IEEE控制系统技术学报，第13卷，第4期，2005年7月

**PID控制系统分析、设计**

Kiam Heong Ang, Gregory Chong，学生会员，IEEE会员，和yunli，IEEE成员

**摘要：**

设计和调整比例 - 积分 - 微分（PID）控制器似乎在概念上很直观，但可以如果存在多个（并且往往是相互冲突的）目标，那么在实践中就会很难如要实现短暂的瞬态和高稳定性。通常，通过一切手段获得的初始设计需要进行调整重复地通过计算机模拟直到闭环系统根据需要执行或妥协。这刺激开发可以协助工程师的“智能”工具为整个操作实现最佳的整体PID控制信封。这一发展进一步促成了合并一些先进的调谐算法转化为PID硬件模块。与这些发展相对应，本文提出了一个专利中功能和调整方法的现代概述，软件包和商业硬件模块。它被看到了许多PID变体已经开发出来以便改进瞬态性能，但标准化和模块化PID虽然具有挑战性，但仍需要控制。包含系统基于软件的PID中的识别和“智能”技术系统有助于将整个设计和调整过程自动化一个有用的程度。这也应该有助于未来的发展“即插即用”的PID控制器，广泛适用于可以轻松设置并以最佳方式运行以提高生产力，提高质量并降低维护要求。索引条款 - 专利，比例 - 积分 - 微分（PID）控制，PID硬件，PID软件，PID调节。

**I.介绍**

其三项功能涵盖治疗对于瞬态和稳态响应，比例-积分微分（PID）控制提供了最简单的方法。然而，最有效的解决方案，许多现实世界的控制问题。自1910发明PID控制以来埃尔默斯佩里的船舶自动驾驶仪，以及Ziegler -尼克尔斯’（Z-N）直接调谐方法在1942〔34〕中的普及PID控制有了很大的发展。随着进展数字技术，自动控制科学现在提供控制方案的广泛选择。然而，超过90%的工业控制器仍在实施。基于PID算法，特别是在最低水平〔5〕，因为没有其他控制器与简单性、清晰的功能相匹配，PID控制器的适用性和易用性〔32〕。它的广泛应用刺激和维持了开发各种PID调节技术，成熟软件包和硬件模块。表征PID控制器的成功和寿命在最近的一次IFAC研讨会上，发表了90多篇论文对PID研究进行了介绍[28]。许多学术研究在这个地区成熟并进入“减少的地区”回报“，是目前研发的趋势（PID）技术的研发似乎集中于整合以软件的形式提供可用的方法以便获得最好脱离PID控制[21]。许多基于软件的技术也已经在硬件模块中实现了“按需调整”，而搜索仍然继续寻找下一个关键技术PID调整[24]。本文试图提供一个现代化的概述PID技术包括PID软件包，商业PID硬件模块和获得专利的PID调节规则。开始，第二部分重点介绍了基本面和关键问题。部分III将着重于专利PID调整规则。一项调查

在第四部分提供了可用的PID软件包。第五部分，过程使用的PID硬件和调整方法讨论控制供应商。最后，得出结论第六节，学术研究之间存在一些分歧并强调工业实践。

**II. 三项功能、设计和调整**

1. **三项功能和平行结构**

一个PID控制器可能被认为是一种极端的形式相位超前滞后补偿器，在原点处有一个极点另一个在无限远处。 同样，它的表兄弟，PI和PD控制器，也可以视为极端形式的相位滞后和相导线补偿器。 一个标准的PID

控制器也被称为“三期”控制器，其控制器传递函数一般写成“平行形式”由（1）给出或由（2）给出的“理想形式”

比例增益Kp，积分增益Ki，微分增益Kd，积分时间常数T1和Td微分时间常数。“三项”功能是下面突出显示。•比例项 - 提供全面控制行动通过全通与误差信号成比例增益因子。•通过减少积分项减少稳态误差由积分器进行低频补偿。•导数项改善瞬态响应通过微分器进行高频补偿。这三个术语对闭环的个别影响表1中总结了性能。注意这个表仅作为稳定开环设备的首选指南。 为了最佳表现Kp，Ki，（或）T1和KD（或）TD是相互的依赖于调整。增加微分增益的信息，会导致稳定性的提高是普遍传达的学术界到工业界。 但是，从业者经常发现衍生术语可以违背这种预期特别是当存在运输延误时[23]，[28]。调整中的挫折因此使许多从业者关掉甚至排除衍生术语。 这件事情已经现在达到了需要澄清的地步，这将是在第II-E节讨论。

