

ВИКОРИСТАННЯ БАЗОВИХ МАЛОХВИЛЬОВИХ ФУНКЦІЙ ГАБОРА ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ ВЕКТОРІВ РУХУ ВІДЕОСИГНАЛІВ

In this article Gabor wavelet transform has been analyzed, as well as all of its possibilities for feature points detection in video has been highlighted. Besides, initial motion vectors searching algorithm is optimized by virtue of Gabor wavelet coefficients.

У даній роботі проведено аналіз малохвильового перетворення Габора, показана можливість його застосування для знаходження ключових точок у кадрах відеопослідовності. Оптимізовано алгоритм пошуку векторів руху наближення для послідовних кадрів відео-зображень шляхом використання малохвильових коефіцієнтів Габора.

1. ВСТУП

На сучасному етапі розвитку техніки оброблення сигналів багато зусиль та коштів витрачається на вдосконалення способів відображення даних на екрані комп'ютера. Одним з ключових елементів оброблення відеосигналів є оцінка руху між кадрами у відеопослідовності. Відслідкування векторів руху у наборі послідовних кадрів є дуже важливим оскільки дає можливість стискати відеозображення базуючись на знайдених векторах руху. Також оцінка руху досить широко застосовується на етапі післяоброблення відеосигналів. Серед існуючих методів оцінки руху можна виділити декілька основних: метод оптичного потоку [1], метод фазової кореляції та метод співставлення блоків [2, 3, 4]. Завдяки простоті апаратної реалізації та високій обчислювальній ефективності, найбільш широко на практиці застосовуються метод співставлення блоків, принцип роботи якого складається з двох основних етапів. Поточний кадр розбивається на блоки, що не перетинаються, а потім для кожного блоку поточного кадра, здійснюється пошук найбільш підходящого блоку в попередньому або наступному кадрі.

Серед задач, які розв'язуються з допомогою сучасних методів та алгоритмів оцінки руху є наступні:

¹ Національний університет «Львівська політехніка»

- знаходження первинних векторів руху наближення;
- відслідковування вектора руху у швидкозмінних відеосигналах.

В даній роботі запропонований підхід для знаходження векторів руху наближення у відеосигналах з використанням малохвильових коефіцієнтів Габора, що дає змогу одночасно ефективно знаходити первинні вектори руху, а також відслідковувати швидкозмінну інформацію у відеосигналах.

2. ОБЧИСЛЕННЯ МАЛОХВИЛЬОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ГАБОРА

Малохвильове перетворення Габора може бути представлене набором функцій Габора, які подібні між собою і відрізняються лише зсувом фази, розширенням та поворотом. Оскільки у функціях Габора присутні як просторова, так і частотна складові, то у випадку їх перетворення вони змінюються в обох областях. Функції Габора володіють багатьма ступенями змінності, що дозволяє ефективно підбирати параметри перетворення, які визначаються користувачем.

Малохвильове перетворення Габора переважно використовується для детектування ключових елементів зображення [5-9], проте може використовуватись і для визначення розбіжності між зображеннями [4], і для детектування текстур [10].

Функції Габора, запропоновані Догманом, описують просторові фільтри, які розкладають сигнал в 2D просторовому та 2D Фур'є представленні. Догман представив функцію Габора у наступній 2D формі [11]:

$$\Psi_i(\vec{x}) = \frac{\|\vec{k}_i\|^2}{\sigma^2} e^{-\frac{\|\vec{k}_i\|^2 \|\vec{x}\|^2}{2\sigma^2}} \left[e^{jk_i x} - e^{-\frac{\sigma^2}{2}} \right] \quad (1)$$

де $\Psi_i(\vec{x})$ – вейвлет Габора, що характеризується різними коефіцієнтами масштабування та повороту. σ - стандартний розкид функції Гауса. Вектор $\|\vec{k}_i\|$ фільтра (i) визначається наступним чином [11]:

$$\vec{k}_i = \begin{pmatrix} k_{ix} \\ k_{iy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_v \cos \theta_\mu \\ k_v \sin \theta_\mu \end{pmatrix} \quad (2)$$

де k_v і θ_μ – коефіцієнти масштабованості та повороту відповідно.

