

# 南京工程学院

## 毕业设计(论文)外文资料翻译

原文题目: A New Reconfigurable Logic for CNC  
Lathe Controllers

原文来源: Proceedings of the 2009 IEEE  
International Conference on  
Mechatronics and Automation

学生姓名: 计千喻 学号: 231120416

所在院(系)部: 工业中心

专业名称: 机械设计及其自动化

# 一种新的可重构逻辑的数控车床控制器

作者: Jingchuan Dong+, Yunfeng Wang\*, Zijing Wang+, Taiyong Wang+

**摘要:** 可重构器件已发展到在计算机上实现数字控制 (CNC) 系统。可重构器件提供 CNC 和灵活性的系统设计的高执行性能。然而, 少数工作是在可重构逻辑数控车床中实现的。本文开发了数控车床螺纹中的同步运动和可重构逻辑的一个新的重采样算法。一个实验系统构建和测试结果验证所提出的架构。

**关键词:** 数控车床, 可重构逻辑, 重采样, 车丝

## 一. 引言

计算机数控 (CNC) 机广泛应用于现代工业。作为该机的控制中心, CNC 控制器会影响很多方面, 如速度, 精度和稳定性的机加工性能。在加工速度和精确度的快速增加, 传统的基于软件的 CNC 控制器都难以满足的计算要求。可重配置硬件的引入解决了这个问题。

可重构硬件有助于在许多方面的数控系统。首先, 控制算法可以通过硬件具有高执行效能实施。设计者可以采取硬件的并行结构的优点, 以加速的算法。此外, 时间执行能力的硬件能够理想的实现有效控制。其次, 可重配置硬件提供了设计者的灵活性。由于可重构硬件的可编程特性, 设计者可以定制品种各界集成到一个单芯片容易和快速。第三, 可重配置硬件提供修改或更新在先前版本的硬件设计的可能性。即使控制器已被交付给用户, 硬件逻辑仍然可以修改, 以满足新的要求。

可重构硬件在运动中的研究最近已开发了控制系统。有些工作的重点位置控制器的设计, 陈等人。实施使用分布式算法 (DA) 方案[1]现场可编程门阵列 (FPGA) 的 PID 控制算法, 陶等人。一个三级位置前馈追加到硬件 PID 控制器[2]。赵等人。比较了多 PID 控制器的结构不同

机械工程系通道控制[3], 王等人。设计了一种基于 FPGA 的神经网络 PID 控制器[4]。苏等人。实现的 FPGA 芯片上的数字差分析器 (DDA) 的控制算法[5]。在数控控制器等功能也进行了研究。 Osornio-Rios 的等。实现与数控和机器人应用[6]冲击限制了基于多项式的硬件配置文件生成器。尤曾家丽等人。在 FPGA 中实现实时的 NURBS 插补算法[7]。然而, 缺乏对数控车床控制器, 这是本文的重点实施可重构器件的工作。

本文开发了数控车床螺纹中的同步运动和可重构逻辑的一个新的重采样算法。如下本文将结构;在第 2 节, 一个数控控制器和车丝过程的体系结构将讨论;在第 3 节, 重采样方法的原理将出台;在第 4 节, 可重构逻辑的硬件设计进行说明;在第 5, 使用所提出的方法的数控车床控制器的示例将提交。

## 二. 背景

### A.CNC 控制器体系结构

数控控制器的体系结构示于图 1 所示。该架构包括四个控制层[8]：智能控制，运动控制，设备控制和物理设备。人机界面（HMI）与经营者进行交互，并调用智能控制层做加工工作。在智能控制层中，输入 NC 程序被解释为机器指令。机器指令是由运动控制层，它由内插器和一个离散事件控制模块的执行。内插器根据所需的运动指令和速度分布生成位置指令。其他指令，如工具选择和冷却剂控制，通过离散事件控制模块处理。设备控制层操作的物理设备来实现加工过程。它集成一个轴控制模块和离散输入/输出控制模块。在本文的研究中，在设备控制层是通过使用一个重新配置的设备中实现。

