

伺服控制

自适应非线性算法助力伺服控制优化

文 | Yves Villaret 博士, Servotronic Motion Control 首席技术官

伺服控制器通常使用传统的位置环内嵌速度环的串级控制方式。这种控制方式产生的年代、电流和速度控制是用硬件实现，而位置控制则用软件实现。它流行至今的原因之一是其所具有的简易性。首先调整速度环，接着调整位置环，而电流控制参数一般自动设定。位置控制器通常由一个简单的比例系数组成，速度控制器则包含一个比例系数和一个积分环节（图 1）。

这种控制方式的一个缺点是存在和

速度成比例跟随误差。使用前馈控制方法可以减小跟随误差，但代价是出现超调或者整定时间延长。

为了克服上述限制并优化在高精度运动控制应用中的伺服性能，Servotronic Motion Control 开发出了一种自适应非线性控制算法。这种名叫 HD 控制（HDC）的独特算法使用并联控制方式，所有支路处于同一级别并在一个采样周期内同时执行。每一条支路包含一个可变的增益参数并自动优化以

满足高增益和高稳定性。因此，位置误差和整定时间被最小化，远远优于其他控制器的级别。

该算法主要由两个模块组成，一个是可变增益模块，用于减小跟随误差；另一个是自适应前馈模块，用于减小整定时间（图 2）。

可变增益（VG）控制

在 HDC 算法运算过程中，可变增益（VGd、VGp、VGiv 和 VGi）自动计算并动态修改。在系统变量层面，每一个增益具有其特定的功能，如速度误差和位置误差。在运动过程中，可变增益可能比在运动停止时高出 10 倍。这样可以保证在运动过程中及以较低速度运行时路径跟随的高精度。另外，在运动过程中，系统刚性被提高了 3 倍以上，从而保证非常小的跟随误差（图 3）。

4 个可变增益通过一套独特的算法取得平衡，以保证系统的稳定性。Kd 参数所在的支路与速度反馈环类似，用于减小速度误差。Kp 参数所在的支路是一个比例型位置反馈环，用于减小位置误差。Ki 参数所在的支路是位置反馈环的积分环节，用于减小稳态误差。

