



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 88208

(13) C2

(51) МПК (2009)

G10L 11/00

G01H 11/00

G01V 1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ КЕПСТРАЛЬНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СИГНАЛІВ

1

(21) а200714849

(22) 26.12.2007

(24) 25.09.2009

(46) 25.09.2009, Бюл.№ 18, 2009 р.

(72) СЕЛЕТКОВ ВІКТОР ЛЕОНІДОВИЧ, КУЗНЕЦОВ МАКСИМ ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) СЕЛЕТКОВ ВІКТОР ЛЕОНІДОВИЧ, КУЗНЕЦОВ МАКСИМ ВОЛОДИМИРОВИЧ

(56) UA 80916, 12/11/2007

SU 1302210, 07/04/1987

RU 2294024, 27.10.2006

US 2004143439, 22.07.2004

US 7180442, 20/02/2007

GB 2052822, 28.01.1981

GB 2082857, 10.03.1982

(57) Спосіб кепстральної ідентифікації сигналів, за яким проводять низькочастотну фільтрацію сигналу в смузі частот аналізу, розділяють сигнал на сегменти аналізу однакової тривалості, узгодженої з інтервалом кореляції сигналу, формують на кожному сегменті аналізу значення дискретних часових відліків сигналу шляхом застосування стандартного аналого-цифрового перетворення з частотою дискретизації за часом, узгодженою зі смугою частот аналізу спектра, та кроком кванту-

2

вання, за рівнем, узгодженим з динамічним діапазоном амплітуд, на кожному сегменті аналізу формують дискретні відліки поточної спектральної щільності потужності сигналу шляхом застосування стандартного дискретного перетворення Фур'є, здійснюють стандартне логарифмічне перетворення значень поточної спектральної щільності потужності сигналу по всіх сегментах аналізу, формують на кожному сегменті аналізу дискретні відліки поточного кепстру сигналу, шляхом застосування стандартного зворотного перетворення Фур'є на сегментах, виділяють модульні значення дискретних відліків поточних кепстрів сигналу по сегментах аналізу, який **відрізняється** тим, що для кожної частоти кепстру сигналу формують варіаційні ряди по сегментах виділених значень кепстрів, для кожного варіаційного ряду значень відліків виділяють квантілі, формують залежності виділених квантилів від дискретних значень частоти кепстру сигналу, після чого порівнюють отримані залежності квантилів від дискретних значень кепстру сигналу за критерієм узгодженості Колмогорова з відповідними залежностями квантилів від цих же значень частоти кепстрів еталонних реалізацій кепстрів бази даних.

Передбачуваний винахід належить до сфери техніки кепстрального аналізу, кепстральної ідентифікації та селекції джерел мовних сигналів, джерел гідроакустичних сигналів (природного та штучного походження) на основі кепстральної обробки в системах моніторингу, контролю та охорони морських кордонів та акваторій; кепстральної ідентифікації біомедичних сигналів (сигналів активності мозку, серця та клітин); кепстральної обробки сигналів сейсмічного походження; кепстральної ідентифікації джерел ультразвукових сигналів [1, 2].

Ототожнення сигналів (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових) в системах кепстральної ідентифікації робиться шляхом перевірки статистичних критеріїв узгодження, наприклад Колмогорова, статистичних характеристик (гістограм функції розподілу або

щільності розподілу ймовірності, оцінок середніх та дисперсій) дискретних значень кепстру сигналу у всьому динамічному діапазоні амплітуд і частот сигналу, що ідентифікується, з відповідними статистичними характеристиками кепстру сигналу еталонних кепстрів бази даних [2, 3, 4].

Широко відомі способи кепстральної ідентифікації сигналів шляхом перевірки статистичних критеріїв узгодження, наприклад Колмогорова, статистичних характеристик дискретних значень кепстру сигналу, що ідентифікується, з відповідними статистичними характеристиками кепстрів еталонних кепстрів бази даних [2, 3].