Знаходження малохвильових коефіцієнтів зображення проводиться згідно виразу (аналогічно як і у класичному малохвильовому перетворенні)

$$R_i(\bar{x}) = \int I(\bar{x}') \Psi(\bar{x} - \bar{x}') d\bar{x}' \quad (3)$$

де $I(\bar{x}')$ – значення яскравості в точці \bar{x}' . Розклад відбувається з різними значеннями коефіцієнта напрямку та масштабування.

Багатократне перетворення базових малохвильових функцій Габора з різними частотними показниками та різними кутами повороту, що покриває всю спектральну область, може бути використане для обчислення енергетичного представлення зображення. Так, здебільшого для отримання енергетичного представлення зображення у всій спектральній області, зображення по чергово фільтрують з різними частотними коефіцієнтами та коефіцієнтами кута повороту, при чому загальна кількість фільтрації зображення може складати наприклад 56 раз (7 раз змінюється частота, 8 – кут повороту).

3. ВИДІЛЕННЯ КЛЮЧОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗОБРАЖЕННЯ

Відслідковування за ключовими елементами зображення є важливою задачею в галузі опрацювання відеосигналів. Коли ключовий елемент одночасно знаходиться в декількох кадрах відеопослідовності, визначення приналежності даного ключового елемента до певних кадрів є важливим розв'язком задачі для процесу оброблення відеосигналів. Для вирішення даної задачі доцільно використовувати малохвильове перетворення Габора, оскільки таке перетворення дає найкращу відповідність між просторовими та частотними складовими самого зображення [11]. В роботі [10] розглянений алгоритм відслідковування ключових елементів зображення на основі графів шляхом використання малохвильових коефіцієнтів Габора. Алгоритм містить наступні основні кроки:

- розрахунок малохвильових коефіцієнтів Габора;
- знаходження ключових елементів окремого кадра зображення;
- знаходження відповідності між ключовими елементами у різних кадрах відеопослідовності.

Розрахунок малохвильових коефіцієнтів перетворення Габора здійснюється згідно виразу (3).

Після розрахунку коефіцієнтів усього зображення, вибираються точки, які приймаються ключовими елементами зображення. Різні точки мають різну ступінь важливості у зображенні. В [10] запропонований дещо спрощений алгоритм визначення ключових точок зображення. Як результат, область де знаходиться більша кількість ключових точок має більшу важливість ніж область, де ключових елементів менше. Прикладом можуть бути сцени з основним актором (ключових точок в області де зображений основний актор/ведучий буде значно

більше ніж в області фону). Проте дане твердження не означає, що в областях з фоном не буде ключових точок.

Для визначення важливості елементів зображення, перш за все визначається енергія $E(x, y)$ малохвильових коефіцієнтів перетворення Габора точки (x, y) :

$$E(x, y) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |I(x, y, m, n)|^2 \quad (4)$$

де $I(x, y, m, n)$ – значення малохвильового коефіцієнта Габора в точці (x, y) діапазону (m, n) .

Існують дві переваги використання енергії коефіцієнтів Габора для визначення ключових точок зображення: людська зорова система може бути змодельована з допомогою функцій Габора; енергія малохвильових коефіцієнтів Габора може бути використана для детектування ключових елементів зображення.

На рис. 1 наведена інтенсивність малохвильових коефіцієнтів Габора для зображення обличчя.

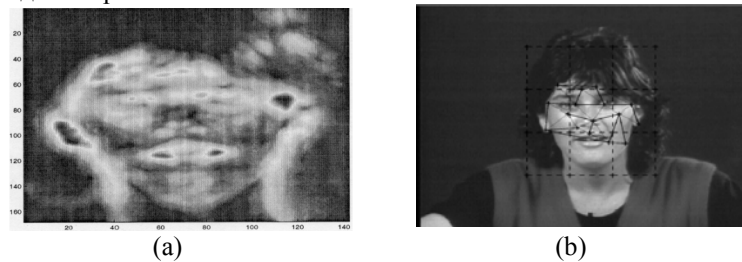


Рис. 1. Енергетичне представлення малохвильових коефіцієнтів Габора (а) та вибір ключових точок зображення (б)

З рисунка видно, що більша енергія міститься у важливих елементах зображення: вздовж носа, очей, рота, контурів обличчя. Важливість певної точки $S(x, y)$ визначається як зростаюча функція енергії.

$$S(x, y) = f_s(E(x, y)). \quad (5)$$

З метою відбору (фільтрування) ключових точок зображення встановлюється порогова величина T . Точки зображення, в яких $S(x, y) > T$, вибираються як ключові точки.

$$\{x_f, y_f\} = \{(x, y), \text{ якщо } S(x, y) > T\}, \quad (6)$$

де $\{x_f, y_f\}$ - знайдена ключова точка в позиції (x, y) , $S(x, y) > T$ - умова, що повинна задовільнятися. На етапі, коли ключові точки зображення знайдені, визначаються глобальні зв'язки між

ключовими точками у зображенні. Так як на площині зображення ключові точки розкидані нерівномірно, то першим кроком потрібно з'єднати ці точки між собою, формуючи сітку.

