

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Дорошенко Юрій Іванович

УДК 621.391

**АПАРАТНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ НЕЛІНІЙНОЇ ЦИФРОВОЇ
ФІЛЬТРАЦІЇ НА ОСНОВІ ДЕРЕВОПОДІБНИХ СТРУКТУР**

05.13.05 – комп’ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматики і управління в технічних системах Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Івашко Андрій Володимирович,
Національний технічний університет “Харківський
політехнічний інститут”,
професор кафедри автоматики і управління в технічних
системах.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Фурман Ілля Олександрович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. П. Василенка,
завідувач кафедри автоматизації і комп’ютерних
технологій,

кандидат технічних наук
Абрамов Сергій Клавдійович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний
інститут”,
доцент кафедри прийому, передачі та обробки сигналів.

Захист відбудеться “24” грудня 2009 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “21” листопада 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Методи цифрової обробки сигналів і зображень знайшли широке використання у різних галузях теорії управління, зв'язку, неруйнівного контролю, медицини, побутової техніки і багатьох інших. При цьому разом з розвитком технічних засобів останніми роками відбувається інтенсивне ускладнення математичних методів, що використовуються, зокрема нелінійних.

Вдосконалення електронної елементної бази (підвищення швидкодії, об'єму пам'яті) супроводжується підвищенням вимог до цифрових зображень (роздільна здатність, динамічний діапазон, реальний масштаб часу). Тому в багатьох випадках необхідні швидкодіючі методи та пристрої фільтрації, які дозволяють придушувати завади на сигналах та зображеннях відповідно до заданих критеріїв (ступінь придушення шуму, швидкодія, апаратна складність). З іншого боку, усе більш актуальними є завдання виділення корисної інформації на тлі інтенсивних завад з нестандартними характеристиками, для чого все частіше використовуються складні нелінійні методи фільтрації, зокрема, на основі порядкових статистик, серед яких найбільш розповсюдженими є медіанні, псевдомедіанні та зважені медіанні фільтри.

Значний внесок у розвиток нелінійних методів цифрової обробки сигналів і зображень додали вчені Л.П. Ярославський, В.П. Бабак, Б.П. Русин, Р.М. Паленичка, А.А. Зеленський, А.О. Мельник, В.В. Лукін, В.Н. Бондарев та I. Pitas, A. Venetsanopoulos, W.K. Pratt, T.S. Huang, J.T. Astola, B.I. Justusson, R. Gonsales та ін.

Актуальність роботи обумовлена зростанням вимог до якості та швидкодії обробки цифрових сигналів та зображень та ефективності реалізації систем цифрової обробки сигналів на сучасній елементній базі.

Зв'язок з науковими програмами. Розробка основних положень роботи проходила відповідно до планів держбюджетних НДР МОН України, що виконувались на кафедрі автоматики і управління в технічних системах НТУ "ХПІ": "Розробка методів прийняття рішень в умовах неповної інформації про об'єкт керування" (ДР №0103U001511); "Розробка методів цифрової обробки біомедичних сигналів та зображень" (ДР №0106U001488); та госпдоговірних тем 1692-ХКБМ, 1806-ХКБМ (м. Харків, КП ХКБМ ім. О.О.Морозова), де здобувач брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення співвідношення ефективність/апаратно-програмні витрати технічних засобів для систем обробки сигналів і зображень шляхом розробки та аналізу нового класу нелінійних цифрових фільтрів на основі деревоподібних структур.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити перспективний клас і моделі нелінійних цифрових фільтрів на основі деревоподібних структур та порядкових статистик, що мають покращені показники відношення "ефективність/апаратна складність" в порівнянні з тими фільтрами, що існують;

- провести теоретичне дослідження ступеня придушення шуму (СПШ) фільтрів, що розроблені, в порівнянні з медіанними фільтрами (МФ) для різних моделей вхідного шуму;

- проаналізувати та оцінити апаратну складність і швидкодію запропонованого фільтру в порівнянні з МФ для різних розмірів апертури і розрядності вхідних даних;

- виконати аналіз та порівняння апаратних витрат і швидкодії ПЛІС-реалізацій запропонованих фільтрів і МФ, для чого створити VHDL-моделі запропонованих та медіанних фільтрів;

- удосконалити метод вибору оптимальної структури запропонованих фільтрів за критерієм середньоквадратичної похибки вектора вагових коефіцієнтів структури в порівнянні з вектором вагових коефіцієнтів маски фільтра-прототипу;

- розробити метод синтезу структури запропонованих фільтрів для заданого розміру вхідної апертури фільтру за ваговими коефіцієнтами маски зваженого МФ-прототипу;

- створити пакет програм для аналізу та автоматизованого синтезу МФ та ДМФ з орієнтацією на мікропроцесорну та ПЛІС реалізацію;

- експериментально дослідити дію розроблених фільтрів на реальні сигнали та зображення і встановити кількісні характеристики швидкодії та завадопридушення програмних реалізацій фільтрів.

Об'єкт дослідження – процеси фільтрації цифрових сигналів та зображень, методи і засоби забезпечення ефективності процесів і параметрів фільтрації цифрових сигналів та зображень для комп'ютерних систем, їх пристроїв і компонентів.

Предмет дослідження – моделі, методи аналізу та синтезу цифрових фільтрів з підвищеною швидкодією та поліпшеною якістю зображень, уражених різними видами шумів.

