**ЛЕКЦІЯ № 14**

**ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ**

ПЛАН

1. Характеристики якості зображення.

2. Радіометрична корекція цифрових зображень

3. Цифрові фільтри

ЛІТЕРАТУРА

Шапиро Л. Компьютерное зрение. Л. Шапиро, Дж. Стокман/ Пер. с англ. – М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.

Форсайт Дэвид А., Понс Жан. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.:Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.

**ВСТУП**

**1. Основні характеристики якості цифрового зображення**

Геометричні розміри кількість пікселів у рядку і стовпці.

Масштаб (мірило) зображення – відношення розмірів об'єкта на зображенні, виконаних без спотворень, до його реальних значень.

Детальність зображення – властивість зображення, що характеризує здатність відображати найменшу за лінійними розмірами деталь (см, мм).



Яскравість зображення – це характеристика [відбиття](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%87%D1%83%D1%82%D1%82%D1%8F) світлової енергії від об’єктів і фону, що зафіксована на зображенні.

Контрастність - відношенням яскравості найбільш світлої ділянки до яскравості найбільш темного ділянки зображення, або об’єкту до фону. Вона є безрозмірною величиною та вимірюється коефіцієнтом К = 0….1.

Наявність чи відсутність викривлень на зображенні – спотворення на зображеннях.



**Наявність шумів** – наявність чи відсутність шумів на зображенні.

**Кольоровість** - наявність чи відсутність кольору та спосіб його подання.



**2. Радіометрична корекція цифрових зображень**

Слабкий контраст - найбільш розповсюджений дефект аерокосмічних зображень, обумовлений обмеженістю діапазону відтворених яскравостей, що нерідко сполучається з нелінійністю характеристики передачі рівнів. У багатьох випадках контраст можна підвищити, змінюючи яскравість кожного елемента зображення.

Вихідний контраст

*Fвх*

*Fвих*

0

Вхідний контраст

Рис.2.6. Перетворення контрасту.

Рис.2.6, а ілюструє характеристику передачі рівнів, що потрібно для підвищення контрасту типових безперервних малоконтрастних зображень. Корекцію таких зображень можна здійснити користуючись фотографічними методами, однак реалізувати довільну характеристику передачі рівнів з високою точністю, звичайно важко. У випадку цифрових зображень одержати необхідну характеристику передачі рівнів відносно просто. Однак при відшуканні нелінійного оператора варто враховувати помилки квантування.

Очевидно, що в діапазоні яскравостей вихідного зображення деякі рівні не будуть використовуватися, тому окремі перепади яскравості вихідного зображення будуть перевищувати відповідні перепади вхідного зображення. Унаслідок цього можуть ви-

Вхідний діапазон яскравості

*Fвх*

*F*вих

0

Вихідний

діапазон

яскравості

а) лінійне масштабування діапазонів;

*Fвх*

*F*вих

0

Вихідний

діапазон

яскравості

Вхідний діапазон яскравості

Гістограма вхідного зображення

б) масштабування діапазонів з обмеженням.

Рис.2.7. Масштабування діапазону контрасту.

никнути помітні хибні контури [Л8]. Якщо вихідне зображення квантувати з більшим числом рівнів, чим вхідне, то можна одержати рівномірне розміщення вихідних рівнів і завдяки цьому зменшити ефект появи помилкових контурів.

Діапазон яскравостей вихідного зображення, підданого цифровій обробці, може відрізнятися від діапазону яскравостей вхідного зображення. Більш того, у діапазоні числових значень яскравості обробленого зображення можуть виявитися негативні значення, що не можуть мати прямої відповідності з фізичними яскравостями.

Рис.2.7 ілюструє два можливих способи приведення діапазону яскравостей вихідного зображення у відповідність з діапазоном яскравостей вхідного зображення. Відповідно до першого з них, оброблене зображення лінійно відображається таким чином, щоб цілком охопити відведений йому діапазон яскравостей.

*F*вх

*F*вих

0

*F*вх

*F*вих

0

*F*вх

*F*вих

0

а) б) в)

Рис.2.8. Спеціальні перетворення контрасту:

 а - зворотне контрастне масштабування;

 б - пилкоподібне контрастне масштабування;

 в - яскравістний зріз.

Другий спосіб передбачає обмеження екстремальних значень яскравості обробленого зображення максимальним і мінімальної граничними рівнями. Цей спосіб часто забезпечує більш високу суб'єктивну якість зображення, особливо якщо оброблене зображення містить відносно мало елементів з перевищенням рівнів обмеження. У програмах і системах підвищення контрасту нерідко передбачається можливість введення обмеження для фіксованого відсотка значень яскравості на обох краях шкали яскравостей.

У розглянутих прикладах підвищення контрасту використовувалася монотонно зростаюча характеристика передачі рівнів, У ряді випадків обробки зображень доцільніше користатися монотонно спадаючою чи немонотонною характеристикою. На рис.2.8,а показана характеристика передачі рівнів, що забезпечує обернення шкали яскравостей. Таку характеристику доцільно застосовувати, наприклад, якщо дисплей має істотну нелінійність в області чорного. Тоді темні ділянки вхідного зображення будуть переведені у світлі, котрі відповідають лінійній ділянці шкали яскравостей дисплея. На рис.2.8,б приведена характеристика передачі рівнів, призначена для пилкоподібного контрастного масштабування. Таке перетворення часте використовують з метою одержання зображення із широким динамічним діапазоном на екрані дисплея, що має обмежений динамічний діапазон.