Нехай на зображенні знайдено N_p ключових точок $\{x_f(n), y_f(n)\}$, де $n = 1 \dots N_p$ розподілених в певному об'єкті. Перш за все вибирається нова точка $x_f(i), y_f(i)$ (i змінюється від 1 до N_p), з'єднується вона з попередніми точками $\{x_f(j), y_f(j)\}$, $\text{їдє } j = 1 \dots i - 1$ новими відрізками. Якщо новий відрізок перетинає якийсь з існуючих відрізків, то залишається лише коротший відрізок. В кінцевому результаті залишаються відрізки, які формують трикутники. На рис. 1 наведений приклад формування сітки з ключових точок зображення.

Якщо поточні ключові точки та глобальна сітка визначені, то можна обчислювати відповідність між ключовими точками в кожному з кадрів. Остаточна відповідність між ключовими точками у різних кадрах відеопослідовності обчислюється з локальної та глобальної відповідностей [10, 11]. Поточна відповідність $S_1(i)$ між ключовими елементами $(x_{f_o}(i), y_{f_o}(i))$ поточного кадру і ключовими елементами наступного кадру $(x_{f_m}(i), y_{f_m}(i))$ визначається [9, 14]:

$$s_1(i) = \frac{L_o(i) \cdot L_m(i)}{\|L_o(i)\| \times \|L_m(i)\|} \min\left(\frac{\|L_m(i)\|}{\|L_o(i)\|}, \frac{\|L_o(i)\|}{\|L_m(i)\|}\right) \quad (7)$$

Де $L_o(i)$ локальний вектор $(x_{f_o}(i), y_{f_o}(i))$ в поточному кадрі і $L_m(i)$ вектор у наступному кадрі $(x_{f_m}(i), y_{f_m}(i))$. Добуток у виразі (7) визначає кут між відповідними векторами, а норма функції – довжину вектора, \min визначає найменшу компоненту. Остаточна локальна відповідність між ключовими елементами кадрів визначається як

$$S_1(i) = \sum_{i=1}^{N_p} s_1(i) / N_p \quad (8)$$

Глобальна відповідність між ключовими точками у кадрах відеопослідовності S_g визначається, як \cos кута між вектором площі поточного і наступного кадру відеопослідовності

$$S_g = \cos(k \arccos\left(\frac{G_M \cdot G_O}{\|G_M\| \times \|G_O\|}\right)), \quad (9)$$

де, k – параметер, який збалансовує чутливість між локальними і глобальними векторами, G_o – результуючий вектор площі, який визна-

часться з $(a_o(1), a_o(2), \dots, a_o(N_t))$ окремих векторів площі незалежних трикутників поточного кадру; G_M – результуючий вектор площі, який визначається з $(a_m(1), a_m(2), \dots, a_m(N_t))$ окремих векторів площі незалежних трикутників наступного кадру відеопослідовності. Загальна відповідність між ключовими елементами поточного і наступного кадрів відеопослідовності визначається як [6].

$$S = \alpha S_1 + (1 - \alpha) S_g \quad (10)$$

де α – коефіцієнт, що встановлює баланс між локальним та глобальним векторами.

Важливим елементом алгоритму знаходження відповідностей між ключовими точками у кадрах є реалізація самого пошуку відповідності між ключовими точками. На даний час існує низка реалізацій такого пошуку [10, 12, 13].

Усі алгоритми виділення ключових елементів зображення якщо їх застосовувати до відеосигналів мають ряд суттєвих недоліків :

- у кожному кадрі відеопослідовності ключові точки розподіляються нерівномірно. В одній частині зображення кількість точок велика, а в іншій їх немає;

- пошук відповідності між ключовими точками не оптимізований для використання даного підходу у відеосигналах.

