

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М., Гайденко П.П., Буйко Л.Д. Контроль в технологии микроэлектроники. Мн.: Наука и техника, 1979.- 312с. 2. EE Times // January 26, 2001. 3. SiliconStrategies // March 2, 2001. 4. Cypress Technical Articles // May 30, 2000.

УДК 004.891.3

В.М. Пашкевич

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Погрешность обработки определяется суммой погрешностей базирования  $\epsilon_b$ , закрепления  $\epsilon_z$ , приспособления  $\epsilon_n$ , колебаний упругих перемещений в технологической системе под влиянием нестабильности сил резания  $\Delta_r$ , погрешности наладки технологической системы на выдерживаемый размер  $\Delta_n$ , включающей в себя погрешность регулирования положения инструмента  $\epsilon_p$  и погрешность измерения  $\epsilon_{из}$ , колебаний перемещений в технологической системе под влиянием изменения температуры узлов станка и режущего инструмента  $\Delta_t$ , погрешностей станка, на котором производится обработка  $\Delta_c$ , размерного износа режущего инструмента  $\Delta_u$  и прочих погрешностей  $\Delta_{пр}$ . Среди перечисленных погрешностей величины, обозначенные  $\Delta$ , в свою очередь, представляют собой суммы, включающие несколько элементарных слагаемых. Некоторые из этих погрешностей носят случайный характер, а другие являются систематическими. Следовательно, суммарная погрешность обработки на металлорежущем станке в условиях серийного производства может быть представлена следующей моделью:

$$\Delta = k \sqrt{\epsilon_b^2 + \epsilon_z^2 + \epsilon_n^2 + \Delta_r^2 + \Delta_n^2 + \Delta_t + \Delta_c + \Delta_u^2 + \Delta_{пр}}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий отклонение закона распределения случайных погрешностей от нормального, равный 1... 1,73.

По существу, задача (1) может быть сведена к задаче многокритериальной оптимизации

$$\delta = \left[ \sqrt{\sum_i \Delta_n^2 + \sum_j \Delta_u^2} \right] - T \rightarrow \min, \quad (2)$$

$i, j$

где  $\Delta_{it}$  – случайные составляющие общей погрешности;  $\Delta_{it}$  – систематические;  $T$  – допуск обработки. Представляется перспективным решение такой задачи с использованием технологии искусственного интеллекта, когда ЭВМ имитирует процесс рассуждений человека-эксперта. На основе анализа зависимости (1), исходя из набора заранее сформулированных правил и процедур, можно успешно решать такую задачу.

Одним из методов решения такой задачи может быть метод, ориентированный на доступ, который использует так называемых демонов - скрытые или виртуальные процедуры, активизируемые изменениями значений в базе данных или доступом к ним. Когда результат операций или внешние события изменяют эти значения, включаются дополнительные вычисления. Эти методы использует ряд систем, среди которых FLAVORS, LOOPS, ROSS, STROBE и др. Впервые подобный подход в технологии искусственного интеллекта использовался в так называемом «пандемониуме Селфриджа» [1 - 3].

Описанная концепция может быть успешно реализована для задачи технологического характера (1). При этом для реализации системы может быть использована упрощенная иерархическая структура, представленная на рис. 1.

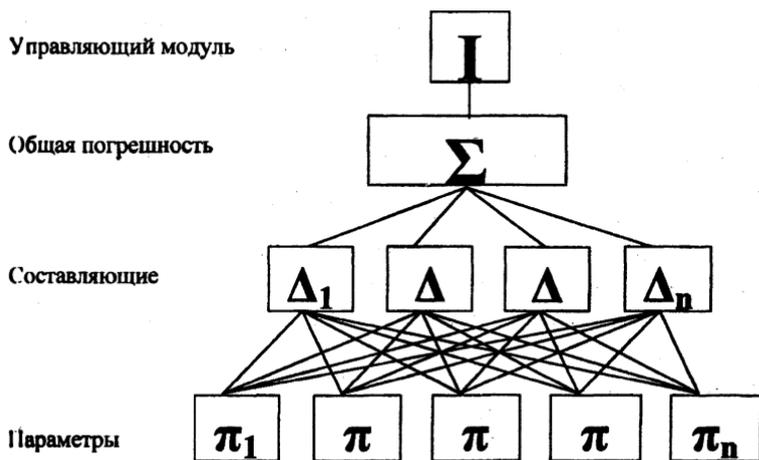


Рис.1. Схема интеллектуальной системы

Она не имеет формы сетевой структуры и поэтому проще в реализации. Система включает модуль расчета общей погрешности  $\Delta$  согласно формуле (1), модули расчета составляющих  $\epsilon_i$  и анализатор, связывающий эти модули. Функциями анализатора является контроль условия обеспечения точности обработки

$$\Delta < T, \quad (3)$$

где  $T$  – допуск обрабатываемой поверхности.

