

Результати підтверджують ефективність застосування штучних нейронних систем для виділення інформативних сигналів серед значних шумів і завад.

Крім того, під час адаптації нейронної мережі настроюванням коефіцієнтів на окремі характерні ознаки сигналів можна діагностувати захворювання за характерними сигналами.

1. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение: Пер. с англ. М., 1990. 2. Ткачук Р.А., Паламар М.І. Адаптивна комп'ютерна вимірювально-керуюча система для дослідження біопотенціалів ока // Тези доповіді 3-ї міжн. конф. "Контроль и управление в технических системах". Вінниця, 18-21.09.95. С.335-336. 3. Уидроу Б., Стернз С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. М., 1989.

УДК 681.325

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ВИМОГ У ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ

© Наконечний А.Й., 2000

ДУ "Львівська політехніка", кафедра "Автоматика і телемеханіка"

Розглядаються основні критерії визначення динамічних широко-смугових сигналів і систем. Наводиться візуальна інтерпретація широко-смуговості сигналу (системи) на основі співвідношення між роздільною здатністю масштабу сигналу і масштабу, який зумовлений переміщенням в системі. На прикладі показано, що за допомогою широкосмугових (мало-хвильових) моделей з незначними обмеженнями можна ефективно описувати рухомі об'єкти.

The important criterions of wideband dynamic signals and systems definition have been considered in this article. The signal (system) wideband interpretation has been presented on the basis of ratio between signal's scale resolution and scale due to system motion. As an example there has been showed that it is possible to efficiently describe motion objects with the help of wideband models.

Вступ. Питання знаходження границь коректного розділення сигналів на вузько- і широкосмугові є досить важливим, оскільки його правильне розв'язання дозволяє ефективно їх аналізувати і обробляти. Певні вимоги до сигналів статичних систем сформульовано в роботах [1,2]. В таких системах для отримання аналітичної моделі широкосмугового сигналу, а отже, для ефективної його обробки пропонується використання моделі, яка базується на малохвильовому перетворенні. Таке

представлення має постійну роздільну здатність в широкому діапазоні частот, а отже, не спотворює амплітудну і фазову обвідні.

Динамічні широкосмугові системи і сигнали. В системах, в яких є наявними рух і рухомі хвилі (динамічні), широкосмугові вимоги визначаються відношенням максимального руху в системі в порівнянні із швидкістю переміщення фронту хвилі в системі [2]. Однак, здебільшого, формулювання широкосмугової вимоги розглядають дещо спрощено як недійсну вузькосмугову вимогу. У разі суміщення вимог сигналу і системи широкосмугова вимога визначає недійсність такої вузькосмугової вимоги [2]:

$$\frac{2 \cdot V_{\text{макс.}}}{V_{\phi}} < \frac{1}{L \cdot T}, \quad (1)$$

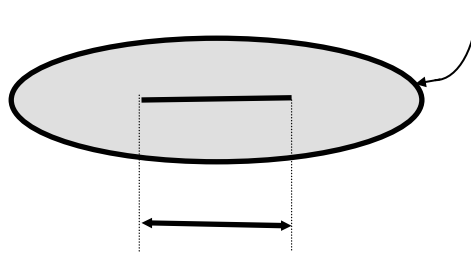
де L – середньоквадратична ширина смуги сигналу; $V_{\text{макс.}}$ – найвища відносна швидкість між будь-якими елементами в системі; V_{ϕ} – швидкість, з якою просувається фронт хвилі (тобто швидкість звуку в середовищі, швидкість світла); T – часова тривалість сигналу. Зауважимо, що права частина цієї нерівності є зворотною безпосередньо до добутку час-ширина смуги. Ліва частина нерівності є найбільша нормалізована швидкість, з якою фронт хвилі може зустрітися в системі (середовищі).

