

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 536.2:536.42:532.66

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

¹⁾Лапа М.В., ²⁾Глоба Л.С., ¹⁾Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина; ²⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

В статье рассмотрены вопросы автоматизации гибкого проектирования технологических процессов изготовления деталей приборов с использованием нечеткой логики в условиях мелкосерийного производства для повышения его эффективности и качества

Вступление

В настоящее время производство на приборостроительных и машиностроительных предприятиях Украины носит мелкосерийный характер. Моральный срок жизни прибора составляет 2-3 года, изделий в машиностроении – 5-10 лет. Мелкосерийное производство характеризуется большой номенклатурой изделий, существенной разницей в технологических маршрутах изделий, большим количеством потребителей, срочностью выполнения заказов с возможными индивидуальными требованиями, жесткостью сроков освоения новой продукции, большим удельным весом этапа технической подготовки производства. Существующие системы разрабатывались для серийного производства и практически не применимы для приборостроительных предприятий Украины, которые являются мелкосерийными.

Анализ существующих систем. Цель статьи

В связи с этим целью статьи является рассмотрение современных подходов к автоматизации гибкого проектирования технологических процессов изготовления деталей приборов на основе математического аппарата нечеткой логики и использования нечетких экспертных правил для обеспечения требуемого качества обработки деталей за счет введения многовариантности технологических решений с учетом динамики изменения производственных условий и технико-экономических показателей производства.

Анализ существующих систем, которые в той или иной мере осуществляют проектирование технологических процессов (ТП) показывает, что существующие САПР не обладают технологической гибкостью, разрабатывались для серийного производства и практически неприменимы в условиях мелкосерийного производства деталей. На основе проведенного анализа существующих методов проектирования технологических процессов, изложенных в работах Цветкова В.Д., Митрофанова С.П., Капустина Н.М., Остафьева В.А., Глоба Л.С. и др.

[1,2,3], можно сделать вывод о необходимости учета особенностей мелкосерийного приборостроительного производства, динамики технико-экономических условий производственной среды при проектировании технологических процессов изготовления деталей приборов.

Модели технологического процесса, детали с использованием нечетких множеств

Рассмотрим модель ТП с использованием теории нечетких множеств. Технологию механической обработки детали можно представить в виде отношения

$$T: Z \rightarrow D,$$

где T – нечеткое множество технологий, таких, что любому технологическому процессу t_i , принадлежащему T , присвоено экспертом значение функции принадлежности μ_i , принадлежащее промежутку $[0,1]$; Z – нечеткое множество заготовок, такое, что любой заготовке z_i присвоено экспертом значение функции принадлежности μ_{zi} , принадлежащее промежутку $[0,1]$.

При механической обработке из разных заготовок по различным ТП t_1, t_2, \dots, t_n можно получить одну деталь. Каждому из возможных ТП присвоено экспертом значение функции принадлежности μ_i , принадлежащее интервалу $[0,1]$.

Рассмотрим модель ТП с учетом многовариантности технических решений. Из всего множества приемлемых решений может быть выбрано несколько (или один) наилучших ТП с максимальными значениями функции принадлежности. На каждом этапе существует набор возможных решений со своими значениями функции принадлежности μ_{ij} . Для наилучшего решения значение μ_{ij} будет максимальным.

Рассмотрев различные модели представлений знаний, можно сделать вывод о том, что наиболее приемлемой для представления конструкторско-технологических знаний является продукционная модель [3,4].

Построим модель принятия решений при проектировании ТП с использованием нечетких экспертных правил. Пусть моделируемый процесс гибкого проектирования определяется совокупностью нечетких множеств $X(U)=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ и совокупностью нечетких множеств $P(V)=\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, и при этом

$$X_i = \{(x, \mu_{xi}(X))\}; Y_i = \{(y, \mu_{yi}(y))\},$$

где U и V – конечные входное и выходное пространства объекта моделирования.

Процесс гибкого проектирования описывается нечетким уравнением

$$Y_i = X_i \circ R, \quad i=1, n,$$

где R – нечеткое бинарное отношение на $U \times V$.

Нечеткое бинарное отношение R , представленное в виде управляющих правил со структурой

$$\text{ЕСЛИ } X_i \text{ ТО } Y_i$$

определяется как $\mu_r(x,y) = \max \min \{\mu_{xi}(x), \mu_{yi}(y)\}$.

Здесь $R_i = X_i \times Y_i$ – индивидуальное нечеткое отношение, соответствующее каждому правилу соответствующего этапа проектирования согласно алгоритму проектирования ТП. $\mu \in [0,1]$ и задается экспертом. Для наилучшего решения значение $\mu_i \in [0,1]$ и будет максимальным.

Каждому правилу соответствующего этапа проектирования соответствует индивидуальное нечеткое отношение, согласно алгоритму гибкого проектирования ТП изготовления детали [5]. Четкие экспертные правила рассматриваются как частный случай нечеткого экспертного правила, где функция принадлежности μ принимает значения 0 или 1.

Для учета динамики технико-экономических условий производства используется вектор производственных ограничений Z , который задается таблицей истинности (как булева функция, принимающая значения 0 или 1). Значения Z_k задаются пользователем в диалоговом режиме и принимают значение 0 или 1 (предмет имеется в наличии, оснащение исправно). Учитывая вектор Z на каждом этапе проектирования, мы исключаем технологические решения, которые невозможно осуществить в данное время в данных производственных условиях, даже если они предлагаются базой знаний и имеют максимальное значение функции принадлежности μ .

Система проектирования ТП изготовления деталей на основе математических моделей с использованием нечетких множеств позволяет уйти от недостатков жестких алгоритмов проектирования, расширить область допустимых решений, использовать производственный опыт при составлении экспертных оценок, учесть динамическое состояние производственной технико-экономической среды с помощью вектора производственных ограничений. Это особенно важно при мелкосерийном производстве, поскольку позволяет внедрить гибкую технологию проектирования ТП.

Мета-стратегия гибкого проектирования ТП

Гибкое проектирование ТП изготовления деталей производится с использованием детали-аналога.

Рассмотрим модель детали с использованием нечетких множеств. Деталь представляется в виде набора поверхностей, каждой поверхности ставится в соответствие нечеткое множество методов обработки, каждый метод обработки характеризуется значением функции принадлежности μ , коэффициентом β , характеризующим влияние взаимосвязей поверхностей, и коэффициентом λ , характеризующим экономическую целесообразность применения того или иного метода обработки.

Укрупненный алгоритм проектирования ТП изготовления деталей изделия с учетом требований заказчика, задачи, которые решаются для всего изделия, и задачи, решаемые для каждой отдельной детали, позволяющий увязать задачи проектирования ТП с задачами организации и управления производством представлен на рис. 1.

Алгоритм гибкого проектирования ТП изготовления деталей рассматривается как мета-стратегия, в рамках которой существуют различные подстратегии, которые применяются при необходимости решения отдельных подзадач гибкого проектирования, таких как конструкторские изменения, изменения партии, замена материала, замена оборудования.

