

УДК 004.932

*Л. І. Тимченко, д.т.н., професор
(завідувач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»,
Державний університет інфраструктури та технологій)*

*О. А. Герцій, к.т.н., доцент
(завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний університет інфраструктури та технологій)*

*Н. І. Кокряцька, к.т.н., доцент
(доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика», Державний університет інфраструктури та технологій)*

*М. М. Галушко,
(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)*

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЦЕНТРУ ЗОБРАЖЕНЬ ПРОТЯЖНИХ ЛАЗЕРНИХ ТРАС

У роботі розроблено метод аналізу нестационарних сигналів на прикладі дослідження лазерних трас. Цей метод виявляє взаємозв'язок між коефіцієнтами апроксимації сигналу і геометричними характеристиками сигналу (наприклад, енергетичним центром, моментом інерції). У роботі надані приклади застосування цього методу для задачі точного визначення координат при компенсації зсуву зображень в лазерній трасі.

Ключові слова: паралельно-ієрархічна мережа, лазерна траса, обробка послідовності зображень у реальному часі, система динамічного тунелювання.

Вступ. Сьогодні відчутна необхідність широкого застосування оптоелектронних систем з автоматичним відслідковуванням світлових випромінювань, особливо в лазерній обробці матеріалів, лазерній локації, оптичному зв'язку й інших галузей інженерії. Ці деформації можуть відбуватися від дестабілізуючого ефекту механічних або кліматичних факторів, нестабільності випромінювання світлового джерела, деформації світлового каналу, поганого регулювання оптичних елементів тощо. Забезпечення прийнятної якості корекції потребує тривалого часу перевірки виконання світлового випромінювання, наприклад, просторовий розподіл інтенсивності, включаючи оцінку девіації даного розподілу від початкової або зразкової характеристики.

Постановка задачі. Поширення лазерного випромінювання в атмосфері супроводжується дуже великим набором явищ лінійної і нелінійної взаємодії. При цьому жодне з цих явищ не виявляється окремо. За якісними ознаками зазначені явища можна розділити на такі основні групи: рефракція променів лазерного пучка; поглинання

© Тимченко Л. І., Герцій О. А., Кокряцька Н. І., Галушко М. М., 2018

енергії лазерного пучка атмосферними газами; розсіювання енергії лазерного пучка частками аерозолів на флуктуаціях щільності повітря та ін.; флуктуації параметрів лазерних пучків, обумовлені атмосферою турбулентністю. Кожна з перерахованих груп явищ взаємодії лазерного випромінювання з атмосферою може виявлятися в областях як лінійної, так і нелінійної оптики. Разом з тим кожна з цих груп має чіткі специфічні особливості, що повинні враховуватися при відповідних теоретичних і експериментальних дослідженнях.

Мета статті. Мету запропонованого підходу можна узагальнити таким чином. Нехай $g(t)$ – вихідний вектор сигналу, і $Y(t)=X(g(t))-D(g(t))$ – аналізований деформований вектор, який обумовлюється дією вищезгаданих факторів. Щоб зробити аналіз, за допомогою якого можливо відновити вектор $Y(t)$ потрібно геометрично охарактеризувати сигнал.

Ключова ідея підходу полягає в такому: 1) для незміщеного деформованого вектора знаходяться оптимальні нелінійні ваги усіх компонент 2) для зсунутого деформованого вектора $D(t)$ знаходиться його зсув за допомогою взаємозв'язку коефіцієнтів апроксимації 3) усунення помилок, що відбуваються від дискретизації і статистичних параметрів. У цій роботі ми показуємо, що є ряд відповідей між функцією деформації $X(g(t))$ і факторами апроксимації, а також розкидом геометричних характеристик сигналу, що обмежений різноманітними порогами.

Дана робота складається з опису методу визначення точки прив'язки, алгоритму, що навчає, й експериментальних результатів. Розглянемо вихідні сигнали на прикладі послідовностей серій лазерних зображень [1].

У проведених експериментах достовірність відновлення геометричних характеристик сигналу перевершує інші методи, засновані на традиційних засобах апроксимації [2]. Подані методи можуть бути поширені на багатомірні зображення.

