

Автоматична діагностика об'єктів, машин і явищ за їх сигналами та полями

Automatic Diagnostics of Objects, Machines and Phenomena on Its Signals and Fields

Автоматизовані системи просторової діагностики профілю поверхні матеріалів і виробів

**Михайло Баженов, Володимир Вінецький,
Станіслав Поліщук, Олександр Столяренко**

Інститут напівпровідників АН України

*Україна, 252028 Київ
просп. Науки, 45
Тел.: (044) 265-61-78*

Просторовий профіль рельєфу та його зміна під час технологічного циклу обробки матеріалу відіграють велику роль у багатьох галузях виробництва. Інтерференційні методи контролю поверхневого профілю є одними з найчутливіших завдяки багатопроменевій взаємодії світла з досліджуваним об'єктом. Їх чутливість сягає від сотні ангстрем (інтерферометрія у нульовій смузі) до долей міліметра (компенсаційна та двоколірна інтерферометрія). У той же час прямі інтерференційні методи потребують високоякісної оптики, високочутливих фотоприймачів і віброзахищених стабільних конструктивів.

Голографічні інтерферометричні системи вільні від цих недоліків, оскільки всі вади оптичної системи взаємокомпенсиються на стадіях запису і відтворення інтерферограм, світлова чутливість системи може бути значно підвищена за рахунок збільшення часу експонування або інтенсивності опорного променя, стабільність вимірювання підвищується завдяки переходу до реєстрації на несучій просторовій частоті або реєстрації Фур'є-спектру об'єкту. Метод двоекспозиційної інтерферометрії при використанні імпульсних лазерів дозволяє аналізувати динамічні процеси або вимірювати рухомі об'єкти.

У той же час для реалізації методів голограмичної інтерферометрії потрібне проміжне фоточутливе середовище, на якому реєструється голограма вихідного стану незбудженого об'єкту. Одним з найкращих високочутливих реверсивних середовищ з керованими інформаційними параметрами є органічні фотонапівпровідникові термопластичні плівки, які обробляються на місці експонування в реальному часі. Після реєстрації голограми вихідного стану досліджуваного чи еталонного об'єкту в реальному часі з'являється інтерферограма, яка відповідає різниці досліджуваного об'єкту й еталонного. Інтерференційна картина фіксується за допомогою відеокамери і через відеоадаптер-грейбер вводиться до ПЕОМ, яка за допомогою відповідної програми обраховує і виводить на відеомонітор та плоттер профіль досліджуваного об'єкту.

Виняткові перспективи для голограмичної інтерферометрії відкриває можливість підсилення прихованого електростатичного зображення на цих носіях, яке дозволяє проводити ефективну реєстрацію голограм при зміні оптичної густини об'єктів більш, ніж у тисячу разів. Це дозволяє проводити виміри великих

світлорозсіюючих об'єктів з використанням послідовного компенсувача постійного фазового зсуву. При цьому процес вимірювань поверхневого рельєфу складається з ряду послідовних вимірювань при різних положеннях фазокомпенсувача. Отримані при кожному вимірюванні інтерференційні картини також вводяться до ПЕОМ, яка обраховує частину поверхневого рельєфу в діапазоні 5–15 мкм. Повний профіль поверхні складається з суми таких окремих вимірювань.

Такі автоматизовані системи просторової діагностики, що складаються з голограмічного інтерферометру, фототермопластичного реєстратора, відеоадаптера-грейбера, ПЕОМ класу *IBM PC* та пакету відповідних програм користувача, можуть з успіхом використовуватися у мікрооптоелектронній та оптичній галузях, а також у точному машинобудуванні.



Апаратно-програмний комплекс аналізу кардіоритмів на базі комплексу холтерівського моніторингу та ПЕОМ

Євген Берков, Сергій Вагін, Дмитро Волобой,
Ірина Полякова, Сергій Попов, Юрій Потапович,
Олександр Руцький

Дніпропетровський державний університет
Запорізький інститут удосконалення лікарів

Україна, 320625, Дніпропетровськ
просп. Гагаріна, 72
тел.: (056) 246-55-97

Застосування математичних методів обробки всіляких біометричних сигналів в останній час дозволило значно підвищити достовірність відомих медичних діагностичних методів та розробити ряд принципово нових методик. Зокрема, широкого розповсюдження набули методи спектрального аналізу, що дають змогу виявляти часові та просторові періодичності в електроенцефалограмах, електрокардіограмах (ЕКГ), ритмограмах серця тощо.

Тривале кардіомоніторування пацієнта в умовах вільного пересування, вперше введене до медичної практики Холтером у 1961 р. [1], зараз є поширеною методикою, яка дозволяє отримувати часом унікальну інформацію про частоту та клінічні виявлення аритмій серця під час різних захворювань [2, 3]. Крім того, комбінування холтерівського моніторування з різноманітними навантажувальними пробами дозволяє виявляти та досліджувати аритмії у хворих з ішемічною хворобою серця [4], а також дає дані для ритмологічного аналізу серцевої діяльності. З великої кількості відомих холтерівських кардіомоніторів найбільш доступними є комплекси «ЛЕНТА-МТ» та «IKAP» виробництва ЦНВО «Комета» (Москва, Росія). До недоліків першого з них слід віднести практично повну відсутність автоматичної обробки отриманого запису, що, враховуючи великий об'єм інформації (більш ніж 100000 кардіоциклів за добу), істотно перешкоджує її аналізу. Кардіомонітор типу «IKAP» провадить вибірковий запис обмеженої кількості 5-секундних фрагментів у моменти порушення ритму чи зміщення ST-сегменту. Такий підхід потребує дуже «чистого» ЕКГ-сигналу, отримання якого у реальних умовах проблематично.

В даній роботі описується аппаратно-програмний комплекс (АПК) на базі кардіоаналізатора ЛС-1 («ЛЕНТА-МТ») та персонального комп'ютера (ПК) класу *IBM PC XT/AT*. Комплекс призначений для автоматичного визначення RR-інтервалів, амплітуд QRS-комплексів, тривалостей QRS-комплексів, тривалостей PQ-інтервалів, передачі отриманих даних в ПК, одержання та подальшого аналізу ритмограм. Об'єднання кардіоаналізатора та ПК здійснюється за допо-

могою двох спеціально сконструйованих інтерфейсних плат. Одна з них встановляється в кардіоаналізатор, а інша — в стандартний з'єднувач поширення ПК. Плати з'єднуються між собою інтерфейсним кабелем. Здійснені схемні рішення дозволяють надійно синхронізувати роботу кардіоаналізатора та ПК, а також зберегти інформацію про реальний час кардіомоніторування. Введення інформації в ПК здійснюється під керуванням програмного забезпечення у режимі зчитування з магнітної плівки, що дозволяє за 15 хвилин отримати дані добових вимірювань. Отримані дані у стислому вигляді записуються на магнітний диск ПК і використовуються як початкова інформація для подальшої обробки. Розроблене програмне забезпечення є інтерактивною графічною оболонкою і має в собі модуль аналізу артефактів, модуль перегляду ритмограм, модуль статистичного та спектрального аналізу ритмограм.

Модуль аналізу артефактів дозволяє користувачу встановлювати граничні значення для всіх визначених параметрів ЕКГ та позначити на ритмограмі ділянки, для яких ці параметри виходять за межі граничних.

Модуль перегляду ритмограм дозволяє переглянути на еcranі ПК ритмограму за весь час моніторування, до того ж одночасно на еcranі зображена інформація за одну годину.

Модуль статистичного аналізу дає можливість провести варіаційну пульсометрію, збудувати скатерограму та разрахувати статистичні характеристики обраної ділянки ритмограми за методикою Баєвського [3].

Модуль спектрального аналізу дозволяє отримати функцію спектральної густини довільної ділянки ритмограми за методом періодограм Уелча та за методами параметричного спектрального аналізу (AP-модель, передбачення вперед та назад [6]).

Серед переваг комплексу треба підкреслити можливість тривалого моніторування серцевого ритму, проведення математичної обробки ділянок як великої, так і малої тривалості, можливість виявлення повільних коливальних складових ритму, можливість виявлення та математичної обробки ділянок, зв'язаних з епізодами болю, порушення ритму, прийому медикаментів, тощо. При цьому зберігається вільність пересування хворого.

Література

1. Holter N.J. New method for heart study. Continuous electrocardiography of active subjects over long periods is now practical // Science. — 1961. — 134. — P. 1214–1220.
2. Winlle R.A. The relationship between ventricular ectopic peat frequency and heart rate. — Circulation, 1982. — 66. — P. 439–446.
3. Баєвский Р.М., Кирилов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. — М. : Наука, 1984. — 221 с.
4. Марпл С.Л. (мл.) Цифровой спектральный анализ и его приложения. — М. : Мир, 1990. — С. 584.



