

1. Марунчак Д.С., Максимович Л.В., Кушинровская Н.В. Исследование показателей надежности ветвящихся систем с переходом через уровень. Деп. в Укр.НИИИТТИ 16.10.89, №22-21-Ук-89. 2. Надежность электронных систем / И.В.Пацюра, В.И.Корнейчук, Л.В.Довбыш. К., 1997.

УДК 681.7

Л.І.Муравський, В.М.Фітьо

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

НУ "Львівська політехніка",

кафедра лазерної техніки та оптоелектронних систем

ОЦІНКА ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО ШУМУ ПРИ КОРЕЛЯЦІЙНОМУ АНАЛІЗІ ВИПАДКОВИХ БІНАРНИХ ФАЗОВИХ МАСОК В ОПТИЧНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

© Л.І.Муравський, В.М.Фітьо, 2000

It is considered the models of an interference noise producing as a result of a cross-correlation of two random binary phase masks consisted of phase elements with binomial spatial distribution. The process of an interference noise producing on the first diffraction order of the joint transform correlator is analyzed. It is shown, that the signal-to-noise ratio on the correlator's output is increased, if a quantity of phase elements in two masks is enlarged.

Вступ. Оптичні й оптико-цифрові інформаційні системи обробки просторових оптичних сигналів успішно застосовуються при розпізнаванні образів та кореляційному аналізі зображень [1]. В останні роки особливої актуальності набули проблеми захисту цінних паперів, документів, виробів від підробки а також захисту інформації від несанкціонованого доступу [2-4]. Тому створення високопродуктивних і надійних інформаційних систем захисту об'єктів є одним з першочергових практичних завдань. Оптичні і зокрема кореляційні системи ідентифікації вважаються одними з найбільш перспективних засобів захисту завдяки своїй швидкодії і можливостям паралельної обробки великих об'ємів інформації [2-4]. Створені на теперішній час кореляційні системи ідентифікації завдяки використанню випадкових фазових структур, зокрема фазових масок, забезпечують надзвичайно високий рівень захисту [3,4]. Ідентифікація об'єкта захисту, до якого прикріплюється фазова маска (ФМ), в оптичній кореляційній системі відбувається через кореляційне порівняння цієї ФМ (вхідної ФМ) з еталонною ФМ, що встановлена у системі, формування вузького та інтенсивного кореляційного піка на виході системи і порівняння інтенсивності піка з деякою пороговою інтенсивністю, перевищення якої свідчить про автентичність об'єкта захисту. При формуванні кореляційного піка формується також інтерференційний шум, який виникає внаслідок

крос-кореляції між вхідною та еталонною масками. Цей шум оточує кореляційний пік і може за певних умов істотно впливати на імовірність хибної тривоги при ідентифікації ФМ. Тому, створюючи оптичні інформаційні системи ідентифікації ФМ, дослідженню характеристик такого шуму слід приділяти особливу увагу.

Одновимірна модель інтерференційного шуму. У [5] проведено аналіз операції крос-кореляції між двома різними одновимірними бінарними фазовими масками з комплексними пропусканнями однакових за розмірами пікселів, які дорівнюють +1 або -1. При цьому припускалось, що піксели в масках розподілені за біноміальним законом, кількість пікселів з однаковою довжиною a у кожній з масок є однаковою, а кількість пікселів з комплексним пропусканням +1 приблизно дорівнює кількості пікселів з комплексним пропусканням -1. На основі проведеного аналізу показано, що математичне очікування (МО) дискретних пікових відліків крос-кореляційної функції дорівнює нулю, а також отримано таку формулу для оцінки середньоквадратичного відхилення (СКВ) дискретних пікових відліків крос-кореляційної функції в точці ma [5]:

$$\sigma(R_m - S_m) = a\sqrt{M - |m|}, \quad (1)$$

де R_m — кількість членів крос-кореляційної функції у точці ma , які дорівнюють +1; S_m — кількість членів крос-кореляційної функції у точці ma , які дорівнюють -1; M — кількість пікселів у кожній з масок, при цьому $m = 1, 2, \dots, M$ — послідовний номер пікселя; $m = 0, \pm 1, \dots, \pm(M-1)$.