Методи дослідження – всі теоретичні положення дисертації базуються на основах теорії цифрової обробки сигналів. Оцінка ступеня придушення шуму МФ і деревоподібних медіанних фільтрів (ДМФ) заснована на методах статистичної і просторової обробки випадкових процесів і полів. Розробка графоаналітичних моделей ДМФ базується на теорії графів. Синтез і аналіз деревоподібних структур засновано на комбінаторному аналізі та теорії розбиття. Для оптимізації структур ДМФ використовувались методи дискретної оптимізації та теорія графів. Для побудови та дослідження VHDL-моделей МФ і ДМФ використовувалась теорія цифрових автоматів і булева алгебра.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- *вперше* розроблено перспективний клас нелінійних цифрових фільтрів – ДМФ, що мають краще відношення ефективність/апаратні витрати в порівнянні з існуючими, та запропоновано їхню графоаналітичну модель – *M*-арне дерево з непарною кількістю листів;

- *вперше* розроблено алгоритм синтезу можливих структур ДМФ для вибору оптимальної структури серед можливих за критерієм ступеня придушення завад;

- *удосконалено* методи аналізу та синтезу нелінійних цифрових фільтрів, на основі яких проведено теоретичне дослідження СПШ ДМФ в порівнянні з МФ для різних моделей шуму;

- *удосконалено* метод вибору структури дерева на основі середньоквадратичної помилки по відношенню до фільтру-прототипу;

- *знайшов подальший розвиток* алгоритм синтезу структури ДМФ на основі *M*-арного дерева, що побудовано за ваговими коефіцієнтами маски фільтру-прототипу;

- *отримали подальший розвиток* нелінійні цифрові фільтри зі стековою архітектурою за рахунок реалізації позитивної булевої функції на основі графової моделі *M*-арного дерева;

- *удосконалена* методика оптимізації нелінійних цифрових фільтрів на основі VHDL-моделей з урахуванням апаратної складності та швидкодії.

Практична цінність роботи полягає в можливості апаратної та програмної реалізації ДМФ для цифрової обробки зображень в реальному часі. Розроблено наступні моделі, методи, алгоритми та програми, що можуть використовуватися при побудові швидкодіючих пристроїв і систем ЦОС:

- розроблено та досліджено конфігуровані VHDL-моделі ДМФ та МФ, які будуються на основі запропонованої графоаналітичної моделі і придатні для подальшого синтезу;

- для визначення методів нелінійної фільтрації, що найбільш ефективні при заданих значеннях апертури та розрядності, розроблено алгоритми і програмні засоби для синтезу і оцінки апаратної складності МФ та ДМФ, отримані оцінки числа вентильних елементів, необхідних для їх апаратної реалізації;

- для пошуку оптимальних апаратно-програмних рішень реалізації на основі ПЛІС запропонованих МФ та ДМФ розроблено методи, алгоритми і програмні засоби на їх основі для автоматизованої генерації опису VHDL-моделей ДМФ та МФ, придатних для подальшого синтезу, що дозволило отримати показники швидкодії та апаратної складності;

- з метою оцінки швидкодії та СПШ при обробці реальних зображень таких, як сцинтиграми, УЗІ-зображення та інші, запропоновані програмні рішення, за допомогою яких проведено експериментальне дослідження роботи ДМФ та МФ, що дозволило визначити оптимальні розміри апертур ковзного вікна для різних видів завад і підтвердити ефективність запропонованих методів.

Результати роботи знайшли практичне застосування у вигляді програмного модуля фільтрації системи візуалізації тренажерного комплексу транспортних засобів КП ХКБМ ім. О.О. Морозова; ПЛІС-реалізації ДМФ в багатофункціональному ультразвуковому сканері SLE-901 (НВП “Діагностичні системи”, м. Харків). Пакет програм для аналізу та автоматизованого синтезу МФ та ДМФ застосовується в навчальному процесі на кафедрі автоматики і управління в технічних системах НТУ “ХП” при проведенні лабораторних робіт в рамках курсів “Системи проектування цифрових пристроїв” – за фахом 6.050201-01 “Системи управління і автоматики”; “Стиснення, розпізнавання та обробка біомедичних зображень” – за фахом 6.050902-01 “Біомедичні апарати та системи”.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що для найбільш загальних моделей сигналу і завади запропоновані деревоподібні медіанні фільтри забезпечують при еквівалентних апаратних і програмних витратах більшу ступінь придушення шуму в порівнянні з раніше відомими медіанними фільтрами.

Особистий вклад здобувача. Усі основні результати дисертаційної роботи, яка винесена на захист, отримані здобувачем самостійно. Серед них: перспективний клас цифрових фільтрів на основі деревоподібних структур та порядкових статистик – ДМФ та графоаналітична модель ДМФ – *M*-арне дерево з непарним числом листів; алгоритм синтезу всіх можливих структур ДМФ та вибору оптимальної структури за критерієм ступеня придушення завад та його програмна реалізація на основі середньоквадратичної помилки по відношенню до фільтру-прототипу; алгоритм синтезу структури дерева з мінімальною середньоквадратичною помилкою на основі алгоритму Хаффмана; алгоритми і програмні засоби для автоматизованого синтезу VHDL-реалізацій МФ і ДМФ та оцінки апаратної складності і швидкодії.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи були представлені, доповідалися й обговорювалися на VII всесоюзній нараді з проблем автоматизації аналізу зображень мікроструктур (Пуціно, Росія, 1991), 1-й та 2-й міжнародних науково-технічних конференціях “Комп’ютер: наука, техніка, технологія, здоров’я” (Харків, 1993, 1994); 2-й Українській конференції з автоматичного управління “Автоматика-95” (Львів, 1995); міжнародних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (Харків, 1996, 1998, 1999); 3-й Українській конференції з автоматичного управління “Автоматика-96” (Севастополь, 1996); науково-практичній конференції “Комп’ютерна медицина 2004. Клінічна інформація і телемедицина” (Харків, 2004); міжнародній науково-технічній конференції “Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2007” (Харків, 2007); XII – XVI міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (Харків, 2004, 2005, 2007, 2008).

Публікації. Основні результати за темою дисертаційної роботи опубліковані в 18 статтях в періодичних журналах і збірниках, з них 15 – у наукових фахових виданнях ВАК України.

Структура і об’єм роботи. Дисертація складається з вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 232 сторінки; 77 рисунків по тексту; 44 на 26 окремих сторінках; 20 таблиць по тексту; 3 таблиці на 4 окремих сторінках; 4 додатка на 41 сторінках, список літератури з 182 найменування на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність розробки ефективних методів фільтрації сигналів та зображень. Виявлено, що існує необхідність розробки фільтрів, які були б здатні у реальному масштабі часу забезпечити покращення якості сигналів та зображень. Показано зв’язок дисертаційної роботи з науковими програмами, сформульовано мету та завдання дослідження, наводиться наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Наведені дані про впровадження результатів роботи, публікації з теми дисертації та особистий внесок здобувача.