Найближчим за технічною суттю виконуваних операцій перетворення сигналів і визначення статистичних характеристик значень кепстру сигналу в діапазоні частот сигналу, що ідентифікується, є спосіб-прототип, в якому в заданій послідовності

(13) C2

(11) 88208

(19) UA

виконують взаємозв'язані операції перетворення сигналу: проводять низькочастотну фільтрацію сигналу в смузі частот аналізу; виконують розділ сигналу на сегменти аналізу однакової тривалості, узгодженої з інтервалом кореляції сигналу; формують на кожному сегменті аналізу значення дискретних часових відліків сигналу шляхом застосування стандартного аналого-цифрового перетворення з частотою дискретизації за часом, узгодженою зі смугою частот аналізу спектру, та кроком квантування за рівнем, узгодженим з динамічним діапазоном амплітуд; формують на кожному сегменті аналізу дискретні відліки спектральної щільності потужності сигналу шляхом застосування стандартного дискретного перетворення Фур'є до відліків сигналу на сегментах; здійснюють стандартне логарифмічне перетворення значень поточної спектральної щільності потужності сигналу по всіх сегментах аналізу; формують на кожному сегменті аналізу дискретні відліки поточного кепстру сигналу шляхом застосування стандартного зворотного перетворення Фур'є на сегментах; визначають статистичні характеристики (гістограми функцій розподілу або щільності розподілу ймовірностей, оцінки середніх і дисперсій) модульних значень кепстрів по всіх сегментах аналізу для кожної частоти кепстру сигналу; порівнюють отримані статистичні характеристики (гістограми функцій розподілу або щільності розподілу ймовірностей, оцінки середніх і дисперсій) сигналу, що досліджується, по відомим критеріям узгодженості, наприклад Колмогорова, з відповідними статистичними характеристиками (гістограмами функцій розподілу або щільності розподілів ймовірностей, оцінками середніх і дисперсій) еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних [2, 3, 4].

Основною причиною зниження ефективності відомих систем, що реалізують способи кепстральної ідентифікації сигналів (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових), є те, що такі сигнали є випадковим нестационарним процесом зі змінною дисперсією і складною формою поточного кепстру. В результаті цього багатовимірні функції щільності розподілу ймовірностей миттєвих модульних значень дискретних відліків поточних кепстрів сигналів на сегментах аналізу є негаусовськими та багатомодальними, що істотно ускладнює застосування відомих статистичних критеріїв узгодження і знижує ймовірність нехибної ідентифікації [2, 4, 5].

В основу винаходу «Спосіб кепстральної ідентифікації сигналів» поставлено завдання підвищення ефективності відомих систем кепстральної ідентифікації сигналів (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових) шляхом порівняння залежностей від частоти кепстру сигналу квантилів (квартилів, децилів, процентилів) варіаційних рядів по всіх сегментах аналізу абсолютних значень поточного кепстру сигналу на сегментах з відповідними залежностями квантилів абсолютних значень кепстрів еталонних (зразкових, типових) кепстрів

бази даних на основі відомих критеріїв узгодження [6].

Рішення поставленого завдання досягається тим, що в заданій способом-прототипом послідовності взаємозв'язаних операцій здійснюють перетворення сигналу, що досліджується: проводять низькочастотну фільтрацію сигналу в смузі частот аналізу; розділяють сигнал на сегменти аналізу однакової тривалості, узгодженої з інтервалом кореляції сигналу; формують на кожному сегменті аналізу значення дискретних часових відліків сигналу шляхом застосування стандартного аналого-цифрового перетворення з частотою дискретизації за часом, узгодженою зі смугою частот аналізу спектру, та кроком квантування за рівнем, узгодженим з динамічним діапазоном амплітуд; формують на кожному сегменті аналізу дискретні відліки поточної спектральної щільності сигналу шляхом застосування стандартного дискретного перетворення Фур'є до відліків сигналу на сегментах; формують значення дискретних відліків поточної спектральної щільності потужності сигналу; здійснюють стандартне логарифмічне перетворення значень поточної спектральної щільності потужності; формують на кожному сегменті аналізу дискретні відліки поточного кепстру сигналу шляхом застосування стандартного зворотного перетворення Фур'є на сегментах; виділяють модульні значення дискретних відліків поточних кепстрів сигналу по сегментах аналізу; для кожної частоти кепстру сигналу формують варіаційні ряди по сегментах виділених значень дискретних відліків кепстру; для кожного варіаційного ряду значень виділяють квантилі; формують залежності виділених квантилів від дискретних значень частоти кепстру сигналу; порівнюють отримані залежності квантилів від дискретних значень кепстру сигналу по відомим критеріям узгодженості, наприклад Колмогорова, з відповідними залежностями квантилів від цих же значень частоти кепстрів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних.

