控制器执行的过程的程序，或者随着时间流逝将这些程序切换而执行它们。同样，在控制模块14中的异常状态检测器58或安全模式控制器60可以分别用独立的电路构造。或者，其构造使得同一个计算机包括并执行描述该异常状态检测器58执行的过程的程序和描述由安全模式控制器60执行的过程的程序。

本说明书和附图中示出的技术要素由其自身或各种组合示出其用途，并且当它修改时不限于权利要求中描述的组合。此外，在该说明书或附图中举例说明的技术能够同时实现多于一个目的，并且具有用于实现其中一个目的的技术特征。

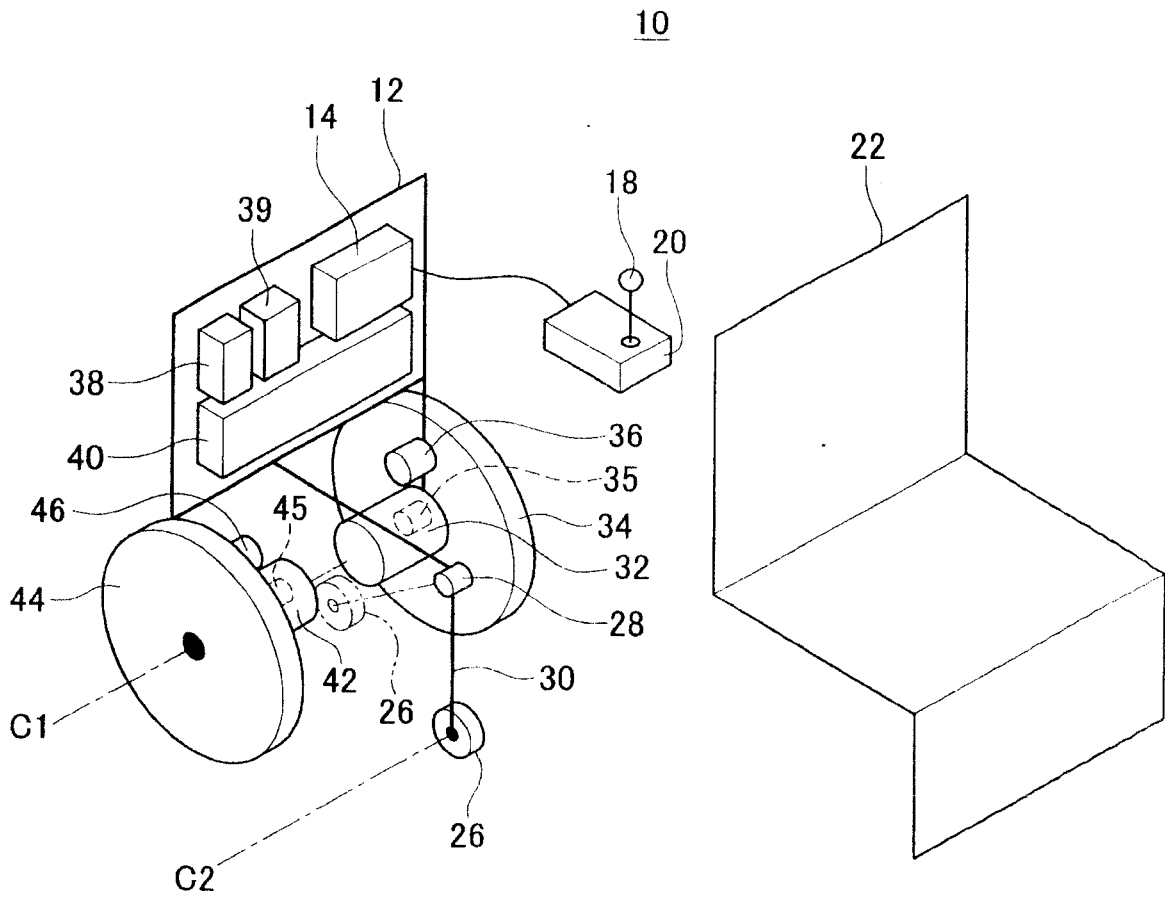


图1

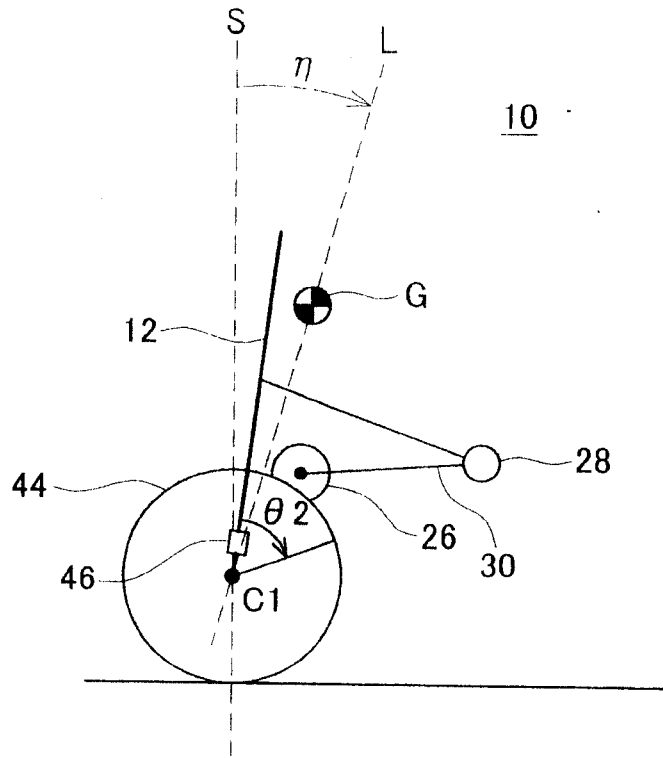


图2

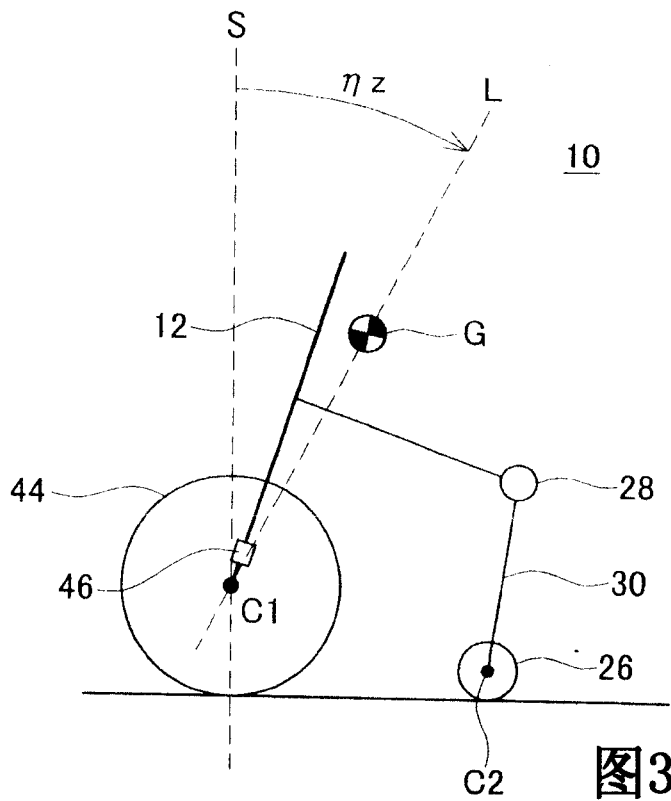


图3

