

# ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 681.518:681.7

## ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ДОВЖИН ЛІНІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗОБРАЖЕНЬ В ОПТИКО-ЦИФРОВІЙ СИСТЕМІ

© Леонід Муравський, 2001

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, 79601, Львів, Україна

*Розглянуто оптико-цифрову систему (ОЦС) структурометричного аналізу космоаерозображень. Оцінено систематичну і випадкову похибку вимірювання сумарної довжини лінійних елементів дешифрованих зображень (лінеаментів) за допомогою ОЦС. Вивчено залежність систематичної похибки від кількості лінеаментів у зображенні. Досліджено вплив орієнтації лінеамента на випадкову похибку вимірювання його довжини в ОЦС.*

*Рассмотрена оптико-цифровая система (ОЦС) структурометрического анализа космоаэроизображений. Проведена оценка систематической и случайной погрешностей измерения суммарной длины линейных элементов дешифрованных изображений (линеаментов) при помощи ОЦС. Изучена зависимость систематической погрешности от количества линеаментов в изображении. Исследовано влияние ориентации линеамента на случайную погрешность измерения его длины в ОЦС.*

*The optical-digital system (ODS) for structurometric analysis of aerospace images is considered. The evaluation of the systematic and random error of measurement of the decrypted images linear elements (lineaments) summarized lengths in the ODS is carried out. The dependency of the systematic error as a function of lineaments quantity in an image is studied. The influence of the lineament orientation on its length measurement random error is investigated.*

Проблема підвищення продуктивності обробки та аналізу таких геометричних ознак складноструктурованих зображень, як лінійні елементи [1], є особливо важливою для задач геолого-геофізичного дешифрування матеріалів космоаерофотозйомки, зокрема лінеаментних схем, карт ізоліній, карт гідромережі тощо [2-4]. Серед цих задач важливе місце займає кількісний аналіз вказаних матеріалів, зокрема визначення сумарної довжини лінійних елементів (лінеаментів) вздовж заданого сектора напрямків шляхом побудови роздіаграм напрямленості (РДН). Для побудови РДН використовують оптико-цифрові системи (ОЦС), в яких швидкодія і паралельність оптичних методів обробки поєднується з точністю і програмною гнучкістю цифрових [4, 5]. Оптичною частиною ОЦС, в якій підсумовують довжини лінеаментів і будують РДН, є когерентно-оптичний фур'є-процесор (КОФП), наведений на рис. 1. У частотній площині КОФП розташовано багатоелементний фотодетектор, що містить у одній півплощині клиноподібні фотоприймачі, а у другій –

фотоприймачі у вигляді концентричних півкілець [6,7]. Конфігурацію одного з можливих варіантів таких фотодетекторів, що використовується в ОЦС структурометричного аналізу зображень “Спектр-ТЕКСТУРА” [4,5], зображено на рис. 2. Фотодетектор містить 18 клиноподібних (кут розкриття  $10^0$ ) і 14 півкілецевих кремнієвих фотоприймачів. Центральний круглий і один клиноподібний фотоприймачі використовують для нормування енергетичного спектра вхідного зображення, а прилеглі фотоприймачі, що мають форму кільцевих сегментів, – для автоматичного позиціонування фотодетектора у частотній площині КОФП. Клиноподібні фотоприймачі застосовують для визначення сумарної довжини лінеаментів вздовж заданого сектора напрямків інтегруванням центральних і бічних пелюсток енергетичних спектрів від лінеаментів, що розташовані в межах апертури кожного фотоприймача, і формування сигналів на виходах цих фотоприймачів, які вводять у цифрову частину ОЦС для подальшої обробки [4 – 6].

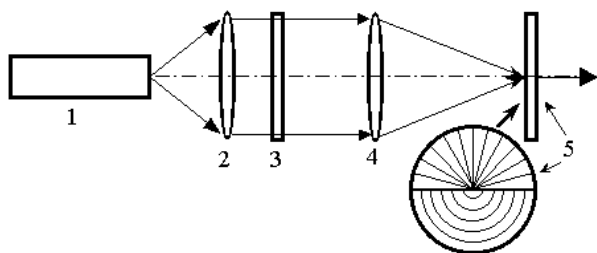


Рис. 1. Схема КОФП: 1 – лазер, 2 – колімаційний об'єктив, 3 – дешифроване космоаерозображення, 4 – фур'є-об'єктив, 5 – багатоеlementний фотодетектор