У першому розділі проведено аналіз теоретичних основ і напрямків вирішення завдань, що витікають з мети дослідження. Сформульовані основні

вимоги до техніки обробки зображень і візуалізації такі, як висока швидкість передачі і обробки зображень, достатня для роботи в реальному масштабі часу, і низький рівень завад і спотворень як амплітудних, так і геометричних.

Аналізуються основні особливості систем візуалізації, які зводяться до наступного: зображення є нестационарним двовимірним процесом, зображення часто схильне до адитивних, імпульсних і залежних для сигналу шумів, візуальне сприйняття сильно спирається на перепади інформації, тому фільтрація шуму повинна зберігати перепади.

На основі аналізу літератури проведено порівняння лінійних і нелінійних цифрових фільтрів. Показано, що при своїх перевагах (швидкодія, простота реалізації) лінійні фільтри володіють рядом істотних недоліків: розмивають границі і перепади на зображеннях; погано видаляють мультиплікативний шум і імпульсні завади. Для усунення цих недоліків ефективними є методи нелінійної фільтрації. Розглянуті основні методи нелінійної фільтрації, які при адитивному білому входному шумі з нормальним або рівномірним розподілом забезпечують меншу потужність шуму на виході, ніж медіанні фільтри.

Систематизовані основні властивості медіанних та подібних ним фільтрів, переваги і недоліки, основні сфери їх застосування і типові розміри апертури.

Відмічено, що для усунення основних недоліків МФ: змазування дрібних деталей, низької швидкодії – були розроблені методи на основі медіанної фільтрації: зважена медіанна фільтрація, псевдомедіанна фільтрація, роздільна медіанна фільтрація і так далі.

Наведена класифікація медіанних і подібних до них нелінійних фільтрів за такими характеристиками, як тип реалізації, розмірність апертури, швидкодія та області застосування відомих з літератури фільтрів.

Сформульовані основні завдання досліджень.

У другому розділі введено поняття деревоподібних медіанних фільтрів, розроблені алгоритми генерації структур ДМФ і проаналізовані їхні статистичні і детерміновані властивості.

Запропоновано графові моделі для ДМФ – M -арні дерева $D(M, N)$ з N листям, де M – непарне число входів базового елемента фільтру (наприклад, 3, 5, 7), N – число входів всього фільтру. Як базовий елемент (БЕ) ДМФ використовується одновимірний МФ з апертурою M ($M=3,5,7\dots$), який є вузлом M -арного дерева. При цьому найбільш простими та ефективними в реалізації, вочевидь, виявляються ДМФ на основі МФ з апертурою 3, тобто при $M=3$.

Тоді необхідне число МФ з апертурою M для реалізації ДПМ фільтру із заданою апертурою N можна визначити як

$$\Psi(M,N)=\lceil(N-1)/(M-1)\rceil, \quad (1)$$

де $\lceil \cdot \rceil$ – ціла частина від ділення.

Для синтезу всіх можливих структур ДМ фільтру на основі МФ, моделлю яких є M -арне дерево, необхідно розглянути розбиття на обмежені частини (M частин), на основі чого було розроблено алгоритм генерації $D(M, N)$ дерев, програмно реалізований у середовищі Delphi.

На рис.1 відображені всі можливі 3-арні дерева та непарні розбиття на 3 частини для випадку $N=9$.

Функцію розподілу вихідного сигналу ДМ фільтру визначено за структурою ДМФ та функцією розподілу вхідного сигналу.

Розглянута реакція М і ДМ фільтрів на білий і імпульсний шуми і дані співвідношення для дисперсії шуму на виході фільтру, які в кількісній формі оцінюють міру придушення шуму медіанними фільтрами для простого випадку постійного сигналу з адитивним білим шумом.

При такій моделі шуму значення елементів $\{x_{i,j}\}$ зображення є реалізаціями випадкової величини X , що має функцію розподілу $F(x)$, і можуть бути представлені як

$$x_{i,j} = m + z_{i,j}, \quad (2)$$

де m – середнє значення величини X ; z_{ij} – залишок, що є реалізацією випадкової величини Z з нульовим середнім значенням і щільністю $F(z)=F(x-m)$; всі z_{ij} – взаємно незалежні.

Рис. 1. Структури ДМФ при $M=3, N=9$

Якщо $m=0$, то $F(z)=F(x)$ і вираз для дисперсії сигналу на виході МФ, з урахуванням лінійної композиції біноміальних розподілів функції розподілу МФ, має вигляд

$$D = \int_a^b (x - M)^2 \cdot f_N(x) dx = \int_a^b (x - M)^2 \frac{d}{dx} \left[\sum_{i=(N-1)/2}^N C_N^i F^i(x) 1 - F(x)^{N-i} \right] dx, \quad (3)$$

де N – розмір вікна; $C_N^i = \frac{N!}{i!(N-i)!}$ – число сполучень з N по i .

Визначено $F(x)$ для останнього рівня ДМ фільтру, яка є М фільтром з апертурою 3

$$F_3^D(x) = F_A(x) \cdot F_B(x) \cdot F_C(x) + F_A(x) \cdot F_B(x) \cdot 1 - F_C(x) + \\ + F_A(x) \cdot F_C(x) \cdot 1 - F_B(x) + F_B(x) \cdot F_C(x) \cdot 1 - F_A(x), \quad (4)$$

де $F_A(x), F_B(x), F_C(x)$ - функції розподілу вхідних сигналів.

В розділі побудовані функції розподілу для МФ, псевдо МФ та ДМФ з апертурою від 3 до 49, функції розподілу ДМФ, що отримані на основі виразу (3) для найбільш вживаних апертур, наведені в табл.1.

На основі функцій розподілу наведені графіки залежності ступеня придушення шуму в децибелах від розміру еквівалентної одновимірної апертури для М, ПМ та ДПМ фільтрів при рівномірному, нормальному, біекспоненціальному видах вхідного шуму.