Розширення динамічного діапазону активних імпульсних систем виявлення і розпізнавання просторових неоднорідностей

Володимир Бобков, Зеновій Косак, Володимир Погребенник,
Петро Сопрунюк, Наталя Хмелярчук

Фізико-механічний інститут АН України

Україна, 290601 Львів, МСП
бул. Наукова, 5
тел.: (032) 263-52-77

В таких активних імпульсних системах, як системи підповерхневої відеоімпульсної локації, гідролокації, радіолокації, системах імпульсного неруйнуючого контролю, основним критерієм якості є їх динамічний діапазон. Теоретично динамічний діапазон в активних імпульсних системах може досягати 200 дБ.

Через залежність затухання ехо-сигналів від часу їх приходу динамічний діапазон системи є часовою монотонно зростаючою функцією, тоді як вхідний сигнал описується часовою монотонно спадною функцією.

Обмежуючим фактором при технічній реалізації активних імпульсних систем є відносно малий і фіксований динамічний діапазон приймального вимірювального тракту, який може досягати 60 дБ. Накладання цього фактору на часову функцію вхідного сигналу обмежує величину часового вікна прийому ехо-сигналів і можливості їх розпізнавання.

Для розширення динамічного діапазону приймального вимірювального тракту використовують як активні, так і пасивні методи або їх комплексацію.

Традиційним активним методом є блокування приймального тракту на час випромінювання зондуючого імпульсу. Технічна реалізація цього методу має кінцевий час відновлення параметрів пристрою блокування, що приводить до виникнення синхронної завади у вигляді монотонно спадної часової функції. Аналогічна за виглядом синхронна завада виникає в пасивних вхідних частотно-вибіркових колах в критичному режимі навантаження, що є типовим для відіомпульсних кіл, а також в середовищі випромінювання зондуючого сигналу.

Синхронні завади у вигляді монотонно спадних часових функцій є одним з основних факторів, які обмежують динамічний діапазон активних імпульсних систем. Характерною їх особливістю є широкосмуговість та наявність постійної складової в часовому вікні прийому ехо-сигналів.

Застосування автоматичного керування підсиленням у випадку сильних синхронних завад або слабких ехо-сигналів при фіксованому шумовому порозі проблематичне завдяки відсутності фільтруючого впливу цього засобу обробки сигналу.

Розширення динамічного діапазону системи при цьому можливе лише при додатковій фільтрації сигналу на вході приймального тракту з метою пригнічення синхронних завад.

Активна фільтрація синхронної завади за рахунок віднімання від вхідного сигналу її модельного сигналу, що отримується в процесі адаптації системи перед початком і протягом роботи, досліджувалась авторами на III Всеесоюзній науково-технічній конференції «Прийом і аналіз надширокосмугових коливань природного походження». При всіх перевагах даного методу він має суттєвий недолік — складність його технічної реалізації.

Пасивна фільтрація синхронної завади найбільш доцільна завдяки відсутності в ній обмежень по динамічному діапазону та простоті її технічної реалізації.

В конкретному випадку, при апріорно відомих довжині ехо-сигналів і параметрах синхронної завади, при простоті технічної реалізації на пасивних елементах, доцільно використання методу узгодженої фільтрації для прямокутного імпульсу.

Відомі методи фільтрації, базуючись на спектральних розбіжностях сигналу і завади, при малій апріорній інформації про заваду, в основному розраховані

на максимізацію корисного сигналу, наприклад, оптимальна узгоджена фільтрація, фільтрація з передбаченням сигналу Колмогорова—Вінера.

В активних імпульсних системах априорна інформація про характер ехо-сигналу обмежена, тому що їх основною функцією є не тільки виявлення, але й розпізнавання ехо-сигналу. В той же час параметри синхронної завади досить добре відомі. Виходячи з цього, для розширення динамічного діапазону активних імпульсних систем пропонується метод фільтрації ехо-сигналів кінцевої відомої довжини на фоні синхронних монотонно спадних завад, який полягає в тому, що по ряду попередніх значень входного сигналу передбачається наступне значення входного сигналу за відомим законом зміни синхронної завади і віднімається від реального його значення.

Технічна реалізація даного методу можлива на пасивних елементах і для випадку експоненціального наближення синхронної завади і відеоімпульсних ехо-сигналів по простоті може бути співставлена з методом узгодженої фільтрації прямокутного імпульсу. При цьому переваги пропонованого методу в порівнянні з методом узгодженої фільтрації прямопропорційні відношенню постійної часу експоненційної апроксимації синхронної завади до довжини ехо-сигналу, що в одній з технічних реалізацій цього методу при величині цього відношення, рівного 10, дало покращення співвідношення сигнал/завада майже в п'ять разів.

Запропонований метод фільтрації представляється перспективним напрямом в розширенні динамічного діапазону активних імпульсних систем виявлення і розпізнавання просторових неоднорідностей.



Діагностика стану навколоземного атмосферного звукового каналу

Віктор Болтенков, Віктор Тарасов

СКБ «Молния»

Україна, 270005 Одеса
бул. Хворостіна, 45
тел.: (048) 232-73-22

Поширення звуку в навколоземному атмосферному каналі істотно залежить від великої кількості метеофізичних параметрів, а саме: градієнтів температури і швидкості вітру, стану земної поверхні тощо. В зв'язку з тим, що більшість цих параметрів є швидко флюктууючими, стан каналу змінюється досить швидко. В задачах прогнозу розповсюдження звуку на довгих трасах вельми важливо оперативно діагностувати стан каналу без застосування таких трудомістких і дорогих засобів, яким є традиційне куля-пілотне зондування атмосфери.

Метод, що пропонується, дозволяє здійснювати інтегральну діагностику звукового каналу з достатньою точністю за короткий відрізок часу.

Навколоземний атмосферний акустичний канал розглядається як лінійна система з імпульсною характеристикою $h(t)$. Сигнал на виході каналу зв'язаний з сигналом $S_0(t)$ на його вході інтегралом згортки:

$$S(t) = \int_0^t h(t-\tau) S_0(\tau) d\tau. \quad (1)$$

Оцінка імпульсної характеристики основана на випромінюванні спеціально синтезованого сигналу у вигляді M -послідовності звукових імпульсів [1]. M -послідовність з тривалістю періоду T , що складається з N_e елементів тривалості T_e ($T = T_e N_e$), має особливі кореляційні властивості. Автокореляційна функція (АКФ) такої послідовності має гострий пік тривалістю $2T_e$ з амплітудою N_e .

Максимальний рівень бокових пелюсток не перевищує $\sqrt{N_e}$. Оскільки M -послідовність квазіортогональна до зсуву, пік функції взаємної кореляції (ФВК) формується при зсуві двох послідовностей, рівному їх затримці. Периодичне повторення M -послідовності основного періоду T дозволяє проводити накопичення в точці прийому до досягнення потрібного рівня сигнал/шум і таким чином діагностувати канали достатньо великої протяжності.

Нехай зондуючий сигнал $S_0(t)$ задається певною M -послідовністю. Таку ж послідовність можна сформувати в точці прийому. В цій точці провадиться обчислювання ФВК, зареєстрованої на прийомі послідовності $S(t)$ та еталонної послідовності. Сигнал на вході корелятора має вигляд:

$$y(t) = \int_0^T S(t) S(t-\tau) d\tau. \quad (2)$$

Підстановка в останній вираз згортки (1) і зміна порядку інтегрування дозволяє записати, що

$$y(t) = \int_0^t R(t) h(t-\tau) d\tau, \quad (3)$$

де $R(t)$ — АКФ M -послідовності. При достатньо великій кількості елементів N_e та їх малій тривалості T_e з доброю ступінню наближення вираз (3) можна розглядати як реакцію каналу на д-функцію, тобто $y(t)$ є достатньо близьким до $h(t)$.

Метод, що пропонується, легко реалізувати за допомогою потужних акустичних випромінювачів імпульсів детонаційного типу [2]. Для генерації M -послідовності імпульсів за допомогою такого випромінювача достатньо сформувати в точці випромінювання M -послідовність і проводити генерацію імпульсу у відповідності з одиничними елементами M -послідовності. Це здійснюється при управлінні запальною свічкою труби випромінювача від генератора M -послідовності.

Було проведено комп'ютерне і натурне моделювання методу. При комп'ютерному моделюванні як елемент послідовності був взятий реальний імпульс тривалістю 4 мс. M -послідовність формувалася для $N_e = 127$ з наступним періодичним повторенням для моделювання накопичення на прийомі.