Характеристика передачі рівнів для яскравісного зрізу зображення приведена на рис.2.7,в. Це перетворення дозволяє виділити визначений інтервал діапазону яскравостей вхідного зображення.

При наявності кольорового дисплея з'являється можливість відображення в якомусь яскравому кольорі (наприклад, у червоному) ділянок одноколірного зображення, яскравість яких знаходиться в довільному вузькому інтервалі; інші ділянки цього зображення відображаються звичайним способом. Кожне зображення має два значення яскравості, що відповідають даному розряду кодового слова, що представляє яскравість. Метод яскравістних зрізів виявляється винятково ефективним при візуальному аналізі зображень у тому випадку, коли оператор користається дисплеєм у діалоговому режимі.

**Алгоритми видозміни гістограм**

Гістограма розподілу яскравостей типового зображення природного походження після лінійного квантування звичайно має яскраво виражений перенос убік малих рівнів. Яскравість більшості елементів зображення звичайно нижче середньої. На темних ділянках подібних зображень деталі часто виявляються нерозрізненими. Одним з методів поліпшення таких зображень є видозміна гістограми[Л8].

Цей метод передбачає перетворення яскравостей вихідного зображення для того щоб гістограма розподілу яскравостей зображення прийняла бажану форму.

*Н (F)*

*F*

 0

Рис.2.9. Приклад наближеного вирівнювання гістограми

Рис 2.9. ілюструє процедуру вирівнювання гістограми в тому випадку, коли число рівнів на виході складає менше половини числа рівнів на вході.

Тут *Н (F)* - гістограма вихідного зображення (гістограма показує відносну кількість елементів зображення, квантована яскравість яких відповідає *F-му* рівню ).

 де .

Метою процедури вирівнювання гістограми є формування вихідного зображення *Q*, нормована гістограма якого наближалася до рівномірної.

Алгоритм перетворення реалізується в такий спосіб.

1. Починаючи з найменшого рівня яскравості вихідного зображення, поєднують елементи сусідніх інтервалів квантування таким чином, щоб сумарний результат найменш відрізнявся від величини *1/K.*

2. Всі об'єднані елементи приводяться до першого нового рівня, що розташовується точно в середині першого інтервалу квантування обробленого зображення.

3. Цю процедуру повторюють для більш високих рівнів яскравості.

При великому числі рівнів квантування вхідного зображення вдається одержати майже рівномірну гістограму.

Розглянута процедура приводить до збільшення помилок квантування, тому розглянемо інший метод вирівнювання гістограм, який працює навіть при однаковому числі рівнів квантування вихідного й обробленого зображень. Цей метод заснований на випадковому перерозподілі яскравості елементів зображення при формуванні вихідних інтервалів квантування з вхідних.

Процедуру видозміни гістограми можна розглядати як монотонне нелінійне поелементне перетворення *Q = Т{F}* вхідної інтенсивності,  у вихідну інтенсивність. У результаті цього перетворення вихідний розподіл імовірностей *Р{F}*переходить у розподіл ймовірностей *Р’{Q}*, який має бажану форму. (Згадаємо , що гістограма - є оцінка розподілу ймовірностей).

Очевидно, що сума імовірності появи всіх рівнів повинна дорівнювати 1.

 .

**3. Цифрові фільтри**

 Одним з найважливіших у обробці сигналів є клас лінійних перетворень, для яких аргументи сигналу до і після перетворення збігаються. Такі перетворення називаються лінійною фільтрацією, а їхнє цифрове подання називається цифровими фільтрами. Найпоширенішими і найбільш простими в реалізації є фільтри інваріантні до зсування. Їхня імпульсна реакція залежить тільки від різниці аргументів.

**3.1. Загальні відомості про лінійну фільтрацію**

Дія фільтра на вхідний сигнал *f(x)* (зображення *F(x,y)*) описується згорткою вхідного сигналу й імпульсної реакції фільтра *h(x)* (імпульсною реакцією оптичної системи *H(x,y)*), яка цілком описує властивості фільтра.

*F(x,y)*

Фільтр

*h (x)*

*f(x)*

*f1(x)*

а)

Фільтр

*H (x,y)*

*F1(x,y)*

б)

Рис.2.10. Фільтри сигналів: а) фільтр одномірних сигналів;

б) фільтр двовимірних сигналів (зображень)

Інтеграл згортки вхідного сигналу *f(x)* і імпульсної реакції фільтра *h(x)* в одномірному випадку записується в такий спосіб:



Для двовимірного сигналу (зображення) дія двовимірного фільтра (оптичного пристрою) описується двовимірною згорткою:



Тут функція *F(x,y)*– описує вхідний двовимірний сигнал (зображення), *F1(x,y)* - описує вихідний двовимірний сигнал (зображення), *H(x,y)* - описує імпульсну реакцію (властивості) двовимірного фільтра (оптичного пристрою).

