

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКТИРОВКИ НАСТРОЕК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ПОПУЛЯЦИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

Новоселов Ю.К., Богуцкий В.Б., Тараховский А.Ю.

Севастопольский государственный университет, г.Севастополь

Ключевые слова: автоматизированное производство, подналадка технологической системы, эволюционная модель процесса, популяция конечных автоматов.

Аннотация. Показано, что одной из наиболее сложных проблем автоматизированного производства является стабилизация параметров качества деталей. Предложена математическая модель смещения настройки технологической системы на основе применения эволюционной модели процесса с использованием популяции конечных автоматов. Модель позволяет на принципах «наследственности», изменчивости и отбора автоматов решить проблему гибкости по отношению к условиям конкретного производства, так как модель в реальном масштабе времени отражает особенности течения технологического процесса механообработки.

MATHEMATICAL MODEL FOR CORRECTING THE TECHNOLOGICAL SYSTEM SETTINGS BASED ON THE APPLICATION OF THE EVOLUTIONARY POPULATION OF THE FINITE-STATE MACHINES

Novoselov Yu.K., Bogutskiy V.B., Tarakhovskiy A.Yu.

Sevastopol State University, Sevastopol

Keywords: automated production, adjustment of the technological system, evolutionary model of the process, finite state machine population.

Abstract. Shown that one of the most difficult problems of automated production is the stabilization of the quality parameters of parts. Is proposed a mathematical model for shifting the tuning of a technological system based on the application of an evolutionary model of the process using a population of finite state machines. The model makes it possible to solve the problem of flexibility in relation to the conditions of a particular production on the principles of «heredity», variability and selection of machines, since the model in real time reflects the peculiarities of the flow of the technological process of machining.

Одной из наиболее сложных проблем автоматизированного производства является стабилизация параметров качества изделий. На технологическую систему действует большое число закономерных и случайных факторов, в результате влияния которых изменяются не только параметры состояния системы, но и выходные переменные. Например, в процессе обработки партии деталей вследствие износа инструмента, температурных деформаций элементов

технологической системы, различной амплитуды вибраций изменяются размеры и форма обработанных поверхности, которые рано или поздно выходят за пределы допуска [1-3 и др.].

Поддержание заданного качества в этом случае возможно только при наличии обратной связи, позволяющей осуществлять периодическую или непрерывную подналадку технологической системы.

Для расчета подналадочного импульса обычно используются «жесткие» алгоритмы, основанные на априорной информации. Применение таких алгоритмов связано с большой подготовительной работой по сбору информации и требует значительных вычислительных ресурсов. С изменением условия работы оборудования качество управления при использовании «жестких» алгоритмов, как правило, существенно ухудшается.

Качество управления может быть повышено при использовании предлагаемой эволюционной модели процесса смещения настройки технологической системы. Подобная модель может быть реализована, например, для обеспечения точности при обработке деталей на станках с ЧПУ, снабженных системой активного контроля.

Отклонение размера детали от номинала в $i+1$ -м цикле обработки представим в виде:

$$\chi_{i+1} = \chi_i + \lambda_{i+1},$$

где χ_i – отклонение размера детали от номинала в i -м цикле обработки; λ_{i+1} – приращение отклонения в $i+1$ -м цикле обработки.

Подналадочный импульс по изменению положения суппорта $i+1$ -м цикле обработки формируется следующим образом:

$$\beta_{i+1} = \lambda_i - \rho_i + \rho_{i+1},$$

где λ_i – приращение отклонения размера детали от номинала в i -м цикле обработки; ρ_i, ρ_{i+1} – прогнозы приращения O отклонения соответственно в i -м и $i+1$ -м циклах обработки.

Приращение отклонения размера детали от номинала в i -м цикле обработки λ_i определяется по результатам контроля размера детали после её обработки, прогноз приращения ρ_i с помощью эволюционирующей популяции конечных автоматов, каждый из которых характеризуется множеством состояний (S); множеством входных сигналов (I); множеством выходных сигналов (O); отображением $F: S \times I \rightarrow O$, определяющим очередное состояние автомата при заданном значении входного сигнала и текущем состоянии; отображением $G: S \times I \rightarrow O$, определяющим значение выходного сигнала автомата при заданном значении входного сигнала и текущем состоянии.

Входными сигналами для автоматов являются приращения отклонения λ_i , выходными сигналами – прогнозы $\rho_{i,j}$ (i – номер цикла, j – номер автомата).

Множества входных и выходных сигналов в рассматриваемой модели совпадают (обычно 0, +1, -1, +2, -2, ...). Мощность входных и выходных сигналов и количество состояний автомата задаются на этапе начальной настройки системы управления.

Приращение отклонения размера от номинала λ_i поступает на вход каждого автомата популяции. В i -м цикле обработки автоматы формируют прогнозы приращения отклонения в очередном $(i+1)$ -м цикле обработки:

$$\rho_{(i+1),j} = G_j(\lambda_i; S_{ij}),$$

где i – номер цикла обработки; j – номер автомата в популяции; λ_i – приращение отклонения в i -м цикле обработки; S_{ij} – состояние j -го автомата в i -м цикле обработки.

При этом автоматы меняют свое состояние:

$$S_{(i+1),j} = F_j(\lambda_i; S_{ij}).$$

Общий прогноз популяции ρ_{i+1} принимается равным прогнозу лучшего по качеству прогнозирования автомата [4, 5].

