

卫生保健：用于简单、精确地控制非恒定、循环设定配置的矩阵控制器

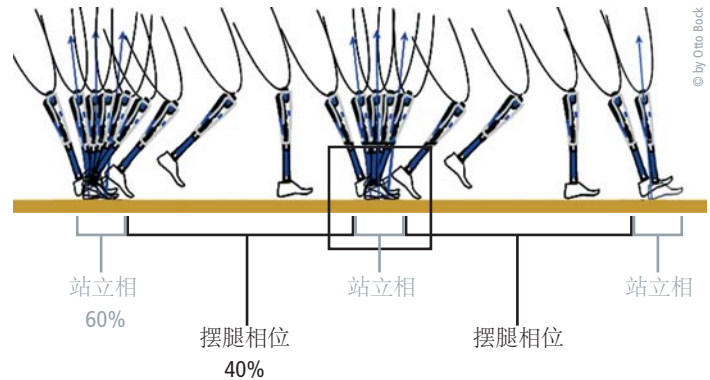
用简单方式实现复杂的控制技术

由德国奥托博克医疗保健公司（Otto Bock HealthCare GmbH）推出的通用控制器算法“矩阵控制器”主要是针对假脚测试设备研发而成的。但同时，它也适用于诸如机器人技术中，或者监测数控机床中的循环、非恒定加工工序时，以及在驱动技术中控制非恒定工序时出现的气动伺服定位。矩阵控制器建立在 Beckhoff 基于 PC 的控制技术基础之上。控制器算法使用 IEC61131 编程并在 TwinCAT PLC 中直接执行，目标是开发一个能够使用标准硬件的基于软件的解决方案。



安装奥托博克医疗保健有限公司推出的全球第一款由微处理器控制的膝关节 C-Leg 智能仿生腿的假脚用户

图 1：人类行走时的站立相和摆动相



奥托博克医疗保健是一家医疗科技公司，总部位于德国杜德施塔特（Duderstadt），主要为身体残疾和行动不便的人提供各类假脚、轮椅和诸如矫形夹板/支架等康复辅助器具。公司自 1919 年成立以来，至今已有 90 年的历史，现由博克家族的第三代继承人所有并掌管，公司自创立之初就一直秉承着“创新为本，放眼国际”的企业理念，目前已拥有 670 项已获授权的专利和 524 项注册专利权。

假脚并不仅仅只是为了起到美观装饰的作用，根据患者的类型——他或她是否有年龄限制或者是否为喜欢活动的截肢患者——假肢还能够弥补下肢缺陷，是帮助患者自由站立和行走不可缺少的康复工具。为了根据 ISO 标准对新开发的假脚进行标准化测试，需要用到假脚测试设备，它将对站立相（图 1）中的标准应力和角度配置重复 200 万次，测试的目的是将先进的、高性能、高可靠性的假脚部件推向市场。

这种测试设备配备了一个带有两个比例阀的标准气缸、一台带 EtherCAT 接口的 Beckhoff AX2010 伺服驱动器、一台 Beckhoff AM2775 伺服电机和功率为 4.5 kW 的行星齿轮减速机、各种功率和位置传感器以及在 Beckhoff 工业 PC 上运行的 TwinCAT PLC 软件（图 2）。亟待解决的问题是：假肢和气缸的结合会产生复杂的交互作用，它在模拟站立相的整个过程中会不断变化，同时，它也会受到假脚的结构类型及其大小以及测试设备磨损情况的影响。假脚对每一次滚动运动的应力反应都不一样。

系统设计

为假脚脚板所选用的伺服驱动器即使在相当大的应力下也能够以所需的精度控制脚的位置。气动系统通过两个比例压力阀根据活塞运动的方向进行控制。这样，可在两个方向（上/下）上对力进行控制，并能够通过引入的空气加以控制。



假脚测试设备



图 2：模拟地面反作用力



Erik Albrecht-Laatsch 负责奥托博克保健有限公司产品开发中的多个项目，包括矩阵控制器
E-Mail: erik.laatsch@ottobock.de