Імпульсна реакція фільтра (лінійної просторово інваріантної системи) визначається як відгук фільтра на дельта-функцію (рис.2.11.). Для оптичних систем роль дельта-функції може виконувати зображення нескінченне яскравої точки на абсолютно чорному фоні.

Фільтр

*h(x)*

*(x)*

Фільтр

(оптичний пристрий)

*H(x,y)*

*(x,y)*

б)

*y*

*(x,y)*

*x*

*y*

*H(x,y)*

*x*

а)

*x*

*x*

*0*

*0*

*(x)*

*h(x)*

Рис.2.11. Способи одержання імпульсної реакції фільтрів:

а) для одномірних фільтрів;

б) для двовимірних фільтрів (оптичних пристроїв).

Крім імпульсної реакції властивості лінійного фільтра можуть бути описані його частотною характеристикою*h(w)* (*H(wx,wy)* у двовимірному випадку), яки зв'язані з імпульсними реакціями парою перетворень Фур'є:

  -

для одномірних фільтрів і

  -

для двовимірних фільтрів.

Тут *FT{\*}* і *FT-1{\*}* – оператори відповідно прямого і зворотного перетворень Фур'є; *wx* і *wy* – горизонтальна і вертикальна просторові частоти.

***Стосовно до напівтонових зображень просторова частота - це кількість циклів зміни яскравості елементарних точок зображення від самого яскравих (білого) до самого темних (чорного) і назад уздовж одного з напрямків (координатних осей) за одиницю виміру координат. Одиниця виміру просторової частоти - 1/метр.***

Іноді використовують поняття нормованої просторової частоти: кількість циклів зміни яскравості точок зображення від білого до чорного і назад уздовж координатної осі на всій довжині зображення. Далі під позначеннями *wx* і *wy* буде використовуватися саме це поняття, а розміри всіх зображень будуть вважатися однаковими.

*y*

*x*

a)

*x*

б)

*y*

*x*

в)

*y*

Рис.2.12. Приклади зображень просторових гармонік

На рис.2.12. приведено приклади зображень, що заповнені гармоніками з різними частотами. На рис.3а і рис.3б *wx = wy*, причому зображення на рис.3б заповнено більш високочастотним сигналом, чим зображення на рис.3а. На рис.3в показане зображення заповнене просторовою гармонікою з частотами *wx =*1, *wy =* 0*.*

**3.2. Цифрова згортка**

Цифрові фільтри повинні виконувати ті ж операції над масивами відліків зображень *F(i,j)*, що і звичайні фільтри (оптичні пристрої) над зображеннями *F(x,y)*.

 Цифрове подання лінійних фільтрів будується через їхнє дискретне подання. Їхнє дискретне подання повинне описуватися з урахуванням впливу дискретизації вихідного сигналу і відновлення результуючого зображення.

Для цифрових фільтрів можна записати наступний алгоритм їхньої роботи:

 (2.1)

де *f(n)*-відліки вхідного сигналу, *f1(k)-*відліки вихідного сигналу, *h(k-n)*- відліки необхідної імпульсної реакції фільтра *h(x)*, узяті з тим же кроком *x*, що і при дискретизації вхідного сигналу.

 При цифровій обробці кількість доданків у (2.1) повинне бути обмеженим. Це зв'язано з обмеженням числа відліків вхідного сигналу *f(n)* і імпульсної реакції фільтра *h(n)*, яка, як правило, коротше сигналу. Обмежимо кількість відліків імпульсної реакції фільтра числом *N*. Тоді (4.1 ) запишеться як

 (2.2)

Ця формула називається формулою цифрової згортки. Вона є й алгоритмом роботи одномірного цифрового фільтра й аналогом інтеграла згортки для безперервного фільтра.

Для двовимірного цифрового фільтра формула цифровий згортки приймає вид:

 (2.3)

де *F1(i,j)* - вихідний відгук двовимірного дискретного фільтра, *F(i,j)* – відліки вхідного зображення, *H(l,n)* - імпульсна реакція двовимірного цифрового фільтра.

**Дискретні частотні й імпульсні характеристики фільтрів**

Дискретизація вихідного сигналу і необхідної імпульсної реакції фільтра не може не позначитися на властивостях цифрового фільтра. Варто розглянути ці особливості [Л8]. Для цього за аналогією з безупинною формою запису дискретного сигналу можна увести функцію

 (2.4)

залежну тільки від відліків імпульсної реакції цифрового фільтра.

*x*

*0*

*h(x)*

*n*

*0*

*hД(x)*

*N-1*

а)

б)

Рис. 2.13. Імпульсна реакція фільтра (а) і дискретна імпульсна реакція аналогічного цифрового фільтра (б).

 Ця функція описує тільки сам дискретний фільтр. Назвемо її дискретною імпульсною реакцією цифрового фільтра (2.2), заданого своїми коефіцієнтами *h(n)*. Перетворення Фур'є цієї функції назвемо дискретною частотною характеристикою цифрового фільтра:

.