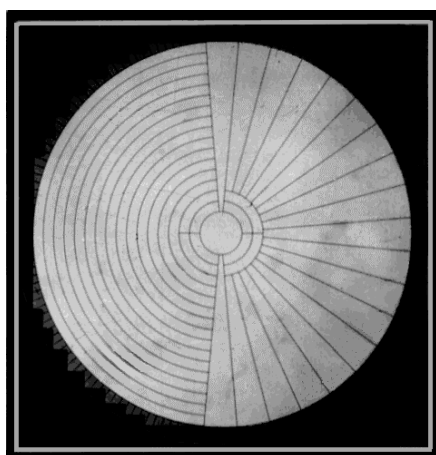


Рис. 2. Топологія багатоеlementного фотодетектора

Слід зауважити, що на точність вимірювання сумарної довжини лінементів у такій ОЦС впливають систематичні похибки, зумовлені розмірами і формою апертури клиноподібних фотоприймачів фотодетектора, та випадкові похибки, викликані розкидом чутливості цих фотоприймачів, шумами системи, особливостями конфігурації багатоеlementного фотодетектора, а також рядом зовнішніх чинників. Для розроблення рекомендацій щодо підвищення точності вимірювання сумарних довжин лінементів в ОЦС проведемо аналітичну і експериментальну оцінку цих похибок.

**Оцінка систематичної похибки вимірювань сумарної довжини лінементів в ОЦС.** В [4] показано, що на виході КОФП сумарний сигнал від сукупності лінійних елементів одного напрямку в допустимих межах точності оптичних вимірювань можна вважати пропорційним до суми сигналів від кожного елемента. Тому для оцінки похибок вимірювання сумарних довжин лінементів в ОЦС для випадку аналізу

лінементів одного напрямку достатньо проаналізувати вплив одного лінеамента заданої довжини.

Нехай бінарний лінійний елемент (лінеамент) описується функцією амплітудного пропускання  $g(x, y) = \text{rect}\left(\frac{x}{a}\right) \text{rect}\left(\frac{y}{l}\right)$ , де  $a$  і  $l$  – товщина і довжина цього елемента. Як показано в [4], потужність  $U_c$  енергетичного спектра  $G^2(v_x, v_y) = [F[g(x, y)]]^2$  такого лінеамента, відфільтрованого зображенням на рис. 3 секторним просторовим фільтром з передавальною характеристикою

$$H(v_\rho, \varphi, \theta_0) = -4 \left[ \text{circ}\left(\frac{v_\rho}{2v_{\rho 0}}\right) - \text{circ}\left(\frac{v_\rho}{2v_{\rho 1}}\right) \right] \text{rect}\left(\frac{\theta - \theta_0}{2\varphi}\right), \quad (1)$$

де  $\theta$  – кутова координата,  $\theta_0$  – кут між бісектрисою просторового фільтра (див. рис. 3) і віссю  $v_x$  частотної площини  $(v_x, v_y)$ ,  $2\varphi$  – кут розкриття фільтра, описується в межах кутового інтервалу  $\theta_0 = \theta_{01}$ , де  $-\varphi \pm \pi n \leq \theta_{01} \leq \varphi \pm \pi n$ , такою формулою:

$$U_c(\theta_{01}) = I_0 \iint_{(\sigma_1)} G^2(v_x, v_y) dv_x dv_y = \frac{I_0 l a^2}{\pi} \left\{ \int_{v_{xC}}^{v_{\rho 1}} \sin^2(av_x) [\Omega(K_1(v_x)) - \Omega(L_2(v_x))] dv_x + \int_{v_{xD}}^{v_{\rho 1}} \sin^2(av_x) [\Omega(-L_2(v_x)) - \Omega(K_2(v_x))] dv_x + \int_{v_{xA}}^{v_{\rho 1}} \sin^2(av_x) \Omega(K_1(v_x)) dv_x - \int_{v_{\rho 1}}^{v_{xB}} \sin^2(av_x) \Omega(K_2(v_x)) dv_x + \int_{v_{xA}}^{v_{\rho 0}} \sin^2(av_x) \Omega(L_1(v_x)) dv_x - \int_{v_{xB}}^{v_{\rho 0}} \sin^2(av_x) \Omega(-L_1(v_x)) dv_x \right\}, \quad (2)$$