На фіг. 1 наведено структурну схему пристрою кепстральної ідентифікації сигналів (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових) шляхом порівняння залежностей від дискретних значень частоти кепстру сигналу - квантилів варіаційних рядів абсолютних значень відліків поточного кепстру сигналу для кожної частоти кепстру по сегментах аналізу з аналогічними залежностями квантилів від дискретних значень частоти кепстрів еталонних кепстрів бази даних, який реалізує об'єкт, що заявляється - спосіб кепстральної ідентифікації сигналів, де позначено:

1 - блок низькочастотної фільтрації сигналу в смузі частот аналізу;

2 - блок сегментації сигналу на сегменти аналізу однакової тривалості, узгодженої з інтервалом кореляції сигналу;

3 - блок аналого-цифрового перетворення сигналу з частотою дискретизації за часом, узгодженою зі смугою частот аналізу спектру, та кроком квантування за рівнем, узгодженим з динамічним діапазоном амплітуд;

4 - блок стандартного дискретного перетворення Фур'є відліків сигналу;

5 - блок формування значень дискретних відліків поточної спектральної щільності потужності сигналу по сегментах аналізу;

6 - блок цифрового стандартного логарифмічного перетворення значень поточної спектральної щільності потужності сигналу по всім сегментам аналізу сигналу, що досліджується;

7 - блок формування дискретних відліків поточного кепстру сигналу шляхом застосування стандартного зворотного перетворення Фур'є на сегментах;

8 - блок виділення модульних значень дискретних відліків поточного кепстру сигналу по сегментах аналізу;

9 - блок формування варіаційних рядів виділених абсолютних значень кепстрів по сегментах аналізу для кожної частоти кепстру сигналу;

10 - блок виділення квантилів варіаційних рядів значень дискретних відліків кепстру;

11 - блок формування залежностей квантилів від дискретних значень частоти кепстру сигналу;

12 - блок порівняння залежностей квантилів від дискретних значень кепстру сигналу, що досліджується, і відповідних залежностей квантилів кепстрів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних;

13 - блок еталонних залежностей квантилів кепстрів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних;

14 - блок кепстральної ідентифікації сигналу за наслідками статистичного порівняння залежностей квантилів кепстру сигналу, що досліджується та залежностей квантилів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних на основі відомого критерію узгодженості Колмогорова.

Вихід блоку 1 низькочастотної фільтрації сигналу в смузі частот аналізу, вхід якого є входом пристрою, через послідовно з'єднанні блок сегментації 2 сигналу на сегменти аналізу однакової тривалості, узгодженої з інтервалом кореляції сигналу, блок 3 аналого-цифрового перетворення з частотою дискретизації за часом, узгодженою зі смугою частот аналізу спектру, та кроком квантування за рівнем, узгодженим з динамічним діапазоном амплітуд, на кожному сегменті аналізу, блок 4 стандартного дискретного перетворення Фур'є відліків сигналу на сегментах; блок 5 формування значень дискретних відліків поточної спектральної щільності потужності сигналу по сегментах аналізу, блок 6 цифрового стандартного логарифмічного перетворення значень поточної спектральної щільності потужності сигналу, блок 7 формування дискретних відліків поточних кепстрів сигналу, блок 8 виділення абсолютних значень поточного кепстру сигналу на сегментах аналізу, блок 9 формування варіаційних рядів виділених абсолютних значень по сегментах аналізу для кожної частоти кепстру сигналу, блок 10 виділення квантилів варіаційних рядів абсолютних значень кепстру по сегментах аналізу, блок 11 формування залежностей квантилів від дискретних значень частоти кепстру сигналу підключений до першого входу блоку 12

