УДК 681.7 : 621.398

Муравський Леон□д

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

БІНАРНЕ ФАЗОВЕ КОДУВАННЯ ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ У СЛІДКУЮЧІЙ КОРЕЛЯЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

© Муравський Леонід, 2000

Запропоновано новий метод слідкування за об'єктами спостереження і зондуючими лазерними пучками та їх центрування у слідкуючій кореляційній системі. На основі лінійної моделі корелятора сумісного перетворення Фур'є (СПФ) проведено теоретичний аналіз процедури формування сигналу розузгодження.

The new method for an object and a laser beam tracking and centering in a tracking correlation system is proposed. This method is based on comparison of four correlation peaks in the ±1-st diffraction orders of a joint transform correlator (JTC), which are produced as a result of correlation between a reference binary phase mask divided on four equal parts and an object image encoded by the same but nondivided phase mask. The algorithm of this system working is considered. The theoretical analysis of the procedure of the difference stearing (disadjustment) signal producing is carried out on basis of a JTC linear model.

Проблеми слідкування за об'єктами спостереження, а також супроводу і центрування зондуючих лазерних пучків вважаються ключовими в навігації, роботобаченні та телеметрії. В останні роки поряд з радіолокаційними системами слідкування використовуються оптико-електронні слідкуючі системи, в яких переваги паралельного введення і попередньої обробки оптичних сигналів поєднуються з функціональними можливостями обробки відеосигналів в радіоелектронних пристроях і мережах. Переважна більшість такого типу систем побудована на базі позиційно-чутливих детекторів (ПЧД), зокрема квадрантних та бідетекторів [1-4]. Загальним недоліком ПЧД вважається нестабільність ряду характеристик, складна технологія виготовлення, наявність неоднорідних за чутливістю зон прилягання сусідніх фоточутливих елементів ПЧД, недостатня роздільна здатність. З іншого боку, ефективне вирішення завдання слідкування може базуватись на використанні оптичних та гібридних кореляційних систем розпізнавання образів [2,3].

Запропонований нами підхід базується на бінарному фазовому кодуванні зображення об'єкта спостереження. Фазове кодування зображень застосовується у техніці кореляційного розпізнавання образів [4-7] і, зокрема, в системах оптичного захисту об'єктів від підробки [6,7]. Внаслідок бінарного кодування вхідного зображення об'єкта на виході оптичного корелятора формуються вузькі та інтенсивні кореляційні піки, порівняння яких дає змогу виробити керуючий сигнал, що центрує об'єкт відносно вхідної площини корелятора. Отже, щоб забезпечити процедуру центрування об'єкта, необхідно створити слідкуючу кореляційну систему (СКС), в якій до оптичного корелятора додається петля

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

зворотного зв'язку та пристрій позиціонування об'єкта (або пристрій позиціонування входу корелятора чи всієї СКС залежно від специфіки поставленого завдання). В такій системі найдоцільніше використовувати корелятор сумісного перетворення Фур'є, оскільки порівняно з корелятором Ван дер Люгта він має ряд суттєвих переваг, зокрема функціональну придатність до виконання операцій кореляційного порівняння оптичних сигналів у реальному масштабі часу та відсутність просторових узгоджених фільтрів, які вимагають прецизійного юстування та позиціонування.

Описання процедури центрування і супроводу. Суть запропонованого підходу до центрування і супроводу рухомого об'єкта в СКС полягає у кореляції кожного з чотирьох рівновеликих просторово розділених прямокутних фрагментів еталонної фазової маски (ФМ) $r(x,y)$ (маски r), розташованої у вхідній площині (x,y) корелятора СПФ, з відповідним фрагментом зображення об'єкта $o(x,y)$ (зображення o), закодованого розташованою у тій самій площині прямокутною початковою ФМ $s(x,y)$ (маскою s), яка складається з тих самих фрагментів, що і еталонна маска, однак не розділених просторово. Тобто маску r отримують, поділивши маску s на чотири фрагменти. В результаті кореляції між еталонною ФМ та фазокодованим зображенням об'єкта на виході корелятора формуються чотири кореляційні піки в +1-му і -1-му дифракційних порядках вихідної площини (x',y'), попарно симетричних відносно центрів цих порядків. Схематично формування кореляційного сигналу у кореляторі СПФ зображено на рис. 1. Якщо геометричний центр зображення o не збігається з центром маски s, то два протилежні симетричні піки не є однаковими за інтенсивністю, внаслідок чого на виході системи виробляється різницевий сигнал розузгодження. Цей сигнал по петлі зворотного зв'язку діє або на пристрій позиціонування об'єкта, або на вхід корелятора СПФ так, щоб сумістити центр об'єкта з центром маски s. Запропонований підхід передбачає також центрування та супровід несиметричних об'єктів шляхом почергового порівняння сумарних сигналів від кореляційних піків, розташованих у двох нижніх і двох верхніх та у двох правих і двох лівих квадрантах першого дифракційного порядку вихідної площини корелятора.