 Знання частотних характеристик цифрових фільтрів необхідно для їхнього синтезу і зіставлення їх з безупинними фільтрами, яки вони апроксимують.

Розглянемо як приклад часто використовуваний в обробці зображень фільтр, що обчислює поточне середнє послідовності відліків по околиці (*2N+1*) відліків (усереднюючий фільтр):

 (2.5)

Для цього фільтра

*h(n)=1/(2N+1).*  (2.6)

Підставивши (2.6) у (2.4), знайдемо, що його дискретна частотна характеристика визначається вираженням:



Ця частотна характеристика, побудована для *N=2*, показана на рис.2.14.

0.5

-0.5

0.0

1.0

*w*

*h(w)*

*hД(w)*

1.0

-1.0

Рис.2.14. Дискретна частотна характеристика цифрового усереднюючого фільтра (суцільна лінія) і частотна характеристика відповіднго безперервного

фільтра (пунктир).

Штриховою лінією на рисунку показана частотна характеристика *h(w)* безперервного фільтра з такою імпульсною реакцією, що відліками Її є вагові коефіцієнти *h(n)* дискретного фільтра (2.5). Неважко бачити, що при малому *N* розходження між цими характеристиками може бути помітним. Ці характеристики більше збігаються, якщо інтервал підсумовування ** для безпрервного фільтра буде ширше інтервалу підсумовування дискретного фільтра *(2N+1)x* на половину інтервалу дискретизації *x* в обидва боки [Л8].

Усі розглянуті співвідношення узагальнюються на двовимірний випадок заміною аргументів і індексів на відповідні пари індексів і аргументів для растрування в прямокутній системі координат. Дискретна частотна характеристика двовимірного цифрового фільтра зв'язана з відліками його імпульсної реакції дискретним перетворенням Фур'є:



* 1. **Принципи реалізації двовимірної локальної фільтрації зображень**

Нижче будуть розглянуті алгоритми реалізуючі цифрову фільтрацію зображень і об'єднані ідеєю фільтрації ковзним вікном чи апертурою. Термін "локальна" підкреслює факт, що розміри ковзного вікна (апертури) по обох осях менше розмірів зображення, що фільтрується.

Мета локальної фільтрації звичайно є в поліпшенні якості зображення; найчастіше це усунення перешкод, підвищення різкості, чи підкреслення контурів. Локальна фільтрація представляє для цього досить широкий арсенал засобів обробки.

**3.3.1. Постановка задачі двовимірної локальної фільтрації зображень**

Фільтрація зображень має багато спільного з добре відомої в радіотехніці фільтрацією сигналів. Відмінність полягає в тому, що замість "одномірного" фільтра, який призначений для фільтрації сигналу однієї перемінної (звичайно часу), для фільтрації зображень застосовуються двовимірні фільтри, що відповідають двовимірній природі самого зображення.

Такий двовимірний фільтр улаштований у такий спосіб. Береться невелика, звичайно прямокутна, ділянка площини цифрового зображення (масиву чисел) і на ньому визначається деяка функція, яка визначає його імпульсну реакцію. Ця ділянка називається апертурою, чи вікном, а задана на ньому функція - ваговою функцією, чи функцією вікна. Таким чином, кожному елементу апертури (масиву) відповідає визначене число, називане ваговим множником. Сукупність усіх вагових множників і складає вагову функцію. Апертура разом із заданої на ній ваговою функцією часто називається маскою фільтра.

*k*

*z*

*s*

*k*

*l*

**6**

**4**

**2**

**4**

**6**

**2**

**8**

**16**

**8**

**2**

**4**

**10**

**8**

**10**

**4**

**4**

**10**

**8**

**10**

**4**

**6**

**4**

**2**

**4**

**6**

 *H(z , s)*

 *H(k , l)*

Рис.2.15. Імпульсна реакція двовимірного фільтра *H(z,s)* і

відповідна маска цифрового фільтра *H(k,l)*

Апертура звичайно має невеликий розмір, наприклад 3х3 чи 5х5 елементів. Лінійні розміри апертури звичайно беруться непарними, щоб можна було однозначно вказати її центральний елемент.

*i*

*j*

Цифровий масив відліків зображення *F(i,j)*

*k*

*l*

**6**

**4**

**2**

**4**

**6**

**2**

**8**

**16**

**8**

**2**

**4**

**10**

**8**

**10**

**4**

**4**

**10**

**8**

**10**

**4**

**6**

**4**

**2**

**4**

**6**

Маска фильтру ***H(k,l)***

Рис.2.16. Цифровий масив відліків зображення *F(i,j)* з розташованої на ньому маскою фільтра *H(k,l)*

Іноді застосовують "одномірну" апертуру, розмір якої по одному з напрямків дорівнює 1. "Одномірна" апертура, розташування якої не відповідає осям координат, може бути сформована завданням відповідної функції на звичайній, прямокутній апертурі.