В том случае, если условие (3) выполняется, то анализ точности обработки прекращается. В противном случае анализируются значения составляющих погрешностей  $\varepsilon_i$ . При этом «важность» каждой составляющей, характеризующаяся ее вкладом в общую погрешность, может быть задана весовыми коэффициентами  $\omega_k$  ( $\Delta$ ;  $\varepsilon_i$ ), определяющими приоритет доступа к этим погрешностям. Обычно приоритет должны иметь систематические погрешности, как наиболее просто поддающиеся управлению с помощью соответствующей настройки станка. Однако в наиболее простом случае (и такой подход свойственен человеческому мышлению), весовые коэффициенты могут быть приняты равными. В этом случае составляющие погрешностей признаются равноценными относительно их вклада в общую погрешность, и доступ к ним ведется в порядке их абсолютной величины. При этом активизируются соответствующие процедуры управления составляющими.

Решение принимается системой в диалоге со специалистом-технологом. Системой предлагаются конкретные меры по снижению составляющей погрешности. Исходя из производственных возможностей, эти меры принимаются специалистом, отвергаются или откладываются для последующего анализа. Принятие предлагаемой меры приводит, в свою очередь, к активизации процедур управления входными параметрами  $S(f)$ . Очередность доступа к ним (ранжирование) также задается весовыми коэффициентами  $\omega$  ( $\varepsilon_i$ ,  $f_j$ ), значение которых может быть определено несколькими способами. В первом способе наибольшие значения весового коэффициента может быть приписано тому параметру  $f_j$ , который вносит наибольший вклад в погрешность  $\varepsilon_i$  (т.е. точностный критерий). Согласно второму способу, доступ к управляемым параметрам должен строиться в порядке возрастания затрат на их управление (экономический критерий).

Третий способ использует одновременно первый и второй способы (комбинированный критерий). В этом способе весовые коэффициенты определяются согласно принципу оптимальности Парето или по упрощенной формуле

$$\omega(\varepsilon_i; f_j) = \frac{\sum_{k=1}^n a_k \omega_{jk}(f_i)}{\sum_{k=1}^n a_k}, \quad (4)$$

где  $a_k$  – экспертная оценка «важности»  $k$ -го способа ранжирования;  $\omega_{jk}(f_i)$  – значение весового коэффициента для фактора  $f_j$  в  $k$ -й ранжировке.

Следует отметить, что значения коэффициентов  $\omega$  ( $\varepsilon_i$ ,  $f_j$ ) могут изменяться в процессе получения решения. Их расчет представляет собой также весьма

интересную и самостоятельную задачу, решение которой позволит увеличить «интеллектуальность» системы.

В том случае, если оператор отказывается от изменения параметра  $f_i$  или же данный параметр достиг границы области применения, система закрывает доступ к этому параметру. Впоследствии доступ к этому параметру оказывается закрытым и для других процедур управления составляющими.

Если при вызове одной из процедур управления составляющими доступ ко всем процедурам управления входными параметрами оказывается закрыт, то закрывается доступ и к данной процедуре управления составляющими. В этом случае активизируется следующая процедура управления составляющими, имеющая наибольший приоритет доступа. По желанию оператора можно передать управление любой процедуре, имеющей меньший приоритет.

Архитектура в виде иерархической структуры независимых модулей позволяет строить полностью автономную, независимую от оператора систему. Предварительное обучение заключается в определении границ изменения параметров и задании коэффициентов  $\omega(\varepsilon; f_i)$ . В этом случае система после ввода исходных данных автоматически сообщает о необходимых изменениях начальных условий. Обучение системы может вестись и в процессе ее нормального функционирования в диалоге с оператором. В этом случае системой запоминается порядок вызова процедур управления входными данными под управлением соответствующей процедуры управления составляющими. При этом реализуется так называемый «принцип стопки книг» [4]. Согласно этому принципу, наиболее часто используемые объекты являются наиболее полезными. Они образуют «стопку», в которой порядок определяется накопленной частотой использования в прошлом. Весовой коэффициент при этом может быть вычислен по формуле (4), где вместо оценок  $\alpha_k$  используются накопленные частоты.