Загальний алгоритм функціонування СКС можна описати у вигляді такої послідовності операцій:

- генерування прямокутної бінарної випадкової ФМ (маски s), що складається з сукупності згрупованих по рядках і стовпцях пікселів з комплексними амплітудними пропусканнями +1 або -1;
- поділ маски s на чотири рівні частини вздовж осей x і y вхідної площини (x,y) корелятора СПФ;
- формування маски r шляхом зсуву кожної з чотирьох частин маски s на однакові векторні віддалі у протилежних напрямках відносно геометричного центру маски s;
- встановлення маски r у вхідній площині корелятора СПФ;
- ввід маски s у вхідну площину корелятора СПФ як фазової складової вхідного зображення;
- ввід зображення o у вхідну площину корелятора СПФ як амплітудної (або амплітудно-фазової) складової вхідного зображення;
- бінарне фазове кодування зображення o маскою s;

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

- сумісне перетворення Фур'є фазокодованого зображення об'єкта та маски r в кореляторі СПФ;

- формування кореляційних піків (чотирьох піків) в одному з дифракційних порядків корелятора СПФ;

- формування сигналів розузгодження, пропорційних різницям інтенсивностей протилежних кореляційних піків;

- суміщення центру об'єкта з центром маски s вхідної площини корелятора шляхом дії сигналів розузгодження через петлю зворотного зв'язку на пристрій позиціонування.

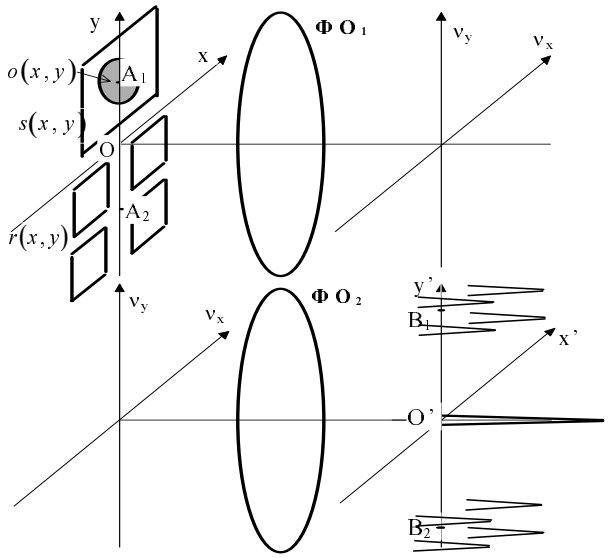


Рис. 1. Формування кореляційного сигналу від еталонної ФМ $r(x,y)$ та від зображення об'єкта $o(x,y)$, закодованого маскою $s(x,y)$: A_1 – центр маски s; A_2 – центр маски r; B_1, B_2 – центри +1-го і -1-го дифракційних порядків; $ФО_1$, $ФО_2$ – фур'є-об'єктиви; ν_x, ν_y – координатні осі частотної площини (ν_x, ν_y).

Багаторазові ітерації цього алгоритму забезпечують постійний супровід об'єкта спостереження.