де  $I_0$  – інтенсивність паралельного лазерного пучка, що освітлює лінеамент;  $\sigma_1$  – площа ділянки енергетичного спектра  $G^2(v_x, v_y)$ , обмеженої просторовим фільтром з передавальною характеристикою  $H(v_\rho, \varphi, \theta_0) = H(v_\rho, \varphi, \theta_{01})$ ;  $v_{xA} = v_{\rho 0} \cos(\theta_0 + \varphi)$ ,  $v_{xB} = v_{\rho 0} \cos(\theta_0 - \varphi)$ ,  $v_{xC} = v_{\rho 1} \cos(\theta_0 + \varphi)$ ,

$v_{xD} = v_{\rho 1} \cos(\theta_0 - \varphi)$  – абсциси точок А, В, С, D перетину граней просторового фільтра, зображеного на рис. 3;  $v_{\rho 0} = \rho_0 / \lambda f_e$ ;  $v_{\rho 1} = \rho_1 / \lambda f_e$ ;  $K_1(v_x) = 2\pi l v_x \operatorname{tg}(\theta_0 + \varphi)$ ;  $K_2(v_x) = 2\pi l v_x \operatorname{tg}(\theta_0 - \varphi)$ ;  $L_1(v_x) = 2\pi \sqrt{v_{\rho 0}^2 - v_x^2}$ ;  $L_2(v_x) = 2\pi \sqrt{v_{\rho 1}^2 - v_x^2}$ ;  $f_e$  – ефективна фокусна віддаль КОФП,  $\rho_0$  – зовнішній радіус секторного фільтра;  $\rho_1$  – внутрішній радіус фільтра;  $\lambda$  – довжина хвилі лазерного випромінювання;  $\Omega(u) = \operatorname{Si}(u) + \frac{\cos u - 1}{u}$ ;  $u$  – аргумент функції  $\Omega(u)$ . В межах кутового інтервалу  $\theta_0 = \theta_{02}$ , де

$$\varphi \pm \pi \leq \theta_{02} \leq \arctg \left[ \frac{v_{\rho 0} - v_{\rho 1}}{(v_{\rho 0} + v_{\rho 1}) \operatorname{tg} \varphi} \right] \pm \pi, \quad \text{потужність}$$

$U_c$  енергетичного спектра лінеамента, відфільтрованого секторним просторовим фільтром з передавальною характеристикою (1), описується формулою:

$$U_c(\theta_{02}) = I_0 \iint_{(\sigma_2)} G^2(v_x, v_y) dv_x dv_y = \frac{I_0 a^2}{\pi} \left\{ \int_{v_{xC}}^{v_{xD}} \sin^2(av_x) [\Omega(K_1(v_x)) - \Omega(L_2(v_x))] dv_x + \int_{v_{xA}}^{v_{xD}} \sin^2(av_x) \times [\Omega(K_1(v_x)) - \Omega(K_2(v_x))] dv_x + \int_{v_{xA}}^{v_{xB}} \sin^2(av_x) [\Omega(L_1(v_x)) - \Omega(K_1(v_x))] dv_x \right\}, \quad (3)$$

де  $\sigma_2$  – площа ділянки енергетичного спектра  $G^2(v_x, v_y)$ , обмеженої просторовим фільтром з передавальною характеристикою  $H(v_\rho, \varphi, \theta_0) = H(v_\rho, \varphi, \theta_{02})$  (див. формулу (1)).

Якщо замість фільтра встановити клиноподібний фотоприймач такої самої форми, то вихідний сигнал буде пропорційний до потужності  $U_c(\theta)$ , що визначається за формулами (2) і (3). Цю потужність можна пронормувати щодо потужності  $U_b$  спектра, що пропускається смуговим фільтром у смузі частот  $v_{\rho 1} \leq v_x \leq v_{\rho 0}$ . Згідно зі сказаним вище формулу для потужності  $U_b$  запишемо так [4]:

$$U_b = I_0 \int_{v_{\rho 1}}^{v_{\rho 0}} a^2 \sin^2(av_x) dv_x \int_{-\infty}^{\infty} 1^2 \sin^2(lv_y) dv_y = \frac{I_0 a^4 l}{\pi} [\Omega(2\pi a v_{\rho 0}) - \Omega(2\pi a v_{\rho 1})]. \quad (4)$$

Формула (4) показує, що вихідний сигнал пропорційний до довжини лінійного елемента лише за наявності фільтра з необмеженою вздовж осі  $v_y$  смугою пропускання в межах просторових частот  $v_{\rho 1} \leq v_x \leq v_{\rho 0}$ .