Текущее качество прогнозирования (в процентах) j -го автомата в i -м цикле определяется по формуле:

$$k_{ij} = 100 \left(1 - \frac{|\rho_i - \lambda_i|}{O_{\max} + O_{\min}} \right),$$

где ρ_i – прогноз смещения настройки станка в i -м цикле обработки; λ_i – фактическое смещение настройки станка в i -м цикле обработки; O_{\max} , O_{\min} – максимальный и минимальный выходные сигналы из множества O .

Качество прогнозирования j -го автомата в i -м цикле за N последних циклов обработки рассчитывается следующим образом:

$$k_{ij} = \frac{k_{(i-1)j}(N-1) + k_{ij}}{N},$$

где $k_{(i-1)j}$ – качество прогнозирования j -го автомата в $(i-1)$ -м цикле обработки за N последних циклов обработки; k_{ij} – текущее качество прогнозирования j -го автомата в i -м цикле.

В каждом цикле обратной связи отдельные автоматы подвергаются «мутациям» и «размножаются». «Геном» автомата являются отображения F и G , приведенные выше. «Мутации» представляют собой случайное внесение изменений в отображения F и G , «размножения» – случайное скрещивание отображений [5, 6].

Худшие по качеству прогнозирования автоматы вытесняются и заменяются новыми – появившимися после «размножения» и «мутаций». Прогноз лучшего по качеству прогнозирования автомата используется для расчета подналадочного импульса.

Данная модель позволяет на принципах «наследственности», изменчивости и отбора автоматов (алгоритмов) решить проблему гибкости по отношению к условиям конкретного производства, так как модель в реальном масштабе времени отражает особенности течения технологического процесса механообработки, который является для модели внешней средой. Только при условии своевременной реакции на изменения во внешней среде автоматы могут обеспечить свое существование («выживание» на ресурсах вычислительной машины).

Эволюционная модель позволяет также значительно снизить интенсивность контроля за счет качественного прогноза моделью изменений во внешней среде (течении технологического процесса). В принципе измерения нужны лишь в случае существенного изменения условий производства. Периодичность контроля устанавливается в соответствии с качеством прогнозирования лучшего автомата популяции. Популяция автоматов формируется с помощью генератора случайных чисел на основе базовых моделей, полученных при исследовании аналогичных систем.

Базовые модели могут быть получены на основе априорных алгоритмов путем обучения популяции конечных автоматов, в результате которого появляется конечный автомат адекватный базовому алгоритму.

Полученный автомат вводится в популяцию, формируемую с помощью случайных чисел. На начальной стадии управления (параллельно обучению) в основу расчета подналадочного импульса принимается прогноз базовой модели (соответствующего конечного автомата) пока в процессе эволюции не появится автомат превосходящий базовый по качеству прогнозирования процесса смещения настройки технологической системы. Особенности эволюции (количество «мутаций» и «размножения» в каждом цикле обратной связи задаются на этапе начальной настройки системы управления.

Усовершенствование модели возможно за счет введения второй популяции вероятностных автоматов с целью прогнозирования случайной составляющей процесса смещения настройки технологической системы. В этом случае все автоматы объединяются в пары, и отбор алгоритмов на принципах, описанных выше, осуществляется среди соответствующих пар детерминированных и вероятностных автоматов.

Список литературы

1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 304 с.
2. Modern machining technology. A practical guide. Ed. by J.P. Davim. – Woodhead Publ., 2011. – 412 p.
3. Богущкий В.Б. Анализ влияния изменений параметров состояния технологических систем на выходные переменные операций шлифования/В.Б. Богущкий, Ю.К. Новоселов // Вестник современных технологий. – 2019. – № 3 (15). – С. 47-53.
4. Брауэр В. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.
5. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
6. Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. – М.: Мир, 1971. – 326 с.

References

1. Novoselov Yu.K. Dynamics of forming surfaces during abrasive machining. – Sevastopol: SevNTU Publ., 2012. – 304 c.
2. Modern machining technology. A practical guide. Ed. by J.P. Davim. – Woodhead Publ., 2011. – 412 p.
3. Bogutskiy V.B. Analysis of the impact of changes in the parameters of the condition of technological systems on output variables of the grinding operations/ V.B. Bogutskiy, Yu.K. Novoselov // Journal of modern technologies. – 2019. – № 3 (15). – P. 47-53.
4. Brouwer V. Introduction to the theory of finite automata. – M.: Radio and communication, 1987. – 392 p.

5. Gill A. Introduction to the theory of finite automata. – М.: Science, 1966. –272 p.
6. Neumann J. The theory of self-reproducing automata. – М.: World, 1971. – 326 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

<p>Новоселов Юрий Константинович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения, sev.novoseloff@yandex.ru</p>	<p>Novoselov Yuri Konstantinovich – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Mechanical engineering technology, sev.novoseloff@yandex.ru</p>
<p>Богуцкий Владимир Борисович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения, bogutskivb@yandex.ru</p>	<p>Bogutskiy Vladimir Borisovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Mechanical engineering technology, bogutskivb@yandex.ru</p>
<p>Тараховский Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения, atarahovsky@gmail.com</p>	<p>Tarakhovskiy Aleksey Yurievich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Mechanical engineering technology, atarahovsky@gmail.com</p>
<p>Севастопольский государственный университет, г.Севастополь, Россия</p>	<p>Sevastopol state university, Sevastopol, Russia</p>

Получена 26.03.2021