Під координатами точки прив'язки (x, y) (далі – точкою прив'язки) ми розуміємо координати енергетичного центру зображення $X(g(t))$, що повинні залежати тільки від сигналу $X(t)$ й інваріантні до функції деформації $g(t)$. Координати (x, y) енергетичного центру двовимірного сигналу з питомою нелінійною щільністю $\omega(f(x, y))$, що відповідає даному значенню $f(x, y)$ (далі щільністю), виражаються так:

$$x = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot x \quad y = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot y, \quad M = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)). \quad (1)$$

де M – моментна ознака.

Для опису методу, спочатку припустимо, що, для аналізованої вибірки зображень, координати центрів ваги фігур одиничної щільності, утворених крайовими лініями яскравості (далі часткові центри), значно не змінюються. У цьому випадку, щоб знайти точку прив'язки необхідно знайти оптимальну щільність $\omega(f(x, y))$. Для перебудовування її треба використовувати такі вирази:

$$\sum_{i=0}^{n-1} w_i \sum x_i^{(j)} \cong x_e; \sum_{i=0}^{n-1} w'_i \sum y_i^{(j)} \cong y_e; \quad (w_i > \lambda_x; w'_i > \lambda_y) \quad (2)$$

де ω_i – шукані щільності, що відповідають заданій яскравості (ω_i – для параметрів x , ω'_i – для параметрів y); $\sum y^{(i)}$ – значення x , y , що відповідають i -му зображенню, x_e, y_e – шаблонні параметри. Вираз (2) інакше виражається як:

$$\sum_{i=0}^{n-1} w_i x_i^{(i)} \cong x_e, \quad \sum_{i=0}^{n-1} w'_i y_i^{(i)} \cong y_e \quad (w_i > \lambda_x; w'_i > \lambda_y) \quad (3)$$

x_i, y_i – координати часткових центрів для областей, обмежених крайовими лініями яскравості, що відповідає індексу i .

У даній роботі за x_e і y_e прийняті усереднені значення часткових центрів такого зображення, що має найменший розкид їх значень. Таким чином, можна знайти узгоджену точку прив'язки для зображень, що задовольняють вищезазначеному припущенню.

Тепер відкинемо припущення, що в поточній вибірці зображень приватні центри близькі. Тоді координати точки прив'язки можуть виражатися так:

$$x = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot (x + \delta_x); \quad y = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot (y + \delta_y). \quad (4)$$

де δ_x і δ_y – зсуви, що відповідають даному зображенню стосовно шаблонному або початковому.

Таким чином, можна обчислити щільності з виразів:

$$\sum_{i=0}^{n-1} w_i \sum (x^{(i)} + \Delta x) = x_e, \quad w_i > \lambda_x, \quad \sum_{i=0}^{n-1} w'_i \sum (y^{(i)} + \Delta y) = y_e, \quad w'_i > \lambda_y \quad (5)$$

для групи зображень із близькими зсувами часткових центрів ($\Delta x, \Delta y$) дійсного і перекрученого сигналів. Формалізація визначення точок прив'язки можлива за допомогою багаторівневої ієрархічної мережі, запропонованої в [3].

Для природних зображень при апроксимації крайових ліній можна використовувати відношення квадратного і кубічного коефіцієнтів апроксимації. При цьому одноманітні компоненти мають близьке дане відношення, і було показано, що різноманітні компоненти (фази) одноманітного зображення мають мале, але зрозуміле розходження.

У цій роботі для вибору груп зображень із близькозміщеними сигналами використовувалася апроксимація методом найменших квадратів [4]. Було помічено, що близькозміщені зображення можуть мати близьке відношення квадратного і кубічного коефіцієнта. Додатково використовувався коефіцієнт сьомого ступеня для виявлення малих зсувів і для критерію точності порівняння коефіцієнтів.

Після закінчення навчання ненавчена вибірка зображень класифікується не тільки за значеннями відношень коефіцієнтів c_2/c_3 , але також з врахуванням обчислених щільностей чи знайдених зсувів точок прив'язки. При цій класифікації діапазон

значень коефіцієнтів $\nu^* = \frac{c_2^*}{c_3^*}$ лежить у тунелі навколо еталона e , межі якого

вибираються так, щоб виконувалися умови:

$$\begin{aligned} x_e - x^* &< E_{\max} \\ y_e - y^* &< E_{\max} \\ w_e - w^* &< \min(E(w^*)) = E_{\max} \end{aligned}$$

де $E_{\max}$ – максимальна помилка координати, $E(\nu)$ – відповідна ν помилка.