Використовуючи формули (2)-(4), вираз для розрахунку нормованої потужності  $U_{cn}$  спектра лінійного елемента, відфільтрованого секторним фільтром з передавальною характеристикою (1), запишемо так:

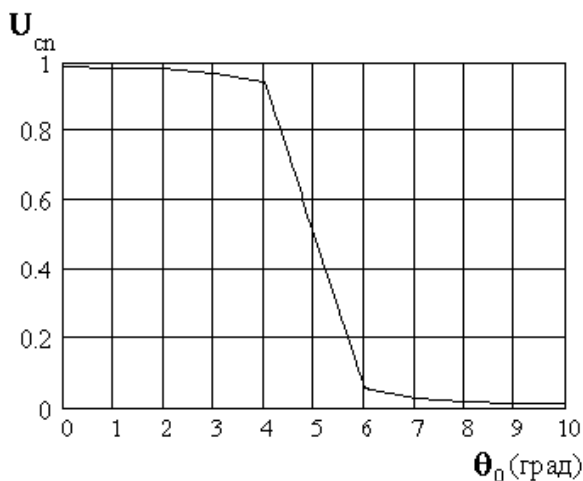
$$U_{cn}(\theta_0) = \frac{U_c(\theta_0)}{U_b} = \frac{U_c(\theta_0)}{\frac{I_0 a^4 l}{\pi} [\Omega(2\pi a v_{\rho 0}) - \Omega(2\pi a v_{\rho 1})]}. \quad (5)$$

Отже, нормований вихідний сигнал  $U_{cn}(\theta_0)$  на виході клиноподібного фотоприймача завжди буде менший за 1, оскільки для безмежного енергетичного спектра  $G^2(v_x, v_y)$  завжди буде справджуватись нерівність  $U_c(\theta_0) < U_b$ .

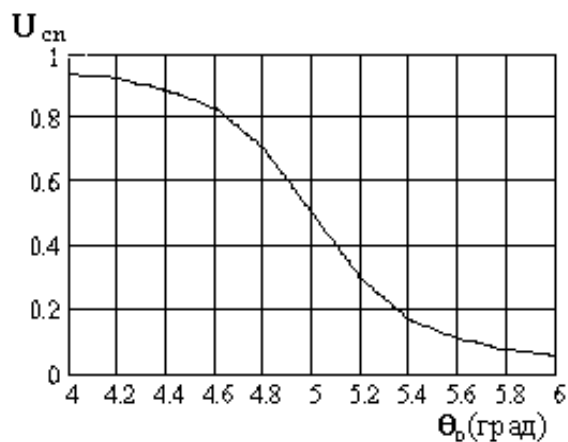
На основі (5) формулу для обчислення відносної систематичної похибки вимірювання довжини лінеамента 1 за допомогою клиноподібного фотоприймача запишемо так:

$$\Theta = 1 - U_{cn}(\theta_0) = 1 - \frac{U_c(\theta_0)}{U_b} = 1 - \frac{U_c(\theta_0)}{\frac{I_0 a^4 l}{\pi} [\Omega(2\pi a v_{\rho 0}) - \Omega(2\pi a v_{\rho 1})]}. \quad (6)$$

На рис. 4, а наведено залежність  $U_{cn} = U_{cn}(\theta_0)$  для лінеамента довжиною  $l = 5$  мм і товщиною  $a = 0.1$  мм, якщо  $\varphi = 5^\circ$ ,  $0 \leq \theta_0 \leq 2\varphi$ ,  $\rho_0 = 9$  мм,  $\rho_1 = 2$  мм,  $\lambda = 633$  нм,  $f_e = 500$  мм. Хоча ця залежність відображає зміну нормованого сигналу під час обертання клиноподібного фотоприймача при нерухомому лінеаменті, можна вважати, що бісектриса фотоприймача збігається з віссю  $v_x$ , а лінеамент змінює свою орієнтацію щодо бісектриси фотоприймача в межах кутового інтервалу  $[90^\circ, 90^\circ + 2\varphi]$ , тобто центральна пелюстка спектра від лінеамента змінює свою орієнтацію в межах кутового інтервалу  $[0^\circ, 2\varphi]$ . Як показує отримана залежність, відносна систематична похибка  $\Theta$  зі збільшенням  $\theta_0$  монотонно зростає, причому найрізкіше зростання  $\Theta$  спостерігається поблизу кута  $\varphi$ , що наочно продемонстровано на рис 4,б, на якому зображено цю залежність у межах вузького кутового відрізка  $[\varphi - 1^\circ, \varphi + 1^\circ]$ .