1, n

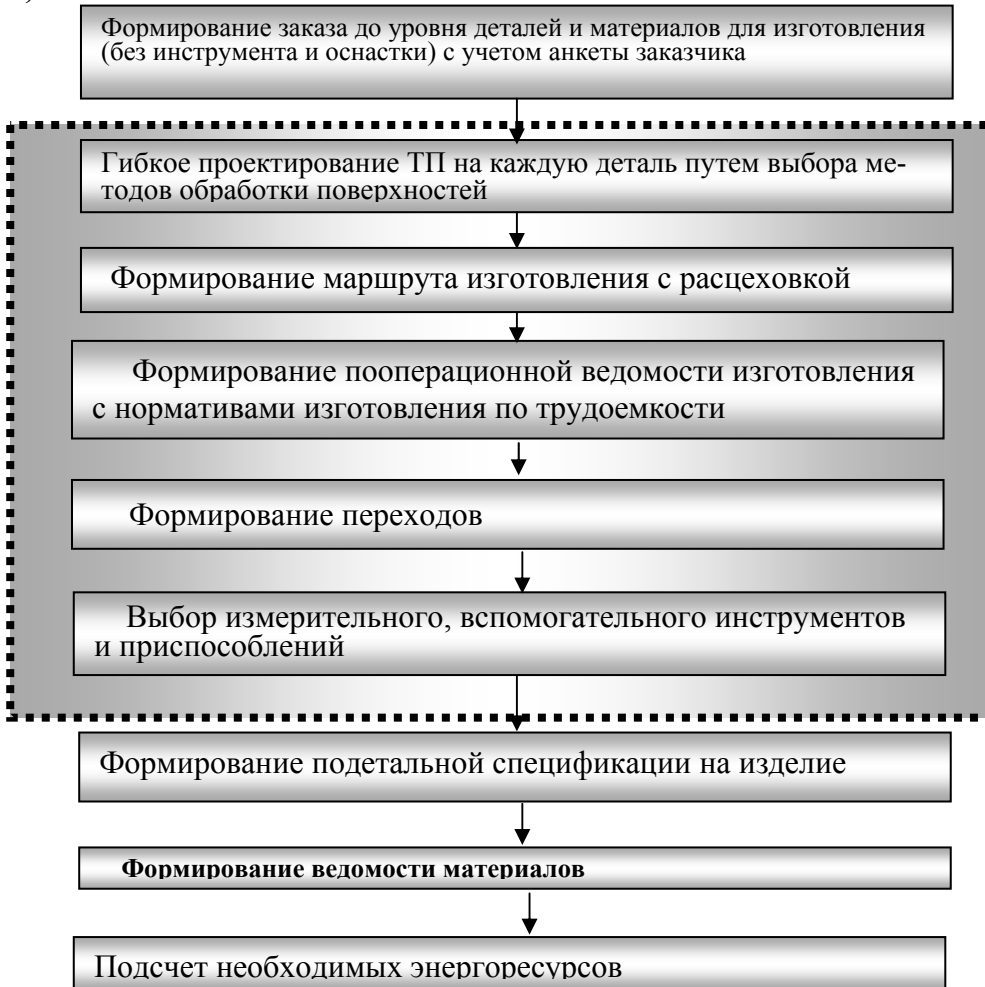


Рисунок 1 – Укрупненный алгоритм проектирования ТП изготовления деталей изделия

При проектировании нового ТП изготовления детали прибора согласно алгоритму гибкого проектирования производится выбор детали-аналога. Из детали-аналога формируется реальная деталь, ТП обработки которой необходимо спроектировать: удаляются ненужные поверхности P_i , не присутствующие в реальной детали, а также методы их обработки; добавляются недостающие поверхности P_j из классификатора поверхностей и возможные методы их обработки.

Производится выбор набора возможных схем технологической обработки поверхностей детали с соответствующими значениями функции принадлежности с помощью нечетких экспертных правил базы знаний, учет взаимосвязей поверхностей и других ограничений, накладываемых на методы обработки, присваиваются приоритеты для предложенных схем обработки, исходя из условий выпуска данной партии деталей N на конкретном производстве. Анализируются размерные и другие взаимосвязи между поверхностями детали и представляются приоритеты β для методов обработки каждой поверхности $(\{P\} \setminus \{P_i\}) \cup \{P_j\}$, формируется математическая (технологическая) модель поверхности, которая содержит 3 коэффициента, где 1-й μ характеризует пред-

почтение методов обработки самой поверхности изолированно, 2-й β характеризует влияние ее взаимосвязей в детали, 3-й... λ – условную себестоимость. Первый выбирается из базы знаний, второй и третий рассчитываются автоматически по предоставленным технологом приоритетам путем нормализации. Окончательно определяется нечеткое множество Ω методов обработки каждой поверхности P с соответствующими значениями функции принадлежности с помощью нечетких экспертных правил базы знаний. Конечное значение функции принадлежности определяется как $\mu' = \mu * \lambda * \beta$.

Производится формирование нечеткого множества технологических альтернатив N_a с максимальными значениями μ' (один или несколько ТП, чтобы найти самый оптимальный по себестоимости) [6]. Производится формирование полученного ТП по реальной модели детали в соответствии с техническими и технологическими требованиями, условиями данного производства в данный момент времени. Производится вычисление технологической себестоимости ТП. При этом, если есть несколько вариантов ТП, то выбирается для изготовления детали тот ТП, который обеспечивает заданное качество обработки детали при минимальной ее себестоимости C .

Формирование нечетких экспертных правил

Важной подзадачей является создание метода формирования конструкторско-технологических правил выбора схем технологической обработки с учетом точности и качества поверхности для создания базы конструкторско-технологических знаний предприятия [7]. Формирование набора схем технологической обработки рассмотрим на примере наружных цилиндрических поверхностей. Методы обработки и диапазон значений шероховатости и качества, которые можно получить, используя данный метод обработки наружных цилиндрических поверхностей, представим в виде таблицы.

В табл. 1 приведены методы обработки и диапазон значений шероховатости и качества, которые можно получить, используя данный метод обработки наружных цилиндрических поверхностей.

Таблица 1 – Точность и качество поверхности при обработке наружных цилиндрических поверхностей

	Цвет	Граница	Обработка	IT	IT	Ra	Ra
1		==	обтачивание черновое	14	12	50	6,3
2		==	обтачивание полуст., однокр.	13	11	25	1,6
3		—	обтачивание чистовое	10	8	6,3	0,4
4		—	обтачивание тонкое	9	6	1,6	0,2
5		---	шлифование предварительное	9	8	6,3	0,4
6		==	шлифование чистовое	7	6	3,2	0,2
7		---	шлифование тонкое	6	5	1,6	0,1
8		—	притирка, суперфиниширован.	5	4	0,8	0,1
9		==	алмазное выглаживание	10	5	0,8	0,05

Используя данные табл. 1 каждому методу обработки на рис. 2 поставлена в соответствие область определенного цвета и очерченная границей. Области пересекаются, это означает, что существуют различные методы обработки, которые обеспечивают достижение заданной точности и шероховатости. Все возможные альтернативные методы обработки, позволяющие достичь заданную точность и качество поверхности находятся в области левее и выше точки «д», правее и ниже точки «з». Для каждого из участков, получившихся при пересечении областей 1-9, записывается предикат, принимающий значение «истина», если точка принадлежит области, и значение 0, если точка не принадлежит области, и формируется нечеткое экспертное правило выбора схем технологической обработки.

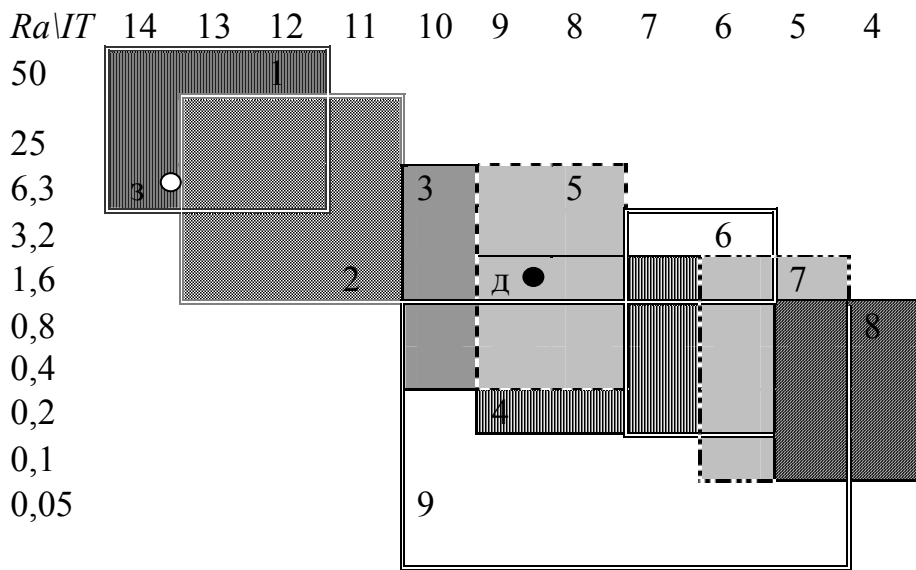


Рисунок 2 – Выбор схем технологической обработки

Предикаты, описывающие области 1,2, приведены ниже:

$$QR_1 = (6,3 \leq Ra \leq 50) \wedge (12 \leq IT \leq 14)$$

$$QR_2 = (1,6 \leq Ra \leq 25) \wedge (11 \leq IT \leq 13)$$

Модель четкого экспертного правила и модель нечеткого экспертного правила проектирования технологического процесса рассмотрена выше. Согласно предложенному методу составляются правила выбора схем технологической обработки поверхностей базы конструкторско-технологических знаний для деталей типа «корпус», «панель» с учетом точности и качества поверхности, других характеристик как интеллектуальной составляющей системы автоматизированного проектирования ТП производства. Нечеткие экспертные правила используются также для выбора или замены материала и заготовки, режущего инструмента.

Таким образом, при проведении исследований, в целом подчиненных цели разработки моделей, методов и алгоритмов гибкой технологической подготовки производства, предложена интеллектуальная методология гибкого проектирования технологического процесса изготовления деталей с использованием не-

четкой логики в условиях мелкосерийного производства для повышения его эффективности и качества.

Выводы

Система проектирования ТП изготовления деталей на основе математических моделей с использованием нечетких множеств позволяет уйти от недостатков жестких алгоритмов проектирования, расширить область допустимых решений.

Предложенный в статье подход позволяет использовать производственный опыт при составлении экспертных оценок, учесть динамическое состояние производственной техники – экономической среды с помощью вектора производственных ограничений.

В дальнейшем необходимо решение задачи выбора оптимальных ТП рассмотреть как решение задачи нечеткого математического программирования при нечетком множестве допустимых технологических альтернатив.