порівняння залежностей квантилів від дискретних значень частоти кепстру сигналу, що досліджується, і відповідних залежностей квантилів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних, до другого входу якого підключений вихід блоку 13 еталонних залежностей квантилів від дискретних значень частоти кепстрів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних, а вихід підключений до входу блоку 14 кепстральної ідентифікації сигналу за наслідками статистичного порівняння різниць відповідних залежностей на основі критерію узгодженості Колмогорова, вихід якого є виходом пристрою кепстральної ідентифікації сигналів (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових) в цілому.

З виходу блоку 1 фільтрації нижніх частот в смузі частот аналізу сигнал поступає на вхід блоку 2 розділення сигналу на сегменти аналізу однакової тривалості, узгодженої з інтервалом кореляції сигналу, з виходу блоку 2 сигнал по сегментах подається на блок 3 аналого-цифрового перетворення з частотою дискретизації за часом, узгодженою зі смугою частот аналізу спектру, та кроком квантування за рівнем, узгодженим з динамічним діапазоном амплітуд сигналу на кожному сегменті аналізу. Сигнал, що досліджується, в цифровому вигляді, дискретизований за часом та квантований за рівнем, з виходу блоку 3 подається на вхід блоку 4 стандартного дискретного перетворення Фур'є відліків сигналу по сегментах аналізу, з виходу блоку 4, дискретні значення комплексної спектральної щільності потужності Фур'є сигналу по сегментах аналізу, з виходу блоку 5 дискретні значення подаються на вхід блоку 6 цифрового стандартного логарифмічного перетворення модулів значень поточної спектральної щільності потужності сигналу по всім сегментам аналізу сигналу, що досліджується, значення кожного сегменту сигналу подаються на вхід блоку 7 формування дискретних відліків поточних кепстрів сигналу шляхом застосування стандартного зворотного перетворення Фур'є на сегментах аналізу, значення кепстрів подаються на блок 8 виділення абсолютних значень дискретних відліків поточних кепстрів сигналу по сегментах аналізу, з виходу блоку 8 сигнал у вигляді дискретних абсолютних значень кепстрів подається на вхід блоку 9 формування варіаційних рядів виділених абсолютних значень по сегментах аналізу для кожної частоти дискретного кепстру сигналу, що досліджується, шляхом розміщення виділених абсолютних значень за збільшенням таким чином, що на першому сегменті розміщуються мінімальні величини абсолютних значень, а на останньому відповідно максимальні величини абсолютних значень. Впорядковані таким чином за збільшенням величини виділених абсолютних значень з виходу блоку 9 подаються на вхід блоку 10 виділення квантилів сформованих варіаційних рядів абсолютних значень дискретних

відліків поточного кепстру по сегментах як порядкових статистик вибіркового розподілу ймовірностей абсолютних значень дискретних відліків поточного кепстру для кожної частоти дискретного кепстру сигналу, що досліджується (мовного, гідроакустичного, біомедичного, сейсмічного, ультразвукового). Виділені значення квантилів з виходу блоку 10 поступають на вхід блоку 11 формування залежностей квантилів від дискретних значень частоти кепстру сигналу по кожному сегменту аналізу, з виходу якого сигнали, у вигляді залежностей квантилів від частоти кепстру, подаються на перший вхід блоку 12 порівняння залежностей квантилів від дискретних значень частоти кепстру сигналу, що досліджується, та відповідних залежностей квантилів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних, що поступають на його другий вхід з виходу блоку 13 еталонних залежностей квантилів від дискретних значень частоти кепстрів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних. Вихідний сигнал блоку 12 у вигляді різниць залежностей квантилів кепстру сигналу, що досліджується, та відповідних залежностей квантилів кепстрів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних подається на вхід блоку 14 кепстральної ідентифікації сигналу за наслідками статистичного аналізу різниць залежностей квантилів кепстру сигналу, що досліджується, та відповідних залежностей квантилів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних на основі відомого критерію узгодженості Колмогорова. Вихід блоку 14 є виходом пристрою кепстральної ідентифікації сигналів в цілому.