Фільтрація здійснюється переміщенням апертури фільтра по зображенню. Переміщення здійснюється щораз на один відлік. У кожнім положенні апертури виконуються однотипні дії, що і визначають відгук фільтра. Один відлік вихідного зображення *F1(i,j)* виходить шляхом обробки всіх елементів вхідного зображення, що потрапили «під вікно фільтрації», з урахуванням вагових значень елементів вікна. Для одержання деякого відліку вихідного зображення *F1(p,q)* необхідно перемістити вагове вікно так, щоб його умовний центр потрапив на відлік *F(p,q)* вхідного зображення.

Вагова функція в процесі переміщення вікна залишається незмінною. Тому фільтрацію ковзним вікном відносять до просторово-інваріантних операцій.

**3.3.2. Принципи локальної фільтрації зображень**

Характерним прикладом служить алгоритм лінійної фільтрації, що складає загалом у наступному. При кожнім положенні апертури вагова функція поелементно помножується на значення відповідних елементів вихідного зображення; добутки сумуются. Сума поділяється на нормуючий коефіцієнт і отримана величина, що є відгуком фільтра, привласнюється тому елементу нового зображення, що відповідає положенню центра апертури.

 Коефіцієнт, що нормує, звичайно береться рівним сумі всіх елементів вагової функції (вагових множників). Якщо сума вагових множників дорівнює нулю, то коефіцієнт, що нормує, приймається рівним одиниці.

Відгук лінійного фільтра лінійним чином залежить від оброблюваного зображення. Розглянемо фільтри, у яких для кожного положення апертури здійснюється поелементне перемножування вагової функції *H(k,l)* на значення елементів зображення *F(p*,*q*), яки потрапили під неї*,* підсумовування і нормування отриманої суми.

Уведемо необхідні позначки. Нехай апертура має розмір *(K x L)* елементів; поточний елемент апертури позначимо через *(k,l)*, де *l* -поточний рядок; *k* - поточний стовпець.

Визначимо спосіб, за допомогою якого вказується положення апертури на зображенні. Виділяється деяка опорна точка апертури (звичайно це центр). Тепер досить задати положення цієї опорної точки в системі координат зображення, щоб тим самим визначити положення всієї апертури. Цю опорну точку називають умовним центром апертури. Координати умовного центра позначимо *(k0,l0)* (у системі координат апертури !).

Умовний центр може (але не зобов'язаний) збігатися з дійсним геометричним центром апертури. Узагалі, за умовний центр можна взяти будь-яку точку апертури; більш того, умовний центр не зобов'язаний навіть знаходитися у її середині. Однак, визначимо умовний центр так, щоб при непарних розмірах апертури він збігався з її центральним елементом: *k0=[(K+1)/2]; l0=[(L+1)/2],* де квадратні дужки позначають цілу частину числа.

*H(k,l)*

*F(i,j)*

*i*

*,j*

*i*

*,j*

Поточний елемент

*F1(i,j)*

Вхідне

зображення

Результуюче зображення

Рис.2.17. Робота нерекурсивного фільтра

Поточне положення умовного центра на вихідному зображенні *F(i,j)* позначимо через *(i,j)*. Відгук фільтра привласнюється тій же точці *(i,j)* нового, профільтрованого зображення *F1(i,j)*.

Позначимо тепер через *h(k,l)* функцію вікна. Масив вихідного зображення формується шляхом дискретної згортки вхідного полю *F(i,j)* і функції вікна *h(k,l)*:

 (2.7)

Точно говорячи, формула справедлива лише за умови, що функція вікна не виходить за межі зображення.

Поряд з лінійними фільтрами існують і нелінійні. Характер фільтра залежить від операцій, виконуваних у кожнім положенні вікна. У лінійних фільтрах відгук є лінійною функцією багатьох перемінних, роль яких грають елементи вихідного зображення, що потрапили у вікно. Вагові множники - це коефіцієнти лінійної функції. Фільтри, у яких відгук не може бути виражений лінійною функцією від значень елементів зображення, є по визначенню нелінійним.

Поточний елемент

*F(i,j)*

*H(k,l)*

*F(i,j)*

*i*

*,j*

Рис.2.18. Робота рекурсивного фільтра

У залежності від того, куди (у яке поле пам′яті) записується відгук фільтра, розрізняють прості і рекурсивні фільтри. Якщо в простих (нерекурсивних) фільтрах відгук записується у вихідне зображення *F1(i,j)*, то в рекурсивних він записується назад у початкове зображення *F(i,j)*, змінюючи значення елементів початкового зображення безпосередньо в процесі фільтрації. Тому в рекурсивних фільтрах вже оброблені елементи зображення впливають на результат фільтрації наступних.

Іноді виявляється корисним багаторазове повторення процедури нерекурсивної фільтрації; у цих випадках говорять про ітеративне застосування фільтрів (не плутати з рекурсивною фільтрацією).

**3.3.3. Особливості руху вікна фільтра**

Фільтрація вимагає переміщення вікна. Звичайно використовується тип руху, аналогічний прогресивному телевізійному розгорненню. Апертура переміщається уздовж рядка ліворуч праворуч із кроком в один елемент; дійшовши до кінця одного рядка, переходить до початку наступного. Узагалі говорячи, для нерекурсивних фільтрів траєкторія переміщення вікна може бути будь-якою, потрібно лише, щоб центр вікна відвідав по одному разі всі елементи вихідного зображення.

