

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ: НОВІ ПІДХОДИ І ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Універсальність цифрових обчислювальних машин і пристроїв загальновідома. Вони забезпечують обчислення дискретних величин, виконання логічних операцій, обробку символічної інформації, керування технологічними процесами і багато чого іншого, причому з високими швидкістю і точністю. Безупинно зростає продуктивність комп'ютерів, що дає змогу розв'язувати дедалі складніші аналітичні проблеми. Однак для збільшення швидкості обробки інформації дуже часто доводиться створювати багатопроцесорні пристрої і/або об'єднувати їх у системи, що виконують рівнобіжні, конвеєрні та інші операції.

На цьому дослідницькому полі визрівають і нові методи цифрової обробки великих масивів даних, зокрема спектральний, кореляційний аналіз і метод фільтрації сигналів. Про їхню теоретичну базу і сфери практичного застосування йдеться у цій статті.

Понад півстоліття потому стало очевидним, що поряд з удосконалюванням обчислювальної техніки необхідно поліпшувати і саму технологію обчислень. Для цього варто використовувати не тільки алгоритми, які оптимізують кількість обчислень або спрощують аналітичні операції. Особливу увагу слід звернути на скорочення надмірності обчислюваних даних, оскільки саме це є найбільш значущим компонентом, який дає змогу поліпшити відразу низку важливих кількісних і якісних характеристик засобів аналізу інформації, про що йтиметься далі.

Як відомо, на практиці дуже часто комп'ютер здійснює обробку безперервних сигналів різної фізичної природи, що мають імовірнісний характер, тобто процесів випадкових. Клас таких сигналів надзвичайно широкий (аналіз детермінованих процесів не

проблематичний). У ході їхньої обробки відчутно виявляється недолік, що обмежує можливість раціонального використання цифрової електронної техніки: комп'ютер і подібні пристрої працюють з дискретними даними, внаслідок чого безперервний електричний сигнал потрібно представити часовою послідовністю відрізків (дискретів, або вибірок), амплітуда яких перетворюється на цифровий бінарний код. Нині для введення аналогового сигналу до комп'ютера застосовується розбивання його по всій довжині на рівномірну послідовність дискретів, частота проходження яких повинна хоча б удвічі перевищувати максимальну частоту спектра цього сигналу — така умова теореми В.А. Котельникова (на Заході її називають теоремою Найквіста або Шеннона). Це забезпечує (теоретично) реконструкцію сигналу з коду із соткотою точністю.

© ГРИЦЕНКО Володимир Ілліч. Директор Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН України. Професор кафедри ЮНЕСКО «Нові інформаційні технології в освіті».

СКУРИХІН Володимир Ілліч. Академік НАН України. Заступник директора Центру.

ЦЕПКОВ Геннадій Васильович. Кандидат технічних наук. Старший науковий співробітник відділу розподілених інтелектуальних систем Центру (Київ). 2005.

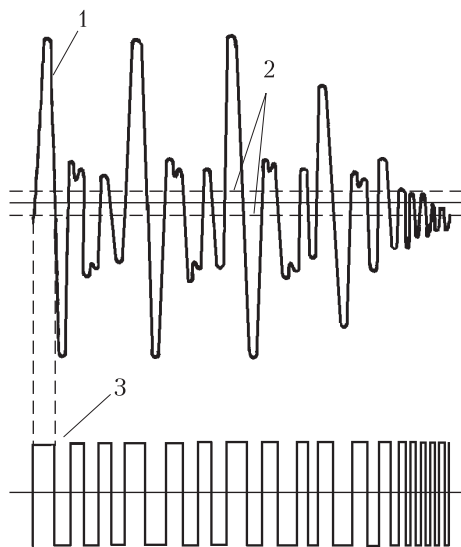


Рис. 1. Спосіб кліпування сигналу (1), рівень обмеження (2) та результат кліпування (3)

Зрозуміло, що така дискретизація досить надлишкова, навіть якщо не враховувати, що звичайно з ряду причин задають частоту дискретизації на порядок вищу, ніж того потребує теорема. Справді, рівномірна послідовність дискретів робить їх рівноцінно значущими, що не відповідає дійсності. Отже, слабкими в інформаційному відношенні дискретами доцільно знехтувати, скорочуючи тим самим обсяг вихідних даних і кількість подальших обчислень. А цим досягається не тільки зростання швидкодії обробки, а й зниження габаритів, маси, енергоспоживання і вартості цифрового пристрою. Однак тоді виникає проблема відшукування такого критерію інформативності, на основі якого можна було б оптимально виявляти найінформативніші дискрети і лише з них формувати масив даних, що підлягають цифровому аналізу.