Аналіз функціональних перетворень в СКС. Щоб проаналізувати функціональні перетворення в СКС, розглянемо лінійну модель корелятора СПФ. Така модель не відповідає реальним нелінійним кореляційним системам, однак загалом правильно відображає формування кореляційних піків. Для спрощення описання формування сигналу розузгодження в СКС розглянемо ФМ прямокутної форми, що складається з M стовпців і N рядків, розміщених впритул один до одного однакових прямокутних фазових елементів (пікселів) з площею $a \times b$, де a – горизонтальна сторона комірки, b – висота комірки із фазою θ, що дорівнює 0 або π. Комплексне амплітудне пропускання кожного піксела можна описати таким виразом [7]:

$$t_{m,n}(x,y) = rect\left(\frac{x - x_m}{a}\right) rect\left(\frac{y - y_n - y_0}{b}\right) \exp\left(j\theta_{m,n}\right), \qquad (1)$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

де $x_m = am - \frac{a}{2}(M+1)$, $y_n = -bn + \frac{b}{2}(N+1)$ – координати центру піксела у площині (x,y). Згідно з (1) функцію комплексного пропускання маски s у вхідній площині (x,y) корелятора СПФ запишемо у такому вигляді:

$$s(x,y) = \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} rect\left(\frac{x-x_m}{a}\right) rect\left(\frac{y-y_n-y_0}{b}\right) \exp\left(j\theta_{m,n}\right), \tag{2}$$

а функцію комплексного пропускання маски r - у вигляді

$$\begin{aligned} r(x,y) = &\sum_{m=1}^{M/2}\sum_{n=1}^{N/2} rect\left(\frac{x-x_m+x_p}{a}\right) rect\left(\frac{y-y_n+y_0+y_q}{b}\right) \exp\left(j\theta_{m,n}\right) + \\ &+ \sum_{m=M/2+1}^{M}\sum_{n=1}^{N/2} rect\left(\frac{x-x_m-x_p}{a}\right) rect\left(\frac{y-y_n+y_0+y_q}{b}\right) \exp\left(j\theta_{m,n}\right) + \\ &+ \sum_{m=1}^{M/2}\sum_{n=N/2+1}^{N} rect\left(\frac{x-x_m+x_p}{a}\right) rect\left(\frac{y-y_n+y_0-y_q}{b}\right) \exp\left(j\theta_{m,n}\right) + \\ &+ \sum_{m=M/2+1}^{M}\sum_{n=N/2+1}^{N} rect\left(\frac{x-x_m-x_p}{a}\right) rect\left(\frac{y-y_n+y_0-y_q}{b}\right) \exp\left(j\theta_{m,n}\right), \end{aligned} \tag{3}$$

де y_0 – віддалі від початку координат площини (x,y) до геометричних центрів масок r і s; $x_p = pa$ – горизонтальні зміщення фрагментів маски r відносно вертикальної прямої $x = 0$ (відносно осі $\vec{y}$); $y_q = qb$ – вертикальні зміщення фрагментів маски s відносно горизонтальної прямої $y = -y_0$; $p = 1,2,\ldots$; $q = 1,2,\ldots$.

На рис. 2,а зображено геометрію розташування масок r і s у вхідній площині (x,y) корелятора.

Здебільшого об'єкти спостереження мають круглу форму з однорідною або зі спадною вздовж радіального напрямку яскравістю. Однак для спрощення аналітичного описання функціональних перетворень в СКС розглянемо прямокутний об'єкт, кутова орієнтація граней якого збігається з кутовою орієнтацією граней масок r і s. Отже, на вхід корелятора СПФ вводиться прямокутний рухомий об'єкт, зображення якого формується на масці s. Грані об'єкта паралельні до граней маски, розміри менші за розміри маски s, а під час руху зображення об'єкта не змінює своєї орієнтації. Функцію комплексного пропускання зображення o запишемо так:

$$o(x,y,t) = rect\left[\frac{x-x_m-\Delta x(t)}{A}\right] rect\left[\frac{y-y_n-y_0-\Delta y(t)}{B}\right], \tag{4}$$

де $\Delta x(t)$, $\Delta y(t)$ - просторові переміщення зображення o вздовж осей $\vec{x}$ і $\vec{y}$ відповідно за час t; A, B - довжина і висота зображення o відповідно.

Просторові переміщення $\Delta x(t)$, $\Delta y(t)$ у довільний момент часу $t = t_0$ опишемо виразами

$$\Delta x(t_0) = \Delta m a + \delta x, \quad \Delta y(t_0) = \Delta n b + \delta y, \tag{5}$$

де Δm і Δn - цілі числа, $\delta x < a$, $\delta y < b$.