Що відбувається з вузькосмуговим процесором, коли умова (1) не виконується? Ефективність обробки зменшується. Оскільки такі процесори є кореляційного типу, то ефективність їх пропорційна до інтервалу дійсної обробки. Як тільки буде збільшуватися інтервал, то отримуватиметься більший виграш. Якщо модель є недійсною лише на частині інтервалу обробки, то для недійсного інтервалу не досягається виграшу сигналу; при цьому на даному інтервалі існує більша енергія шуму і таким чином ефективність процесора зменшується. Значення поверхні невизначеності може не мати значного викиду (максимуму). Вузькосмуговий опорний сигнал, який створений при вузькосмуговій обробці, лише апроксимує “вищий порядок” зміни масштабу часу (який в загальному випадку не є тільки лінійним масштабом часу). Так, для прикладу відбиття: істинною дією відбиття є часове відображення сигналу з деяким часовим масштабом і можливо вищим порядком членів прискорення (в загальному випадку якоюсь нелінійною функцією) [3]. Коли сигнали є вузькосмуговими, то зміщення частоти може апроксимувати операцію часового масштабування, але зміщення частоти не може апроксимувати часове масштабування для широкосмугових сигналів. Отже, для широкосмугових сигналів зміщені за частотою опорні сигнали не будуть більше зображати відбитий сигнал і виграш такого процесора наближається до нуля.

Оскільки, як видно, масштаб є параметром, що становить певний інтерес, то дані широкосмугові умови можуть бути також сформульовані на основі границь масштабу. Сформульовані умови інтерпретують відношення $V_{\text{макс.}} / V_{\phi}$ як максимально можливий масштаб, що може діяти на сигнал. Зворотна величина до добутку часу на ширину смуги сигналу становить роздільну здатність масштабу сигналу. Вузькосмугова умова вимагає, щоби максимально можливий масштаб, зумовлений рухом, був набагато менший, ніж роздільна здатність масштабу сигналу.

Візуальне представлення вузькосмугових і широкосмугових умов. При візуальному представленні даного процесу можна показати, що межа роздільної здатності сигналу ($1/LT$) мусить перебивати максимальну зону, вздовж якої може переміщатися система (максимальна швидкість помножена на тривалість сигналу) (рис. 1). Комбінація система/сигнал розглядається як широкосмугова, якщо роздільна здатність масштабу сигналу сумірна або менша від можливого масштабу, обумовленого переміщенням (рухом) в системі. З погляду фізичних параметрів комбінація система/сигнал є широкосмуговою, коли роздільна здатність сигналу є співмірна або краща, ніж можливий діапазон зміни в системі (максимальна швидкість помножена на тривалість сигналу) (рис.2). Використовуючи такі умови і обмеження переміщення в середовищі, користувач може визначити границі для ширини смуги та тривалості сигналу, які відповідають вузькосмуговим вимогам. Якщо переміщення збільшується, тоді зменшується добуток часу на ширину смуги дійсного вузькосмугового сигналу (спричиняє зменшення коефіцієнта передачі сигналу і погіршує характеристики роздільної здатності). В деяких конфігураціях сигнали не можуть бути замінені. В таких випадках необхідно перевіряти широкосмугову умову з метою визначення, яка обробка може бути застосована, вузькосмугова чи широкосмугова. Як далі буде показано, що тривалість сигналу визначає дійсну ділянку для вузькосмугової моделі.

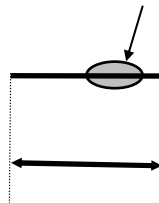
Границя роздільної здатності сигналу



**Зміна максимальної
межі протягом
існування сигналу**

Рис.1. Візуальне представлення вузькосмугової умови.

Границя роздільної здатності сигналу



**Зміна максимальної
межі протягом
існування сигналу**

Рис.2. Візуальне представлення широкосмугової умови.