Використовуючи формулу (1), знайдемо вираз для СКВ просторового інтерференційного шуму, що формується на координатній осі x' внаслідок крос-кореляції між двома одновимірними масками однакової розмірності, що містять піксели завдовжки a . Для цього функцію комплексного пропускання пікселя фазової маски з центром у точці ma опишемо так:

$$t(x) = \pm \text{rect}\left(\frac{x - ma}{a}\right). \quad (2)$$

Оскільки автокореляційна функція від функції (2) описується виразом

$$t(x') * t(x') = a\Lambda\left(\frac{x' - ma}{a}\right),$$

то СКВ інтерференційного шуму у довільній точці на інтервалі $[(m-1)a, (m+1)a]$ вздовж осі x' запишемо у такому вигляді:

$$\sigma[(m-1)a, (m+1)a] = a\sqrt{M - |m|}\Lambda\left(\frac{x' - ma}{a}\right). \quad (3)$$

Як вже згадувалось вище, МО пікових відліків такого шуму дорівнює нулю, тому МО шуму у довільній точці на осі x' також дорівнює нулю.

Згідно з формулою (3) дисперсію інтерференційного шуму у довільній точці на відрізку $[(\bar{m}-1)a, (\bar{m}+1)a]$, розташованому на осі x' , можна записати так:

$$\sigma^2[(\bar{m}-1)a, (\bar{m}+1)a] = a^2(M - |\bar{m}|)\Lambda^2\left(\frac{x' - \bar{m}a}{a}\right). \quad (4)$$

Якщо центр просторового інтерференційного шуму на осі x' прив'язати до її початку координат, то вираз для дисперсії цього шуму з урахуванням (4) запишемо так:

$$\sigma^2(x') = \frac{a^2}{2M-1} \sum_{\bar{m}=-M+1}^{\bar{m}=M-1} (M - |\bar{m}|)\Lambda^2\left(\frac{x' - \bar{m}a}{a}\right). \quad (5)$$

У випадку, коли дві фазові маски є ідентичними, інтерференційний шум не зміниться для усіх \bar{m} , окрім $\bar{m} = 0$, тобто вираз (5) набуде такого вигляду:

$$\sigma^2(x') = \frac{a^2}{(2M-1)-1} \left[\sum_{\bar{m}=-M+1}^{\bar{m}=M-1} (M - |\bar{m}|)\Lambda^2\left(\frac{x' - \bar{m}a}{a}\right) - M\Lambda^2\left(\frac{x'}{a}\right) \right]. \quad (6)$$

При $\bar{m} = 0$ в межах інтервалу $[-a, a]$ формується автокореляційний пік, амплітуду якого можна описати виразом

$$P(x') = Ma\Lambda\left(\frac{x'}{a}\right). \quad (7)$$

Якщо розмірності двох масок різні, тобто одна маска містить M_1 пікселів, а друга — M_2 пікселів, причому $M_2 > M_1$, то формулу (5) слід переписати так:

$$\begin{aligned} \sigma^2(x') = \frac{a^2}{2M_{1,2}-1} & \left[\sum_{\bar{m}=-M_{2,1}+1}^{\bar{m}=M_{2,1}-1} M_1\Lambda^2\left(\frac{x' - \bar{m}a}{a}\right) + \sum_{\bar{m}=M_{2,1}}^{\bar{m}=M_{1,2}-1} (M_{1,2} - \bar{m})\Lambda^2\left(\frac{x' - \bar{m}a}{a}\right) + \right. \\ & \left. + \sum_{\bar{m}=-M_{1,2}+1}^{\bar{m}=-M_{2,1}} (M_{1,2} - \bar{m})\Lambda^2\left(\frac{x' - \bar{m}a}{a}\right) \right], \quad (8) \end{aligned}$$

$$\text{де } M_{1,2} = \frac{M_1 + M_2}{2}; \quad M_{2,1} = \frac{M_2 - M_1}{2}; \quad \bar{m} = 0, \pm 1, \dots, \pm \left(\frac{M_1 + M_2}{2} - 1 \right).$$