Слід зазначити, що при обчисленні точки прив'язки граничні лінії зображення можуть проходити обробку, використовуючи при цьому банк фільтрів для усунення помилки дискретизації й ефектів, що відбуваються шляхом виявлення особливих статистичних параметрів.

Тестування виконання моделі проводилось за допомогою 5 наборів даних. Покажемо, що еталони x_e і y_e можуть бути визначені як зображення з малим розкидом їх часткових центрів. Експерименти свідчать, що ці зображення мають близькі коефіцієнти апроксимації c_2 , c_3 . З роботи [5] випливає, що ці зображення мають одноманітні фази. Очевидно, що у разі великих деформацій з'являється нерівномірний розподіл енергії, що призводить у результаті до зсуву координат локальних центрів. У результаті запропонованого навчання похибка визначення точки прив'язки не перевищує 1,5 пікселя. Вона складається з неточності прийнятого поняття еталона, неточності зсуву при навчанні, неабсолютна кореляція квадратного і кубічного коефіцієнта апроксимації для фіксованого зсуву і з неточності від ефектів дискретизації і впливу на статистичні параметри.

Основний метод навчання для оцінки координат точки прив'язки поданий на рис. 1. Для досягнення більшої вірогідності в роботі використовувалася операція тунелювання коефіцієнтів апроксимації, що показано на рис. 2.

Після закінчення навчання, вибірка зображень, що не навчається, класифікується за значеннями відношення c_2/c_3 коефіцієнтів апроксимації відповідних крайових ліній і з урахуванням обчислених щільностей або знайдених зсувів точок прив'язки.

На рис. 3 показані крайові лінії використаного еталонного зображення лазерної траси, і відповідне зображення – на рис. 4.

Табл. 1. показує результати оцінки опорної точки двох трас по 140 використаних зображень, 70 зображень використовувалися для навчання, і інші використовувалися для визначення точки прив'язки. Рис. 5 показує графік розподілу відношень c_2/c_3 від значень часткових центрів.

Особливий інтерес представляє задача прогнозування координат енергетичного центра лазера відносно заданої позиції на основі відомих значень частини шляху. Враховуючи той факт, що траєкторія енергетичного центру лазера представлена такою параметричною кривою

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases},$$

де x, y є координатами центру, t час.