На рис.3 показано, що окремий точковий відбивач може виникати в різних місцях (віддалях) залежно від вибору часового відліку (базису). Місцезнаходження відбивача змінює тривалість сигналу (різний на початку і в кінці сигналу). Час обробки $T_{об} = (t_2 - t_1)$, де t_1 початок сигналу, а t_2 – кінець тривалості сигналу. При широкосмуговому представленні окремий точковий відбивач подано лише однією точкою (окремий інтервал використовується для характеристики середовища). Кожен інший часовий відлік приводить до іншого розміщення відбивача. Отже, характеристика (ідентифікація) навколишнього середовища повинна мати лише 1 точку для 1 точкового відбивача – навколишнє середовище характеризується лише в якийсь миттєвий момент часу (а не протягом всієї тривалості сигналу). Даний приклад наводиться тільки для обґрунтування, однак він повністю не описується (такий аналіз вимагає моделювання широкосмугової (малохвильової) системи). Такий приклад повинен лише допомогти відрізнити широкосмугову (малохвильову) обробку від вузькосмугової обробки.

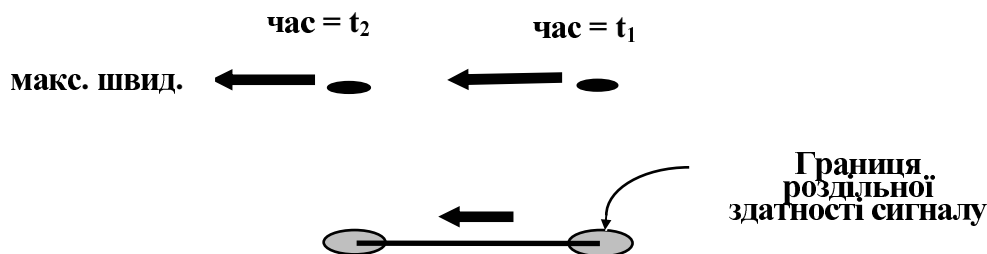


Рис.3. Широкосмугова опорна точка відліку часу.

Тривалість дійсної обробки. На трьох наведених рисунках межа роздільної здатності (або зміщення) сигналу порівнюється з можливим переміщенням (рухом) в системі, що встановлює обмеження на необхідні моделі обробки (вузькосмугові або широкосмугові). Якщо замість даного критерію розділення розглядати інший, який базується на визначенні максимального інтервалу дійсного процесу обробки $T_{об}$, тоді можуть бути встановлені границі на максимальну тривалість дійсної обробки і порівняні як для вузькосмугової, так і для широкосмугової моделей. Максимальна тривалість дійсної обробки є інтервал, протягом якого модель є дійсною (дійсність встановлюється на стику умов, показаних на рис.1 для вузькосмугової моделі). На даному етапі будемо спрощено стверджувати, що широкосмугова модель обмежується тільки прискоренням. На вузькосмугову і широкосмугову моделі накладаються такі обмеження [2]:

$$T_{об-BC} < \frac{V_{\phi}}{2 \cdot L \cdot V} ; \quad (2)$$

$$T_{об-ПС} < \sqrt{\frac{V_{\phi}}{2 \cdot L \cdot A}} ; \quad (3)$$

де V – відносна швидкість між будь-якими елементами в системі; A – прискорення між будь-якими елементами в системі.