1. **系列结构**

PID控制器也可以以“串联形式”如果两个零都是真实的，即，如果T1>=4TD在这种情况下，（2）可以在PD中实现为PD和PI控制器的级联从[23]

1. **积分项对稳定性的影响**

参考（2）或（3）从和.可以看出，将纯积分项添加到纯比例项将会增加收益的一个因素

并会在同一时间增加相位滞后

因此，稳定增益裕度（GM）和相位裕度（PM）将会减少，即闭环系统将变得更多振荡或潜在不稳定。

**D.集成商结束和补救措施**

如果实现控制动作的执行器有效范围限制，那么积分器可能饱和并将来修正将被忽略，直到饱和度被抵消。 这导致低频振荡，并可能导致不稳定。 平常采取的措施来抵消这种影响是“反饱和”[4]，[8]，[29]。 这是通过一些多余的内部负反馈来实现的对积分器的积分作用的量使得

表一

独立P，I和D调节的效应

饱和度将被取消。 几乎所有的软件包和硬件模块已经实现了某种形式的集成商

抗饱和保护。由于大多数现代PID控制器都是以数字方式实现处理器，他们可以容纳更多的数学功能（1）中所示的标准三项的修改，到（3）。 简单和最广泛采用的反终结方案可以通过修改积分在软件或固件中实现行动

其中代表饱和控制行为并且是a修正因子。发现范围[0.1,1.0]为如果PID系数是非常好的，那么结果会非常好合理调整[23]。另据报道，在“系列形式”中，PI部分可能是用于抵制致动器饱和而不需要一个单独的反饱和行动，如图1 [4]，29]所示。什么时候没有饱和，前馈路径传输是统一的从整体转移到与最后一样

（3）中的因素。

**E.衍生术语对稳定性的影响**

一般来说，衍生行为是有价值的，因为它提供了有用的相导致整合造成的偏移相位滞后。也是特别有助于缩短循环的周期从而加速其从干扰中恢复过来。它可以有对二级植物的行为产生更显着的影响没有显着的死亡时间比一级工厂[29]。但是，衍生词经常被误解和误用。例如，它在控制中被广泛认知社区增​​加一个派生词将提高稳定性。这里将显示这种看法并不总是有效的。一般来说，将一个微分项添加到纯比例项将通过减少相位滞后

仅此一项往往会增加PM。 但是，与此同时，收益将增加一倍

并且因此整体稳定性可能会改善或降低。

为了证明添加微分器实际上可能使闭环系统不稳定，可以考虑不失一般性的一阶滞后加延迟工厂，如

K过程收益在哪里; T是过程时间常数;L是过程死区或传输延迟。 假设它由具有增益的比例控制器控制，并且现在增加了一个导数项Kp。 这导致了由组合的PD控制器

随着收益的增加

不平等已经因为单调而获得。 这意味着如果和或者和则增益不小于0dB

在这些情况下，0 dB增益交叉频率是无限的，那里的阶段

因此，根据Bode或Nyquist准则，不存在稳定裕度，并且闭环系统将不稳定。这种现象可能导致设计全PID控制器的困难，也可能导致

在使用的PID控制器中，有80％的微分部分被省略或关闭[21]。 这意味着PID控制器的功能和潜力尚未充分发挥。 尽管如此，它表明使用微分项可以增加稳定性，并可以帮助最大化积分增益

实现最佳性能[7]。 但是，必须小心谨慎，因为很难正确调整差异因子。 图1和图2给出了一个例子。 对于工厂（10），分别为10,1s和0.1s，其初始由0.644和1.03s的PI控制器控制。可以看出，如果添加0.0303s的差分器，GM和PM 将在瞬态响应达到最佳状态时最大化。 但是，如果进一步增加到0.1秒，GM和瞬态响应将恶化。 如果微分增益增加到比例增益的20％，则闭环系统甚至可能不稳定。 因此，衍生术语应该是调整和正确使用。

**F.对单数导数行为的补救**

纯微分不是“随便的”。它不限制高频增益，如（9）所示并在图2中显示。因此，当参考的阶跃改变时，它将产生理论上无限高的控制信号 或发生干扰。 为了解决这个问题，大多数PID软件包和硬件模块都会对差异性进行一些形式的过滤

