

Ю.О. Подчашинський, ст. викл.
Житомирський інженерно-технологічний інститут

ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ І ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ

Виконано теоретичний розрахунок похибок вимірювання координат і лінійних розмірів елементів відеозображення для різних значень загального розміру цього відеозображення. Обґрунтовано вибір оптимального розміру цифрового відеозображення в програмно-апаратному комплексі автоматизованої обробки відеоінформації. Виконані експериментальні дослідження та статистична обробка випадкової складової частини похибок вимірювань.

Типовою задачею при автоматизованій обробці візуальної інформації за допомогою комп'ютера є визначення координат і лінійних розмірів елементів відеозображень. В даному випадку, як і для будь-яких інших вимірювань, постає питання про визначення похибок отриманих значень.

З теоретичної точки зору, похибки визначення координат і лінійних розмірів елементів відеозображення в програмно-апаратному комплексі автоматизованої обробки відеоінформації детально розглянуті в [1].

Ці похибки залежать від багатьох факторів, в тому числі, і від розміру оцифрованого відеозображення, що обчислюється в дискретних точках. Типовими значеннями розміру відеозображення, яке отримано в результаті введення відеосигналу від зовнішнього джерела в комп'ютер [6, 8, 10, 11], слід вважати такі: 320×240, 640×480, 768×576 дискретних точок. Ці значення підтримуються відповідними апаратними та програмними засобами.

На підставі теоретичних положень і формул, представлених в [1], виконано теоретичний розрахунок абсолютних методичних похибок вимірювань для типових значень розміру відеозображення. Результати розрахунку наведені в табл. 1 і на рис. 1 і 2.

Таблиця 1

Абсолютна методична похибка вимірювань для відеозображення розміром 640×480 точок
(теоретичний розрахунок)

Величина, що вимірюється	Систематична складова частина похибки (математичне сподівання), точок	Випадкова складова частина похибки					
		Максимальне значення М, точок	Середньоквадратичне відхилення σ , точок	М/ σ (результат теоретичного розрахунку)	Кількість незалежних факторів, що враховані при розрахунку	Найбільш близький стандартний закон розподілу випадкової величини	М/ σ (для стандартного закону розподілу)
Горизонтальна координата точки	1,17	1,08	0,44	2,45	2	трикутний	2,4
Відстань по горизонталі	0	2,17	0,63	3,45	4	нормальний	3,0
Вертикальна координата точки	0	0,58	0,34	1,73	1	рівномірний	1,7
Відстань по вертикалі	0	1,16	0,48	2,45	2	трикутний	2,4

Зауважимо, що для параметрів похибок одиницею виміру є відстань між центрами двох сусідніх дискретних точок зображення. Якщо вважати, що довжина рядка відеозображення постійна і дорівнює деякій умовній одиниці, то відстань між точками буде різною для різних розмірів відображення. На рис. 1 і 2 ця відстань нормована відносно відстані на зображенні 640×480 точок. Таким чином, параметри похибок виражені у відстані між дискретними точками (або просто в точках) зображення розміром 640×480 точок.

Масштабні коефіцієнти для інших розмірів відеозображення: $320 \times 240 : 2,000$; $512 \times 384 : 1,250$; $768 \times 576 : 0,833$.

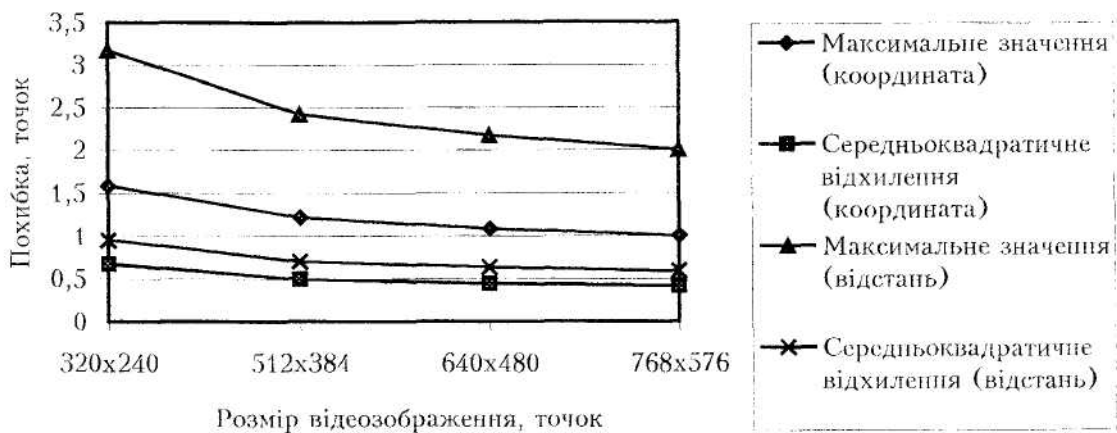


Рис. 1. Випадкова складова частина абсолютної методичної похибки визначення горизонтальних координат і розмірів елементів відеозображення (теоретичний розрахунок)