Зазначимо, що широкопasmовою моделю моделю має безмежний дійсний інтервал обробки, лише коли система має постійні швидкості (нульове прискорення), в той час як вузькопasmовою моделю буде дійсною лише для деякого обмеженого інтервалу, який залежить від швидкостей в системі (або в середовищі) і ширини смуги сигналу. Необхідно зазначити також подібність обох рівнянь. Якщо прискорення просто замінити швидкістю з рівняння (2), то обидва рівняння стають ідентичними за винятком квадратного кореня. Широкопasmовою моделю може використовуватися для лінійної зміни в часі, викликаної швидкостями, але не для високого порядку часових змін, таких як прискорення. **Отже, за допомогою широкопasmових моделю (при незначних обмеженнях) можна успішно описувати рухomi об'єкти.** Розширення дійсного інтервалу обробки при широкопasmовій обробці приводить до підвищення ефективності (більший час, більша енергія і т.д.) і покращання роздільної здатності. Таке розширення інтервалу дійсної обробки може бути обгрунтоване за допомогою поданих рисунків. На рис.1 припускається нерухомість системи або середовища протягом існування сигналу. Низька роздільна здатність сигналу спонукає цю вимогу нерухомості. На рис.2 наведений великий інтервал обробки і добра роздільна здатність сигналу забезпечують стійкість руху в системі протягом існування сигналу. Дана система або середовище є змінною в часі (нестационарною, якщо вона є стохастичною) упродовж цього інтервалу обробки; відбивач по-різному розташований чи віддалений, коли відбивається від краю фронту сигналу порівняно з відбиттям від краю зрізу сигналу. Не можна припускати, що система нерухома (вузькопasmовою або якщо стохастична стационарна), коли використовується такий інтервал обробки. Висока роздільна здатність може бути використана тільки відносно одного моменту часу (миттєвий стан або часова опора). Може використовуватися декілька часових опор (початків відліку часу), звичайно це початок сигналу, кінець сигналу або середина сигналу.

Підсумовуючи, зробимо висновок, що вузькопasmовою обробка може бути використана в моделях систем або середовищ, але її тривалість є обмежена шириною смуги і рухом (або змінами) в системі або середовищі. Широкопasmовою моделювання не обмежується швидкостями, а тривалість його обробки обмежується тільки прискореннями. Широкопasmовою моделю "відображає" систему або середовище лише в один специфічний момент часу (миттєвий стан). Однак довгий інтервал часу обробки може бути використаний для оцінки "відображення" або моделі в цей момент часу. Перевагою тривалішого інтервалу обробки є більший рівень сигналу (енергії), вища завадостійкість, краща роздільна здатність тощо. Будь-яка часозмінна або нестационарна моделю повинна прив'язуватись до деякого початку відліку часу. Щоби довести доцільність використання широкопasmовою моделю, розглянемо такий приклад.

Використання широкопasmовою моделю. Припустимо, що з автомобіля, який рухається з швидкістю 40 км/год прямо на спостерігача, вигукуються якісь слова. Виходячи з того, що ширина смуги звукового сигналу становить декілька кГц, а швидкість звуку в повітрі – приблизно 1200 км/год, дійсний інтервал вузькопasmовою обробки становить найбільше порядку кількох мілісекунд (виходячи з (2)). Якщо

обробка сигналу є довшою, ніж дійсний інтервал вузькосмугової обробки, то модель може бути недійсною і це приводить до її неефективності та втрат. Для довгих інтервалів обробки модель зміщення вузькосмугової частоти є недійсною впродовж великих ширин смуг. Проблема полягає в тому, що **швидкість наближення автомобіля спричиняє часове масштабування, або компресію звукового сигналу**. Часове масштабування зміщатиме компоненти різних частот на різні величини (зміщення частоти є пропорційним до центральної частоти). Отже, звуковий сигнал, який чує спостерігач, неможливо як слід промоделювати за допомогою вузькосмугової моделі, так що малі інтервали обробки можуть приводити до неякісних моделей.

Розглянемо з іншого боку широкосмугову модель. Проаналізуємо широкосмугову систему, яка приймає звук і масштабує за часом звуковий сигнал. Припустімо, що існує невелика “чорна скринька” (широкосмугова система), яка перетворює прийнятий сигнал (вхід скриньки) у вихідний, що є часомасштабованою версією прийнятого сигналу. Якщо ця мала скринька розширює сигнал так, щоби точно компенсувати компресію, зумовлену рухом автомобіля, тоді вихідний сигнал цієї скриньки звучить точно так само, як голос з автомобіля, що рухається, в його системі відліку (нехтуючи впливом вітру 40 км/год). Таким чином, аж поки автомобіль не зустрінє спостерігача, “чорна скринька” буде перетворювати прийняту спотворену мову у мову, доступну для розуміння (неспотворену). Маленька “чорна скринька” діє при цьому як інверсна система, що враховує рух автомобіля (фізична система).