Литература

1. Остафьев В.А., Держук В.А., Румбешта В.А. Технологические процессы изготовления деталей приборов.- К.: Высшая школа, 1983.- 207 с.
2. Митрофанов С.П., Гульнов Ю.А., Куликов Д.Д. Автоматизация технологической подготовки серийного производства.- М.: Машиностроение, 1974.-360 с.
3. Глоба Л.С. Интеллектуальная компьютерная технология конструкторско-технологической подготовки механообрабатывающего производства: Дис....д-ра техн. наук: 05.12.13. - К.,1996.-304 с.
4. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем.- СПб:Питер,2000.-384 с.
5. Лапа М.В. Интеллектуальный метод гибкого проектирования технологических процессов изготовления деталей приборов: Дис....канд. техн. наук: 05.11.14. - К.,2004.-181 с.
6. Пospelов Д.А. Модели выбора альтернатив в нечеткой среде // Тез. докл. 24-26 окт. 1984г.- Рига: РПИ.- 1984.- С.169.
7. Глоба Л.С., Лапа М.В. Представлення технологічних знань за допомогою математичного апарату нечіткої логіки // Вісник НТУУ "КПІ". Приладобудування.- 2002. - №24.-С.122-129.

Лапа М.В., Глоба Л.С. **Прийняття рішень в автоматизованій системі технологічної підготовки приладобудівного виробництва на основі нечіткої логіки**

В статті розглянуті питання автоматизації гнучкого проектування технологічних процесів виготовлення деталей приладів з використанням нечіткої логіки в умовах дрібносерійного виробництва для підвищення його ефективності та якості продукції.

Lapa M.V., Globa L.S. **Decision making process in CAM for devises production using fuzzy logic.**

The article deals with the production process flexible design of the devises parts using fuzzy logic based in CAM to increase small-batch production efficiency and quality of the products.

Надійшла до редакції
20 червня 2006 року

УДК 681.325

МОДЕЛЬ ГИБРИДНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРЕДПРОЦЕССОРА ДЛЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Лега Ю.Г., Лукашенко В.М., Караван Н.А., Корпань Я.В., Лукашенко А.Г., Лукашенко М.Г., Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы, Украина

Предлагается модель гибридного многофункционального вычислительного устройства, которая обеспечивает перемножение значений цифровой и аналоговой информации, деление значения аналоговой информации на значение цифровой, воспроизведение значения цифровой функции вида $1/X$

Вступление. Постановка задачи

Аппаратурная реализация средств математического обеспечения по сравнению с программной имеет ряд преимуществ в быстродействии, надежности и простоте программирования благодаря переходу к интегральным схемам.

Большой параллелизм и децентрализация вычислений с применением предпроцессоров в качестве «аппаратной подпрограммы» являются эффективным средством повышения быстродействия и увеличения надежности проблемно-ориентированных систем управления.

Построению высокопроизводительных функционально-ориентированных устройств, множеству аппаратных арифметических расширителей, а также разработкам новейших микро-, нанотехнологий для микросхем посвящен ряд работ А.Д. Азарова, Т.К. Винцюка, В.А. Денисенко, И.В. Кузьмина, А.Н. Лебедева, Г.Л. Лысенко, Б.И. Мокина, А.М. Оранского, В.И. Осинского, В.П. Кожемяко, К.Г. Самофалова, Ю.А. Скрипника, В.Б. Смолова, В.П. Тарасенко и др. Например, однокристалльные умножители, имеющие разрядность 8×8 (БИС типа 25S05 фирмы Advanced Micro Devices) или БИС типа МРУ-16 фирмы TRW с конфигурацией вида 16×16 позволяет перемножить 16-разрядные числа. за 230 нс, ИС серии КР1802ВР5 (умножитель 16×16) имеет максимальную задержку информации 175 нс [1- 4].

В проблемно-ориентированных системах непосредственное решение задач с цифроаналоговыми сигналами является привлекательным для разработчиков прецизионных многофункциональных предпроцессоров. Однако мало внимания уделено гибридным многофункциональным аппаратным расширителям. Поэтому разработка гибридных многофункциональных арифметических расширителей, которые имеют высокую точность, надежность, быстродействие, возможность исполнения в едином кристалле, низкую себестоимость и малую мощность потребления, является актуальной задачей.

Решение задачи

Предлагается образно-знаковая модель гибридного многофункционального предпроцессора для проблемно-ориентированных подсистем управления, которая представлена на рис.1.

Работа предложенного предпроцессора включает следующие режимы: цифроаналогового умножителя, функционального цифрового преобразователя, цифроаналогового делителя.

Оригинальность схемотехнического решения заключается в том, что в каждую n -разрядную ячейку цифроаналогового умножителя введены два МДП-варактора VT2, VT7 с соответствующими связями, транзисторы сброса VT5, VT10, управляющий транзистор VT8, “разрешающий” транзистор VT6, транзистор предварительной установки VT1, обеспечивающие высокую скорость подключения входного опорного напряжения к ОУ через МДП-ключи. “Форсирующее” напряжение (ΔU) управления в узле с бутстрэпной ёмкостью определяется по формуле:

$$\Delta U = U_c \cdot C_b / (C_b + C_s),$$

где C_b – бутстрэпная емкость варактора;

C_s – общая емкость узла накопления по отношению к подложке;

U_c – амплитуда импульса управления.

На рис. 2 изображены временные диаграммы в характерных точках (S, C) ячейки переключательной матрицы.

Работает перемножитель гибридных сигналов следующим образом [5].

Перед началом работы производится обнуление емкостных узлов S в n -разрядных ячейках и емкости узла связи истоков МДП ключей VT9, VT4. Транзистор VT1 и второй МДП-варактор VT2 способствуют подаче напряжения высокого уровня через открытый транзистор VT3 на затвор второго МДП-ключа VT4. Открывается VT4, подключается емкость узла “А” к шине общего потенциала, транзистор VT5 закрыт. С приходом потенциала фазы разрешения $\varphi_{разр}$ открывается транзистор VT6, и напряжение входной логической единицы заряжает соответствующую емкость узла “S” n -разрядной ячейки. Одновременное появление логической единицы на i -м входе и разрешающей фазы на затворе транзистора VT6 обеспечиваются импульсами синхронизации U_T . С приходом фазы управления φ_1 с выхода преобразователя высокого уровня напряжение (ПУН) благодаря первому МДП – варактору VT7 “форсируется” напряжение в узле “S”, величина которого равна $((U_{лог.1} - U_{пор}) + \varphi_1)$ (рис. 2). Под действием этого напряжения открывается транзистор VT8, и импульс управления высокого уровня поступает на затвор первого МДП - ключа VT9, открывает его, и соответствующее сопротивление матрицы R-2R подключается к инвертирующему входу усилителя. При этом транзистор VT5 открыт, и потенциал затвора второго МДП-ключа VT4 является нулевым, а сам ключ закрыт. Уменьшение времени заряда емкости в предложенном устройстве путем подключения затвора разрешающего транзистора к источнику высокого потенциала, обеспечивает условия работы транзистора в крутой области при

$$\begin{aligned} |U_{затв} > |U_{нум}|, \\ |U_{затв}| - |U_{нум}| > U_{пор}, \end{aligned}$$

что в 4 раза увеличивает скорость переключения транзистора.