a



b

Рис. 4. Залежність  $U_{cn} = U_{cn}(\theta_0)$ : а)  $0 \leq \theta_0 \leq 2\varphi$ ; б)  $\varphi - 1^0 \leq \theta_0 \leq \varphi + 1^0$

Якщо у вхідній площині системи два однакові лінеаменти розташовані так, що центральна пелюстка дифракційного спектра одного з лінеаментів спрямована під кутом  $\theta_0 = \theta_{01}$  до бісектриси клиноподібного фотоприймача, а центральна пелюстка спектра другого лінеамента – під кутом  $\theta_{02} = 2\varphi - \theta_0$  до цієї самої бісектриси, то сумарний сигнал  $U_{c\Sigma}$  на виході цього фотоприймача формується як результат підсумовування сигналів від спектральних потужностей кожного з лінеаментів, які виділяються апертурою фотоприймача. Сумарна відносна систематична похибка  $\Theta_\Sigma$  стає значно меншою за похибку  $\Theta$ . Про це свідчать наведені у табл. 1 дані для двох таких лінеаментів ( $l = 5$  мм,  $a = 0.1$  мм,  $\varphi = 5^0$ ,  $\rho_0 = 9$  мм,  $\rho_1 = 2$  мм,  $\lambda = 633$  нм,  $f_e = 500$  мм), в одного з яких частина центральної пелюстки спектра розташована в межах апертури клиноподібного фотоприймача ( $\theta_{01} \leq \varphi$ ), а в другого ця сама частина центральної пелюстки розміщена за межами приймача ( $\theta_{02} \geq \varphi$ ). Отже, збільшення у бінарному зображенні кількості лінеаментів з різними орієнтаціями приводить до зменшення систематичної похибки вимірювання їх сумарної довжини, оскільки компоненти спектра кожного з лінеаментів вносять свій внесок у вихідний сигнал  $U_{c\Sigma}$ .

Отже, чим більше лінеаментів з різною орієнтацією міститься у лінеаментній схемі, що вводиться на вхід ОЦС, тим меншою є систематична похибка вимірювання сумарної довжини лінеаментів вздовж заданого сектора напрямків. Якщо велика кількість лінеаментів у схемі, цією похибкою можна знехтувати.

Таблиця 1

**Оцінка сумарної систематичної похибки  $\Theta_{M\Sigma}$  у випадку формування вихідного сигналу від двох однакових лінеаментів, центральні пелюстки спектрів яких розташовані симетрично до бісектриси клиноподібного фотоприймача**

$\theta_1$ (град)	0	1	2	3	4	5
$\theta_2$ (град)	10	9	8	7	6	5
$U_{cn}$	0.992	0.993	0.994	0.994	0.995	0.994
$\Theta_\Sigma$	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.006

**Оцінка випадкової похибки вимірювання довжини лінеамента в ОЦС.** Для оцінки випадкової похибки вимірювання довжини лінеамента вибирали тестову бінарну прозору лінію на непрозорому фоні (тестовий лінеамент) довжиною  $l = 5$  мм і товщиною  $a = 0.1$  мм. Щоб вибрати клиноподібний фотоприймач у багатоелементному фотодетекторі (див. рис. 2) для оцінки цієї похибки, спочатку вимірювали геометричний шум тієї частини фотодетектора, яка містить клиноподібні фотоприймачі. Знаючи середнє значення сигналу  $\bar{U}_c$  на виході клиноподібного фотоприймача при рівномірному освітленні фотодетектора когерентним монохроматичним світлом ( $\lambda = 633$  нм), вибирали той  $i$ -й клиноподібний фотоприймач, для якого відносне відхилення  $\Gamma_i$  сигналу  $\bar{U}_{c,i}$  від  $\bar{U}_c$  було мінімальним. Для фотодетектора, який використовували в ОЦС "Спектр-ТЕКСТУРА", таким фотоприймачем був шостий зліва за годинниковою стрілкою (див. рис.