Розглянемо інший випадок, який називається ехолокацією. Метою ехолокації є оцінка місцезнаходження (або віддаленості) автомобіля. Завдяки значному руху (відносно швидкості звуку у повітрі) і великій ширині смуги використовується широкосмугова модель. При ехолокації випромінюється сигнал і ехо (відбитий сигнал) обробляється для визначення місця знаходження відбивача (автомобіля). Спростимо деякою мірою пояснення. Припустімо, що випромінюючий сигнал (вигук) виходить від нерухомої особи. Тепер відбитий, або ехо-сигнал від автомобіля є той самий компресований сигнал, прийнятий в попередньому обговоренні і, отже, маленька “часо-масштабна” скринька може бути побудована так, що на її виході буде “немасштабований”, або оригінальний сигнал. Оскільки випромінюючий або оригінальний сигнал від нерухомої особи є відомий, тоді вихідний сигнал скриньки і випромінюючий сигнал можуть бути корельовані протягом довгого періоду часу (дійсний інтервал обробки) і мати високий ступінь кореляції або високий коефіцієнт передачі. Якщо існує шум (шум вітру у вусі або мікрофоні), тоді такий коефіцієнт передачі може бути використаний для підвищення завадостійкості і стійкості процесу ехолокації. Крім того, більший дійсний інтервал обробки приводить до кращої роздільної здатності з масштабу.

Кореляційна обробка формуватиме гіпотезу як через масштаб (швидкість), так і затримку (інтервал). Вершина такої кореляційної поверхні буде вказувати на однаковість сигналів. Затримка і масштаб, які в цей пік виникають, відповідають інтервалу і швидкості автомобіля, що наближається. Однак залежно від структури кореляційного процесора затримка може відповідати різним точкам в часі і, отже, різним віддалям до автомобіля.

Для досягнення високого коефіцієнта передачі і роздільної здатності під час проведення обчислення з часовими змінами або нестационарністю може бути використаний великий інтервал обробки. Однак обробка протягом усього інтервалу дає оцінку дальності лише в один специфічний момент часу.

Відзначимо, що в даному випадку припускалося пряме наближення автомобіля до особи, що стояла (наближення тільки з радіальною швидкістю). При наявності постійних швидкостей в системі дійсний інтервал ширококугової обробки є необмежений. Проте, як тільки виникають які-небудь прискорення, ширококугова модель починає втрачати свої властивості (аналогічно як вузькокугова модель втрачає свої властивості, зумовлені наявністю швидкостей в системі). Незважаючи на те, що обмеження малошвидкової моделі є недеталізовані, необхідно ще раз відзначити, що прискорення обмежують ширококугову, або малошвидкову обробку так само, як швидкості обмежують вузькокугову модель. Коли виникає прискорення, змінюватиметься часовий масштаб протягом тривалості сигналу. Якщо обмежувати тривалість сигналу, то прискорення можна не враховувати (це є ширококугове обмеження в рівнянні (3)); між іншим, при подальшому обмеженні тривалості сигналу навіть може бути використана також вузькокугова модель. Хоча малошвидкова або ширококугова моделі розширюють дійсний інтервал обробки, можна зробити висновок, що малошвидкова, або ширококугова обробка обчислюється тільки для першого порядку, тобто лінійної зміни масштабу часу, а для вищого порядку зміни масштабу часу буде обмежуватись дійсною тривалістю ширококугової або малошвидкової обробки.