Якщо розміри зображення o кратні до відповідних розмірів пікселів маски $\boldsymbol{s}$, тобто $A = M_0 a$, $B = N_0 b$, і числа M_0, N_0 – парні, то вираз (4) з врахуванням (5) для $t = t_0$ набирає вигляд:

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$o(x,y,t_0) = rect\left[\frac{x - x_m - (\Delta ma + \delta x)}{M_0 a}\right] rect\left[\frac{y - y_n - y_0 - (\Delta nb + \delta y)}{N_0 b}\right]. \quad (6)$$

Сформоване на масці s зображення o кодується цією маскою і результуюча функція комплексного пропускання вхідного фазокодованого зображення описується виразом

$$u(x,y,t_0) = s(x,y) \times o(x,y,t_0). \quad (7)$$

Якщо $\delta x = 0$ і $\delta y = 0$, вираз (7) набирає вигляд

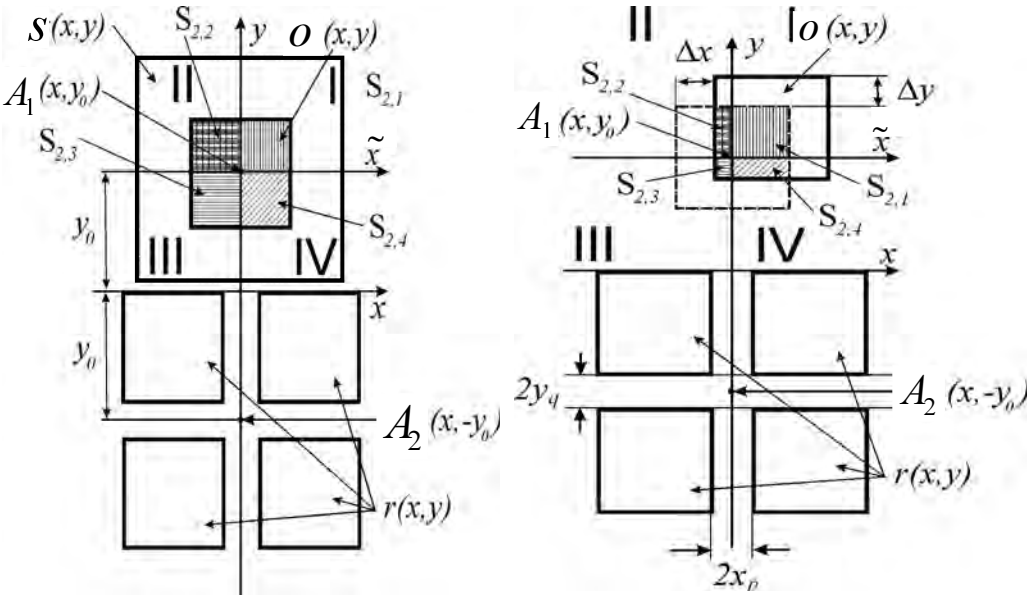
$$u(x,y,t_0) = \sum_{m=0.5(M-M_0)+1+\Delta m}^{0.5(M+M_0)+\Delta m} \sum_{n=0.5(N-N_0)+1+\Delta n}^{0.5(N+N_0)+\Delta n} rect\left(\frac{x - x_{\tilde{m}}}{a}\right) rect\left(\frac{y - y_{\tilde{n}} - y_0}{b}\right) \times$$
$$\times \exp\left(j\theta_{m,n}\right), \quad (8)$$

причому $\Delta m \le \pm 0.5(M - M_0)$, $\Delta n \le \pm 0.5(N - N_0)$. З виразу (8) зрозуміло, що при $\Delta m > 0$, $\Delta n > 0$ зображення o пересувається у додатному напрямі осі $\vec{y}$ та осі $\vec{\tilde{x}}$, яка паралельна осі $\vec{x}$ і проходить через точку $A_1(0, y_0)$ центру маски s (див. рис. 1). Геометрію розташування маски s і зображення o, центрованого відносно точки $A_1(0, y_0)$ наведено на рис. 2,а, а геометрію розташування маски s і зображення o в момент часу t_0 при $\Delta m > 0$, $\Delta n > 0$ – на рис. 2,б.