2), для якого  $\Gamma_i = \frac{|U_{c,i} - \bar{U}_c|}{\bar{U}_c} = 0.008$ . Тестовий

лінеамент на вході системи орієнтували перпендикулярно до бісектриси клиноподібного фотоприймача. Обчислювали нормовану потужність  $(\bar{U}_{cn})_{exp}$  спектра тестового лінеамента, обмеженого апертурою клиноподібного фотоприймача (нормованого вихідного сигналу), для трьох його орієнтацій, а саме: 1) лінеамент розташований під кутом  $90^0$  до бісектриси клиноподібного фотоприймача (орієнтація 1); 2) під кутом  $86^0$  до бісектриси (орієнтація 2); 3) під кутом  $85^0$  до бісектриси (орієнтація 3). Нормований вихідний сигнал

обчислювали за формулою  $(\bar{U}_{cn})_{exp} = \frac{(\bar{U}_c)_{exp}}{(\bar{U}_b)_{exp}}$ , де

$$(\bar{U}_c)_{exp} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (U_{c,j})_{exp}$$

– середнє значення вихідного сигналу, який знімався з шостого зліва за годинниковою стрілкою фотоприймача,  $(\bar{U}_b)_{exp}$  – середнє значення сумарного вихідного сигналу, що визначався вимірюванням вихідних сигналів з усіх вісімнадцяти клиноподібних фотоприймачів та їх підсумовуванням. Вимірювали вихідні сигнали для кожного кута повороту тестового лінеамента по 30 разів. В табл. 2 наведені результати вимірювання нормованого вихідного сигналу  $(U_{cn})_{exp}$  для трьох вказаних вище орієнтацій лінеамента. Зокрема, у другому рядку наведені середні значення цього сигналу  $(\bar{U}_{cn})_{exp}$ , у

третьому рядку – абсолютні значення його с.к.в., у третьому рядку – абсолютні довірчі значення похибки вимірювання цього сигналу для довірчої імовірності  $P=0.9$ , у четвертому рядку – розраховані за формулами (2)-(5) значення  $U_{cn}$ , у п'ятому рядку – значення  $\Theta$ , розраховані за формулою (6). Порівняння наведених у табл. 2 експериментальних даних з теоретичними показує, що експериментально визначена відносна довжина лінеамента неістотно відрізняється від розрахованої теоретично. Причому зі зростанням кута  $\theta_0$  збільшується як систематична, так і випадкова похибки.

Зростання систематичної похибки пов'язане з тим, що при віддаленні центральної пелюстки спектра лінеамента від центральної зони клиноподібного фотоприймача вихідний сигнал  $U_c$  зменшується, а смуговий сигнал  $U_b$ , пропорційний до довжини лінеамента, залишається незмінним. В результаті зменшується нормований вихідний сигнал  $U_{cn}$ , і, отже, зростає  $\Theta$  (див. рис. 4). Зростання випадкової похибки пов'язане, насамперед, зі зростанням крутизни спаду залежності  $U_{cn} = U_{cn}(\theta_0)$  в околі кута  $\phi$ . Внаслідок цього чутливість системи до різноманітних механічних вібрацій її механічних, оптичних і оптико-механічних елементів істотно зростає.

Таблиця 2

**Результати вимірювань нормованих вихідних сигналів  $(\bar{U}_{cn})_{exp}$ , а також розрахунку  $U_{cn}$  і похибки  $\Theta$**

	Орієнтація 1	Орієнтація 2	Орієнтація 3
$(\bar{U}_{cn})_{exp}$	0.975	0.934	0.485
С.к.в.	$2.5 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-2}$	$5.8 \times 10^{-2}$
$(\Delta_{P=0.9})_{exp}$	$4.0 \times 10^{-2}$	$5.1 \times 10^{-2}$	$9.3 \times 10^{-2}$
$U_{cn}$	0.981	0.942	0.497
$\Theta$	0.019	0.058	0.503

**Висновки.** Оцінено інструментальні похибки вимірювання сумарних довжин лінеаментів в ОЦС. Показано, що систематична похибка зростає зі збільшенням лінеаментів і під час аналізу лінеаментних схем з великою кількістю лінеаментів цією похибкою можна знехтувати. Показано, що випадкова похибка досягає максимального значення в околі кута  $\phi$ . Тому, розраховуючи параметри ОЦС у процесі її розробки і

побудови, необхідно насамперед враховувати вказані похибки, базуючись на конкретних вимогах до точності вимірювання сумарних довжин лінементів.