У 40-х роках минулого століття С.О. Райс запропонував за такої критерій використовувати нульові значення сигналу і показав можливість шляхом обчислення секвент — числа нулів у заданому інтервалі часу — одержувати деякі ймовірнісні оцінки.

Перетворення сигналу за Райсом технічно зводиться до кліпування, у результаті чого утворюється знаковмінна послідовність імпульсів, ширина кожного з яких дорівнює відстані між сусідніми моментами зміни полярності сигналу (рис. 1). Нехтування амплітудними значеннями сигналу, звісно, різко спрощує обчислення і тим самим забезпечує високу швидкодю обробки, але негативно позначається на точності оцінювання: вона нижча, ніж за умови застосування інших подібних методів. Утім, про слабкість розглянутого критерію свідчить неможливість відновлення сигналу після кліпування.

Наступні теоретичні дослідження В.І. Тихонова, Р. Лідбеттера, Г. Кремера, Н.Р. Берча та ін. були, власне, варіаціями критерію Райса: пропонувалося додатково кліпувати дві похідні сигналу, розглядати «викиди» — перевищення сигналом заданих рівнів і т.п. Такі критерії теж негативно впливають на точність обробки даних, а це різко обмежує можливість їхнього широкого застосування. Тому дотепер у переважній більшості випадків аналогові сигнали вводять у цифрову апаратуру, використовуючи надлишкову рівномірну дискретизацію. Як результат — під час аналізу швидких багатокомпонентних аналогових процесів великої тривалості утворюються величезні масиви оцифрованих даних, експрес-обробку яких далеко не завжди забезпечує навіть потужний комп'ютер.

Адаптивна дискретизація аналогових сигналів. Гадаємо, що найкоротший шлях до знайдення ефективного критерію інформативності — експериментальне дослідження особливо ефективних біологічних принципів кодування сигналів. Відомо, що у сенсорних системах нервові елементи виокремлюють і передають від рецепторів до мозку лише найістотнішу інформацію. Так, звукові хвилі, спектральний діапазон яких коливається у межах від 20 до 20000 Гц, у слу-

ховій зоні кори головного мозку представлені ритмікою не вище 10 імпульсів за секунду (за даними Г.В. Гершуні) і при цьому не губляться відчуття всіх нюансів, наприклад, складної мелодії. Тим часом для введення звукових сигналів у комп'ютер, відповідно до теореми В. Котельникова, потрібно кодувати і запам'ятовувати не менше 40 тис. дискретів за секунду, кожен з яких необхідно обробити — виконати однотипні алгоритмічні операції, почасти вельми працездатні.

Наші науковці проводили електрофізіологічні дослідження механізмів кодування сигналу нервовою тканиною. При подразненні нерва (об'єктом слугував нервово-м'язовий елемент препарованої жаби) електричними імпульсами різної форми виявлено домінуючий вплив на збудливість біологічного об'єкта тих ділянок сигналу, де його похідні першого і другого порядків набувають нульових значень [1]. Виникла пропозиція замінити широко розповсюджену рівномірну дискретизацію нерівномірною — вибіркою (для наступного перетворення на бінарний код) із сигналу амплітудно-часових значень тільки у моменти перетворення на нуль, у загальному випадку — кожної з його похідних.

Щоб теоретично обґрунтувати такий метод дискретизації аналогових сигналів, І.Д. Пономарьова довела теорему [2] про можливість представити випадковий диференційований процес у вигляді ряду — суми його похідних з відповідними коефіцієнтами. Основу доказу становить запропонована нею система функцій, що утворює адаптивний базис безперервного аргументу. Базис формується з відрізків самого аналізованого сигналу, внаслідок чого цей базис стає придатним для спектрального перетворення випадкових диференційованих процесів теоретично будь-якого класу.