В даній роботі пропонується усунення низки недоліків і застосовано новий підхід знаходження між ключовими елементами для відеосигналів.

4. ЗНАХОДЖЕННЯ ВЕКТОРІВ РУХУ НАБЛИЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛЮЧОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВІДПОВІДНИХ КАДРІВ

Для того, щоб якісно використати ключові елементи зображення для знаходження первинних векторів руху наближення у відеосигналах необхідно усунути ряд недоліків описаних вище. На рис. 2. наведена блок-схема запропонованого алгоритму знаходження векторів руху наближення у відеосигналах.

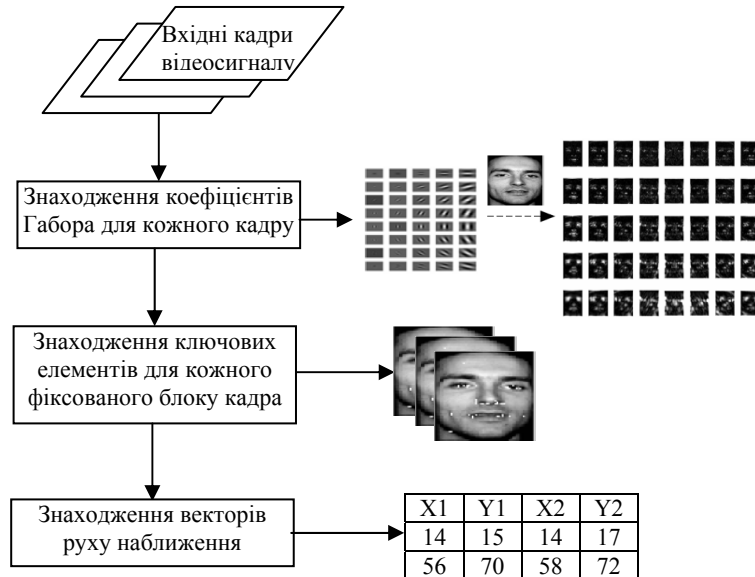


Рис. 2. Блок схема знаходження векторів руху наближення у відеосигналах

Наведена схема алгоритму відрізняється від схеми описаної в вище необхідністю виконання певних умов, а саме:

1. Для того, щоб ключові елементи були розсіяні по усьому діапазону зображення необхідно, щоб для кожного фіксованого блоку знаходився як мінімум один ключовий елемент:

$$N_{iB} = \max_B(E(x, y)) \quad (11)$$

де $E(x, y)$ – енергія малохвильових коефіцієнтів Габора, B – блок кадру відеопослідовності (в даній реалізації використаний блок розміром 16×16), N_{iB} – ключові елементи (в діапазоні блоку B повинно знаходитись від одного до трох ключових елементів).

2. Оскільки в процесі досліджень встановлено, що блок у відеопослідовності не зсувається більше ніж як на певну фіксовану відстань (в даній реалізації відстань вибирається в залежності від розширення і становить 16 пікселів), то і пошук відповідних ключових елементів повинен здійснюватися лише в даному діапазоні.

5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження процесу знаходження векторів руху наближення використано тестовий відеосигнал розміром 128x128: “Дівчина - море” (рис. 3).



Рис. 3. Зображення 3,4-ого кадра відеопослідовності “Дівчина – море”

Кадри підібрані таким чином, щоб можна було оцінити рух, а саме знайти вектори руху наближення з допомогою описаного алгоритму.

На рис. 4. відображено ключові елементи 3-тього і 4-того кадру відеопослідовності “Дівчина-море”, а також вказані деякі вектори руху для даного відеосигналу. З наведеного рисунку можна помітити, що ключові елементи розподілені по всьому діапазоні кадру відеопослідовності, що дає змогу використати вектори руху наближення як вихідний параметер для методів оцінки руху.

У таблиці 1 наведені результати знаходження первинних векторів руху (x_1, y_1 – координати поточного, x_2, y_2 - наступного кадру відеопослідовності). Значення первинних векторів руху (наведених у таблиці 1) можна використовувати як додаткові характеристики в алгоритмах оцінки руху, а також для контролю якісних характеристик векторів руху.

