

Нейросетевая подсистема адаптивного управления процессом резания для открытых систем ЧПУ типа PCNC

Embedded neuron net subsystem of cutting process control in NC system – win PCNC

Работа посвящена повышению эффективности металлообработки с помощью нейросетевых адаптивных систем, обеспечивающих автоматизированную коррекцию скорости подачи при изменении технологических параметров.

The work discovers the problem of increasing the efficiency in metalworking. The tool for this problem is the neuron nets adaptive systems which provide the automated correction of speed of giving, in case of changing of technological parameters.

Ключевые слова: *нейросеть, адаптивное управление, нейроконтроллер, нейроэмулятор.*

Key words: *neuron net, adaptive control, neurons control, neuro emulator.*

Проблема повышения эффективности металлообработки была и остается одной из главных в машиностроении. Большая масса изделий машиностроения производится в механообрабатывающих станочных модулях, в которых основным технологическим процессом является процесс резания, а системами управления – системы числового программного управления (ЧПУ). Поэтому повышение эффективности процесса резания является актуальной научно-технической задачей.

Сложность решения проблемы связана с тем, что процесс резания характеризуется как нестабильный процесс с множеством взаимосвязанных переменных, влияющих как на ход процесса, так и на его результаты. Условия резания динамически изменяются во времени случайным образом из-за влияния различных возмущающих факторов: разброс припусков, разброс твердости и структуры металла заготовок, непрерывно изменяющиеся режущие свойства инструмента и др. На показатели качества обработки влияет жесткость и тепловая деформация элементов технологической системы, характер и параметры относительных колебаний инструмента и детали, и т.д. Программа ЧПУ не может учитывать данные факторы, расчет режимов резания производится по наилучшим возможным вариантам, что обеспечивает более стабильную работу инструмента и уменьшает вероятность брака, но при этом заведомо отрицательно сказывается на технико-экономической эффективности и приводит к снижению производительности.

Проблема повышения эффективности металлообработки традиционно решалась за счет создания систем автоматизированного управления металлорежущими станками [1]. Системы автоматизированного управления получили название адаптивных систем управления, так как позволяют непрерывно корректировать режимы резания, положение инструмента, жесткость системы в зависимости от изменений условий обработки, что дает возможность повысить качество изготовления деталей и производительность обработки. Измеряя силу тока в якоре электродвигателей постоянного тока, часто применяемых в приводах станков, можно легко следить за мощностью или крутящим моментом на валу электродвигателя и, следовательно, за изменением технологических параметров процесса металлообработки. Метод контроля инструмента по мощности чрезвычайно прост, не требует вмешательства в конструкцию станка, но эффективен при достаточно больших силах резания и небольшой мощности холостого хода станка [1]. При резании с малыми силами появляются значительные погрешности, связанные с потерями на трение в кинематических передачах станка. Так как ток холостого хода электродвигателя шпинделя намного больше приращения тока при резании, то в целях повышения чувствительности и точности работы адаптивных систем управления, управление ведется по величине приращения тока над уровнем холостого хода.

Однако интерес к адаптивным системам управления, функционирующим в режиме реального времени, заметно снизился из-за отсутствия математических моделей управляемого процесса резания. Построение точных моделей – серьезная проблема, которая остается сегодня нерешенной. Для построения точных математических моделей необходимо проделать не одну серию экспериментов, что требуют времени, материалов и влечет экономические потери. Точные

математические модели, как правило, настолько сложны, что быстрый поиск оптимальных режимов резания требует существенных аппаратных затрат, приводит к резкому удорожанию адаптивных систем и нецелесообразности их использования. К тому же найденная модель будет иметь постоянно нарастающую погрешность вследствие изменения режимов работы и свойств самого оборудования. Появляется необходимость перестраивать модель из-за непрерывно изменяющихся параметров процесса резания и определять структуру модели в каждом конкретном случае. Используемые в настоящее время адаптивные системы имеют жесткую структуру и неизменный алгоритм функционирования и, как следствие, низкое качество адаптации к изменению технологических параметров.

Таким образом становится очевидно, что система обладала бы большими способностями к адаптации, если при изменении параметров процесса резания происходила бы и перестройка самой системы. Современный подход к адаптивному управлению требует от системы способности автоматически изменять свою структуру или алгоритм функционирования. Предлагается новый подход к созданию адаптивных систем управления процессами резания, основанный на свойстве самоорганизации нейронных сетей.

Интерес к применению нейронных сетей для задач управления вызван следующими причинами. Способность нейронных сетей к обучению на основе соотношений "вход-выход" позволяет обеспечить более простые решения для сложных задач управления и избавляет от необходимости использовать сложный математический аппарат в отличие от традиционных методов адаптивного управления. Сигмоидные функции активации дают возможность реализовать нелинейные отображения и делают сети пригодными для решения задач управления с существенными нелинейностями. Это преимущество нейронных сетей наиболее важное с точки зрения теории управления. Высокая степень параллельности позволяет им обрабатывать сигналы с большой скоростью, что чрезвычайно важно для функционирования в реальном масштабе времени.