При успешном решении задачи результаты рассуждений системы с учетом пожеланий оператора заносятся в базу данных. При достаточно большой базе данных система приобретает способность к автономным рассуждениям. Для каждой новой задачи система отыскивает наиболее «близкий» пример из базы данных и активизирует соответствующую «стопку книг». В зависимости от значения весовых коэффициентов, определяющих степень важности изменения соответствующего параметра, последовательность использования этих параметров разбита на три категории. Первая категория (около 60% параметров) включает наиболее часто используемые параметры, изменения которых обычно достаточно для получения решения. Если это не удалось, используется группа параметров, редко используемых на практике (около 25%). Третья группа параметров (около 15%) представляет собой параметры, практически не используемые на практике. Они обычно исключены из

рассмотрения. Таким образом, параметры, не используемые в течении 7-15 циклов, переводятся во второй, а затем и в третий список. В этом случае система реализует механизм «забывания» ненужной информации, что повышает ее интеллектуальность.

Программно система реализована в форме «доски объявлений» – рабочего поля, на котором процедуры находят информацию, инициирующую их запуск, а также выносят информацию о результатах своей работы. Эта информация может оказаться полезной для других процедур – например, содержать новые значения исходных данных.

Важной деталью системы являются процедуры разрешения конфликтов. Известно, что влияние отдельных параметров на общую погрешность является противоречивым. Так, например, увеличение подачи приводит к снижению составляющей погрешности, связанной с износом режущего инструмента. С другой стороны, увеличение подачи приводит к увеличению составляющей, связанной с упругими деформациями заготовки. Таким образом, снижение одной погрешности приводит к росту другой, причем их величины имеют существенно отличающиеся значения в зависимости от условий обработки. В этой связи при активизации процедуры, связанной с определением подачи, должна активизироваться и процедура разрешения конфликтов, сущность работы которой заключается в следующем. Процедура задает последовательно ряд значений оптимизируемого фактора (подачи) из области его изменения и вычисляет для каждого значения величину суммарной погрешности  $\Delta$  по формуле (1). В качестве окончательного (оптимального) значения подачи фиксируется то значение, которое минимизирует величину  $\Delta$ . Процедура разрешения конфликтов запускается каждый раз, когда исходные данные изменяются. Для непрерывных параметров, приводящих к конфликтной ситуации, может использоваться численное решение уравнения (1).

Другой важной деталью системы является контроль за условиями остановки. Процедура, осуществляющая такой контроль, базируется на формуле (1) и значениях доступов к составляющим. Так, если возможности управления величинами некоторых составляющих исчерпана, то доступ к ним закрывается и в дальнейшем они не могут быть изменены. Если при этом значение остаточной погрешности  $\Delta_{ост}$ , вычисленное по формуле (1) с учетом составляющих с закрытым доступом превышает допуск обработки  $T$ , то никакие дальнейшие меры не позволят обеспечить условие точности обработки (3), о чем и сообщит система.

В настоящее время описанный подход реализован применительно к задаче управления точностью токарной обработки для условий продольного наружного точения и носит демонстрационный характер. В число факторов, управляющих системой, входят: допуск на обработку, способ базирования, материал заготовки, глубина и скорость резания, подача, длина обработки и диаметры ступенчатого вала,

диаметр центровых гнезд, геометрические параметры режущего инструмента ( $r$ ,  $\lambda$ ,  $\phi$ ), сечение державки, вылет реза и материал его режущей части, время работы станка, жесткость систем “передняя бабка - резец” и “задняя бабка - резец”, точность лимба поперечной подачи станка, точность инструмента для настройки станка, а также ряд других.

Система уверенно решает задачу анализа точности при столь широком спектре данных. Представляется, что описанный подход может быть плодотворным и для решения других технологических задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. – М.: Мир, 1989. – 388 с.
2. Эндрю А. Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. – М.: Мир, 1992. – 240 с.
4. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн.2. Модели и методы / Под. ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

УДК 004.891.3

**В.М. Пашкевич**

## **ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Эвристические методы широко используются при решении сложных задач математического программирования большой размерности. В основном в эвристических моделях используются логика и здравый смысл, накопленный на основе личного или коллективного опыта. Преимущество эвристических методов – простота численной реализации, недостаток – приближенность решения. Использование эвристического поиска особенно перспективно в том случае, если не существует точного решения задачи или этому не соответствуют ограниченные ресурсы ЭВМ (память, быстродействие), а также если используются нечеткие числовые данные [1, 2]. Несмотря на относительную разработанность данного вопроса, методы эвристического поиска не нашли должного применения для решения задач технической диагностики. Представленный материал отражает опыт, накопленный в этой области.