На фіг. 2 наведена залежність квантилів поточного кепстру еталонного сигналу № 1 на прикладі мовного сигналу бази даних, на фіг. 3 наведена залежність квантилів поточного кепстру еталонного сигналу № 2 на прикладі мовного сигналу бази даних. На фіг. 4 наведена залежність квантилів кепстру сигналу № 3 на прикладі мовного сигналу, джерело якого ідентифікується. Зіставлення різниць наведених залежностей квантилів кепстрів від дискретних значень частоти поточних кепстрів мовного сигналу та еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів мовних реалізацій бази даних вказує на належність мовного сигналу, що ідентифікується № 3, достовірно встановленому джерелу сигналу № 1. Використання більш інформативних залежностей децилів та процентилів дозволяє підвищити ймовірність вірної ідентифікації сигналів (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових).

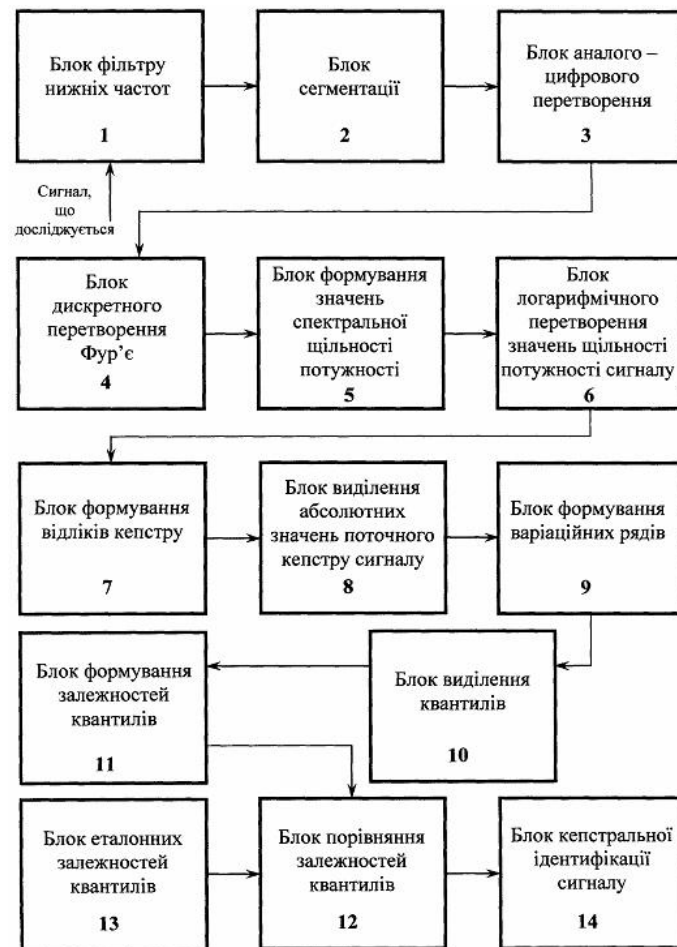
У зв'язку з тим, що квантили варіаційних рядів абсолютних значень дискретних відліків поточних

кепстрів сигналів (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових) по сегментах аналізу, як порядкові статистики вибіркового розподілу ймовірностей абсолютних значень дискретних відліків поточних кепстрів для кожної частоти дискретного кепстру сигналу, розподіляються за нормальним законом незалежно від негаусовського характеру багатовимірних функцій розподілу вибірових значень кепстрів сигналів, що досліджуються (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових), істотно підвищується ефективність застосування критерію узгодженості Колмогорова, орієнтованого на статистичну ідентифікацію нормально розподілених випадкових величин що, зрештою, підвищує ймовірність вірної ідентифікації сигналу.