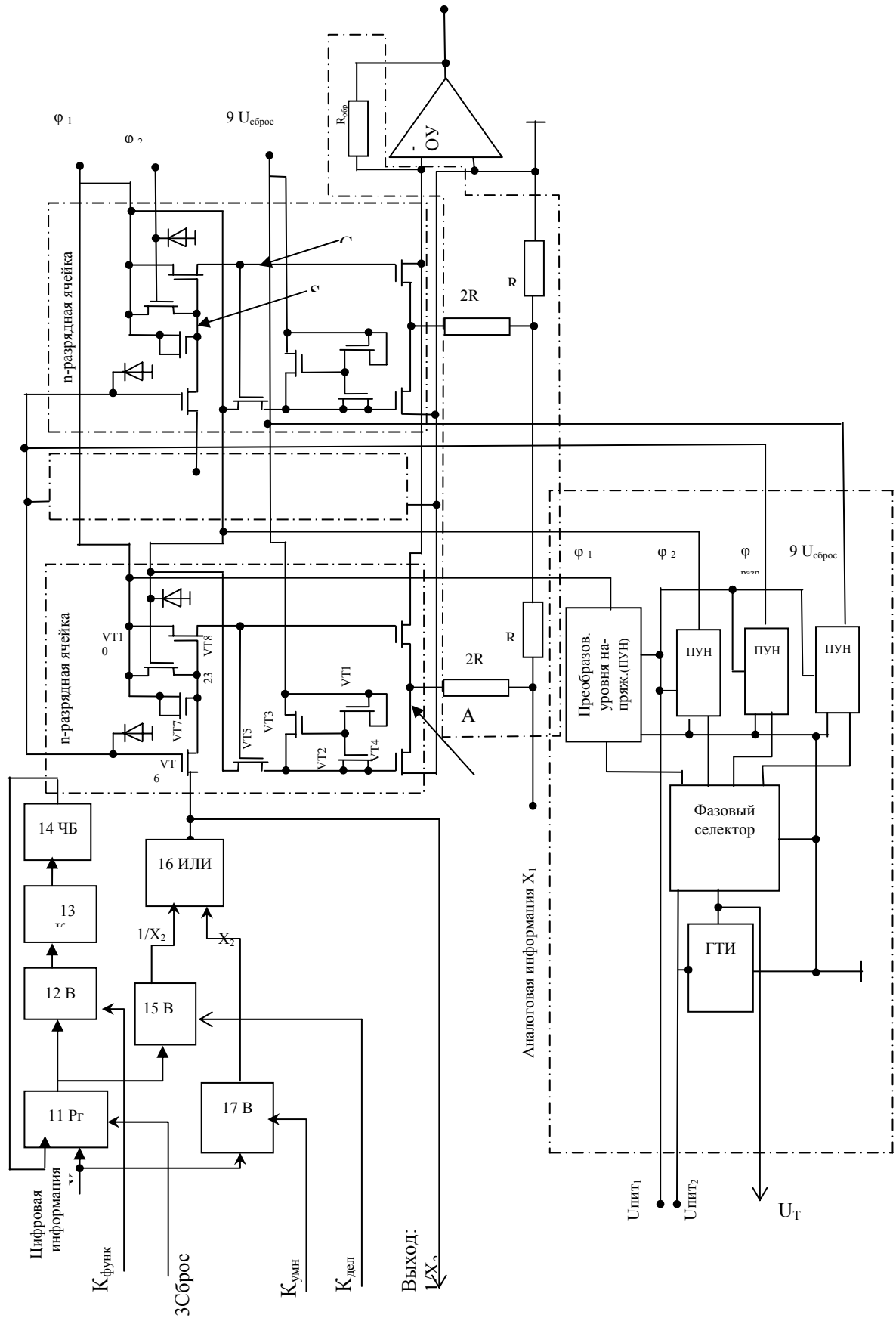


Рисунок 1 – Образно-знаковая модель гибридного многофункционального предпроцессора

Кроме того, схемотехническое решение n -разрядных ячеек благодаря введению МДП-варакторов позволило использовать напряжение на затворах управляющих транзисторов на величину, равную напряжению на истоках, что компенсирует влияние порогового напряжения. Быстрый разряд емкостей затворов вторых МДП-ключей VT4 обеспечивается высоким уровнем напряжения на затворах транзисторов сброса VT5, а первых МДП-ключей VT9 благодаря высокому потенциалу узла «S». Таким образом, связь шин входов управления с выходами высокого уровня сформированных соответствующих импульсов ГТИ, фазовым селектором, четырьмя блоками преобразователей уровня напряжений и благодаря двум МДП-варакторам, которые повышают напряжение на затворах управляющих транзисторов VT3, VT8, позволяют с высокой скоростью перераспределить заряды.

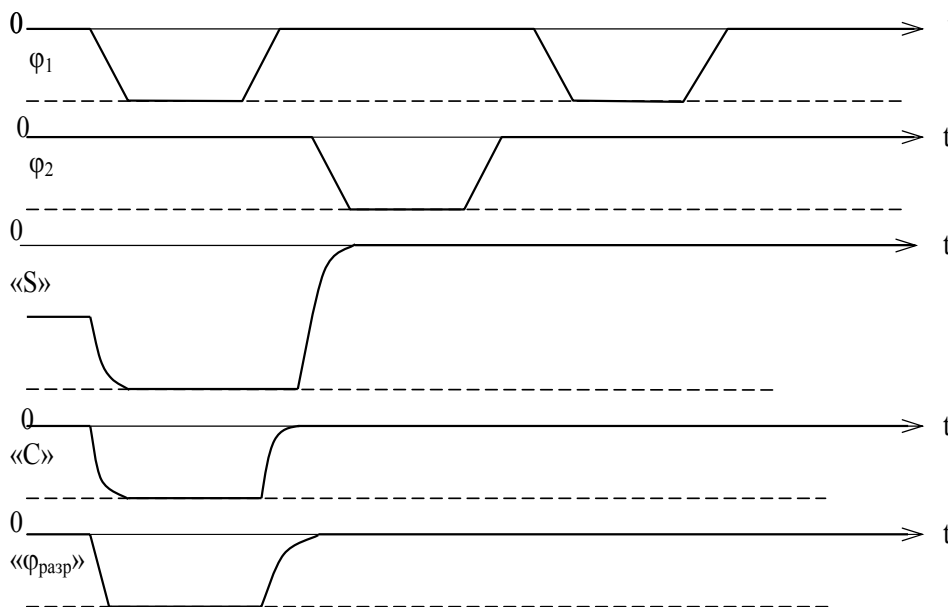


Рисунок 2 – Временные диаграммы в характерных точках n -разрядной ячейки

Из сравнения скоростей нарастания переднего и спада заднего фронтов, например, в ИС K572ПА1 и в предложенном умножителе, видно, что они увеличиваются в

$$\frac{U_2 \cdot e^{-t/\tau_2} / U_1 \cdot e^{-t/\tau_1}}{[U_2 \cdot (1 - e^{-t/\tau_2})] / [U_1 \cdot (1 - e^{-t/\tau_1})]} \text{ раз,}$$

где U_1 – амплитуда напряжения на входе транзисторов управления в современном устройстве (например, ИС K572ПА1);

U_2 – амплитуда напряжения на входе транзисторов управления в предложенном умножителе.

$$\tau_1 = c / [-\beta(U_{31} - U_{ноп})] = c / q_1,$$

$$\tau_2 = c / [-\beta(U_{32} - U_{ноп})] = c / q_2,$$

где U_{31} – напряжение на затворах управляющих транзисторов VT3, VT8;

U_{32} – напряжение на затворах аналогичных управляющих транзисторов в предложенном устройстве;

q_1 – проводимість транзистора в К572ПА1;

q_2 – проводимість транзистора в предложенном устройстве, при этом

$$U_{32} > U_{31}; U_2 > U_1.$$

Кроме того, организация импульсного питания управления n -разрядных ячеек уменьшает потребление мощности с десятков-сотен мВт до сотен мкВт, что является преимуществом разработанного устройства.

Работа препроцессора в режиме функционального цифрового преобразователя заключается в следующем.

После записи в Рг 11 цифровой информации на управляющий вход $K_{\text{функ}}$ подается команда, в результате действия которой цифровая информация, пройдя вентиль В12, распознается комбинационной схемой $K_{\text{сх}}$ 13, выходной импульс которой считывает соответствующую корректирующую константу из числового блока памяти ЧБ 14. Единицы корректирующей константы по цепи обратной связи появляются на счетных входах регистра Рг 11, под действием которых в регистре превратится входная цифровая информация X_2 в соответствующий код $1/X_2$. По управляющему входу $K_{\text{дел}}$ импульс, что поступил, на управляющий вход блока вентиля 15 обеспечивает прохождение преобразованной информации через блок вентиля 15, и через блок элементов ИЛИ 16. В итоге на первом выходе гибридного вычислительного устройства появляется значение функции $1/X_2$. Согласование во времени гибридного вычислительного устройства обеспечивается соответствующим синхронизирующим импульсом U_T .

Работа гибридного вычислительного устройства в режиме цифроаналогового делителя заключается в следующем.

Код преобразованной цифровой информации $1/X_2$ с выхода блока элементов ИЛИ 16 поступает на разрядные шины цифроаналогового умножителя. Далее процесс осуществляется в режиме перемножения, что описан выше.

Выводы

Предлагаемое гибридное вычислительное устройство обеспечивает:

- перемножение цифровой и аналоговой информации ($X_2 \cdot X_1$);
- деление аналоговой информации на цифровую $X_1 \cdot (1/X_2) = X_1/X_2$;
- воспроизведение значения цифровой функции вида: $1/X_2$;
- при равенстве значений аналоговой и цифровой информации на выходе устройства появляется аналоговая величина, что отвечает квадрату значений соответствующих входных информационных сигналов.

Предложенное устройство целесообразно исследовать в дальнейшем как основу многих приборов.

Литература

1. Водяхо А.И., Смоллов В.Б., Плюснин В.У., Пузанков Д.В. Функционально ориентированные процессоры. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 224 с.
2. Пат. 35015А Україна, МПК G06F7/52. Пристрій для ділення або множення n -розрядних чисел / В.М. Лукашенко, Б.А. Шеховцов, А.Г. Лукашенко, Ю.Г. Лега; ЧІТІ - № 99074387; Заявл. 29.07.1999; Опубл. 15.03.2001; Бюл. № 2.
3. Пат. 29319 А Україна, МПК G06G07/26. Цифровий пристрій для обчислення функцій / В.М. Лукашенко; ЧІТІ UA. – № 98052508; Заявл. 14.05.98; Опубл. 16.10.00; Бюл. № 5. – 6 с.