1. 通过线性低通滤波器进行平均：一种常见的补救措施是使用低通滤波器级联微分器，即将其修改为

大多数工业PID硬件提供1到33的设置，大部分在8到16之间[72]。 在[17]中推荐采用二阶巴特沃斯滤波器来进一步衰减高频增益。

2）改进结构：改进瞬态性能的问题近来成为如此重要的一个问题，在PID控制的研发中已经提出了基本单位负反馈结构的注意[4]。 在级联控制应用中，内回路通常需要对设定点变化的敏感度低于外回路。 对于内回路，可以采用标准PID结构的变体，其对于导数项[40]使用过程变量（PV）而不是误差信号，即

PV在哪里，是参考信号还是设定点。 还提出，为了进一步降低对设定点变化的敏感度，比例项也可以改变以作用于PV，而不是误差信号，即，[40]

控制和结构（18）为“C型”（或I-PD）控制结构（1）至（3）作为“A型”PID控制。请注意，类型B 和C改变了传统反馈控制的基础 可以使PID方案更难以用标准进行分析关于稳定性和鲁棒性的技术等等跟踪应用程序，但是，使用类型B的一种替代方法或者C可能是一个具有临界阻尼的设定点滤波器

动力学，从而实现软启动和平稳控制[13]。然而，理想的，平行的，系列的和修改的形式PID结构可以在现有的软件包中找到和硬件模块。读者可以参考Techmation的应用程序手册[72]列出了所用结构的清单在一些工业PID控制器中。

3）通过非线性中值消除奇异行为过滤器：另一种方法是使用中值过滤器，这是

非线性并广泛应用于图像处理。它比较围绕当前的几个相邻数据点选择他们的中位数作为“非正式”行动。这条路，步进命令导致的异常或不需要的峰值

或干扰，例如，将完全过滤掉。图4中示出了三点中值滤波器的伪代码[23]。这种方法的主要好处是没有额外的参数是需要的，虽然它不太适合在阻尼不足的情况下使用流程。图4.消除奇异微分作用的三点中值滤波器G.调整目标和现有方法预选一个控制器结构可能会带来挑战应用PID控制。由于厂商经常推荐他们自己的控制器结构的设计，它们针对特定的调整规则控制器结构不一定与其他的表现良好结构。看到的一个解决方案是为个人提供支持软件结构。读者可以参考[16]和[22]了解详情讨论使用各种PID结构。尽管如此，控制器参数被调整为闭环控制系统将会保持稳定并达到既定目标与以下相关：

•稳定性稳健性;

•瞬态的设定点跟踪和跟踪性能，包括上升时间，超调和稳定时间;

•稳态时的调节性能，包括负载扰动拒绝;

•针对工厂建模不确定性的稳健性;

•噪音衰减和对环境的鲁棒性不确定。根据给定的目标，PID控制器的调整方法可以根据其性质和用途分组，如下[4]，[13]，[23]。

•分析方法 - PID参数计算自工厂模型之间的分析或代数关系和目标（如内部模型控制（IMC））拉姆达调谐）。这些可以导致一个易于使用的公式并且可以适用于在线调谐，但是客观需要以分析形式和模式必须准确。

•启发式方法 - 这些方法是从手动调整的实践经验（如Z-N调整规则）和人工智能（包括专家系统，

模糊逻辑和神经网络）。 再次，这些可以以公式或规则库的形式用于在线使用，通常与权衡设计目标相关。

•频率响应方法 - 受控过程的频率特性用于调整PID控制器（如环形整形）。 这些通常是离线和学习方法，其中设计的主要关注点是稳定性稳定性。

•优化方法 - 这些可以看作是一种特殊类型的最优控制，其中使用离线数值优化特别获得PID参数

方法用于单个复合目标，或者使用计算机启发式或用于多个设计目标的演化算法。这些通常是时域方法，主要是离线应用。

•自适应调整方法 - 这些方法用于自动在线调整，使用基于实时识别的以前方法中的一种或多种方法。以前的分类没有设置人为边界，实际应用的一些方法可能属于多个类别。在[4]，[18]，[26]和[28]中可以找到有关PID调整方法的极好摘要。然而，到目前为止，没有任何调整方法可以用熟悉性和易用性来替代简单的Z-N方法。此外，还缺乏通用的方法，可以快速应用于广泛的消费电子产品，家用电器，机电一体化系统和微机电系统（MEMS）的板上或片上控制器的设计。在过去的半个世纪中，搜索继续发现PID调节和模块化实现的下一个关键技术[24]。