1. Русин Б.П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складноструктурованих зображень. – Львів, 1997.  
2. Перцов А.В. Методы анализа распределения линейных элементов ландшафта, дешифрируемых на материалах дистанционных съемок. – М., 1980.  
3. Потапов О.А. Оптическое электронное изображение геолого-геофизической информации. – М., 1984.  
4. Muravskii L.I., Bachevskii R.S. Structure Analysis of Linear-Contoured Image by Optical / Digital Methods //

Pattern Recognition and Image Analysis. – 1994. – Vol. 4, N 3. – P. 278-287.  
5. Бачевский Р.С., Муравский Л.И. Эффективность структурного анализа аэрокосмических изображений опико-цифровыми методами// I Всесоюз. конф. “Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии (РОАИ-1-91)”. Тезисы докладов. – Часть II. – Минск, 1991. – С. 45-48.  
6. Lendaris G.G., Stanley G.L. Diffraction-pattern sampling for automatic target recognition// Proc. IEEE. – 1979. – Vol. 58. – P. 198-205.  
7. Casasent D. An optical correlator feature extractor neural net system// Opt. Eng. – 1992. – Vol. 31, N 5. – P. 971-978.

УДК 621.398

## РІЗНИЦЕВО-АДАПТИВНА БАГАТОТОЧКОВА СИСТЕМА З АСИНХРОННО-ЦИКЛІЧНИМ ОБСЛУГОВУВАННЯМ ДЖЕРЕЛ

© Ігор Шигера, 2001

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Інформаційно-вимірювальна техніка", вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Описано різницево-адаптивну систему з асинхронно-циклічним обслуговуванням джерел. Отримано вирази для оцінки необхідної швидкості передавання інформації.*

*Описана разностно-адаптивная система с асинхронно-циклическим обслуживанием источников. Получены выражения для оценки требуемой скорости передачи информации.*

*The difference adaptive system with asynchron-cycle service springs is investigated in this paper. The data rate estimation expression for is found.*

При зростанні кількості об'єктів вимірювань неминуче збільшення обсягів інформації, що потрапляє від сукупності об'єктів до споживача через канал зв'язку. Поряд із істотними для одержувача даними передається значна кількість надлишкових внаслідок нестационарності неперервних сигналів.

У багатоточкових системах, побудованих за принципом рівномірного (циклічного) опитування давачів, крок опитування вибирається з максимального значення частоти найінтенсивнішого процесу сукупності [1]. Це істотно зменшує ефективність використання каналу зв'язку.

Адаптивні системи обслуговування джерел дають можливість усунути передавання надлишкових повідомлень, що дає змогу зменшити вимоги до необхідної пропускної здатності каналу зв'язку, обсяги пам'яті та швидкодійо периферійних пристроїв на приймальній стороні [2]. Пропускна здатність каналу зв'язку повинна узгоджуватися зі смугою частот процесу і є змінною внаслідок нестационарності останнього.

В [2] описано адаптивну систему з асинхронно-циклічним передаванням відліків, що містить комутатор К, який забезпечує почерговий перегляд всіх джерел, прогнозер нульового порядку (ПНП), що вибирає істотні (ненадлишкові) відліки та оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) для зберігання істотного (ненадлишкового) відліку до моменту чергового виведення його у канал зв'язку КЗ. При надходженні істотного відліку від будь-якого з джерел комутатор зупиняється до настання чергового моменту виведення повідомлень у канал зв'язку, після чого відновлюється пошук чергового ненадлишкового відліку.

Різничево-адаптивні системи (РАС) обслуговування досліджуваних об'єктів не лише усувають надлишкові повідомлення, а й зменшують обсяг істотних відліків завдяки передаванню після повного вибіркового значення (ПВЗ) приростів-інформації про досягнення процесом певних рівнів, на які поділений діапазон можливих значень процесу та його поведінку (збільшення, зменшення чи незмінність).