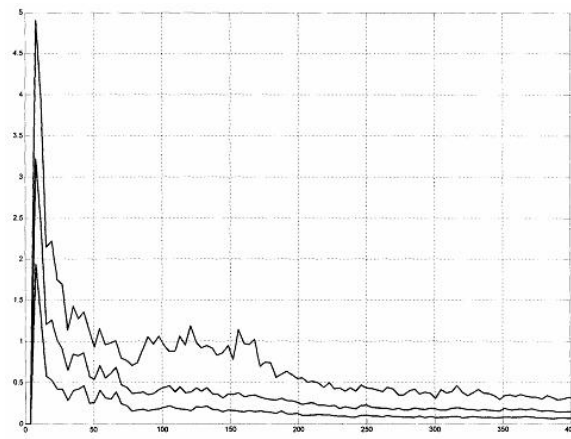
Комплексне використання перерахованих відмітних особливостей та пов'язаних з ними позитивних ефектів дозволяють забезпечити підвищення ефективності систем кепстральної ідентифікації сигналів (мовних, гідроакустичних, біомедичних, сейсмічних, ультразвукових) шляхом порівняння залежності від частоти кепстру сигналів квантилів варіаційних рядів по всіх сегментах аналізу абсолютних значень поточних кепстрів сигналу на сегментах з відповідними залежностями квантилів абсолютних значень кепстрів еталонних (зразкових, типових) реалізацій кепстрів бази даних на основі відомих критеріїв узгодженості.

Джерела інформації:

1. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание.: пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. - 992 с.: ил. - Парал. тит. англ. ISBN 5-8459-0710 (рус.)
2. Стивен В. Смит. Научно - техническое руководство по цифровой обработке сигналов, 2-е издание: Пер. с англ. / Под ред. В.Н. Покровский и В.И. Силантьев. - С.П.: "АВТЕКС", 2001. - 395 с., ил.
3. Zilovic M.S. Ramachandran P.R. Mammone R.J. A fast algorithm for finding the adaptive component weighted cepstrum for speaker recognition. IEEE Trans. Speech Audio Processing. 1995.
4. Zilovic M.S. Ramachandran P.R. Mammone R.J. Speaker identification based on the use of robust cepstral feature obtained from pole-zero transfer function. IEEE Trans. Speech Audio Processing. 1995.
5. Шелухин О.И. Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи / Под ред. О.И. Шелухина. - М.: Радио и связь, 2000, - 456.: ил. с. 98-106.
6. Дейвуд Дж. Порядковые статистики: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 540 с., ил.



Фиг. 1



Фиг. 2

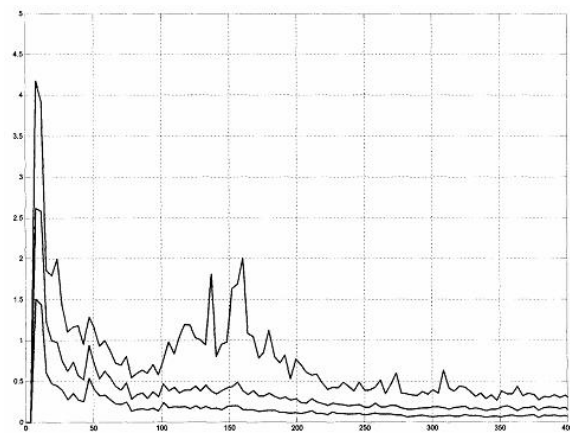


Fig. 3

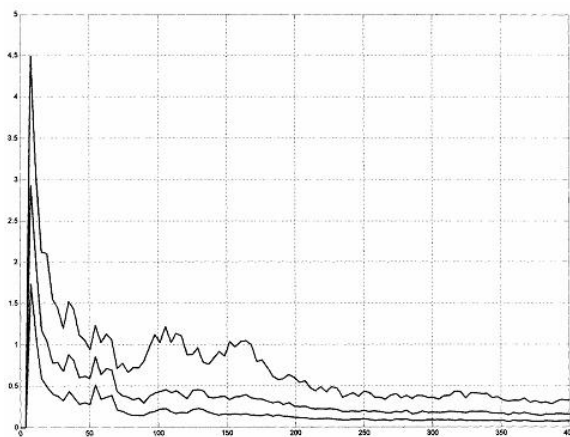


Fig. 4