**H. PIDeasy-A基于软件的方法**

在过去的十年中，智能系统研究格拉斯哥大学的小组试图解决PID问题系统地设计问题，运用现代计算机技术智能技术。因此，一个设计解决方案已经以软件形式获得，PIDeasy [23]。为了简单和PID应用的可靠性，努力保持控制器结构在“标准格式”中，同时允许以简单有效的差异化优化增强滤波和积分器抗饱和。特别是高性能通过设置提供瞬态响应控制器参数最佳地在几分之一毫秒内，只要检测到过程动态变化。最优性是多目标的，并通过解决现有问题来实现使用现代计算智能的根源问题技术。PIDeasy技术针对更广泛的应用比基于Z-N和其他目前可用的技术，以便提供以下内容：

•直接从离线或在线工厂优化PID设计响应;

•通用和最广泛的应用于任何一阶（和高阶）延迟植物;

•C ++中的“脱机”数字控制器代码Java语言;

•无需任何后续改进;和

•“即插即用”整合数据的整个过程采集，系统识别，设计，数字代码实现

和在线测试。PIDeasy的时域性能看起来好多了在现有方法中，在II-G部分列出的所有五个标准中，有无致动器饱和[23]。一个简单的例子在图1和图2中示出。 2和3.为了验证稳健性，PIDeasy是测试的比率范围从0.001到000.0。该

ANG等人：PID控制系统技术575数字的，软件的灵活性允许临时补丁对于一些局部最优化。这导致了不必要的复杂化以及在调整PID控制器时的额外学习曲线。这个问题当存在多个控制回路并且不同时变得严重品牌或型号的PID控制器参与一个应用程序。这些可以解释为什么这个论点在学术上存在提出的调整规则在工业PID上不能很好地工作控制器，而期望多年的研究成果有所帮助

工业实践更多的是为了提高质量和盈利能力。迄今为止，许多PID专利集中于自动调谐过程控制。这从传统或“智能”系统识别并且更类似于硬件模块。

软件包主要集中在离线模拟因此有不同的目标。自动调谐在许多商业PID产品中提供多重优化，及时性仍然是一个挑战。专业在提供最佳瞬态响应时出现困难，由于难以设定最佳的衍生术语。因此，对易于理解的PID结构进行了修改

通过使用人工智能进行压制过冲。为了达到多个目标，在之间切换PID中也提供了不同的功能模式硬件模块。解决PID调整问题的当前趋势是能够实现的

使用标准PID结构来满足多个设计目标通过合理范围的操作和系统。标准化

或围绕这种结构的模块化也应该有助于提高PID控制的成本效益及其维护。

这样，可以开发出鲁棒的最优调节方法，这在PIDeasy中很明显。随着系统识别的加入技术，整个PID设计和调整过程都可以自动化并且可以提供模块化构建块以及时进行在线申请和适应。这个会特别适合于“系统板载”或“片上系统”未来消费电子和MEMS的集成。参考

[1] ABB，MICRO-DC 53SL6000,2001指导手册。

[2]，指挥官355的规格数据文件，2001年。

[3]K.J.Åström，T.Hägglund，C.Chang和W。 K. Ho，“自动调谐

和PID控制器的调整 - 一项调查，“控制工程。 Pract。，vol。

1，没有。 4，pp.699-714,1993。

[4] K. J.Åström和T.Hägglund，PID控制器：理论，设计和应用

调整。 Research Triangle Park，NC：Instrument Soc。 Amer。，1995。

[5]，“控制手册”中的“PID控制”，W. S. Levine，

埃德。 Piscataway，NJ：IEEE Press，1996，第198-209页。

[6]，用于PID控制的基准系统，第165-166页，2000。

[7]，“PID控制的未来”，控制工程。 Pract。，vol。 9，没有。 11，

第1163-1175页，2001年。

[8] C. Bohn和D. P. Atherton，“一个分析软件包比较PID反缠绕

战略“，IEEE控制系统。 Mag。，vol。 15，没有。 2，第34-40页，

1995年4月。

[9] R. Cao和T. McAvoy，“模式识别自适应评估”