Таблиця 1

Вихідні функції розподілу для ДМФ

N	$F_N^D(x)$
3	$3F(x)^2 - 2F(x)^3$
5	$4F(x)^5 - 10F(x)^4 + 6F(x)^3 + F(x)^2$
9(3×3)	$16F(x)^9 - 72F(x)^8 + 108F(x)^7 - 42F(x)^6 - 36F(x)^5 + 27F(x)^4$
25(5×5)	$4096F(x)^{25} - 51200F(x)^{24} + 282624F(x)^{23} - 894976F(x)^{22} + 1749504F(x)^{21} - \\ - 2048256F(x)^{20} + 1069824F(x)^{19} + 552064F(x)^{18} - 1276272F(x)^{17} + \\ + 698360F(x)^{16} + 77600F(x)^{15} - 244176F(x)^{14} + 83020F(x)^{13} - 2646F(x)^{12} + \\ + 396F(x)^{11} + 3576F(x)^{10} - 4428F(x)^9 + 567F(x)^8 + 324F(x)^7$

Також визначена імовірність проходження імпульсної завади на вихід М, ПМ та ДПМ фільтрів в залежності від імовірності появи імпульсної завади на вході фільтру. На рис. 2 наведено графік залежності проходження імпульсної завади на вихід М та ДМ фільтрів від апертури фільтру при імовірності завади на вході фільтру 0,1.

В третьому розділі проведено аналіз методів апаратної реалізації М і ДМ фільтрів і вибір тих методів, які найбільш ефективні при заданих обмеженнях за часом та складністю.

Основними методами, що використовуються для апаратної реалізації М фільтрів, є: сортуючі мережі; метод гістограми (метод підрахунку); метод порогової декомпозиції (стекова фільтрація); побітний метод (порозрядний метод).

Серед існуючих різновидів сортуючих мереж запропоновано використовувати сортуючі мережі Бетчера, які найближчі до відомих емпіричних сортуючих мереж, що мають найменшу кількість елементів порівняння та обміну (ЕПО). З метою подальшого скорочення кількості ЕПО алгоритм побудови сортуючих мереж Бетчера доповнено можливістю видалення з повної сортуючої мережі ЕПО, які не приймають участь в пошуку медіани.

Р_{вих}

Рис. 2. Графік залежності проходження імпульсної завади на вихід М та ДМ фільтрів від аперттури фільтру при імовірності завади на вході фільтру 0,1

За допомогою програми генерації сортуючих мереж отримані дані про кількість ЕПО, необхідних для створення регулярних мереж та мереж Бетчера, повних та скорочених, для пошуку медіани.

Дані про кількість ЕПО, що необхідні для реалізації МФ та ДМФ з апертурою від 3 до 49, наведені в табл.2.

Таблиця 2

Кількість ЕПО, що необхідні для реалізації М и ДМ фільтрів з апертурою N

<i>N</i>	3	5	7	9	11	13	15	25	35	49
<i>МФ</i>	3	8	14	24	31	39	49	113	205	319
<i>ДМФ</i>	3	6	9	12	15	18	21	36	51	72

Кількість вентиляльних елементів, необхідних для побудови ЕПО, було отримано на основі аналізу структурної схеми ЕПО та методики оцінки апаратних затрат фірми “Synopsys Inc.”:

$$C_{en} = 2n \cdot 1,7 + 2n \cdot 0,7 + (n - 1) \cdot 1,5 + 3(n - 1) + 1 \cdot 1,3 + 0,7 = 10,2n - 3,4 \text{ в.е.}$$

де n – розрядність ЕПО.

Також отримано вирази оцінки кількості вентиляльних елементів для реалізації стекових і побітних М та ДМ фільтрів.

При різних значеннях аперттури N отримані також коефіцієнти придушення імпульсної завади K_N для М і ДМ фільтрів. На рис. 3 наведена залежність коефіцієнта придушення імпульсної завади М та ДМ фільтрами від числа ЕПО на рівні 0,1 появи імпульсної завади на вході.

Проведена порівняльна оцінка МФ і ДМФ на основі отриманих даних про кількість вентиляльних елементів для реалізації МФ і ДМФ за допомогою

сортуючих мереж Бетчера, як найбільш універсального методу з розглянутих, і відповідним ступенем придушення шуму та імпульсної завади .

Перевага запропонованих ДМФ над традиційними МФ у ступеню придушення шуму (СПШ) складає $2,5 \div 3$ рази при кількості ЕПО більше 40 шт.

Побудовано також графіки залежності коефіцієнта придушення завад з нормальним та рівномірним шумом від апаратної складності фільтрів, що визначається необхідною кількістю ЕПО. Для нормально та рівномірно розподіленої завади перевага ДМФ над МФ складає $1 \div 1,5$ дБ.

У розділі показано, що для реалізації МФ та ДМФ на основі стекової архітектури необхідно використовувати бінарні медіанні фільтри (БМФ) та бінарні деревоподібні медіанні фільтри (БДМФ), відповідно. Згідно стекової архітектури, БМФ та БДМФ треба реалізувати на основі позитивної булевої функції (ПБФ). Запропоновано рекурсивний метод отримання ПБФ БДМФ на основі виразу ПБФ для БЕ БДМФ – БМФ з апертурою 3. Показано, що вирази для ПБФ БМФ та БДМФ з апертурою більше 7 надзвичайно громіздкі. Для усунення цього недоліку запропоновано замість синтезу логічних схем ПБФ використовувати бінарні сортуючі мережі Бетчера для БМФ і M -арні дерева в бінарній області для ДМФ.

Рис.3. Залежності коефіцієнта придушення імпульсної завади від апаратної складності для М і ДМ фільтрів

У четвертому розділі показано, що наведені в розділі 3 оцінки апаратних затрат є орієнтовними і можуть уточнюватися при виборі тієї або іншої реалізаційної бази. Тому представляє інтерес аналіз конкретних методів апаратної реалізації М і ДМ фільтрів і вибір тих методів, які найбільш ефективні при заданих обмеженнях по часу та складності.