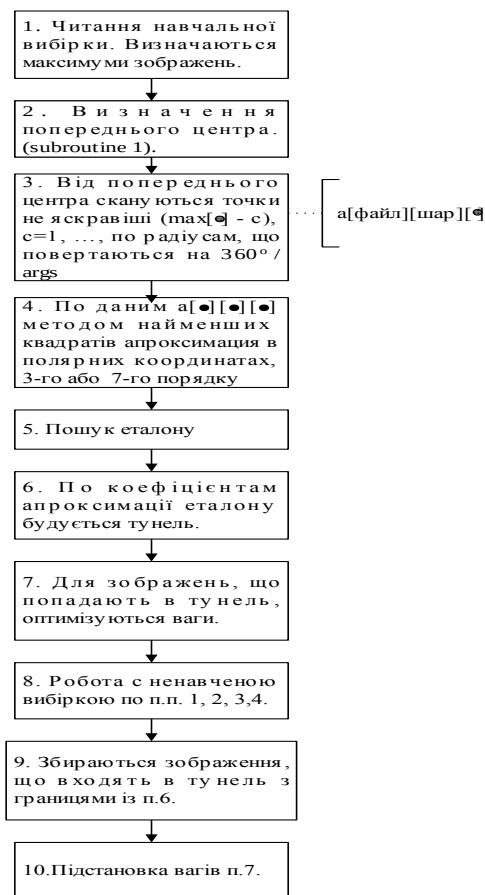


Рис. 1. Навчальний алгоритм для оцінки координат точки прив'язки

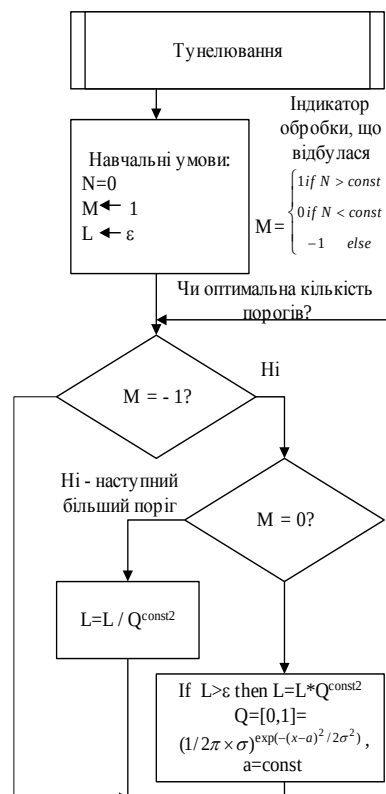


Рис. 2. Тунелювання коефіцієнтів апроксимачії

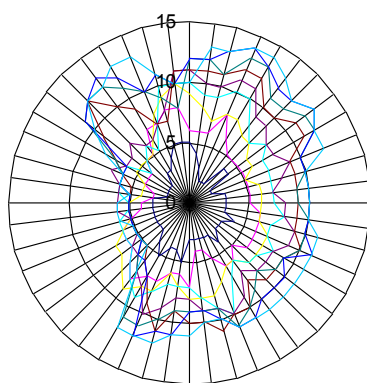


Рис. 3. Крайові лінії еталонного зображення



Рис. 4. Еталонне зображення

Таблиця 1. Значення точки прив'язки в центральному тунелі

№ зображення	Координата X	Координата Y	Δx	Δy	№ зображення	Координата X	Координата Y	Δx	Δy
2	69.1541	59.3275	-0.1261	0.3459	72	68.9252	60.0516	0.1027	-0.3782
5	70.1457	60.2265	-1.1178	-0.5532	73	67.6251	60.8029	1.4028	-1.1295
6	69.2075	59.4605	-0.1796	0.2128	76	69.0926	59.2218	-0.0647	0.4516
8	69.3655	59.5653	-0.3376	0.1081	78	68.9992	58.5592	0.0287	1.1142
9	70.1315	59.2236	-1.1036	0.4497	99	70.3965	60.9546	-1.3686	-1.2812
11	69.4858	60.5077	-0.4579	-0.8343	101	69.0978	60.8558	-0.0699	-1.1825
14	69.2673	60.7730	-0.2394	-1.0996	108	69.5562	60.7843	-0.5283	-1.1109
23	68.1827	60.8750	0.8452	-1.2016	110	68.7018	59.3707	0.3262	0.3026
26	68.4473	59.3144	0.5806	0.3590	113	69.9831	58.4035	-0.9552	1.2699
27	67.8406	59.8413	1.1873	-0.1679	121	69.4342	58.4801	-0.4063	1.1933
29	69.8535	59.1702	-0.8256	0.5031	122	69.2161	59.1879	-0.1882	0.4854
31	68.9937	60.1161	0.0342	-0.4428	124	67.7009	59.8151	1.3270	-0.1417
36	68.5798	59.1570	0.4482	0.5164	130	68.2052	58.3177	0.8227	1.3557
39	68.2861	58.3387	0.7418	1.3347	131	68.3098	58.3269	0.7181	1.3465
60	68.0184	60.5156	1.0096	-0.8423	132	67.7106	58.2851	1.3173	1.3883
62	67.6880	60.9058	1.3399	-1.2325	137	69.1311	58.9851	-0.1032	0.6883
66	68.5222	59.4425	0.5057	0.2309	139	69.1083	60.5518	-0.0804	-0.8784
70	69.6574	58.2494	-0.6295	1.4240	140	68.1227	59.9511	0.9052	-0.2778

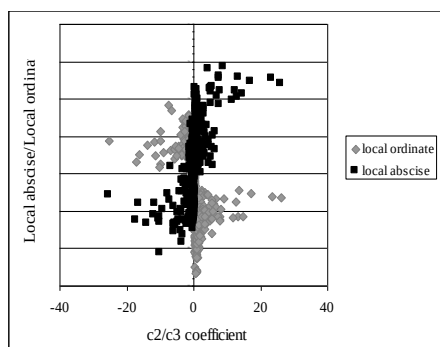


Рис. 5. Залежність координати від відношення c_2/c_3

Дана задача являє собою екстраполяцію функції, задану дискретними значеннями (x_i, y_i) у моменти часу t_i , $(i = 1, 2, \dots, n)$. Через фактичну фізичну природу цієї функції можна припустити наявності у неї безперервності та гладкості. Це дозволяє виконувати екстраполяцію за допомогою формул чисельного диференціювання. Якщо, $\Delta t = 1$, то перші та другі похідні координат обчислюються за допомогою моментів часу вже відомої частини шляху:

$$\begin{aligned}
 x'(t_n) &= x(t_n) - x(t_{n-1}) \\
 y'(t_n) &= y(t_n) - y(t_{n-1}) \\
 x''(t_n) &= x(t_n) - 2x(t_{n-1}) + x(t_{n-2}) \\
 y''(t_n) &= y(t_n) - 2y(t_{n-1}) + y(t_{n-2})
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Тоді координати енергетичного центру в моменти часу оцінюються за формулами:

$$\begin{aligned}x(t_{n+1}) &= x(t_n) + 2 \frac{x(t_n) - x(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} \Delta t + \left(\frac{x(t_n) - x(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} - \frac{x(t_{n-1}) - x(t_{n-2})}{t_{n-1} - t_{n-2}} \right) \Delta t^2 \\y(t_{n+1}) &= y(t_n) + 2 \frac{y(t_n) - y(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} \Delta t + \left(\frac{y(t_n) - y(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} - \frac{y(t_{n-1}) - y(t_{n-2})}{t_{n-1} - t_{n-2}} \right) \Delta t^2 \\x(t_{n+2}) &= x(t_{n+1}) + 2 \frac{x(t_{n+1}) - x(t_n)}{t_{n+1} - t_n} \Delta t + \left(\frac{x(t_{n+1}) - x(t_n)}{t_{n+1} - t_n} - \frac{x(t_n) - x(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} \right) \Delta t^2 \\y(t_{n+2}) &= y(t_{n+1}) + 2 \frac{y(t_{n+1}) - y(t_n)}{t_{n+1} - t_n} \Delta t + \left(\frac{y(t_{n+1}) - y(t_n)}{t_{n+1} - t_n} - \frac{y(t_n) - y(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} \right) \Delta t^2\end{aligned}\tag{7}$$

Внаслідок дискретизації лазерного шляху та похибок при визначенні енергетичного центру, оцінка значень похідних має велику похибку, що не дозволяє отримати екстраполяцію шляху більше, ніж на один крок вперед (тобто в момент $t_{n+1} = t_n + \Delta t$).

Для поліпшення якості екстраполяції була застосована кубічна сплайн-інтерполяція наявної траєкторії енергетичного центру з наступною екстраполяцією за формулами:

$$\begin{aligned}x(t) &= x_n + \left(\frac{(t_n - t_{n-1})m_{n-1}}{6} + \frac{x_n - x_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right) (t - t_n) \\y(t) &= y_n + \left(\frac{(t_n - t_{n-1})m_{n-1}}{6} + \frac{y_n - y_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right) (t - t_n),\end{aligned}\tag{8}$$

де x_n , y_n є кінцевою точкою траси, t момент часу, для якого робиться прогноз, m є коефіцієнтом звичайного кубічного сплайна.

Приклад прогнозування координат траси подано в табл. 2.

Підхід, що базується на сплайн-інтерполяції, дає суттєво кращу якість екстраполяції, проте не дозволяє екстраполювати трасу більше, ніж на три кроки вперед. Причиною цього, мабуть, є те, що «точковий» підхід до лазерної траси, як до траєкторії центру сили деформації, координати якої значно коливаються, погано обґрунтований з точки зору задачі екстраполяції. Для цього можливо використати перспективний підхід «площі» характеристик параметрів профілю лазера або їх препаратів, які не містять коливань. Крім того, досліджується можливість екстраполяції шляхів за допомогою самонавчання нейронної мережі.

Висновки. Таким чином, запропоновано навчальний алгоритм для визначення координат точки прив'язки для зображень лазерної траси. Складність запропонованих функцій якого дозволяє виконувати обробку в реальному режимі часу з відносно простим програмним забезпеченням. Це досягається за допомогою коефіцієнтів апроксимації крайових ліній, таких як c_2 , c_3 [5] і c_7 , а також використання декількох систем рівнянь в обчисленнях при навчанні, і перебуванням звичайного енергетичного центру в інших обчисленнях.