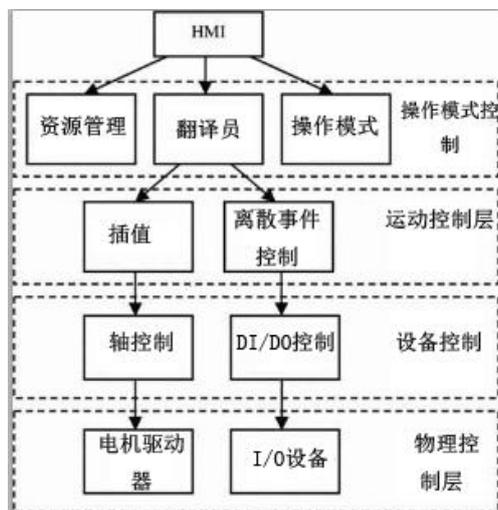


Fig.1 数控控制器的架构。

对于数控车床，运动功能分为两类：正常的运动和主轴同步运动。正常运动在轮廓加工使用，而在主轴同步运动在车丝过程中使用。正常运动的原理类似于在一个铣床的运动，已成功地实现了对由其他研究人员可配置器件。本文着重对主轴同步运动的可重构硬件。

### B.螺纹，数控车床

维持螺纹精度，进给运动必须与主轴旋转同步，如图（1）中。F 是进给速度（mm/分），S 是主轴转速（rpm）和 L 是螺纹（毫米）的引线。

$$F = SXL \quad (1)$$

增量式旋转编码器安装于主轴以确定其角度。作为主轴旋转时，编码器产生的该偏移 90 度的相位彼此如图信号的两个通道（A 和 B）。2.通过监控脉冲的数目和 A 的相对相位和 B 信道，无论是位置和旋转方向可跟踪。编码器还提供了一个索引信号，其中每转脉冲一次，作为角度位置的参考点。

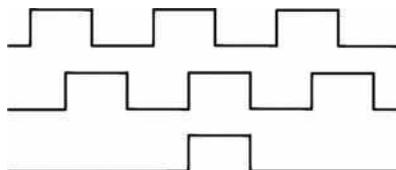


Fig.2 旋转编码器的波形。

图 3 示出在车丝过程[9]刀具路径的一个例子。当主轴旋转时，切割器移动到点 1。然后，控制器等待索引信号来确定的所述主轴的所述绝对位置。一旦主轴旋转所需的位置，车丝过程将开始与在进料方向上的加速度的移动。在加速，线程是不是精度。当加速度终止于点 2，进料速度到达期望的速度和进给运动将与主轴同步。车丝过程结束之前，切割器将开始在点 3 减速的螺纹也是不减速时的精度。最后，该车丝过程停止在点 4 和刀具从工件移开。

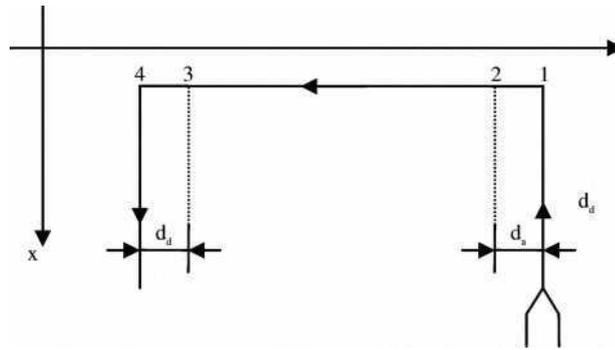


Fig.3 车丝过程的一个例子。

主轴速度可以在车丝过程波动。根据 (1)，进给速度应该遵循主轴速度。车丝过程可能需要多个路程，以限制材料去除率或创建多个线程启动。刀具也可能改变在一个特殊的线程。因此，在车丝过程中，沿进给轴的运动必须与主轴的角位置同步。解决这个问题的传统方法可以被描述为以下步骤：

- 1) 在每个电机控制周期，采样主轴位置。
- 2) 用插补计算新的刀具线轮廓位置。
- 3) 更新各轴的指令位置。
- 4) 返回到步骤 1，如果车丝过程没有完成。

上述步骤必须在一个马达控制被执行每一次，因此所有的步骤必须以实时完成循环。然而，如果实时执行由软件执行时，控制算法的开销高，这是很难实现短的控制周期。此外，实时软件执行需要额外的处理器时间，以切换之间的真实—时间任务和其他任务。中央处理器时间的比比长，任务的切换将非常大，周期相对较短。

### 三.重采样方法

在我们的工作中，提出了重采样方法车丝时，为了避免内插算法的实时执行。此外，可重新配置的硬件被用于电动机控制等实时功能。图 4 演示了重采样方法的原理：

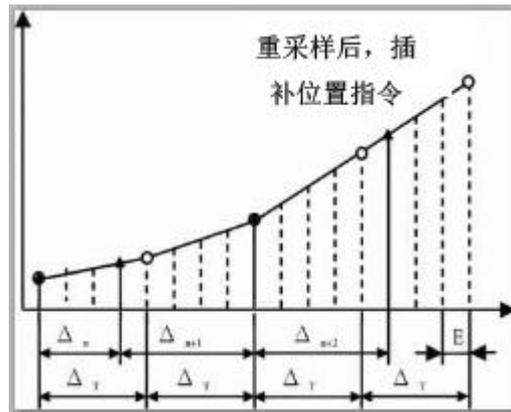


Fig.4 重采样方法原理

1) 内插器以恒定的速度假定主轴运行。因此, 在每个周期中, 主轴旋转是固定的。然后插入刀位置来确定螺纹齿形。由于不需要实际的插补器主轴位置, 插补可以在电机控制周期前确定。

2) 在电动机控制循环中, 通过重采样的位置曲线所生成的位置指令。该位置的曲线是用直线连接每个插补位置重建。虽然主轴的角位置的增量可以改变, 该命令位置可以通过重新采样来获得。

主轴的位置由来自旋转编码器的脉冲计数测量。因此, 在各电动机控制周期主轴位置的增量脉冲当量的整数倍。我们可以选择

$$\Delta\varphi_T = KE, \quad (2)$$

其中 E 是脉冲当量主轴编码器的并且  $K$  是一个正整数。在两个连续的插值倍假设主轴定位  $Q_n$  和  $(PN+X)$ , 和对于进给轴对应的内插位置是一个和  $A_{n+1}$  中, 由于位置曲线由重建线性函数, 在时间间隔内的位置的函数可以被写为

$$\begin{cases} A(\varphi) = A_n + \frac{\Delta A}{\Delta\varphi_T}(\varphi - \varphi_n), & \varphi_n < \varphi \leq \varphi_{n+1}. \\ \Delta A = A_{n+1} - A_n \end{cases} \quad (3)$$

作为主轴位置由编码器脉冲的计数表示的, 在第 (p) (3) 只能取离散值, 让代 (2) 和 (4) 代入 (3), 我们得到

$$\varphi = \varphi_m = \varphi_n + mE, \quad m = 0, 1 \dots K. \quad (4)$$

$$A(\varphi_m) = A_n + m \frac{\Delta A}{K}, \quad m = 0, 1 \dots K. \quad (5)$$

等式 (5) 可以进一步写成增量形式

$$\begin{cases} A(\varphi_{m+1}) = A(\varphi_m) + \Delta A_m \\ \Delta A_m = \frac{\Delta A}{K} \end{cases}, m = 0, 1, \dots, K. \quad (6)$$

等式(6)是用于重采样方法的算法。该算法涉及加法和除法。在计算中,如果AA是一个定点数和

$$K = 2^N, (N \text{ is a non-negative integer}), \quad (7)$$

除法操作可以通过变速操作来实现。因此,重采样算法非常简单,它是适合于由硬件来实现。通过假设主轴以一定速度旋转时,相当于插补周期 $T_i$ 可确定为如下

$$T_i = K \frac{60}{S \cdot P} = 2^N \frac{60}{S \cdot P}, \quad (8)$$

其中P是每主轴的旋转产生脉冲的数目。从式(8),我们可以看到,插补周期是独立于电机控制周期。选择较大的N允许更长的等效插补周期,所以可以减少计算量。然而,大的N也可能会降低重采样精度。因此,计算成本和精度之间的平衡应该选择N.时要考虑