Отже, метод адаптивної дискретизації з теоретичного погляду є коректним. Але вибірка із сигналу даних у моменти перетво-

рення на нуль кожної з його похідних економичністю не вирізняється. Для практичного використання ряд Пономарьової можна скоротити до двох початкових членів, що характеризують швидкість і прискорення. Допустимість цього можна обґрунтувати, по-перше, відсутністю даних про вплив на нервову тканину похідних вище другого порядку [1]. По-друге, у фундаментальних співвідношеннях класичної фізики наявні також параметри не вище другої похідної. Нарешті, загальновідомо, що при візуальному вивченні різних кривих або складних образів передусім ми звертаємо увагу на екстремальні точки (нулі першої похідної) і точки перегинів (нулі другої похідної): зорова система фіксує саме ці «особливі» ділянки зображення [3].

Здійснюючи у такий спосіб вибірку та оцифрування амплітудно-часових значень сигналу у моменти, коли кожна з цих двох похідних набирає нульового значення, одержуємо стислий кодовий опис аналогового процесу. За отриманими параметрами дискретів відновити процес неважко за допомогою простих апроксимуючих функцій. Наприклад, застосувавши синусну функцію, можна отримати середньоквадратичну похибку (СКП) апроксимації не вище частки відсотка, що прийнятно для всіх практичних випадків.

Подальшого скорочення надмірності даних досягаємо кодуванням амплітудно-часових значень лише максимумів і мінімумів процесу [4]. На користь адаптивного алгоритму дискретизації — вибірки з аналогового процесу, представленого електричним сигналом, тільки його екстремумів і виміру часу їхньої появи й амплітудних значень — свідчать такі аргументи.

У передових галузях техніки превалює дослідження швидких процесів, де значущість нулів другої похідної ніби зникає (вона важлива у вивченні гладких процесів). Показано, що сигнал, заданий екст-

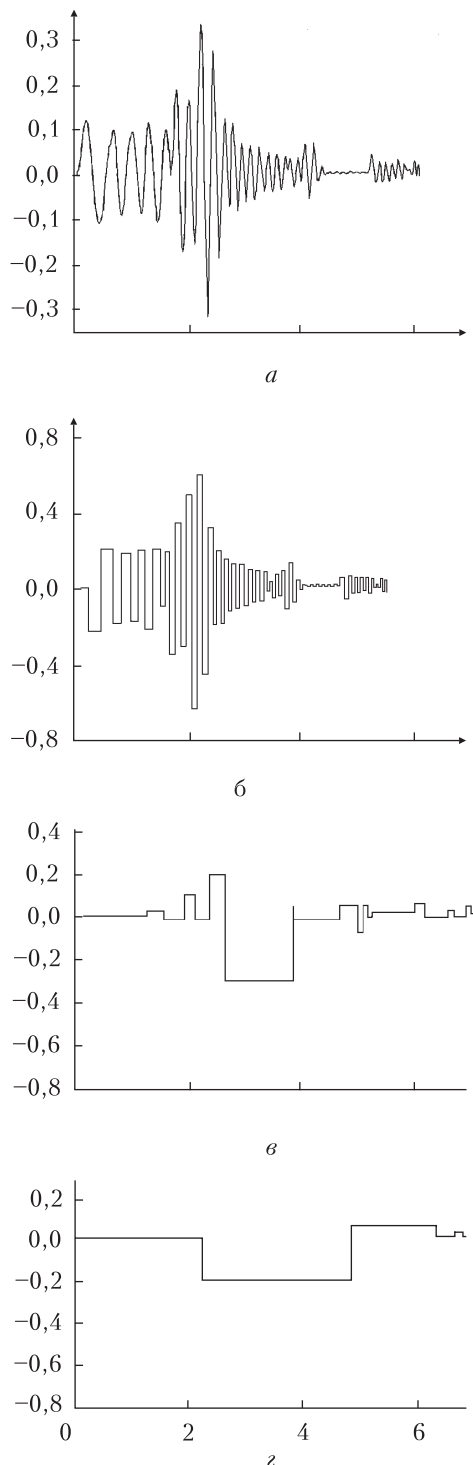


Рис. 2. Морський геофізичний сигнал (а) й етапи його спектральної обробки (б–г) в умовних одиницях

ремумами, за умов використання для апроксимації синусної функції можна відновити з величиною СКП у межах 3%, а застосування полінома п'ятого порядку дає менше 2%. Коефіцієнт скорочення надмірності цифрових даних (він дорівнює відношенню числа рівномірних дискретів до числа нерівномірних, одержуваних економічним способом перетворення) становить 3 ... 10.