Розглянемо тепер інший аспект руху вікна. Мова йде про так називаний крайовий ефект і про способи обробки пікселів поблизу границь полю зображення.

Вплив крайових ефектів особливо відчутно на невеликих зображеннях. Якщо розмір зображення багато більше розміру вікна, то частка площі, на якій помітні крайові ефекти, мала, і крайовими ефектами можна зневажити.

При фільтрації центральної зони будь-яка схема обробки дає однакові результати. Звичайно застосовується три схеми обробки зображення поблизу границь:

*P-схема* обробки відповідає випадку, коли вікно не може виходити за межі полю зображення, яке фільтрується. Межі зображення (шириною в половину вікна) залишаються неопрацьованими.

*S-схема* дозволяє вихід країв вікна за межі полю зображення, яке фільтрується. Потрібно тільки, щоб центр вікна завжди знаходився усередині полю. Елементи апертури, що виходять за границі полю, в обробці не приймають участь. Іншими словами, поблизу країв зображення фактичний розмір вікна зменшується. Крайовий ефект зберігається, хоча й в ослабленому виді.

*Т-схема* обробки відповідає фільтрації на тороподібної поверхні. Т-схема виходить, якщо представити, що зображення визначене не на площині, а на тороподібної поверхні. Тобто, лівий край зображення примикає до правого, а верхній край до нижнього. Замість тора можна представити нескінченну площину, на якій задане зображення періодично повторюється. Тут крайовий ефект полягає в тому, що об'єкти, що знаходяться на одному краї зображення, впливають на обробку і залишають свій слід на протилежному краї, що непогано в статистичному змісті, але може показатися протиприродним.

**3.3.4. Алгоритм рекурсивної фільтрації**

Рекурсивним називається фільтр, у якому відгук визначається не тільки через вхідні значення, але і через вихідні. У рекурсивних фільтрах можуть використовуватися ті ж функції, що й у нерекурсивних.

З загальної теорії лінійних систем відомо, що лінійні системи зі зворотним зв'язком (рекурсивні фільтри) мають нескінченну імпульсну реакцію незважаючи на те, що вікно обробки (апертура) має кінцевий розмір. Через нескінченність імпульсної реакції частотна характеристика рекурсивних фільтрів обмежена. Це буває корисно, коли потрібно створити ідеальний цифровий фільтр низьких частот із крутим зрізом частотної характеристики. З іншого боку, наявність зворотного зв'язку в рекурсивних цифрових фільтрах високих частот потенційно може привести до нестійкості фільтра. Нестійкий цифровий фільтр на деяких зображеннях може сам почати генерувати вихідний сигнал не зв'язаний із вхідним.

У нерекурсивних фільтрів імпульсна реакція завжди обмежена розмірами апертури. Тому їхня частотна характеристика завжди простирається до нескінченності. Відсутність зворотного зв'язку приводить до того, що ці фільтри стійкі завжди, але одержати нерекурсивний фільтр із крутими спадами частотної характеристики не удасться ніколи. Щоб хоч якось наблизити частотну характеристику нерекурсивного фільтра низької частоти до ідеального приходиться збільшувати його порядок (розмір апертури). Для двовимірних цифрових фільтрів це приводить до квадратичного росту числа арифметичних операцій в алгоритмі фільтрації і, відповідно, до квадратичного росту часу виконання.

Алгоритм лінійної рекурсивної фільтрації ґрунтується на рекурентному співвідношенні між вхідними і вихідними перемінними системи. Для одномірних сигналів подібне рекурентне співвідношення має вид:

 (2.8)

де *f(n), n = 1,2,...,N* - відліки вхідної послідовності,

 *r(m), m = 1,2,...,M* - відліки вихідної послідовності,

 *b(k), a(j)* - вагові множники.

Ключовий момент тут у тім, що *m* - тий елемент вихідної послідовності залежить не тільки від останнього і *(J-1)* передостанніх елементів вхідної послідовності, але і від (*K-1*) попередніх елементів вихідної послідовності.

Іноді вагові множники *a(j)* приймають рівними одиниці і *J=1*, тоді такий фільтр називають рекурсивним фільтром першого роду, на відміну від більш загальної форми (2.8), що називається рекурсивним фільтром другого роду. Фактично відгук фільтра (2.8) є зважена сума відгуків звичайного нерекурсивного фільтра (перша частина різниці (2.8)) і рекурсивного фільтра першого роду (друга частина (2.8)). Керуючи співвідношенням вагових множників *a(j)* і *b(k)* можна плавно змінювати характеристику фільтра.

Якщо покласти *b(k)=0*, тоді *(2.8)* відповідає простому нерекурсивному фільтру.

Усе сказане вище про лінійну рекурсивну фільтрацію справедливо і для нелінійної рекурсивної.

**3.3.5. Застосування локальної лінійної фільтрації для згладжування і підкреслення границь**

Одне з найбільш розповсюджених застосувань лінійних фільтрів - згладжування шуму. Для цього застосовуються вагові функції наступного виду:

|  |  |
| --- | --- |
|  (а) |  (б) |

При частотній інтерпретації процесів фільтрації такий фільтр називається фільтром нижніх частот.