Найчастіше сучасні вбудовані пристрої цифрової обробки сигналів реалізуються на основі програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС). Методи розробки таких цифрових схем вимагають вживання методів

проектування, заснованих на мовах опису цифрових схем, що дозволяють не лише швидко і просто ввести великий проект, але і верифікувати його на різних етапах проектування, а потім отримати робочу мікросхему (наприклад, шляхом прошивки ПЛІС).

У даному розділі створені VHDL-моделі, на основі яких розроблено методи реалізації М і ДМ фільтрів, що розглянуті в 3 розділі, промодельована їх робота, виконано верифікацію, проведено синтез схем і оцінені апаратні і часові витрати для кожної з розглянутих архітектур.

Для реалізації ДМФ, дерево якого визначено, шляхом поведінкового способу опису ЕПО складено VHDL-модель БЕ ДМФ – МФ з апертурою 3 та синтезована схема БЕ, розрядність якого визначається константою, що настроюється. Результати синтезу програмою Synplify Pro 7.3 представлені на рис.4. Програма генерації сортуючих мереж була доповнена модулем синтезу тексту опису VHDL-моделі ДМФ по обраному дереву. Проведено моделювання роботи синтезованих схем ДМФ та МФ за допомогою системи проектування та верифікації цифрових схем Active HDL 6.2 для апертур фільтрації 3..49 і розрядності вхідних даних 1..16.

Рис. 4. Синтезована схема базового елемента ДМ фільтру

Аналогічно були побудовані ЕПО – БЕ МФ, на основі яких автоматично за допомогою програми генерації сортуючих мереж було отримано описи VHDL-моделей МФ. На основі отриманих даних за результатами синтезу ДМФ та МФ для значень апертур 3..49 і розрядності вхідних даних 1..16 побудовані графіки апаратної складності, що виражена в блоках ПЛІС (LUT), і часу фільтрації в нс (див. рис. 5).

Рис. 5. Витрати для МФ та ДМФ в залежності від розміру апертури фільтру

В розділі виконано порівняльний аналіз ефективності придушення завад М і ДМ фільтрів на основі ПЛІС залежно від швидкодії і апаратної складності.

У п'ятому розділі розглянуто питання оптимізації структури ДМФ для підвищення якості фільтрації. За критерій якості фільтрації обрано СПШ та середня абсолютна похибка (САП).

Відмічено, що кожна структура ДМФ як M -арне дерево має вектор ваг V , елементи якого можна вирахувати за формулою

$$V_i = 1 + \Delta h_i, \quad (5)$$

де $\Delta h_i = h_m - h_i$, $i=1, 2, \dots, n$; $h_m = \max(h_1, \dots, h_n)$; h_i - глибина i -го листа дерева.

У розділі запропоновано в якості фільтра-прототипу використовувати зважений МФ (ЗМФ), який, зберігаючи всі переваги медіанної фільтрації, усуває головний недолік МФ – змазування дрібних деталей. Оскільки ЗМФ має вектор ваг W , що будується з його маски ваг, то можливе виявлення такого ДМФ, в якого впорядкований вектор ваг V має найменше квадратичне відхилення від впорядкованого вектора ваг W фільтра-прототипу

$$E(k) = \sum_{i=1}^n (\bar{W}_i - \bar{V}_i(k))^2, \quad (4)$$

де k - номер варіанту структури ДМФ; n – кількість відліків в апертурі фільтру.

Показано, що варіант структури ДМФ з мінімальним квадратичним відхиленням E має найбільший СПШ та найменшу САП в порівнянні з іншими варіантами.

Запропоновано для побудови структури ДМФ з мінімальним квадратичним відхиленням від заданого вектора ваг ЗМФ-прототипу застосовувати графічну модифікацію алгоритму Хаффмана побудови дерева за заданими ваговими коефіцієнтами. При цьому немає необхідності визначення похибки $E(k)$ для кожної структури ДМФ, що значно скорочує обчислення при побудові ДМФ з розміром апертури більше ніж 3×3 . На основі запропонованої модифікації алгоритму Хаффмана побудовані 3-арні дерева з мінімальною похибкою для ЗМФ-прототипів з апертурами 3×3 , 5×5 , 7×7 та 9×9 по маскам ваг, що часто застосовуються для обробки зображень.

На рис. 6 наведено залежності коефіцієнта придушення в дБ для імпульсної завади комбінованого типу від часу фільтрації та ймовірності імпульсного викиду на вході, що побудовані на основі результатів роботи програми моделювання. Ступінь придушення шуму оцінювався на тестовому зображенні (рис. 7, а), ураженому різними видами шуму, зокрема білим адитивним шумом нормальним, рівномірним шумом, імпульсною завадою (рис. 7, б), мультиплікативним шумом, характерним, зокрема, для рентгенівських і ультразвукових зображень.

Рис. 6. Залежність $Kn_{ш}$ імпульсного шуму від часу фільтрації

Експериментально показано, що збільшення розміру вікна приводить до підвищення міри придушення шуму, проте, одночасно, – і до придушення дрібних деталей. Особливо це помітно у випадку імпульсного шуму, для якого найбільш вдалі результати досягнуті для вікон з розмірами 5×5 і 7×7 .

а)

б)

в) SNR=13,1126 дБ, MAE=3,52E+03

г) SNR=11,8784, MAE=5,91E+03

д) SNR=11,4757 дБ, MAE=4,57E+03 е) SNR=11,2953 дБ, MAE=7,33E+03

Рис. 7. – Результати фільтрації для імпульсного шуму ($P_{\text{імп.}}=0,1$)

а) оригінальне зображення; б) – після зашумлення; в) – після ЗМФ 3×3;

г) – після ЗМФ 7×7; д) – після ДМФ 3×3; е) – після ДМФ 7×7

Візуальна відмінність між результатами зваженої медіанної і деревоподібної медіанної фільтрації невеликі.

Деревоподібні медіанні фільтри володіють схожими властивостями із зваженими медіанними фільтрами-прототипами і мають близькі характеристики придушення шуму з ЗМФ відповідної розмірності (як правило, нижче на $0,5 \div 1,5$ дБ). Близькі результати також отримані і для параметра САП (МАЕ).