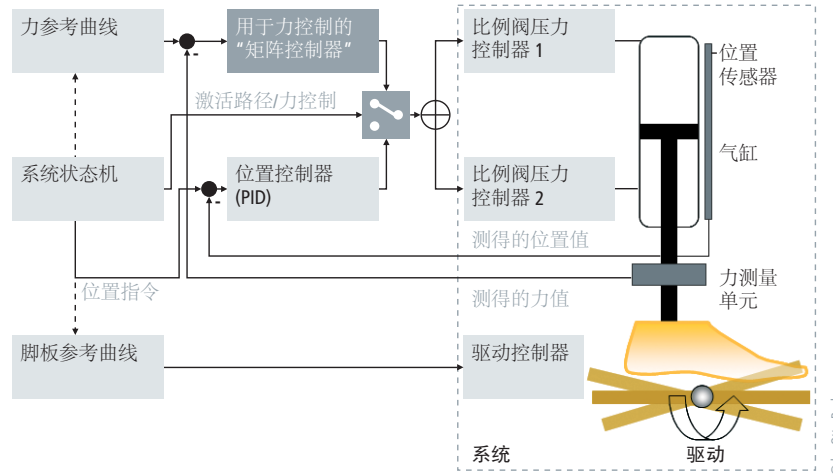


图 3: 系统设计图

系统通过周期时间为 5 ms (200 Hz) 的 PLC 进行控制。一个步行周期持续时间为 1 s (1 Hz)。脚的位置对测量来说至关重要，为此，在站立相结束时采用 PID 位置控制器，此时作用力控制器不再起作用。状态机将确定何时激活位置控制器或力控制器（图 3）。

系统分析

由阀控制器来产生一个连续的力的变化，以检查系统的响应性。在这个过程中使用了位置控制器和力控制器，前者用于闭环控制回路，而后者则用于开环控制回路。但在这种模式下，理想的力变化曲线与实际曲线并不完全相符（图 4）。

明显的相移是由 PLC 周期时间、现场总线造成的延迟、阀门控制器的死点、气缸的低通特性和假脚的系统响应时间等因素共同造成的。为了消除这一相移，输出信号可通过 FIFO 缓冲器根据测试速度偏移 18°/Hz（测试周期 1 Hz 时为 18°）。

虽然振幅差已被减少到最小，但并没有完全消除（图 5），因此，必须用额外的力误差进行补偿。视假脚的系统特点而定，振幅在每个假脚角度上与设定值之间的偏差大小也各不相同。

矩阵控制器

使用曲线上的每个点的参数设置都不同的 PID 控制器并不能产生稳定的信号。由于假脚系统也随着脚板的每个角度而改变，因此需要为每个脚板角度使用一个独立的 PID 控制器。

站立相通过 120 个 PID 控制器以 1 Hz 的周期频率和 5 ms 的 PLC 周期时间生成。剩余的周期时间需要用来重新定位假脚。

每个 PID 控制器在其整个曲线内均可工作。来自最后一个测试系列的信息用来纠正每个点上的作用力误差。标准的 PID 算法由比例 (Kv)、积分 (Tn) 和微分 (Tv) 方面的函数组成。它们会随着控制器的不同而不同。

它们共同生成了 PID 参数矩阵：

$$M = \begin{pmatrix} K_{R0} & K_{R1} & \dots & K_{Rn} \\ T_{N0} & T_{N1} & \dots & T_{Nn} \\ T_{v0} & T_{v1} & \dots & T_{vn} \end{pmatrix}$$