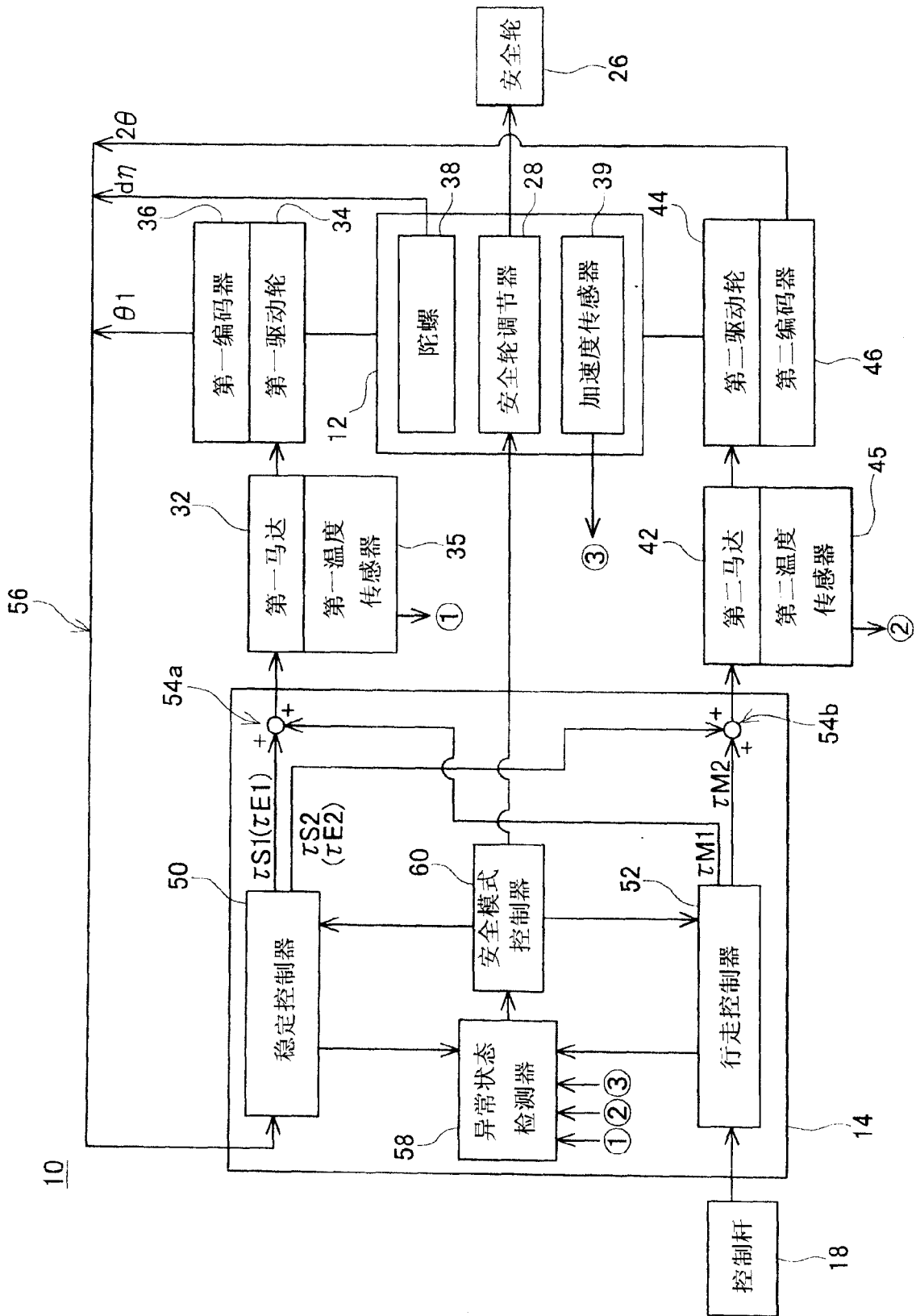


图4

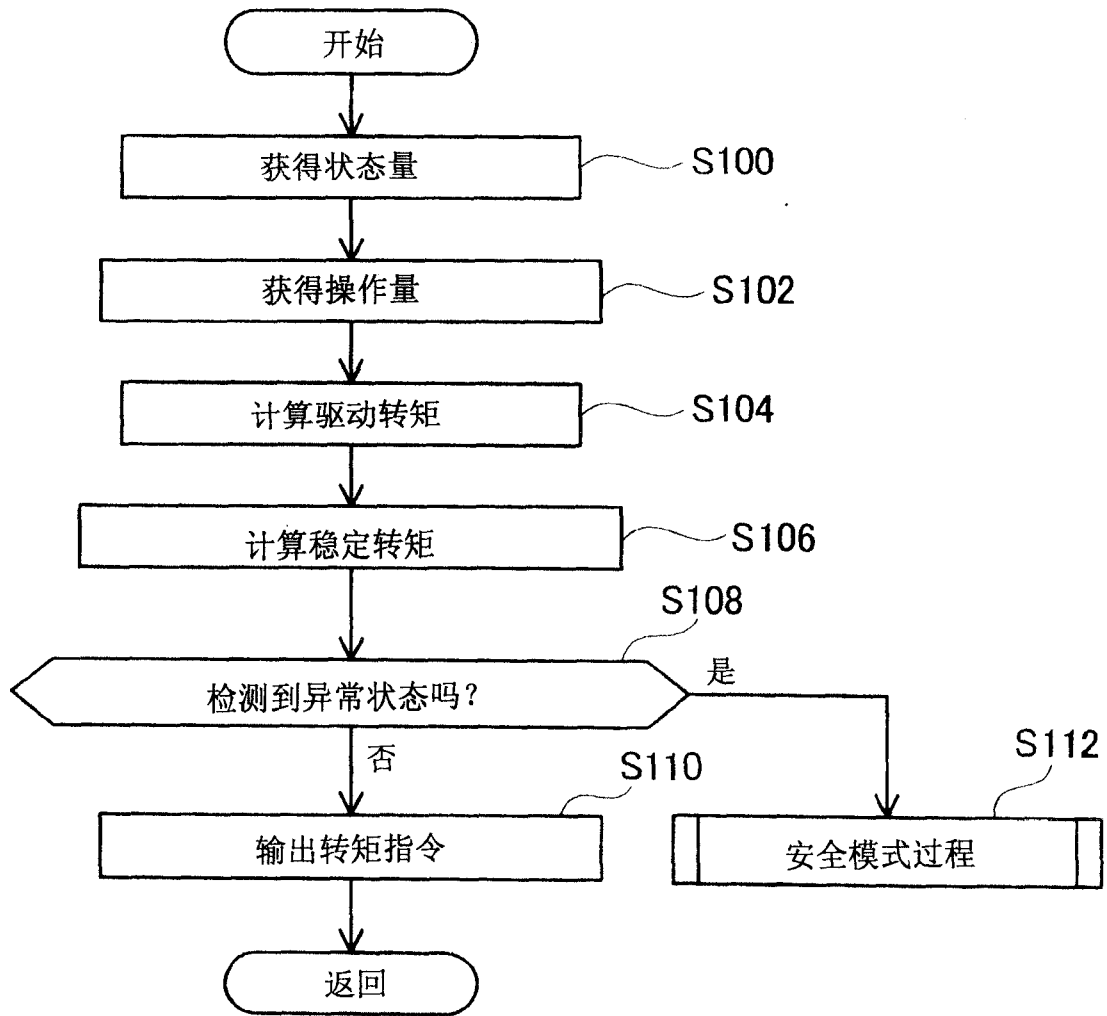


图5

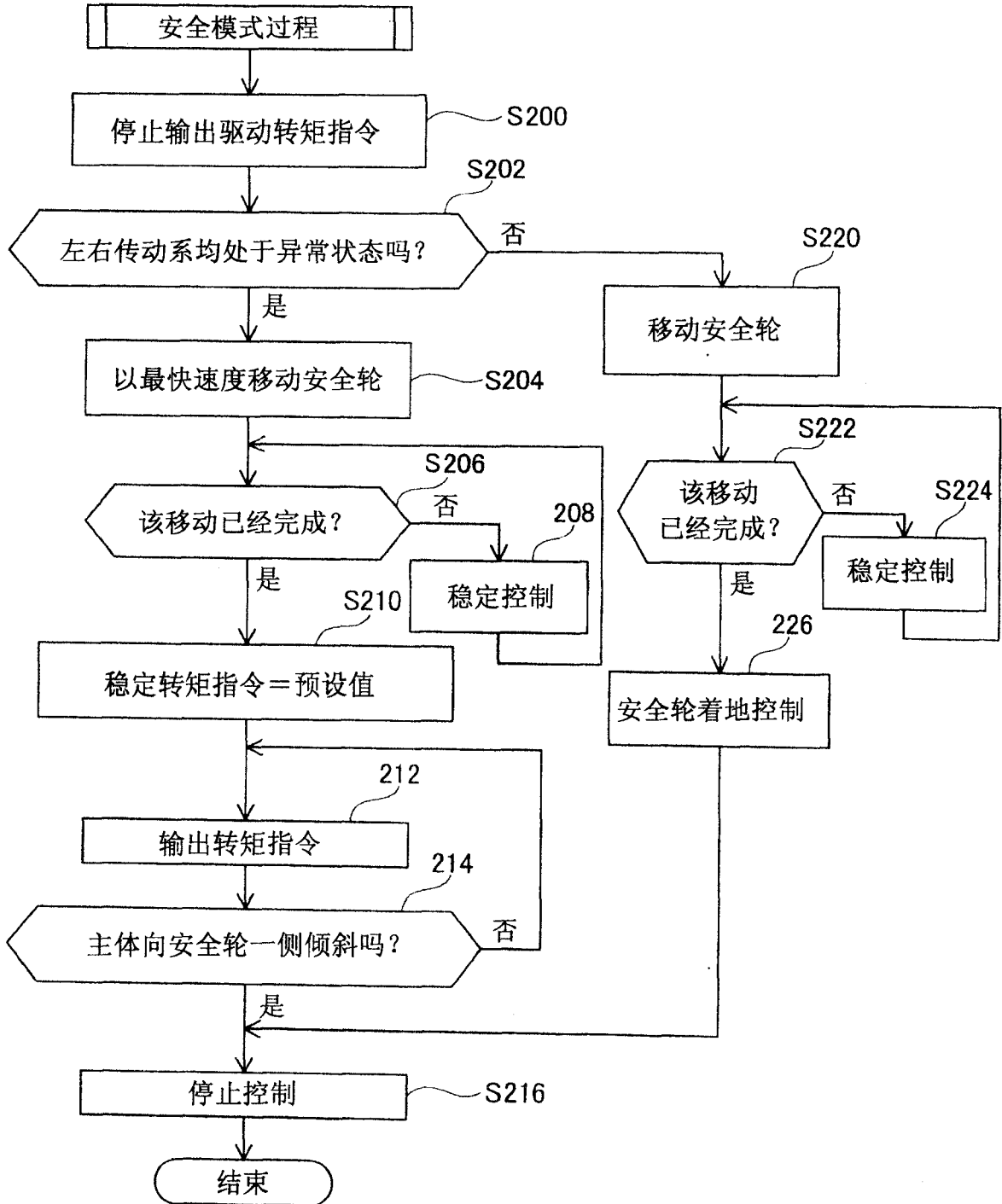


图6