З усього цього випливає: а) на частку екстремумів припадає понад 98% інформації про сигнал, що вказує на доцільність використання алгоритму дискретизації сигналу тільки за екстремумами; б) отримуємо СКП відновлення сигналу, прийнятну для розв'язання значної кількості практичних задач [4]. Подальше збільшення коефіцієнта досягається застосуванням методів спектроаналізу та фільтрації, які розглянемо далі.

Підкреслимо, що величина СКП має велике значення за умови використання в галузях, де реконструкція вихідного процесу принципово необхідна (наприклад, у телеметрії). Але коли цифровий код зазнає вторинної обробки, пов'язаної з одержанням, наприклад, імовірнісних оцінок, значущість похибки реконструкції знижується. До того ж величина СКП може нівелюватися внаслідок неминучих усереднень результатів обчислень. Однак найважливішою перевагою такого методу дискретизації є придатність отриманих даних для прямого обчислення різних ймовірнісних оцінок і характеристик. Щоб довести це, необхідно було або адаптувати традиційні методи імовірнісного оцінювання до нерівномірної дискретизації, або розробити нові, подібні до прототипів.

Поетапне розв'язання такої проблеми привело до створення високоефективної інформаційної технології. Ця технологія спирається на результати теоретичних досліджень, пов'язаних з одержанням і використанням нових адаптивних базисів. Розроблені методи спектральних перетворень, кореляційно-

го аналізу, фільтрації та ін. поєднують швидкодню з високою точністю аналізу, мають низку унікальних властивостей.

Спектральний аналіз. Розглянемо один з методів спектрального експрес-аналізу [5], теоретичною основою якого є адаптивний секвентний базис [6,7]. У цьому базисі спектр випадкового сигналу довільної тривалості можна одержати, виконавши такі дії:

- ♣ вимірюють тимчасові інтервали й амплітудні збільшення, тобто різницю амплітуд (з урахуванням їхнього знаку) між сусідніми екстремумами, за значеннями яких синтезуються послідовності прямокутних імпульсів;
- ♣ першу послідовність імпульсів формують з початкових N екстремумів, наступні — з $0,5$ даних попереднього масиву (фільтрують мінімуми або максимуми), причому серед тих, що залишилися, визначають нові екстремуми, вимірюють нові амплітудні та часові збільшення, формують прямокутники;
- ♣ після вичерпання масиву даних результат (рис. 2, б—г) або запам'ятовують для подальших обробок, або використовують для обчислення спектральної характеристики, подібної до звичного для користувача амплітудно-частотного спектра Фур'є.

В останньому випадку використовується очевидна властивість екстремумів: часовий інтервал між сусідніми максимумом і мінімумом дорівнює $0,5$ довжини хвилі — коливання відповідної частоти однієї з компонентів аналізованого сигналу. Отже, якщо визначити кількість M таких часових інтервалів та обчислити суму відповідних амплітудних збільшень (у даному разі обчислюють модуль різниці), то, розділивши результат підсумовування на M , одержимо шукане значення амплітуди цього спектрального компонента. Обчисливши у такий самий спосіб величини амплітуд для інших часових інтервалів, отримуємо спектр сигналу в часовій області.

Цей метод визначення спектра аналогового сигналу в 1981 р. був визнаний піонерним винаходом [5], однак уперше описаний тільки 1998 р. [6, 7]. Спектральні характеристики, отримані методами [5] і найпоширенішого — аналізу Фур'є, в окремих випадках збігаються, а взагалі вони різняться своїми базисами.

Якщо послідовності прямокутних імпульсів, наведених на рис. 2 (б—г), кліпувати описаним вище способом, то одержимо набір базисних функцій прямокутної форми (секвент), що відповідають вимогам теорії, — вони ортонормовані, як і синуси/косинуси базису Фур'є. Однак у першому випадку частотні компоненти сигналу виявляються відразу (в інтервалах між екстремумами) й аналіз не потребує складних обчислень, а в другому — для цього доводиться виконувати десятки тисяч операцій з громіздкими обчисленнями. У результаті найшвидші модифікації методу Фур'є — швидке перетворення Фур'є (ШПФ) у тисячі разів повільніші, ніж аналіз за методом [6, 7]. (Розроблений метод обчислення комплексного спектра, тобто амплітуд і фаз, знову ж таки на кілька порядків швидший від ШПФ).