Для шуму Гауса і для шуму типу “спекл” в основному діапазоні даних величин ступень придушення шуму при заданому часі фільтрації вище для ДМФ фільтрів в порівнянні із зваженими медіанними. Вживання ЗМФ ефективно при великих рівнях шуму і підвищених вимогах до якості фільтрації. Візуально роботу синтезованих ДМФ можна порівняти з роботою ЗМФ-прототипів на рис. 7, де представлені результати обробки тестового зображення, спотвореного імпульсним шумом.

Схожі результати відмічені і для імпульсного шуму (див. рис. 7). Основною відмінністю для цього випадку є те, що ДМФ фільтри ефективніше за медіанні в ширшому діапазоні параметрів при великих значеннях імовірності завади.

Таким чином, результати експериментальних досліджень в цілому підтверджують припущення, висунуті в розділах 2-4.

У додатках приведені документи, які підтверджують впровадження результатів наукових досліджень по темі дисертації, а також лістинги програм аналізу та синтезу, що розроблені для ДМФ і МФ, чисельні дані, що отримані при дослідженнях та моделюванні, описи VHDL-моделей та результати синтезу ДМФ та МФ.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена науково-практична задача розробки моделей, методів і алгоритмів синтезу та програмно-апаратних засобів створення нелінійних фільтрів для обробки сигналів та зображень, схильних до різних видів завад, а також розробки нелінійних деревоподібних фільтрів на основі порядкових статистик, що забезпечують вищу швидкодію і ступінь придушення шуму в порівнянні з відомими.

Основні результати дисертаційної роботи полягають в наступному:

1. Введено поняття і розроблено моделі деревоподібних медіанних фільтрів, що відносяться до перспективного класу нелінійних цифрових фільтрів, що мають покращені показники відношення ефективність/апаратна складність в порівнянні з відомими. Розроблено методи та алгоритми синтезу неізоморфних M -арних дерев, які є графоаналітичною моделлю запропонованих фільтрів.

2. Проведено теоретичне дослідження СПШ фільтрів, що розроблені, в порівнянні з МФ для різних моделей вхідного шуму. Показано, що для рівномірного та нормального шуму при одному і тому ж розмірі апертури СПШ ДМФ з неоптимізованою структурою на $3,2 \div 3,5$ дБ менше за СПШ МФ. Визначено, що на рівні 0,1 на вході імовірність проходження імпульсної завади на вихід неоптимізованих ДМФ та МФ з апертурою 5×5 складає $3,4 \cdot 10^{-5}$ та $2,7 \cdot 10^{-5}$ відповідно.

3. Для випадків рівномірного і нормального шумів, а також імпульсної завади проведено порівняння запропонованих і відомих фільтрів залежно від

ступеня придушення шуму і апаратної складності. Визначено, що при однаковій кількості ЕПО ДМФ забезпечують більший СПШ, ніж МФ. Так, при 60 ЕПО СПШ ДМФ перевищує СПШ МФ на $1\div 1,5$ дБ для нормального та рівномірного шумів. Імпульсну заваду при 40 ЕПО ДМФ подавляє в 2,2 рази ефективніше за МФ.

4. ПЛІС-реалізації М та ДМ фільтрів, що виконані на основі моделей та розроблених алгоритмів і програмних засобів для автоматизованої генерації VHDL-моделей М та ДМ фільтрів, показали перевагу в швидкодії ДМФ понад 2 рази над МФ при однаковому СПШ для нормального, рівномірного та імпульсного шумів.

5. Запропоновано метод синтезу оптимальної структури деревоподібних медіанних фільтрів за квадратичною похибкою відносно заданого вектора ваг на основі графічної модифікації алгоритму Хаффмана. Оптимізовані ДМФ володіють схожими властивостями зі ЗМФ-прототипами і мають близькі характеристики придушення шуму із ЗМФ відповідної розмірності.

6. При однакових апаратних витратах у 2000 LUT СПШ оптимізованих ДМФ на $1,2\div 2$ дБ вища за СПШ МФ для нормального та рівномірного шумів. Коефіцієнт придушення імпульсної завади оптимізованих ДМФ у 3 рази вищий, ніж у МФ при апаратних витратах у 600 LUT.

7. Встановлено, що при однаковому часі, що необхідний для роботи програмної реалізації систем обробки зображень, запропоновані ДМФ забезпечують ступінь придушення завад на 3..4 дБ більшу, ніж відомі.

8. Результати роботи впроваджені у вигляді програмного модуля фільтрації системи візуалізації тренажерного комплексу транспортних засобів КП ХКБМ ім. О.О.Морозова; ПЛІС-реалізації ДМФ в багатофункціональному ультразвуковому сканері SLE-901 (НВП “Діагностичні системи”, м. Харків). Пакет програм для аналізу та автоматизованого синтезу МФ та ДМФ застосовується в навчальному процесі на кафедрі автоматики і управління в технічних системах НТУ “ХПІ”.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дорошенко Ю.І. Фільтрація шумів біомедичних зображень / Ю.І. Дорошенко, А.В. Івашко, М.І. Пилипенко та інш. / Український радіологічний журнал. Т.IV.– Харків: Харківський НДІ медичної радіології, 1996. Вип.2. С.196–200.

Здобувач провів аналіз ефективності придушення імпульсних завад в різних типах біомедичних зображеннях нелінійними методами цифрової фільтрації.

2. Дорошенко Ю.И. Анализ и моделирование нелинейных цифровых фильтров на основе ранговых статистик / Ю.И. Дорошенко / Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Применение вычислительных систем. – Харьков: ХГПУ, 1997. Вып.2. – № 21 С. 105–108.

3. Дорошенко Ю.И. Способ получения сортирующих сетей для поиска медианы и его программная реализация / Ю.И. Дорошенко, А.А. Зуев / Вісник

Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2001. – №4 – С. 143 –146.

Здобувач виконав програмну реалізацію алгоритму Бетчера для побудови повних та скорочених мереж, що сортують, для пошуку медіани.