Для підкреслення ліній визначеного напрямку використовуються вагові функції виду

|  |  |
| --- | --- |
|  (в) |  (г) |

Вагова функція (в) підкреслює горизонтальні і вертикальні лінії вихідного зображення , (г) - діагональні лінії.

Фільтри, що виділяють границі (у частотній інтерпретації - це високочастотні фільтри), використовують наступні три вагові функції:

|  |  |
| --- | --- |
|  (д) |  (е) |
|  (ж) |  |

Слід звернути увагу на те, що сума вагових множників тут дорівнює одиниці. Тому на результуючих зображеннях зберігаються фонові області з постійною яскравістю. Границі виділяються незалежно від їхнього напрямку.

Для виділення перепадів яскравості визначеної орієнтації використовуються в залежності від необхідного напрямку вагові функції, називані курсовими градієнтнимі масками:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (з) - "північ" | (и) - "північний схід" |
|  |  |
| (к) - "схід" | (л) - "південний схід" |
|  |  |
| (м) - "південь"  | (н) - "південний захід" |
|  |  |
| (о) - "захід"  | (п) - "північний захід" |
|  |  |

Назва курсу говорить про напрямок перепаду яскравості, що викликає максимальний відгук фільтра.

Для виділення перепадів без указівки їхньої орієнтації використовуються наступні три види вагових функцій (оператори Лапласа):

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| р) | с) |
|  |  |
| т) |  |

Ці оператори відрізняються від масок виду (д, е, ж) тим, що сума вагових множників у них дорівнює нулю. Це говорить про те, що на результуючому зображенні залишаться тільки виділені границі без тла.

Вагові функції виду (з-п) і (р, с, т) дозволяють здійснювати операцію двовимірного диференціювання. Вагові функції для диференціювання повинні володіти тією властивістю, що сума їхніх елементів дорівнює нулю.

## 3.4. Нелінійна фільтрація

Основні поняття теорії локальної фільтрації, розглянуті раніше, справедливі і для локальної нелінійної фільтрації. Маються на увазі поняття процесу фільтрації, апертури, способи й алгоритми переміщення апертури по зображенню; вагова функція застосовується не завжди. Головна відмінність полягає в тому, що вихід нелінійного фільтра формується нелінійним образом від даних вихідного зображення.

Тут будуть розглянуті два класи нелінійних фільтрів, використовуваних для досягнення в деякому змісті протилежних цілей. Це медіанні фільтри, застосовувані для згладжування зображень, і фільтри, що підкреслюють перепади яскравості. До останнього відносяться фільтри Робертса і Собела, родинні в ідейному плані. Крім цього, розглянемо фільтр, що виявляє локальні максимуми зображення.

**3.4.1. Медіанні фільтри**

 Медіанна фільтрація - метод нелінійної обробки сигналів. Медіанний фільтр являє собою ковзне вікно, що охоплює непарне число елементів зображення по рядку і стовпцю. Відгук медіанного фільтра дорівнює медіані даних, що знаходяться в апертурі. Медіана являє собою центральний елемент у варіаційному ряді, побудованому з даних, що знаходяться в межах апертури (рис 2.21). Ранг, значення і координати в апертурі медіанного елемента позначені штрихуванням.

**7**

**4**

**12**

**2**

**4**

**4**

**10**

**6**

**4**

**16**

**8**

**2**

**2**

**15**

**4**

**6**

**13**

**4**

**6**

**4**

**6**

**4**

**2**

**4**

**6**

Апертура фільтра

 F**(i ,j)**

 **j**

**i**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ранг R | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| F(i+k,j+l) | 4 | 6 | 7 | 8 | **10** | 12 | 13 | 15 | 16 |
| (k,l) | -1,1 | 1,1 | -1,0 | 1,0 | -1,-1 | 0,1 | 1,-1 | 0,-1 | 0,0 |

Рис.2.21. Варіаційний ряд елементів зображення, що потрапили в апертуру фільтра.

Для дискретної послідовності *а1,а2,...,а* і непарної довжини варіаційного ряду *N* медіаною є той її елемент, для якого існують *(N-1)/2* елементів, великих чи рівних йому по величині і *(N-1)/2* елементів, менших чи рівних йому по величині. У силу того, що для операції знаходження медіани не виконується одна з аксіом лінійності, медіанний фільтр є нелінійним**.**

Медіанні фільтри застосовуються для згладжування зображень і для придушення шуму. Раніше розглянуті лінійні низькочастотні фільтри, застосовувані для тих же цілей. Медіанні фільтри по своїх властивостях відрізняються від них. По-перше, медіанні фільтри зберігають різкі перепади, тоді як лінійні низькочастотні фільтри їх змазують. По-друге, медіанні фільтри дуже ефективні при згладжуванні імпульсного шуму, але можуть приводити до повного зникнення дрібних деталей зображення при неадекватному виборі параметрів фільтра.

Медіанні фільтри використовуються також для виявлення границь і виділення об'єктів.

Для формування апертур довільної форми (хрестоподібних, кільцевих і т.д.) використовується бінарна вагова функція, що приймає значення 0 чи 1 (рис.2.22).