Двовимірна модель інтерференційного шуму. Розглядаючи двовимірну модель інтерференційного шуму, що формується внаслідок кореляції між двома двовимірними випадковими бінарними фазовими масками, можна використати архітектуру оптичного корелятора, наприклад, корелятора сумісного перетворення Фур'є (СПФ). Для спрощення розрахунків розглянемо лінійний (класичний) корелятор СПФ, у вхідній площині (x, y)

якого розташовані дві фазові маски однакової розмірності, при цьому геометричні центри масок розташовані безпосередньо на осі y на віддалі $2y_0$ один від одного і точки геометричних центрів рівновіддалені від початку координат площини (x, y) . Маску у верхній частині площини (x, y) з центром у точці $A_1(0, y_0)$ будемо називати вхідною (сигнальною), або маскою s . Маску у нижній частині площини (x, y) з центром у точці $A_2(0, -y_0)$ будемо називати еталонною (опорною), або маскою r . Маски містять прямокутні піксели, розташовані строго періодично по рядках і стовпцях, при цьому комплексне амплітудне пропускання кожного пікселя дорівнює 1 або -1 , горизонтальна і вертикальна сторони кожного пікселя дорівнюють a і b відповідно, а вся сукупність пікселів розподілена в межах маски згідно з біноміальним законом. Кожен піксел прилягає до сусіднього пікселя як у рядку, так і у стовпці, тому горизонтальні сторони кожної з масок дорівнюють Ma , а вертикальні сторони — Nb , де N — кількість пікселів у кожному стовпці першої і другої маски, причому $n = 1, 2, \dots, N$. Схема корелятора СПФ і геометрія розташування таких масок у вхідній площині (x, y) корелятора зображені на рис. 1.

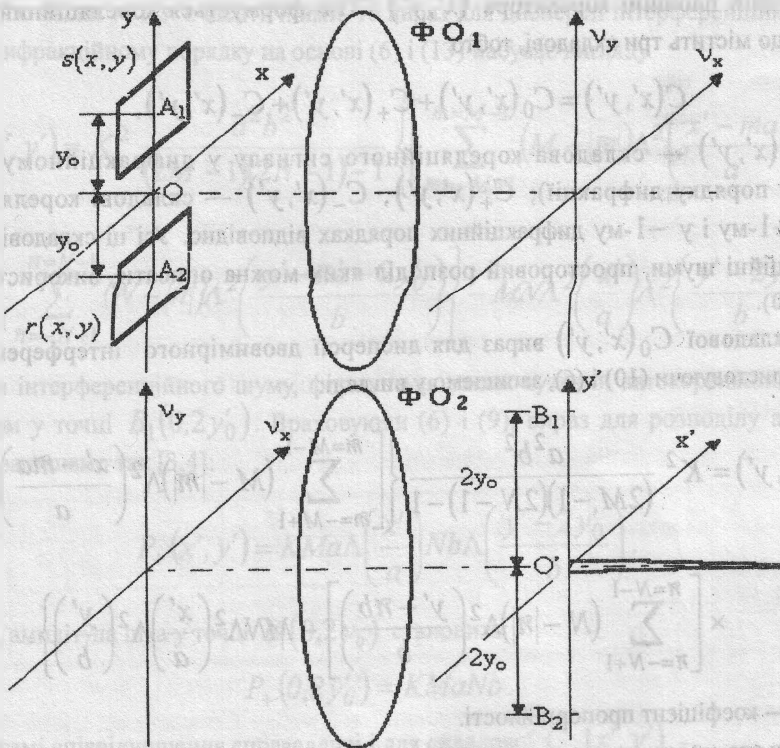


Рис. 1. Схема корелятора СПФ і геометрія розташування масок r і s у вхідній площині (x, y) корелятора: A_1 — центр маски s ; A_2 — центр маски r ; B_1, B_2 — центри $+1$ -го і -1 -го дифракційних порядків; $\Phi O_1, \Phi O_2$ — фур'є-об'єктиви; v_x, v_y — координатні осі частотної площини (v_x, v_y)