Для презентабельної вибірки спостережень, що виповнювалися метеозондуванням для різних градієнтів швидкості звуку, типів ґрунтів та стандартного поглинання, була розрахована за швидкодіючою програмою [2] відповідна вибірка імпульсних характеристик, поділена на 10 класів стану звукового каналу. Класифікація для розпізнавання належності стану до одного з класів проводилась квадратичним класифікатором з навчанням. В результаті експериментів і моделювання встановлено, що для трас довжиною 2–3 км при часі накопичення на прийомі 5 хвилин ймовірність правильної класифікації стану каналу складає не менше як 0,9. Принципово можлива більш детальна діагностика стану навколоzemного атмосферного звукового каналу для числа класів стану 50–100.

Література

1. Теория и применение псевдослучайных сигналов / А.И. Алексеев, А.Г. Шереметьев, Г.И. Тузов, Б.И. Глазов. — М. : Наука, 1969. — 368 с.
2. Экспериментальные и теоретические исследования мощных акустических импульсов в атмосфере / Г.Г. Балин, В.А. Кудрявцев, Ю.В. Новиков и др. // Акуст. журн. — 1988. — № 2. — С. 232–236.
3. Болтенков В.А., Румянцев В.Б. Сравнительный анализ эффективных методов моделирования в плоскослоистых средах // 43-я Всесоюз. науч. сессия, посвящ. Дню радио : Тез. докл. — М. : Радио и связь, 1988. — Ч. 1. — С. 78–79.

Формування ознакового опису акустичного імпульсу, інваріантного до дії атмосферного каналу

Віктор Болтенков, Віктор Тарасов, Олександр Іванов

СКБ «Молния»

Україна, 270005 Одеса,
бул. Хворостіна, 45
тел.: (048) 232-73-22

В задачах сейсмічної розвідки корисних копалин найбільш розповсюджені вибухові джерела [1]. Використання таких джерел викликає генерацію супутних звукових імпульсів. Має значний практичний інтерес визначення маси вибухового джерела за зареєстрованими на достатньо великий відстані акустичними сигналами, тобто задача зводиться до розпізнавання типу вибухового джерела за звуковим імпульсом.

Найскладнішим при розв'язанні задачі є вибір системи ознакового опису акустичного імпульсного сигналу в зв'язку з тим, що при його розповсюджені у флюктууючому середовищі з дисперсією, рефракцією та затуханням, котрим є навколоземний атмосферний звуковий канал, більшість інформативних ознак сигналу спотворюється [2].

У результаті досліджень встановлено, що для ознакового опису імпульсу, інваріантного до дії атмосферного звукового каналу, може бути застосована розроблена в математичній статистиці методика опису ймовірносних розподілів [1]. Зокрема, в результаті відбору за критерієм інформативності та стійкості для ознакового опису акустичного імпульсу в часовій області були виділені такі характеристики:

- положення максимуму першої негативної напівхвилі імпульсу t_{\min} ;
- центроїд імпульсу (перший часовий момент) T_1 ;
- другий часовий момент T_2 ;
- ефективна тривалість імпульсу $T_{\text{еф}} = \sqrt{T_2 - T_1^2}$;
- відстань між центроїдом і t_{\min} ;
- відношення $S = T_{\text{еф}} / (T_1 - t_{\min})$.

У спектральній області обчислювались такі ознаки: максимум (мода) унімодального згладженого спектру ω_{\max} ; центроїд спектру (перший спектральний момент) M_1 ; рухомість спектру (другий центральний спектральний момент) M_2 ; асиметрія спектру (третій спектральний момент) M_3 ; ексцес ($M_4 - 3$); складність спектру $\sqrt{M_4}$; відстань між центроїдом і максимумом $M_1 - \omega_{\max}$.

Кожний імпульс описується наведеним 13-вимірним ознаковим описом. На базі презентабельної експериментальної виборки була сформована вибірка для навчання квадратичного класифікатора щодо чотирьох класів, що відповідають різним масам сейсмічних джерел. При навчанні за вибіркою обсягом 20 сигналів для кожного класу при розпізнаванні вибірки з 120 сигналів отримана ймовірність правильної класифікації класу джерела 0,92 для різних станів атмосферного каналу на відстані 1–2 км (різні градієнти температури та вітру, різні види ґрунту). Подальші дослідження полягають у знижуванні розмірності ознакового простору без суттєвого зниження якості розпізнавання.

Література

1. Анализ и выделение сейсмических сигналов / Ч.Х. Чжань, Э.А. Робинсон, М.Т. Сильвия и др. — М. : Мир, 1986. — 238 с.
2. Болтенков В.А., Иванов А.И., Тарасов В.А. Исследование импульсной характеристики приземного атмосферного канала // Тез. докл. 11-й Всесоюз. акуст. конф. — М. : Акуст. ин-т, 1991. — Секц. III. — С. 37–40.
3. Бат М. Спектральный анализ в геофизике. — М. : Недра, 1980. — 535 с.

Апаратно-програмний комплекс одержання об'ємних зображень серця та дослідження його функцій

Сергій Вагін, Віктор Великодний, Андрій Кирилов,
Сергій Попов, Юрій Потапович, Олександр Руцький

Дніпропетровський державний університет,
Запорізький обласний кардіологічний диспансер

Україна, 320625
Дніпропетровськ,
просп. Гагаріна, 72
Тел.: (056) 246-55-97

Одним з найвизначніших досягнень, пов'язаних із застосуванням ПЕОМ в галузі кардіології, є методи візуалізації серця, такі, наприклад, як комп'ютерна томографія та ехокардіографія. Проте, досить актуальною залишається проблема отримання об'ємних зображень серця за допомогою ультразвукових методів, які, як відомо, є одними з найменш травматичних для пацієнта. Дослідження у цій галузі розвиваються у двох основних напрямках. Перший з них суттєво базується на застосуванні томографічних алгоритмів і потребує дуже складного та швидкодіючого обладнання. Другий підхід пов'язаний з реконструкцією об'ємної форми серця на базі набору *B*-екокардіограм, отриманих за допомогою поширеніх та досить дешевих *B*-екокардіографів.

У цій роботі описано апаратно-програмний комплекс (АПК) реконструкції об'ємних зображень серця на базі ультразвукового діагностичного комплексу «*Combison 320-5*» (Австрія) та ПЕОМ класу *IBM PC/AT*.

В розробленому комплексі введення в ПЕОМ відеозображення, що формує ехокардіограф «*Combison 320-5*» у стандарті *CCIR*, здійснюється за допомогою спеціально розробленої інтерфейсної плати. Відеосигнал оцифрується шестирозрядним швидкісним АЦП та накопичується у буферному ОЗП об'ємом 16 Кбайт, а потім за час зворотнього ходу кадру вміст буферного ОЗП передається в ПЕОМ у режимі 16-розрядного прямого доступу до пам'яті.

Запропонований пристрій забезпечує введення повного *TV*-растру з розмірами 512×512 пікселів при 64 градаціях сірого за час 16 послідовних напівкадрів (320 мS). При цьому є можливість скоротити час введення растру до чотирьох напівкадрів (80 мS) за рахунок «вирізки» необхідної четверті растру чи за рахунок погіршення розрізнювальної здатності зображення вдвічі в рядках та стовпчиках. Точність фіксації пікселя на растрі (35 нS, 1/1500 частка рядка) забезпечується схемою прив'язки фази тактового генератора АЦП.

Інтерфейсна плата має пристрої, які синхронізують вимірювання з ритмами серця та дихання, а також пристрої керування кроковим двигуном маніпулятора ультразвукового датчика та керування старт-стопним механізмом «*Combison 320-5*». Синхронізація з циклом дихання забезпечується за допомогою оригінального пневмографічного датчика, а з циклом діяльності серця — програмним аналізом електрокардіограми.

Програмне забезпечення, що входить до складу АПК, є інтерактивною графічною оболонкою, що забезпечує користувачеві такі основні можливості:

- ◆ отримання у задану мить кардіоциклу та накопичення у відповідній базі даних двовимірних УЗ-зображень серця (в автоматичному режимі — кінець систоли та кінець діастоли);

- ◆ інтерактивне та напівавтоматичне редагування двовимірних зображень, вимірювання основних розмірів (діаметр аорти, товщина стінки лівого шлуночка тощо);

- ◆ реконструкція тривимірної форми серця та подання її у вигляді «дротової сітки», блок-діаграми та суцільного об'єкту з імітацією освітлення;

- ◆ обчислення гемодинамічних показників (об'єм лівого шлуночка в систолі та діастолі, фракція вигнання тощо) з підвищеною точністю;
- ◆ приведення усіх розмірів, що вимірюються, до нормованих координат. Це дає можливість порівнювати характеристики серцевої діяльності різних осіб та встановлювати межі між нормою та патологією;
- ◆ підтримування бази даних, де, окрім зображень, зберігається інформація про пацієнта та одержані дані гемодинамічних вимірювань, причому підтримуються стандартні сервісні функції СКБД: пошук, фільтрація, сортування і таке інше;
- ◆ видання на паперовий носій стандартної картки УЗ-зображення пацієнта з вибраною В-ехокардіограмою та одержаним об'ємним зображенням.