Kiv 参数所在的支路是 HD 控制特

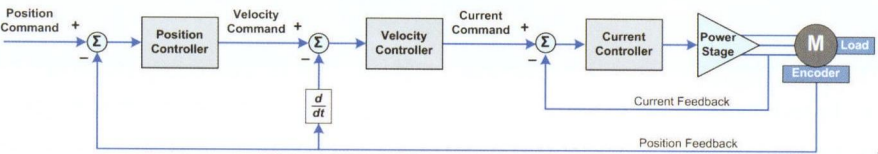


图 1 传统串级控制环路

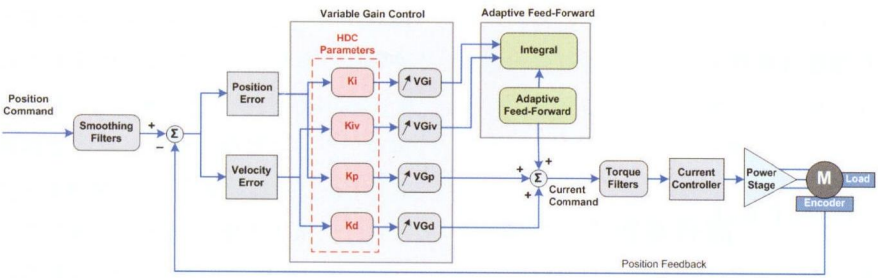


图 2 HD 控制（简化版）

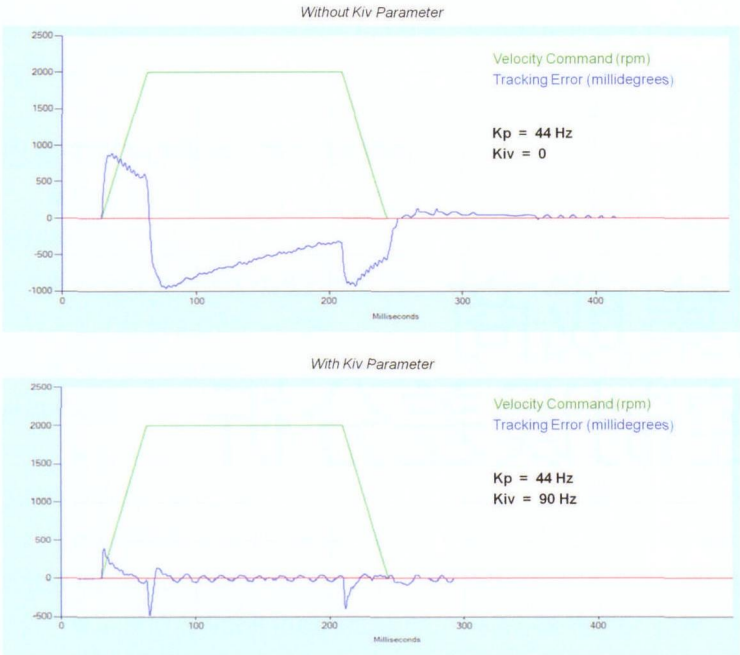


图 3 Kiv，HD 控制特有的参数支路，用于减小跟随误差

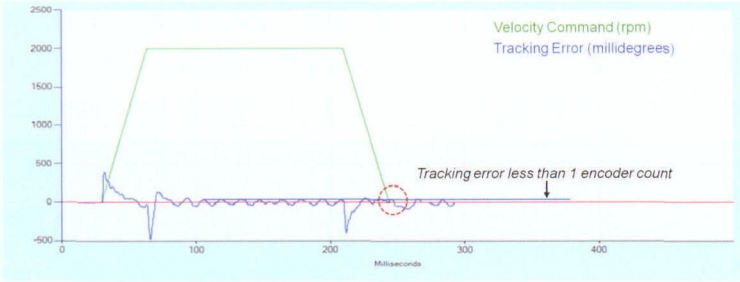


图 4 积分环节的处理实现了接近零的整定时间

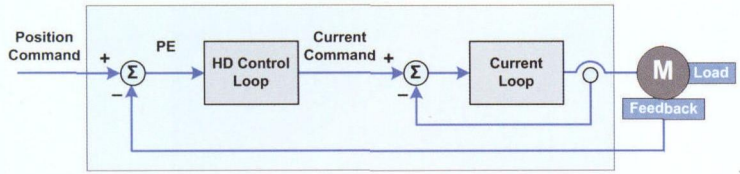


图 5 CDHD 驱动器系统

有的，它综合了 K_p 支路和 K_i 支路的作用。它产生的刚性比 K_p 高出 2 倍以上，而且不会产生振荡。它用于减小加速和稳态两种阶段的跟随误差。它也能像积分参数 (K_i) 那样用于消除稳态误差，但具有与比例参数 (K_p) 一样快的响应速度。

自适应前馈

适应前馈模块用于获得很短的整定时间。由于 K_{iv} 和 K_i 支路的优越表现，大部分反馈响应（电流指令）存在于积

分环节之中。在运动过程中，自适应前馈模块会监视加速度和电机转矩之间的一致性，并将这一关系用在减速阶段时处理积分环节。

在运动结束时，自适应前馈算法根据期望的路径加速度来修改积分环节内的参数，从而实现零整定时间（图 4）。

自动调整

HDC 算法已应用在由 Servotronics 研发制造的 CDHD 伺服驱动器系列之中（图 5）。

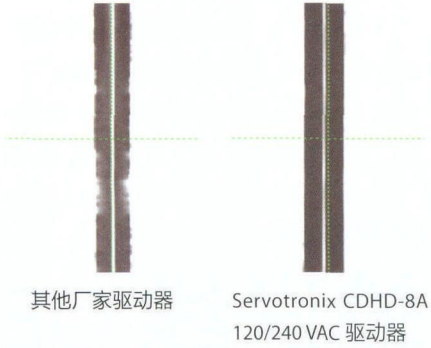


图 6 在 160 mm/s 时驱动器准确度 (设备定位标记)

参数整定通过 CDHD 用户界面软件 ServoStudio™ 自动执行。不过，自动调整往往是不够的，某些应用还需要手动精调以优化参数。

自动调整和手动调整都是基于相同的原理。在自动调整过程中，运动质量的优劣由驱动器和软件来测量和评估。在手动调整时，则由使用者来评估。不论哪种方法，伺服控制参数都是被渐进地修改并选取达到最佳性能的那个值。

HDC 参数整定简单直观，而且执行起来很像传统 PID 参数的整定。每一个可变增益都是被逐渐增加直到发生振荡，然后降低 10 ~ 20%，回到安全范围。

HD 控制的应用

Servotronics 一个客户的龙门机器人应用要求在以最高速度运行时持续准确率达到 2 ~ 3 μm 。使用带 HDC 算法的 CDHD 伺服驱动器在保证准确度的前提下，将该应用的最高运行速度从 120 mm/s 提高到了 160 mm/s，从而使生产效率提高了 33%。

在与其他厂家伺服驱动器进行的一次对比测试中，当设备以 160 mm/s 的速度运行时，CDHD 驱动器明显地实现了更高的准确度和更低的纹波（图 6）。

总而言之，在诸如 CNC 与切割、传送跟随、取放操作、PCB 组装、焊接、喷漆、喷涂和涂胶等需要高路径跟随准确度和低整定时间的应用中，HD 控制已被证明具有相当的优势。MM