4. Дорошенко Ю.И. Гистограммный метод реализации порогового взвешенного медианного фильтра / Ю.И. Дорошенко, А.О. Зуев / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2002. – №9 – С. 143 –146.

Здобувачем проведено удосконалення та програмну реалізацію гістограмного методу зваженої медіанної фільтрації.

5. Дорошенко Ю.И. Выбор алгоритма поиска медианы при небольшой размерности задачи / Ю.И. Дорошенко, А.В. Шостак / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – № 21 – С. 183–186.

Здобувач виконав програмну реалізацію алгоритмів пошуку медіани та дослідження їх швидкодії.

6. Дорошенко Ю.И. ПЛИС-реализация стековых нелинейных цифровых фильтров / В.С. Проскурин, Ю.И. Дорошенко / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – №21 – С. 67 – 72.

Здобувач побудував VHDL-модель МФ з апертурою 3 та розрядністю вхідних відліків $4 \div 6$, що придатна до синтезу.

7. Дорошенко Ю.И. Стековые нелинейные цифровые фильтры на основе сортирующих сетей Бэтчера в бинарной области / А.В. Дяченко, Ю.И. Дорошенко / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. – №17 – С. 75 –78.

Здобувач побудував VHDL-модель стекових цифрових фільтрів із застосуванням в якості блоку вирахування ПБФ медіани скороченої сортуючої мережі Бетчера в бінарній області.

8. Дорошенко Ю.И. Методы реализации блоков пороговой декомпозиции и декодеров для стековой архитектуры нелинейных цифровых фильтров / В.С. Проскурин, Ю.И. Дорошенко / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. – №17 – С. 169 –172.

Здобувач розробив метод побудови VHDL-моделей блоків порогової декомпозиції та декодерів.

9. Дорошенко Ю.И. Выбор структуры древовидного псевдомедианного фильтра / Ю.И. Дорошенко, А.В. Ивашко, Л.В. Рабко, А.В. Шостак / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. – №38 – С. 159 –164.

Здобувач розробив метод вибору структури ДМФ на основі квадратичного критерію відхилення вектора ваги ДМФ від фільтру-прототипу.

10. Дорошенко Ю.И. Взвешенный медианный фильтр на базе нейронных сетей / В.С. Проскурин, Ю.И. Дорошенко / Вісник Національного технічного

університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. – №7 – С. 143 –146.

Здобувач побудовав ЗМФ на базі нейронних мереж, що навчаються, та виконав його реалізацію в середовищі Matlab.

11. Дорошенко Ю.И. Использование алгоритма Хаффмана для построения псевдомедианного фильтра / Ю.И. Дорошенко, А.В. Шостак / Системи обробки інформації. Харків: Харківський університет повітряних сил ім. І. Кожедуба. – 2006. Вип. 4(53) – С.199 – 201.

Здобувач розробив графічну модифікацію алгоритма Хаффмана для побудови *M*-арних дерев по вектору ваги фільтру-прототипу ЗМФ.

12. Дорошенко Ю.И. Нелинейный адаптивный фильтр упрощенной структуры на базе нейронных сетей в коде Грея для обработки биомедицинских изображений / В.С. Проскурин, Ю.И. Дорошенко / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – №9 – С. 124 –127.

Здобувач виконав спрощення адаптивного фільтру на базі одношарової нейронної мережі за рахунок застосування перетворення вхідного сигналу у код Грея.

13. Дорошенко Ю.И. Адаптивный фильтр изображений, управляемый детектором импульсных помех на базе нейронных сетей / В.С. Проскурин, Ю.И. Дорошенко / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – №31 – С.108 – 111.

Здобувач провів удосконалення нейронного адаптивного фільтру зображень за рахунок нейронного детектора імпульсних завад.

14. Дорошенко Ю.И. Исследование влияния на качество фильтрации разрядности фильтра изображений, управляемого детектором импульсных помех на базе нейронных сетей / В.С. Проскурин, Ю.И. Дорошенко / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2007. – №10 – С. 158 –161.

Здобувач розробив та дослідив в середовищі Matlab нейронний фільтр зі змінною розрядністю вхідних відліків.

15. Дорошенко Ю.И. Алгоритм генерации структур древовидных псевдомедианных фильтров на основе теории разбиений / Ю.И. Дорошенко, А.В. Ивашко, А.В. Шостак, О.С. Сомхиева / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2007. – №37 – С. 3 – 8.

Здобувач розробив алгоритм генерації структур деревоподібних медіанних фільтрів на основі теорії розбиття та виконав його програмну реалізацію.

16. Дорошенко Ю.И. Система ввода и обработки тепловизионных изображений. / А.В. Ивашко, Ю.И. Дорошенко, О.Г. Васильченков / У кн.: Друга Українська конференція з автоматичного керування “Автоматика-95”. Праці. Т.4. – Львів:МВУ ІТІС, 1995. С.105 –106.

Здобувач розробив програмну реалізацію методів нелінійної фільтрації тепловізійних зображень.

17. Дорошенко Ю.И. Цифровые фильтры на основе ранговых статистик. / А.В. Ивашко, Ю.И. Дорошенко / У кн.: 3-я Українська конференція з автоматичного керування “Автоматика-96”. Праці. Т.3.– Севастополь, 1996. С.25.

Здобувач розробив апаратну реалізацію блоку нелінійної фільтрації.

18. Дорошенко Ю.И. Программный комплекс для цифровой обработки сигналов / А.В. Ивашко, Ю.И. Дорошенко / В кн.: Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Материалы межд. н.-т. конф. – Харьков: ХГПУ, 1996. С.22.

Здобувач виконав програмну реалізацію методів нелінійної фільтрації.

АНОТАЦІЯ

Дорошенко Ю. І. Апаратні та програмні засоби нелінійної цифрової фільтрації на основі деревоподібних структур. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи і компоненти. – Національний технічний університет – “Харківський політехнічний інститут”, Харків 2009.