Перелічимо унікальні властивості спектрального аналізу екстремумів сигналу.

1. Найочевиднішою його перевагою перед усіма відомими спектральними методами є надшвидкісна обробка даних.

2. Завдяки операціям обчислення кінцевих різниць (амплітудних збільшень) досягається висока стійкість методу до адитивних перешкод. Загалом який завгодно малий спектральний компонент буде виявлено, якщо його оцифрує аналоговий цифровий перетворювач (АЦП).

3. Якщо обчислення виконують паралельно, то запам'ятовувати (подібно до інших методів) сигнал не потрібно, оскільки він обробляється в темпі надходження. Таким чином, з апаратури відповідний блок пам'яті можна вилучити. Звідси також випливає,

що теоретично обмеження на тривалість сигналу знімаються — вона може бути якою завгодно великою. Для паралельних обчислень досить застосування 2–3 процесорів, що істотно менше, ніж того потребують ШПФ та інші спектральні методи.

4. Метод теоретично не критичний до будь-якої ширини спектра сигналу.

5. Він дає змогу одержувати стійкі діагностичні ознаки і під час аналізу нестационарних процесів.

Фільтрація. Для виокремлення з багатокomпонентного сигналу однієї або низки корисних складових використовуються отримані послідовності знакозмінних імпульсів, показаних на рис. 2 (б–г). Ширина кожного імпульсу, як зазначено вище, вказує на наявність у спектрі сигналу відповідного частотного компонента. Отже, щоб виокремити із сигналу тільки один частотний компонент, потрібно виключити з послідовностей імпульсів усі ті, ширина яких є більшою і меншою від заданої. Вилучення зайвих компонент зводиться до простого обнуління амплітуд зайвих імпульсів. (Фільтрація, отже, здійснюється у часовій області). Аналогічним шляхом із сигналу, що містить перешкоди, виокремлюється будь-яка сукупність корисних частотних компонент.

Простота й ефективність методу фільтрації очевидні, оскільки вилучення зайвих компонент здійснюється з урахуванням тільки одного параметра — ширини імпульсу, а інші не мають значення. Це дає змогу виокремити слабкий сигнал із перешкод дуже високого рівня. Важливо відзначити також надзвичайно високу вибірковість фільтра — вона залежить від тактової частоти цифрового аналізатора (наприклад, комп'ютера) і вже нині дає змогу відсівати частотні компоненти, що відрізняються один від одного за шириною, рівною наносекундам.

Фазові співвідношення під час фільтрації не порушуються, оскільки місце розташування екстремумів на часовій осі у процесі ана-

лізу не змінюється. Обробка здійснюється в реальному масштабі часу. Метод вирізняється простотою реалізації й аналогів не має.

Після фільтрації корисний сигнал можна синтезувати з фрагментів (імпульсів), що залишилися, або вони можуть використовуватися як діагностичні ознаки при розв'язанні різноманітних проблем наукового і прикладного характеру. Синтез фільтрованого сигналу здійснюється паралельним підсумовуванням імпульсів, які залишилися, і їх апроксимацією або, що простіше, інтегруванням та згладжуванням. Результат фільтрації і синтезу показано на прикладі обробки явно нестационарного сигналу, що доводить індиферентність методу до стаціонарності процесів (рис. 3).

Кореляційний аналіз. Розроблені методи кореляційного аналізу забезпечують прискорення обробки даних на 1–3 порядки (залежно від використовуваного методу). При цьому досягається, наприклад, поліпшення технічних характеристик найшвидших, але найменш точних з відомих кореляційних методів — релейного і знакового, котрі, як зазначалося, базуються на використанні кліпованих сигналів. Розглянемо один із цих методів, для чого знову звернемося до рис. 2 (б).

Неважко помітити, що у разі кліпування одержимо представлену тільки знаками (полярністю) першу похідну аналізованого сигналу. Кожна наступна функція (рис. 2, в–г), як показано вище, утвориться фільтрацією попередньої і, відповідно, вона містить дані про дедалі нижчі частоти у спектрі сигналу.