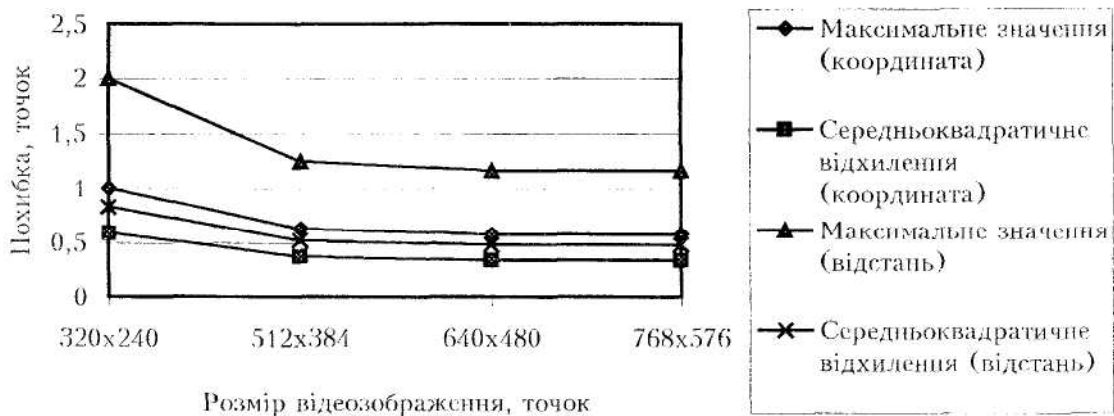


Рис. 2. Випадкова складову частину абсолютної методичної похибки визначення вертикальних координат і розмірів елементів відеозображення (теоретичний розрахунок)

Вибір конкретного значення розміру відеозображення в програмно-апаратному комплексі автоматизованої обробки відеоінформації залежить від цілого ряду факторів, а саме:

1. Необхідність зменшення похибок вимірювань координат і лінійних розмірів елементів відеозображення. Це потребує збільшення розміру до максимально можливого значення.

2. Наявність типових значень розміру відеозображення, що підтримуються пристроєм введення та програмним забезпеченням, яке ним керує. В програмно-апаратному комплексі використовується пристрій введення відеозображень Cirrus Logic 544XP+ [9, 11] і пакет програм Microsoft Video for Windows 1.0. [6]. Типові значення розміру відеозображення для них такі: 640×480 , 320×240 , 160×120 точок.

3. Обмеження на об'єм і пропускну здатність апаратних ресурсів комп'ютера, потрібних для введення, обробки та зберігання відеозображень. Це потребує зменшення розміру відеозображення.

4. Обмеження кількості інформації в відеозображенні у відповідності до телевізійних стандартів передачі відеосигналів.

В програмно-апаратному комплексі використовується композитний відеосигнал системи PAL, що має 625 рядків у кадрі (з них 576 видимих), формат кадру $4 : 3$ і обмеження смуги сигналу яскравості до 5 МГц [7, 8, 12].

Крім того, відеозображення, що відтворюється на екрані комп'ютера, повинно мати однаковий масштаб по горизонталі та вертикалі.

Таким чином, розмір відеозображення 768×576 дискретних точок буде достатнім для повного використання інформації з відеосигналу. Розмір 640×480 дискретних точок буде достатнім для повного використання інформації, що міститься в кожному рядку, але загальна кількість рядків буде зменшена з 576 до 480.

5. Наявність черезрядкового зсуву для елементів зображення, що швидко рухаються. Експериментально встановлено, що програмно-апаратні засоби, які використовуються в даному комплексі, формують цифрове відеозображення розміром 640×480 точок із двох суміжних напівкадрів телевізійного зображення, тобто має місце черезрядковий зсув. Цифрове відеозображення розміром 320×240 точок формується з одного напівкадру, тобто черезрядковий зсув буде для нього відсутній.

Виходячи з аналізу наведених факторів, можна зробити висновок про те, що використання відеозображення розміром 640×480 дискретних точок в програмно-апаратному комплексі буде оптимальним, тому що:

1. У порівнянні з максимальним значенням розміру (768×576 точок) в даному випадку маємо незначне збільшення середньоквадратичного відхилення та максимального значення похибок для горизонтальних вимірювань і однакові значення цих параметрів похибок для вертикальних вимірювань (рис. 1 і 2).