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таблиця 2. Приклад екстраполяції

№ Зображення	Реальні значення центра траси		Прогнозовані значення координат Сплайн екстраполяція		Помилка прогнозування			
					Абсолютна помилка		Відносна помилка, %	
	X	Y	X _{пр}	Y _{пр}	X	Y	X	Y
101	68.2951	59.3841	68.8329	67.7538	0,5378	8,3697	0,78746	14,0941
102	68.2340	67.2813	69.6841	69.1518	1,4501	1,8705	2,12518	2,78011
103	68.2031	58.9162	70.5352	70.5497	2,3321	11,6335	3,41934	19,7458
201	69.4534	63.8946	71.3257	58.2359	1,8723	5,6587	2,69576	8,85630
202	73.0782	60.2154	73.1341	57.4110	0,0559	2,8044	0,07649	4,65728
203	70.7270	63.2449	74.9425	56.5861	4,2155	6,6588	5,96024	10,5286
301	69.8272	64.9168	65.7048	70.4522	4,1224	5,5354	5,90371	8,52691
302	69.7406	68.8829	62.1084	72.5311	7,6322	3,6482	10,9437	5,29623
303	69.3685	67.7657	58.5121	74.6100	10,8564	6,8443	15,6503	10,0999
401	60.8038	63.1096	68.9438	68.0775	8,14	4,9679	13,3873	7,87186
402	66.8957	60.3829	70.1970	68.7354	3,3013	8,3525	4,93499	13,8325
403	69.4878	62.5691	71.4501	69.3933	1,9623	6,8242	2,82394	10,9066
501	66.6233	67.7084	68.6955	62.5056	2,0722	5,2028	3,11032	7,68412
502	70.8832	59.2606	68.8265	62.6642	2,0567	3,4036	2,90153	5,74344
503	71.8182	58.7224	68.9574	62.8229	2,8608	4,1005	3,98339	6,98285
601	64.2898	66.9677	60.3812	66.2464	3,9086	0,7213	6,07968	1,07708
602	62.2370	63.4547	57.7888	67.6788	4,4482	4,2241	7,14719	6,65687
603	62.6127	61.5695	55.1964	69.1112	7,4163	7,5417	11,8447	12,2490
701	66.4375	64.7769	67.0417	56.1264	0,6042	8,6505	0,90942	13,3543
702	69.4883	60.2840	67.3558	52.3732	2,1325	7,9108	3,06886	13,1225
703	67.5625	64.8700	67.6699	48.6200	0,1074	16,25	0,15896	25,0501

Результати моделювання показують помилку визначення опорної точки 1,1 – 1,2 піксела, що суттєво менше, ніж у традиційних методах апроксимації [2], у тих самих умовах. Запропоновані методи можуть бути використані при розпізнаванні образів та стисненні зображень через кореляцію коефіцієнтів наближення та фази зображення.

В оцінці ряду вимірювань параметрів зображень протяжних лазерних трас стає значною складністю точне визначення контурів крайових ліній. У роботі використовувалися загальноприйняті методи для визначення крайових ліній зображення. Для більш точного визначення контурів зображення можуть використовуватися цифрові фільтри.

Для збільшення точності результатів вимірювання можна виконати обчислення, застосовуючи кілька ітерацій, взявши за початкові значення раніше визначені параметри, і використовуючи при цьому формування коефіцієнтів апроксимації шляхом розв'язання систем рівнянь (7) і (8). Зокрема, при використанні другої ітерації, точність буде підвищена приблизно в 1,5 рази. Для скорочення кількості спотворених зображень і визначення типу спотворень можна використовувати набір коефіцієнтів, апроксимації яскравості і крайові лінії, відповідно до тривимірного набору тунельних параметрів. Для вибору оптимальних порогів можна використовувати динамічну систему тунелювання їх установки [6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Basov N.G., Zemskov E.M., Kutaev Y.F. et. al. «Laser Control of Near Earth Space and Possibilities for Removal of Space Debris from Orbit with Explosive Photo-Dissociation Lasers with Phase Conjugation». Proc. GCL/HPL 98. SPIE Symposium. St-Petersburg, Russia, 1998.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: «Наука», 1986.
3. Cho Y.H. «An Efficient Compression of Image Data Using Neural Networks of Hybrid Learning Algorithm». Int. ICSC/IFAC Symposium on Neural Computation – NC'98, Vienna, Austria, 1998, pp. 798 – 801.
4. Grudin M.A., Harvey D.M., Timchenko L.I., Lisboa P.J.G. «Face Recognition Method Using a Multi-stage Hierarchical Network», IEEE Intl. Conf. Acoustic, Speech and Signal Proc. ICASSP97 Munich, Germany, Vol. 4, pp. 2545 – 2548, 1997.
5. Sugimura H., Takashima K. «On a fractal approach to actual plant images». Proc. of Int. Conf. Pattern Recognition and Image Processing'99. Minsk, Republic of Belarus, pp. 130-133, 1999.
6. Ta-Hsin li, Gibson J.D. «Time correlation analysis of a class of nonstationary signals with an application to radar imaging». IEEE Intl. Conf. Acoustic, Speech and Signal Proc. ICASSP97 Munich, Germany, Vol.5, pp. 3765-3769, 1997.