В результаті СПФ функцій комплексного пропускання фазокодованого зображення $u(x,y,t_0)$ і маски r вираз для сумісного енергетичного спектра, що реєструється у частотній площині (ν_x, ν_y) лінійного корелятора СПФ, набирає вигляд

$$\left|T(\nu_x,\nu_y)\right|^2 = \left|R(\nu_x,\nu_y) + U(\nu_x,\nu_y)\right|^2 = RR^* + RU^* + R^*U + UU^*, \quad (9)$$

де $R(\nu_x,\nu_y) = F\{r(x,y)\}$, $U(\nu_x,\nu_y) = F\{u(x,y,t_0)\}$, F – оператор перетворення Фур'є, $R^*(\nu_x,\nu_y)$ – функція, комплексно-спряжена до функції $R(\nu_x,\nu_y)$, $U^*(\nu_x,\nu_y)$ – функція, комплексно-спряжена до функції $U(\nu_x,\nu_y)$.



а) **б)**

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Рис. 2. Схема розташування зображення об'єкта o та масок r і s на вході корелятора СПФ: (а) – центр зображення o збігається з центром маски s, (б) – центр зображення o не збігається з центром маски s.

Якщо лінійно зареєстрований спектр $\left|T(\nu_x,\nu_y)\right|^2$ освітлюється паралельним лазерним пучком, то розподіл комплексних амплітуд на виході корелятора СПФ без врахування просторового шуму у перших дифракційних порядках, яким при великих M і N можна знехтувати, запишемо так:

$$C(x',y') = C_0(x',y') + C_1(x',y') + C_2(x',y'), \tag{10}$$

де $C_0(x',y')$ – розподіл комплексних амплітуд у дифракційному центрі (0-му порядку) вихідної площини (x',y') корелятора; $C_1(x',y')$, $C_2(x',y')$ – розподіли комплексних амплітуд у +1-му і -1-му дифракційних порядках площини (x',y') відповідно. Причому для однакового масштабу вхідної (x,y) і вихідної (x',y') площин корелятора у 0-му і у +1-му порядках дифракції відповідно отримуємо:

$$C_0(x',y') = \sqrt{I_0}\left[(S_1+S_2)\Lambda\left(\frac{x'}{a}\right)\Lambda\left(\frac{y'}{b}\right) + n(x',y')\right], \tag{11}$$

$$C_1(x',y') = \sqrt{I_0}\left[S_{2,2}\Lambda\left(\frac{x'+x_p}{a}\right) + S_{2,1}\Lambda\left(\frac{x'-x_p}{a}\right)\right]\Lambda\left(\frac{y'-2y_0-y_q}{b}\right) +$$

$$+\sqrt{I_0}\left[S_{2,3}\Lambda\left(\frac{x'+x_p}{a}\right) + S_{2,4}\Lambda\left(\frac{x'-x_p}{a}\right)\right]\Lambda\left(\frac{y'-2y_0+y_q}{b}\right), \tag{12}$$

де I_0 – нормувальний множник, пропорційний інтенсивності паралельного лазерного пучка, що зчитує зареєстрований спектр $\left|T(\nu_x,\nu_y)\right|^2$ $S_1 = (aM)(bN)$ – площа маски s, $S_2 = (aM_0)(bN_0)$ – площа зображення o, $S_{2,1} = ab\left(\frac{M_0}{2}+\Delta m\right)\left(\frac{N_0}{2}+\Delta n\right)$ – площа частини зображення o, розташованої у квадранті I координатної площини $(\tilde{x},y)$ (див. рис. 2,б), $S_{2,2} = ab\left(\frac{M_0}{2}-\Delta m\right)\left(\frac{N_0}{2}+\Delta n\right)$ – площа частини зображення o у квадранті II-ї площини $(\tilde{x},y)$, $S_{2,3} = ab\left(\frac{M_0}{2}-\Delta m\right)\left(\frac{N_0}{2}-\Delta n\right)$ – площа частини зображення o у квадранті III-ї площини $(\tilde{x},y)$, $S_{2,4} = ab\left(\frac{M_0}{2}+\Delta m\right)\left(\frac{N_0}{2}-\Delta n\right)$ – площа частини зображення o у квадранті IV-ї площини $(\tilde{x},y)$, $\Lambda(...)$ – символ трикутної функції, $n(x',y')$ – просторовий шум, що оточує дифракційний центр.