2. Даний розмір відеозображення підтримується апаратними та програмними засобами (пристрій введення відеозображень Cirrus Logic 544XP+ і пакет програм Microsoft Video for Windows).

3. Зображення, що досліджуються у випадку [3], малорухомі та відсутні викривлення, пов'язані з черезрядковим зсувом. Зауважимо, що для вирішення інших задач, в яких наявні швидкорухомі елементи зображення, потрібне зменшення розміру зображення до 320×240 точок.

4. Апаратні ресурси комп'ютера типу Pentium достатні для роботи з таким відеозображенням.

Для перевірки теоретичних положень було створено тестове відеозображення, подібне тому, що виникає при вирішенні задачі, наведеної в [3].

Тестове зображення отримано за допомогою світлої металевої стрічки, яка розташовується на темному фоні таким чином:

- положення стрічки в кадрі має відхилення від вертикалі приблизно на 30° ;
- положення стрічки в кадрі має відхилення від горизонталі приблизно на 30° .

Відеозображення для кожного з наведених варіантів вводилося в комп'ютер двома способами:

- безпосередня подача відеосигналу з тестовим зображенням від відеокамери на пристрій введення відеозображень в комп'ютер;
- попередній запис тестового зображення на магнітну стрічку з подальшим відтворенням і введенням в комп'ютер.

Розмір відеозображення дорівнював 640×480 і 320×240 дискретних точок.

Таким чином було отримано 8 варіантів відеопослідовностей у файлах формату AVI.

У випадку вертикального розташування стрічки для кожного рядка цифрового відеозображення вимірювалися горизонтальні координати правого та лівого країв стрічки, а також її ширина. У випадку горизонтального розташування стрічки для кожної колонки точок цифрового відеозображення вимірювалися вертикальні координати нижнього та верхнього країв стрічки, а також її висота.

Результати накопичувалися для 60 послідовних кадрів відеозображення, отриманих з частотою 1 кадр за секунду.

Ширина металевої стрічки на відеозображенні складає близько 200 дискретних точок. Виходячи із теоретичних розрахунків, похибка визначення ширини стрічки складає ± 2 точки, або $\pm 1\%$. Початкова ширина стрічки складає $(36 \pm 0,05)$ мм або 36 мм $\pm 0,15\%$. Таким чином, точність тестового зображення відповідає вимогам проведення експерименту.

Далі виконувалася статистична обробка результатів вимірювань [4, 5].

На основі всієї сукупності кадрів відеопослідовності для кожного рядка відеозображення розраховані математичне сподівання та дисперсія:

$$m_{xj}^* = \frac{1}{N_{FR}} \sum_{i=1}^{N_{FR}} x_{ij}; \quad (1)$$

$$D_{xj}^* = \frac{1}{N_{FR}} \sum_{i=1}^{N_{FR}} (x_{ij} - m_{xj}^*)^2, \quad (2)$$

де N_{FR} – кількість кадрів у відеопослідовності;

x_{ij} – результат вимірювання горизонтальної координати контуру;

i – номер кадру відеозображення ($i = 1, \dots, N_{FR}$);

j – номер рядка відеозображення ($j = 0, \dots, N_{STR}$);

N_{STR} – кількість рядків у відеозображенні.

Далі виконано усереднення значень дисперсії для сукупності всіх можливих значень координат, тобто для всіх рядків відеозображення:

$$D_x = \frac{1}{N_{STR}} \sum_{j=0}^{N_{STR}-1} D_{xj}^*; \quad (3)$$

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}, \quad (4)$$

де D_x – дисперсія абсолютної похибки вимірювання координати;

σ_x – середньоквадратичне відхилення абсолютної похибки вимірювання координати.

Середнє значення математичного сподівання для всіх рядків не розраховувалося, так як воно не має сенсу, тому що металева стрічка розташована з нахилом і горизонтальна координата її краю змінюється від рядка до рядка.

На відміну від горизонтальної координати, ширина стрічки (відстань по горизонталі) повинна мати постійне значення для всіх рядків відеозображення. Тому для відстані по горизонталі параметри абсолютної похибки визначилися таким чином:

$$m_s = \frac{1}{N_{FR} \cdot N_{STR}} \sum_{j=0}^{N_{STR}-1} \sum_{i=1}^{N_{FR}} s_{ij}; \quad (5)$$

$$D_s = \frac{1}{N_{FR} \cdot N_{STR}} \sum_{j=0}^{N_{STR}-1} \sum_{i=1}^{N_{FR}} (s_{ij} - m_s)^2; \quad (6)$$

$$\sigma_s = \sqrt{D_s}, \quad (7)$$

де s_{ij} – результат вимірювання відстані по горизонталі;

m_s , D_s , σ_s – відповідно математичне сподівання, дисперсія та середньоквадратичне відхилення результату вимірювання відстані по горизонталі.

Подібну статистичну обробку можна виконати для результатів вимірювань вертикальних координат і відстані по вертикалі.

Результати експериментальних досліджень та їх порівняння з результатами теоретичних розрахунків наведені в табл. 2 для відеозображення розміром 640×480 точок і в табл. 3 для відеозображення розміром 320×240 точок.

Порівнюючи теоретичні та експериментальні дані в табл. 2 і 3, можна зробити такі висновки:

1. Для вимірювань координат і відстані по горизонталі параметри похибок приблизно однакові. Експериментально отримані значення дещо більші, ніж теоретичні. Це пояснюється тим, що до їх складу, крім методичної, входить також і інструментальна похибка.

2. Експериментальні значення похибки для випадку безпосереднього введення відеозображення від відеокамери в комп'ютер дещо менші, ніж для випадку попереднього запису відеозображення на магнітну стрічку. Це пояснюється наявністю додаткових викривлень у другому випадку.

3. Для вимірювань координат і відстані по вертикалі експериментальні значення похибки в 2–3 рази більші за теоретичні. Це обумовлено тим, що в пристрої введення відображень в комп'ютер виконується перетворення 576 видимих рядків телевізійного растра в 480 рядків цифрового відеозображення. Експериментально встановлено для плати Cirrus Logic 544XP+, що таке перетворення виконується за рахунок відкидання кожного 6-го рядка для відеозображення розміром 320×240 точок і кожного 11-го та 12-го рядків для відеозображення розміром 640×480 точок.

На основі експериментальних даних, з метою визначення закону розподілу похибок вимірювань, побудовані гістограми розподілу цих похибок (рис. 3). Визначено, що розподіл похибок вимірювань наближається до нормального. Ці результати відображено у відповідних колонках табл. 2 і 3.

Значення інтервалу $\pm 3\sigma$ із табл. 2 і 3 можна використовувати як максимальне значення абсолютних похибок при оцінці результатів вимірювань, що виконані програмно-апаратним комплексом автоматизованої обробки відеоінформації.

Таблиця 2

Випадкова складова частина абсолютної похибки вимірювань для відеозображення розміром 640x480 точок (теоретичні та експериментальні результати)

Величина, що вимірюється	Максимальне значення похибки М, точок			Середньоквадратичне відхилення σ , точок			М/ σ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Горизонтальна координата точки	1,08	1,35	1,38	0,44	0,33	0,40	2,45	4,06	3,43
Відстань по горизонталі	2,17	2,53	2,60	0,63	0,66	0,71	3,45	3,84	3,68
Вертикальна координата точки	0,58	1,38	1,75	0,34	0,31	0,38	1,73	4,44	5,62
Відстань по вертикалі	1,16	3,84	5,02	0,48	1,23	1,42	2,45	3,11	3,55

Таблиця 2 (закінчення)

Величина, що вимірюється	Найбільш близький стандартний закон розподілу			Інтервал $\pm 3\sigma$, точок, розрахований для нормального закону розподілу		Інтервал $\pm 3\sigma$, точок, визначений на підставі експериментальних даних	
	1	2	3	2	3	2	3
Горизонтальна координата точки	трикутний	нормальний	нормальний	$\pm 0,99$	$\pm 1,20$	± 1	± 1
Відстань по горизонталі	нормальний	нормальний	нормальний	$\pm 1,98$	$\pm 2,13$	$\pm 1,5$	± 2
Вертикальна координата точки	рівномірний	нормальний	нормальний	$\pm 0,93$	$\pm 1,14$	± 1	± 1
Відстань по вертикалі	трикутний	нормальний	нормальний	$\pm 3,69$	$\pm 4,26$	± 3	± 4

Примітка. Позначення варіантів даних:

- 1 – результат теоретичного розрахунку;
- 2 – експериментальні результати для випадку безпосереднього введення відеозображення від відеокамери в комп'ютер;
- 3 – експериментальні результати для випадку попереднього запису відеозображення на магнітну стрічку.

Таблиця 3

Випадкова складова частина абсолютної похибки вимірювань для відеозображення розміром 320x240 точок (теоретичні та експериментальні результати)

Величина, що вимірюється	Максимальне значення похибки М, точок			Середньоквадратичне відхилення σ , точок			М/ σ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Горизонтальна координата точки	0,79	0,98	1,03	0,33	0,28	0,30	2,37	3,58	3,40
Відстань по горизонталі	1,58	1,65	1,63	0,47	0,52	0,55	3,35	3,15	2,98
Вертикальна координата точки	0,50	0,98	1,00	0,29	0,21	0,25	1,73	4,78	3,97
Відстань по вертикалі	1,00	2,62	2,61	0,42	0,77	0,78	2,45	3,39	3,34

Таблиця 3 (закінчення)

Величина, що вимірюється	Найбільш близький стандартний закон розподілу			Інтервал $\pm 3\sigma$, точок, розрахований для нормального закону розподілу		Інтервал $\pm 3\sigma$, точок, визначений на підставі експериментальних даних	
	1	2	3	2	3	2	3
Горизонтальна координата точки	трикутний	нормальний	нормальний	$\pm 0,87$	$\pm 0,90$	± 1	± 1
Відстань по горизонталі	нормальний	нормальний	нормальний	$\pm 1,56$	$\pm 1,65$	± 1	± 1
Вертикальна координата точки	рівномірний	нормальний	нормальний	$\pm 0,63$	$\pm 0,75$	± 1	± 1
Відстань по вертикалі	трикутний	нормальний	нормальний	$\pm 2,31$	$\pm 2,34$	± 2	± 2

Примітка. Позначення варіантів даних відповідають позначенням для табл. 2.



Рис. 3. Розподіл результатів вимірювання відстані по горизонталі (математичне сподівання 209,04, середньоквадратичне відхилення 0,71, розмір зображення 640×480 точок, попередній запис зображення на магнітну стрічку)

Висновки:

1. Виконано теоретичний розрахунок на підставі [1] параметрів похибок визначення координат і лінійних розмірів елементів відеозображення для різних значень загального розміру цього відеозображення.
2. Виконано експериментальне дослідження похибок і статистична обробка результатів. Отримані чисельні значення параметрів похибок. Встановлено, що закон розподілу випадкової складової частини похибок вимірювання координат і лінійних розмірів елементів відеозображення в програмно-апаратному комплексі наближається до нормального закону розподілу.
3. Результати експериментальної оцінки параметрів похибок добре узгоджуються з результатами теоретичних розрахунків.
4. На основі розрахунків і експериментальних досліджень встановлено, що оптимальним значенням розміру відеозображення для вирішення задач автоматизованої обробки відеоінформації за допомогою програмно-апаратного комплексу [2, 3] є розмір 640×480 дискретних точок.
5. Отримані результати можуть бути корисні при створенні різноманітних систем автоматизованої обробки відеоінформації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Подчашинський Ю.О. Похибки визначення лінійних розмірів елементів зображення в програмно-апаратному комплексі автоматизованої обробки відеоінформації // Вісник ЖІТІ, 1999. – № 11. – С. 179–187.
2. Подчашинський Ю.О. Дослідження процесу введення відеозображень від зовнішнього джерела у персональний комп'ютер // Вісник ЖІТІ, 1999. – № 10. – С. 151–155.
3. Грабар І.Г., Колодницька Р.В., Подчашинський Ю.О. Комп'ютеризована технологія дослідження кінематики пружно-пластичного деформування та руйнування твердих тіл // Вісник ЖІТІ, 1998. – № 7. – С. 181–184.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
5. Дворяшин Б.В., Кузнецов Л.И. Радиотехнические измерения: Учебное пособие для вузов. – М.: Сов. радио, 1978. – 360 с.
6. Ингенблек В. Все о мультимедиа. – К.: ВНУ, 1996. – 352 с.
7. Шишигин И.В., Шульман М.Г., Колесниченко О.В., Золотарев С.А. Как выбрать видеокамеру? – СПб.: Лань, 1996. – 512 с.
8. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
9. Advance Product Bulletin. Multimedia Combo Card: CL-GD5446. – Cirrus Logic, 09/96. – 2 p.
10. Preliminary Data Book. 64-bit VisualMedia Accelerator: CL-GD5446. – Cirrus Logic, 11/96. – 38 p.
11. TVTAP User's manual for CL544XP+/PX4072. – Cirrus Logic, 1995. – 40 p.
12. VHS Movie Panasonic NV-M3000EM. Operating Instructions. – Matsushita Electric Industrial Co., 1996. – 128 p.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович – старший викладач кафедри автоматичного управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка зображень.

Подано 17.12.1999.