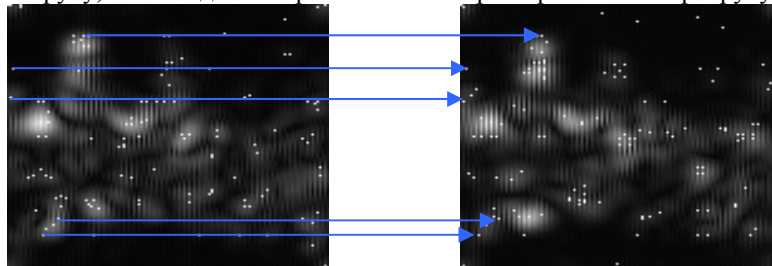


Рис. 4. Малохвильові коефіцієнти Габора 3,4 (ого) кадра відеопослідовності “Дівчина – море” та знайдені вектори руху наближення

Таблиця 1.

№	X1	Y1	X2	Y2
1	0	0	0	0
2	1	0	1	1
3	126	0	126	1
4	110	7	104	11
5	30	15	30	15
...
55	121	63	116	65

6. ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропонований підхід доцільно використовувати для знаходження векторів руху наближення у відеосигналах. Даний алгоритм не заміняє основної функції алгоритмів оцінки руху, оскільки він не дає достатньої інформації про рух кожного блока зображення відеопослідовності, проте знайдені вектори руху наближення можуть бути використані як вхідні дані для алгоритму оцінки руху або для контролю якості самих векторів руху. Даний підхід менш чутливий до різних типів спотворень, оскільки базується на використанні малохвильового перетворення Габора. Як відомо малохвильові коефіцієнти менш чутливі до шумів, що з'являються в просторовій області зображення. Отже, даний підхід доцільно використовувати разом з будь яким алгоритмом оцінки руху, або для відслідковування правильності знаходження векторів руху.

1. Wu X., Bhanu B. Gabor wavelet representation for 3-D object recognition *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 47–64, Jan. 1997. 2. Симолян К.А., Грушин С. В., Ватолин Д.С. Адаптивный метод оценки движения в видео – Сборник статей молодых ученых Вмик МГУ 2008 выпуск 5. 3. Wang Z., Jenkin M. Using complex Gabor filters to detect and localize edges and bars - in *Advances in Machine Vision: Strategies and Applications*, vol. 32, C. Archibald and E. Petriu, Eds. River Edge, NJ: World Scientific, 1992, pp. 151–170. 4. Haan G., Biezen, Huijgen H., Ojo O.A True-motion estimation with 3-D recursive search block matching - *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 1993. 3(5): p. 368.[3] 5. Braithwaite R., B. Bhanu Hierarchical Gabor filters for object detection in infrared images - in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recog., Seattle, WA, June 1994*, pp. 628–631. 6. Chao He, Yuan F. Zheng, Stanley C. Object Tracking Using the Gabor Wavelet Transform and the Golden Section Algorithm 2004. 7. Fedak V.I, Nakonechny A.Y. Artifacts suppression in images and video. Non-Local Means as algorithm for reducing image and video distortions. - Hluboka nad Vltavou, Czech Republic 2009. 8. Fleet D. , Jepson A., Jenkin M. Phase-based

disparity measurement - Comput. Vision, Graphics, Image Processing: Image Understand., vol. 53, pp. 198–210, 1991. 9. Haan G., Braspenning R.A. *True-motion estimation using feature correspondence - SPIE, Proceedings of VCIP*, Jan. 2004, pp. 396-407. 10. Lades M., Vorbruggen J. C., Buhmann J. "Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 42, pp. 300–311, Mar. 1993. 11. Kepenekci B. *Face recognition using Gabor Wavelet* 2001. 12. Manjunath B. S. , Shekhar C. , Chellappa R. *A New Approach to Image Feature Detection with Applications* (1996). 13. Memin E., Perez P. *Dense estimation and object-based segmentation of the optical flow with robust techniques- IEEE Transactions on Image Processing*, 7(5):703719, 1998. 14. Гришин С. В., Ватолин Д.С. *Алгоритм N-кратного увеличения частоты кадров видео на основе пиксельной компенсации движения с обработкой наложений – МГУ* 2006. 15. Fedak V.I, Nakonechny A.Y. *Artifacts suppression in images and video. Non-Local Means as algorithm for reducing image and video distortions. - Hluboka nad Vltavou, Czech Republic* 2009. 16. Wu X., Bhanu B. *Gabor wavelet representation for 3-D object recognition IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 47–64, Jan. 1997.