

**УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

© 2015 г. Е.Н. ИВАШОВ, В.О. ЯГОВЦЕВ

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва
e-mail: yavvo@ya.ru

При автоматизированном проектировании элементов, узлов и устройств технологического оборудования разработчик встречается с проблемой малых выборок, т.е. отсутствия необходимого количества эмпирических данных для принятия рационального конструктивно-технологического решения.

Для «обхода» проблемы малых выборок при оценивании плотностей вероятностей $p(x)$ увеличим объем исходных данных $x^i, i = \overline{1, n}$, за счет результатов статического моделирования. С этой целью в β -окрестности каждой i -й точки выборки осуществим m имитаций с законом распределения $p_2(x)$. Полученная статическая выборка $x^i + x_2^j, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$, при равновероятных значениях $x^i, i = \overline{1, n}$, соответствует смеси плотностей вероятностей:

$$\hat{p}(x) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_2^j(x_2). \quad (1)$$

Нетрудно заметить, что непараметрическая оценка (1) имеет вид

$$\bar{p}(x) = (nmc)^{-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Phi\left(\frac{x - x^i - x_2^j}{c}\right). \quad (2)$$

Рассмотрим рандомизированный метод оптимизации. Пусть $V = (x^i, i = \overline{1, n})$ – выборка из n статистически независимых наблюдателей случайной величины $x \in R^1$ с плотностью вероятности $p(x)$, вид которой неизвестен. $p(x)$ ограничена и непрерывна со всеми своими производными до второго порядка включительно. В качестве приближения по эмпирическим данным V искомой плотности вероятности $p(x)$ примем статистику типа Розенблатта – Парзена

$$\bar{p}(x) = (nc)^{-1} \sum_{i=1}^n \Phi\left(\frac{x - x^i}{c}\right), \quad (3)$$

где $\Phi(\cdot)$ – ядерные функции, удовлетворяющие условиям положительности и нормированности; $c = c(n)$ – последовательность коэффициентов размытости:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} c(n) = 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} nc(n) = \infty. \quad (4)$$

Для сравнения традиционного и рандомизированного метода оптимизации непараметрической оценки плотности вероятности определим отношение $\bar{W}(c^*) / \bar{W}_p(h^*)$ соответствующих им асимптотических выражений среднеквадратических критериев при оптимальных параметрах c и h .

Из условия минимума $W_p(c)$ и $\bar{W}_p(h)$ по c и h нетрудно получить

$$c^* = \left[\frac{\|\Phi\|^2}{n \|p^{(2)}(x)\|^2} \right]^{\frac{1}{5}}, \quad h^* = \left(\frac{5+t}{t} \right)^{\frac{1}{5}} c^*. \quad (5)$$

При оптимальных параметрах c^*, h^* отношение

$$\frac{\bar{W}(c^*)}{\bar{W}_p(h^*)} \sim \frac{(1+5t^{-1})^{\frac{1}{5}}}{1+t^{-1}} \quad (6)$$

меньше единицы при конкретных значениях параметра t закона распределения $p(c)$ коэффициентов размытия ядерных функций.

Однако использование непараметрической оценки со случайными значениями коэффициентов размытия ядерных функций

$$\tilde{p}(x) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{1}{c^i} \Phi\left(\frac{x - x^i}{c}\right) \quad (7)$$

позволяет снизить смещение при оценивании плотности вероятностей по сравнению с традиционной статистикой типа (3). Покажем, что выражение смещения

$$\bar{W}_p^1(h) = \int_0^h M(\bar{p}(x) - p(x)) p(c) \sim dc \frac{h^2(t+1)}{2(t+3)} p^{(2)}(x), \quad (8)$$

а его отношение к соответствующему смещению $\bar{W}^1(c)$ для традиционной непараметрической оценки при оптимальных параметрах c^* и h^*

$$\frac{\bar{W}_p^1(h^*)}{\bar{W}^1(c^*)} \sim \frac{t+1}{t+3} \left(\frac{5+t}{t}\right)^{\frac{2}{5}}. \quad (9)$$

Если параметр t плотности вероятности $p(c)$ больше или равен 2, то отношение (9) меньше единицы.

Возникает необходимость изменений структуры системы управления для повышения ее эффективности. Нужно определить контрольные точки – моменты в реализации проекта, в которых будет проводиться анализ эффективности структуры.

Можно выделить следующие принципы выбора опорных точек:

- завершение важнейших этапов реализации проекта;
- события передачи существенных результатов в другие подсистемы;
- события, не управляемые в рамках данного комплекса операций.

Введем некоторые обозначения и формализуем наиболее важные ограничения на выбор очередной контрольной точки. Пусть $t_g - g$ -я контрольная точка, $g=0, \bar{N}$, где $g_0 = 0$ – начало реализации проекта, $g_N = T$ – срок его завершения. Существует некоторое минимальное Δ , на величину которого может отстоять контрольная точка от предыдущей. Если эта величина меньше Δ , то такая точка неэффективна, так как нельзя принять решение в столь короткий срок. Имеет место ограничение:

$$\begin{cases} t_{g+1} \geq t_g + \Delta, & \text{если } (t_g + \Delta) < T, \\ t_{g+1} = t_N = T, & \text{если } (t_g + \Delta) \geq T. \end{cases} \quad (10)$$

Если обозначить $t_k(\xi_i)$ как плановые сроки завершения i -й работы, то

$$n^k(\xi_i, \Delta t_g) = n(\xi_i, \Delta t_g) \mid t_0(\xi_i) \in (t_g, t_{g+1}), \quad (11)$$

где $t_0(\xi_i)$ – плановое начало работы, $n(\xi_i, \Delta t_g)$ – количество работ, выполняемых в период (t_g, t_{g+1}) , а $n^k(\xi_i, \Delta t_g)$ – количество работ, завершившихся в этот период.

$$\delta^k = \frac{n^k(\xi_i, \Delta t_g)}{n(\xi_i, \Delta t_g)}; \delta^0 = \frac{n^0(\xi_i, \Delta t_g)}{n(\xi_i, \Delta t_g)}. \quad (12)$$

Показатели (12) можно использовать для приближенного определения степени изменения состава выполняемых работ. Если значения этих показателей малы, то структура системы не нуждается в оптимизации, иначе она нуждается в оптимизации.