Отже, у +1-му і у -1-му дифракційних порядках формуються у кожному по чотири вузькі кореляційні піки трикутної форми. Інтенсивності та координати цих піків, розташованих навкруги центру +1-го дифракційного порядку $B_1(0,2y_0)$, визначаються з (12) і задаються виразами

$$C_{1,1}^2(x_p,2y_0+y_q) = I_0S_{2,1}^2, \tag{13}$$

$$C_{1,2}^2(-x_p,2y_0+y_q) = I_0S_{2,2}^2, \tag{14}$$

$$C_{1,3}^2(-x_p,2y_0-y_q) = I_0S_{2,3}^2, \tag{15}$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$C_{1,4}^2(x_p, 2y_0 - y_q) = I_0 S_{2,4}^2 . \qquad (16)$$

Піки навкруги центру +1-го дифракційного порядку $B_1(0, 2y_0)$ аналогічні пікам (13-16) і розташовані симетрично до них відносно центру симетрії на початку координат площини (x', y'). Просторовий розподіл амплітуд кореляційних піків у вихідній площині (x', y') корелятора СПФ для зображення o центрованого об'єкта наведено на рис. 3,а, а просторовий розподіл амплітуд кореляційних піків для зображення, зміщеного відносно центру маски s, наведено на рис. 3,б.

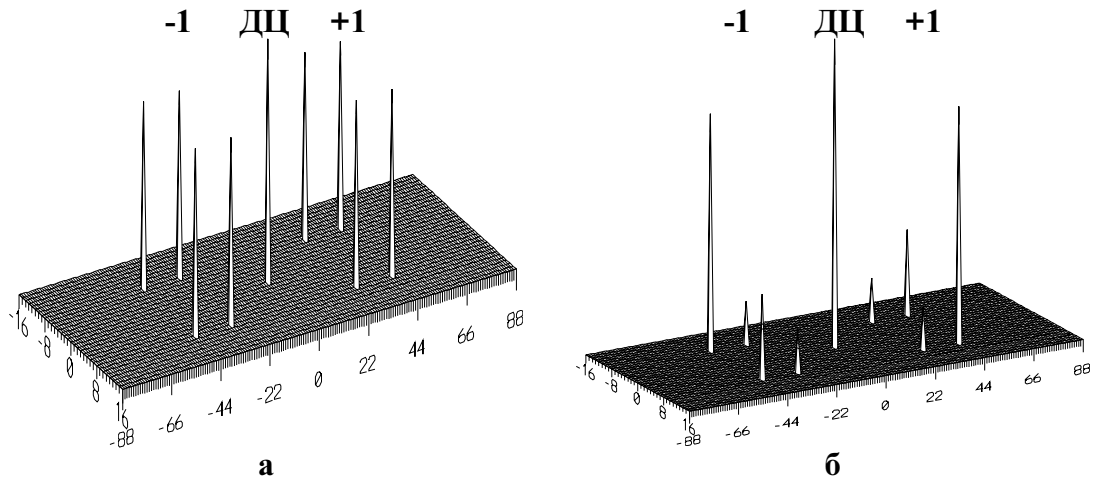


Рис. 3. Просторовий розподіл амплітуд кореляційних піків у вихідній площині (x', y') корелятора СПФ: (а) для зображення o центрованого об'єкта; (б) для зображення o, зміщеного відносно центру маски s

Інтенсивності піків у одному з перших дифракційних порядків (наприклад, у +1-му) реєструються чотирма фотодавачами і при лінійній світловій характеристиці цих давачів сигнали розузгодження на виході СКС практично пропорційні різницям між інтенсивностями піків у протилежних квадрантах, тобто:

$$\Phi_{1,3}\left[\Delta x(t_0), \Delta y(t_0)\right] = K_{1,3}\left(C_{1,1}^2 - C_{1,3}^2\right) = K_{1,3}\left(S_{2,1}^2 - S_{2,3}^2\right), \qquad (17)$$

$$\Phi_{2,4}\left[\Delta x(t_0), \Delta y(t_0)\right] = K_{2,4}\left(C_{1,2}^2 - C_{1,4}^2\right) = K_{2,4}\left(S_{2,2}^2 - S_{2,4}^2\right), \qquad (18)$$

де $K_{1,3}$ і $K_{2,4}$ – коефіцієнти пропорціональності.