Розклавши за допомогою базисних функцій сигналу його першу похідну, неважко довести [8], що загальновідому кореляційну функцію можна представити сумою малої кількості функцій релейної кореляції з відповідними коефіцієнтами. Таким чином, кожна з функцій обчислюється швидко, але не точно. Доповнюючи одна одну, вони нівеликують похибку кореляційного оцінювання.

Зауважимо, що висока швидкодія забезпечує кореляційний аналіз сигналів великої тривалості.

Застосування. Інформаційна технологія, пов'язана з обробкою екстремумів сигналів, та її окремі компоненти успішно використовувалися для розв'язання актуальних проблем у різних галузях: техніці (аналіз сигналів пасивної гідролокації і радіолокаційних, боротьба з перешкодами високого рівня, діагностика та контроль стану двигунів, декодування повідомлень тощо), медицині (аналіз електрограм мозку), біології (визначення морозовитривалості і рання діагностика захворювань рослин), електророхімії (аналіз хроматограм та полярограм).

Інші сфери застосування описаних методів важко перелічити — настільки широко використовуються спектрально-кореляційні перетворення у розв'язанні різноманітних прикладних задач. Тому розглянемо кілька надзвичайно важливих проблем, що не знайшли задовільного розв'язання через відсутність відповідних теоретичних розробок і, почасти, складності апаратного виконання.

1. Переважна кількість аналітичних методів потребує стаціонарності оброблюваних безперервних процесів — таке одне із обмежень, що накладаються на ці методи теорії. Але у природі відбуваються тільки нестационарні процеси, а тому методична похибка аналізу тим вища, чим більше відрізняється реальний сигнал від ідеального. Нові методи, засновані на використанні неповної, фрагментарної, але важливої інформації, копіюють один із принципів обробки сигналів біологічними аналізаторами, що індуферентні до нестационарності, оскільки оперують з фрагментарними даними.

Описаний спектральний метод дає надійні характеристики, коли традиційні методи спектроаналізу цього не забезпечують. Відомо, що безперервна зміна швидкості роботи механізмів — досить поширений на практиці випадок. За допомогою датчиків інформації

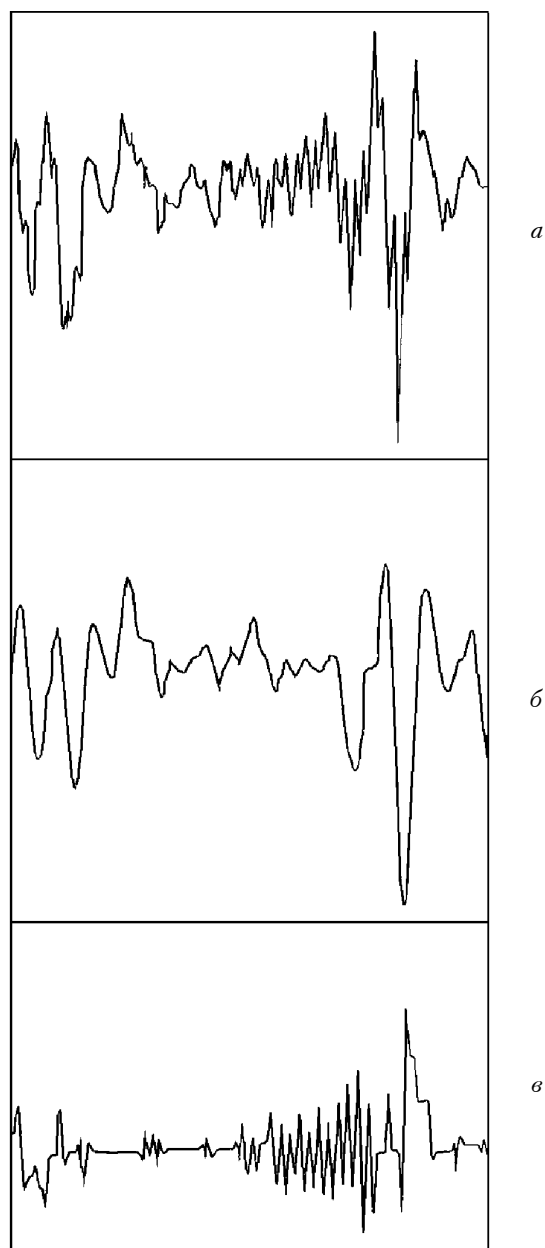


Рис. 3. Фільтрація сигналу (а), що містить корисну складову (б) і перешкоди (в)

одержуємо при цьому сигнал, який безперервно змінює частоту й амплітуду. Спектральна обробка такого процесу методом ШПФ видає результат, подібний до аналізу так званого «білого шуму», а за умови використання у цих випадках методу [5] одержуємо цілком інформативну характеристику, що відображає навіть швидкість зміни частоти.