Висновки. 1. У разі використання вузькокугових сигналів зміщення частоти в них може апроксимувати операцію часового масштабування, однак зміщення частоти не може апроксимувати часове масштабування для ширококугових сигналів. 2. Вузькокугова умова вимагає, щоби максимально можливий масштаб, зумовлений рухом, був набагато менший, ніж роздільна здатність масштабу сигналу. 3. Комбінація система/сигнал розглядається як ширококугова, якщо роздільна здатність масштабу сигналу сумірна або менша від можливого масштабу, зумовленого переміщенням (рухом) в системі. 4. Тривалість вузькокугової обробки обмежена шириною смуги і рухом (або змінами) в системі або середовищі. Тривалість ширококугової обробки не обмежується швидкостями, а обмежується тільки прискореннями. 5. Швидкість наближення об'єкта спричиняє часове масштабування, або компресію звукового сигналу, при якому відбувається зміщення компонент різних частот на різні величини, що унеможливує використання вузькокугової моделі для обробки ехо-сигналів. 6. Випромінюючий сигнал і вихідний сигнал часомасштабуючого інверсного пристрою можуть бути корельовані протягом довгого періоду часу і мати високий ступінь кореляції або високий коефіцієнт передачі, який може бути використаний для підвищення завадостійкості і стійкості процесу ехолокації, а більший дійсний інтервал обробки буде приводити до кращої роздільної здатності масштабу. 7. З метою досягнення високого коефіцієнта передачі і роздільної здатності при проведенні обчислення з часовими змінами або нестационарністю може бути використаний великий інтервал обробки. 8. Малошвидкова, або ширококугова обробка обчислюється тільки для першого порядку,

тобто лінійної зміни масштабу часу, а для вищого порядку зміни масштабу часу буде обмежуватись дійсною тривалістю широкосмугової або малохвильової обробки.

1. *Наконецний А.Й. Малохвильове перетворення і широкосмугові взаємні двозначні функції // Вісн. ДУ "Львівська політехніка" 1998. № 356.* 2. *Randy K. Young. Wavelet Theory and its Applications // Pennsylvania State University // 1994.* 3. *Champagne, B., Eizenman, M. and Pasupathy, S., Factorization Properties of Optimum Space-Time Processors // IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Proc. Vol. 38. No. 11. Nov. 1990. Pp. 1853-1869.*

УДК 621.317

МЕТРОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ

© Колпак Б.Д., 2000

ДНДІ "Система", Львів

Описано метод статистичного контролю вимірювальних каналів, який забезпечує єдиний імовірнісний підхід до оцінки якості функціонування систем обліку енергоносіїв.

The method of statistical monitoring of measuring channels is circumscribed which ensures the uniform probability approach to an evaluation of quality of operation of systems of the keeping of carriers of energy.

Роботи з метрологічного забезпечення (МЗ) автоматизованих систем контролю та обліку енергоносіїв (АСКОЕ) виконують у ДНДІ "Система" (м. Львів) Держстандарту України. Розроблено метод статистичного послідовного контролю АСКОЕ, який забезпечує єдиний імовірнісний підхід до оцінки якості функціонування каналів та обчислювальних компонентів АСКОЕ [1-8].

Якість роботи АСКОЕ залежить від метрологічних характеристик (МХ) вимірювальних, обчислювальних та керуючих каналів, причому часом згадані канали не можна чітко відділити один від одного. Як свідчить практика, комплекс цих МХ, що вказується в нормативних документах з МЗ АСКОЕ, недостатній для повної характеристики якості і системи загалом та її компонентів, зокрема програмних. Інтегральна характеристика виконання системних функцій, що об'єднує МХ згаданих каналів і дає змогу оцінити якість обліку енергоносіїв, відсутня. Крім того, для телемеханічних АСКОЕ характерні істотні випадкові і додаткові похибки, тому бажаний імовірнісний підхід до їх МЗ.

В умовах переходу України до ринкових відносин ситуація із забезпеченням багатьох регіонів енергоносіями стала кризовою. Найбільш перспективним є переведення стратегії господарювання на засади збереження ресурсів через масове використання АСКОЕ виробниками і споживачами енергоносіїв. Такі системи широко