Дисертація присвячена дослідженню і вдосконаленню методів нелінійної фільтрації сигналів і зображень на основі порядкових статистик. Для підвищення показника продуктивності/апаратна складність запропонований новий клас цифрових фільтрів на основі деревовидних структур і порядкових статистик – деревовидні медіанні фільтри (ДМФ). Маючи вищу швидкодію в порівнянні з медіанними фільтрами (МФ) ДМФ при однаковій апертурі фільтру і більшою мірою придушення шуму при однакових апаратних витратах, можуть бути використані для ефективного видалення різного вигляду шумів, зокрема імпульсного шуму при обробці сигналів і зображень в реальному масштабі часу.

Проведені теоретичні дослідження СПШ для різних моделей вхідного шуму і коефіцієнта придушення імпульсної перешкоди ДМФ порівняно з МФ і псевдо-МФ при різних апертурах фільтру. При цьому визначені структури ДМФ, що володіють максимальною СПШ і коефіцієнтом придушення імпульсної перешкоди для фіксованої апертури фільтру.

Оцінена апаратна складність і швидкодія запропонованих ДМФ для різних розмірів апертури і розрядності вхідних даних порівняно з МФ.

Ключові слова: технічні і програмні компоненти комп'ютерних систем, автоматизоване проектування технічних та програмних моделей, теоретичні основи синтезу систем обробки інформації, цифрова обробка зображень, імпульсний шум, покращення якості зображень, критерій оцінки якості зображення, фільтрація, медіанна фільтрація, порядкові статистики, VHDL-модель, ПЛІС-реалізація.

АННОТАЦИЯ

Дорошенко Ю. И. Аппаратные и программные средства нелинейной цифровой фильтрации на основе древовидных структур. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2009.

Диссертация посвящена исследованию и совершенствованию методов нелинейной фильтрации сигналов и изображений на основе порядковых статистик. Для повышения показателя “продуктивность/аппаратная сложность” предложен новый класс цифровых фильтров на основе древовидных структур и порядковых статистик – древовидные медианные фильтры (ДМФ). Обладая более высоким быстродействием по сравнению с медианными фильтрами (МФ) ДМФ при одинаковой апертуре фильтра и более высокой степенью подавления шума при одинаковых аппаратных затратах, могут быть использованы для эффективного удаления различного вида шумов, в частности импульсного шума при обработке сигналов и изображений в реальном масштабе времени.

Проведены теоретические исследования СПШ для различных моделей входного шума и коэффициента подавления импульсной помехи ДМФ в сравнении с МФ и псевдо МФ при различных апертурах фильтра. При этом определены структуры ДМФ, обладающие максимальной СПШ и коэффициентом подавления импульсной помехи для фиксированной апертуры фильтра.

Оценена аппаратная сложность и быстродействие предложенных ДМФ для различных размеров апертуры и разрядности входных данных в сравнении с МФ.

Разработаны и верифицированы масштабируемые VHDL-модели на основе программно реализованных методов автоматической генерации VHDL-описаний ДМФ и МФ, пригодных для синтеза. Проведено сравнение аппаратных затрат и быстродействия ПЛИС-реализаций предложенных ДМФ и МФ для различных размеров апертуры и разрядности входных данных.

Предложен и разработан метод выбора структуры ДМФ путем анализа всех неизоморфных M -арных деревьев заданной размерности по критерию квадратичного отклонения вектора весов дерева от вектора весов фильтра-прототипа.

Для сокращения количества вычислений при выборе структуры ДМФ разработан метод синтеза M -арного дерева для заданного размера входной апертуры фильтра по маске весов взвешенного МФ-прототипа.

С помощью созданного пакета программ для анализа и автоматической генерации ДМФ и МФ получены описания VHDL-моделей МФ и ДМФ, экспериментальные подтверждения эффективности ДМФ.

Ключевые слова: технические и программные компоненты компьютерных систем, автоматизированное проектирование технических и программных моделей, теоретические основы синтеза систем обработки информации, цифровая обработка изображений, импульсный шум, улучшение качества изображений, критерий оценки качества изображения, фильтрация, медианная фильтрация, порядковые статистики, VHDL- модель, ПЛИС-реализация.

SUMMARY

Doroshenko Y.I. Hardware and software means for tree-structure based nonlinear digital filtering. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree in technical science by specialty 05.13.05 – Computer Systems and Components. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv 2009.

The thesis is devoted to research and development of methods for nonlinear signal and image filtering on the basis of rank ordered statistics. For the increase of performance/hardware complexity ratio the new class of digital filters (tree-structured median filters (TMF)) on the basis of tree structures and rank ordered statistics was proposed.

Due to higher degree of noise suppression at identical hardware complexity the above mentioned filters can be used for the effective elimination of different type noises in particular impulse noise at real-time signal and image processing.

Theoretical researches of SNR are executed for the different models of input noise and impulse noise suppression coefficient by comparison to MF and pseudo MF at the different apertures of filter. In this case, the structures of TMF possessing maximal SNR and the coefficient of impulse noise suppression for the fixed aperture of filter was defined. Hardware complexity and performance speed of proposed TMF is estimated for the different sizes of aperture and input data wordlength by comparison to MF.

Scalable VHDL-models created with the help of computer-aided methods for automatic TMF and MF VHDL-description generation suitable for synthesis were developed and verified. Hardware complexity and performance speed of FPGA based offered TMF and MF are compared for the different sizes of aperture and input data wordlength .

The method of TMF structure choice by analysing all unisomorphic M -trees of the defined dimension on the least square criterion of tree scales vector from the vector of filter-prototype scales were proposed and developed . With the purpose of reducing the number of operations while choosing TMF structure the method of M -tree synthesis for the defined size of input aperture of filter on the mask of weighted MF-prototype was developed. With the help of created software for analysis and automatic TMF and MF generation the acknowledgement of TMF efficiency was obtained.

Keywords: hardware and software computer system components, hardware and software models computer-aided design, data processing system synthesis theoretical basis, image processing, image enhancement, impulse noise, rank ordered statistics, median filtering, VHDL-model, FPGA implementation.

Підп. до друку 5.11.2009. Формат 60×84_{1/16}. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Облік.-вид. арк. 1,0. Наклад 100 прим.
Зам. № 2-429. Ціна договірна.

ХНУРЕ, 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.