Оскільки різні піксели в таких масках мають статистично незалежні значення комплексного пропускання [6], то формулу для СКВ дискретних пікових відліків крос-кореляційної функції в деякій точці (ma, nb) з урахуванням (1) можна записати так:

$$\sigma(R_{m,n} - S_{m,n}) = (a\sqrt{M - |m|}) (b\sqrt{N - |n|}), \quad (9)$$

де $n = 0, \pm 1, \dots, \pm(N-1)$. Враховуючи (3) і отриманий вираз (9), СКВ інтерференційного шуму у довільній точці обмеженої замкнутої області $\{(x', y') | (m-1)a \leq x' \leq (m+1)a, (n-1)b \leq y' \leq (n+1)b\}$ координатної площини (x', y') , запишемо у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \sigma \{(x', y') | (m-1)a \leq x' \leq (m+1)a, (n-1)b \leq y' \leq (n+1)b\} = \\ = a\sqrt{M - |m|} \Lambda \left(\frac{x' - ma}{a} \right) b\sqrt{N - |n|} \Lambda \left(\frac{y' - nb}{b} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

У вихідній площині корелятора (x', y') СПФ формується кореляційний сигнал $C(x', y')$, що містить три складові, тобто

$$C(x', y') = C_0(x', y') + C_+(x', y') + C_-(x', y'),$$

де $C_0(x', y')$ — складова кореляційного сигналу у дифракційному центрі (нульовому порядку дифракції); $C_+(x', y')$, $C_-(x', y')$ — складові кореляційного сигналу у +1-му і у -1-му дифракційних порядках відповідно. Усі ці складові містять інтерференційні шуми, просторовий розподіл яких можна описати, використовуючи формулу (10).

Для складової $C_0(x', y')$ вираз для дисперсії двовимірною інтерференційного шуму, використовуючи (10) і (6), запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} \sigma_0^2(x', y') = K^2 \frac{a^2 b^2}{(2M-1)(2N-1)-1} \left\{ \left[\sum_{m=-M+1}^{m=M-1} (M - |m|) \Lambda^2 \left(\frac{x' - ma}{a} \right) \right] \times \right. \\ \left. \times \left[\sum_{n=-N+1}^{n=N-1} (N - |n|) \Lambda^2 \left(\frac{y' - nb}{b} \right) \right] - MN \Lambda^2 \left(\frac{x'}{a} \right) \Lambda^2 \left(\frac{y'}{b} \right) \right\}. \end{aligned} \quad (11)$$

де K — коефіцієнт пропорційності.

Крім цього шуму, у центрі нульового порядку формується автокореляційний пік, вираз для амплітуди якого, враховуючи (6) та формули, отримані в [3,4], має вигляд

$$P_0(x', y') = 2KM a \Lambda \left(\frac{x'}{a} \right) N b \Lambda \left(\frac{y'}{b} \right), \quad (12)$$

Якщо маски r і s різні, але мають однакову розмірність, то у +1-му і у -1-му дифракційних порядках на основі (5) і (9) отримуємо такі вирази для дисперсії інтерференційного шуму:

$$\sigma_{+,-}^2(x', y') = K^2 \left[\frac{a^2}{2M-1} \sum_{m=-M+1}^{m=M-1} (M-|m|) \Lambda^2 \left(\frac{x' - ma}{a} \right) \right] \times \left[\frac{b^2}{2N-1} \sum_{n=-N+1}^{n=N-1} (N-|n|) \Lambda^2 \left(\frac{y' - nb \mp 2y'_0}{b} \right) \right], \quad (13)$$

де $y'_0 = \alpha y_0$, α — масштабний множник, який дорівнює відношенню лінійних розмірів фур'є-образів другого і першого каскадів корелятора СПФ.