**1**

**0**

**0**

**1**

**0**

**0**

**1**

**1**

**1**

**0**

**0**

**0**

**0**

**0**

**0**

**1**

**1**

**1**

**1**

**1**

**1**

**1**

**1**

**1**

**1**

**0**

**1**

Рис.2.22. Апертури медіанного фільтра довільної форми.

Медіанні фільтри нерідко застосовуються ітеративно, причому фільтрація повторюється доти, поки на профільтрованому зображенні не припиняться зміни. В іншому варіанті ітеративного застосування від кроку до кроку ітерації міняється апертура фільтра. У так називаному роздільному медіанному фільтрі одномірний медіанний фільтр застосовується спочатку до кожного рядка, а потім – до кожного стовпця зображення.

Різновидом медіанного фільтра є взважено-медіанний фільтр. У такому фільтрі використовується вагова функція, але інтерпретується вона інакше, чим у лінійних фільтрах. Тут вагові коефіцієнти показують, скільки разів потрібно враховувати елементи зображення, що потрапили в апертуру.

Якщо виходу фільтра привласнювати значення не медіани даних, що знаходяться в апертурі, а значення відповідне будь-якому заданому місцеві у варіаційному ряді, то можна одержати фільтри, називані процентільними [Л8]. Вони також є нелінійними.

 Розглянутий метод придатний не тільки для напівтонових, але і для бінарних зображень(чорно-білих). Для них доцільно використовувати інше, спрощене правило формування відгуку, не потребуюче побудови варіаційного ряду. Це правило полягає в наступному. Якщо на ділянці полю, що попало в апертуру, кількість одиниць перевищує кількість нулів, то відгук фільтра покладається рівним одиниці, у противному випадку - нулю. Дане правило допускає узагальнення на випадок бінарного процентільного фільтра. У такому фільтрі відгук покладається рівним одиниці, якщо в межах апертури знаходиться, принаймні ***r***одиниць.

**3.4.2. Нелінійні методи контрастування меж**

Раніше були розглянуті лінійні методи підкреслення перепадів яскравості і виділення контурів. Відомі і нелінійні методи контрастування [Л8].

Один з таких методів запропонований Робертсом і складається у використанні операції двовимірного дискретного диференціювання

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.10) |

 де

|  |  |
| --- | --- |
| *U = F(i,j) - F(i+1,j+1),* | *V = F(i,j+1) - F(i+1,j).* |

 Подібні результати дає інший аналогічний оператор, що вимагає меншого обсягу обчислень:

|  |  |
| --- | --- |
|   |  (2.11) |

З формул (2.10) і (2.11) видно, що застосовується квадратна апертура розміром 2x2. Вагова функція не задається (вважається, що вона дорівнює одиниці).

**1**

**1**

**1**

**1**

***U***

***V***

Рис.2.23. Обробка елементів зображення у фільтрі Робертса.

Інший нелінійний оператор контрастування, що використовує апертуру розміром 3x3, запропонований Собелом:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

де

*X = [F(i-1,j+1) + 2F(i,j+1) + F(i+1,j+1)] - [F(i-1,j-1) + 2F(i,j-1) + +F(i+1,j-1)],*

 *Y = [F(i-1,j-1) + 2F(i-1,j) + F(i-1,j+1)] - [F(i+1,j-1) + 2F(i+1,j)+ + F(i+1,j+1)].*

**2**

**1**

**1**

**2**

**1**

**1**

**0**

**0**

**0**

**0**

**1**

**1**

**0**

**1**

**1**

**2**

**0**

**2**

# X

# Y

Рис.2.24. Обробка елементів зображення у фільтрі Собела.

За аналогією з (2.11) напрошується спрощений варіант, що не вимагає операцій зведення в квадрат і обчислення квадратного кореня:

*G(i,j) = |X| + |Y|.*

 Методи нелінійної обробки надзвичайно різноманітні. Ще за один приклад приведемо алгоритм, що виявляє на зображенні локальні максимуми (вершини).

Алгоритм нескладний. По зображенню переміщається вікно заданого розміру. Елементи, що потрапили у вікно, порівнюються по величині з елементом, розташованим у центрі вікна. Якщо центральний елемент чи більше дорівнює своєму оточенню, то він без зміни переноситься у вихідне зображення. Якщо хоча б один елемент у вікні перевищує центральний, у вихідне зображення записується нуль.

**ВИСНОВКИ**

Попередня обробка призначена для покращення якості зображень.

Основними операціями попередньої обробки є радіометрична корекція зображень, усунення шумів та підкреслення меж.

**ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ**

1. За якими принципами здійснюється радіометричне корегування і перетворення зображень?
2. Як змінюються гістограми зображень після по елементних перетворень?
3. За якими принципами здійснюється локальна фільтрація зображень.
4. У чому полягають розбіжності не рекурсивної та рекурсивної фільтрації?
5. Яки маски фільтрів використовуються для згладжування та підкреслення меж?
6. Яки переваги мають нелінійні методи підкреслення меж?
7. За якими принципами здійснюється медіанна та процентільна фільтрація (erode, dilate, opening, closing)?