Повреждения отдельных элементов не приводит к катастрофическому ухудшению качества работы сети в целом. Нейронные сети пригодны для управления в неопределенных условиях, так как не требуют наличия большого объема априорной информации об объекте управления.

Таким образом самоорганизующаяся нейросетевая модель сможет существенно повысить качество адаптации систем для целей управления металлообработкой и упростить процесс моделирования, так как при изменении параметров процесса резания будет происходить перестройка модели, и для нее будет определяться новый закон управления. Применение данного подхода к построению адаптивных систем управления дает возможность непрерывно автоматически уточнять параметры адаптивной системы в процессе функционирования. Новый подход к созданию адаптивных систем управления процессами резания позволит повысить эффективность металлообработки без значительных материальных и временных затрат на переоборудование.

В результате рассмотрения различных архитектур нейроуправления была выбрана двухсетевая структура [2] с нейроконтроллером (НК) и нейроэмулятором (НЭ) (рис.1). Система управления осуществляет стабилизацию приращения тока двигателя главного движения с помощью коррекции скорости подачи в процессе обработки.

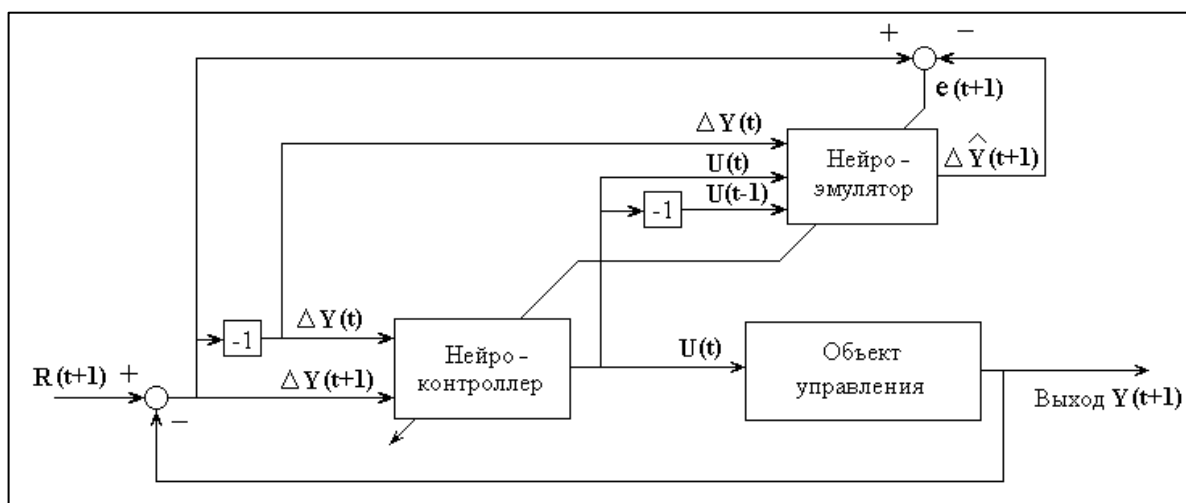


Рис.1. Нейросетевая модель

На вход НЭ подается управляющий сигнал U (подача) и его задержанное на один такт значение, а также задержанный на один такт сигнал $\Delta Y = R - Y$, где R – начальная уставка, Y – контролируемый сигнал объекта (приращение тока двигателя шпинделя). НЭ обучается на объекте управления; при этом ошибка сети вычисляется как разность между выходным сигналом НЭ и отклонением ΔY реального сигнала от заданного значения.

Управление подачей осуществляется НК. На вход НК подается сигнал ΔY , представляющий собой отклонение приращения тока от заданного значения, а также задержанное на один такт значение отклонения. В процессе работы происходит непрерывное обучение НЭ, а также формируются обучающая и тестовая выборки. В случае возрастания ошибки управления, оцениваемой по среднеквадратичному критерию, инициализируется процедура адаптации. При этом веса НЭ фиксируются и начинается обучение НК по накопленной на данный момент обучающей выборке. В случае удачного обучения происходит замена старого НК на новый. Для коррекции контроллера обе нейросетевые компоненты (НК и НЭ) рассматриваются соответственно как переменная и постоянная части многослойной нейронной сети (рис. 2). Для обучения нейросетевых компонент применяется алгоритм обратного распространения ошибки.

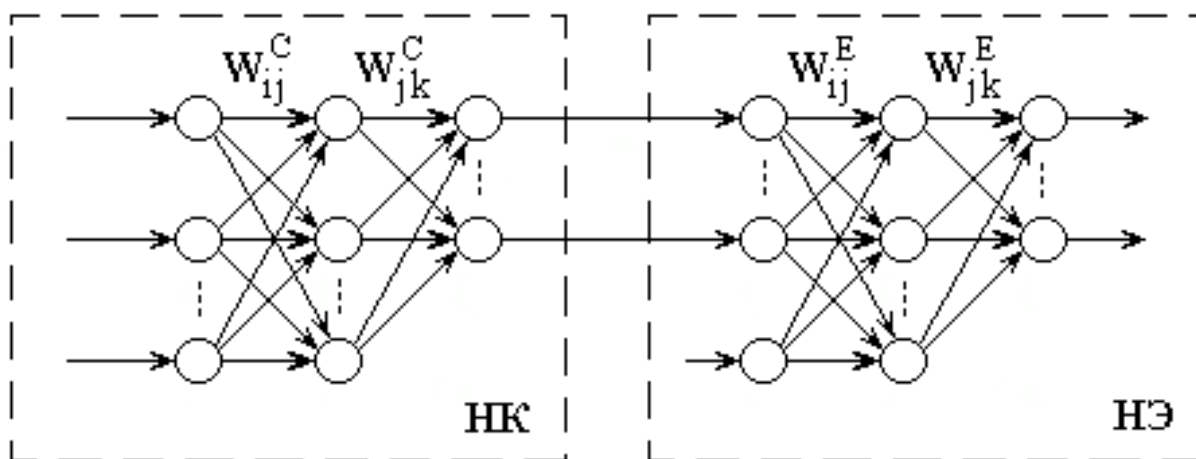


Рис.2. Нейроконтроллер и нейроэмулятор

НЭ кроме как для обучения НК может быть использован для прогнозирования параметров технологического процесса в сложных случаях, например, при резании труднообрабатываемых материалов.

Обучающая и тестовая выборки для НК представляют собой значения управляющего параметра U и соответствующие им значения отклонений ΔY контролируемого параметра Y . Объем каждой выборки должен быть достаточным для обеспечения высокой обобщающей способности нейронных сетей, и может быть принят равным около 200 примеров. Обе выборки обновляются непрерывно путем добавления новых и удаления устаревших примеров в ходе работы по мере измерения значений Y и U . При поступлении новых измеренных значений Y , отличающихся от предыдущих, выявляются обучающие примеры, имеющие те же значения U . Эти примеры заменяются на новые и (в случае последующего успешного обучения НЭ) новый пример сохраняется в выборке, в противном случае происходит возврат старого примера. Выборки не должны содержать примеров, противоречащих друг другу, когда одному и тому же U соответствуют разные значения ΔY . Обучающая и тестовая выборки обновляются поочередно.

В случае воздействия возмущений происходит интенсивное обновление обучающих примеров; если возмущений нет, то нет и существенных управляющих воздействий, и обновление выборок идет медленно.

Величина смены НК зависит от величины и стабильности ошибки управления. При низкой и постоянной ошибке управления нет необходимости в частой смене НК; в этом случае смена НК может происходить с фиксированной частотой.

Применение данного подхода к построению адаптивных систем управления дает возможность непрерывно автоматически уточнять параметры адаптивной системы в процессе функционирования.

Возникает вопрос интеграции блока адаптивного управления в систему ЧПУ. Предлагается компонентный подход для создания программного обеспечения системы ЧПУ. При данном подходе система состоит не из одного монолитного исполняемого файла (файла с расширением *.exe), а имеет множество модулей, причём каждый модуль создается как отдельный независимый компонент. Эта технология получила название СОМ (Component Object Model – компонентная объектная модель).

Сутью данной технологии является то, что программы строятся из компонент, которые состоят из объектов [3,4,5]. Компонентная архитектура является развитием модульной реализации систем, при которой модули реализованы в виде СОМ-компоненты, а система конфигурируется из готовых модулей. Компоненты можно подключать к приложению и отключать от него. Компоненты приносят в программное обеспечение новые возможности. Компонентная организация программного обеспечения систем управления позволяет:

- повторно использовать исходный код;
- применять готовые компоненты независимых поставщиков, имеющиеся на рынке;
- компоновать систему управления под конкретные технологические задачи;
- распараллелить процесс разработки систем управления (на этапе проектирования) за счет выделения компонентов.

Исходя из этого, компонентная технология повышает надежность системы управления (за счет повторного использования готовых отлаженных компонентов) и сокращает время выпуска новых версий (за счет возможности приобретения и интеграции существующих на рынке компонентов).

Поэтому, в качестве архитектуры программного обеспечения выберем компонентную модель. Предлагается реализовать блок адаптивного управления в виде СОМ-компонента с последующим встраиванием его в систему ЧПУ.

В настоящее время существует множество систем ЧПУ, однако не все допускают подключение внешних программных модулей, что делает невозможным интеграцию системы адаптивного управления в систему ЧПУ без изменения последней. Интеграцию внешних компонент поддерживают системы, обладающие открытой архитектурой. Системы ЧПУ типа PCNC с открытой архитектурой отвечают следующим требованиям:

- наличие открытой модульной архитектурой, в которой стандартизованы как отдельные модули, так и их интерфейсы;
- возможность конфигурирования системы ЧПУ на всех этапах жизненного цикла (у производителя, станкостроителя, конечного пользователя системы);
- использование клиент-серверного подхода в организации взаимодействия подсистем;
- возможность интегрирования внешних СОМ-компонент;
- использование объектно-ориентированного подхода к определению макроструктуры, а также на уровне технологии программирования.

Открытая архитектура предопределяет принципиально новую организацию системы ЧПУ, в которой даже модули с традиционными наименованиями имеют новые функциональные и алгоритмические наполнения, а также и новую программную реализацию. Особо важную роль приобретает РС-подсистема, которая определяет пользовательские характеристики и уровень сервиса для оператора.

Система ЧПУ WinPCNC полностью соответствует предъявляемых требованиям и блок адаптивного управления в виде СОМ-компонента может быть встроено в систему ЧПУ типа PCNC с открытой архитектурой.

Блок адаптивного управления взаимодействует с ядром системы ЧПУ посредством коммуникационной среды. Реализация в виде СОМ - компонента обеспечивает его беспрепятственное подключение и отключение от системы ЧПУ WinPCNC.

Для реализации блока адаптивного управления желательно использование внешних библиотек, реализующих работу искусственных нейронных сетей. В настоящее время существует множество готовых библиотек, реализующих различные нейронные сети.

Таким образом, блок адаптивного управления реализуется в виде СОМ-компонента и встраивается в систему ЧПУ типа PCNC с открытой архитектурой. Наличие открытой модульной архитектуры обеспечивает интеграцию разрабатываемой подсистемы адаптивного управления в систему ЧПУ без изменения последней. Реализация в виде СОМ-компонента обеспечивает его беспрепятственное подключение и отключение от системы ЧПУ.

Библиографический список

1. **Соломенцев Ю.М., Сосонкин В.Л.** Управление гибкими производственными системами. М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.: ил.
2. **Сигеру Омату** Нейроуправление и его приложения. Кн.2./Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. Пер. с англ. Н.В. Батина. Под ред. А.И. Галушкина, В.А.Птичкина. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.: ил. (Нейрокомпьютеры и их применение)
3. **Мartiнова Л.И., Martинов Г.М.** Практические аспекты реализации модулей открытой системы ЧПУ // Автотракторное электрооборудование, 2002. №3. С. 31-37.
4. **Мartiнов Г. М.** Академическая версия системы ЧПУ WinPCNC // Инструмент, технология, оборудование. №8. 2007. С. 62-64.
5. **Мartiнов Г.М., Сосонкин В.Л.** Концепция числового программного управления мехатронными системами: методологические аспекты построения открытых систем ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2002. №2. С. 2-11.

References

1. **U M Solomencev, V L Sosonkin** Management of flexible production systems. Moscow: Machinebuilding, 1988. – 352 pages, illustrated.
2. Neuro-Control and its Applications (Advances in Industrial Control) by Sigeru Omatu, Marzuki B. Khalid, Rubiyah Yusof Hardcover, 255 Pages, Published 1996, Corrected Edition
3. **L I Martinova, G M Martinov.** The practical approach to realization of open-NC-system's modules // Avtotraktornoe elektrooborudovanie. 2002. No 3. P. 31-37.
4. **G M Martinov** Academy version of NC systems WinPCNC// Instrument, tehnologiya, oborudovanie. №8. 2007. P. 62-64.
5. **G M Martinov, V L Sosonkin** The concept of numerical control for mechatronic systems: methodic aspects of building open NC systems // Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie. 2002. No 2. P. 2-11.

Kozak Nikolaj Vladimirovich - преподаватель кафедры "Компьютерные системы управления" МГТУ «Станкин» магистр

E-mail: kozak@ncsystems.ru

Никишечкин Анатолий Петрович - доцент кафедры "Компьютерные системы управления" МГТУ «Станкин», преподаватель

E-mail: anatolij-petrovich@yandex.ru

Никишечкина Нина Анатольевна - студент МГТУ «Станкин»

E-mail: ninanikishechkina@gmail.com

Kozak N V - teacher of department "Computer-architecture control systems" MSTU «Stankin», master of science.

E-mail: kozak@ncsystems.ru

Nikishechkin A P - associate professor, teacher of department "Computer-architecture control systems" MSTU «Stankin».

E-mail: anatolij-petrovich@yandex.ru

Nikishechkina N A – student MSTU «Stankin».

E-mail: ninanikishechkina@gmail.com