PID控制器，“Automatica，vol。 26，没有。 4，第797-801页，1990年7月。

[10] G. Chong和Y. Li，“轨迹控制器网络及其设计

通过演化计算实现自动化“，在Proc。 EvoWorkshops

2000：演化计算的实际应用，爱丁堡，

英国，4月，第139-146页。

[11]（1998年5月）控制工程 - 单回路控制器占主导地位

卖场。 [在线] http://www.manufacturing.net/ctl/article/

CA189 397

[12]（2004年6月）B1-esp @ cenet - 您的专利门户。 [线上]

http://gb.espacenet.com

[13] W. Feng和Y. Li，“进化CACSD自动化中的性能指标”

适用于批量PID生成“，在Proc。第十届IEEE

诠释。 SYMP。计算机辅助控制系统，夏威夷，1999年8月，

486-491。

[14] Foxboro，I / A系列产品规格716C 1/16 DIN温度

控制员，1996年。

[15]，EXACT Tuning的技术信息有762,760和740

系列控制器，1995年8月。

[16] J. P. Gerry，“比较PID控制算法”，Control Eng。，

第一卷。 34，没有。 3，第102-105页，1987年3月。

[17] J. P. Gerry和F. G. Shinskey。 （2004年5月）PID控制器规范

（白皮书）。 [在线] http://www.expertune.com/PIDspec.htm

[18] R. Gorez，“PID自动调整方法的一项调查”，J. A，vol。 38，没有。 1，

第3-10页，1997。

[19] T.Hägglund和K. J.Åström，“工业自适应控制器基于

频率响应技术“，Automatica，vol。 27，没有。 4，pp.599-609，

1991年7月。

[20] C.Chang和K.K.Sin，“PID的比较性能研究”

自动调谐器“，IEEE控制系统。 Mag。，vol。 11，没有。 5，第41-47页，8月。

1991年。

[21]“在机器控制中充分利用PID”，Proc。挖。研究所。

选。工程。 1996年10月24日在英国伦敦举行的PG16讨论会（96/287）。

[22] A. Kaya和T. J. Scheib，“调整不同结构的PID控制”

Control Eng。，vol。 35，没有。 7，第62-65页，1988年7月。

[23] Y.李，W。 Feng，K.C.Tan，X.K.Zhu，X. Guan，K.H.Ang，“PIDeasy

并自动生成最优PID控制器“，在Proc。第三届亚洲 -

Pacific Conf。控制和测量，敦煌，中国，1998年，

第29-33页。

[24] P. Marsh，“打开，收听”New Electron。，vol。 31，没有。 4，第31-32页，

1998年。

[25] B. J. Minter和D. G. Fisher，“自适应控制器的比较：

学术与工业“，在Proc。阿米尔。 Control Conf。，Atlanta，GA，

1988年，第1653-1658页。

[26] A.O'Dwyer，PI和PID控制器调整手册

规则。伦敦，英国：帝国学院出版社，2003年。

[27] OPC基金会。 （2002年6月）OPC基金会 - 致力于互操作性

在自动化。 [在线] http://www.opcfoundation.org

[28]“数字控制：PID控制的过去，现在和未来”，Proc。 IFAC

Workshop，J. Quevedo和T. Escobet，Eds。，Terrassa，西班牙，4月5 - 7日，

2000。

[29] F. G. Shinskey，过程工业的反馈控制器。新

约克：麦格劳 - 希尔，1994年。

[30]（2004年6月）专利 - 专利全文和全页图像数据库。

[在线] http://ww.uspto.gov/patft

[31] H. J. Versteeg，H. J. Jansma和K. Turner，“商业评估”

可用的自适应控制器“，J.A， 27，没有。 3，pp.120-126,1986。

[32] L. Wang，T. J. D. Barnes和W. R. Cluett，“新的频域

PID控制器的设计方法“，Proc。研究所。选。工程。 d-控制

Theory Appl。，vol。 142，没有。 4，第265-271页，1995。

[33] C.威尔逊和卡伦。 （2004年1月）关闭过程控制转换

优质热处理零件。 [在线] http：//www.industrialheating。

COM / CDA / ArticleInformation /封面/ BNPCoverStoryItem /

0,2830,116383,00.html

[34] J.G.Ziegler和N.B.Nichols，“自动控制器的最佳设置”，

跨。 ASME，vol。 64，第759-768页，1942。

[35] ABB。 （2004年5月）ABB集团。 [在线] http://www.abb.com

[ACT]。 （2004年5月）ACT GmbH主页。 [在线] http：//www.actcontrol。

COM

[37] ADAPTECH。 （2004年5月）Adaptech-Identification和Advanced

控制。 [在线] http://www.adaptech.com/Ang/menu\_a.html

[38] Algosys公司（2004年5月）Algosys-Solutions＆Technology。 [线上]