2. Висока швидкість обробки даних відіграє настільки важливу роль у галузях, де відбуваються швидкоплинні процеси, що задля неї доводиться жертвувати іншими показниками ефективності. Тому надшвидкодія у поєднанні з високою якістю аналізу, які забезпечують описані методи, дає змогу істотно поліпшити технічні характеристики, наприклад, систем автоматичного керування, застосовуваних у таких сферах, як оборона, ядерна фізика, космонавтика.

3. Усі відомі методи цифрової спектральної обробки потребують попереднього запам'ятовування вихідних даних (після дискретизації та перетворення на код). Для виявлення певної довгої хвилі необхідно її запам'ятати, тобто затратити «мертвий» для аналізу час, не менший, аніж довжина такої хвилі. Це не тільки негативно позначається на тривалості аналізу даних загалом. Головний недолік тут — неможливість обробки тривалих процесів, оскільки в них масив оцифрованих даних перевищує обсяг оперативної пам'яті, причому, чим вище максимальна частота у спектрі процесу, тим менше в ньому хвиль низької частоти, доступних для цифрової обробки.

Вище ми вказували на здатність нового спектрального методу аналізувати надтривалі процеси, а це означає можливість виявляти й аналізувати сигнали, які містять наднизькочастотні коливання. Отже, нарешті вдасться зробити прорив у сфері практичного — апаратного — дослідження хвиль, довжина яких досі була поза межами можливостей сучасних спектроаналізаторів.

Довгі хвилі нерідко мають малу амплітуду і тому із сумнівним успіхом маскуються високочастотними коливаннями, котрі можуть теж нести важливу інформацію про досліджувані фізичні явища. Тому дуже важливо те, що метод не тільки виявляє й оцінює усі наявні в сигналі коливання, а й також автоматично розподіляє їх по піддіапазонах (див. рис. 2).

Нагадаємо, що надшвидкий спектральний метод теоретично дає змогу аналізувати сигнали з необмеженим частотним діапазоном. Зрозуміло, що на практиці максимальне значення високої частоти обмежується лише швидкодією елементів схеми, з яких складається пристрій для спектроаналізу, а в низькочастотному діапазоні — розрядністю АЦП (від чого залежить здатність визначити різницю між амплітудами екстремумів) та ємністю лічильника, який вимірює довжину напівхвилі коливання. Це означає, що вже зараз можна створювати пристрої, які забезпечать спектральну обробку коливань із тривалістю хвиль від наносекунд до багатьох годин.

Зрозуміло, які це відкриває можливості, наприклад в астрофізиці. Електрофізіологи також одержать змогу вивчати слабкі довгохвильові коливання так званого постійного потенціалу рослин і тварин. Медики матимуть можливість детально визначити роль багатогодинних процесів, що відбуваються в людському організмі, та вплив на об'єкт зовнішніх факторів, які змінюються з інфранизькою частотою. Перелік можна продовжувати, але спинимося на гострій проблемі — прогнозуванні землетрусів.

Згідно з даними ЮНЕСКО геофізики щороку фіксують у середньому 20 катастрофічних землетрусів. Кожного року трапляється близько 150 руйнівних, 7 тис. — сильних, 19 тис. — помірних, 150 тис. — слабких, кілька мільйонів — не відчутних людиною землетрусів. Якщо сильні землетруси відбуваються в населених районах, неминучі руйнування жител і людські жертви. Але особливо зростають втрати у випадку ушкоджень у результаті землетрусу нафто- і газопроводів або потужних енергетичних вузлів, наприклад атомних станцій. В останньому випадку небезпечні навіть слабкі коливання: якщо вони збігаються з частотою власних коливань споруди, виникає резонанс.