Оскільки маски r і s мають однакову розмірність, однак відрізняються одна від одної, то складові $C_+(x', y')$ і $C_-(x', y')$ будуть містити лише просторові інтерференційні шуми, дисперсії яких описуються виразом (13).

Якщо ж маски r і s є ідентичними, то вираз для дисперсії інтерференційного шуму у +1-му дифракційному порядку на основі (6) і (13) набуває вигляду

$$\sigma_+^2(x', y') = K^2 \frac{a^2 b^2}{(2M-1)(2N-1)-1} \left\{ \left[\sum_{m=-M+1}^{m=M-1} (M-|m|) \Lambda^2 \left(\frac{x' - ma}{a} \right) \right] \times \left[\frac{b^2}{2N-1} \sum_{n=-N+1}^{n=N-1} (N-|n|) \Lambda^2 \left(\frac{y' - nb - 2y'_0}{b} \right) \right] - MN \Lambda^2 \left(\frac{x'}{a} \right) \Lambda^2 \left(\frac{y' - 2y'_0}{b} \right) \right\}. \quad (14)$$

Крім інтерференційного шуму, формується також вузький автокореляційний пік з максимумом у точці $B_1(0, 2y'_0)$. Враховуючи (6) і (9), вираз для розподілу амплітуди цього піка запишемо так [3,4]:

$$P_+(x', y') = KMa\Lambda \left(\frac{x'}{a} \right) Nb\Lambda \left(\frac{y' - 2y'_0}{b} \right).$$

Отже, амплітуда піка у точці $B_1(0, 2y'_0)$ становить:

$$P_+(0, 2y'_0) = KMaNb. \quad (15)$$

Такі самі співвідношення справедливі і для складової $C_-(x', y')$.

Співвідношення сигнал/шум. Співвідношення сигнал/шум (ССШ) є найбільш універсальним і зручним критерієм для оцінки впливу просторової структури та розмірності ФМ на формування кореляційного сигналу в оптичній інформаційній системі. Якщо за сигнал прийняти інтенсивність кореляційної функції в точках $B_1(0, 2y'_0)$ або

$B_2(0, -2y'_0)$ вихідної площини корелятора, а за шум — дисперсію інтерференційного шуму, то, враховуючи, що МО інтерференційного шуму дорівнює нулю, вираз для ССШ запишемо так:

$$(\text{ССШ})_{1,2} = \frac{[P_{+,-}(0, \pm 2y'_0)]^2}{\sigma_{+,-}^2(x', y')} \quad (16)$$

На практиці для обчислення ССШ достатньо порахувати дисперсію шуму лише в області, що оточує відлік сигналу в точці $B_1(0, 2y_0)$ або в точці $B_2(0, -2y'_0)$. У цьому випадку, враховуючи (15) і (16), отримуємо:

$$(\text{ССШ})_{1,2} = M^2 N^2 / \frac{1}{(2\tilde{M} + 1)(2\tilde{N} + 1) - 1} \left\{ \left[\sum_{m=-\tilde{M}}^{\tilde{M}} (M - |m|) \Lambda^2 \left(\frac{x' - ma}{a} \right) \right] \times \right. \\ \left. \times \left[\sum_{n=-\tilde{N}}^{\tilde{N}} (N - |n|) \Lambda^2 \left(\frac{y' - nb \mp 2y'_0}{b} \right) \right] - MN \Lambda^2 \left(\frac{x'}{a} \right) \Lambda^2 \left(\frac{y' \mp 2y'_0}{b} \right) \right\}, \quad (17)$$

де $m = 0, \pm 1, \dots, \pm \tilde{M}$; $\tilde{M} < M$; $n = 0, \pm 1, \dots, \pm \tilde{N}$; $\tilde{N} < N$.