REFERENCES

1. Basov N.G., Zemskov E.M., Kutaev Y.F. et. al. «Laser Control of Near Earth Space and Possibilities for Removal of Space Debris from Orbit with Explosive Photo-Dissociation Lasers with Phase Conjugation». Proc. GCL/HPL 98. SPIE Symposium. St-Petersburg, Russia 1998.
2. Bronshteyn I.N., Semendayev K.A. *Mathematics*. – Moscow: Science, 1986.
3. Cho Y.H. «An Efficient Compression of Image Data Using Neural Networks of Hybrid Learning Algorithm». Int. ICSC/IFAC Symposium on Neural Computation – NC'98. Vienna, Austria, 1998, pp. 798-801.
4. Grudin M.A., Harvey D.M., Timchenko L.I., Lisboa P.J.G. «Face Recognition Method Using a Multi-stage Hierarchical Network», IEEE Intl. Conf. Acoustic, Speech and Signal Proc. ICASSP97 Munich, Germany, Vol. 4, pp. 2545 – 2548, 1997.
5. Sugimura H., Takashima K. «On a fractal approach to actual plant images». Proc. of Int. Conf. Pattern Recognition and Image Processing'99. Minsk, Republic of Belarus, pp. 130-133, 1999.
6. Ta-Hsin li, Gibson J.D. «Time correlation analysis of a class of nonstationary signals with an application to radar imaging». IEEE Intl. Conf. Acoustic, Speech and Signal Proc. ICASSP97 Munich, Germany, Vol. 5, pp. 3765 – 3769, 1997.

Л. И. Тимченко, д.т.н., проф.

*(заведуючий кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»,
Государственного университета инфраструктуры и технологий)*

А.А. Герций, к.т.н., доц.

*(заведуючий кафедри «Автоматизация и компьютерно-интегрированные
технологии транспорта», Государственного университета инфраструктуры и
технологий)*

Н.И. Кокряцкая, к.т.н., доц.

*(доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»,
Государственного университета инфраструктуры и технологий)*

М.Н. Галушко,

(аспірант Государственного университета инфраструктуры и технологий)

**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА
ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ТРАСС**

В работе разработан метод анализа нестационарных сигналов на примере исследования лазерных трасс. Этот метод выявляет взаимосвязь между коэффициентами аппроксимации сигнала и геометрическими характеристиками сигнала (например, энергетическим центром, моментом инерции). В работе

представлены примеры применения этого метода для задачи точного определения координат при компенсации сдвига изображения в лазерной трассе.

Ключевые слова: параллельно-иерархическая сеть, лазерная трасса, обработка последовательности изображений в реальном времени, система динамического туннелирования.

*Leonid I. Timchenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Head of the Department of «Telecommunications Technologies and Automatics»,
State University for Infrastructure and Technology)*

*Olexander A. Gertsy, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Transport Technologies, State University for Infrastructure and Technology)*

*Natalia I. Kokryatskaya, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of the Department of Telecommunications Technologies and Automatics», State University for Infrastructure and Technology)*

*Maryna M. Halushko,
(Postgraduate of State University for Infrastructure and Technology)*

**METHOD FOR MEASUREMENT OF COORDINATES OF POWER CENTRE
OF EXTENDED LASER PATH IMAGES**

In the article authors have worked out a nonstationary signal analysis method on an example of research of laser paths. This method disclosed relationship between signal approximation coefficients and geometry signal characterizations (for example, energy center, moment of inertia). An example, which is demonstrating an application of this method for exact coordinate determination problem in laser paths at displacement compensation in laser imaging are present.

Keywords: parallel-hierarchical network, laser path, real-time image sequences, dynamic tunnelling system.

Стаття надійшла до редакції 15.12.2017 р.