通过改变每个独立控制器的参数能够针对曲线的每个区域单独调整控制器输出。

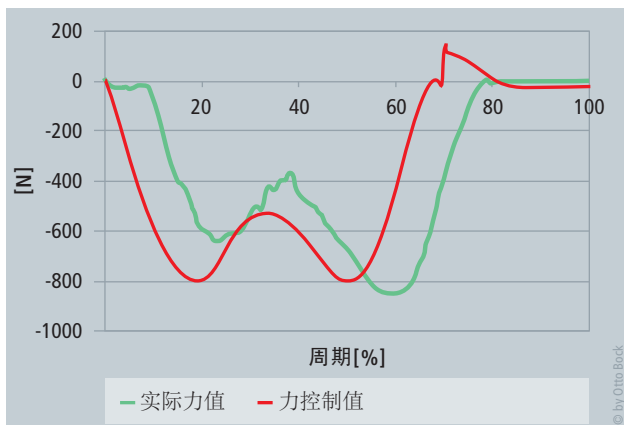


图 4: 开环控制操作中的系统响应

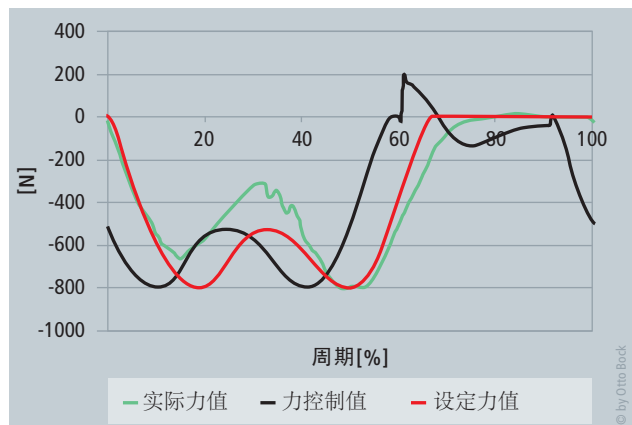


图 5: 最小化相位偏移

矩阵控制器的优势

- | 矩阵控制器可以控制那些在一个控制周期内的不同时间做出不同步响应响应的系统
- | 标准控制器的参数化并不需要具体的控制器或系统型号。这样可以快速地、并以相对较低的成本让控制周期可以适应个别用户的需求（例如，带填充过程以及液压和气动控制过程的测试设备中的特殊测试周期）
- | 由于采样频率可以保持非常低，因此不再需要自适应控制器、自适应 PID 控制器、模糊控制器、复杂的系统模型或昂贵的控制器

| 矩阵控制器系统已适应在极长的周期（5 ms，采样频率 200 Hz）内工作，只需要少量的计算能力

| 随后系统将在一个非常小的的设定值范围内被精确地修正。当矩阵控制器被用于假脚测试设备时，气动执行器的精度提升了 5 倍

精度提升了 5 倍

这一控制力配置的简单方法带来的改善效果立竿见影。图 6 显示了系统在短短 200 个测试周期之后的行为。在 200 万个应力周期中只有约 3% 的偏差。当控制器矩阵循环工作时，输出信号可以偏移 18°，以补偿死点和系统延迟。

只要反馈信号在定义的曲线容差之内，矩阵控制器就不会进行干预。如果力数列在两百万次应力周期内由于假脚磨损而发生变化，矩阵控制器随后将控制规定数量的修正设置。如果超出这个数字，该假脚将不能通过测试。测试的数据有助于分析可能的设计缺陷或生产过程中出现的问题。

矩阵控制器易于实施，并可以管理有复杂控制要求的系统。为此，针对 PLC 周期，它仅需要一台 PID 控制器的计算能力即已足够。“周期时间为 5 ms（200 Hz），” Erik Albrecht-Laatsch 解释道：“这说明它足以调节气动控制系统。在控制系统时无需仿真或使用其它复杂技术。”

多用途专利矩阵控制器

控制带非恒定过程的循环事件对控制技术有相当高的要求。这里介绍的矩阵控制器提供了一个非常简单的解决方案：非恒定控制配置文件被分成多个恒定的控制段。这样将产生一个时间控制矩阵，其中每个矩阵列以两种方式表示：短时的非恒定设置配置是与过程相关的；独立、恒定的设置配置是与段相关的。传统的 PID 控制器可用于控制本段内的过程。

这一具有创新意义的方法说明：这种新型控制技术适用于各类非恒定以及恒定周期信号配置。对于拥有许可证的用户来说，专利矩阵控制器（EP 1 982240B1）有效、安全且相对比较便宜，它还可以用于许多其它场合，如测试设备、机器人、数控机床，以及其它气动和液压应用中的定位和力控制。

Otto Bock HealthCare GmbH www.ottobock.de

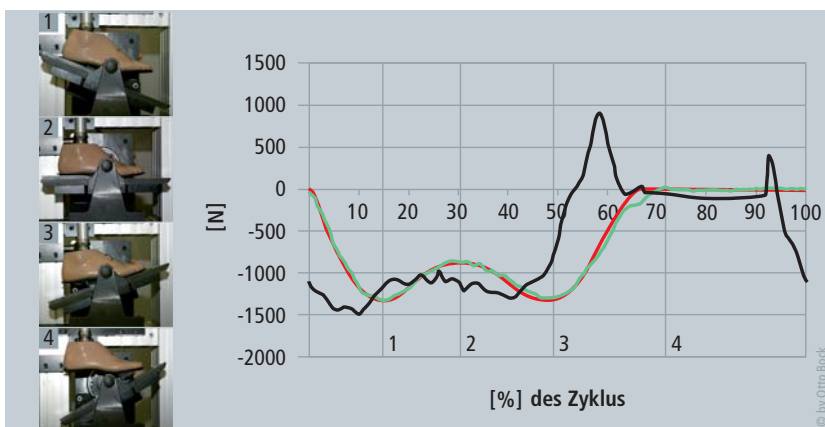


图 6: 参考曲线（红），反馈曲线（绿）和控制器输出曲线（黑）