#### 四. 可重构逻辑

许多的数控任务可以由硬件或由软件来实现。用可编程逻辑器件(PLD),如现场可编程门阵列(FPGA)和复杂的发展可编程逻辑器件(CPLD),越来越多的控制功能可以由硬件来实现。硬件的并行性质允许控制算法在实时运行。此外,PLD芯片的可重配置能力,提供了一个可以被开发和修改的快速灵活的硬件平台。

##### A. 可重构逻辑的体系结构

在这项工作中的可重构逻辑设计的结构示于图5.结构由多个可重构模块。对于每一个进给轴,有一个轴缓冲器,重新采样器,指令位置多路复用器和马达控制器。为了简化设计,只有位置的增量被用于位置数据的传输。本方法避免了使用绝对位置,从而节省了在不同模块之间的数据交换的位线。每个轴包含位置数据的两个数据路径。数据路径是由命令位置复用器根据控制模式中选择。在正常模式中,重新采样器旁路和用于运动控制器的命令位置由轴缓冲器提供。在穿带模式中,重新采样施加位置曲线的采样。

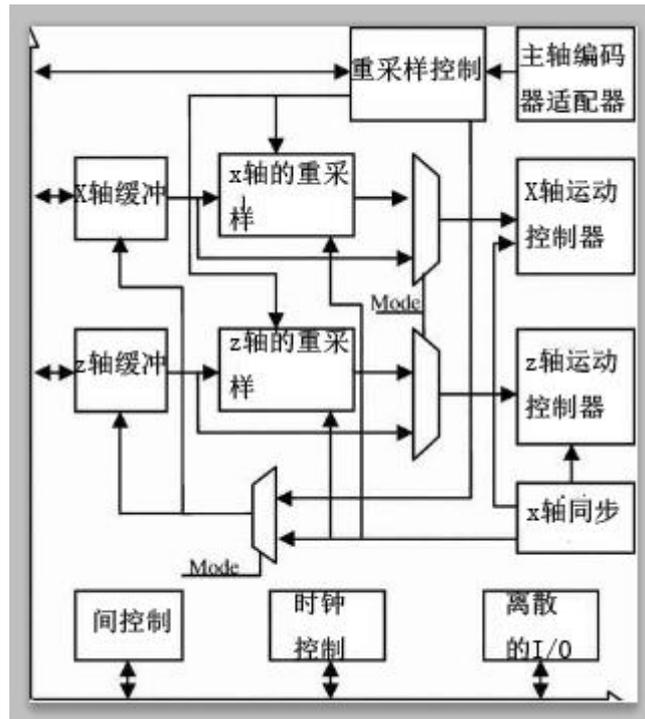


Fig.5 可重构逻辑的结构

轴缓冲保持在给定的内插器的下一个位置增量。因此，下一个内插的位置，可以从轴线缓冲器立即加载。然后，新的内插位置可以存储到缓冲一次。重新采样进行重采样算法。在两个通道的重新采样由采样控制模块控制。重采样控制器根据主轴位置控制重采样过程。运动控制器实现了位置控制算法，并提供接口向马达驱动器。几种控制算法可用，如数字微分分析器（DDA），PID 和模糊控制器。在这项研究中，DDA 控制器采用两个运动控制器通过从轴同步模块的控制信号同步。

一些互补的模块也纳入 PLD。主轴编码器适配器是接口主轴编码器。数字滤波器被集成在适配器以防止噪声的影响。离散 I/O 模块处理 CNC 控制器的通用输入和输出信号。中断控制模块用于当特定事件发生时，产生中断信号给 CPU。该时钟控制模块提供时钟信号给其它模块。

运动控制器和其他配套模块的硬件实现了文献中已全面讨论，本文的其余部分将在实现重采样算法的讨论。

### B.重采样逻辑结构

图 6 示出了重采样控制器的结构。从主轴编码器适配器的信号被用来确定主轴的位置。为了得到高的分辨率，输入脉冲频率翻了两番。加工开始前，相位被装载到相位偏移寄存器及相位输出比较低。因此，与门的输出为低。当启动信号到达时，相位计数器将等待索引信号。索引信号的到来之后，相位计数器开始计数输入脉冲。当脉冲计数匹配相位偏移，相位输出比较意愿变高。的四倍编码器输入信号将经过与门作为时钟进行加法运算。重新采

样将执行加 (6) 当 ADD CLK 信号到来。该 ACLK 计数器计数增加次  $A^{\wedge}$  比特计数器。它需要除了溢出。当溢出发生时，在负荷信号设置和重采样将加载新的内插位置形成轴缓冲。

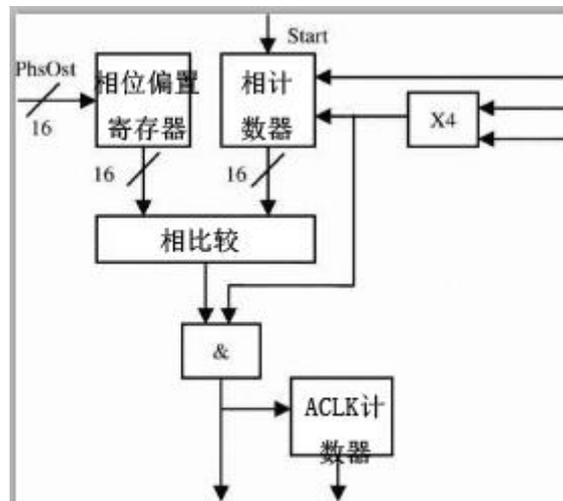


Fig.6 重采样控制器的结构。

重新采样的结构示于图 7.包含一个移位器，一个加法器和三个寄存器。该移位器用来执行在 (6) 的除法运算。在这项工作中，我们选中  $N=5$ ，输入  $\Delta A$  是由一个 8 位定点数来表示。重新采样器的输出是一个 8 位的定点数。 $\Delta A_m$  是通过  $\Delta A$  的位移获得。当在负荷信号到来时，新的  $\Delta A_m$  在 REG0 锁存 13>位加法器使用做在 (6) 的加法运算。每次加入 CLK 信号谈到时间，REG1 锁存相加的结果。如果电机控制器需要下一个命令的增量位置，OUT LOAD 信号将变高。接着，再采样位置，I.S. REG1 的高 8 位值，被锁定在 REG2。该 OUT LOAD 信号也清除 REG1 的高 8 位。因此，在 REG1 的值是位置指令的增量。

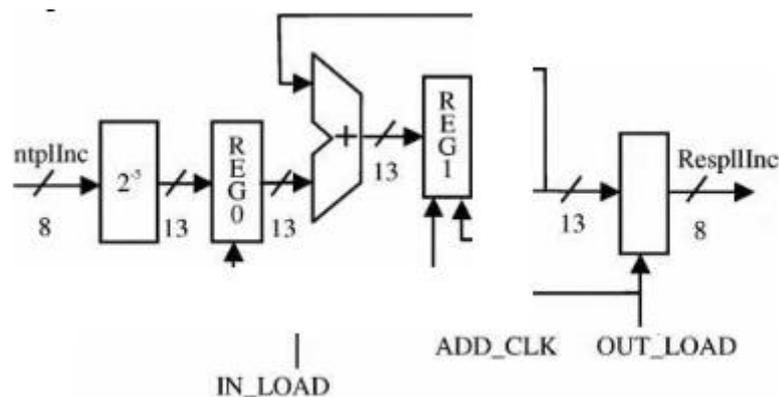


Fig.7 重新采样结构

## 五.实验验证

数控车床控制器的建立是为了测试所提出的控制方法。实验数控系统的示意图示于图。

8.系统由两部分组成：非实时的部分和实时一个和非实时部分包括一个 32 位的 ARM 920T

微处理器，闪存存储器，SDRAM，通信端口和一个调试单元。非实时部运行 Linux 操作系统。

控制软件包括用户界面，解释器，内插器，顺序逻辑，通信，NC 文件管理等功能。实时部的硬件包括一个 8 位 AVR 微控制器，一个双端口 RAM，一个 FPGA 芯片，一个 D/A 转换器和用于信号转换和隔离的电路。双端口 RAM 用于缓冲的实时控制命令，其中包括内插位置。AVR 的微处理器被用于获取控制命令，并将其发送到 FPGA 和主轴 D/实时 A 转换器。可重新配置的控制逻辑是在 FPGA 上实现。在 D/A 转换器的主轴控制主轴速度。图 9 示出在 CNC 控制器的硬件设置。

在实验系统，主轴编码器的分辨率为 4800 脉冲每转（后四人间）。电动机控制周期为 1.02 毫秒。一些加工程序都在该控制器上进行测试来检查建议的可重构逻辑。一个分析程序在正常模式下测试直线和圆弧饲料的功能，而其他三个方案验证在线程模式下的重采样算法。螺纹的参数在表 I 在车丝测试列出，主轴转速被设定为 500rpm 下，实际速度是 518.5 转速 486.4 之间。根据（8），在测试的等效插补周期为 0.8 毫秒。图 10 示出在测试中车丝过程。图 11 表示成品零件。所有的测试程序和预期一样。结果表明，该架构是可行的数控车床控制器。

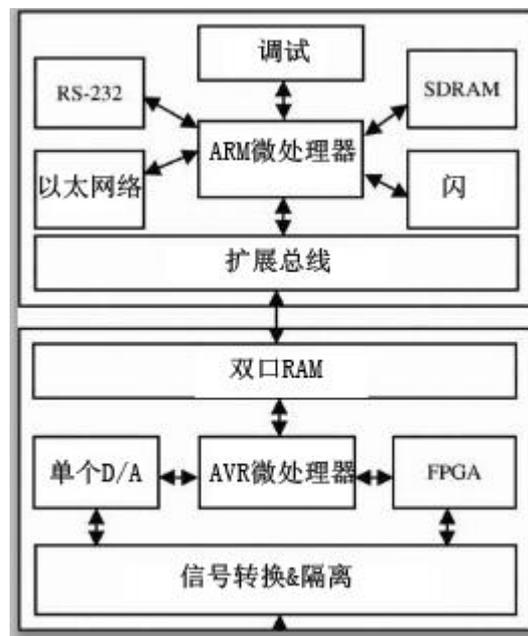


Fig.8 实验系统的图

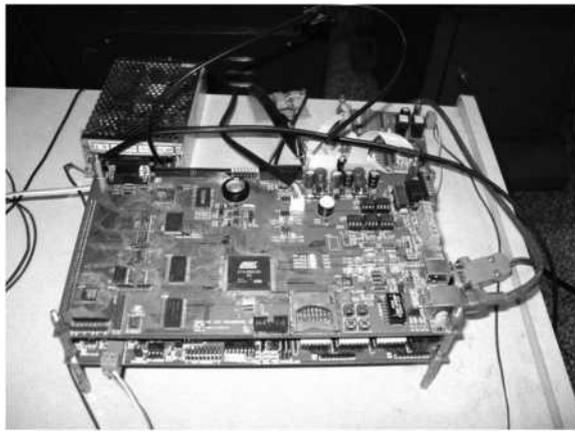


Fig.9 控制器的硬件设置

表一

测试线程的参数

参数	测试一	测试二	测试三
大径 (mm)	20	22	16-22
中径 (mm)	18.4	20.4	14.4-20.4
长度 (mm)	30	30	30
铅 (mm)	1.5	3	1.5
沥青 (mm)	1.5	1.5	1.5
递减率	0	0	0.2
评论	单头直螺纹	双启动直螺纹	单头锥螺纹