Таким чином, розроблений комплекс, базуючись на досить поширених та порівняно недорогих складових, дозволяє значно підвищити ефективність УЗ-діагностики серцевих захворювань, особливо у складних випадках. Комплекс легко може бути модифікований для роботи з В-ехокардіографом іншої системи (*Aloko, Toshiba, Hewlett Packard*), що має стандартний відеовхід.



Моделювання сигналів електричної активності мозку людини для задач об'єктивної аудіометрії

Максим Гамаєв

НДІ радіоелектронної техніки «TOP»
при Київському політехнічному інституті

Україна, 252056 Київ
просп. Перемоги, 37
Tel.: (044) 441-91-36

Досі єдиною припустимою можливістю об'єктивної діагностики стану слухової системи дітей раннього віку є спосіб, який ґрунтуються на реєстрації та аналізі слухових викликаних потенціалів (СВП) мозку людини [1, 2]. Аналіз СВП зводиться до встановлення залежності рівня і латентності (затримки) СВП від параметрів звукового стимулу. Реєстрація СВП провадиться на тлі природної електричної активності мозку. Рівень СВП сумірний з інтенсивністю фонових потенціалів, тому завдання об'єктивної аудіометрії зводиться до класичної проблеми визначення параметрів сигналу на тлі завад [3]. Виявлення оптимальних процедур фільтрації СВП і дослідження їх якості потребує розробки адекватних моделей природної і викликаної електричної активності мозку людини.

СВП являє собою хвилеподібний процес, який має невелику кількість екстремумів різного знаку. До цього часу латентність СВП оцінюється як затримка екстремумів сигналу відносно моменту надходження стимулу, причому ця оцінка проводиться для кожного екстремуму незалежно від інших [1]. Внаслідок обробки експериментальних даних, наведених в літературних джерелах [1, 4, 5], одержано оцінку величин «поточних періодів» коливання СВП, тобто часових інтервалів між екстремумами одного знаку, та знайдено дисперсію цих оцінок. Результати аналізу дають можливість з достатньою точністю моделювати СВП функцією виду $\sin(\bar{x} - \tau)/(\bar{x} - \tau)$, де параметр \bar{x} визначає середній «період» СВП, а τ — шукану оцінку латентності для найбільшого максимуму СВП.

Аналіз літератури [2, 6] приводить до висновку, що природна електрична активність головного мозку являє собою нестационарний випадковий процес, який є сумою квазіперіодичних коливань α -, β -, γ -, θ -, δ - ритмів, які відрізняються частотами та рівнями. Нестационарність пояснюється зміною функціональних станів мозку [6]. Кожному функціональному станові притаман-

ний свій домінуючий ритм, в межах якого процес можна вважати стаціонарним. Все це дозволяє моделювати природну активність у вигляді суми локально-стаціонарних гаусових процесів, існуючих на певних часових інтервалах і відповідних домінуючим ритмам стану мозку. Члени суми мають вигляд добутку вузькосмугового стаціонарного гаусового процесу та функції, яка визначає особливості часової структури ритмів («веретеноподібність» а- і β-ритмів тощо) й змінюється повільно порівняно з середньою частотою ритму. Вузькосмуговий стаціонарний процес моделюється як відгук формуючого фільтру на дію білого шуму. Смуга прозорості й середня частота формуючого фільтру встановлюються відповідно до параметрів ритму [6].

Особливий клас завад складають так звані артефакти — спалахи електричної активності мозку, пов'язані з випадковою м'язовою активністю людини (кліпання очима тощо). Основними властивостями цих завад є випадковість появи, повільність зміни порівняно з α-ритмом, амплітуда, що значно перевищує середній рівень природної активності. Доцільною моделлю такого сигналу є пуссонівський потік імпульсів з середньою інтенсивністю 0,2 – 0,5 імпульсів за секунду. Для формування цих імпульсів слушно скористатися імпульсною характеристикою фільтру, який формує «повільну» часову структуру природних ритмів.

Наведена модель повністю не вичерпuje всієї складності природної й викликаної електричної активності мозку [6], але в ній відображені більшість процесів, спектри яких або перекриваються зі спектром СВП, або розміщені в сусідніх смугах, і які впливають на якість оцінки параметрів СВП.

Література

1. Новикова Л.А., Рыбалко Н.В., Алиева З.С. Методологические рекомендации по объективной аудиометрии. — М. : Ин-т дефектологии АПН СССР, 1987. — 14 с.
2. Егорова И.С. Электроэнцефалография. — М. : Медицина, 1973. — 234 с.
3. Куликов Е.К., Трифонов А.П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. — М. : Сов. радио, 1978. — 296 с.
4. Шагас Ч. Вызванные потенциалы мозга в норме и патологии. — М. : Мир, 1975. — 316 с.
5. Констандов Е.А., Дьячкова Г.Н. Вызванные потенциалы коры головного мозга человека на осознаваемые и неосознаваемые звуковые стимулы // Нейрофизиология. — 1975. — 3, № 2. — С. 15–18.
6. Биопотенциалы мозга человека / Под ред. В.С. Русинова. — М. : Наука, 1988. — 327 с.



Об'єктивна аудіометрія за допомогою цифрової обробки спектрів слухових викликаних потенціалів

Максим Гамаєв

НДІ радіоелектронної техніки «ТОП»
при Київському політехнічному інституті

Україна, 252056 Київ
просп. Перемоги, 37
Тел.: (044) 441-91-36

Об'єктивна діагностика слухової системи людини за допомогою слухових викликаних потенціалів (СВП) мозку [1 – 3] потребує вирішення задачі оптимальної оцінки параметрів СВП, прийнятих на фоні природної електричної активності мозку і шуму апаратури.

В межах моделі електричної активності, запропонованої в [4], задача зводиться до оцінки затримки сигналу відомої форми з невідомими параметрами, прийнятого разом з білим шумом і нестаціонарною завадою, спектр якої може змінюватися

від реалізації до реалізації. Специфічною умовою задачі є точна ап'орна інформація про наявність сигналу в прийнятій реалізації.

Пристрій оптимальної оцінки параметру за критерієм максимальної вірогідності [2] повинен мати оптимальний фільтр та вирішуючий пристрій, що виявляє максимум відгуку при зміні шуканого параметру. Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) фільтру має вигляд

$$|H(\omega)| = |S(\omega, \tau)| / (K(\omega) + N/2), \quad (1)$$

де $S(\omega, \tau)$ — спектр вхідного сигналу як функція затримки τ ; $K(\omega)$ — спектр завади; N — спектральна густина білого шуму.

Подолання ап'орної невизначеності, пов'язаної з нестационарністю завад, можливе двома шляхами:

1. Формування масиву характеристик фільтру $\{|H(\omega)|\}$, розрахованих за різними реалізаціями завад, і подальший їх перебір до одержання найбільшого відгуку.

2. Формування середньої АЧХ

$$|H(\bar{\omega})| = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_i(\omega)|, \quad (2)$$

де N — кількість оброблених реалізацій завади з наступною фільтрацією сигнальної реалізації.

В другому випадку час обробки сигнальної реалізації скорочується в N разів. Програма в якості оцінки залежить від розподілу спектру завад.

Найбільш доцільним способом визначення АЧХ є дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) реалізацій електричної активності. Тому і всю подальшу процедуру обчислення шуканого параметру треба виконувати в спектральній області. Використання ДПФ дозволяє виконати подальшу модифікацію АЧХ оптимального фільтру згідно з виразом

$$|H(\omega)| = \begin{cases} 1, & \text{при } \overline{K(\omega)} + N/2 \geq N_{\text{пор}}; \\ 0, & \text{при } \overline{K(\omega)} + N/2 < N_{\text{пор}}, \end{cases} \quad (3)$$

де $\overline{K(\omega)}$ — середній спектр перешкоди; $N_{\text{пор}}$ — порогове значення спектрального відліку, який вибрано за тим чи іншим критерієм.

Фільтр з АЧХ виділену (3) фізично нездійснений, але реалізується при обробці цифрових масивів спектральних відліків.

Спектральне уявлення сигналу дозволяє замінити процедуру визначення затримки еквівалентною процедурою визначення початкової фази складових спектру, виділених фільтром (3). Аналіз форми СВП дозволяє сказати, що з припустимою похибкою цей сигнал можна моделювати парною функцією вигляду $\sin(x)/x$. Таким чином, використовуючи теорему про спектр затриманого сигналу, одержимо оптимальну оцінку шуканої затримки

$$\hat{\tau} = \frac{I}{i\Delta\omega} \operatorname{arctg} \frac{B(i\Delta\omega)}{A(i\Delta\omega)}, \quad (4)$$

де $A(i\Delta\omega)$ і $B(i\Delta\omega)$ — дійсна і уявна частини спектральної складової суміші сигналу з завадою на частоті $i\Delta\omega$, $\Delta\omega = 1/T_p$, T_p — тривалість реалізації.