http://www.algosys.com/solutions/stdtech.asp

[39] Artcon Inc.（2004年5月）Artcon Inc. [在线] http://artcon.com/

artcon.html

[44] BESTUNE。 （2004年5月）PID控制器调整。 [线上]

http://bestune.50megs.com

[41] C. B. Brosilow。 （2002年6月）Coleman Brosilow。 [线上]

http://www.cwru.edu/cse/eche/people/faculty/brosilow/brosilow.htm

通信和系统。 （2004年5月）COTEMS。 [线上]

http://www.cotems.com/anglais/default.htm

[43]控制艺术公司（2004年5月）控制艺术公司：过程控制，警报

分析，异常情况管理，工程分析

和运营管理软件。 [在线] http：//www.controlartsinc。

COM / index.html的

[44]控制和优化专家。 （2004年5月）COSpecialists-控制

＆优化专家。 [在线] http://www.cospecialists.com/

的index.html

576 IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY，VOL。 13，NO。 4，2005年7月

Control Soft Inc.（2004年5月）控制软公司 - 公司

采用领先的控制技术。 [在线] http：//www.controlsoftinc。

COM / index.shtml

[46] CP Engineering Systems Ltd.（2004年5月）NF CADET V12第1页。

[在线] http://www.cpengineering.com/exthtmnf/Nfcadetv12.html

[47]卡特勒约翰斯顿公司。 （2004年5月）产品。 [线上]

http://www.cutlerjohnston.com/Products.htm

[48] Delta Tau Data Systems Inc.（2004年5月）PMAC Executive Pro Suite。

[在线] http://www.deltatau.com/PMACExecutiveSuite.htm

[49] D.库珀。 （2004年5月）控制站是Software for Software

过程控制培训，调整和分析。 [线上]

http://www.engr.uconn.edu/control/index.html

[50] DeltaV Tune。 （2004年5月）DeltaV /产品数据表。 [线上]

http://www.easydeltav.com/productdata/pds/index.asp

EnTech Toolkit调谐器模块。 （2004年5月）艾默生过程管理 -

EnTech调谐器模块。 [在线] http：//www.emersonprocess。

COM / entechcontrol /产品/调整/的index.asp

[52]智能调谐器。 （2004年5月）PROVOX /产品数据/控制。 [线上]

http://www.provox-secure.com/product/control.asp

OvationTune。 （2004年5月）西屋过程控制：产品：

Ovation：描述：调整工具。 [在线] http：//www.westinghousepc。

COM /鼓掌/细节，tuningtools.cfm

[54] EngineSoft。 （2002年6月）pIDtune集成系统识别与处理

PID控制器设计。 [在线] http://www.pidtune.com/index.html

[55] ExperTune公司（2004年5月）工艺性能监测＆

优化，分析，仿真和PID调整。 [线上]

http://www.expertune.com

霍尼韦尔国际公司（2004年5月）http://www.acs.Honeywell。

COM /一丁目/间/ DisplayPages / LayoutInitial。 [在线] http：//

www.acs.honeywell.com

[57]IngénieriePour Slgnaux etSystèmes（IPSIS）。 （2004年5月）简单

PID调整。 [在线] http://www.ipsis.com/produits/Pidtuning/pidtuning。

HTM

[59] IPCOS荷兰/比利时。 （2004年5月）IPCOS创造者控制。

[在线] http://www.ipcos.be/welcome.htm

[60] ISE公司（2004年5月）指挥官软件数据表。 [线上]

http://instserv.com/commande.htm

[61]以色列电力公司。 （2004年5月）最佳PID调整

通过最佳过程识别。 [在线] http：//www.geocities。

COM / ugf4aggnn / CSTPmain.htm

[62] JC系统。 （2004年5月）无标题文件。 [在线] http：//www.jcsystemsinc。

COM / HTML / tool\_oview.html

[63] Lambda Controls。 （2004年5月）Lambda Controls：过程控制

优化公司。 [在线] http://www.lambdacontrols.com

[64]美卓自动化公司（2004年5月）美卓自动化 - 高级别

自动化解决方案，系统和服务。 [在线] http：//www.metsoautomation。

COM /自动化/ home.nsf / FR？ReadForm与ATL = /自动化/

Epprod.nsf / WebWID / WTB-010 912-2256A-8C73F

[65] National Instruments。 （2004年5月）LabVIEW PID控制工具集

Windows-产品和服务 - National Instruments。 [线上]