Отримані сигнали розузгодження керують системою супроводу так, щоб знову сумістити об'єкт з центром координатної площини $(\tilde{x}, y)$. В процесі суміщення різниця між інтенсивностями двох протилежних піків зменшується, а, отже, зменшується сигнал розузгодження. При однакових інтенсивностях цих піків сигнал розузгодження дорівнює нулю, а центр об'єкта збігається з центром площини $(\tilde{x}, y)$.

Якщо $\delta x \neq 0$ і $\delta y \neq 0$ $\left(A = M_0 a, B = N_0 b\right)$, розміри пікселів маски s, що прилягають до країв зображення o, менші за a у горизонтальному напрямку і менші за b у вертикальному напрямку. Елемент зміщення δx зображення o у горизонтальному напрямку можна розглядати як горизонтальну сторону тих частин пікселів маски s, що прилягають до тієї вертикальної грані зображення, яку можна вважати задньою гранню при русі зображення o у горизонтальному напрямку. Аналогічно елемент зміщення δy зображення

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

o у вертикальному напрямку можна розглядати як висоту тих частин пікселів маски s, що прилягають до тієї горизонтальної грані зображення, яку можна вважати задньою гранню при русі зображення o у вертикальному напрямку. Враховуючи сказане вище, а також формули (5) і (6), легко знайти площі розташованих у I-IV квадрантах частин зображень. Зрозуміло, що інтенсивності піків будуть пропорційні цим площам. Однак форма кореляційних піків змінюється внаслідок вкладу тих складових кожного піка, які формуються від пікселів, що прилягають до граней зображення o. Оскільки розміри цих пікселів менші за $a \times b$, то і ширина складової кожного піка, що формується цими пікселами, буде меншою за загальну ширину піка. Так, наприклад, розподіл амплітуди піка у I-му квадранті +1-го дифракційного порядку описується виразом

$$\widetilde{C}_{1,1}(x',y') = \sqrt{I_0}\left[\left(\frac{M_0}{2}+\Delta m\right)a\left(\frac{N_0}{2}+\Delta n\right)b\ \Lambda\left(\frac{x'-x_p}{a}\right)\Lambda\left(\frac{y'-2y_0-y_q}{b}\right)+\right.$$
$$+\left(\frac{M_0}{2}+\Delta m\right)a(\delta y)\Lambda\left(\frac{x'-x_p}{a}\right)\Lambda\left(\frac{y'-2y_0-y_q}{\delta y}\right)+\left(\frac{N_0}{2}+\Delta n\right)(\delta x)b\times$$
$$\left.\times\Lambda\left(\frac{x'-x_p}{\delta x}\right)\Lambda\left(\frac{y'-2y_0-y_q}{b}\right)+(\delta x)(\delta y)\ \Lambda\left(\frac{x'-x_p}{\delta x}\right)\Lambda\left(\frac{y'-2y_0-y_q}{\delta y}\right)\right]. \qquad (19)$$

Отриманий вираз (19) показує, що крім $(M_0/2+\Delta m)\,(N_0/2+\Delta n)$ однакових складових піка $\widetilde{C}_{1,1}(x',y')$ зі сторонами основи кожної складової, що дорівнюють $2a$ по горизонталі і $2b$ по вертикалі, в ньому ще присутні $(M_0/2+\Delta m)$ однакових складових зі сторонами основи $2a$ по горизонталі і $2(\delta y)$ по вертикалі, $(N_0/2+\Delta n)$ однакових складових зі сторонами основи $2(\delta x)$ по горизонталі і $2b$ по вертикалі та одна складова зі стороною основи $2(\delta x)$ по горизонталі і $2(\delta y)$ по вертикалі.