Обробка всього масиву відліків, виділених фільтром (3), виконується методом найменших квадратів [5], згідно з виразом

$$\hat{\tau} = \frac{n \sum_i i \Delta\omega \Phi_i - \sum_i i \Delta\omega \sum_n \Phi_i}{\sum_n (i \Delta\omega)^2 - (\sum_i i \Delta\omega)^2}, \quad (5)$$

де n — кількість ненульових спектральних відліків, одержаних після фільтрації,

$$\Phi_1 = \arctg \frac{B(i\Delta \omega)}{A(i\Delta \omega)}.$$

У відповідності з виразом (5) виконано розрахунок затримки $\hat{\tau}$ для моделі природної та викликаної активності мозку, запропонованої в [4] для всіх згаданих випадків оптимальної фільтрації при різних співвідношеннях сигналу і завади. Результати розрахунків дозволяють обґрунтувати інформаційні вимоги до об'єктивного аудіометра. В тому числі: тривалість реалізації, кількість реалізацій завад, розподільну здатність по латентності.

Література

1. Новикова Л.А., Рыбалко Н.В., Алиева З.С. Методологические рекомендации по объективной аудиометрии. — М. : Ин-т дефектологии АПН СССР, 1987. — 14 с.
2. Куліков Е.К., Трифонов А.П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. — М. : Сов. радио, 1978. — 296 с.
3. Шагас Ч. Вызванные потенциалы мозга в норме и патологии. — М. : Мир, 1975. — 316 с.
4. Гамаєв М.В. Моделювання сигналів електричної активності мозку для задач об'єктивної аудіометрії. — В цьому збірнику.
5. Брандт З. Статистические методы анализа наблюдений. — М. : Мир, 1975. — 312 с.



Діагностичне забезпечення процесу атестації електродвигунів за віброспектрами

Валерій Клочко, Анатолій Кулик,
Сергій Волков, Олександр Соколов

Харківський авіаційний інститут

Україна, 310191 Харків,
бул. Чкалова, 17
Тел.: (057) 244-27-35

Харківський електромеханічний завод

Україна, 310816 Харків,
Московський просп., 199
Тел.: (057) 236-14-27

На сьогодні актуальною проблемою в машинобудуванні є збільшення експлуатаційного ресурсу і атестація електродвигунів. Ця задача може розв'язуватись як конструктивно-технологічно, так і з застосуванням методів діагностики технічного стану електродвигунів.

В роботі для діагностики електродвигуна застосований один з найбільш перспективних підходів, який полягає в застосуванні інформації про рівні віброприскорень в 1/3-октавних смугах частотного діапазону 5 – 30000 Гц. На базі експериментальних досліджень за великим числом статистично незалежних реалізацій вдалось встановити діагностичні ознаки основних дефектів електричних машин. До ідентифікованих дефектів відносяться: стан підшипників вузлів, в тому числі визначення ресурсу змащення, вібростійкість ротора тощо.

Для розв'язання задачі класифікації двигунів визначені еталонні спектри, що відповідають відмінному, доброму, задовільному станам електричної машини заданого типу, а також виконані роботи з вибору припустимої амплітуди спектральних складових.

Для аналізу та ідентифікації віброспектрів був розроблений пакет VIBRO, котрий дозволяє проводити спектральний і кореляційний аналізи, параметричну ідентифікацію, перетворювати дані і виводити їх на монітор або принтер. Для параметричної оцінки використовувались два основних методи: найменших квадратів і максимальної правдоподібності. Ефективна взаємодія оператора і ПЕОМ

забезпечується виразною системою кольорової графіки і наявністю розвинутого інтерфейсу з користувачем. Застосовуючи пакет VIBRO, оператор може за кілька хвилин одержати повну інформацію про технічний стан електричної машини, причому результати можуть бути документовані (лістінги, тексти, графіки). Інженер має можливість розв'язувати задачі самостійно, не залучаючи експертів з вібротехніки.

Розроблений програмно-алгоритмічний комплекс передбачається використовувати для створення автоматизованих експертних систем, які дозволяють здійснювати діагностування систем різноманітних класів в умовах багатозначності і недостатньої формалізованості алгоритмів.

◆

Деякі особливості розпізнавання образів в задачах технічної діагностики

Юрій Коростіль

Інститут проблем моделювання
в енергетиці АН України

Україна, 252164 Київ,
вул. Генерала Наумова, 15
Тел.: (044) 444-98-25

Однією з основних задач технічної діагностики є задача розпізнавання несправностей в елементах технічних засобів або розпізнавання помилок, що проявляються в програмному забезпеченні. Оскільки більша частина несправностей не може бути спрогнозована на етапах проектування і розробки, то для розв'язування задач розпізнавання несправностей необхідна розробка діагностичних моделей систем, що проектуються, або програмного забезпечення, що розробляється. Діагностична модель об'єкта, що підлягає діагностуванню, повинна мати образи несправностей або помилок, які підлягають розпізнаванню. Особливість розпізнавання і специфіка цих образів полягає в тому, що останні представляють собою деяке динамічне формування, яке описує часові етапи і стадії розвитку несправностей або помилок. Тому алгоритми розпізнавання несправностей повинні обробляти параметри образів в режимі реального часу, який визначається фізичною швидкістю несправності.

Другою особливістю розпізнавання несправностей являється здатність алгоритмів прогнозувати процес розвитку несправності з певною мірою адекватності прогнозованого розвитку реальному розвиткові несправності. Це обумовлено тим, що розпізнавання несправності оправдовується лише в тому випадку, коли її розвиток можна спрогнозувати і на основі спрогнозованих даних можна сформувати відповідні дії на технічний об'єкт, які випереджували б розвиток несправності і виключали б можливість їх повного розвитку. Викладені особливості розпізнавання несправностей дозволяють коректно розв'язувати задачі діагностування технічних об'єктів.

Automatic Control Systems Diagnosis of Dynamically Similar Flying Models

Anatolij Kulyk, Oleh Cheranovsky,
Serhij Sadovnychy, Ihor Bulhakov

Kharkiv Aviation Institute

17, Chkalov Street, Kharkiv
310084, Ukraine
Phone: (057) 244-11-34

Introduction. Dynamically Similar Flying Models (DSFM) are represented by Flying Apparatus (FA) of special purpose capable of performing autonomous or remote-control flight with predetermined program and providing registration of information obtained during the flight. As to its purpose such model is a scientifically-research instrument for studying the most dangerous flight modes and phenomena characterized by high probability of natural FA loss. Growing requirements of perspective FA efficiency result in considerable complication of DSFM and their systems, the latter giving rise in technical-economical expenditures connected with preparation of DSFM for the test flight and promoting increase of the techniques service personnel subjective mistakes emergence.

All these factors adversely affect the DSFM utilization effectiveness and this makes necessary the automation of the pre-flight preparation of the model being in fact the technical state estimation. The most complicated and responsible DSFM system is the automatic control system (ACS). Therefore, ACS diagnosis itself represents the most actual problem. DSFM specific character lies in the fact that flying models ACS unique feature as well as requirements of fault elimination operativeness need the achievement of maximum possible diagnosis intensity. This circumstance does not allow to use the traditional approach to the aviation systems control when the diagnosis intensity is limited by the change assembly unit.

Diagnosis problem structurization. Due to the fact that DSFM ACS diagnosis problem belongs to the technical objects diagnosis practical problems class where maximum possible diagnosis depth is required a new signal-parametric approach based on the diagnostic model conception connecting the corresponding fault characters with the system diagnostic characters has been used for its solution. Let's consider each problem kernel.

1. *Diagnosis Models Hierarchy Development.* The problem includes physical and mathematical modeling of defective processes for obtaining models adequate to the object natural behaviour; building a set of potentially possible physical faults on the basis of experience of the system running and developing their mathematical models. Thus, the diagnostic models themselves represent mathematical models simply connecting the cause (the fault) with the effect (the output signal deviation).

2. *Fault Detection.* The task lies in establishing the fact of fault appearance in the object, as the time moment of fault appearance is an undefined event.

3. *Fault Localization.* After establishing the fault in the object it is necessary to find constructively completed part of the object (subunit, sensor, drive, etc.) where the fault has occurred.

4. *Fault Class Identification.* The essence of this problem lies in the classification of the object fault occurred, where the class is considered to be the unification of some kinds of faults which have common feature.

5. *Fault Type Identification.* Since the class combines several fault types, its concrete type is defined after identification of the current fault class. In this process the physical changes resulting in the object fault are revealed.

The structurization suggested comes the diagnosis problems to the series of interconnected problems for which the formal statement and analytical solution are possible, what allows to develop the diagnosis process effective algorithmic ensurance.