http://sine.ni.com/apps/we/nioc.vp?cid=1394&lang=US

[66]工厂自动化服务公司（2004年5月）PAS主页。 [线上]

http://www.tunewizard.com

[67] S. Raczynski。 （2004年5月）PID控制器设置。 [线上]

http://www.raczynski.com/pn/pids.htm

[68]罗克韦尔自动化。 （2004年5月）RSTune-概述。 [线上]

http://www.software.rockwell.com/rstune/

[69]西门子。 （2004年5月）西门子 - SIMATIC技术-PID控制。

[在线] http://www.ad.siemens.de/simatic/regelsysteme/html\_76/produkte/

sbpidcontr2.htm

[70]专门控制。 （2002年6月）PID控制调节 - 分析

反馈控制系统的PID调节方法。 [线上]

http://www.specializedcontrol.com

[71] Straight-Line Control Co. Inc.（2004年5月）控制器调整101. [在线]

http://members.aol.com/pidcontrol/software.html

[72] Techmation公司（2004年5月）Techmation。 [在线] http://protuner.com

[73] TiPS Inc.（2002年10月）TiPSWEB Tune-a-Fish页。 [线上]

http://www.tipsweb.com/tuneafish.htm

Matrikon公司（2004年5月）先进过程控制 - 过程控制

在Matrikon.com。 [在线] http://www.matrikon.com/products/processact/

的index.asp

[75] Visual Solutions Inc.（2004年5月）Visual Solutions，Inc.-VisSim，

VisSim / Comm和VisSim / DSP主页。 [在线] http：//

www.vissim.com/products/addons/optimize.html

Xiera Technologies Inc.（2004年5月）GeneX。 [线上]

http://www.xiera.com/genex.htm

[77] D.薛。 （2004年5月）MATLAB Central File Exchange-CtrlLAB。

[在线] http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/

Kiam Heong Ang收到了B.Eng。和博士。度在电子和电气工程从

格拉斯哥大学，英国格拉斯哥大学，1996年2005年，分别。

从1997年到2000年，他是一名软件工程师使用横河电机先进过程控制组

Engineering Asia Pte。新加坡。自2005年以来，在同一家公司内，他一直在努力过程工业标准化和研究纳入未来横河电产品的新技术。他目前的研究兴趣包括进化多目标学习，计算智能，控制系统和工程设计优化。格雷戈里冲（S'99）获得了B.Eng。

度来自大学的电子和电气工程格拉斯哥，英国格拉斯哥，1999年。他现在是

致力于博士学位。学位相同大学。他目前的研究兴趣包括进化非线性系统的多目标智能控制系统。李云（S'87-M'90）获得理学士学位。学位四川大学无线电电子学院，1984年，中国成都，学位电子工程学院电子工程系中国科学技术大学（UESTC），成都，1987年，博士。计算学位和美国大学的控制工程1990年，斯特拉斯克莱德，格拉斯哥，英国。从1989年到1990年，他在英国国民队工作工程实验室和工业系统和控制有限公司，格拉斯哥，英国他成了

1991年在格拉斯哥大学担任讲师。2002年，他担任访问日本熊本大学教授。他现任高级讲师格拉斯哥大学和电子科技大学客座教授。 1996年，他独立

发明了开放的“不确定散射矩阵”理论微波反馈电路设计的开创方法。从1987年至今1991年，他开展了并行处理领域的递归滤波工作和反馈控制。 1992年，他为电路实现了第一次符号计算设计电力电子器件，无需倒置任何矩阵，复杂编号或不。自1992年以来，他率先进入控制设计自动化领域

系统和使用进化学习的新型工程系统的发现和搜索技术。他已经制作了11位博士学位。在这方面有学位超过130种出版物。

李博士是特许工程师，也是电气学院的成员工程师。他建立了IEEE CACSD进化计算工作组和欧洲进化优秀网络计算（EvoNet）系统，控制和驱动工作组，在1998年。