Для прикладу розглянемо дві ідентичні маски r і s на вході лінійного корелятора СПФ, у яких $M = N$. У таблиці наведені значення ССШ, коли $2\tilde{M} + 1 = 5, 9$; $M = N = 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512$. Числові значення ССШ, пораховані за формулою (17), показують, що зі зростанням розмірності фазових масок, тобто зі збільшенням $M = N$ ССШ також монотонно зростає. Це свідчить про доцільність використання масок великої розмірності для одержання інтенсивних кореляційних піків, а також для зменшення відносного рівня інтерференційного шуму та зменшення його впливу на кореляційний сигнал.

Співвідношення сигнал/шум для ФМ, в яких $M = N$

M	8	16	32	64	128	256	512
M^2	64	256	1024	4096	16384	65536	262144
ССШ ($2\tilde{M} + 1 = 5$)	90.02	301.3	1109	4261	16709	66181	263429
ССШ ($2\tilde{M} + 1 = 9$)	124.1	346.8	1184	4400	16976	66703	264463

1. Применение методов фурье-оптики: под ред. Г.Старка. М., 1988. 2. V.Javidi, J.L.Horner. Optical pattern recognition for validation and security verification // Opt. Eng., 1994. Vol. 33. N 6. P.1752-1756. 3. L.I.Muravsky, T.I.Voronyak, V.M.Fitio, M.V.Shovgenyuk. Transformed phase mask and photoanisotropic material in optical correlators applied for security verification // Opt. Eng., 1999. Vol. 38. N 1. P.25-32. 4. Л.І.Муравський. Обробка бінарних фазових зображень в оптичних і оптико-цифрових кореляційних системах,

Тернопіль, 1999. 5. V.M.Fitio, L.I.Muravsky, A.I.Stefansky. Using of random phase masks for image recognition in optical correlators // Proc. SPIE, 1995. Vol. 2647. P.224-234. 6. Дж. Гудмен. Статистическая оптика, М., 1988.

УДК 683.1

А.М.Пелецишин

НУ "Львівська політехніка", кафедра інформаційних систем та мереж

МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ WEB-СИСТЕМ

© А.М.Пелецишин, 2000

This paper considers Web-system optimization problems. We propose some approaches to solve these problems based on coordination theory methods (e.g. coordination agreement template).

Традиційно у системному аналізі та проектуванні інформаційна система описується як взаємодія трьох структур:

- інформаційної структури;
- функціональної структури;
- топологічної структури.

Моделювання Web-систем передбачає створення моделі кожної зі структур та моделей їхньої взаємодії.

Для моделювання структур інформаційної системи сьогодні використовуються спеціальні засоби діаграмного та описового типу і методології їхнього застосування (зокрема структурні методології). Ці засоби набули широкого використання у CASE-системах та системах швидкого розроблення (RAD-системах).

Діаграми та описові засоби використовуються як при аналізі, так і при проектуванні інформаційних систем. Оптимізація системи здійснюється перевіркою моделі системи на відповідність певним стандартам та положенням (наприклад, перевіркою інформаційної структури на нормалізованість). Крім того, в модель вводяться додаткові параметри, що дає можливість застосувати певні математичні методи, зокрема методи дослідження операцій та теорії оптимізації.

Методи оптимізації насамперед використовуються для покращання функціональної та топологічної структури інформаційної системи та їх взаємодії з інформаційною структурою. Метою такої оптимізації можуть бути, наприклад, скорочення часу виконання завдання, зменшення вартості мережевого та апаратного забезпечення, оптимізація розміщення даних у мережі системи.

Усі задачі моделювання та оптимізації актуальні і для Web-систем. При їхньому розв'язанні доцільно використовувати ті ж методи, що при моделюванні та оптимізації