DSFM ACS diagnosis process algorithmic ensurance. In the process of development of DSFM ACS diagnosis algorithmic ensurance with the regard for the experience in ACS exploitation a set of possible physical faults $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ has been built, the latter including: drift, sensitivity change, operational amplifiers breakdown; change of parameters realized on the operational amplifiers of corrective links; input and output signals drift, varying scale ratio of multiplication schemes; drift-change of sensitivity of hygroscopic sensors of angle and angular speed, their reorientation with assembling in the DSFM gyroscope unit; signal and power wires breakage; changes in the system of power supply of DSFM board equipment; pressure drop in the pneumosystem, etc.

In accordance with the problem of achievement of diagnosis maximum possible depth the properties characterized the class, place and the fact of fault occurrence have been established and separate parameterization of these properties has been done by means of the set of parameters $\bar{\lambda} = \{\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2, \dots, \bar{\lambda}_m\}$.

On the basis of the signal-parametric approach to the dynamic systems diagnosis [1] the ACS elements diagnostic models of various degree of detailing connecting the ACS output signals deviation with the fault characters have been developed. In general the diagnostic model may be represented by the following system

$$\begin{aligned}\bar{x}(t) &= f[\bar{x}(t), u(t), \bar{\lambda}, \xi(t)], \\ \bar{y}(t) &= g[\bar{x}(t), u(t), \bar{\lambda}, v(t)];\end{aligned} \quad t \in T, \quad (1)$$

where $\bar{x}(t)$ is the defective condition vector; $u(t)$ is the control vector; $\bar{y}(t)$ is the output vector; $\bar{\lambda}$ is the fault corresponding parameters vector; $\xi(t)$ is the fault control measurement vector; $v(t)$ is the modeling errors and the output measurement vector; $f[\cdot]$, $g[\cdot]$ are non-linear piecewise differentiable functions.

ACS elements detail diagnostic models have been developed after physical and mathematical modeling of emergency and ACS nominal operation modes having been carried out, this giving possibility to establish the influence of the faults from the D set on the quality of ACS subsystems and elements functioning. The use of the conception of the diagnostic model has allowed to come up to solving problems in detection, location, class and type identification of DSFM ACS faults on a single methodological base.

Solving the problem of fault location in DSFM ACS is a classification procedure described by the following two-value predicate

$$S_2(I) = \begin{cases} 0, & I \in \Delta_0; \\ 1, & I \notin \Delta_0, \end{cases} \quad (2)$$

where I is the current value of the functional from the differential signal $\Delta y(t) = y(t) - \bar{y}(t)$; in this case $I = |\Delta y(t)|$; Δ_0 is the tolerance value.

After ACS fault having been located it is necessary to establish the place of its occurrence. In accordance with the adopted diagnostic model conception according to which the fault and system characters are connected by the definite analytical relations the problem of place tracing comes to the classification processing of the system diagnostic characters $\Delta y(t)$ with the purpose of class identification of the diagnostic model which describes the occurred fault characterized by the character $\Delta \lambda_1$. In this case the characters various properties $\Delta y(t)$ reflected with the help of the corresponding two-value predicates such as

$$Z = S_2 \{\Phi[\Delta y(t)], \delta\}, \quad (3)$$

are used, where $S_2\{\cdot\}$ is the two-value predicate; $\Phi[\Delta y(t)]$ is the function describing the relative characters properties $\Delta y(t)$; δ is the tolerance value. After calculation of ACS fault character value with the help of the relative diagnostic model fault l -class its classification processing giving possibility to establish the occurred fault class is carried out. The problem of fault type identification comes to the classification problem with the solution of which the characters minimum group is formed and the corresponding rules are built.

Diagnosis model. As a result of DSFM ACS diagnosis main problems solution such as fault detection, faultlocation, class and type identification the algorithmic basis for practical realization of ACS diagnosis procedures in the form of a group of corresponding dichotomic branches of ACS diagnosis process tree being in essence a diagnosis process model has been developed. The relative characters for every of which the calculation algorithm representing the two-value predicate equation has been developed are situated in the nodes of the tree.

Such equation is solved on the corresponding arrays of the source data with using the trust coefficients decreasing the influence of destabilizing factors on the received solution quality. 0 or 1 value which defines the further propagation along the tree is received as a result of predicate equation solution. The tree ends with the leaves which correspond to DSFM ACS possible conditions and predetermined fault types. The ACS diagnosis process mathematical model developed in such form is realized simply enough as a complex of ACS diagnosis software.

Practical application. The developed diagnosis algorithmic ensurance for one of the DSFM ACS types has been realized as a program complex in Pascal for PDP-11 class personal computers [2]. DSFM ACS diagnosis software and hardware have been tested in the test-bed conditions and have shown high efficiency and estimation adequacy of ACS technical state in the operating mode: the number of recognizable fault types for gyroscopic sensors unit is 90, for pneumatic servo-drive — 11, for standard electronic computational schemes — 10–12.

References

1. Kulyk A. Signal-parametric Method of Non-linear Dynamic Systems Diagnosis // Computer Modeling. — 1990. — № 1. — P. 55–59.
2. Kulyk A., Cherenovsky O., Sadovnychy S. Flying Models Control Systems Diagnosis Automation in Stand Tests. — Kharkov : Aviation Inst., 1990. — 107 p.



Основи вібраакустичного діагностування технічного стану машинного обладнання

Василь Мигаль

Науково-дослідний інститут
НВО «Харківський електромеханічний завод»

Україна, 310816 Харків
Московський проспект, 199
Тел.: (057) 290-52-71

Довідник «Основи вібраакустичного діагностування машинного обладнання» вміщує детальні дані про властивості і характеристики вібрації, джерел вібрації і причини її виникнення, методики вібраакустичного діагностування технічного стану механізмів і машин, без знань яких неможливо: розробляти і виготовляти машинне обладнання високої надійності та довговічності, контролювати якість монтажу машин на об'єктах, підвищувати надійність та економічну ефективність експлуатації машинного обладнання.

Книга являє собою систематизований огляд численної літератури, вітчизняних та закордонних стандартів в сфері віброакустичних вимірювань і вібродіагностиування та експериментальних робіт за участю автора. Обсяг довідника — 400 сторінок машинописного тексту, в тому числі ілюстрацій — 180, із яких 139 малюнків та 41 таблиця.

В главі 1 дано короткі визначення основних понять та термінів. Описані: особливості розповсюдження вібрації в машинах, частотні діапазони вібраційних процесів, техніка вимірювань вібрації, кількісна оцінка та параметри вібрації; розподіл джерел вібрації; методи та посібники діагностичної обробки та аналізу сигналів вібрації.

Глава 2 вміщує в основному нові дані про принципи віброакустичного проектування та основи нормування вібрації машин, що дозволяє обґрунтовано розробити технічне завдання на проектування машин заданої надійності та сформулювати вимоги до технології виробництва; визначити оптимальні конструктивні та динамічні параметри деталей та вузлів і з'єднань; режимів роботи; забезпечити вібраційний контроль та доводку машин; визначити методи діагностиування технічного стану.

Глава 3 знайомить з визначеннями динамічних характеристик механізмів і машин в агрегатах та на фундаментах; оцінками за вібраційними характеристиками якості монтажу машинного обладнання, зміщення осей валів, розцентровки муфт, перекосів в з'єднаннях, кріплень машин до фундаментів, наявності механічних зазорів і несиметричних навантажень та резонансних явищ.

Глава 4 знайомить з віброакустичною діагностикою машин в процесі експлуатації, обмірковуються питання вибору віброперетворювачів, впливу способу їх кріплення та зовнішнього середовища на точність визначення сигналу вібрації. Описана стратегія і методи діагностиування технічного стану машин, процедура пошуку характерних діагностичних ознак неполадок машин. Детально розглянуті джерела вібрації, причини виникання та зміни вібрації в процесі експлуатації механізмів, діагностичні ознаки дефектів в механізмах: зубчатих передачах, підшипниках кочення, підшипниках ковзання, електромеханічних системах електричних машин.

Далі, в главі 5, приведено міжнародні та ряд вітчизняних експлуатаційних норм вібрації машинного обладнання. Особливу увагу приділено вибору методів та технічних засобів контролю стану машинного обладнання в процесі експлуатації, прогнозуванню технічного стану на стадії проектування та залишкового ресурсу машин в процесі експлуатації. Описані методи діагностиування дефектів, що зароджуються.

Завдяки добре продуманій структурі викладання матеріалу та практичній спрямованості довідника він є добрым посібником для підвищення кваліфікації конструкторів та інженерів з монтажу та експлуатації машинного обладнання, для студентів, спеціалістів по розробці діагностичних систем контролю технічного стану обладнання, підготовки операторів з віброакустичних вимірювань та віброакустичного діагностиування технічного стану машин.