4. Пат. 30645 А Україна, МПК G06G07/26. Цифровий пристрій для обчислення функцій / В.М. Лукашенко; ЧІТІ UA. – № 98041690; Заявл. 02.04.98; Опубл. 15.12.00; Бюл. № 7. – 3 с.
5. Пат. 10485, Україна, МПК G06G07/26; G06J3/00. Гібридний обчислювальний пристрій / В.М. Лукашенко, Ю.Г. Лега, А.Г. Лукашенко, М.Г. Лукашенко, Я.В. Корпань, С.К.Романовський, М.А. Караван, Д.А. Лукашенко; ЧДТУ - №u200504233; Заявл. 04.05.2005; Опубл. 15.11.2005; Бюл. №11.

Лега Ю.Г., Лукашенко В.М., Караван Н.А., Корпань Я.В., Лукашенко А.Г., Лукашенко М.Г. Модель гібридного багатофункційного передпроцесора для проблемно-орієнтовних підсистем керування Пропонується модель гібридного багатофункційного обчислювального пристрою, що забезпечує перемноження значень цифрової та аналогової інформації, поділ значення аналогової інформації на значення цифрової, відтворення значення цифрової функції вигляду $1/X$	Lega J.G., Lukashenko V.M., Karavan N.A., Korpan Y.V., Lukashenko A.G., Lukashenko M.G. Model of hybrid multifunction pre-processor for the problem-oriented subsystems of management. The model of hybrid multifunction computing device, which provides multiplying of values of information digital and analog, is offered, division of value of analog information on the value of digital, reproduction of value of digital function of the kind $1/X$.
--	---

Надійшло до редакції
20 червня 2006 року

УДК 620.179.1.082.5.05; 515.1

АЛГОРИТМ ОБЧИСЛЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТОВЩИНИ ДЛЯ СИСТЕМ ОПТИЧНОГО СКАНУВАННЯ ПОВЕРХНІ

Вельган Р.Б., Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

Робота є спробою напрацювати науково-методичні основи для створення придатного до автоматизації, неруйнівного, швидкого і багатоточкового засобу контролювання товщини деталей з формованої бляхи. У ній описано хід опрацювання даних і розроблений алгоритм, наведено приклади результатів його роботи

Вступ

Для забезпечення потрібної якості поверхні, форми і міцності деталей з формованої бляхи необхідно визначати розподіл товщини у критичних зонах деталі. Оскільки розриви і потоншення часто мають локальний характер, існуючі точкові методи вимірювання товщини [1, 2], котрі надають вибіркові дані в певних точках деталі, часто не забезпечують бажаної вірогідності результатів. Методи паралельного багатоточкового вимірювання з використанням оптичних пристроїв вимагають розробки стійких і швидких алгоритмів для точного обчислення шуканих геометричних параметрів. Реалізація одного із таких алгоритмів розглядається в цій роботі.

Хід опрацювання даних

Не становить особливих складнощів визначати товщину плоскої деталі, але за великих розмірів об'єкта неруйнівне вимірювання товщини часто можливе тільки на краях деталі. Отже, існує необхідність зондувати поверхню в багатьох точках. Багато сучасних пристроїв дозволяють отримати тривимірні координати поверхні деталі [3, 4]. Перепоною для автоматичного визначення товщини є

те, що дані, отримані від вимірювального пристрою, мають вигляд несортованого набору, тобто такого, в якому відсутня інформація про топологію - невідомо котрі точки є сусідніми між собою.

Оскільки практично є досить важко отримати точки вимірювання, котрі б лежали одна навпроти одної, тому існує необхідність інтерполяції однієї з поверхонь. Метод визначення товщини полягає в опусканні перпендикуляра з точок однієї з поверхонь на протилежну. Завдяки топології можливо знайти найближчу точку на протилежній поверхні. Далі шукаємо проекції на інтерпольовані фрагменти поверхні і ту з них, котра буде коротшою.

Процедуру визначення товщини можна описати почерговою такими діями:

- структурування даних;
- пошук для кожної точки однієї поверхні найближчого сусіда на протилежній поверхні на основі створеної структури;
- пошук суміжних площин, в котрі входить знайдена найближча точка;
- пошук проекцій на суміжні площини;
- визначення найкоротшої відстані серед відстаней до суміжних площин;
- повторення кроків **a-e** для зворотнього напрямку проектування і визначення меншої серед локальних відстаней для двох напрямків;
- візуалізація результатів.

Визначення топології набору даних

Задача пошуку найближчої точки є елементом задачі структурування множини точок, котра вирішується за допомогою топології [5]. Структурування множини звичайно відбувається через її розбиття на такі елементарні складові структури (симплекси), як точки, котрі з'єднуються у відрізки (одновимірна структура), з яких утворюються трикутники (двовимірна структура), що в свою чергу є елементами тетраедів, набір котрих дозволяє відобразити тривимірні об'єкти [6].

Серед великої кількості методів структурування даних особливе місце займає триангуляція (з'єднання точок у трикутники) Делоні [7, 8]. Вона є основою для багатьох алгоритмів структурування даних, котрі будуються залежно від необхідності реалізації оптимізації стосовно таких аспектів, як наприклад, операції пошуку елементів з певними властивостями, впорядкування множини за певними властивостями, переходи між точками всередині множини. У даній роботі алгоритми реалізовувалися в програмній оболонці MATLAB®. Ця оболонка має вбудовану функцію "delaunay", що для множини точок генерує набір трикутників. Результатом триангуляції для набору з m точок є $m \times 3$ матриця, кожний рядок котрої складається з індексів трьох точок, котрі утворюють трикутник. Через кожні три найближчі точки можна провести площину і в такий спосіб інтерполювати поверхню. Тож, для несортованого набору даних утворюється сітка трикутників (рис.1), що описує топологію даних.

Пошук найближчої сусідньої точки

Пошук найближчої сусідньої точки реалізується за допомогою діаграм Вороного, котрі є дуальними до триангуляції Делоні.

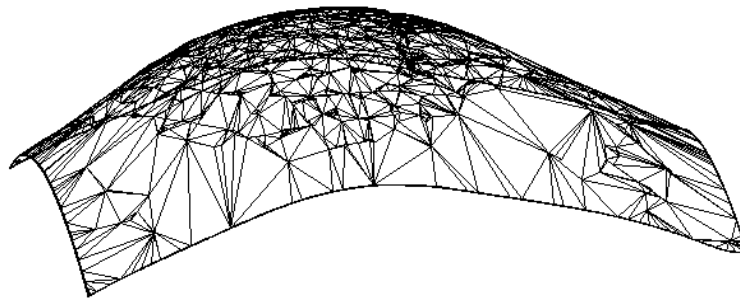


Рисунок 1 – Приклад триангуляції поверхні

Означити діаграму Вороного можна таким чином [9]: якщо у просторі розмірності d задано набір K , що складається з окремих точок K_i , то цей простір можна однозначно поділити на ділянки $V(K_i)$, в котрих будь-яка нова точка P буде ближче до одного з вузлів K_i , як до будь-якого іншого

$$\forall P \in V(K_i) : d(P, K_i) < d(P, K_j), i \neq j$$

Така ділянка має назву комірки Вороного, а сукупність всіх комірок у просторі – діаграмою Вороного. Використовуючи згадані властивості діаграми Вороного, можна для точок однієї поверхні доволі швидко знайти найближчі точки на іншій поверхні і обчислити відстані між точками з протилежних поверхонь. Простий приклад результатів такого обчислювання показано на рис.2.

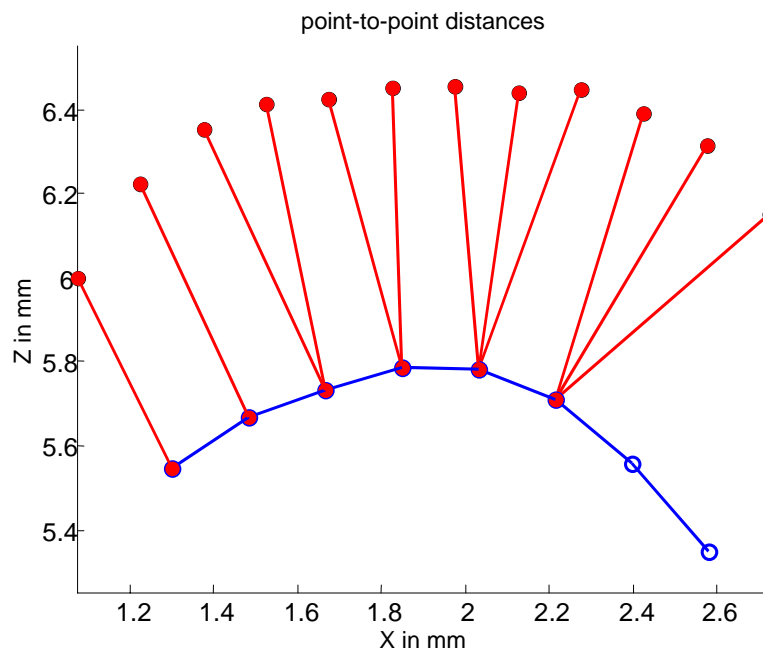


Рисунок 2 – Приклад визначення відстаней між точками протилежних поверхонь

З рис. 2 легко помітити, що згаданий підхід неоптимальний і відстань від точки до інтерпольованої площини (лінії у 2D-випадку) мала би бути корот-

шою, ніж відстань від точки до точки. До того ж, слід відзначити, що визначення товщини бляхи за точками, координати котрих отримані в наслідок двостороннього зондування деталі, є точним тільки тоді, коли точки лежать точно одна на навпроти іншої. Ця умова може бути виконана тільки в ідеальному випадку. При дотиковому зондуванні точки вимірювання найчастіше відповідають певному досить грубому растру. Вимірювання з використанням оптичних методів забезпечують паралельне зондування поверхні з порівняно великою густиною точок, але і це не вирішує проблеми, бо растри з обох боків деталі не співпадають і можуть різнитися за кроком. Тому необхідно інтерполювати між отриманими точками.

Пошук нормалей і найкоротших відстаней між точками поверхонь

Рисунок 3 демонструє спрощений приклад обчислення відстаней з використанням перпендикулярів. Для вдосконалення описаного у попередньому розділі методу доцільно скористатись ще однією перевагою триангуляції, котра дає змогу зробити лінійну інтерполяцію через вершини трикутників і в такий спосіб описати поверхню множиною площин. Оскільки маємо справу із точками P1, P2, P3, заданими тривимірними координатами, то для розрахунків легше скористатись не формулою рівняння площини із мішаного добутку векторів у вигляді визначника, яку часто наводять у довідниках з аналітичної геометрії, а визначити вектор нормалі просто з векторного добутку двох граней трикутника

$$\vec{n} = [(P2 - P1) \times (P3 - P1)]$$

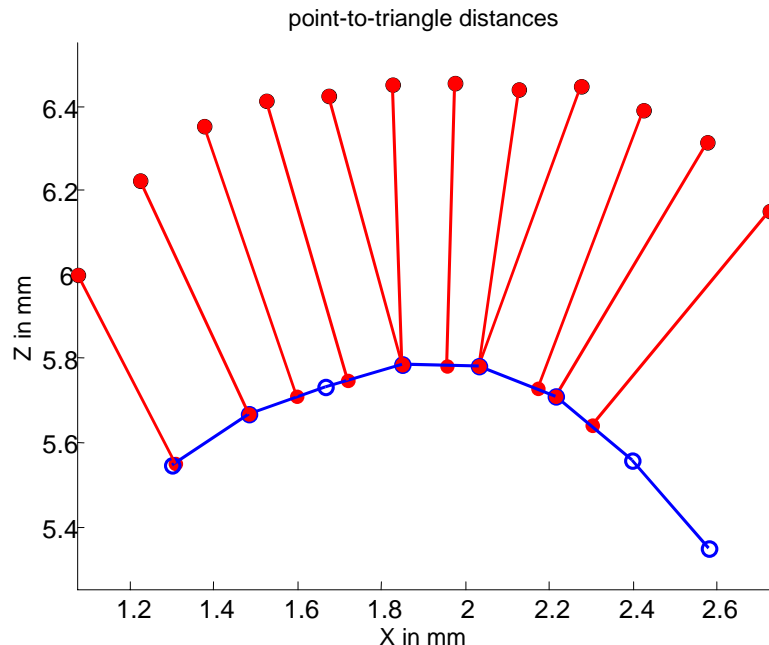


Рисунок 3 – Приклад визначення відстаней точка-відрізок (площина)

Елементи вектора нормалі $\vec{n} = \{A; B; C\}$ є коефіцієнтами рівняння площини у загальному вигляді

$$Ax + By + Cz + D = 0, \tag{1}$$

у якому коефіцієнт D визначає, як далеко ця площина є зміщена від центру координат у напрямку вектора нормалі.

Знаючи A , B і C , можна легко визначити D , підставивши координати однієї із точок трикутника у рівняння прямої (3). Ця операція буде нічим іншим, як скалярним добутком векторів, заданих компонентами, а саме $\vec{n} = \{A; B; C\}$ і $P1 = \{x_1; y_1; z_1\}$:

$$D = -(n \cdot P1). \quad (2)$$

Тепер можливо для кожної точки першої поверхні визначати відстані до площин трикутників (до відповідних проєкцій на ці площини), котрі містять визначену за попереднім алгоритмом найближчу точку на протилежній поверхні. Для цього скористаємось тією властивістю, що скалярний добуток є добутком довжини одного вектора на проєкцію іншого вектора на вісь, означену першим вектором:

$$(a \cdot b) = a \text{ proj}_a b \quad (3)$$

З врахуванням того, що довжина вектора нормалі дорівнює одиниці $|\vec{n}| = 1$, знайдемо відстань від проєкції точки першої поверхні до центру координат, що буде у нашому випадку відповідати проєкції цієї точки P_{1i} на вектор нормалі

$$\text{proj}_n P_{1i} = (n \cdot P_{1i}). \quad (4)$$

Відстань від точки до площини тепер легко знайти за формулою

$$d = \text{proj}_n P_{1i} - D = (n \cdot P_{1i}) - D, \quad (5)$$

а проєкцію точки на площини знайдемо, змістивши точку у напрямку, протилежному до нормалі поверхні, на відстань, що дорівнює відстані до поверхні

$$\text{proj}_{plane} P_{1i} = P_{1i} - (d \cdot \vec{n}). \quad (6)$$

Тож для кожного з трикутників, в які входить визначена за топологією найближча точка, тепер можемо знайти відстані до проєкцій на площини цих трикутників. Серед знайдених відстаней до проєкцій шукається найменша, яка інтерпретується як локальна відстань між поверхнями в околі точки першої поверхні. Але перед цим необхідно ще встановити, чи проєкція точки на площину потрапляє в межі трикутника. Вирішити цю задачу можна відомим способом [10], а саме: насамперед пропонується утворити три площини, котрі проходять вздовж сторін трикутника у напрямку, паралельному до вектора нормалі. Усі точки, що знаходяться всередині трикутника, мусять лежати між цими трьома площинами. Рівняння площин необхідно сформулювати так, аби вектори нормалей були спрямовані всередину трикутника. Якщо точка лежить всередині трикутника, то підставляючи її координати в ці три рівняння площин, маємо отримати невід'ємні праві частини рівнянь, оскільки знак визначає, чи точка лежить попереду чи позаду поверхні (дивлячись у напрямку нормалі). Отож, для реалізації вказаної процедури необхідно пройти всі три сторони трикутника і утворити через них поверхні, підставляючи перевірювану точку у рівняння поверхонь. Якщо котрийсь із результатів буде від'ємним, то це означає, що точка не лежить в трикутнику, а отже, подальші підрахунки можна припинити.

Приклад визначення відстаней між точками протилежних поверхонь про-

ілюстровано на Рисунок 4.

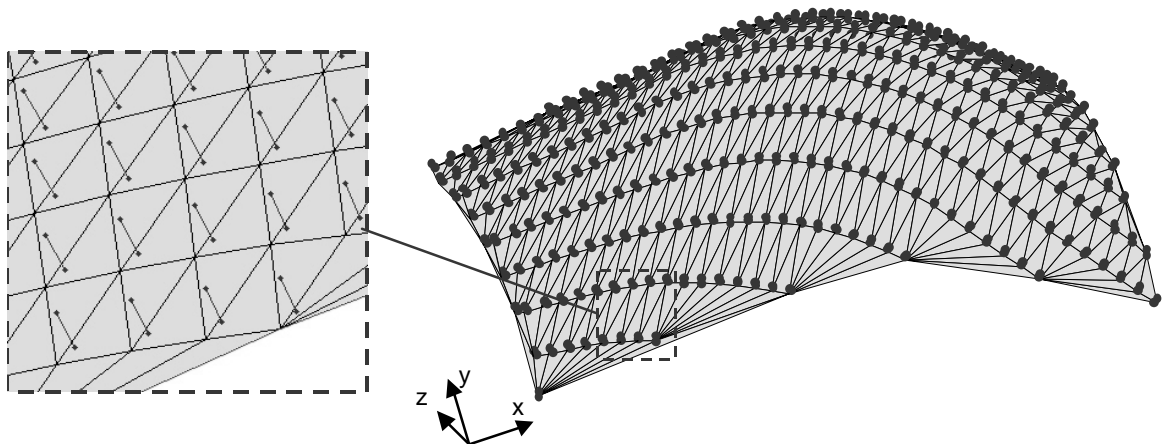


Рисунок 4 – Тривимірна ілюстрація визначення відстаней з використанням нормалей до площин

Візуалізація результатів

Результатом роботи реалізованого обчислювального алгоритму є локальна товщина, визначена для кожної точки зондування поверхні. Отримана інформація щодо товщини, розподіленої вздовж поверхні деталі, дозволяє сформуванню її тривимірну кольорокодовану графічну репрезентацію (у якій певний колір відповідає певній товщині) вздовж цієї поверхні (Рисунок 5).

кольорокодований розподіл товщини, вздовж поверхні деталі

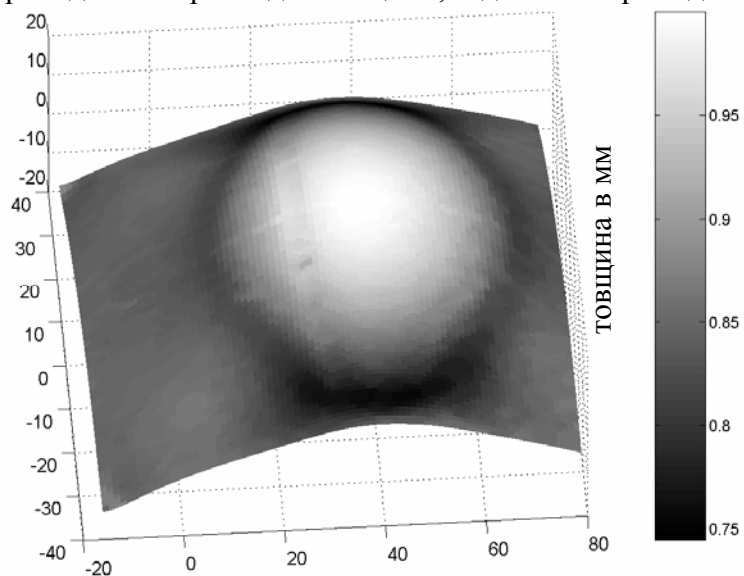


Рисунок 5 – Кольорокодований розподіл товщини

Така візуалізація дає змогу легко знаходити відповідність між даними про товщину та координатами ділянки поверхні, а отже, за наочною інформацією локалізувати ділянки з найменшою товщиною.

Висновки

У роботі описано спробу напрацювати науково-методичні основи для створення придатного до автоматизації, неруйнівного, швидкого і багатоточкового засобу контролювання товщини деталей з формованої бляхи на основі паралельного багатоточкового оптичного вимірювання.

Запропонований метод дозволяє визначати локальну товщину і її поверхневий розподіл в критичних ділянках деталі. Описаний базовий підхід до визначення локальної товщини сприятиме розв'язанню актуальних проблем виробництва деталей з формованої бляхи. Наступні роботи у цьому напрямку будуть пов'язані із оптимізацією опрацьованого алгоритму за критеріями швидкодії і автоматизування дій оператора, пов'язаних із опрацюванням даних.

Література

1. W. Beitz, K.-H. Grote. Taschenbuch fuer den Maschinenbau, Heidelberg: Springer , 2001.
2. P. Profos, T. Pfeifer. Handbuch der industriellen Messtechnik, Muenchen: Oldenbourg, 1992.
3. F. Bertagnolli. Flexible automatisierte Oberflächenvermessung mit einem optischen 3D-Messsensor auf einem Industrieroboter, VDI-Berichte 1806 "Oberflächenmesstechnik", Dueseldorf: VDI Verlag GmbH, 2003.
4. GOM mbH: Soll-/Ist- Vergleich von Pressteilen und Werkzeugen mit ATOS, <http://www.gom.com/De/Anwendungen/Digital/pub/pressparts.html>.
5. M. A. Armstrong: Basic Topology. New York: Springer, 1983.
6. W. Schneeweiss: Grundbegriffe der Graphentheorie fuer praktische Anwendungen, Heidelberg: Huthig-Verlag, 1985.
7. L. J. Guibas, D. E. Knuth, M. Sharir. Randomized Incremental Construction of Delaunay and Voronoi diagrams. Algorithmica 7: 1992. - P. 381-413.
8. Barber, C. B., D.P. Dobkin, and H.T. Huhdanpaa. The Quickhull Algorithm for Convex Hulls, ACM Transactions on Mathematical Software. - Vol. 22, No. 4, - 1996. - P. 469-483. <http://www.acm.org/pubs/citations/journals/toms/1996-22-4/p469-barber/>
9. N. Amenta, S. Choi and R.K. Kolluri. The power crust. The Proc. Solid Modelling '01, 2001. -P. 249-260.
10. D. Scherfgen. 3D-Spieleprogrammierung. Modernes Game Design mit DirectX 9 und C++. Muenchen: Carl Hanser Verlag, 2004.

Вельган Р.Б. Алгоритм вычисления распределения толщины для систем оптического сканирования поверхности

Представленная работа разработана в рамках создания научно-методических основ для создания автоматизированного и быстрого средства для многоточечного неразрушающего контроля толщины деталей из формированных листов металла. Описан ход обработки данных, разработанный алгоритм и приведены результаты его работы.

Velgan R.B. The algorithm allows to evaluate a local wall thickness distributed for optical systems scanning surface

This work represents attempt to work out the basics for fast and non-destructive sheet metal inspection equipment, able to be integrated in automated operating procedure. The evaluation strategy and results of the wall thickness evaluation algorithm are presented. The algorithm allows to evaluate a local wall thickness distributed over the digitized surface.

*Надійшло до редакції
28 вересня 2006 року*

УДК 004.94:543.06

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ПЕРВИННОГО ОПИСУ В ТЕХНОЛОГІЯХ ІНДУКТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВИМІРЮВАННЯ

*Голуб С.В., Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
м. Черкаси, Україна*

В роботі наведені результати дослідження технології інформаційного моделювання об'єктів моніторингу оточуючого середовища. Для подолання проблеми обмеженої кількості інформативних параметрів моделювання на мікрорівні запропоновано використати новий спосіб формування первинного опису об'єкта вимірювання, використання якого покращує кількісні характеристики отриманих моделей

Вступ

Основою систем моніторингу технічних об'єктів є вимірювальні прилади та інформаційно-вимірювальні системи. Похибки окремих вимірювань спотворюють, а інколи роблять і неможливим, визначення поточного стану об'єкта моніторингу. Це знижує ефективність застосування керуючих впливів для приведення об'єкта в запланований стан.

При нормальному законі розподілу випадкових величин вклад окремого чинника в спотворення результатів вимірювання приблизно відповідає вкладу кожного іншого. Тому збільшення випадкової складової похибки вимірювання може бути викликано зміною співвідношень впливів цих чинників.

Постановка проблеми

На тепер калібровочну залежність найчастіше отримують у вигляді регресії. Елементи регресії визначаються експертним шляхом, для визначення коефіцієнтів застосовують метод найменших квадратів. Взаємний вплив значимих чинників виявляють за результатами багаточинникового експерименту. При цьому взаємозв'язок між цими чинниками статистичні методи моделювання об'єктів вимірювання (ОВ) дозволяють врахувати лише частково. Використання статистичних методів для моделювання складних систем приводить до значних похибок вимірювання. Так, при застосуванні методу інверсійної вольтамперометрії для визначення вмісту важких металів у воді прийнятною вважається похибка, що не перевищує 25 % при вимірюванні на рівні 0,5 гранично допустимих концентрацій (ГДК) іонів цих металів.

Якісне покращення метрологічних та технічних характеристик вимірювальних систем пропонується досягати використанням інших методів моделювання, зокрема індуктивних технологій [1], алгоритми яких ґрунтуються на механізмах природного відбору (масової селекції) моделей. Ці механізми є спільною основою побудови методів штучного інтелекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання методів штучного інтелекту для моделювання об'єктів мікро-

рівня моніторингу має поодинокий характер і стосується, в переважній більшості випадків, якісних характеристик результатів вимірювання [2, 3].

Разом з тим, проведені нами дослідження [4] дозволяють зробити висновок про перспективність застосування методів інформаційного моделювання, зокрема методу групового врахування аргументів (МГУА), для моделювання кількісних характеристик об'єктів вимірювання.

Існує потреба в подальшому дослідженні особливостей застосування методів штучного інтелекту для моделювання кількісних характеристик ОВ.

Використання моделі передбачає отримання чисельних значень параметрів, які ввійшли в модель, за допомогою первинного вимірювального перетворювача та інших технічних засобів, і розрахунку значення вимірювальної величини за допомогою отриманої моделі.

Застосування МГУА, для моделювання ОВ, має низку особливостей:

1. Обмежена кількість чинників первинного опису ОВ.
2. Обмежена кількість спостережень, тобто кількість даних для навчання моделі.
3. Неспівпадання розроблених на тепер критеріїв якості індуктивних моделей та критеріїв оцінки результатів вимірювань у метрології.
4. Співпадання умов навчання моделей та їх експлуатації. Моделі використовуються в тому ж діапазоні значень параметрів, в якому вони навчались.

При калібруванні електрохімічних аналізаторів водних середовищ використовуються стандартні розчини, які мають високу ціну. Тому кількість спостережень, за результатами яких будується калібрована залежність, обмежена. Проводиться не більше 3-х спостережень для кожної точки каліброваного графіку. При цьому зазвичай методики вимірювання враховують від 2 до 5 впливаючих чинників, які є параметрами моделі ОВ. Зрідка кількість одночасно врахованих параметрів доходить до 8–10.

Для створення адекватних моделей об'єкту на основі методів індуктивного моделювання часто інформації від цих параметрів недостатньо. Тому важливим завданням при застосуванні індуктивного моделювання ОВ є отримання додаткової інформації для формування первинного опису.

Мета роботи

Метою даної роботи є вирішення однієї із основних проблем, яка виникає при застосуванні більш «потужних» методів моделювання – недостатня кількість інформативних параметрів, значення яких отримують в процесі калібрування приладу.

Підвищення інформативності первинного опису об'єкта вимірювання

Первинний опис ОВ являє собою таблицю значень параметрів моделювання, які експериментально отримані при фіксованих значеннях модельованої функції. Параметрами моделювання є значення аналітичного сигналу, характеристики режиму вимірювання та вплив оточуючого середовища. Значення параметрів отримують проведенням серії спостережень, які в традиційних ме-

тодиках вимірювання описуються як процес калібрування приладу, або отримання каліброваної залежності.

Традиційно результати спостережень фіксуються при послідовній зміні значення кожного із параметрів вимірювання при незмінному значенні всіх інших параметрів. Таким чином реалізується методика повного багаточинникового експерименту. При індуктивному моделюванні необхідність в проведенні багаточинникового експерименту в повному обсязі відпадає. Необхідно зафіксувати значення модельованої функції при різних співвідношеннях значень параметрів моделювання без реалізації плану багаточинникового експерименту.

Автором запропоновано спосіб підвищення кількості інформативних параметрів моделювання ОВ без проведення додаткових спостережень.

В основі цього способу є гіпотеза про те, що додаткову інформацію для моделювання можливо здобути обробкою результатів калібрування приладу традиційними методами за технологією інтелектуального аналізу даних (Data mining).

Оскільки відомо, що майбутні події зумовлюються подіями минулими, припускаємо, що зв'язки параметрів вимірювань попередніх із параметрами вимірювань наступних є інформативними чинниками. Якщо зафіксувати зв'язки параметрів усіх наступних вимірювань із параметрами вимірювань навчаючої послідовності, то вони стають додатковими чинниками, які зменшують інформаційну невизначеність даної складної системи.

Можливість отримати такі чинники надає нам кореляційний аналіз. Додаткові інформативні параметри моделювання отримуємо розрахунком коефіцієнтів кореляції параметрів кожного спостереження із спостереженнями навчаючої послідовності. Їх значення необхідно розраховувати за результатами калібрування приладу та включати до первинного опису як додаткові параметри ОВ.

Для перевірки цієї гіпотези проведемо модельний експеримент. Засобом експерименту є евристична система спостереження [4, 5]. Об'єктом досліджень є первинний опис процесу вимірювання концентрації мікродомішок міді, цинку та свинцю в питній воді. Дані отримані автором при розробці технічних засобів моніторингу важких металів у воді в Українському науково-технічному центрі "Сенсор" Мінекобезпеки України [6, 7].

Результати спостережень отримані на полярографі типу ПУ-1 в непроточній 3-х електродній чарунці на ртутно-скловуглецевому робочому електроді. Як фоновий використовувався розчин 1М КСІ. Аналізований розчин готувався послідовним розбавленням стандартних розчинів міді, цинку та свинцю (ДСТУ 022.55-96). Вимірювання проводились на тлі 1М КСІ у нормальних умовах.

Як параметри первинного опису використані потенціал концентрування, температура вимірювання та значення аналітичного сигналу.

Дослідження проводились за схемою багаточинникового експерименту. Перевірялась залежність точності моделі визначення концентрації цинку від вигляду початкової моделі та технології формування первинного опису.

У таблиці поданий план експерименту та його результати. Для визначення зв'язків між наступними та попередніми спостереженнями первинного опису

були розраховані коефіцієнти кореляції кожного із 51 спостережень з кожним із перших 20 спостережень первинного опису.

Таблиця – План та результати модельного експерименту

№	Вигляд початкової моделі	Спосіб виділення послідовностей спостережень	Абсолютна похибка моделі, мг/дм ³		Сума квадратів похибок, мг/дм ³		Відносна похибка моделі, %			
			Селекція моделей за середньою абсолютною похибкою моделі						Селекція моделей за середнім квадратичним відхиленням моделі	
			Традиційний спосіб	Новий спосіб	Традиційний спосіб	Новий спосіб	Традиційний спосіб	Новий спосіб		
1	$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2$	Непарні – навчаюча, парні – перевіряюча	0,30	0,30	5,22	5,22	37.69	25.86		
2	$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2$	Перша половина спостережень – навчаюча, друга – перевіряюча	0,36	0,34	11,85	34.88	63.11	40.64		
3	$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1x_2$	Непарні – навчаюча, парні – перевіряюча	0,28	0,08	6,24	0,36	24.65	4.66		
4	$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_1x_2$	Перша половина спостережень – навчаюча, друга – перевіряюча	0,32	0,28	7,80	6,38	63.21	43.96		
5	$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_4x_1^2+a_5x_2^2$	Непарні – навчаюча, парні – перевіряюча	0,28	0,26	4,67	3,68	30.08	23.84		
6	$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_4x_1^2+a_5x_2^2$	Перша половина спостережень навчаюча, друга – перевіряюча	0,32	0,24	10,37	7,96	53.59	55.75		

Для генерації моделі використаний багаторядний алгоритм МГУА. Порівнювались характеристики моделей, отриманих за традиційно складеним первинним описом ОВ та з використанням нового способу формування первинного опису ОВ.

Результати експерименту № 3 дозволяють зробити висновок, що запропонований спосіб підвищення інформативності первинного опису ОВ дозволив зменшити похибку моделювання об'єктів вимірювання на 71,4 %, суму квадратів похибок - на 94,2 %.

Висновки

Отже запропонований спосіб дозволяє вирішити одну із проблем, які постають при застосування індуктивних методів для моделювання ОВ - обмежена

кількість параметрів. Використання зв'язків наступних спостережень із спостереженнями навчаючої послідовності як додаткових параметрів дозволяє покращити кількісні характеристики отриманих моделей: похибка моделювання зменшилась на 71,4%, сума квадратів похибок зменшилась на 94%.

Подальші дослідження в цьому напрямку повинні мати за мету подальше вдосконалення технологій формування первинного опису ОБ а також адаптування індуктивних методів для моделювання на мікрорівні моніторингових систем.

Література

1. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Ивахненко А.Г. Киев: Наук. думка, 1981. - 296 с.
2. В.Е. Степаненко. Хроматографическая идентификация индивидуальных соединений методом распознавания образов // Журнал аналитической химии. – 1982. – Т. 37, вып. 12. - С. 2230-2234.
3. Замятин Н.В., Бабков П.И., Труфакина Л.М. Прогнозирование свойств многокомпонентных систем нейросетями // Сб. научн. тр. “Нейроинформатика и ее приложения”. - Красноярск, 1996. - 60 с.
4. Голуб С.В. Моделирование мониторинговых процессов эвристической системой наблюдений // Электронное моделирование. – 2000. - Т. 26, № 5. - С. 55-65
5. Голуб С.В. Евристична система спостережень. Аерокосмічні системи моніторингу та керування: Матер. V міжнародної наук.–техн. конфер. «АВІА–2003». – Т.2.–К.:НАУ, 2003. - С. 90-93.
6. Контракт № 292/13 від 29 квітня 1999 року на виконання ДКР “Розробка інверсійного кулонометричного аналізатора важких металів у воді та в екстрактах із проб ґрунту”, (на підставі листа Мінекономіки від 27.01.99 №12-41/77 та наказу Мінекобезпеки № 77 від 06.04.99).
7. Свідоцтво про державну метрологічну атестацію № 4378–12–00 від 10.04.00 р. Вольтамперометричного аналізатора важких металів „Нептун” № 01/2000, який виготовлено УкрНТЦ „Сенсор”, м. Черкаси (Україна).

<p>Голуб С.В. Повышение информативности первичного описания в технологиях индуктивного моделирования объектов измерения</p> <p>В работе представлены результаты исследований технологии информационного моделирования объектов окружающей среды. Для преодоления проблемы ограниченного количества информативных параметров моделирования на микроуровне предложено использовать новый способ формирования первичного описания объекта измерения. Использование этого способа улучшает количественные характеристики информационных моделей.</p>	<p>Golub S.V. The increase of information press at so-called technology of inductive modelling of the items</p> <p>In work results of researches of technology of information modelling of objects of an environment are submitted. For overcoming a problem limited quantities informative parameters of modelling on microlevel it is offered to use so-called technology about information press item. Use of this technology improves quantitative characteristics of information models.</p>
---	--

*Надійшла до редакції
21 червня 2006 року*