Чутливі сейсмографи, розміщені в численних спеціальних шахтах по всьому світу, чітко фіксують сигнали, породжені розломом твердих порід мантії нашої планети. Потужність хвиль, які виникають при руйнуванні граніту чи базальту, незначна, та сейсмографи вловлюють високочастотні сигнали значної амплітуди, оскільки відстань від мантії до сейсмографа відносно мала. На тлі таких сигналів своєчасно та достовірно розпізнати й оцінити величину дуже низьких коливань ядра Землі за допомогою сучасних автоматичних аналізаторів не вдається: процеси ці реєструються як слабкі, бо проходять тривалий шлях майже від центру земної кулі до її поверхні. До того ж жоден сучасний аналізатор спектра не спроможний обробляти довгі хвилі.

Геофізики вважають, що прогрес у прогнозуванні землетрусів можливий за наявності аналізаторів, які здатні реагувати на слабкі компоненти сейсмосигналів з протяжністю хвилі бодай у кілька десятків хвилин. Таке бажання фахівців легко задовольнити, якщо реалізувати метод [5–7] апаратно.

Унікальні якості, притаманні описаним вище методам [9], сприятимуть прогресу у розв'язанні обговорюваного питання. А оскільки передбачення подальшого перебігу складних процесів надзвичайно актуальне і в багатьох інших галузях науки і практичної діяльності, то впровадження нової інформаційної технології та її розвиток можна вважати завданням вельми перспективним.

1. *Цепков Г.В.* Влияние формы сигнала на возбудимость нервной ткани // Кибернетика и выч. техника. — 1972. — Вып. 14. — С. 16–20.
2. *Пономарева И.Д.* Система адаптивных стохастических базисных функций // Спектральные методы обработки информации в научных исследованиях: Сб. статей / ОНТИ НЦБИ АН СССР. — Пушкино, 1980. — С. 37–41.
3. *Ярбус А.Л.* Роль движений глаза в процессе зрения. — М.: Наука, 1965. — 166 с.

4. *Логинов В.М., Цепков Г.В., Чинаев П.И.* Экономичное кодирование. — К.: Техніка, 1976. — 174 с.
5. А. с. 845600 СССР. Способ определения спектра аналогового сигнала / *В.И. Скурихин, И.Д. Пономарева, П.М. Сиверский, Г.В. Цепков.* — 1981.
6. *Ponomareva I.D., Tsepkov G.V.* Spectral analysis of signals on the basis of extrema // Pattern recognition and image analysis. — 1998. — 8, № 4. — P. 560–567.
7. *Пономарева И.Д., Цепков Г.В.* Сверхбыстрый спектральный анализ // Проблемы управления и информатики. — 1998. — № 1. — С. 107–114.
8. *Цепков Г.В.* Корреляционно-спектральные преобразования в адаптивном секвентном базисе // Кибернетика. — 2000. — № 3. — С. 159–164.
9. *Гриценко В.И., Скурихин В.И., Цепков Г.В.* О новых подходах к прогнозированию землетрясений // Материалы другой наук.-тех. конф. «Сучасні небезпечні геологічні процеси. Вплив на довкілля. Нові технології прогнозування та захисту». — К.: НПП «Екологія. Наука. Техніка», — 2004. — С. 64–66.

В. Гриценко, В. Скурихин, Г. Цепков

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ: НОВІ ПІДХОДИ І ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Резюме

Описано найважливіші методи аналізу випадкових сигналів, що належать до тих розробок, які становлять нову інформаційну технологію. Для аналізу використовуються параметри екстремумів сигналів, чим досягається не тільки надшвидкодія цифрової обробки великих масивів даних, а й унікальні властивості методів. У результаті відкривається можливість практичного розв'язання низки актуальних проблем, які не піддаються традиційним методам.

V. Grytsenko, V. Skurykhin, G. Tsepkov

INFORMATION TECHNOLOGIES OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING: NEW APPROACHES AND IMPLEMENTATION TRENDS

Summary

The most important methods of stochastic signal analysis which are the matter of the new information technology are described. The parameters of signal extrema are used for the analysis that allows to obtain not only ultra-high rate of digital processing of data arrays but also unique method properties. As a result the possibility for solving of some ultimate problems which cannot be solved with existing methods is achieved.