Пусть величины α_j и β_j показывают потери, которые несет система при простое или перегрузке j -го узла. Зная эти величины, можно выразить ограничение:

$$\sum_j \max(\alpha_j(\lambda_j^g - \lambda_j^{g+1}), \beta_j(\lambda_j^{g+1} - \mu_j)) \leq \gamma. \quad (13)$$

где γ это суммарные оценочные затраты на проведение процедур анализа и оптимизации организационной структуры.

Задачу оптимизации выбора контрольных точек можно записать так:

$$N \rightarrow \min \quad (14)$$

$$\sum_{g=1}^{N-1} \left(c(\delta_s^g) + \sum_j \max(\alpha_j(\lambda_j^g - \lambda_j^{g+1}), \beta_j(\lambda_j^{g+1} - \mu_j)) \right) \rightarrow \min \quad (15)$$

$$c(\delta_s^g) + \sum_j \max(\alpha_j(\lambda_j^g - \lambda_j^{g+1}), \beta_j(\lambda_j^{g+1} - \mu_j)) > \gamma, g = \overline{1, N-1} \quad (16)$$

Таким образом, имеем модель оптимизации выбора контрольных точек (с учетом ограничений, принятых выше).

На практике чаще всего имеет место дискретная зависимость скорости выполнения операции от затрат, которую можно представить следующим образом:

$$v_i(u_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } u_i < \bar{u}_i \\ v_{il}, & \text{при } \bar{u}_i \leq u_i \leq u_{il} \\ \dots & \\ v_{in}, & \text{при } u_i \geq u_{i,n-1}. \end{cases} \quad (17)$$

Каждой работе поставим в соответствие величины t_{Hi} и t_{Ki} , которые определяют начало и конец выполнения i -й работы. Можно представить модель в виде:

$$\sum_i t_i(u_i + \Delta u_i) \rightarrow \min; t_i = \frac{Y_{oi}}{v_i}, \forall i;$$

$$\sum_{i \in L_\tau} t_i \leq T_0 - \tau(t), \forall \gamma; t_{Ki} = t_{Hi} + t_i$$

Решение этой задачи является очень сложным, поэтому необходимо ее линеаризовать. Тогда для каждой выполняемой i -й работы можно установить возможные варианты ее выполнения.

Покажем применение данного подхода к конкретному устройству. Устройство формирования нанообъектов на подложке. (рис. 1), содержащее пьезопривод 1 с зондовым устройством 2, подложку 3, установленную на подложкодержателе 4, который связан с многокоординатным приводом 5, отличающееся тем, что зондовое устройство 2 выполнено в виде зондов 6, 7, 8, причем зонд 6 связан с источником знакопеременного напряжения 9, зонд 7 – с источником 10 отрицательного потенциала, зонд 8 – с источником 11 положительного потенциала, подложка 3 – с нулевой фазой 12, а приводы 13-18 связаны с основанием 19 по структуре I-координат.

Устройство работает следующим образом. Зонд 6 очищает поверхность подложки, зонд 7 генерирует квантовые ямы путем удаления вещества подложки, зонд 8 генерирует квантовые точки путем нанесения вещества на подложку.

Применение предлагаемого устройства формирования нанообъектов на подложке обеспечивает возможность прецизионного формирования объекта.

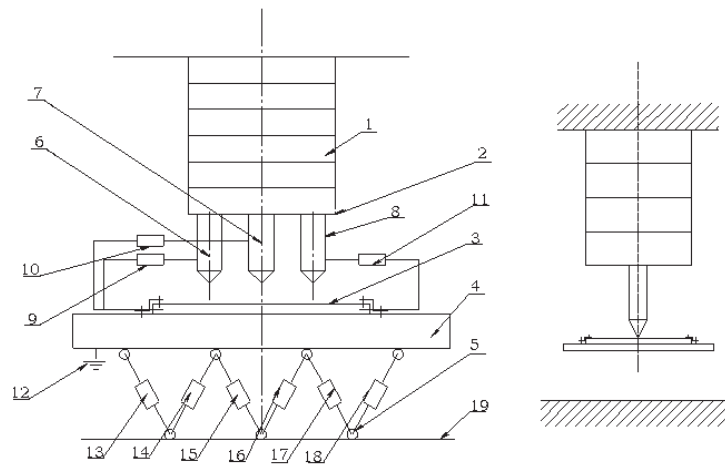


Рис. 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васин В.А., Ивашов Е.Н., Костомаров П.С. и др. Моделирование процессов иммерсионной ультрафиолетовой литографии на этапе аванпроектирования // Нелинейный мир. 2012. Т. 10. № 7. С. 454-459.
2. Болнокин В.Е. Адаптивное управление на базе нечетких регуляторов и нейросетевой технологии: Монография/ В.Е. Болнокин, Хо Д. Лок. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2012. – 280 с.