Про вірогідність розпізнавання дефекту при віброакустичному діагностуванні технічного стану машин

Василь Мигаль

НДІ НВО «Харківський електромеханічний завод»

Україна, 310816, Харків
Московський проспект, 199
Тел.: (057) 290-52-71

Розпізнавання дефекту, несправності є однією з найважливіших задач діагностики технічного стану об'єкту. Щоб поставити діагноз, потрібно в умовах обмеженої інформації і великих рівнів завад визначити основні складові вібрації (що зумовлені дефектами), які підлягають розпізнаванню. Як основні параметри розпізнавання дефектів можуть бути частота, частота та амплітуда спектральної компоненти, напрямок вібрацій, фазове співвідношення вібрацій, модуляційні характеристики частот та амплітуд огинаючої в околі частот збудження або власних частот вузла та ряд інших. Відмова та дефекти пов'язані з вібропроцесами в машинах різноманітними способами. Вони можуть бути такими, що спричиняються вібропроцесами, що спричиняють вібропроцеси або змінюють їх характеристики.

Ймовірність визначення дефекта в спектрі вібрацій залежить від якості оцінювання параметрів і характеристик вібрацій механізму в умовах безперервної зміни стану механізму в просторі та часі.

Перша складність проблеми розпізнавання дефектів полягає в тому, що технічний стан навіть однотипових механізмів, які виготовлені за одними й тими ж самими кресленнями і на однаковому технологічному устаткуванні, має індивідуальні особливості внаслідок недоліків конструкцій, технологій виготовлення, помилок при збиранні та монтажі вузлів в механізмах, машин та агрегатів, які утворюють різні шляхи розповсюдження вібрацій. А якщо шляхи розповсюдження вібраційного сигналу в з'єднаннях деталей не мають ідентичного коефіцієнту згинання (передаточної функції), то дефекти однакового характеру можуть створювати різні сигнали в точці вимірювання і, отже, можуть бути причиною різноманітних тлумачень і висновків. Тому оцінка технічного стану групи машин лише за однією нормою зміни величини амплітуди може спричинити помилку. Ймовірність помилки підвищується із збільшенням частоти прояву дефекту (від 1 до 20 кГц) і знижується зі зменшенням частоти від 1 кГц до 1 Гц.

Друга складність розпізнавання дефекту полягає в нескінченній множині можливих станів механізмів внаслідок безперервності їхніх змін у просторі та часі. В результаті амплітудно-частотний спектр вібрацій розвинутого дефекту і того, що зароджується, не завжди однаковий в просторі ознак.

Щоб опрацювати метод і технологію діагностування будь-якого механізму (об'єкту), необхідно знати закономірності змін віброакустичних характеристик в часі. Не завжди такі зміни вібрацій співпадають з відомими закономірностями спрацювання машин. Наприклад, локальне спрацювання поверхонь, що контактиують, спричиняє спочатку падіння рівня вібрацій (етап припрацювання), потім цей рівень практично залишається незмінним на протязі великого проміжку часу і тільки на четвертому етапі відпрацьованого часу рівень починає рости за експонентою до моменту відмови. Дефект зчеплення деталей, що обертаються, на ранній стадії може добре діагностуватися за частотою обертання та характеристикою фази, а з часом розвитку дефекту — в області власних частот деталей та вузлів, характеристик гармонік.

Механічне спрацювання пар тертя в процесі припрацювання може сприяти зменшенню вібрації. В міру спрацювання та збільшення зазорів, динамічні сили, взаємодіючи в робочих вузлах, посилюються так само, як і їхні вібрації.

Існують оптимальні зазори — натяги між деталями в парах тертя руху і з'єднання деталей, відхилення від котрих як в більшу, так і в меншу сторону призводить до збільшення вібрацій.

Підвищення жорсткості і амортизуючого кріплення механізмів спричиняє зменшення амплітуди вібрацій на лапах машин і фланцях приєднання їх до агрегатів, трубопроводів, але призводить до збільшення вібрацій корпусних конструкцій агрегатів.

Розбирання, збирання, заміна підшипників, зубчатих коліс і інших деталей, змащення віброізолятора тощо приводить до дискретних змін спектру — до збільшення вібрації на одних частотах і до зменшення на інших. Величини змін залежать від конструктивних та експлуатаційних особливостей механізму і технологічності його ремонту.

Помилки монтажу механізмів в машинах і агрегатах (неспівпадання осей), перекоси, вгинання, великі натяги тощо в міру припрацюування або зміни температурних полів спричиняють зміну рівнів вібрацій як в більшу, так і в меншу сторону.

На практиці потрібно враховувати неоднакову діагностичну цінність різних ознак, в даному випадку вібрацій, рівнів окремих спектральних складових. Ті смуги частот, в котрих спостерігаються значні розкиди рівнів вібрації при незмінному технічному стані, надають менше діагностичної інформації. В цій ситуації корисно вдатися до побудови узагальненого вібраційного портрету стану механізму при його дефектному функціонуванні і виконувати розпізнавання станів шляхом порівняння портрету поточного частотного спектру з еталонними частотними спектрами в просторі параметрів вібрацій. Технічний стан розпізнають, виявляючи міру схожості між комплексом еталонних ознак і комплексом ознак, одержаних в процесі поточного контролю. Чим ближче спектр, що обстежується, до будь-якого з еталонних спектрів, тим більша ймовірність того, що механізм має технічний стан, близький до еталонного.

Рівні вібрацій в різні моменти вимірювань можуть являти собою реалізації однієї й тієї ж випадкової величини, що відповідає незмінному технічному станові механізму. Тому в часовому ряді статистично незалежних вимірювань рівнів вібрації необхідно перш за все переконатися в наявності тренда.

При виникненні і розвиткові несправностей деталей машин можуть мінятися їхні власні коливання. Наприклад, виріб з тріщиною має різні жорсткості на розтягування і стиснення, тобто є нелінійним об'єктом, тому його вимушенні коливання будуть відрізнятися від прикладених за формою і амплітудою. При невеликих розмірах тріщини порівняно з розмірами виробу вимушенні коливання деталі мало відрізнятимутися від коливань деталі без тріщини.

Зміна значень вібраційних ознак — наслідок зміни не тільки технічного стану, але й умов діагностування, тому при діагностуванні необхідно дотримуватись постійних умов і забезпечувати в точках кріплення віброперетворювачів заданий закон коливань. При цьому для повторюваності вібраційних впливів на об'єкти, що випробовуються і для співпадання результатів випробувань значення параметрів роботи об'єкту повинні підтримуватись в визначених межах.



Методика діагностування технічного стану газоперекачуючого агрегату за його вібраційними характеристиками

Василь Мигаль, В'ячеслав Тупиця, Михайло Животовський

НДІ НВО «Харківський електромеханічний завод»

**Україна, 310000 Харків
Московський проспект, 199
Тел.: (057) 290-52-71**

Методика розроблена для контролю технічного стану механізмів агрегату ЕГПА-235 (двигун, редуктор, нагнітач), виявлення місця і виду неполадки та дефекту.

Виміри вібрації проводяться на корпусах механізмів агрегату в кожній з восьми інформаційних точок по трьох взаємно перпендикулярних напрямках: осьовому, поперечному і вертикальному.

Вібраційний контроль агрегатів може бути проведений за повною і скороченою програмою. Для контролю технічного стану механізмів агрегату за повною програмою необхідно визначити: рівень вібрації в третьоктавних полосах частот від 12,5 до 10000 Гц, складові вібрації в вузьких полосах частот.

Технічний стан вузлів ЕГПА ділиться на п'ять класів: відмінний, добрий, допустимий, потребує ремонту, недопустимий. Технічний стан механізмів ЕГПА визначається шляхом порівняння спектrogram віброприскорень вузлів агрегату з нормативними спектrogramами для кожної інформаційної точки і кожного напрямку вимірювань. Кожна крива нормативних спектrogram показує на максимальному дозволенні значення для кожного класу технічного стану в усьому діапазоні частот від 12,5 до 10000 Гц. Клас технічного стану кожного механізму ЕГПА для будь-якого із визначених напрямків визначає найвища зона, в яку входять фактичні рівні вібрації в будь-якій смузі третьоктавного спектру.

Підвищеними рівнями вібрації вузлів механізмів вважаються спектральні складові, що входять до зони «потребує ремонту» нормативних спектрів. Для визначення причин підвищеної вібрації вузлів необхідно розглядати вузькосмужний спектр. Частоти, на яких проявляються основні складові, породжені дефектами вузлів ЕГПА, визначені для двадцяти семи видів дефектів. Основні складові вібрації, породжені дефектами електричного двигуна, редуктора і нагнітача, наведені в таблиці графічних еталонних «портретів дефекту».