Висновки. Запропоновано новий метод центрування і супроводу рухомого об'єкта в СКС, що базується на фазовому кодуванні зображення o випадковою ФМ і на порівнянні сигналів розузгодження від кореляційних піків, які формуються чотирма фазокодованими частинами зображення o на виході корелятора СПФ. Метод може забезпечувати високий рівень чутливості та роздільної здатності СКС, оскільки їх зростання однозначно залежить від збільшення кількості пікселів у фазових масках. Теоретичний аналіз процедури формування сигналів розузгодження в СКС показує, що метод є досить ефективним при центруванні і супроводі симетричних об'єктів з однорідною яскравістю. Разом з тим, цей метод придатний і при супроводі будь-яких несиметричних об'єктів з неоднорідним просторовим розподілом яскравості, оскільки створена на його основі СКС є інваріантною до повороту і до масштабу об'єкта (в допустимому діапазоні зміни масштабу). У цьому випадку, як вже зазначалось вище, процедуру центрування і супроводу можна забезпечити, почергово порівнюючи сумарні сигнали від кореляційних піків, розташованих у двох нижніх (III-му і IV-му і двох верхніх (I-му і II-му), та у двох правих (I-му і IV-му) і двох лівих (II-му і III-му) квадрантах першого дифракційного порядку вихідної площини корелятора. Для спрощення вказаної процедури можна використовувати лише два протилежні сигнали від кореляційних піків у I-му і III-му квадрантах (або у II-му і IV-му квадрантах), однак при цьому в СКС необхідно передбачити додатковий вузол контролю допустимого мінімального порогу сумарного сигналу від протилежних кореляційних піків.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

1. Катыс Г.П. Оптико-электронная обработка информации. М., 1973. 2. Juday R.D., Chao T.-H. Hybrid vision for automated spacecraft landing // Proc. SPIE. 1989. Vol. 1053. P.131-139. 3. Yu F.T.S., Tam E.C., Tanone A., Gregory D.A., Juday R.D. Multi-target tracking using a hybrid joint transform correlator // Proc. SPIE. 1990. Vol.1295. P.128-137. 4. Kallman R.R., Goldstein D.H. Phase-encoding input images for optical pattern recognition // Opt. Eng., 1994. Vol. 33. № 6. P.1806-1812. 5. Lu G., Yu, F.T.S. Performance of a phase-transformed input joint transform correlator // Appl. Opt. 1996. Vol. 35. № 2. P.304-313. 6. Javidi B., Horner J.L. Optical pattern recognition for validation and security verification // Opt. Eng. 1994. Vol. 33. № 6. P.1752-1756. 7. Муравський Л.І. Обробка бінарних фазових зображень в оптичних і оптико-цифрових кореляційних системах. Тернопіль, 1999.

УДК 621.391

Николишин Мирон

Д У "Львівська політехніка", кафедра радіотехнічних пристроїв

ІНФОРМАЦІЙНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ

© Николишин Мирон, 2000

Розглянуто питання оцінки ефективності процесів стабілізації. Запропоновано інформаційно-енергетичний показник, яким можна оцінювати ефективність процесів стабілізації параметрів різних за своєю природою процесів.

Stabilization processes effectivity estimation problem is analysed. Information-energy ratio is proposed by which one can estimate effectivity of processes stabilization of parameters different on their processes nature.

Переважна більшість процесів, які відбуваються в радіотехнічних системах, є стаціонарними. Стабілізація значень будь-якого параметра такого стаціонарного процесу з інформаційної точки зору адекватна вибору деякої підмножини значень $Q_{вих}(x)$ цього параметра із множини його вхідних значень $Q_{вх}(x)$.

Вибір здійснюється пристроєм стабілізації відповідного параметра за закладеним у його структурі алгоритмом. В результаті вибору ентропія множини вихідних значень стає меншою за ентропію множини вхідних значень на величину внесеної інформації $I_{вн}(x)$, що рівноцінно збільшенню впорядкованості значень стабілізованого параметра:

$$\Delta H_{ст} = H_{вх}(x) - H_{вих}(x) = I_{вн}(x), \qquad (1)$$

де $H_{вх}(x)$, $H_{вих}(x)$ – ентропія відповідно вхідної та вихідної множини значень.

Однак впорядкування значень множини $Q_{вх}(x)$ зумовлює через структуру пристрою стабілізації збільшення ентропії значень параметрів іншого процесу, а саме живлення:

$$\Delta H_{ув} = H_{вих}(I_v, U) - H_{вх}(I_v, U) > I_{вн}(x), \qquad (2)$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua