СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РИТМІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РЕЙОК

Ігор Ісаєв, Георгій Трохим, Ігор Яворський

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Нан України
79601, Україна, Львів, МСП вул. Наукова, 5
телефон: 8 (0322) 63-33-55
факс: 8 (0322) 64-94-27
електронна пошта: isayev@ipm.lviv.ua, george@ipm.lviv.ua, iavor@ipm.lviv.ua

Представлено новий підхід до проблеми діагностики технічного стану рейок, що базується на дослідженні сигналу від електромагнітного збурення рейок під час проходження вагона-дефектоскопа методами нестаціонарної статистичної обробки. Основуючись на моделі сигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу проведено обробку корисного сигналу від ідеальної бездефектної рейки та рейки з дефектом. Результати обробки порівняно з результатами стаціонарної обробки.

ВСТУП

При аналізі технічного стану залізничної колії основну увагу приділяють стану рейок, від якого залежить допустима швидкість та безпека руху потягів. Технічний стан рейок оцінюють за наявністю в них дефектів, тобто структурних неоднорідностей, що не передбачені конструкторсько-технологічною документацією і незалежні по впливу на рейку від інших неоднорідностей [1].

Основними постачальниками засобів дефектоскопії рейок залізницям Північної Америки є компанії Herzog Services, Pandrol Jackson і Sperry Rail Service, Європи - Speno International. Вони постійно вдосконалюють вимірювальні системи, обладнують дефектоскопи комп'ютерами, що підвищує їх продуктивність та дозволяє обробляти більший об'єм інформації. Програмні засоби можуть визначати рисунок дефекта і за ним проводити класифікацію.

Європейська компанія Speno International в своїх останніх розробках використовує комп'ютерні технології для прискорения процесу дефектоскопії, приділяючи особливу увагу покращенню давачів та підвищенню ефективності інтерфейсу з оператором. Одним з напрямів комп'ютеризації є створення бази даних, що дозволятиме визначати тенденції виникнення, розвитку дефектів та прогнозувати зміну стану рейок для оптимального планування їхньої заміни. На Львівській залізниці, для порівняння, комп'ютеризація звелась до заміни фотозапису діагностичних сигналів в магнітному вагоні-дефектоскопі розробки початку 50-тих років на комп'ютерне протоколювання та архівацію даних з низкою сервісних можливостей відображення на екрані монітора та видруку на прінтер. Весь тягар виявлення та класифікації дефекту лежить і надалі на операторі [2].

1. Принцип роботи магнітного дефектоскопа

1.1. На рис.1. висвітлено принцип роботи магнітного дефектоскопа, а на рис.2. приведено ідеалізоване представлення розподілу магнітного

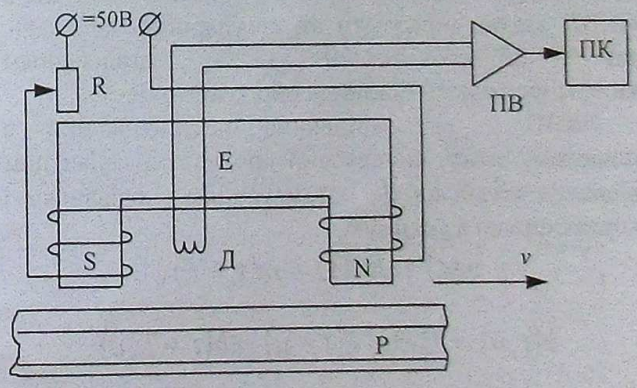


Рис.1. Блок -схема вагона дефектоскопа: *ЕМ - електромагніт з живленням від джерела постійного струму напругою 50 В; R - реостат регулювання струму підмагнічування; Д - давач, утворений індукційною котушкою, розміщеною на немагнітній лижі, що притискається до поверхні котіння та переміщується вздовж рейки Р з швидкістю v; ПВ-пристрій вводу інформації в персональний комп'ютер ПК*

потоку та напруги в котушці при поздовжньому скануванні рейки. З рисунка видно, що дослідження вихідної напруги котушки давача при відомій

© UkrObraz'2000

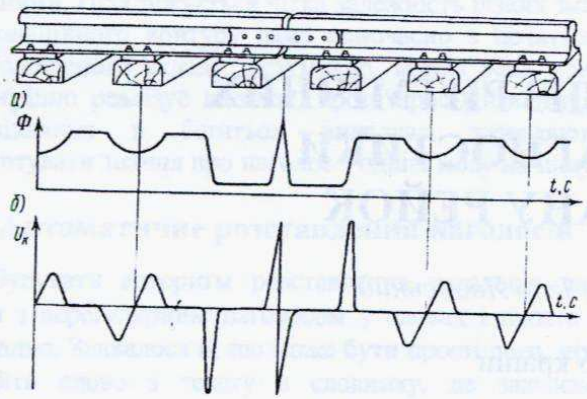


Рис.2. Розподіл магнітного потоку вздовж рейки (*а*) та напруга на виході індукційної котушки (*б*).

швидкості сканування (руху) може виявити структурні періодичності (характерні відхилення магнітного потоку від постійного значення) накладені дискретною довжиною стандартних рейок та міжшпальними інтервалами, а також електромагнітними властивостями елементів шпальних та рейкових скріплень.

2. ПКВП, як модель сигналу-відгуку від електромагнітного збурення рейки

2.1 Сигнал, отриманий електромагнітним збуренням бездефектної рейки, поданий на рис. 3. Він має чітку коливну структуру, яка дещо спотворюється випадковими завадами. Найбільш адекватною моделлю сигналу в цьому випадку буде модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП). Модель у вигляді ПКВП здатна описувати як регулярність коливань, так і їж стохастичність і є узагальненням детерміністичного і стаціонарного підходів.

ПКВП - це періодично нестаціонарний в широкому змісті випадковий процес з інваріантним відносно зсувів на T математичним сподіванням і кореляційною функцією

$$m(t) = E\xi(t) = m(t+T),$$

$$b(t,u) = E\,\overset{\circ}{\xi}(t)\,\overset{\circ}{\xi}(t+u) = b(t+T,u),$$

$\overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - m(t)$. T - період корельованості процесу [3].

При виконанні умов

$$\int_0^T |m(t)| < \infty, \qquad \int_0^T |b(t,u)| < \infty, \qquad \int_0^T |f(\omega,t)| < \infty,$$

математичне сподівання, кореляційна функція і спектральна густина можуть бути представлені у вигляді рядів Фур'є

$$m(t) = \sum_{k\in Z} m_k e^{ik\frac{2\pi}{T}t}, \quad b(t,u) = \sum_{k\in Z} B_k(u) e^{ik\frac{2\pi}{T}t},$$

$$f(\omega,t) = \sum_{k\in Z} f_k(\omega) e^{ik\frac{2\pi}{T}t},$$

де

$$m_k = \frac{1}{T}\int_0^T m(t) e^{-ik\frac{2\pi}{T}t}\,dt,$$

$$B_k(u) = \frac{1}{T}\int_0^T b(t,u) e^{-ik\frac{2\pi}{T}t}\,dt,$$

$$f_k(\omega) = \frac{1}{T}\int_0^T f(\omega,t) e^{-ik\frac{2\pi}{T}t}\,dt,$$

$m_k \to \infty$, $B_k(u) \to \infty$, $f_k(\omega) \to \infty$ при $k \to \infty$. Функції $B_k(u)$ і $f_k(\omega)$ мають назву кореляційних і спектральних компонентів. Коефіцієнти Фур'є m_k і $B_k(u)$ є кількісними характеристиками форми періодичних кривих відповідно математичного сподівання і кореляційної функції.

3. Результати обробки

Видається цікавим дослідити статистичні відмінності двох ПКВП: сигналу від завідомо бездефектної рейки та сигналу від рейки з характерним дефектом методами стаціонарної і нестаціонарної обробки на рівні математичного сподівання та дисперсії.

При цьому модель ідеальної рейки будуємо в межах максимальної довжини такої рейки (не більше 25 м), а наявність дефекта оцінюємо в межах міжшпального інтервалу (зрозуміло, що при додатковому вимірюванні відстані точність локалізації дефекта можна піднімати відповідно).

3.1. Дослідимо методами стаціонарної обробки сигнал-відгук від бездефектної рейки (рис. 3).

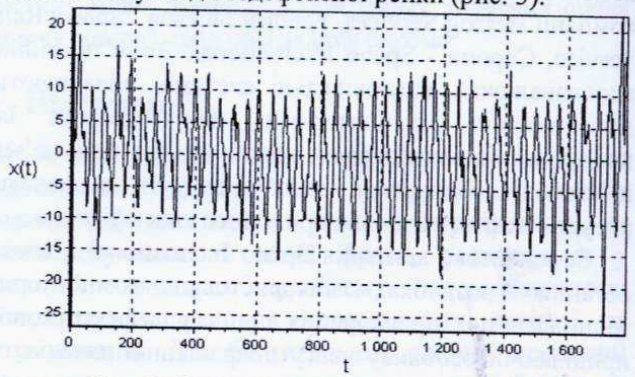


Рис. 3. Сигнал від бездефектної рейки

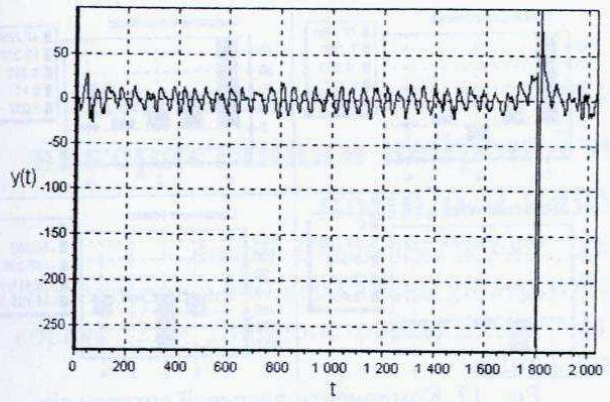


Рис. 4. Сигнал від рейки з дефектом

На рис. 5, 6 подані кореляційна функція і спектральна густина сигналу в стаціонарному наближенні. Кореляційна функція є заникаючою і має коливний характер з одним переважаючим періодом, що відповідає відстані між шпалами (~49.7 см). Рівень шуму в сигналі складає близько 15% по амплітуді. На графіку спектральної густини окрім несучої частоти, що відповідає відстані між шпалами, присутня також бокова пелюстка на частоті, кратній несучій, що можна пояснити технічними характеристиками приймача, що приймає сигнал від двох шпал.

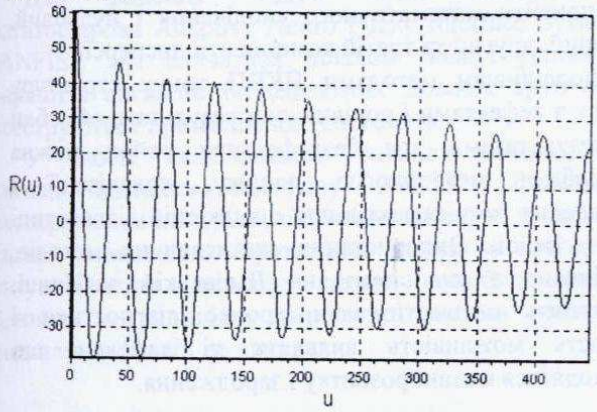


Рис. 5. Кореляційна функція сигналу від бездефектної рейки

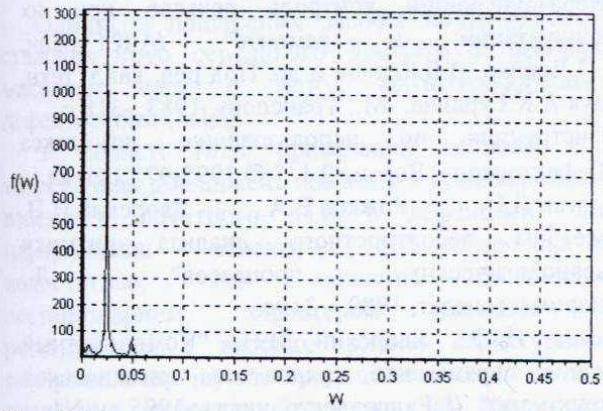


Рис. 6. Спектральна густина сигналу від бездефектної рейки

3.2. Розглянемо статистичні властивості сигналу від рейки з дефектом. Кореляційна функція (рис. 7) має вже значний рівень шуму і не таку правильну коливну форму, як у випадку бездефектної рейки.

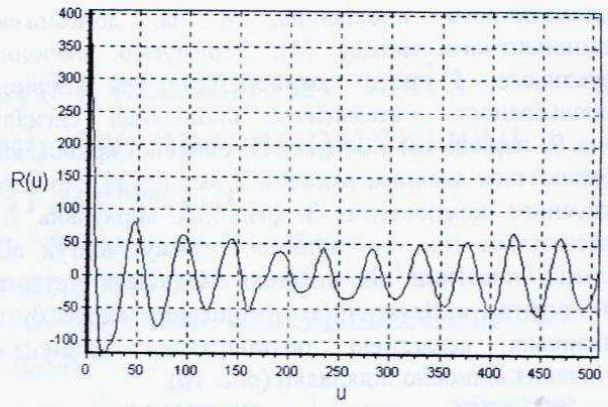


Рис. 7. Кореляційна функція сигналу від рейки з дефектом

На графіку спектральної густини (рис. 8) присутній переважаючий пік, що відповідає міжшпальному проміжку, але з'явилися нові частоти, які забезпечують підняття цього піку на «плато», а також підняття високочастотних областей. Для визначення більш тонких відмінностей і вибору інформативних параметрів сигналів від залізничних рейок дослідимо статистичні характеристики даних тестових сигналів з точки зору нестаціонарності в часі.

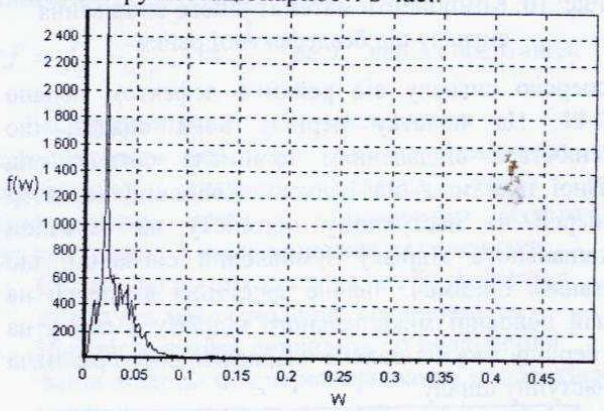


Рис. 8. Спектральна густина сигналу від рейки з дефектом

3.3. Розглянемо методами ПКВП математичне сподівання і дисперсію сигналу від бездефектної рейки.

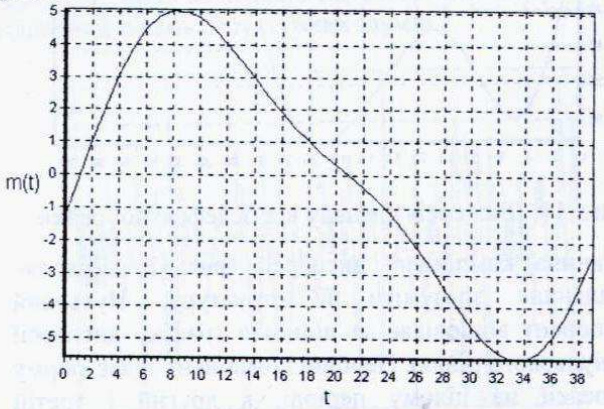


Рис. 9. Математичне сподівання сигналу від бездефектної рейки

Використовуючи когерентний метод оцінювання ПКВП, уточнюємо кількість компонентів

математичного сподівання, а за допомогою компонентного методу [4], отримуємо значення середнього і його компонентів. На періоді корельованості математичне сподівання сигналу (рис. 9) періодичне і близьке до синусної кривої, що пояснюється значним вкладом в амплітуду першого синусного компонента. З фізичних міркувань це пояснюється тим, що приймач отримує відгук від залізної пластини під шпалою. Наявність другого компонента математичного сподівання може бути викликана асиметією розташування елементів кріплення відносно підкладки (рис. 10).

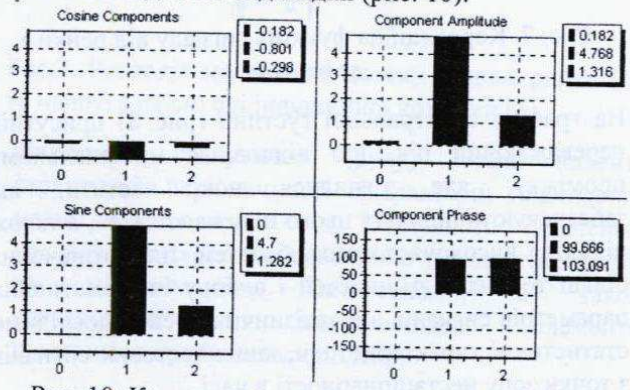


Рис. 10. Компоненти математичного сподівання сигналу від бездефектної рейки

Дисперсію сигналу від рейки з дефектом подано рис. 11. На початку періоду вона спадає, що пояснюється віддаленням приймача сигналу від залізної пластини під рейкою. Коливний характер дисперсії на наступному проміжку до середини міжшпального відрізку зумовлений сигналом, що «доганяє» приймач. Значне зростання дисперсії на другій половині міжшпального відрізку з піком на 3/4 періоду вже зумовлене «наїжджанням» приймача на наступну шпалу.

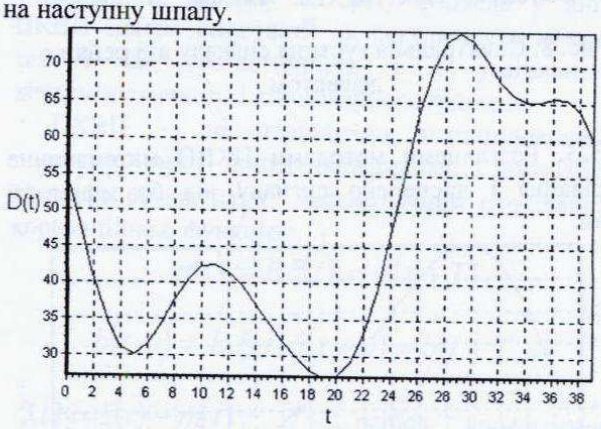


Рис. 11. Дисперсія сигналу від бедефектної рейки

Величина компонент дисперсії (рис. 12) дозволяє детальніше зрозуміти її структуру. Нульовий компонент відповідає за підняття графіку дисперсії від нульового рівню. Перший компонент задає форму дисперсії на цілому періоді, а другий і третій компоненти відповідають за зміни на пів- і чверть-періоді. Зважаючи на незначний рівень четвертого компоненту дисперсії, його можна не брати до уваги.

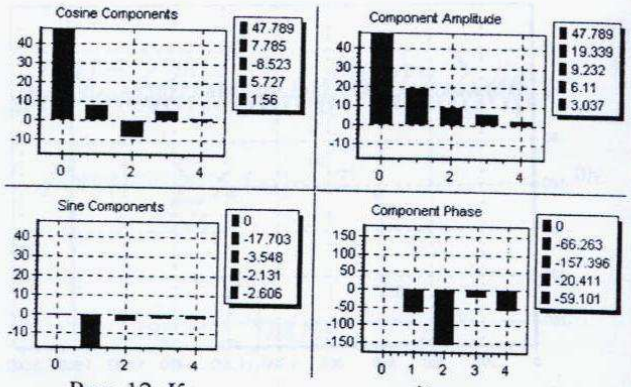


Рис. 12. Компоненти дисперсії сигналу від бездефектної рейки

ВИСНОВКИ

Статистичний аналіз сигналів, отриманих від електромагнітного збурення залізничних рейок, дозволяє проводити швидкісну діагностику стану рейок під час руху вагона-дефектоскопа. З використанням методів теорії періодично корельованих випадкових процесів, можна вибрати інформативними параметрами діагностики кількість компонентів математичного сподівання і дисперсії. Для бездефектної рейки присутні перший і другий компоненти математичного сподівання і нульовий, перший, другий та третій компоненти дисперсії.

Дослідивши методами ПКВП тонку структуру рейок з дефектами і порівнюючи результати обробки з результатами для бездефектних рейок можна розробити методологію пошуку, локалізації і виявлення типу дефектів при швидкісній діагностиці стану рейок. Використання статистичних методів, порівняно з існуючими на Львівській залізниці, дозволить автоматизувати процес діагностики і надасть можливість виявляти ті дефекти, що знаходяться в стані розвитку і зародження.

ЛІТЕРАТУРА

1. "Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте" /А.К.Гурвич, Б.П.Довнар, В.Б.Козлов и др. Под ред. канд. техн. наук А.К.Гурвича, -М.: Транспорт, 1983, -318 с.
2. "Инструкция по использованию комплекса «Дефектоскоп». Версия 2.1. " © 1995-97 Logi+ka.
3. Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н. "Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов".- Л.: Гидрометеоиздат, 1989. - 319с.
4. Исаев И.Ю., Яворский И.Н. "Компонентный анализ временных рядов с ритмической структурой" // Радиоэлектроника.- 1995. - N1. - с.34-45

Контроль якості сталевих труб в реальному часі з використанням нейроної мережі, яка прогнозує сигнал помилки наявності дефектів

Андрій Павлович Гвоздак, Олександр Мубаркович Ахметшин
Дніпропетровський державний університет, Радіо-фізичний факультет, вул. Наукова 13, корпус 12, м. Дніпропетровськ 49050. тел. 056-7769092. e-mail: andrey@mail.dsu.dp.ua, akhm@mail.dsu.dp.ua.

Магнітно-індукційний метод контролю якості безшовних труб у реальному масштабі часу характеризується високим рівнем структурних шумів, що мають складний закон розподілу щільності ймовірностей які змінюються від партії до партії виробів.

Традиційний метод виявлення дефектів труб пов'язаний із використанням еталонних дефектів. Проте форма реальних дефектів є випадкової, що не дозволяє використовувати методи оптимальної фільтрації для їхнього виявлення.

Для рішення задачі була використана багатошарова Adaptive Neuro Fuzzy Interface System (ANFIS), яка навчалася шляхом подачі усіляких варіантів сигналів бездефектних ділянок труб що реєструються приймальною системою.

У якості аналізованого сигналу розглядався сигнал помилки прогнозу ANFIS. Проведені експерименти показали, що метод дозволяє виділити сигнал випадкових протяжних дефектів навіть у ситуаціях коли відношення сигнал / шум було менше одиниця і традиційні амплітудні методи селекції сигналів дефектів не виявляли.

1. Вступ

Одним із поширених засобів контролю якості сталевих труб середнього діаметра в реальному масштабі часу є метод магнітно-індукційної дефектоскопії (МІД).

У області МІД проведений великий обсяг теоретичних досліджень пов'язаних із моделюванням взаємодії магнітного поля з дефектами, проте інформаційні аспекти МІД досліджувані недостатньо, що можливо пояснюється нестаціонарним характером сигналів що реєструються і високим рівнем структурних і вимірювальних шумів. Традиційні підходи до задачі виявлення дефектів базуються на використанні методів смугової фільтрації сигналів що реєструються [1, 2]. Проте детальний аналіз ситуації показує що, подібний підхід не узгоджується з фізичною структурою сигналів що реєструються, що як слідство веде до зниження реальної чутливості контролю. Це вимагає необхідність пошуку нових підходів до аналізу даних МІД на базі нових інформаційних технологій.

2. Модель сигналу що реєструється

Важливою прикладною особливістю більшості методів МІД є використання систем намагнічування які обертаються навколо труби зі зніманням вихідної інформації за допомогою безконтактних індуктивних перетворювачів. Останнє означає, що спектральна характеристика сигналів що реєструються є лінійчатої з відстанню між гармоніками $\Delta f = f_k - f_{k-1} = \frac{1}{T_0}$, де T_0 період обертання.

Експериментальні дослідження також підтверджують той факт, що, у відмінності від ідеалізованої ситуації, реальна труба має багатогранник, причому з невідомим заздалегідь числом граней. З цього випливає два висновки:

1. Сигнал що реєструється навіть бездефектної структури має періодичну послідовність.
2. Наявність граней приводить до періодичної зміни відстані між перетворювачем і поверхнею труби.

Слідством останнього ефекту є наявність і паразитної амплітудної модуляції сигналу що реєструється. Це призводить до зниження реального порога чутливості системи контролю. На рис. 1 показаний типовий сигнал бездефектної ділянки труби, де явно визначено характер цієї модуляції і відносний рівень структурних шумів.

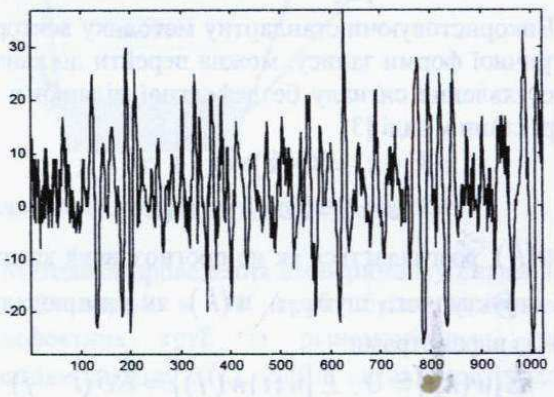


Рисунок 1. Типовий сигнал бездефектного ділянки труби $s(t)$ при магнітно-індукційному методі контролю.

Загальний аналіз характеру сигналів $s(t)$ бездефектних ділянок труб дозволяє зробити два додаткових висновки:

-використання систем відбракування (контролю) із фіксованим порогом прийняття рішення можливо лише в тому випадку, коли амплітуда сигналу дефекту перевершує максимальну амплітуду бездефектної ділянки. Проте дуже часто спостерігалася ситуація, коли поява періодичного сигналу дефекту збігалося з мінімумами сигналу $s(t)$, що не дозволяло ідентифікувати наявність сигналу дефекту при використанні фіксованого порога прийняття рішення.

-використання смугової фільтрації ефективно лише у випадках, суттєвої відмінності спектральних характеристик апріорно невідомого сигналу дефекту і сигналу окремої грані. Це можливо не завжди і в усіх випадках використання смугової фільтрації буде приводити до зниження реальної чутливості контролю оскільки як сигнал дефекту так і сигнал грані буде мати приблизно однакову ширину спектра (але різну інтенсивність спектральних компонент).

Відзначені особливості зажадали пошуку альтернативних підходів до задачі магнітно-індукційного контролю труб, по своїй сутності еквівалентних використанню ковзного порога прийняття рішення для підвищення реальної чутливості контролю.

У рамках поставленої задачі були досліджувані два підходи: метод адаптивної фільтрації Калмана і Adaptive-Network-based Fuzzy interface System (ANFIS) основана що до прийняття рішення про дефектність труби на основі аналізу помилки прогнозу сигналу дефектоскопу в часовій області.

3. Метод адаптивної фільтрації Калмана.

Ідея методу заснована на розгляді сигналу бездефектної ділянки у виді стаціонарної стохастичної динамічної послідовності, що описується в загальному випадку рівнянням авторегресії порядку p, тобто

$$s(t_k) = \sum_{i=1}^{p} a(i)s(t_{k-i}) + u(t_k). \quad (1)$$

Використовуючи стандартну методику векторної-матричної форми запису, можна перейти до канонічного уявлення сигналу бездефектної ділянки в просторі стани у виді [3]

$$x(k+s) = \Phi(k)x(k) + ru(k);$$
$$z(k) = \mathrm{H}x(k) + w(k), \quad (2)$$

де $u(k)$ розглядається як не прогнозована компонента структурного шуму, а $w(k)$ як вимірювальний шум із параметрами

$$E\{w(k)\} = 0;\ E\{w(i)w(j)\} = R\delta(i-j)$$
$$E\{w(k)\} = 0;\ E\{w(i)w(j)\} = Q\delta(i-j). \quad (3)$$

Поява дефекту можна характеризувати моделлю:

$$x(k+1) = [\Phi(k) + \Delta\Phi(k)]x(k) + \Gamma u(k), \quad (4)$$

де $\Delta\Phi(k)$ - випадкова фінітна функція яка характеризує дефект.

Тому що вихідний фільтр розраховується в припущенні без дефектності труби, то поява дефекту веде до невизначеності в розрахунковій моделі, що може привести до великих помилок аж до розходження оцінок фільтрації. Саме цей факт і визначає необхідність використання адаптивної фільтрації. Для локалізації випадкового дефекту необхідно зіставлення дефектограми що фільтрується з деяким еталонним сигналом. У якості якого ми розглядали відфільтрований динамічний сигнал апріорно бездефектної труби

$$s_{et}(k) = s(k) + s_N(k), \quad (5)$$

де $s(k)$ розглядається як квазідетермінована компонента, а $s_N(k)$ - як неув'язка фільтрації з параметрами

$$E\{s_N(h)\} = 0;\ E\{s_N^2(h)\} = P_{et}(k,h), \quad (6)$$

при цьому задача виявлення і локалізації дефекту зводиться до обчислення і порівняння з заданим порогом виразом:

$$y = \frac{[s(k) - s(k,k)]^2}{P_{et}(k,k) + P(k,k)} \rightarrow \begin{cases} < \alpha : \mathrm{H}_0 \\ \geq \alpha : \mathrm{H}_1 \end{cases}, \quad (7)$$

де α - поріг прийняття рішення; H_0 - відсутність дефекту; H_1 - наявність дефекту.

У процесі проведених експериментів були перевірені різноманітні варіанти адаптивних алгоритмів фільтра Калмана [5] і в багатьох ситуаціях були отримані цілком задовільні результати. Проте в цілому проявилася одна проблема пов'язана зі структурною невизначеністю характеру сигналів $s_{et}(k)$, оскільки, як було відзначено вище число граней труби заздалегідь не відомо. Адаптивний фільтр Калмана відслідковував зміни параметрів моделі, але це завжди приводило до появи сигналу розладу на фактично бездефектних ділянках у початковій стадії контролю. Ця задача може бути вирішена на основі використання сімейства паралельних фільтрів Калмана, але для їх виконання в реальному часі, буде потрібно достатньо складна багатопроцесорна система яка складається з гребінки сигнальних процесорів.

4. Контроль якості на основі аналізу помилки прогнозування вихідного сигналу навченої нейронної мережі.

Оскільки штучна нейрона мережа може бути подана як паралельно розподілена обчислювальна мережа, то використання нейроної мережі може бути розглянуто і з позиції альтернативи використання

гребінки фільтрів Калмана. Крім цього, у реальних ситуаціях часто виникає проблема представлення сигналу $s(t)$ до канонічної форми (2), оскільки теоретичні варіанти рішення задачі припускають, що як $w(t)$ так і $u(t)$ представляють гаусовскі послідовності.

При виборі методу рішення задачі визначену роль зіграли результати роботи [6] по прогнозуванню Mackye-Glass часових послідовностей, оскільки зіставлення даних на рис.22 [6] і бездефектного сигналу $s(t)$ на рис. 1 показує визначення їх подібність (хоча структура сигналу $s(t)$ звісно набагато складніше).

У рамках подібного підходу сигнал $s(t)$ варто розглядати як сигнал що генерується нелінійною системою, а не як стаціонарний часовий ряд при розрахунку фільтра Калмана. Такий погляд на природу сигналу $s(t)$ дає додатковий аргумент на користь використання нейроної мережі, тому що структура нейроної мережі може адаптуватися до сильно не лінійних послідовностей, що забезпечує її істотну перевагу в порівнянні з лінійними методами при опрацюванні нелінійних часових послідовностей.

При проведенні експериментів була обрана 5 шарова гібридна нейрона мережа з ANFIS архітектурою на основі обчислювального еквівалента Thikomato методу представлення (рис.2). Для прогнозування сигналу дефектоскопа $s*(t)$ використовувалися 4 входи $s(t_{k-6})$, $s(t_{k-12})$, $s(t_{k-18})$ і $s(t_{k-24})$.

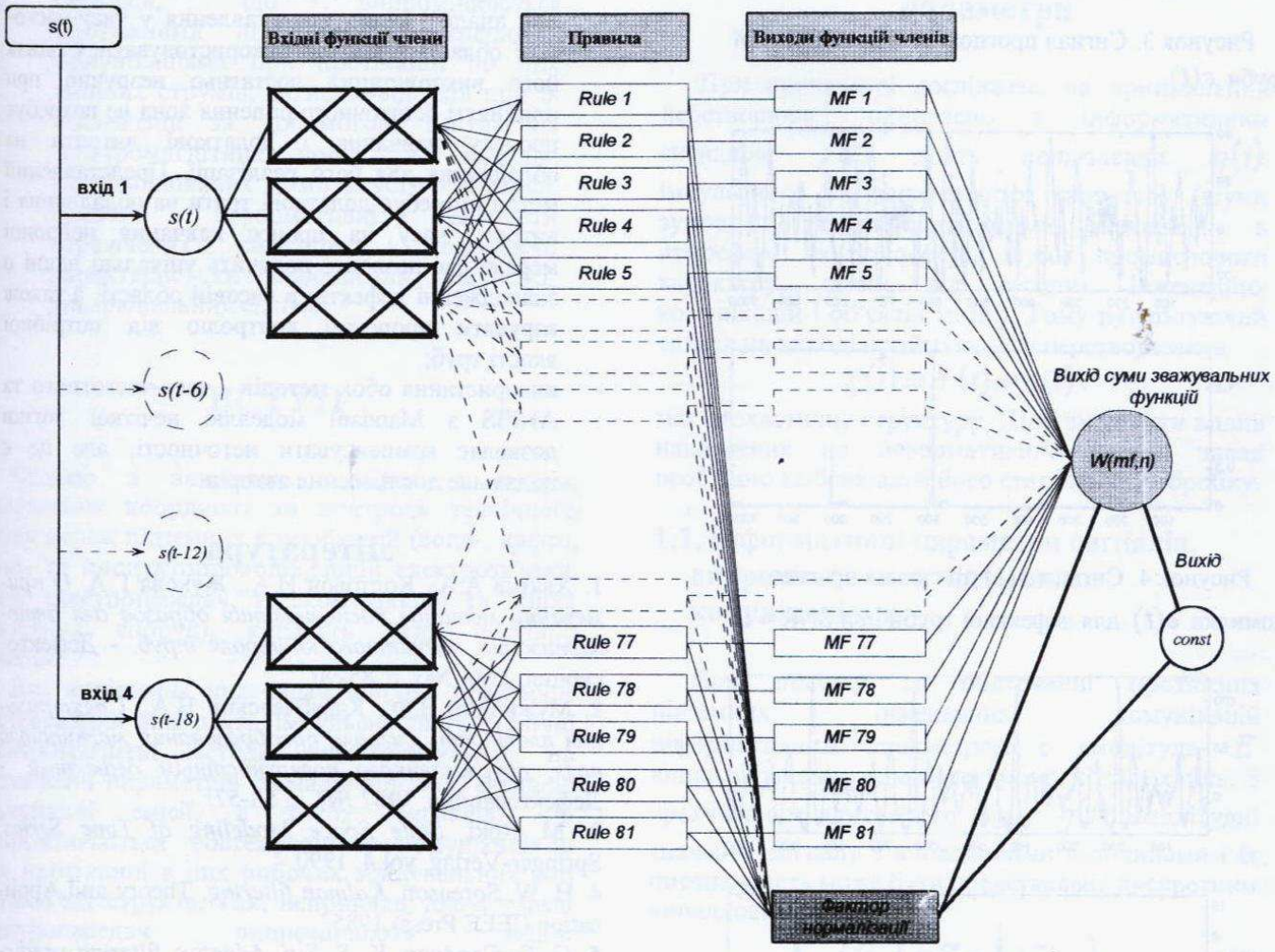


Рисунок 2. Структура ANFIS моделі використаної для процесу прогнозу сигналу дефектів.

Кожному входові ставилося у відповідність три лінгвістичні перемінні (low, med-ium, high). Кожному входові при фузіфікації ставилася у відповідність 3 трикутні функції приналежності що характеризуються трьома параметрами. Загальне число параметрів побудованої моделі ANFIS склало 429 із 81 числом правил фузіфікації відповідно.

Методика проведення експерименту складалася в так. З партії в 50 труб були відібрані 10 бездефектних труб із різноманітними типами динаміки сигналу $s(t)$. Всі ці сигнали розглядалися в якості навчальних для ANFIS.

Типовий сигнал помилки-прогнозу $e(t)$ для бездефектної труби показаний на рис.3. Амплітуда

$e(t)$ знаходилася в межах [-20 ÷ 20] відносних одиниць. Зіставлення сигналів $s(t)$ і $e(t)$ для дефектних труб при SNR ≈ 1 показано на рис. 4, а для SNR ≈ 2 на рис. 5.

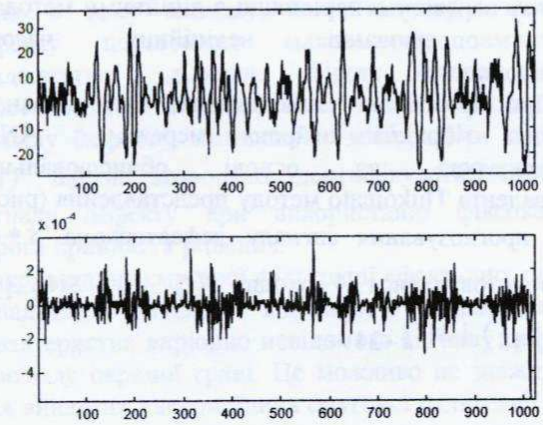


Рисунок 3. Сигнал прогнозу для бездефектної труби $e(t)$.

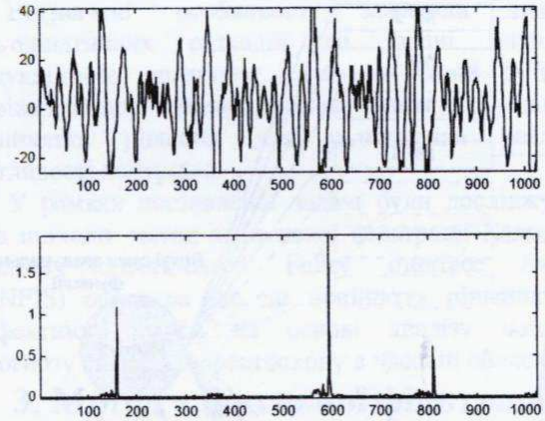


Рисунок 4. Сигнал $s(t)$ та сигнал прогнозу помилки $e(t)$ для дефектної труби при SNR ≈ 1.

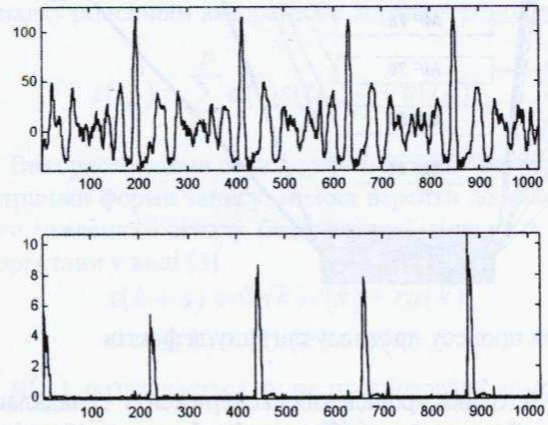


Рисунок 5. Сигнал $s(t)$ та сигнал прогнозу помилки $e(t)$ для дефектної труби при SNR ≈ 2.

Зіставлення результатів на цих малюнках показує, що застосування ANFIS дозволило підвищити відношення сигнал/шум у залежності $e(t)$ в 10 разів у порівнянні з вихідною залежністю $s(t)$. При SNR<1 результати були більш суперечливі і часто призводили до помилкових виявлень дефектів. У таких випадках для мінімізації можливості помилкової інформації про дефект доцільно використання декількох алгоритмів обробки інформації, що засновуються на різноманітних фізичних припущеннях про природу дефектів[7].

5. Висновки.

Використання моделі ANFIS дозволило:

- Поліпшити відношення сигнал шум вихідних сигналів завдяки використання лінійних функцій підлеглості для процесу дефузіфікації;
- дозволив обмежити присутність дефектів в часовій області при порівнянні видимих амплітуд сигналів дефектів;
- при аналізу метод представлення у часу-частотної області [7] може використовуватися однак його використання достатньо незручно при прийнятті остаточного рішення хоча не потребує процесу навчання і додаткові витрати на обладнання для його реалізації. Представлений метод потребує додаткові трати на обладнання і витрату часу на процес навчання нейроної мережі але дозволяє получить унікальні данні о знаходженні дефектів в часовій області, а також керувати процесом контролю від потрібної якості труб;
- використання обох методів - часу-частотного та ANFIS з Mandani моделлю нечіткої логіки дозволяє компенсувати неточності, але це є подальше дослідження авторів.

Література

1. Хватов А.А., Колтовой И.А., Жукова Г.А. *О применении методов распознавания образов для автоматизации магнитного контроля труб.* - Дефектоскопия, 1986 №3, с. 85-90.
2. Мужицкий В.Ф., Карабчевский В.А.. *Спектральная плотность сигнала преобразования магнитного поля, обусловленного поверхностным дефектом.* - Дефектоскопия, 1987 №7, с. 53-57.
3. M. Roki, *State Space Modeling of Time Series*, Springer-Verlag, vol.4, 1990.
4. H. W. Soreuson, *Kalman filtering*, Theory and Application (IEEE Press),1985.
5. G. C. Goodwin, K. S. Sin, *Adaptive filtering prediction and control*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y., 1984.
6. Y. S. R. Yang, ANFIS: *Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System*, IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, vol. 23, N3, pp. 665-685, 1993.
7. A.P. Gvozdak, V. M. Dolgov, *Time-frequency NDT in real time mode based on DSP*, Signal/Image Processing and Pattern Recognition, Proceeding, The Fourth All-Ukrainian International Conference, 19-23 October, Kiev, pp. 113-116, 1998.

Пошук та обстеження захованих об'єктів за їх сигналами

Петро Драбич, Олег Драбич

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України
вул. Наукова, 5, 79601, МСП, Львів, Україна,
тел. 8 (0322) 63 33 55, факс 8 (0322) 64-94-27
e-mail: drabich@ipm.lviv.ua

Описана структура стохастичних сигналів, що випромінюються протяжними підземними інженерними комунікаціями при протіканні по них змінних струмів, сигналів-відгуків при їх обстеженні за допомогою імпульсних електромагнітних полів та сигналів, випромінюваних ними акустичної емісії. Вказані інформативні елементи перелічених сигналів і приведені характеристики розроблених пошуково-вимірювальних систем.

ВСТУП

Однією з важливих проблем є пошук, визначення координат та контроль технічного стану мереж підземних комунікацій (водо-, нафто, газо- та продуктопроводів, ліній електрозв'язку, ліній електропередач, телекомунікацій та інших технічних споруд), кількість яких постійно зростає.

Для вирішення цих задач широке практичне застосування знаходять імпульсні та гармонічні електромагнітні методи, які ґрунтуються на визначенні параметрів сигналів-відгуків, сигналів акустичної емісії, а також сигналів, що випромінюються обстежуваними комунікаціями при протіканні в них робочих, зондувальних або блукаючих струмів. Так, наприклад, діючі кабелі електропередач випромінюють змінні електромагнітні коливання з частотою 50 Гц, а магістральні нафто- та газопроводи - коливання з частотою 100 Гц, обумовлені протіканням в них струму катодного захисту, а також сигнали акустичної емісії, обумовлені навантаженням трубопроводів.

При відсутності в комунікаціях робочих струмів електромагнітні коливання можуть збуджуватись приєднанням до них спеціальних генераторів або безконтактним індуктивним методом.

1. Структура випромінювальних сигналів та їх інформативні параметри

При проведенні досліджень на приймальний перетворювач одночасно з інформативним сигналом $f(t)$ діють поля-завади $\eta(t)$ імпульсного та неперервного характеру (шуми зумовлені електромагнітними явищами в атмосфері та іоносфері, шуми промислового характеру, шуми від сусідніх інженерних комунікацій і об'єктів та ін.). Тому результуючий сигнал на виході приймального перетворювача

$$\xi(t) = f(t) + \eta(t)$$

має стохастичну структуру. Щоб зменшити вплив накладених на інформативний сигнал завад необхідно здійснювати його статистичну обробку.

1.1. Інформативні параметри сигналів, випромінюваних підземними комунікаціями

При пошуку та обстеженні протяжних підземних інженерних комунікацій інформативним параметром є амплітуда E випромінюваних ними електромагнітних хвиль. З врахуванням адитивного шуму $\eta(t)$ амплітудні значення сигналу є випадковими величинами і їх послідовність може бути представлена дискретним випадковим процесом

$$\{E_i, i \in Z = 1,2,3,\ldots\}. \qquad (1)$$

В цьому випадку алгоритм обробки сигналу полягає в його фільтрації та оцінці значення амплітуди E шляхом усереднення випадкових значень E_i.

При обробці сигналу використовується теж фізична закономірність, яка полягає в тому, що напруженість магнітної складової електромагнітного поля, що випромінюється протяжним струмопровідним об'єктом, прямо пропорційна до величини змінного струму $I(t)$,

© UkrObraz'2000

що протікає вздовж нього і обернено пропорційна до відстані h між точкою спостереження і віссю об'єкта, тобто магнітне поле розглядають як поле лінійного струму, суміщеного з віссю об'єкта [1,2]. Визначивши на двох відстанях h та $h+a\,(a=const)$ амплітуди E_1 і E_2, наведених в приймальних індукційних перетворювачах (котушках) електрорушійних сил, обчислюють глибину залягання h та амплітуду I_m струму, що протікає в комунікації, за формулами [3].

$$h = a\frac{E_2}{E_1 - E_2},$$

$$I_m = h\,E_1.$$

За характером зміни величини струму та електричного потенціалу на поверхні ґрунту, обумовленого витіканням в ґрунт струму в місцях пошкодження ізоляції комунікації оцінюють технічний стан останньої та характер корозійних процесів, що у ній протікають [4].

1.2. Інформативні параметри розміщених над комунікаціями електромагнітних маркерів.

Для пошуку і швидкої локалізації функціонально важливих елементів чи відрізків комунікацій, а також для точної прив'язки вздовж осі даних внутрішньо-трубного обстеження чи обстежень з поверхні землі нафто- та газопроводів використовують електромагнітні маркерні системи, що складаються з розміщених в ґрунті над віссю комунікації електромагнітних маркерів у вигляді коливних LC - контурів та пошукових пристроїв для їх виявлення. Пошукові пристрої налаштовані на резонансну частоту маркерів. Після опромінення з поверхні ґрунту електромагнітними імпульсами маркер починає генерувати в паузах між збуджуючими імпульсами заникаючі коливання, які фіксуються приймальним перетворювачем і є інформацією про наявність в ґрунті певного маркера [5].
Інформативними параметрами випромінюваних маркерами коливань є:

- початкова амплітуда E_0;
- амплітуди заникаючих коливань E_i;
- сума амплітуд у відеоімпульсі

$$E_\Sigma = E_0 + \sum_{j=1}^{m} E_j;$$

- характеристики, що визначаються функціями інформативних елементів

$$f\left(E_0, E_1, \ldots, E_n\right) = {E_0}^2 + \sum_{j=1}^{n} {E_j}^2;$$

- енергетичні характеристики (енергія або потужність відеоімпульса) та ін.

Очевидно, що на зареєстровану приймальним перетворювачем послідовність відеоімпульсів накладаються теж шуми природного і промислового характеру, а також шуми підсилювального тракту індикаторного пристрою. Оскільки зареєстрований сигнал має стохастичний характер, його доцільно представляти дискретними випадковими процесами типу (1).

При вивченні структури сигналів маркерів виявлено, що найбільш завадостійким параметром є сума амплітуд E_Σ, що використано при побудові електромагнітної маркерної системи МС-3 [6].

1.3. Інформативні ознаки сигналів акустичної емісії.

Серед широкого спектру методів технічної діагностики зварних трубопроводів є метод акустичної емісії [7], який полягає у випромінюванні в процесі експлуатації трубопроводу пружних хвиль.

Стохастичність сигналів акустичної емісії обумовлена випадковістю появи та розміщення дефектів та наявність в трубопроводі та ґрунті акустичних шумів.

Інформативними елементами сигналу акустичної емісії можуть бути інтервали часу між моментами випромінювання, амплітуда, тривалість відеоімпульсу, його енергія, число коливань і ряд інших.

При представленні акустичного сигналу у вигляді сукупності послідовностей випадкових значень вказаних елементів, тобто процесами типу (1), алгоритм його обробки полягає в тому, що в першу чергу виділяють і формують вказані елементи, а потім здійснюють статистичну обробку сформованих послідовностей.

2. Оцінка інформативних параметрів стохастичних сигналів.

Оцінка інформативних параметрів описаних і подібних до них неперервних та імпульсних стохастичних сигналів, як правило, здійснюється за однією реалізацією, що при дослідженні комунікацій в русі вимагає виконання вимоги локальної стаціонарності дискретних випадкових процесів.

При виконанні умови локальної стаціонарності параметри сигналу оцінюються методами простого (лінійного) або вагового усереднення.

Вагове усереднення на основі рекурентного співвідношення, що описується в загальному випадку неоднорідним різницевим рівнянням першого порядку [8] одночасно забезпечує

необхідне у багатьох практичних випадках функціональне перетворення оцінок, наприклад піднесення до степеня, ділення, перемноження, логарифмування і т.п. Тому при побудові портативних електромагнітних пошуково-вимірювальних систем часто використовується вагове усереднення, зокрема воно використане в таких розробках Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України як прилад для пошуку підземних кабелів і трубопроводів та обстеження їх ізоляції ІМК-4 [6] та електромагнітна маркерна система МС-3.

3. Технічні характеристики електромагнітних пошуково-вимірювальних систем.

3.1. Прилад ІМК-4

Забезпечує визначення осі, глибини залягання підземних магістральних нафто-, газо- та продуктопроводів, кабелів зв'язку, електропередач, телекомунікацій, тощо та місць пошкодження їх ізоляції.

Принцип дії приладу заснований на вимірюванні випромінюваних комунікацією електромагнітних полів, а також електричних полів, зумовлених витіканням в ґрунт електричного струму з комунікації в місцях пошкодження її ізоляції.

Визначення координат комунікації в приладі здійснюється за різницевим сигналом двох розміщених на одній штанзі магнітоприймачів, що дає йому переваги перед вітчизняними та зарубіжними аналогами за завадостійкістю і точністю визначення осі і глибини при роботі в умовах значного рівня завад від електромережі та промислових об'єктів, а також при наявності поруч з обстежуваною інших комунікацій.

Місця пошкодження ізоляції комунікації визначаються шляхом реєстрації величини електричного потенціалу або градієнта потенціалу на поверхні ґрунту над віссю.

Прилад дозволяє знаходити підземні (підводні) комунікації на глибині до 10м з похибкою не більше ±5%. Передбачена можливість роботи на трьох частотах: 50; 100 і 222 Гц. Діапазон вимірювання постійного або змінного потенціалів від 10 до 2000 мВ.

Частота 222 Гц використовується в складних умовах, коли значна кількість комунікацій сконцентрована поруч або при відсутності в комунікації струмів з частотами 50 або 100 Гц.

В приладі є звукова індикація для пошуку осі і цифрова - для реєстрації глибини та градієнта постійного і змінного потенціалів на поверхні ґрунту.

Живлення приладу здійснюється від одного акумулятора типу 7Д-0,115-VI УН.

Струм живлення - 4,0 мА.

Для роботи на частоті 222 Гц прилад комплектується генератором змінного струму ГС-1 [9].

Основні технічні характеристики генератора:

- потужність не більше 100 ВА;
- частота вихідного сигналу - 100, 222, 300 і 1000 Гц;
- похибка установки частоти - не більше ±5%;
- нестабільність частоти - не більше 0,1%;
- діапазон зміни вихідної напруги - від 10 до 60 В з дискретність 10 В.

3.2. Маркерна система МС-3.

Призначена для пошуку трас силових, світловодових і телефонних кабелів, їх підземних з'єднань та консерваційних ділянок, розгалужень, приєднань, водопровідних, каналізаційних труб та нафто-, газо- і продуктопроводів, їх трас прокладки, ревізійних люків, переходів під вулицями міст, головних розгалужень, муфт, трійників і т.п.

Принцип дії системи ґрунтується на збудженні маркера імпульсним електромагнітним полем з наступною реєстрацією випромінюваних маркером згасаючих електромагнітних хвиль. Для пошуку осі комунікації маркерна система містить трасошукач, який реєструє горизонтальну складову магнітного поля комунікації. Ефективність і надійність в роботі цієї системи полягає в тім, що в індикаторному пристрої здійснюється подвійна фільтрація інформативного сигналу за допомогою послідовно з'єднаних вузькосмугового підсилювача змінної напруги і перетворювача усереднення за рахунок чого забезпечується суттєве придушення зовнішніх завад та шумів підсилювального тракту.

Технічні характеристики системи МС-3:

- глибина пошуку осі комунікації до 10 м;
- глибина виявлення маркера до 1,2 м при радіусі чутливості на земній поверхні відносно його осі не більше 0,5 м.

ВИСНОВКИ

В доповіді розглянуті вимірювальні сигнали, які випромінюються підземними (підводними) протяжними струмопровідними комунікаціями при протіканні в них змінних електричних струмів, сигналів-відгуків при їх обстеженні за допомогою імпульсних електромагнітних полів, а також сигналів випромінюваної ними акустичної емісії. Показано, що ці сигнали є стохастичними за рахунок адитивних завад природного та промислового характеру і їх доцільно представляти сукупностями дискретних випадкових процесів.

Стохастична модель сигналу дозволяє сформулювати критерії його ефективної обробки, які суттєво підвищують завадостійкість електромагнітних пошуково-вимірювальних систем.

Запропоновано використовувати для оцінки інформативних параметрів вимірювальних сигналів вагове усереднення, що описується неоднорідним різницевим рівнянням першого порядку, яке одночасно забезпечує необхідне функціональне перетворення оцінок.

Підтвердженням ефективності запропонованого підходу є широке практичне використання розроблених в ФМІ ім. Г.В. Карпенка на цій основі електромагнітних пошуково-вимірювальних приладів і систем типу ІМК-1÷ІМК-4 та МС-1÷МС-3.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шимони К. *Теоретическая техника*: Пер. с англ. / Под. ред. проф. К.П.Поливанова. - М.: Мир, 1964. - 773с.
2. Patent 2070783A (GB) INTCL G01R19/00. *Measuring current in a conductor* / M.I.Howell, A.Douglas, S.Charmers - Published 9 Sep. 1981.
3. Григорович К.К., Ягола Г.К. *Методы и средства оценки состояния изоляционных покрытий подземных газопроводов* // Сер. «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности». - М.: ВНИИОЭНГ, - 1979. - №9. - С.17-20.
4. Улич Г.Г., Реви Р.У. *Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ.* / Под. ред. А.М.Сухотина. - Л.: Химия, 1989. - Пер. изд., США, 1985. - 456с.
5. Драбич П.П., Зубик Й.Л., Кичма А.А., Стецько И.Г. *Электромагнитные маркеры и устройства для их обнаружения* // Метрология. - М.: Изд-во стандартов. -1998. - №8. - С.23-30.
6. Драбич П.П. *Електромагнітні вимірювальні прилади і системи для дослідження середовищ та пошуку і обстеження захованих об'єктів* / Сб. науч. тр. «Системы контроля окружающей среды» - Севастополь: МГИ НАН Украины, 1990. С. 37-41.
7. В.В.Шип, Г.Б.Муравин, В.Ф.Чабуркин. *Вопросы применения метода акустической эмиссии при диагностике сварных трубопроводов* // Дефектоскопия. - 1993. - №8. - С.17-19.
8. *Алгоритмы функционального преобразования и оценки параметров случайных сигналов* // Электронное моделирование. - Киев: Наукова думка. - 1990. - т.12, №4. - С.28-33
9. Патент 10884А (Україна). *Генератор для пошуку і обстеження підземних комунікацій* / П.П.Драбич - Опубл. 25.12. 1996, Бюл.№4.

NONDESTRUCTIVE MATURITY DETERMINATION OF DURIAN BY FORCE VIBRATION

*W. Kongrattanaprasert, S. Arunrungrusmi, B. Pungsiri, K. Chamnongthai and M. Okuda**

King Mongkut's University of Technology Thonburi
Tung-kru, Bangkok, Thailand 10140
Phone: +66-2-470-9064, Fax: +66-2-427-9636
Email: sanchai_k@hotmail.com

*Nippon Institute of Technology
Japan

ABSTRACT

This paper proposes a method for determining maturity levels of durian by using nondestructive vibration. The vibration is transferred directly through durian at a region between prickles that located at the middle of durian. The measurement of frequency responds from vibration of durian is done by using laser doppler. The signal is processed for finding voltages, frequency, time interval and velocity of vibration. These data relate to % dry weight and elastic constant. For the experimental results, the maturity of durian can be classified into two groups, immature durian and mature durian, related to threshold value of velocity of vibration at 500 cm/sec. and elastic constant at 300 $(dyne/cm^2)^{1/2}$ and it can be classified with 95% of accuracy.

1. INTRODUCTION

The durian is one of the high economical fruits that Thailand has exported for several years. To guarantee the qualification of them is an important process. There are many methods to determine their qualities, both destructive and non-destructive. The non-destructive approaches are preferred. Unfortunately, the autonomous quality control in non-destructive way is very difficult, since there are varied factors needed to consider, for example, the thickness of its peel, non-uniformity, roughness of its prickle skin, and so on.

In quality determination of fruits, Ketsa and Daengkanit [1] presented the relation between the maturity of durians and the internal chemical organization. This approach is a destructive method. [2] and [3], the authors presented quality measurement of fruits by considering their external characteristics such as color, size, and shape. Slaughter [4] utilized the near infrared to determine the chemical structure inside tomatos and peachs. However, the infrared is not appropriate for the pericarp fruits such as durians. Schatzki et. al [5] and Clark et.al[6] proposed the film x-ray analysis and MRI analysis, respectively. However, both methods need the expert system. For [7]-[10], these researchers used the ultrasonic for the maturity determination of avocado and watermelon. By using ultrasonic , the transducers need to touch the object not less than 96% of its region. Therefore this method is not applied for durian. [11]-[12] presented maturity determination of durian by knocking, and then took its signals to analyze for determination of frequency response. But the results showed low accuracy because of non-linearization of knocking.

Therefore, this paper presents the nondestructive maturity determination of durian by using the linear vibration for study in the relation of voltages, frequency response, and velocity of vibration between input and ouput vibration. Our proposed method uses transfer of vibration directly through durian at a region between prickles located at the middle of durian. Because middle region of durian have the least thickness of skin, and the space between prickles and the internal air cavity are very high. Laser doppler is used to measure output vibration, and then its signal is classified by determination of relation of % dry-weight. Peerapong [12] presented method for determining %dry-weight related to immature durian and mature durian at threshold value 30% dry-weight. By the pulp of durian 50 g. is fumed at 65°C for 48 hours, then % dry-weight can be obtained from:

$$\%dryweight = \frac{W_{behind}}{W_{before}} * 100 \qquad (1)$$

Where w_{behind} is weight behind fuming and W_{before} is weight before fuming

2. SYSTEM

The prototype system architecture for determination maturity of durian is shown in Fig. 1. After durian is carried by clamp and sets on the soft rubber of the prototype. First, the vibration set (1) which can vibrate with frequency 0-300 Hz is adjusted by setting the T-needle in perpendicular location between the prickles

© UkrObraz'2000

located at the middle of durian. Second, at the opposite side of first setting, the laser doppler set (2) is adjusted by setting the focus in coincident location between the prickles too. The focus is far from target 2.5 cm. The incident angle is equal to the reflect angle. After that the signals from this two sets are sent to amplifier (3) and (4), respectively. We can observe these signals on a monitor of oscilloscope (5) and process them by computer (6) for automatic classification of maturity of durian.

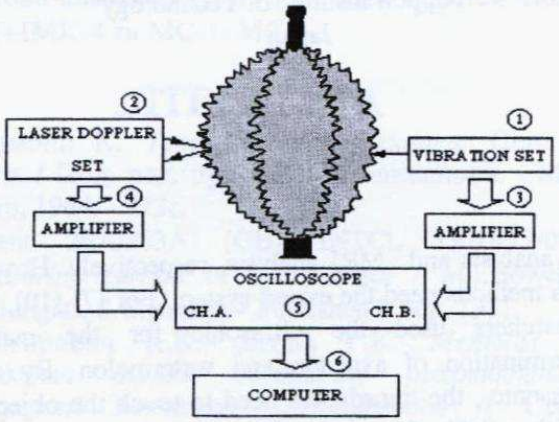


Fig. 1. System Architecture for maturity determination of durian

3. MATURITY DETERMINATION

3.1 Input and Output Vibration

The characteristic of mechanical vibration in medium with mass , elastic and viscostic components, H.L.Oestreicher in [13] show that 1) most parts of the energy radiated from the surface propagates as a transversal wave in the medium when the frequency of low –frequency vibration is less than about 1 kHz. and 2) the velocity of transversal wave in medium related to characteristic of medium are given by

$$V_t = \left(\frac{2(\mu_1^2 + \omega_b^2 \mu_2^2)}{\rho(\mu_1 + \sqrt{\mu_1^2 + \omega_b^2 \mu_2^2})} \right)^{1/2} \quad (2)$$

The frequency of input vibration selected at linear output signal and amplitude response is the highest. From the experiments at frequency 30 Hz. is the best. Because can to observed difference of amplitude and frequency of output vibration is the highest. shown in Figure 3. The ripe durian have velocity of vibration less than the young durian where V_t is velocity of vibration , ρ is the density of the medium , ω_b is the angular frequency of vibration ,and μ_1 and μ_2 are the coefficients of shear elasticity and shear viscosity , respectively.

Velocity of vibration related to frequency and wave propagation of vibration. So, property of shear elasticity can be found by velocity measurement of vibration and wave propagation at low frequency.

In (1) if the shear elasticity is dominant compared with the shear viscosity so that $\mu_1 >> \omega_b \mu_2$ is satisfied , the velocity is written as

$$V_t = (\mu_1 / \rho)^{1/2} \quad (3)$$

The amplitude and frequency of vibration determining have many methods such as ultrasonic and accelerometer. But laser doppler method can fix location of target to higher than accuracy and response of vibration. So, the laser doppler method is used in the vibration measuring of durian.

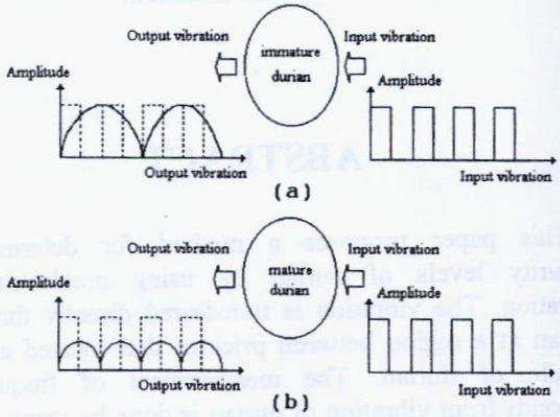


Fig. 2 Relationship between signal of input and output vibration in (a) immature durian (b) mature durian

For the durian with difference maturity , when transfer input vibration at linear amplitude and frequency. The signal of output vibration will have difference amplitude and frequency related to internal air cavity , mass and firmness follow to maturity level of durian. In Fig.2(a) the immature durian have amplitude and frequency of the signal output vibration higher than the mature durian, shown in Figure 2(b). Because the mature durian have more internal air cavity and elasticity than the immature durian , but have less density and firmness. So, the signal of output vibration have less amplitude and frequency than the immature durian.

3.2 Signal

The frequency of input vibration selected at linear output signal and highest amplitude response of the signal of the output vibration. From the result in Fig. 3. the error bar shows the deviation of the values measured at ten different points. We can see at the frequency 30 Hz. is the best. Because it can observe difference of highest velocity of vibration. The mature durian have less the velocity of vibration than the immature durian. And we can not observe the difference of the velocity of vibration when frequency have more than 45 Hz.

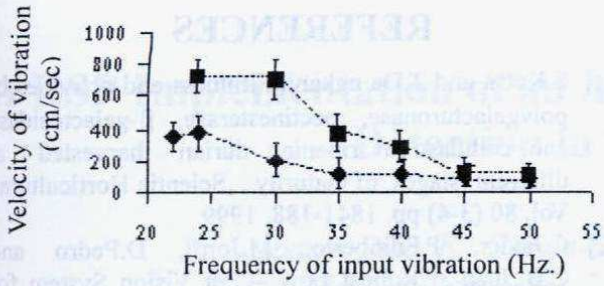


Fig. 3 Relationship between frequency of vibration and velocity of output vibration in
◆ mature durian , ■ immature durian

4. EXPERIMENTAL RESULTS

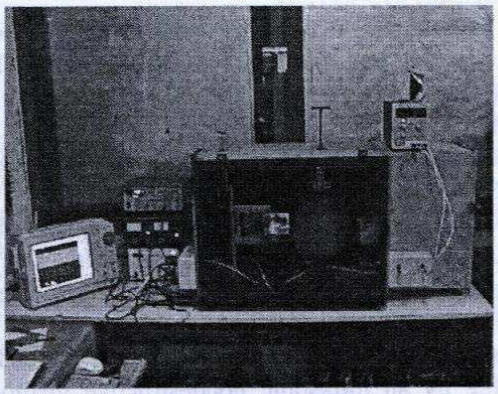


Fig. 4 The prototype system for determination maturity of durian by vibration

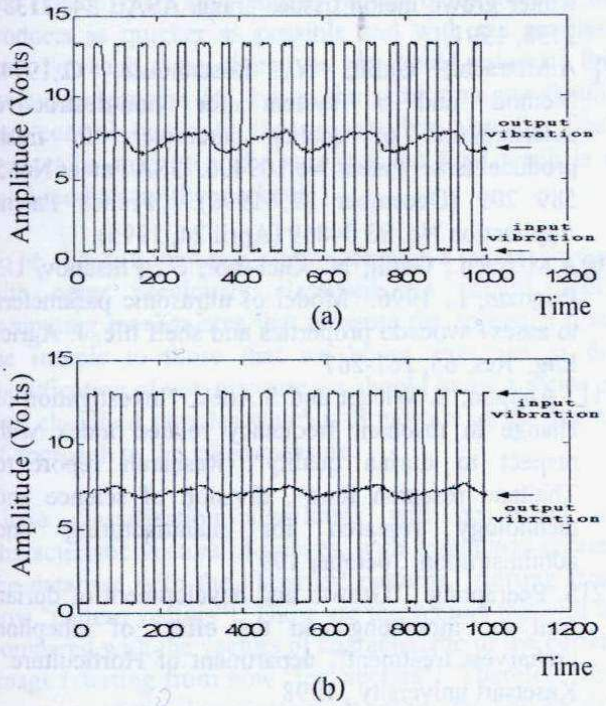


Fig. 5 Relationship between input and output vibration in (a) mature durian
(b) immature durian

The prototype system architecture for determination *maturity of durian by vibration is shown in Fig. 4. The* experimental results, 30 Hz input square wave and output sine wave, are shown in Fig. 5. We can observe that signals of output vibration in the different maturity of durian have different amplitudes, frequency, and velocity of vibration. Fig. 5(a) is signal of mature durian which has less amplitude and frequency than signal of immature durian in Fig. 5(b).

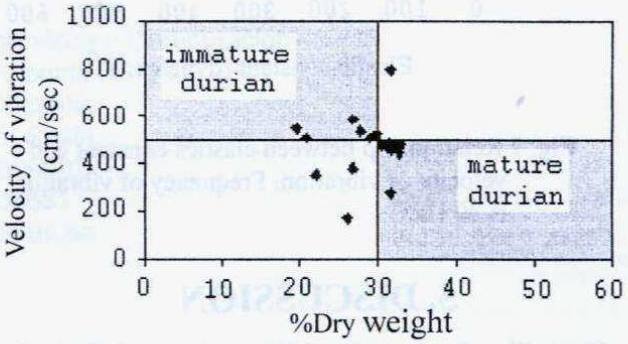


Fig. 6 Relationship between velocity of vibration and %dry weight in immature durian and mature durian

In experiment uses monthong durian 20 fruits, 3/2 shape, special class, weight 4-4.5 kg. The signal of output vibration is processed by computer program, when reference amplitude of signal of output vibration from the prototype is 4.6 V/cm. for determine amplitude, frequency, time interval , distance of vibration and velocity of vibration. Results of velocity of vibration are compared to %dry-weight for relation determination between velocity of vibration and % dry-weight shown in Fig. 6. This relation is compared to the maturity determination by using an Effegi firmness tester with a 5 mm. plunger tip which was inserted to a depth of 0.5 cm. and the force neccesary to do this recorded in newtons for threshold value determination of velocity of vibration. We can set threshold lines at velocity of vibration is 500 cm/sec and 30% dry-weight for results classification of the experiment is best three groups , immature durian and mature durian and error. And it can be classified with 80% of accuracy

Durian having different maturity will also have different characteristics of structure, hard or soft. Due to incresing of quantity of water depends on maturity of durian, so in (3) density and elastic constant of durian will be important signs to classify the maturity. From Fig. 7. the threshold line for classification of three results groups, as immature durian, mature durian, and two error groups, is obtained. The threshold line of elastic constant and velocity of vibration are 300 $(dyne/cm)^{1/2}$ and 500 cm/sec. Respectively. The efficiency of proposed classification method is 95%.

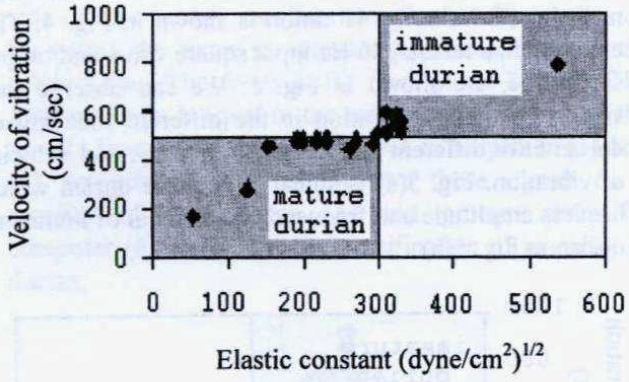


Fig. 7 Relationship between elastics constant and velocity of vibration. Frequency of vibration is 30 Hz.

5. DISCUSSION

From Fig. 6., the error 20% is occurred from the reason that the tip of durian has broken. This makes the experimental results are in a region of high %dry-weight and high velocity of vibration. Not only that, some durian having narrow region between prickles and uncomplete petals makes the results are in the region of high %dry-weight and low velocity of vibration.

To reduce this error, therefore, the experiment of durian having narrow region between prickles is done by cutting their prickles to make sufficient region for measurement process with laser doppler. And uncomplete petal durian will be vibrated at a region as near the middle of petal as we can. For the case of durian with broken tips, we must hold the below of tip of durian with the prototype strongly. The end of T-needle must touch tightly to a region between prickles located at the middle of petal, which has the largest region. The below of durian must touch to the rubber base at least but it must touch enough to control rotating of durian.

From Fig. 7., the error comes from external light sources which make the signals are error. The cover of the prototype is used to solve this problem. The receiver set must be set in the line of the vibration set.

6. CONCLUSIONS

Durian is one of the high economical fruits which requires nondestructive guarantee of their quality. This paper presented nondestructive maturity determination of durian by vibration at low frequency and measure output vibration by laser doppler. The signal of output vibration are taken for automatic maturity classification of relationship between velocity of vibration and elastic constant. And it can be classified into two groups, immature durian and mature durian, with 95% of accuracy rate.

REFERENCES

[1] S.Ketsa and T.Da ngkanit,Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase, β-galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stages of maturity . ,Scientia Horticulturae Vol. 80 (3-4) pp. 1841-188, 1999

[2] C.Javier, P.Filioberto, M.Jordi, D.Pedro and C.B..Juan , "Robust Low –Cost Vision System for Fruit Grading", IEEE conference on Electrotechnical, vol .3, pp. 1710–1713 , 1996

[3] Q.Yang, "apple stem and Calyx Identification with Machine Vision", J.agric. EngngRes, vol.63, pp.229-236, 1996

[4] D.C.Slaughter, D.Barrett, M.Boersig, 1996. Nondestructive determination of soluble solids in tomatoes using near-infrared spectroscopy. J. food Sci. 61, 695-697.

[5] T.F.Schatzki, R.P.Haff, R. young, I.Can, Le, L.c., x-ray imaging. Sensors for nondestructive Testing : Proceeding Sensors for Nondestructive Testing International Conference, Orlando, FL, 18-21 February 1997. NRAES (Northeast Reg Agric Eng Svc) Coop Extn, Ithaca, NY , pp. 161-171

[6] C.J.Clark, P.D.Hockings, D.C. Joyce, R.A.Mazucco, Application of magnetic resonance imaging to pre- and post-harvest studies of fruit and vegetables. Postharvest Biol. Technol. 11, 1-21, 1997

[7] A.Mizrach, U.Flitsanov, Predicting avocado shelf life by an ultrasonic nondestructive method. Acta Hortic., no. 421, 1996.

[8] A.Mizrach, N.Galili, G.Rosenhouse, D.C.Teitel, Acoustical, mechanical and quality parameters of winter grown melon tissue. Trans. ASAE 34, 2135-2138, 1991.

[9] A.Mizrach., Galili, N., Rosenhouse, G.,1994, Method and a system for non-destructive determination of quality parameters in fresh produce. Israel Patent No.109406. USA Patent No. 5 589 209 (December 31, 1996). French Patent Application No. 95 04869 (April 24, 1995).

[10] A.Mizrach., Galili, N., Gan-mor, S., Flitsanov, U., Prigozin, I., 1996. Model of ultrasonic parameters to assess avocado properties and shelf life. J. Agric. Eng. Res. 65, 261-267.

[11] T.Anupun, S. Wichet and S.Anek, "Investigation of change in resonant frequency related index with respect to durian quality", Research report to Thailand research fund , division of science and technology research for manufacturing and administration. , october 1997

[12] S. Peerapong , "Growth and development of durian fruit cv. monthong and the effect of ethephon preharvest treatment", department of Horticulture , Kasetsart university , 1998

[13] H.L. Oestreicher, "Field and impedance of an oscillating sphere in a viscoelastic meduim with an application to biophysics", J.Acoust .Soc. Am., vol .23, pp.707-714, June 1951 .

A DSP Implementation of an AOM and its Application to Defects Detection in Textile Material

Ibarra-Picó, F.; Garcia-Crespi, F.; Cuenca-Asensi, S.A.; Morales-Benavente, J.L.; Lorenzo-Quintanilla J.J.

Departamento de Tecnología Informática y Computación
Campus de San Vicente
Universidad de Alicante
E03080 - Alicante, Spain
Phone: +34-965909387
Fax: +34-965903681
Email: ibarra@dtic.ua.es

Abstract. This paper explains a method of defects detection in textile material using a DSP. This **Supervised Learning** method will allow the detection of defects in anyone of the phases of production. An algorithm of pattern classification based on minimum distance is used to carry out this method. Scalar distance in an **AOM network** is used to provide a measure of the angle which form the 2 compared vectors too. Finally, some experiments have been carried out.

1 INTRODUCTION

The objective of any industry is the fabrication of its products as quicker as possible and with the smallest cost. To reach these objectives we should automate the production process **[4]**, but at the same time we should also control not only the process but also the final product in order to make sure that the final result is a valid product for the market.**[1]**.

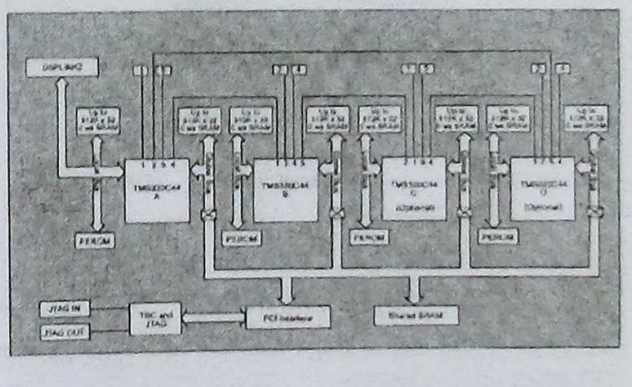
To be able to compare a sample taken in a certain instant with other previously classified we should apply computing mechanisms that measure the approach from the sample to those that we know. Previous to the classification of any measure we should know a series of well classified samples which will indicate us the degree of approach to the taken measure.

These classification algorithms will be based on characteristic vectors of images, with which was created the database with the classified patterns, (starting from now "pattern vectors"). These are the vectors that will be compared with the vectors of characteristic of the current image (starting from now "test vectors"). Therefore, and by means of the classification algorithm, we will be able to know to which pattern vector approaches more each test vector, and, consequently, if we know that the pattern vector contains defects, we could, in the same way, say that the test vector contains the same or similar defects.

2 DEVELOPMENT SYSTEM

To carrying out the experiments of defects detection in textile stuff based on AOM distance, we have worked with a card of digital signal processing (DSP). It is a Texas Instruments's card named PCI/C44S **[2]** with two processors C44 (that works at 50MHz) which works in parallel to carry out the high speed classification of the captured images **[5]**.

The diagram of blocks of the PCI/C44S card is the following one:



3 AOM CLASSIFIER

To compare what they look like each other two vectors whose values are normalised, this algorithm obtains a AOM distance among them, as the value of the scalar product of the vectors. That is to say, the degree of similarity among the vectors will come given by the angle that they form between them. The distance obtained is always a value between 0 and 1, since this value is the cosine of the angle that the two vectors form. As the values of the vectors has been previously

© UkrObraz'2000

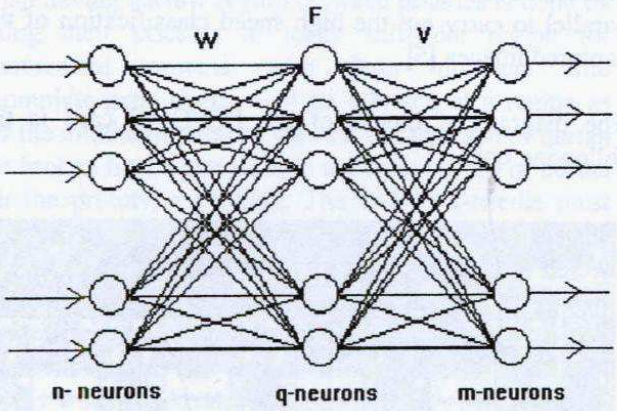
normalised, the modules of the vectors are rejected simplifying vastly the calculations to carry out.

Let a set of **q** patterns pairs $(\mathbf{a_i}, \mathbf{b_i})$ for $\mathbf{i=1, .., q}$ belonging to the vector spaces $\mathbf{R^n}$ and $\mathbf{R^m}$, where the patterns $\mathbf{a_i}$ are normalised in same way so $|\mathbf{a_i}| = \mathbf{k}$ where $\mathbf{k} \in \mathbf{R}$ and $\mathbf{i = 1..q}$. We will build two learning matrices in the following way:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \cdots & a_{q1} \\ a_{12} & a_{22} & \cdots & a_{q2} \\ & \cdots\cdots & & \\ a_{1n} & a_{2n} & \cdots & a_{qn} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{21} & \cdots & b_{q1} \\ b_{12} & b_{22} & \cdots & b_{q2} \\ & \cdots\cdots & & \\ b_{1m} & b_{2m} & \cdots & b_{qm} \end{bmatrix}$$

where **n** dimension patterns are the columns of matrix **A** while **m** dimension patterns are the columns of matrix **B**.

The memory is built as a neural network (see figure below) with two synaptic matrices (containing hebbian correlations) **W** and **V**, which are computed $\mathbf{W = AQ^t}$ and $\mathbf{V = QB^t}$. Where **Q** is an intermediate orthogonal matrix (Walsh, Householder, and so on) of dimensions **qxq**. The $\mathbf{q_i}$ vectors of matrix **Q** are an orthogonal base of the vector space $\mathbf{R^q}$.



If **Q** is a Householder matrix (built as $\mathbf{Q = I - 2uu^t}$ where $\mathbf{u^t = [2/q\ 2/q\ ...\ 2/q]}$) then the intermediate filter (**F**) in the hidden layer is

$$F(x_i) = \begin{cases} 1 - 2 / q & x_i \geq 0 \\ -2 / q & x_i < 0 \end{cases}$$

where only the winner neurone $\mathbf{x_i}$ which is associated to the $\mathbf{a_i}$ pattern rises to **1 - 2/q**.

As a result, the neural network has an entrance level with **n** neurones, a hidden level with **q** neurones and an exit level with **m** neurones. Each processing element of a layer is connected with all the processing elements of the following layer. The AOM network can expand by backtracking with $\mathbf{W^t}$ and $\mathbf{V^t}$, what allows its bi-directional use.

4 EXPERIMENTS

Considering the appropriate experiments to carry out in order to measure the power of the programs and the card with which it works, it will be formed 3 series of experiments, two of which will be commented later on.

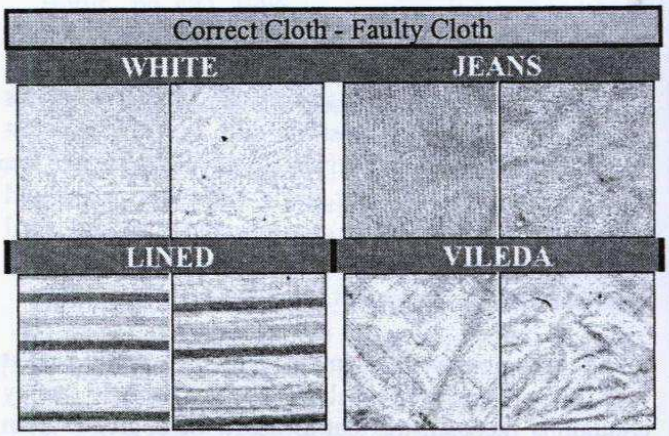
With regard to the AOM classifier, and in order to reduce not only the necessary operations but also the processing time, we have eliminated the hidden layer of the AOM network so that the calculation of the AOM distance is reduced to:

$$V_A = (a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n) \qquad \text{AOM distance} = \sum a_i \cdot b_i$$
$$V_B = (b_1, b_2, b_3, \ldots, b_n) \qquad \forall i \in 1,2,\ldots n$$

To finish, we are going to show the parameters that have been used in the AOM classifier:

Parameters of AOM classifier	
Number of patterns	4 x 10
Distance method	Scalar Product
Filter f1	Scalar Product
Filter f2	Normalisation

4.1 Preparation Of Experiments



For the experiments carried out in this project, a battery of 40 images it has been created by scanning 4 different types of cloths (white cloth, jeans cloth, lined cloth, and "vileda" cloth). All the images have a size of 512x512 pixels, 256 grey levels and a 100 dpi resolution.

When creating the series of experiments, and because the group of samples is reduced (10 images for each cloth), we have considered the method **Leaving One Out**

This method consists on the use of a sample as test, and the other ones as training repeating the experiments, leaving every time a different sample, that's why its name.

The error rate will be the proportion between the number of fault experiments and the number of total experiments.

Image size	n x n
Window size	m x m
Number of Images	K
Number of Classifications x Image	$(n/m)^2$

$$T_c = \frac{\sum_{i}^{k} \frac{n^o\ errors}{(n/m)^2}}{k}$$

4.2 Series Of Experiments

Next, the results of each one of the carried out series of experiments are shown. For all the carried out series, we have measured the time of execution and the error rate.

4.2.1 Series 1

In the first series, it has been carried out experiments on the four different types of cloths and applied the following parameters for the MC calculation:

Windows size:	64 x 64					
Planes:	5					
Limits:	-1	32	64	96	128	255
Pieces:		2x2	3x3	4x4		

The previous parameters have been chosen to comparing them with the results of the following series that it will have less number of piece sizes. The obtained error rate has been:

	Cloth Type			
Image	Jeans	White	Lined	Vileda
0	0	0	1	0
1	4	1	9	0
2	6	0	8	0
3	6	0	6	0
4	3	0	16	0
5	7	1	12	1
6	2	0	20	1
7	0	0	14	2
8	1	0	19	1
9	0	3	16	2
Total Errors	29	5	121	7
Error Rate	4.53%	0.78%	18.91%	1.09%
Execution Time	4.801s	4.833s	4.725s	4.831s

We have obtained disparate results depending on the cloth type we are analysing, having the highest error rate for the most complex cloth type, that is to say, the lined cloth.

As far as the execution times is concerned, they are practically equal because they won't depend on the complexity of the cloth to analyse but on the MC parameters that will be considered.

4.2.2 Series 2

For the second series, we have changed the MC parameters with regard to the first series and we have considered different piece sizes to process for each image, since we wanted to observe the influence that this change would suppose in the error rate as well as in the execution times.

Windows size:	64 x 64					
Planes:	5					
Limits:	-1	32	64	96	128	255
Pieces:		2x2				

We have only considered a 2x2 piece size for each window of each image and we have obtained the following results:

	Cloth Type			
Image	Jeans	White	Lined	Vileda
0	0	0	0	0
1	2	1	10	0
2	3	0	17	0
3	6	0	9	0
4	4	0	17	0
5	5	0	17	0
6	2	0	15	1
7	0	0	19	2
8	1	0	19	1
9	1	3	17	3
Total Errors	24	4	140	7
Error Rate	3.75%	0.63%	21.88%	1.09%
Execution Time	2.859s	2.850s	2.826s	2.853s

If we compare the error rate of this series with those of the first series, we can see that the results are pretty equal. The only difference is that these results have increased because we have lost certain information in the MC calculation.

Now, we are going to study the behaviour of the execution times of the programs with these parameters. As we can observe the times have decreased notably due to the decrease of the complexity in the MC calculation.

4.2.3 Series 3

For the series 3 we have wanted to verify the importance that suppose either the number of planes and the limits selection. These limits have been selected in a homogeneous way, that is to say all the planes have the same size (they embrace the same number of grey tones). It has been decreased the number of planes with regard to the previous series from 5 to 4 planes.

Windows size:	64 x 64					
Planes:	4					
Limits:	-1	64	128	192	255	
Pieces:		2x2	3x3	4x4		

The error rate and the execution times obtained are the following:

Cloth Type				
Image	Jeans	White	Lined	Vileda
0	0	0	0	0
1	9	10	11	14
2	9	3	19	11
3	9	9	9	9
4	12	8	18	12
5	23	1	22	11
6	15	2	20	13
7	14	1	26	12
8	15	3	25	13
9	21	2	18	15
Total Errors	127	39	168	110
Error Rate	19.84%	6.09%	26.25%	17.19%
Execution Time	3.557s	4.408s	4.108s	4.218s

When decreasing the number of planes to analyse, the error rate has suffered a notable increment in all the analysed types of cloths. Therefore the number of planes and the disposition of the same ones supposes one of the main factors to reach acceptable results.

The times of execution have also suffered a slight variation, decreasing in relation to the first series because the number of planes is lower. However, as we can see, the results follow the same rules that the previous series.

4.3 Final Results

To summarize, we will expose the results obtained in the three exposed series of experiments.

To obtain the answer time necessary to evaluate a window, we have to divide the total execution time of the complete image by the number of processed windows. In our case, the number of windows is always the same and it is equal to 64 (an 512 x 512 image can be divided in 64 windows of 64 x 64).

	Success Rate	Total Execution Time	Answer Time
Series 1	93.67%	4.797 s	0.075 s
Series 2	93.16%	2.847 s	0.044 s
Series 3	82.66%	4.072 s	0.064 s

5 CONCLUSIONS

Once commented the experiments, we can extract some conclusions that guide us in later tests. In general, in anyone of the cases we can appreciate that the method doesn't require an excessive processing time; producing rates of success around 94%. These results are quite encouraging if we keep in mind that it has been analysed some complex cloth types (such as lined cloth).

To finish, and since the results obtained both in error rate and in execution times have been quite good, the application of this method can be very advantageous, moreover knowing that the development environment used is relatively simple.

6 REFERENCES

[1] Badía Jiménez, Albert (1998) "*Calidad: Enfoque ISO 9000 Normalización, homologación, certificación, acreditación, aseguramiento (ISO 9000) y auditoria*" Ediciones DEUSTO.

[2] LSI plc – "*PCI/C44S Board User's Manual*"

[3] LSI plc – "*NETAPI C4x – User's Manual*"

[4] Bodson, Marc (November 1994). "*Emerging Technologies in Control Engineering*" IEEE Control Systems, p. 10-12.

[5] Neubauer, C. (1992). "*Segmentation of defects in textile fabric*", Proc. IEEE, p. 688-691.

[6] Pal N.R. and Pal S.K. (1993). "*A review on image segmentation techniques*", Pattern Recognition, Vol. 26, No.9, p. 1277-1294.

[7] Ibarra-Picó, F. and García-Chamizo, J.M. (1993) "*Bi-directional Associative Orthonormalized Memories*". Actas AEPIA, vol 1, p 20-30.

[8] Ibarra-Picó, F., García-Chamizo, J.M. and Satorre-Cuerda, Rosana (1995) "*An Orthogonal Neural Network with Guaranted Recall by Iterative Filters and its Application to Texture Discrimination*". Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms, p 186-189.

ДО ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТОВСТОЛИСТОВИХ ВИРОБІВ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОМОГРАФІЇ

В.В.Кошовий, Є.В.Кривін, В.П.Курій, О.Є.Левицький, І.М.Романишин,
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України
79601, м. Львів, МСП, вул. Наукова, 5
тел: (0322) 637-218, електронна пошта: Koshovy@ah.ipm.Lviv.ua

Розглядається принцип і метод ультразвукової реконструктивної томографії для відновлення просторового розподілу фізико-механічних характеристик матеріалу (ПР ФМХ) в товстолистових виробах при односторонньому їх прозвучуванні дзеркально-тіньовим методом стосовно задачі технічної діагностики якості зварного з'єднання та матеріалу в його околі.

ВСТУП

Підвищення рівня технічної діагностики (ТД) вимагає не тільки визначення дефектності виробу, але і оцінки переддефектного стану. Для оцінки переддефектного стану виробу необхідна інформація про просторовий розподіл (ПР) фізико-механічних характеристик (ФМХ) і параметрів напружено-деформованого стану (НДС). Один з ефективних методів експериментального визначення ПР ФМХ і параметрів НДС полягає в застосуванні ультразвукової томографії [1].

Аналіз стану неруйнівного контролю (НК) і ТД виробів дозволив зупинитись на необхідності контролю товстолистових виробів при односторонньому доступі, які на даний час є найбільш актуальними в багатьох галузях науки і техніки. Приведені дальше результати теоретичних досліджень, чисельного моделювання та експериментальних досліджень свідчать про те, що найбільш підходящими об'єктами для НК запропонованими томографічними методами є зварні з'єднання, які мають достатньо високочастотний характер розподілу ФМХ матеріалу в площині виробу (XOY). Задача експериментального визначення ПР ФМХ матеріалу та параметрів НДС у виробах із зварними з'єднаннями на даний час далека від задовільного рішення і є актуальною, особливо враховуючи суттєвий неоднорідний розподіл параметрів ФМХ у зварному з'єднанні.

В роботі задача експериментального визначення ПР ФМХ матеріалу розв'зується шляхом побудови томографічних зображень ПР акустичних характеристик - швидкостей поширення та загасаня різних типів УЗ хвиль (повздовжніх, поперечних, поверхневих) та обчислення на основі цього ФМХ матеріалу (пружних, міцністних, структурних, технологічних, а також параметрів НДС). ПР акустичних характеристик матеріалу в переддефектному стані є слабоконтрастним, тому можна обмежитись наближенням геометричної акустики при визначенні шляху поширення сигналу.

Особливості УЗ контролю, пов'язані з труднощами забезпечення акустичного контакту, не дозволяють використати ефективні алгоритми томографічного відновлення, розроблені в рентгенівській томографії. Для забезпечення високої продуктивності контролю та універсальності щодо форми контрольованого виробу розроблені принципи побудови томографічних методів і систем в ультразвуковому НК, які полягають в наступному:

- збір проекційних даних проводиться променевими проекціями;
- томографічне відтворення проводиться методом оберненого проектування і побудови сумарного зображення (СЗ), яке будується в процесі збору даних і служить пошуковим для швидкого визначення аномальних областей, що будуть підлягати більш детальному дослідженні на наступних етапах;
- побудова шуканого ПР здійснюється шляхом прямого і оберненого проектування СЗ та фільтрації проекцій СЗ.

Одним з методів ультразвукового контролю листових виробів при односторонньому доступі є дзеркально-тіньовий метод (ДТМ). Для дзеркально-тіньового методу характерна обмеженість ракурсу збору даних. В літературі раніше не розглядались можливості ДТМ в задачах томографічного відновлення. В даній роботі такий розгляд приведений.

1.ТЕОРЕТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ.

Ефективність роботи томографічної системи та алгоритмів відновлення визначаються схемою збору даних.

При односторонньому доступі збір проекційних даних (прозвучування) в кожній точці скануючої поверхні листового виробу можна здійснювати за

© UkrObraz'2000

різними схемами: із зміною напрямів зондування по азимутальному куту (φ) та ракурсу (θ), а також при їх комбінації. Подальший теоретичний аналіз, чисельне моделювання та експериментальна апробація підтвердили оптимальність одноракурсної схеми збору даних в конусі.

На основі проекційної теореми проведено аналіз можливостей одноракурсної схеми збору даних в конусі. Отримано, що при такому зборі даних відсутні просторові спектральні складові, що належать конусу з просторовим кутом при вершині $\pi/2-\theta$.

З проекційної теореми слідує, що найбільше інформації міститься при найбільшому ракурсі збору даних. Отже, можна обмежитися одним ракурсом збору даних. Після вибору схеми збору даних головною задачею стає отримання співвідношення між шуканим ПР та відновлюваним згідно вибраної схеми збору дпних.

Сумарне зображення, яке в загальному вигляді записується як

$$b(\vec{r}) = \hat{K}_3^{\theta_0}\{g(\vec{r})\} = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{(2\pi)} g(\vec{r}+\vec{m}k)\delta(\vec{m}\cdot\vec{n}_{\theta_0})d\Omega dk,$$

можна представити у вигляді:

$$b(x,y,z) = g(x,y,z)***\frac{\delta(z\sin\theta_0-\cos\theta_0\sqrt{x^2+y^2})}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}},. \quad (1)$$

де $K_3^{\theta_0}$ - оператор оберненого проектування,

$\vec{n}_{\theta_0} = (-\cos\varphi\cos\theta_0,\ -\sin\varphi\cos\theta_0,\ \sin\theta_0)^T$,

$g(\vec{r})$ - ПР неоднорідності.

Отримати формули інверсії можна досить легко, якщо перейти в спектральну область. Згідно співвідношення (1) отримуємо:

$$B(u,v,w) = G(u,v,w)x\begin{cases}\dfrac{4\pi}{\sqrt{u^2+v^2-w^2tg^2\gamma_0}}, & |wtg\gamma_0| < \sqrt{u^2+v^2},\\ 0, & |wtg\gamma_0| \ge \sqrt{u^2+v^2}\end{cases} \quad (2)$$

Із (2) випливає, що можна відновити тільки функцію G^*, яка із спотвореннями відображає шукану функцію:

$$G^*(u,v,w) = \begin{cases}G(u,v,w), & |wtg\gamma_0| < \sqrt{u^2+v^2},\\ 0, & |wtg\gamma_0| \ge \sqrt{u^2+v^2}\end{cases}.$$

Звідси можна отримати:

$$g^*(x,y,z) = \frac{1}{4\pi}\Im_3^{-1}\left\{\Im_3\{b(x,y,z)\}\sqrt{u^2+v^2-w^2ctg^2\theta_0}\right\}. \quad (3)$$

Як видно із отриманого співвідношення (3), для відновлення шуканого зображення розподілу необхідно використовувати операції тримірного перетворення Фур'є, що є досить трудоємкою процедурою для прикладної реалізації. Тому був розроблений більш ефективний алгоритм відновлення шуканого розподілу на основі СЗ.

Більш ефективним є застосування алгоритму відновлення ПР на основі операцій оберненого проектування проекцій СЗ:

$$g^*(\vec{r}) = -\frac{1}{(4\pi)^2}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}-ctg^2\theta_0\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)\hat{K}_3^{\theta_0}\{b(\vec{r})\}$$

Приведений вище алгоритм вимагає наступних обчислювальних процедур:

1. проектування СЗ у вигляді паралельних проекцій;
2. фільтрація отриманих проекцій шляхом подвійного диференціювання;
3. обернене проектування по фільтрованим проекціям.

2.ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

З метою вибору оптимального ракурсу прозвучення та дослідження можливостей розроблюваної системи томографічного відновлення проводилося чисельне моделювання. Досліджувався вплив на якість відновлюваного зображення величини кута ракурсу, неповноти спектрального складу та збільшення числа ракурсів прозвучування.

Чисельне моделювання підтвердило можливість обмеження проозвучування одним ракурсом. В результаті чисельного моделювання отримано, що для якісного відновлення ПР ФМХ матеріалу по товщині виробу необхідно мати достатньо високочастотний розподіл ФМХ матеріалу в площині виробу, що характерно для виробів із зварним з'єднанням. Чисельні експерименти показали, що при відновленні ФМХ матеріалу у зварних з'єднаннях можна обмежитися ракурсом прозвучування, рівним 60^0.

3.РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ АПРОБАЦІЇ.

На рис.1 приведена блок-схема УЗ томографічної системи UST-2000 збору іобробки даних.

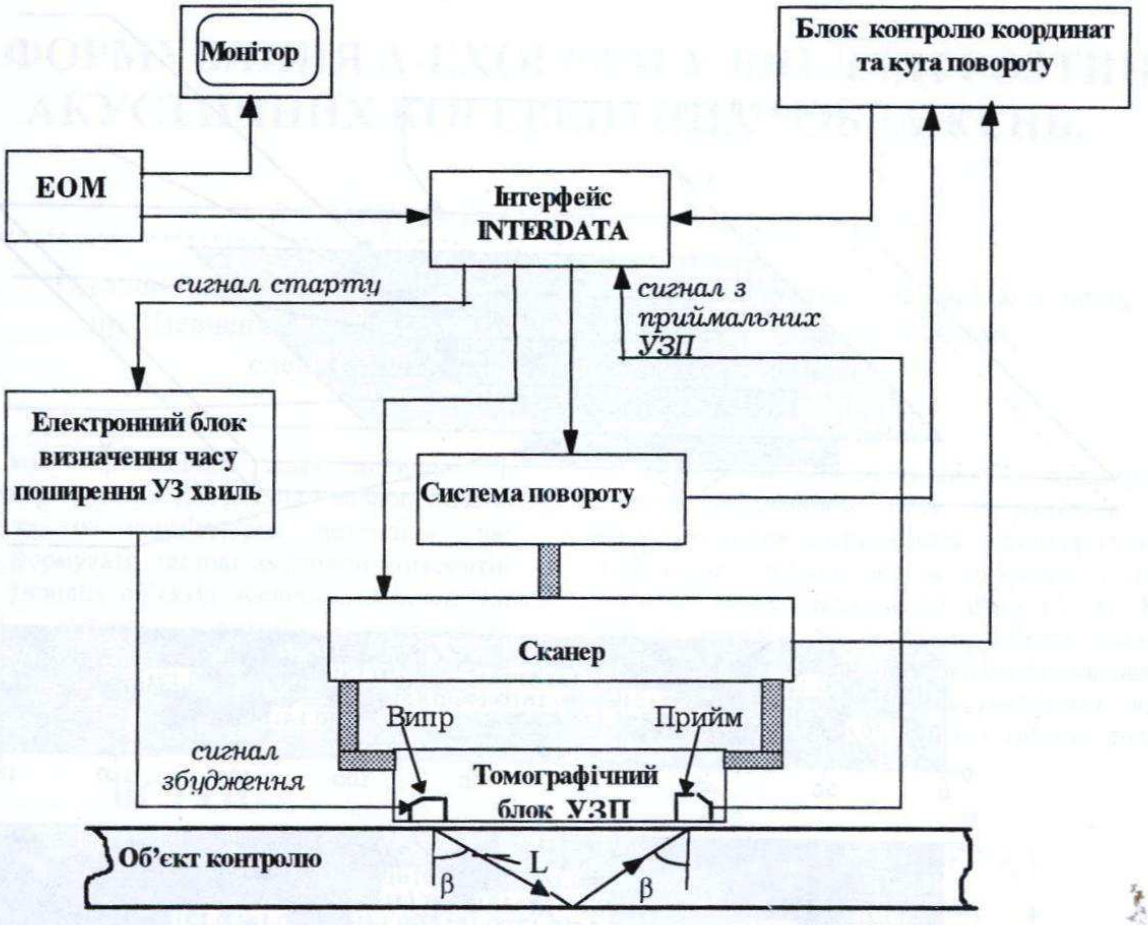


Рис.1. Структурна схема томографічної системи UST-2000

Томографічна система включає в себе наступні основні блоки: ЕОМ з монітором , інтерфейс обміну даних та сигналів, електронний блок визначення часу поширення УЗ хвиль в об'єкті контролю, багатоканальний томографічний блок УЗ перетворювачів (УЗП), скануючий пристрій 3D-SCAN, що забеспечує сканування по поверхні об'єкту прозвучування томографічним блоком УЗП і поворот останнього на заданий кут, оптоелектронний блок контролю координат геметричного центру і кута повороту томографічного блоку УЗП в полі контролю.

На рис.2б, як іллюстрація томографічного відновлення ПР ФМХ згідно розроблених алгоритмів відновлення, представлено томографічне зображення ПР розміру зерен D (мм) вздовж шва зварного з'єднання в п'яти характерних вертикальних січеннях згідно рис.2а. Отримані зображення свідчать про високі можливості розробленої томографічної системи.

Розроблені у ФМІ НАН України томографічна система UST-2000 та прикладний пакет програм томографічної реконструкції дозволяє визначити неруйнівним методом просторовий розподіл пружних (модулі пружності), міцністних, технологічних, структурних характеристик матеріалу та параметрів неоднорідного напружено-деформованого стану (тензор напружень та його інваріанти).

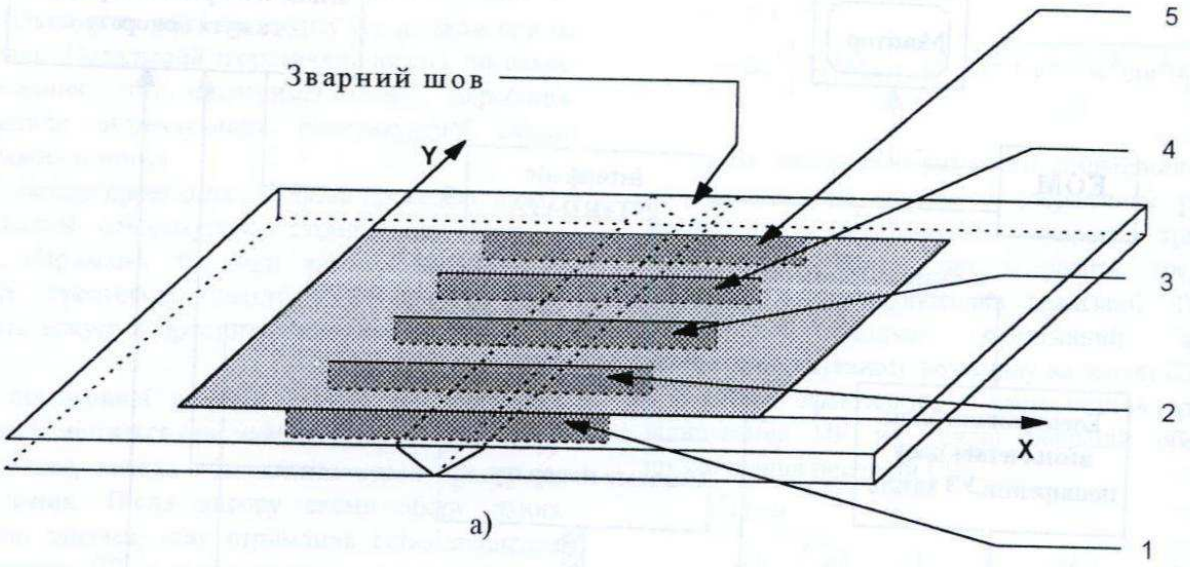
Розробка проводилась в рамках проекту УНТЦ #612/

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОМОГРАФІЧНОЇ СИСТЕМИ:

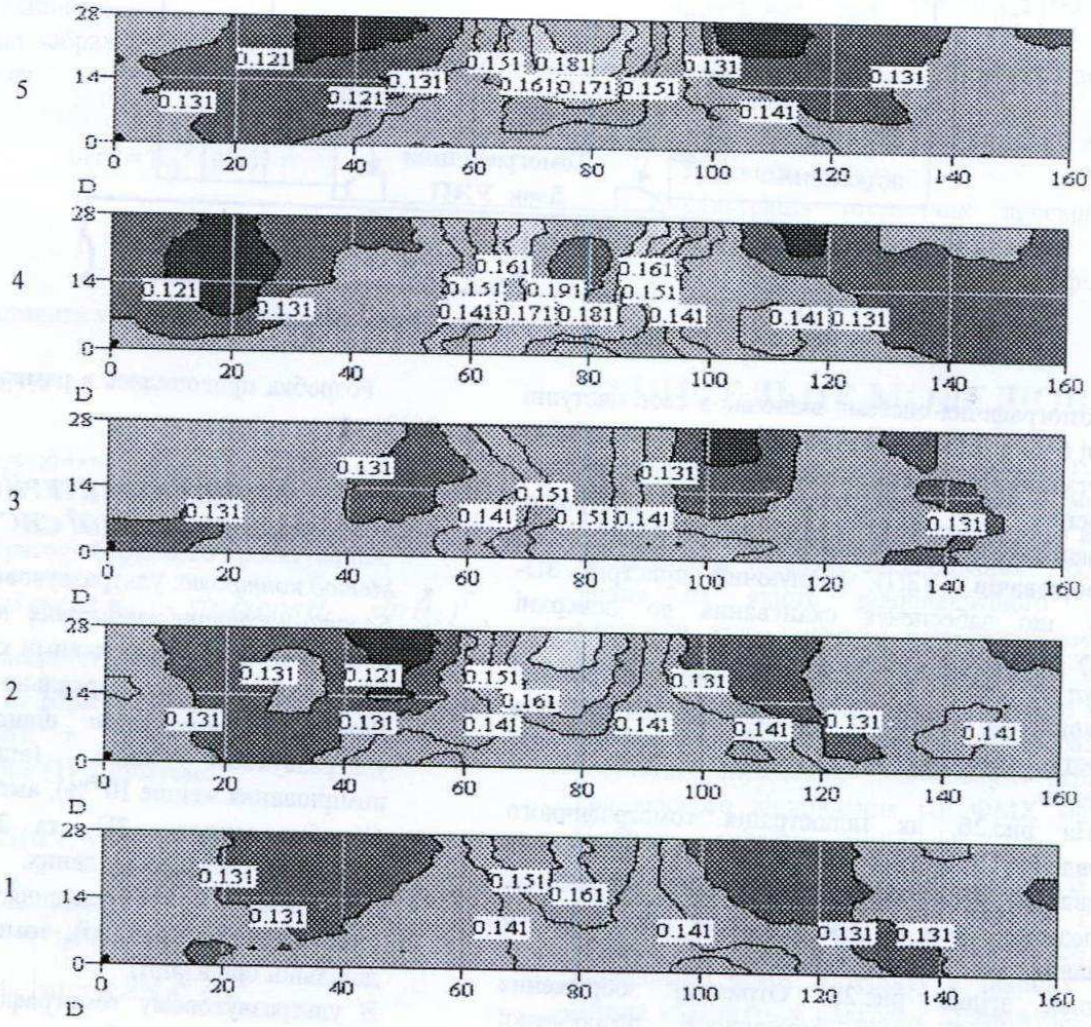
- *Метод контролю*: ультразвуковий.
- *Багато-частотне зондування:* повздовжніми, поперечними та поверхневими хвилями.
- *Метод збору даних:* дзеркально-тіньовий.
- *Вимірювані параметри:* швидкість поширення ультразвукової хвилі (відносна похибка вимірювання менше 10^{-4}%), амплітуда.
- *Обробка сигналу:* 2D- та 3D- томографічна променева схема збору даних.
- *Відновлювані зображення:* ортографічне (усереднене по товщині); томографічне (січення довільної орієнтації).

В ультразвуковому томографі використовується універсальна система збору даних, яка забезпечує швидку переналадку на контроль виробів різноманітної форми.

Можливі області застосування: фундаментальні дослідження матеріалів, атомна енергетика, ракетно-космічна і авіаційна техніка, суднобудівництво, обладнання хімічного, нафтохімічного та газового виробництва, контроль адгезійної міцності покрить неруйнівними методами.



а)



б)

Рис.2. Відновлене томографічне зображення ПР розмірної структури зерен в різних січеннях вздовж зварного шва у виробі листової форми (крок січень 60мм)

ЛІТЕРАТУРА

1. Кошевой В.В., Кривин Е.В., Романишин И.Н Томографія листовых изделий // *Дефектоскопия.-1998, №9.*-С.-20-27.

ФОРМУВАННЯ А-ЕХОГРАМ У ВИГЛЯДІ РОЗТИНУ АКУСТИЧНИХ КОГЕРЕНТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ.

В.Ф. Миргород, С.М. Ковешніков, А.Г. Кисель

Одеський державний політехнічний університет, Україна, 65044, м. Одеса,
пр. Шевченка, 1; тел.: +380 482 250-104, факс: +380 482 343-848;
електронна пошта: acrobat@ospu.odessa.ua

Для кола прикладних задач медичної та технічної ультразвукової діагностики запропоновано алгоритми та їх комп'ютерна реалізація, що дозволяють формувати тестові акустичні когерентні зображення типових об'єктів дослідження у вигляді А-ехограмм: кутового розтину акустичного зображення. Виконано комп'ютерне моделювання таких ехограм в порівнянні з експериментально одержаними.

ВСТУП

Ультразвукова медична та технічна діагностика є визнаним методом виявлення аномальних об'єктів у досліджуваному середовищі. Прогрес у розвитку технічних засобів ультразвукової діагностики дозволяє одержувати високоякісні акустичні зображення об'єктів у вигляді кутових розтинів (А-ехограм), або у двомірному вигляді [1]. Подальша їх класифікація становить певну проблему у зв'язку з невідповідністю акустичних когерентних зображень об'єктів дослідження їх оптичним аналогам [2]. Така невідповідність зумовлена когерентним характером зондуючих коливань та специфікою їх розсіювання на поверхні об'єктів складної форми. Саме тому акустичні когерентні зображення об'єктів дослідження досить часто мають мало загального з їх відповідними оптичними зображеннями. Для розробки автоматичних класифікаторів та оцінки їх ефективності необхідно мати можливість формувати навчаючі тестові послідовності, наприклад у вигляді А-ехограм, що вірогідно відтворюють особливості створення вторинного когерентного акустичного поля поверхнею об'єкта класифікації. Такі ехограми пропонується формувати у вигляді кутових розтинів відповідних акустичних когерентних зображень як результат просторово-часової звіртки зондуючого поля $S(t,\vec{r})$ та функції розсіювання (ФР) об'єкта класифікації $h(t,\vec{r})$.

1. МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ А-ЕХОГРАМ

Когерентний характер зондуючих коливань зумовлює локальний характер процесів розсіювання акустичних хвиль на поверхні об'єкта, тому основна енергія вторинного поля формується деякою кількістю точок дзеркального відбиття (так званих "блискучих" точок), що в дійсності є охрестям Френеля точок стаціонарної фази [2, 3]. В таких точках нормаль до поверхні об'єкта співпадає з напрямком на точку прийому відбитого сигналу. Тому для когерентних зображень найбільш вигідною моделлю функції розсіювання є модель дискретних розсіювачів [1].

$$h(\vec{r}) = \sum_{n=1}^{N} a_n \delta(\vec{r} - \vec{r}_n), \qquad (1)$$

де N – кількість розсіювачів;

a_n – амплітудний коефіцієнт відбиття кожного розсіювача;

$\delta(\cdot)$ – функція Дірака;

$\vec{r}_n$ – радіус-вектор, що з'єднує точку прийому з відповідною точкою стаціонарної фази (ТСФ).

Найбільш суттєвою відмінністю когерентних зображень є значний вплив на їх формування та вигляд явища інтерференції парціальних компонент в (1), характер якої залежить від фазових співвідношень вказаних компонент. Для урахування цієї залежності в [3] запропонована модель функції розсіювання когерентних зображень у вигляді:

$$h(\tau,q) = \sum_{n=1}^{N(q)} a_n(q)\exp[j\varphi_n(q)]\delta(\tau - \tau_n(q)), \qquad (2)$$

де q – кут зору;

$a_n(q)$ – нормований амплітудний розподіл ФР;

$\varphi_n(q)$ – відносний фазовий розподіл ФР;

$\tau_n = |\vec{r}_n| / c$ – відносна затримка;

c – швидкість розповсюдження коливань у середовищі.

Дислокація ТСФ зв'язана функціональною залежністю з формою поверхні об'єкта, але оскільки ця залежність невідома, одержання фазового розподілу $\varphi_n(q)$ є досить складною проблемою. Для

© UkrObraz'2000

об'єктів з акустично-жорсткою поверхнею запропонована експериментально розрахункова методика реконструкції відносного фазового розподілу за даними експериментальних вимірювань ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) об'єкта в цілому та окремо "блискучих" точок. Для об'єктів вказаного класу ФР з урахуванням фазового розподілу вичерпно характеризує вторинне акустичне поле і може змінюватися лише із зміною типу об'єкта. Тому для відомих типових об'єктів може бути сформована бібліотека їх акустичних ФР (сигнатур), яка не потребує значних об'ємів пам'яті. Дійсно, для кожного кута зору ФР формується з N значень амплітуди, відносної затримки та фази кожної з $3N$ ТСФ. За даними експериментальних досліджень та літературних джерел [4] число N не є значним: $N = 3 \ldots 8$, оскільки при досить значних N вторинне поле втрачає просторову когерентність і модель (1) переходить в модель Делано. Комп'ютерна генерація тестової навчальної А-ехограми по відомій ФР типового об'єкта виконується згідно співвідношенню

$$y_A(t,q) = S[t,\vec{r}(q)] * h[t,\vec{r}(q)], \qquad (3)$$

Відповідно (3) сформована А-ехограма є кутовим розтином для певного заданого кута зору q акустичного когерентного зображення об'єкта дослідження.

2. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Комп'ютерне моделювання акустичних когерентних зображень виконано у середовищі "MatLab 6.0". Для експериментальних досліджень використано спеціалізований вимірювальний комплекс.

На рис.1 зображена А-ехограма тестового об'єкта, одержана з високим просторо-часовим розподілом на частоті зондування 2 МГц з довжиною хвилі λ =0,75 мм. По цій реалізації реконструйовано елементи функції розсіювання.

Для підвищення вірогідності експериментальних вимірювань поряд з об'єктом додатково розміщувались калібрований приймач зондуючого сигналу та еталонна металева сфера діаметром 30 мм. За допомогою каліброваного приймача фіксувалась дійсна форма падаючого на поверхню об'єкта зондуючого поля, що дозволило врахувати його зміну середовищем розповсюдження.

При розповсюдженні прямокутного зондуючого імпульса у реальному середовищі його фронти набувають гаусівської форми, що враховано при компьютерному моделюванні.

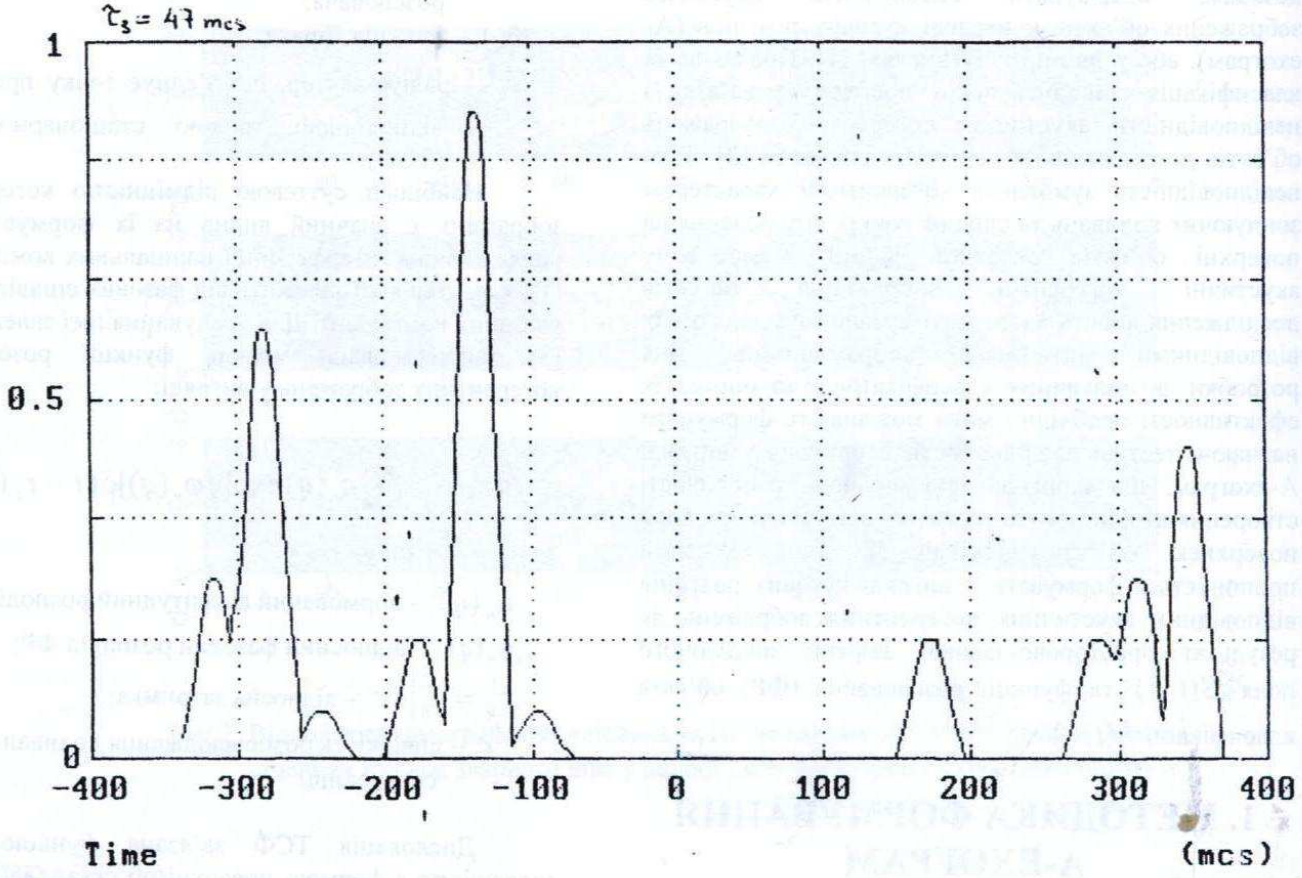


Рис. 1. А-эхограма тестового об'єкта на частоті f = 2МГц.

Еталонна сфера має відому ЕПР та коефіцієнт відбиття для вказанної частоти зондування і видбитий нею сигнал використовувався для амплітудного масштабування рівня експериментально одержаних ехограм тестового об'єкта.

Частота повторення зондуючих імпульсів встановлювалась в діапазоні 50…60 Гц, що дозволило виконати статистичну обробку одержаних ехограм по декількам сотням реалізацій для кожного кута зору, який мав змогу замінюватись у двох площинах. Експеріментально досліджувались сталість елементів ФР від коливань кута зору в діапазоні $\pm 5^{\circ}$ у двох площинах, та від зміни дістанції зондування ±20% .

На рис.2 запропоновано для порівняння згенерована та експериментальна ехограми для довільного імпульсного зондуючого сигналу, які ілюструють явище інтерференції вторинного акустичного поля. Порівняння ехограм виконувалось за допомогою кореляційного J_1 та середньоквадратичного J_2 критеріїв, значення яких також приведені на рисунку. Комп'ютерне моделювання А-ехограм виконано при використанні зондуючих сигналів змінної акустичної довжини та різної форми (гаусівських та прямокутних імпульсів), а також для різних кутів зору в широкому діапазоні у двох площинах.

середньоквадратичне відхилення не перевищує 5%. Найбільш важливим є одержане високе значення коефіцієнта кореляції, що підтверджує близькість форми зформованого просторово-часового розподілу вторинного акустичного поля його дійсному розподілу з урахуванням інтерференції. Найкращі результати одержано при гаусівській апроксимації фронтів та в діапазонах кутів зору, де значення N не перевищує 10, що пояснюється частковою втратою когерентності при $N > 10$. Але і в такому випадку немає принципових перешкод для моделювання акустичних зображень з частковою чи повною втратою когерентності: в моделі ФР (2) слід передбачити можливість завдання фазового розподілу стохастичним з деякою функцією щільності ймовірності, конкретний вигляд якої визначається механізмом руйнування когерентності вторинного поля.

Тому запропонована модель ФР акустичних когерентних зображень у вигляді (2) має досить загальний характер. Але найбільш важливою її перевагою є експеременталько встановлена відповідність реальним фізичним процесам формування вторинного акустичного поля складною поверхнею об'єктів дослідження, і тому відповідність задачам їх класіфікації.

Модель "блискучих" точок Делано,

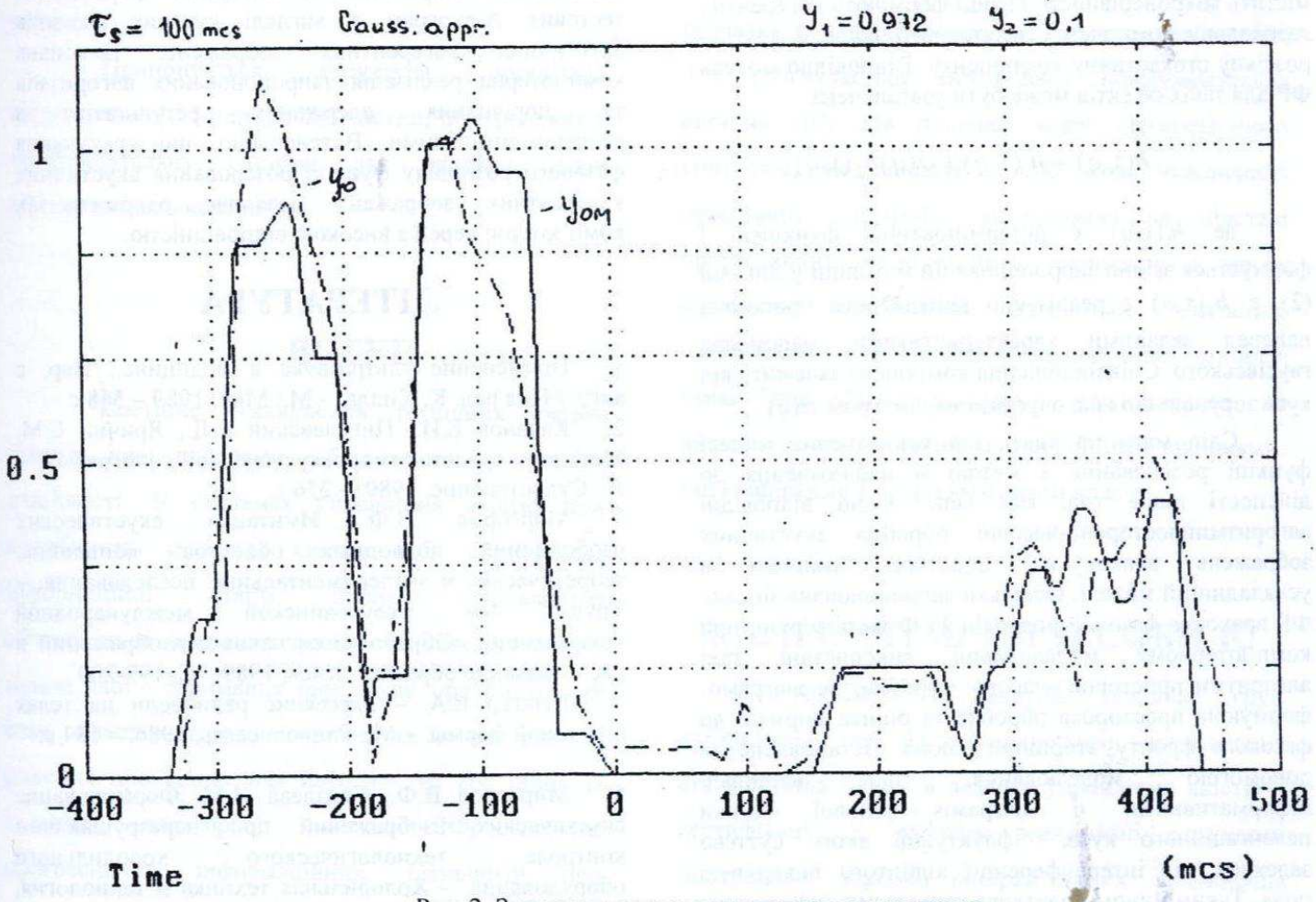


Рис. 2. Згенерована та експериментальна ехограми.

Одержана задовільна відповідність згенерованих ехограм експериментально одержаними: коефіцієнт кореляції близько 0,9;

узагальнена для акустики Ольшевським, пропонує стохастичне об'єднання їх полів у гаусівське вторинне поле, відповідно тому має інтегральний

характер і не несе в собі структурної інформації про характеристики поверхні об'єкта зондування. Відома модель "локальних джерел" Штагера [4] також грунтується на стохастичному об'єднанні полів, відбитих локальними дільницями на поверхні об'єкта, але з урахуванням певної функції щільності ймовірності негаусівського характеру. Тому відомі моделі ФР мало пристосовані до вирішення класифікаційних задач, оскільки не містять параметрів, що мають безпосередньо залежність від особливостей форми поверхні відбиття об'єкта. На відміну від вказаних відомих моделей, запропонована модель ФР таку залежність враховує. Дійсно, амплітудні коефіцієнти відбиття залежать від радіусів кривизни поверхні в точці стаціонарної фази, відносні затримки разом з зафіксованим кутом зору вказують на їх дислокацію на поверхні, а тип фазового розподілу враховує різний характер розсіювання на гладких поверхнях та ребрах, зламах, кутах та інше.

Загальним обмеженням запропонованої моделі є наближення Кірхгофа, тобто радіуси кривизни поверхні відбиття повинні багаторазово перевищувати довжину хвилі зондуючих коливань. Для більшості задач медичної та технічної діагностики таке обмеження не є суттєвим.

Поверхня багатьох об'єктів дослідження не є цілком гладкою, і крім структурних формуючих нерівностей, що мають детермінований характер, містить мікронерівності. Перші формують когерентну дзеркальну компоненту вторинного поля, а другі – розсіяну стохастичну компоненту. Відповідно модель ФР для таких об'єктів може бути узагальнена:

$$h(\tau,q) = h_1(\tau,q) + \alpha(q)h_2(\tau,q),$$

де $h_1(\tau,q)$ є детермінованою функцією і формується згідно запропонованій методиці у вигляді (2), а $h_2(\tau,q)$ є реалізацію випадкового процеса з наперед заданими характеристиками, наприклад гаусівського. Співвідношення компонент залежить від кута зору, що що враховується параметром $\alpha(q)$.

Слід мати на увазі, що ускладнення моделі функції розсіювання з метою її наближчення до дійсності лише тоді має сенс, якщо відповідні алгоритмипросторово-часової обробки акустичних зображень враховують додаткові чинники в ускаладниній моделі. Оскільки запропонована модель ФР враховує фазовий розподіл ТСФ на поверхні, при комп'ютерному моделюванні використані такі алгоритми просторово-часової обробки, як діаграмо-формуюча просторова обробка та оцінка нормалі до фазового фронту вторинного поля. Встановлено за допомогою моделювання, що найбільш інформативними є діаграми фазової оцінки пеленгаційного кута, флуктуації якого суттєво залежить від інтеренференції відбитого поверхнею поля. Таким чином додаткова структурна інформація, врахована в ФР, млже бути виявлена відповідними алгоритмами обробки вторинного акустичного поля.

Зауважимо, що одержана функція розсіювання деякого типового об'єкта з урахуванням фазового розподілу, вичерпним чином характерізує його вторинне акустичне поле у наближенні Кіргофа і є невід'ємною характеристикою відповідного акустичного зображення. Складність одержання такої ФР компенсується повнотою структурної інформації про його поверхню відбиття, яка може бути реконструйована по відповідній ФР, розрахованій для різних кутів зору.

Окрім вирішення задачі формування навчаючих послідовностей для забезпечення автоматичних класифікаторів, запропонована модель ФР може бути використана для оптимального вибору відповідних зондуючих сигналів, узгоджених з особливостями поверні відбиття. Мірою такої узгодженності може бути максимальне значення функції взаємокорелляції чи двомірної функції невезначеності [4,5].

ВИСНОВКИ

Для збудування навчальних послідовностей автоматичних класифікаторів аномальних об'єктів стосовно медичної та технічної ультразвукової діагностики запропоновано алгоритм формування тестових А-ехограм в вигляді кутових розгинів акустичних когерентних зображень. Виконана комп'ютерна реалізація запропонованих алгоритмів та порівняння одержаних результатів з експериментальними. Встановлено, що урахування фазового розподілу функції розсіювання акустичних когерентних зображень дозволяє одержати їх комп'ютерні версії з високою відповідністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Применение ультразвука в медицине.: Пер. с англ. / Под ред. К. Хилла. – М.: Мир, 1989 – 568 с
2. Качанов Е.И., Пигулевский Е.Д., Яричин Е.М. Методы и средства гидроакустической голографии. – Л.: Судостроение, 1989. – 256 с.
3. Миргород В.Ф. Имитация акустических изображений подводных объектов: концепция, теоретические и экспериментальные исследования. – Труды 4-й Всеукраинской международной конференции «Обработка сигналов и изображений и распознавание образов», Киев, 1989 – С. 199-200
4. Штагер Е.А. – Рассеяние радиоволн на телах сплошной формы. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.
5. Миргород В.Ф., Гвоздева И.М. Формирование акустических изображений при неразрушающем контроле технологического холодильного оборудования. – Холодильная техника и технология, вып. 64, 1999. – С. 126-129.

ІНТЕГРОВАНА ІНСТРУМЕНТАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ДІАГНОСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ

Канд. техн. наук В.Д. Павленко, О.О. Фомін, В.О. Шибаєв

Одеський державний політехнічний університет

65044 пр. Шевченка 1, Одеса, Україна

тел. (0482) 288-170, e-mail: pavlenko_vitalij@mail.ru

Розглядається комплексний підхід до проблеми діагностичного контролю, що включає спільне використання програмних засобів і алгоритмів статистичної класифікації. Аналізується склад алгоритмів для рішення широкого кола задач діагностичного контролю: навчання, класифікації, дослідження інформативності діагностичних ознак об'єкта.

Пропонується структура організації алгоритмічної і інтерфейсної частин, інтегрованих в інструментальну систему для рішення задач діагностичного контролю.

ВСТУП

Постійне ускладнення технічних систем ставить нові проблеми забезпечення їх якості і надійності. У системах управління якістю при виробництві складних систем і їх сертифікації інформаційні етапи процесу управління об'єднуються операцією діагностичного контролю, задача якої - отримання інформації про фактичний стан об'єкта контролю і прийняття на цій підставі рішення про віднесення його до тієї або іншої із заданих категорій якості. Впровадження прогресивних інформаційних технологій при автоматизації операцій контролю в системах управлінні якістю і сертифікація складних систем дозволяє використати для рішення задач діагностичного контролю ефективні процедури інтелектуальної обробки інформації, засновані на методах статистичної класифікації (розпізнавання образів) [1].

У роботі пропонується комплексний підхід до проблеми підвищення ефективності систем управління якістю і сертифікації, заснований на розвитку як алгоритмічних, так і програмних засобів. Тут розглядається інтегрована інструментальна система (ІС) для рішення задач діагностичного контролю, що поєднує в собі нові можливості організації інтерфейсу користувача на підставі прогресивних інформаційних технологій, а також ефективні статистичні алгоритми навчання, класифікації і дослідження діагностичної цінності ознак при багатокласовому розпізнаванні на підставі даних, поданих як звичайними вибірками, так і вибірками з нечітким описом класів.

1. АЛГОРИТМІЧНІ ЗАСОБИ ІС

Розроблена ІС містить декілька груп алгоритмів, для багатостороннього дослідження статистичних даних в задачах управління якістю і сертифікації. У програмі реалізовані алгоритми попередньої обробки вибірки даних: заповнення прогалин в даних статистичними методами [2]. Ця проблема набуває особливе значення при роботі з реальними даними, коли внаслідок цілого ряду

© UkrObraz'2000

об'єктивних і суб'єктивних причин в описі деяких об'єктів статистичної вибірки відсутні окремі компоненти (діагностичні ознаки), а збір нової інформації про ці не повністю описанні об'єкти часто зв'язаний з додатковими витратами ресурсів (часових, матеріальних і т.д.) або ж взагалі не є можливим.

Друга група алгоритмів призначена для побудови вирішальних правил статистичної класифікації. В якості вирішальних правил статистичної класифікації використовуються поліноми першого, другого і третього ступеня. Для побудови вирішальних правил статистичної класифікації використовуються параметричні і непараметричні методи навчання розпізнаванню образів: метод статистичних рішень і метод стохастичної апроксимації [1, 2]. Розвиток цих методів дозволив отримати більш ефективні процедури побудови вирішального правила на підставі методу статистичних рішень і оптимізації вибору порога розпізнавання:

$$d(\mathbf{x}) = -\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mathbf{m}_1)^{\prime}\mathbf{S}_1^{-1}(\mathbf{x}-\mathbf{m}_1) + \\ +\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mathbf{m}_2)^{\prime}\mathbf{S}_2^{-1}(\mathbf{x}-\mathbf{m}_2)+\frac{1}{2}ln\frac{|\mathbf{S}_2|}{|\mathbf{S}_1|}+\lambda \qquad (1)$$

де **x** - вектор параметрів стану об'єкта розмірністю n; $\mathbf{m}_i$ - вектор середніх значень вимірювань параметрів стану об'єктів для і-го класу (i=1,2); Si - коваріаційна матриця параметрів стану, що вимірюються для і-го класу; $|Si|$ - визначник матриці Si; $\mathbf{S}_i^{-1}$ - матриця, зворотна матриці Si, λ - поріг розпізнавання.

Другий метод для ефективного пошуку вирішального правила полягає у використанні в якості початкових значенньь коефіцієнтів квадратичного вирішального правила в алгоритмі методу стохастичної апроксимації значень, попередньо отриманих на етапі навчання за допомогою методу статистичних рішень, що дозволяє значно скоротити кількість ітерацій в рекурентній процедурі методу стохастичної апроксимації і дає можливість отримати вирішальне правило з більш високим процентом правильного розпізнавання. При цьому перехід між розглянутими методами здійснюється по формулах:

$$\mathbf{A} = \frac{1}{2}(\mathbf{S}_2^{-1} - \mathbf{S}_1^{-1})$$
$$\mathbf{b} = \mathbf{S}_1^{-1}\mathbf{m}_1 - \mathbf{S}^{-1}{}_2\,\mathbf{m}_2 \qquad (2)$$
$$c = -\frac{1}{2}(\mathbf{m}_1^{\prime}\mathbf{S}_1^{-1}\mathbf{m}_1 - \mathbf{m}_2^{\prime}\mathbf{S}_2^{-1}\mathbf{m}_2) + \frac{1}{2}ln\frac{|\mathbf{S}_2|}{|\mathbf{S}_1|}$$

де **A** - матриця коефіцієнтів при квадратичних членах вирішального полінома; **b** - вектор коефіцієнтів при лінійних членах вирішального полінома; c - вільний коефіцієнт.

Важливим етапом всякого процесу класифікації є вибір набору діагностичних параметрів. При цьому звичайно прагнуть обмежитися як можна меншою їх кількістю. Скорочення опису об'єктів спрощує збір додаткових даних, робить матеріал більш оглядним, а пристрій, що розпізнає - більш простоєм і швидкодіючим. Зменшення параметрів опису об'єктів, як правило, поліпшує якість прогнозу [3]. Крім того, скорочення числа діагностичних ознак дозволяє знизити мінімально необхідну кількість об'єктів статистичної вибірки, зберігаючи її репрезентативність. Тому після збору статистичних даних необхідно розглянути можливість виключення частини ознак так, щоб помилки розпізнавання були менш допустимих.

Очевидно, що кількість ознак, необхідна для успішного рішення деякої задачі розпізнавання, залежить від розділяючих якостей вибраних ознак. Задача вибору ознак ускладнюється звичайно тією обставиною, що найбільш важливі ознаки не завжди легко виміряти або, як виявляється в багатьох випадках, відповідні можливості вимірювання стримуються економічними факторами. У ІС включена група алгоритмів, спрямованих на дослідження інформативності параметрів статистичної вибірки і відбір найбільш

інформативних наборів з них. Ці алгоритми представляють різні методи перебору параметрів статистичної вибірки: повний, скорочений і випадковий перебір (метод Монте-Карло) [3].

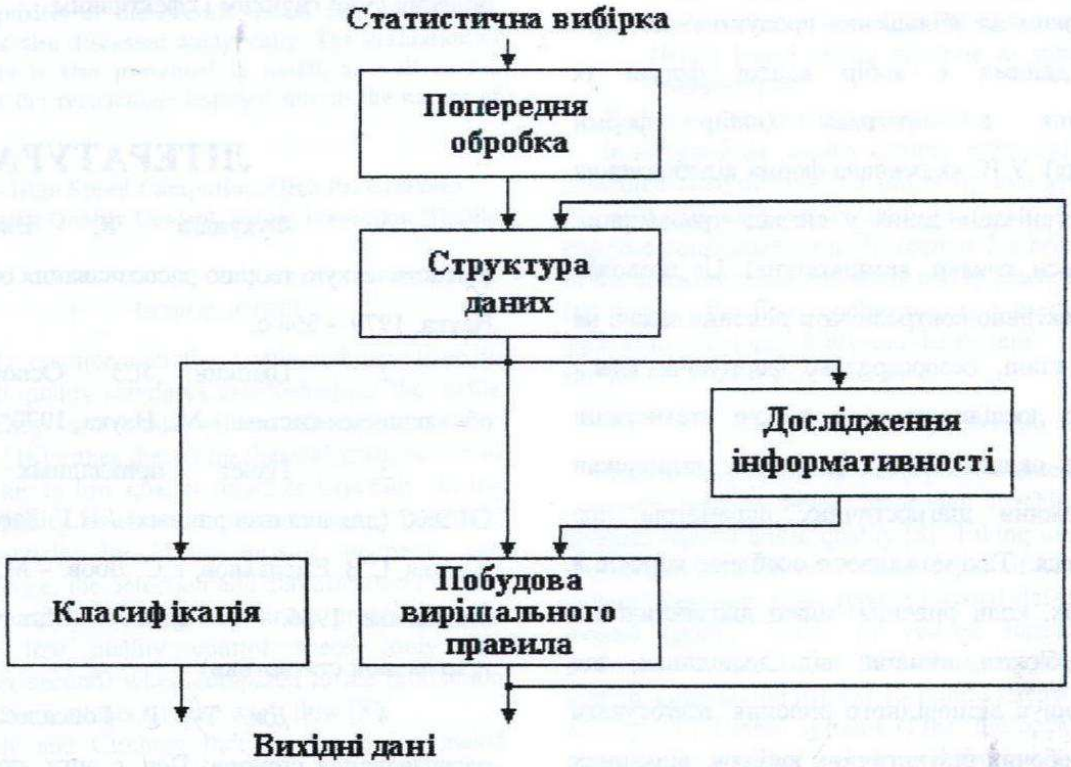
При роботі з багатоклассовыми статистичними вибірками для пошуку найкращого рішення в задачах дослідження інформативності пропонується використати критерії *F(P)*, що враховують різницю в якості розпізнавання різних класів на кожному наборі діагностичних параметрів:

$$F(P) = \frac{\sum_{i=1}^{m} P_i}{\alpha \cdot (P_{\max} - P_{\min}) + 1} \quad (3)$$

$$F(P) = \frac{\sum_{i=1}^{m} P_i}{e^{\beta \cdot (P_{\max} - P_{\min})}} \quad (4)$$

де P_i - відсоток правильного розпізнавання i-го класу, P_{max} і P_{min} (максимальне і мінімальне значення відсотка правильного розпізнавання серед заданих класів на наборі діагностичних параметрів, що розглядається; m - кількість класів в задачі; α, β - вагові коефіцієнти (величина зворотна сумі $\sum_{i=1}^{m} P_i$).

Використання множини алгоритмів обробки статистичної вибірки викликає необхідність розв'язання проблеми організації обчислювального процесу в ІС. Для забезпечення ефективної взаємодії методів обробки даних в ІС, що пропонується, реалізований оригінальний засіб інтеграції перерахованих алгоритмів в єдиний обчислювальний процес. На мал. 1 представлена структурна схема організації програмного інтерфейсу, що реалізовує обчислювальні алгоритми статистичного розпізнавання і дослідження інформативності діагностичних об'єктів.



Мал. 1. Структурна схема організації програмного інтерфейсу ІС

2. ІНТЕРФЕЙСНІ ЗАСОБИ ІС

З метою скорочення втрат часу на непродуктивні операції підготовки і узгодження даних між різними алгоритмами і забезпечення ефективної взаємодії методів обробки даних, а також зручності роботи зі статистичними вибірками розроблений сучасний графічний інтерфейс користувача ІС, відповідний стандартам операційної системи Windows 95/98, що дозволяє гранично спростити, стандартизувати і візуалізувати процеси маніпулювання з даними, алгоритмами дослідження початкових даних, дозволяючи створювати, змінювати статистичні вибірки, переглядати результати досліджень і здійснювати вибір переважних рішень.

Основні функції інтерфейсу користувача полягають в наданні простого і інтуїтивно зрозумілого засобу відображення початкових даних і формування повчальних статистичних вибірок. Першим кроком до збільшення продуктивності при роботі з даними є вибір вдалої форми їх представлення в програмі (вибір форми відображення). У ІС як основна форма відображення прийнята організація даних у вигляді трьохмірних таблиць (класи, ознаки, вимірювання). Це дозволяє швидко і ефективно контролювати рішення задачі на будь-якому етапі, безпосередньо формуючи класи об'єктів, що досліджуються, і робочі статистичні вибірки, що складаються з довільних підмножин повної множини діагностичних параметрів, що досліджуються. Такі можливості особливо корисні в тих випадках, коли рішення задачі діагностичного контролю об'єктів вимагає від дослідника, що здійснює пошук відповідного рішення, підготувати цілий ряд робочих статистичних вибірок, відмінних одна від одної лише набором включених до їх складу діагностичних параметрів об'єктів, що досліджуються, або кількістю і складом класів об'єктів, що розглядаються, тоді як непродуктивний час, затрачений на безпосереднє формування робочих вибірок перевищує у багато разів час, що затрачується на рішення задачі.

ВИСНОВКИ

Використання розробленої ІС для рішення практичних задач діагностичного контролю в системі управління якістю і сертифікація, розглянутих в роботі, демонструє істотне скорочення часу, що відводиться на пошук задовільних рішень задачі, скорочення кількості діагностичних параметрів в описі об'єкта досліджень без зниження якості класифікації його можливих станів, зниження об'єму статистичної вибірки і отримання вирішальних правил, що забезпечують надійне розпізнавання.

Реалізація різноманітних методів в ІС дозволяє зробити процес пошуку задовільного рішення дуже гнучким і ефективним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов. - М.: Наука, 1970. - 368 с.

2. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. – М.: Наука, 1970. - 399 с.

3. Пакет прикладных программ ОТЭКС (для анализа данных) / Н.Г. Загоруйко, В.Н. Ёлкина, С.В. Емельянов, Г.С. Лбов. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 160 с.: ил. – (Мат. Обеспечение прикладной статистики).

4. Дж. Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов: Пер. с англ. под ред. Ю.И. Журавлёва.. – М.: Мир, 1978 - 411 с.

Requirements and Specification for High Speed Computing unit for flaw detection in fabrics

Anagnostopoulos C.[1], Hasan S.[4], Kayafas E.[1], Knaak U.[2], Loumos V.[1], Nassar S.[3], Saqer Abdel-Rahim[4], Stassinopoulos G.[1] and Vergados D.[1]

[1] Computer Science Division, Department of Electrical & Computers Engineering,
National Technical University of Athens, GR 15773 Zographou, Athens, Greece
Tel: +30 1 772 2538 Fax: +30 1 7722534, E-mail: canag@central.ntua.gr, vergados@telecom.ntua.gr
[2] Parsytec AG, Aachen, Germany
[3] Electronics Research Institute, Cairo, Egypt
[4] Royal Scientific Society, Amman, Jordan

Abstract --

Industrial High Speed units (or High Performance Computing – HPC)are of strategic interest for the textile industry as they could form the basis of a system achieving a high degree of accuracy on textile inspection.

Due to the specific nature of textile, the defects encountered within textile production must be detected and corrected at early stages of the production process. Thus, the visual defect detection is of utmost importance for the product's overall quality and cost.

This paper presents the requirements of the textile companies, in regards to the quality control process by assessing the feasibility of using a HPC based machine vision to substitute human operators.

The prerequisites or the overall system and its software components are also discussed analytically. The evaluation of the first results is also presented in detail, as well as the limitations and the restrictions imposed due to the nature of the problem.

Keywords -- **High Speed Computing, High Performance Computing,Textile Quality Control, Fabric Inspection, Textile Industry.**

I. INTRODUCTION

The quality engineers in the textile industry have to retain the high quality standards established for the textile industry [5]. They have to deal with an extensive variety of fabric defects [16] either due to mechanical malfunction of the loom, or due to low quality fibers and spreads. At the present, the quality assessment procedures are generally performed manually by expert quality engineers and technicians. Hence, the detection and classification of these defects is a time consuming and tiring procedure. In addition, the low quality control speed (only few centimeters per second) when compared to the production speed reveals the bottleneck in the work flow [8].

The Textile and Clothing Industry has an estimated turnover of 150 billions ECU's and employs about 2,5 million persons in EUROPE [1]. The majority of the companies in this sector are SME's, which are facing an ever increasing competition by low price imports. Automation and technological development are suggested as key factors for the survival of this industrial sector. Another key factor is the production of new top-of-the-range products, which are less sensitive to price competition [12]. Although the clothing industry has benefited from technological innovations, particularly in CAD, it is still a labor-intensive industry.

- This paper studies in depth the quality control requirements in the vision systems of the textile clothing industries, by analyzing the quality control processes, evaluation of the performance of the vision system and establishing the feasibility analysis of using High Performance Computing (HPC) based vision machine to substitute human operators [14].

The paper is organized as follows:

In section 2 the quality control in the textile industry is presented analytically. The following two section describe the system's architecture and the specifications for the required constituent parts. In section 5 a brief introduction to the software requirements is taking place. Finally, in the last section, the first conclusions are presented and issues such as the interoperability and the system's performance in the Textile Industry are evaluated.

II. QUALITY CONTROL

Fabric inspection is mainly effectuated in a textile company through fabric inspection machines, where an operator checks fabric quality [8]. Taking into account that the textile industry uses many types of yarns and wave patters, there are many types of visual defects, that affect overall quality. There are several formal systems to evaluate the quality of the fabric, namely the 4-point system, Graniteville [6], [2] 10-point systems etc. The main concept of all these systems is that the operator calculates the numbers of major and minor defects as point values per m^2 and then considers the quality of the fabric as "first" or

© UkrObraz'2000

"second" quality. Each fabric, either woven or knitted, presents specific defects.

III. Overall System Architecture

The HPC-surface inspection system is typically made up of the following main components:

- The inspection bridge (top and bottom side) with cameras and lighting
- The defect analysis computer system including a main computer (server) and a workstation per camera.
- The operator console, and the quality control console for production purposes.
- The archive subsystem for the strip and defect databases.
- The cabling of the system including the interface to the operational database and the rotational encoder to determine the speed.

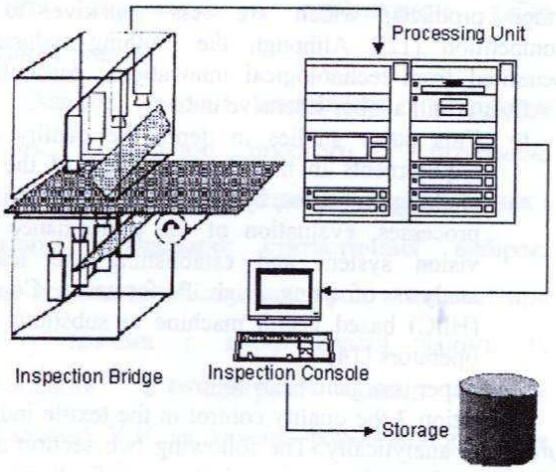


Fig.1 Overall System Architecture

IV. System Specifications

The HPC system specification addresses the overall architecture and detailed data for the required constituent parts like, cameras (number, resolution, spectral sensitivity, etc), illumination and flashing sources and their triggering, mechanical construction, number of processing nodes, configuration and memory, operating and programming software environment, functional specification of algorithms developed, non functional requirements based on production environment and ergonomics. The HPC system based on a prototype developed for the textile industry includes an inspection bridge, illumination modules, image acquisition technology [12] (cameras, objectives, filters, frame grabbers, cables etc) with corresponding peripherals, as well as a high performance computer, which enables the scalability concerning speed and width of material. The system also includes the necessary development environment such as the parallel framework and the software modules [14].

The HPC inspection system consists of three main components [15]:

- the **inspection bridge** with cameras and lighting,
- the **inspection computer system**, consisting of networked industrial PC's, and
- the **inspection console** with the **System Management Interface**.

An extensive requirement analysis took place for all of the mentioned components of the HPC System.

A. Inspection bridge installation requirements

The inspection bridge is installed above and below the strip. The images acquired with the cameras have to be transmitted via cable to the analysis computer.

The bridge can be installed anywhere in the production process where a straight strip is available. If a specific application requires the concurrent use of two different image capturing and lighting methods, two inspection bridges may be installed one after the other.

Due to the fact that the quality and resolution of the taken images of the strip surface have a big influence on the quality of the inspection, the determination of the acquisition system (camera and illumination) is the first important step. Generally one needs several pixels in order to detect a defect. On non-structured surfaces (or pre-processed images), the minimal number of pixels needed for a safe detection of a defect is 4 pixels. For a classification of various defect types more pixels are necessary. A minimum for each classification is 12 pixels and for a more precise classification about 30 pixels is necessary.

B. Inspection computer system requirements

The computer unit for the evaluation of surface images can be located remotely. The connection to the consoles can be done via standard Ethernet. Access to the inspection results can be provided throughout the mill over an already existing local area network.

C. Online inspection console requirements

The online inspection console is usually placed next to the production line at some distance after the inspection bridge. This enables inspection personnel to intervene in the production process when necessary.

D. System Management - Graphical user Interface

A Graphical User Interface has been developed in order to control, monitor and manage all the components of the HPC System.

This GUI (System Management Console) enables the operator to perform the following actions:

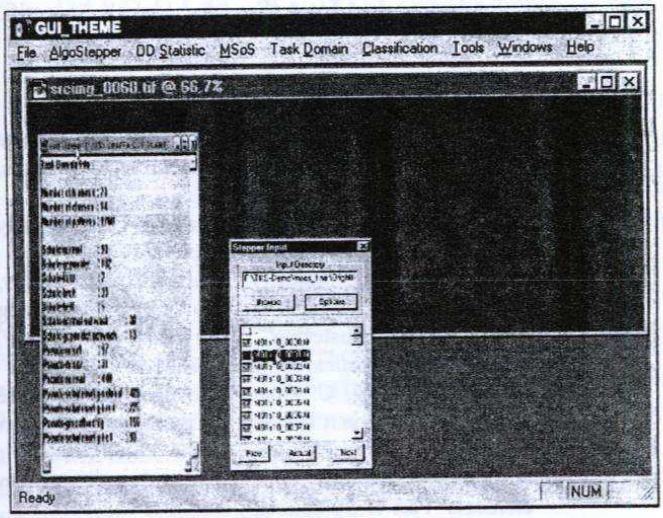


Fig.2 The GUI of the HPC System

- **Load the database**
- **Select the feature space**
- **Select and calibrate cameras**
- **Select the classifier type**
- **Training the classifier**
- **Fabric selection**

E. Illumination and Camera Technology

The dark field illumination has a great significance for surface damage detection, due to the fact that it reacts very sensitively to any changes of the surface smoothness. For this purpose infrared LED's (as used e.g. for remote control for various audio and video systems) are combined into a condensed packaged light deal. Through methods that have been patented the angle of the beam has been so reduced that the total light beam is close to parallel. The overlapping of the beam area is desired and allows the lighting module to be used even if some LED's are not functioning. A pulsed light is used for the lighting of the surface rather than a regular light, allowing a dense packaging of the LED's and a high light intensity without dissipating too much power (i.e. heat). These flashes are extremely short (4 µs up to 100 µs, in the standard mode 38 µs). The use of infrared technologies (wave length 800 to 950 nm) has the additional advantage that the employees, who work in the area of the inspection system, are not bothered by the flashing and through the use of infrared filters in front of the cameras, interfering light can be suppressed. Defects that don't have an edgy kind of surface damage can be detected with the extra use of a diffused bright field light. This lighting is based on fluorescent lights and is implemented in the flash (photo) technology. The bright field images are taken by separate cameras. It is also possible if desired, for these defects to have a different resolution than in the dark field. Color cameras can be used for special recognition projects.

In order to capture the entire width without gaps the HPC-System has several cameras positioned in a row. For the complete configuration the following parameters are relevant: image sequence frequency (50 Hz per row of cameras) and brightness area of the lighting. The uses of a second row of cameras can double the web speed. On special request, systems can be provided with more rows of cameras. The cameras are delivered in a closed housing and are being securely mounted.

F. Mechanical Configuration of the cameras

The camera row is installed in a vertical position over the web with the determined spacing (based on the chosen resolution). The LED infrared dark field lighting can be set at angles between 0 and 70 degrees depending on the amount of reflection of the inspected material. Camera/lighting unit is delivered in a stable frame with covering. The housing also contains modules for the synchronization of the cameras and lighting as well as video signal adapters for the fiber optic transfer.

TABLE I

STRIP SPEED AND CAMERA RESOLUTION

CCD Camera Resolution (square mm)	**Max. Strip Speed** (m/sec)
0.10 x 0.20	2.4
0.15 x 0.30	3.7
0.20 x 0.40	4.9
0.25 x 0.50	6.2

V. SOFTWARE REQUIREMENTS

The software core for an automatic Inspection system should be robust and flexible in order to detect the defected region on the inspected fabric. Due to the complexity of the problem and the extensive variety of the possible defects, the software modules must incorporate the most advanced image processing techniques[14]. In short terms, the software requirements includes the following operation:

- **Correction of Non-Uniform Illumination**

The goal of this step is the correction of local varying mean grey values and variances [11]. This way the illumination irregularities within the image are corrected.