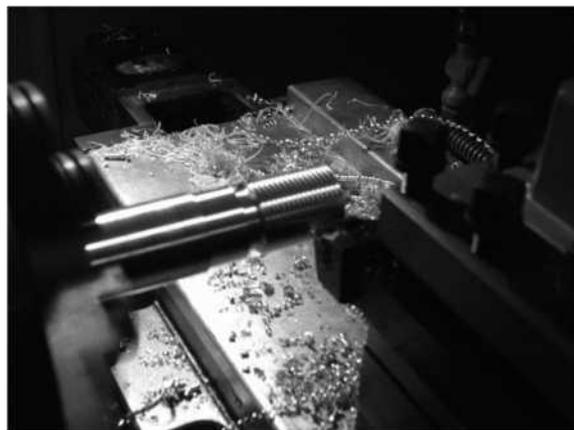


Fig.10 车丝过程



Fig11.成品零件

值得注意的是，通过利用可重构逻辑，电动机控制任务和重新采样算法，可以由硬件实现。可重配置硬件增强了数控系统的性能。而且，这种结构允许车丝之前要计算的内插点，从而消除了需要在实时运行插值。通过以间歇方式运行的内插，在实时上下文切换开销被降低，和一个更高的数据吞吐量是可能的。在这个实验中，控制软件是一个标准的 Linux 系统，这是一个非实时操作系统上运行。因此，开发人员可以使用标准的编程工具来构建数控系统软件。

## 六.结论

本文介绍了可重构硬件体系结构的数控车床控制器的开发。我们提出了一个新的重采样算法数控车床的车丝过程。尽管主轴速度的波动此重新采样算法可以维持螺纹精度。通过利用重新采样算法，内插任务和电机控制任务可以异步运行。从而，内插可以在不久实时的方式来完成。这将简化软件设计和提供了更高的数据吞吐量。

从设计者的观点，重新采样算法适用于由硬件执行。再采样逻辑的结构也被本文提出。重新采样，与其他的可重构逻辑结构一起，可以很容易地集成到一个可编程逻辑器件。可重构硬件的应用提高了系统的性能和系统设计提供了灵活性。实验已经成功验证了该重采样算法的可行性和相应的可重构逻辑。

## 参考文献

- [1] Y.F. Chan, M. Moallem and W. Wang, "Efficient Implementation of PID Control Algorithm using FPGA Technology". 43rd IEEE conference on *Decision and Control*, Dec. 2004, pp. 4885-4890.
- [2] Y.D. Tao, H. Lin, X.H. Zhang and Z.C. Wang. "Efficient Implementation of CNC Position Controller using FPGA, *The IEEE International Conference on Industrial Informatics*, July 13-16, 2008, pp.1 177-1182.

- [3] W. Zhao, B.H. Kim, A.C. Larson and R.M. Voyles. "FPGA Implementation of Closed-Loop Control System for Small-Scale Robot". *12th International Conference on Advanced Robotics*, July 18-20, 2005, pp.70-77.
- [4] J.Z. Wang, Y.P. Chen, J.M. Xie, B. Chen and Z.D. Zhou. "TPGA based Neural Network PID Controller for Line-scan Camera in Sensorless Environment". *Fourth International Conference on Natural Computation*, pp. 157-161.
- [5] K.H. Su, C.K. Hu and M.Y. Cheng, "Design and Implementation of an FPGA-based Motion Command Generation Chip" IEEE international *Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Oct. 8-11, 2006.
- [6] R.A. Osornio-Rios, R.J. Romero-Troncoso, G. Herrera-Ruiz and R. Castaneda-Miranda. "FPGA Implementation of Higher Degree Polynomial Acceleration Profiles for Peak Jerk Reduction in Servomotors". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 25, 2009, pp. 379-392.
- [7] H.T. Yau, M.T. Lin and M.S. Tsai. "Real-time NURBS Interpolation using FPGA for High Speed Motion Control". *Computer-Aided Design*, Vol. 38, 2006, pp. 1123-1133.
- [8] S. Park, S.H. Kim and H. Cho. "Kernel Software for Efficiently Building, Re-configuring, and Distributing an Open CNC Controller". *J. of Manuf. Technol.*, Vol. 27, 2006, pp. 788-796.  
Beijing-Fanuc Mechatronics Corporation, *FANUC Series Oi-TC Operator's Manual (in Chinese)*, Beijing, China, 2004