Для більш глибокого розпізнавання дефекту, окрім його проявлення, враховують інші параметри коливань: амплітуду, напрямок, фазу та інші характеристики вібрації.

Розпізнавання дефекту проходить шляхом порівнянь фактичних спектrogram з комплексом еталонних ознак і «портретів дефекту».

Показано, що вірогідність виявлення дефекту за спектром вібрації машини залежить від якості обробки та обчислення параметрів і характеристик вібрації механізму.

Розроблена методика дозволяє контролювати технічний стан механізмів як при звичайних «ручних» вимірах вібрації механізмів оператором на місці, так і в режимах автоматичного контролю в залежності від наявного програмного та апаратного забезпечення системи діагностування.

Методика діагностування може бути поширена на різні класи машин і механізмів.



Оцінка струмів короткого замикання в задачах ресурсної діагностики високовольтних комутаційних апаратів

Борис Мокін, Володимир Грабко
Вінницький політехнічний інститут

Україна, 286021 Вінниця
Хмельницьке шосе, 95
Тел.: (043) 222-57-18

В електроенергетиці необхідно мати достовірну інформацію про параметри аварійного режиму роботи електричної мережі. Наприклад, для визначення комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів необхідно знати величину струму короткого замикання, який проходить через вимикач в момент комутації. Для виміру цього струму використовуються трансформатори струму, котрим властива велика похибка при струмах, які небагато більші від номінального, а саме такі струми й мають місце в електричній мережі в аварійному режимі. Тому точність визначення комутаційного ресурсу вимикачів традиційними методами є низькою.

Існує ряд методів, які дозволяють відновити дійсне значення комутованого вимикачем струму, але для цього потрібний деякий проміжок часу. В цьому разі інформація про величину струму може бути запізнілою, наприклад, коли високовольтний вимикач укомплектований пристроям дворазової автоматики повторного ввімкнення, а в електричній лінії, яка ввімкнена через цей вимикач, присутнє стійке коротке замикання.

В цій роботі пропонується спосіб, який дозволяє вимірювати величину струму короткого замикання за початковою частиною синусоїди з вимірюванням кількох значень струму та застосуванням методу найменших квадратів. При цьому за кутом нахилу початкової частини синусоїди можна встановити амплітуду сигналу. Такий підхід дозволяє отримати інформацію про дійсну величину струму за кожний період.

За запропонованою методикою розроблено аналого-цифровий перетворювач в двох виконаннях: апаратному з використанням мікросхем серій 555, 561 та програмно-апаратному з використанням однокристальної ЕОМ серії 1816.

Для побудови пристрою визначення комутаційного ресурсу високовольтного вимикача вхідний сигнал на аналого-цифровий перетворювач може поступати не тільки з трансформатора струму, але й з іншого проміжного датчика чи імітатора.

Робота фінансується Державним комітетом з питань науки і технології України по науково-технічній програмі «Ресурсозбереження».



Інформаційні характеристики багаторазово відбитих сигналів в задачах класифікації

Володимир Погребенник, Петро Сопрунок,
Володимир Бобков, Зеновій Коссак, Наталя Трушевич
Фізико-механічний інститут АН України

Україна, 290601 Львів, МСП
вул. Наумова, 5
Тел.: (032) 263-52-77

Багаторазово відбиті сигнали в шарувато-неоднорідних хвильоводах раніше не використовувались для отримання корисної інформації, а тим більше, вважалися заважаючим фактором, який утруднює інтерпретацію даних по зондуванню дна океану, в неруйнівному контролі якості плоских виробів, і усувалися спеціальними, досить складними прийомами.

В даний час з метою класифікації матеріалів шаруватих виробів використовується цілий ряд інформаційних характеристик (ІХ) багаторазово відбитих сигналів (БВС).

Для виявлення шаруватості відкладень використовують спектральні характеристики імпульсних сигналів, багаторазово відбитих від дна і поверхні океану. Теоретичний аналіз і експериментальні дослідження змін, які спостерігаються в спектрах вищих номерів відбиттів вузьких резонансних піків, дозволяє надійніше, ніж по першому відбиттю, визначити наявність шаруватості дна океану.

Методи вимірювання швидкості та затухання звуку, які використовують багаторазове відбиття, застосовуються в неруйнівному контролі якості плоских виробів.

В роботі досліджені деякі інші можливі ІХ БВС, придатні для класифікації шарувато-неоднорідних середовищ. Розглянуто процес формування БВС для спрощеної фізичної моделі в чотиришаровому середовищі. Отримані вирази для амплітуди n -го відбиття для випадку вузькосмугового сигналу, які пов'язують коефіцієнти відбиття від границь різних шарів середовища. Розглянуто різні методики обробки БВС, викладено переваги і недоліки кожної з них.

Після вибору ІХ і оптимізації алгоритму класифікації доцільно створювати відповідні процесори, які здійснюють обробку інформації за оптимізованими алгоритмами. Як приклад наведена одна з схем такого процесора для обробки інформації про характер донних відкладень.



Обробка сигналів мозку в системі розпізнавання для пульмонології

Володимир Сарана

Дніпропетровський університет

Україна, 320625 Дніпропетровськ
просп. Гагаріна, 72
Тел.: (056) 239-14-01

Використання методів цифрової обробки сигналів мозку і створення проблемно-орієнтованої системи розпізнавання (СР) дозволяє виявити та кількісно оцінити пошкодження конкретних механізмів центральної нервової системи (ЦНС) при захворюваннях бронхів та легенів, що набуває в останні роки все більшої значимості для поліпшення діагностики і лікування таких захворювань.

Один з перспективних напрямків діагностики порушень функціонального стану ЦНС пов'язаний з розвитком методів комплексної машинної обробки електрофізіологічних показників. При цьому важливо знайти методи підвищення надійності розпізнавання, які повинні враховувати індивідуальні особливості людини і дозволяти кількісно оцінювати її стан.

Метою цієї роботи було дослідження і розробка методів обробки електрофізіологічних сигналів і створення системи розпізнавання порушень функціонального стану ЦНС при бронхіальній астмі у дітей, забезпечення автоматизації процесу та підвищення надійності діагностики.

В задачі досліджень входило:

- визначення перспективних шляхів підвищення надійності діагностики та контролю лікування;
- порівняльний аналіз та обґрунтovаний вибір методів формування інформативних ознак;

- розробка і дослідження методів скорочення розмірності початкового опису і критеріїв машинної класифікації, які забезпечують підвищення ефективності діагностики;
- розробка математичної моделі СР та проведення статистичних випробувань з метою визначення ефективності системи і раціонального складу технічних засобів;
- розробка методів комплексного аналізу біосигналів для розв'язку задач діагностики при бронхіальній астмі у дітей;
- експериментальна перевірка розроблених методів, алгоритмів, програм і технічних засобів системи.

Для вирішення поставлених задач використовувались спектральні методи цифрової обробки сигналів, методи теорії розпізнавання образів, а також методи моделювання і проектування складних систем.

В результаті досліджень показані основні переваги і обґрунтована доцільність використання адаптивної спектральної обробки біопотенціалів мозку для автоматизованої діагностики неврологічних порушень при бронхіальній астмі у дітей.

Розроблено метод розрахунку параметрів адаптивного спектрального оператора, який виключає втрату інформації про полярність біолектричних сигналів (на етапі навчання системи) і підвищує можливості адаптивної діагностики стану пацієнтів. Показано, що комбіноване використання ентропійної оцінки спектру і показника, який враховує розподіл енергії в спектрі сигналу, забезпечує підвищення надійності діагностичних висновків, а також, завдяки наявності запропонованих змінних вагових коефіцієнтів, дає можливість переходу до відомих критеріїв вдосконалення алгоритмів навчання.

Розроблено математичну модель системи розпізнавання змін відгуків мозку на електричний стимул кінцівки у ритмі дихання, яка дозволяє на етапі проектування оцінити ефективність навчання і прийняття рішень, а також зробити висновок щодо можливості використання системи на практиці й визначити раціональний склад технічних засобів.

Запропонований спосіб виявлення і кількісної оцінки порушень функціонального стану конкретних механізмів ЦНС методами адаптивної спектральної обробки соматосенсорних викликаних потенціалів мозку, зареєстрованих у ритмі дихання, та кількісний показник, який забезпечує автоматизовану діагностику порушень центральних механізмів на ранніх стадіях захворювання.

Розроблені математичні методи, програмні і апаратні засоби дозволяють проводити діагностику порушень процесів в неспецифічних системах головного мозку у дітей з бронхіальною астмою, а також оцінювати функціональний стан нервової системи і здійснювати контроль за його змінами з використанням кількісних даних і врахуванням індивідуальних особливостей людини. Технічні засоби, програми і методи навчання та діагностики, які розроблені в результаті дослідження, впроваджені в практику.