- **Detection of possible defect**

On the basis of this observation a simple operation was developed in order to describe the "local" regularity of the underlying fabric. This operation was motivated by the fact that the standard deviation value of a processing block should not vary with the ones in the neighboring blocks. Hence, the standard deviation difference between neighbor blocks should be near zero or at least should vary smoothly

across the texture plane. The scope of this step is the detection of possible defects in the fabric. Defects manifest themselves by irregularities in the texture of the image [15]. The algorithm should be able to identify possible irregularities performing appropriate measurements in the inspected image [10].

Threshold values are chosen according to the specific type of the fabric. Pixels, whose measurements exceed the above thresholds, are considered to be candidates for a possible location of a defect in the fabric [13].

- **Regions of Interest (ROI)**

During this step, the candidate pixels are clustered, in order to form rectangular Regions Of Interest (ROI), roughly describing the shape of detected defects [4]. As additional information, further statistics of the features in the respective regions should be computed and evaluated [7].

G. Defect Classification

The last step classifies the detected defects according their shape or other criteria into macro classes. The classification into micro classes requires further specific knowledge provided by texture features and 2nd order statistics [3].

The complete inspection results can be archived in a database. The data of all defects can also be made available (archived) for statistical evaluation. This is useful in order to establish long term trends or occurrences of individual time periods [9].

VI. CONCLUSIONS

The objective of this paper is to present the requirements of an automatic system for the textile companies, in regards to the quality control process by assessing the feasibility of using machine vision to substitute human operators. The requirements and specification of such as a system, are studied in depth, and a technical approach is given very briefly (due to words limitation).

The emerging technologies in the field of Information Technologies integrated with available relatively low cost high quality vision machines, can be the most appropriate solution for the Textile Industry. It is anticipated that IT technology can render feasible advanced quality solutions, thus providing an important competitive advantage.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work described in this paper is partially supported by the European Commission (Project THEME, project framework INCO, project number: 972572).

The participants in THEME are the National Technical University of Athens (Greece), Parsytec AG (Germany), Electronics Research Institute (Egypt), Royal Scientific Society (Jordan) and National Research Centre (Egypt).

REFERENCES

[1] The effect and Cost of Fabric Faults in Garment Manifacture, Wool Industries Research Association, London, 1971.

[2] Experience with a Demerit System for Cloth Quality Grading, Shirley Institute, Manchester, 1973.

[3] J.G. Campbell, C. Fraley, F. Murtagh, A.E. Raftery, "Linear Flaw Detection in Woven Textiles using Model-Based Clustering", University of Ulster, Faculty of Informatics, Preprint INFM-97-001, 1997.

[4] C. Lu, P. Chung, C. Chen, "Unsupervised Texture Segmentation via Wavelet Transform", Pattern Recognition, 30(5): 729-742,1997.

[5] "ISO 9004-1: Quality Management and quality system elements- Part 1: Guidelines", Berlin 1994.

[6] Manual of Standard Fabric Defects in the Textile Industry, Graniteville Co., South Carolina, 1975.

[7] Ch. Jacquelin, A. Aurengo, G. Hejblum. "Evolving Descriptors for Texture Segmentation", Pattern Recognition **30** (7): 1069-1079,1997.

[8] Mahall K., Quality assessment of textiles: Damage detection by microscopy, Springer- Verlag, Berlin, 1993.

[9] F. De Natale, "Rank-Order Functions for the Fast Detection of Texture faults", International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, **10** (8): 971-984,1996.

[10] J. Canny, " A computational approach to edge detection", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, **8** (6): 678-698, November 1986.

[11] Ch. Daul, R. Rösch, B Claus, J. Grotepaß, U. Knaak, R. Föhr; "A fast image processing algorithm for quality control of woven textiles", Mustererkennung, 20. DAGM Symposium 1998, Springer, Heidelberg 1998.

[12] Parker J.R., "Algorithms for Image Processing and Computer Vision", Wiley Computer Publishing, New York, 1997; pp 155 – 160.

[13] C. Neubauer, "Segmentation of Defects in Textile Fabrics, International Conference on Pattern Recognition, pp. 688-691, 1992.

[14] Anagnostopoulos C. et al., "High Performance Computing Application for the Textile Quality Control", to be appeared in the International Conference on Intelligent Information Processing (IIP2000) proceedings, Federated Conference of the World Computer Congress (WCC2000), 21-25 August 2000, Beijing, China.

[15] Jain R., Kasturi R., Schunck B.G., Machine Vision, McGraw - Hill Inc., New York, 1995, pp. 122 –123.

[16] ISO 8498:1990 Woven fabrics—description of defects—Vocabulary.

МЕТОД ВИБОРУ ТЕСТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ МІКРОСХЕМ ПАМ'ЯТІ ПРИ НЕЧІТКИХ АПРІОРНИХ ДАНИХ

В.Г. Рябцев, Н.Л. Кириленко, М.Х. Кхан
Черкаський інженерно-технологічний інститут, 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460,
т.: (0472) 43-56-28; факс: (0472) 42-21-65;
e-mail:masum@bd.nensi.cherkassy.ua

Для розпізнавання діагностичних властивостей тестів поряд з визначеними часовими параметрами пропонується використовувати лінгвістичну змінну – вірогідність діагностування. Розглядається отримана таким чином нечітка модель діагностичних властивостей тестів, яка може бути застосована при розробці програм ефективних випробувань мікросхем пам'яті.

ВСТУП

Задача вибору послідовності тестів для ефективного діагностування мікросхем та модулів пам'яті є недокінця формалізованою, тому що при її вирішенні ми оперуємо нечіткими апріорними відомостями про діагностичні властивості застосованих тестів. Дана ситуація часто зустрічається при освоєнні виробництва дослідної партії виробів або під час зміни технології їх виготовлення.

На вірогідність винаходження відмов мікросхем та модулів пам'яті впливають особливості схемної та топологічної реалізації елементів, які запам'ятовують (ЗЕ), дешифраторів адреси та вузлів вводу-виводу даних. Під час діагностування в умовах, які не є адекватними режимам експлуатації, може виникнути парадоксальна ситуація, коли мікросхеми пам'яті, які були признані придатними після випробувань за допомогою ефективних тестів, побудованих на основі складних алгоритмів, виявляються недієспроможними у складі обчислювальних систем [1]. Наприклад, дефекти вузлів управління, які призводять до прямої передачі вхідних даних на вихідні контакти корпусу мікросхеми пам'яті, не виявляються деякими пристроями тестового діагностування [2].

Для виявлення таких масових відмов необхідна модифікація алгоритмів тестів, завдяки якій перевірка зчитування одиниці або нуля проводиться при значенні даних, які на входах мікросхем пам'яті в першому циклі дорівнюють інверсному коду зчитаних даних, а в другому – прямому коду зчитаних даних. Даний метод дозволяє зафіксувати відмови в вузлах управління мікросхем пам'яті, в яких зберігається прямий код вхідних даних, а також у вузлах, які інвертують ці дані [3]. Але для більшості залишених відмов неможливо точно визначити тести, які будуть забезпечувати їх вірогідну локалізацію.

1. МОДЕЛЬ ВІДМОВ МІКРОСХЕМ ПАМ'ЯТІ

Якщо уявити множину усіх можливих відмов мікросхем пам'яті у вигляді універсальної множини σ, то її підмножина η - це множина тих відмов, які виявляються за допомогою дослідних тестів. Множина η утворюється шляхом об'єднання підмножин η_i.

$$\eta = \bigcup_{i=1}^{\kappa} \eta_i , \qquad (1)$$

$$\overline{\eta} = \sigma \setminus \eta; \ \overline{\eta} \notin \bigcup_{i=1}^{\kappa} \eta_i , \qquad (2)$$

де $\{\eta_1, \eta_2, ..., \eta_k\}$ - підмножини відмов, які були виявлені тестами $\pi_1, \pi_2, ..., \pi_\kappa$ відповідно;

$\overline{\eta}$ - множина невиявлених відмов.

Множину всіх можливих видів відмов можна представити у вигляді діаграми Ейлера-Венна, яка приведена на рисунку 1.

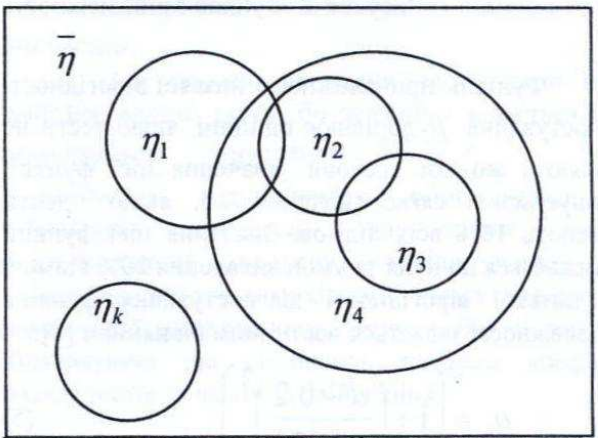


Рисунок 1. Діаграма Ейлера-Венна виявлення відмов мікросхем пам'яті діагностичними тестами

Якщо позначити вірогідність діагностування тестом π_i через

$$d_i = \frac{\eta_i}{\bigcup_{i=1}^{\kappa} \eta_i}, \qquad (3)$$

то діагностичні властивості тесту π_i можна представити у вигляді кортежу

$$j_i = (d_i, t_i), \quad (4)$$

де t_i – тривалість виконання і-го тесту.

2. МЕТОД ВИБОРУ ЕФЕКТИВНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ТЕСТІВ

Час виконання тесту залежить від складності застосованого алгоритму, має функціональну залежність від обсягу виробу, який діагностується та легко обчислюється.

Значно складніше, а іноді й зовсім неможливо апріорно визначити точне значення вірогідності діагностування різних тестів, тому дану змінну можна вважати нечіткою лінгвістичною змінною, яка може приймати наступні значення:

l - низька;
lm – нижче середньої;
m - середня;
hm – вище середньої;
h - висока.

Графіки функції приналежності для наведених вище значень лінгвістичної змінної вірогідності діагностування зображені на рисунку 2, де d – вірогідність діагностування.

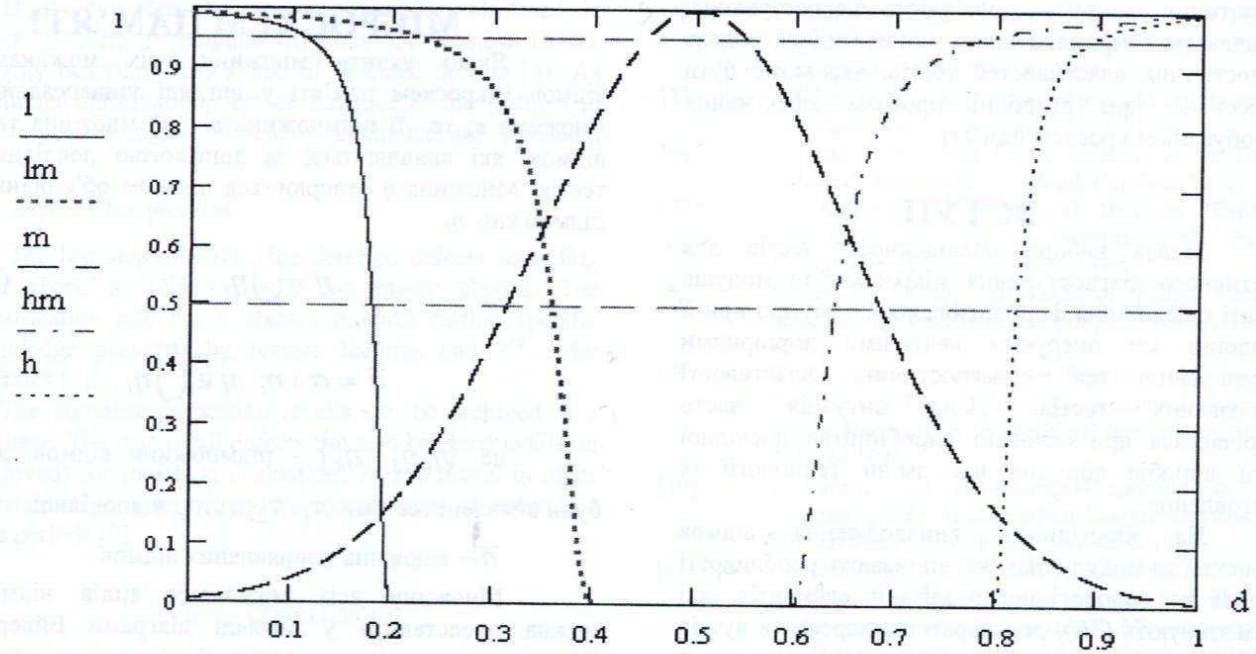


Рисунок 2. Функції приналежності лінгвістичної змінної вірогідності діагностування

Функції приналежності низької вірогідності діагностування μ_l дорівнює одиниці, якщо тести не виявляють жодної відмови. Значення цієї функції зменшується і сягає значення 0,5, якщо тести виявляють 18% всіх відмов. Значення цієї функції наближається до нуля за умов виявлення 20% відмов. Для низької вірогідності діагностування функція приналежності задається наступним рівнянням [4]:

$$\mu_l = \left(1 + \left(\frac{d - 0.2}{0.02}\right)^2\right)^{-1}; \quad (5)$$

Вірогідність діагностування нижче середньої мають тести, функція приналежності яких також дорівнює одиниці при невиявлені жодної відмови, спадає та сягає значення 0,5, якщо вони виявляють 36% всіх відмов. Функція приналежності в цьому випадку має вигляд :

$$\mu_{lm} = \left(1 + \left(\frac{d - 0.4}{0.04}\right)^2\right)^{-1}; \quad (6)$$

Тести, функція приналежності яких дорівнює одиниці при виявленні 50% відмов, мають середню вірогідність діагностування. При зростанні або зменшуванні вірогідності діагностування значення функція приналежності таких тестів зменшується і з достатньо високою точністю може бути задана модифікованою кривою Гауса (7).

$$\mu_m = e^{-20(d-0.5)^2}; \quad (7)$$

Функція приналежності лінгвістичної змінної вірогідність діагностування, значення якої є вище середньої, починає зростати при виявленні 60% відмов і досягає 0.5 при виявленні 64% виявлених відмов та одиниці за умови виявленні всіх відмов. Дана функція може бути задана рівнянням (8):

$$\mu_{hm} = \left(1 + \left(\frac{d - 0{,}6}{0.04}\right)^{-2}\right)^{-1}; \quad (8)$$

Функція приналежності значення висока лінгвістичної змінної вірогідність діагностування зростає починаючи з 80% виявлених відмов і також досягає значення 1 при виявленні всіх відмов. Ця функція визначається рівнянням (9):

$$\mu_{h} = \left(1 + \left(\frac{d - 0{,}8}{0.02}\right)^{-2}\right)^{-1}; \quad (9)$$

Як бачимо з рисунку 2, значення лінгвістичної змінної мають нечіткі межі. Тести з однаковими величинами функцій приналежності можуть мати різні значення цієї змінної: нижче середньої або середня, середня або вище середньої. Крім того, практично неможливо апріорно встановити діагностичні властивості тестів по виявленню всіх можливих відмов, так як кожний тест, як правило, був розроблений з метою локалізації окремих видів відмов основних вузлів мікросхем пам'яті. Лінгвістичні оцінки діагностичних властивостей найбільш розповсюджених тестів по виявленню окремих відмов мікросхем пам'яті наведені в таблиці1.

Таблиця 1. Апріорні діагностичні властивості тестів

№	Назва тесту	Діагностичні властивості виявлення відмов				
		1	2	3	4	5
1	Запис-зчитування	l	l	lm	l	l
2	Марш	hm	m	lm	lm	l
3	Хрест	hm	lm	lm	lm	l
4	1/0, що біжить	h	hm	l	hm	l
5	Галоп по рядку	h	hm	lm	lm	h
6	Галоп по стовпчику	h	hm	lm	lm	l
7	Метелик	h	hm	m	m	hm
8	Обертання адреси	h	hm	h	l	h

В таблиці 1 наведені наступні позначення окремих видів відмов:

1 – відмова комірок пам'яті;

2 – відмова дешифраторів адреси;

3 – невідповідність часу вибірки адреси;

4 – перевищення часу відновлення підсилювачів нормативного значення;

5 – невідповідність часу регенерації до встановленого значення.

Під час здійснення діагностування мікросхем пам'яті можна визначити імовірність виникнення відмов різних видів (10).

$$\sum_{i=1}^{5} c_i = 1,\ c_i = \overline{0,1}, \quad (10)$$

де c_i - імовірність виникнення відмови і-го виду.

Твердження (10) буде справедливим тільки під час процесу діагностування неполагоджених мікросхем пам'яті, коли вже відомо про існування відмови.

При рівно імовірному розподілу всіх видів відмов $c_1 = c_2 = ... = c_5 = 0.2$.

Однак, у деяких випадках такий розподіл може не існувати на практиці. Наприклад, для мікросхем пам'яті статичного типу $c_5 = 0$. Для даних мікросхем відсутній такий параметр, як час регенерації даних, і тому відмов 5-го виду для них не існує.

Таким чином, задаючи імовірність виникнення відмов різного виду можна враховувати особливості структури виробів, які діагностуються, та визначати середнє значення імовірності виявлення відмов кожним тестом .

$$d_{cp}^{j} = \sum_{i=1}^{5} d_i^j * c_i, \quad (11)$$

j – номер тесту;

i – вид відмови;

c_i - імовірність виникнення відмови і-го виду;

d_i^j - вірогідність виявлення відмов і-го виду j-м тестом.

Але не завжди можна застосувати навіть найефективніші тести, бо звичайно задається ще й максимально допустимий час $t_{\max}$, який визначається виробничими обмеженнями. Ці обмеження зумовлені досягненням високої продуктивності процесу діагностування, яка забезпечує випуск необхідного обсягу продукції за визначений інтервал часу: зміну, добу, місяць і т.д. Враховуючи цю обставину, введемо коефіцієнт якості тестів за часом їх здійснення.

$$k_j = \begin{cases} 0, & при\ t_j > t_{\max}, \\ \varepsilon, & при\ t_j = t_{\max}, \\ \dfrac{t_{\max} - t_j}{t_{\max}}, & при\ t_j < t_{\max}, \end{cases} \quad (12)$$

де ε - наперед задане мале число;

t_j - час здійснення j-го тесту;

$t_{\max}$ - часове обмеження процесу діагностування;

k_j - коефіцієнт якості за часом для j-го тесту.

Комплексний критерій якості Q_j кожного тесту можна визначити за його лінгвістичним та часовим параметрами:

$$Q_j = d_j * k_j, \qquad (13)$$

Потім, виходячи з аксіоматичних визначень, які приведені в [5], можна здійснити розподіл тестів на неперспективні, перспективні та оптимальні за Парето. З упорядкованої послідовності нас цікавлять тести, які мають високі значення комплексного критерію якості та відповідають економічним можливостям виробництва:

$$\sum_{k=\alpha}^{\omega} t_k \le t_{\max}, \qquad (14)$$

де $k \in \{\alpha, \beta, ..., \omega\}$ - номери тих тестів, які були включені у ефективну тестову послідовність;

t_k - час роботи k-го тесту;

$t_{\max}$ - максимальний час, відведений на діагностування.

Крім цих тестів до рекомендованої для діагностування послідовності можуть бути включені й інші тести, які користувач на основі свого досвіду вважатиме ефективними за даними обставинами.

Комплексний критерій якості бажано обчислювати за допомогою (13), якщо вплив часових та лінгвістичних характеристик для користувача рівноважний. Але коли більш важливим є використання найбільшої кількості тестів у заданий інтервал часу, можна замість (13) використовувати наступне рівняння:

$$Q_j = d_j + k_j. \qquad (15)$$

Для кожного і-го виду відмов визначаємо вірогідність його виявлення, яку можна спрогнозувати:

$$d^i_{np} = \max d^i_k, \qquad (16)$$

де $k \in \{\alpha, \beta, ..., \omega\}$, $i = \overline{1,5}$.

Середнє значення вірогідності виявлення всіх розглянутих видів відмов, яку можна спрогнозувати d_{cp} має наступний вигляд:

$$d_{cp} = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} d^i_{np}. \qquad (17)$$

Можна виділити песимістичний та оптимістичний види прогнозу. Песимізм заснований на невпевненості у вірогідності апріорних даних і, за звичай, є притаманний спеціалістам з малим досвідом. Оптимісти впевнені, що даним тестам властиві найкращі діагностичні характеристики.

Значення вірогідності діагностування, яку можна спрогнозувати, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Вірогідність діагностування для різних видів прогнозу

Значення лінгвістичної змінної	Песимістичний прогноз		Оптимістичний прогноз	
	μ_{nec}	d_{nec}	μ_{onm}	d_{onm}
Низька	0.95	0.11	0.5	0.18
Нижче середньої	0.95	0.23	0.5	0.36
Середня	0.5	0.31	0.5	0.69
Вище середньої	0.5	0.64	0.95	0.78
Вища	0.5	0.82	0.95	0.89

Як бачимо з таблиці 2, вірогідність діагностування відмов мікросхем пам'яті, яку можна спрогнозувати, для окремого розглянутого тесту може змінюватись у межах [0.11;0.89], що відповідає практично всьому діапазону змінної, яка нами досліджується.

ВИСНОВКИ

Метод вибору послідовності тестів, який був розглянутий вище, є заснованим на принципі нечітких апріорних даних і дозволяє враховувати об'єктивний досвід та кваліфікацію спеціалістів в області діагностування мікросхем пам'яті. Даний метод можна використовувати в системі підтримки прийняття рішень, де враховуються як точні кількісні параметри, так і інформація, яка представлена в лінгвістичній формі, яка легко сприяється.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nissen P. *Some memory testing paradoxes* – Semiconductor test conference: LSI and Boord, Cherry Hill, N.Y.,1978,Did.Pap. Hew York, p.91-95.
2. Данилин Н.П., Попель Л.М. *Установка функционального контроля БИС ОЗУ "Элекон ФЗУ".* – Электронная промышленность, 1981, №2, с.15 – 18.
3. Рябцев В.Г., Торшина В.Е. *Модификация теста "запись-считывание" для диагностирования дефектов устройства управления БИС ОЗУ.* – Электронная техника, серия 8, 1987, вып.1, с.6 – 8.
4. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений.* Пер. с анг. – М.: Мир, 1976. – 165с.
5. Кириленко Н.Л., Рябцев В.Г., Кхан М.Х. *Метод принятия решений при разработке программ испытаний памяти.* – Проблемы программирования, 2000, №1-2, с.507 – 512.