

УДК 004.93

Д.В. МОСЬПАН, О.О. ЮРКО, А.Л. ПЕРЕКРЕСТ
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА ЗА ПОСЛІДОВНІСТЮ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ ЗАСОБАМИ LABVIEW

При проведенні фізичних експериментів, дослідних робіт та автоматизації процесів на виробництві виникає необхідність слідування за рухомим об'єктом в реальному часі з метою визначення кінематичних параметрів руху: координат в заданий момент часу, траєкторії, миттєвої швидкості та прискорення. У попередній роботі авторами був розроблений віртуальний прилад для аналізу відеозображень з метою визначення кінематичних характеристик рухомих об'єктів за допомогою інструментів машинного зору Vision and Motion програмного забезпечення Labview. При слідуванні за об'єктом, що рухається повільно, у зв'язку з піксельною дискретизацією поля зору виникає ефект руху «ривками», тобто об'єкт не змінює положення протягом декількох кадрів, а потім відбувається зсув на 1 піксель. Це спричиняє імпульсний характер швидкості і спотворює реальні значення даного параметра. Для часткового усунення даного ефекту була застосована кусково-лінійна апроксимація координатних залежностей переміщення об'єкта з наступним усередненням отриманих значень швидкості. При цьому вдалося зменшити відносну похибку до 10%, але залишився стрибкоподібний характер зміни швидкості відносно середнього значення. Це, в свою чергу, при подальшому аналізі спричиняє появу знакозмінного прискорення навіть при рівномірному русі, що спотворює розраховані кінематичні параметри руху об'єкта.

У роботі було удосконалено віртуальний прилад для аналізу відеозображень для підвищення точності визначення кінематичних характеристик рухомих об'єктів за допомогою програмного забезпечення Labview і були отримані наступні результати. При рівномірному та рівноприскореному прямолінійному русі найкращі результати при аналізі даних дає попередня поліноміальна апроксимація координат переміщення об'єкта. При цьому похибки з визначення кінематичних характеристик не перевищують 0,5%. При криволінійній траєкторії руху, доцільно не використовувати апроксимації координат переміщення об'єкта, а застосувати усереднення отриманих значень швидкості. При розмірі об'єкта у 100 пікселів можна рекомендувати ширину вікна не менше за 30 пікселів. Похибка визначення швидкості буде залежати від кривизни траєкторії на величини самої швидкості руху об'єкта.

Ключові слова: машинний зір, кінематичні характеристики, слідування за об'єктом, поліноміальна апроксимація, віртуальний прилад.

D.V. MOSPAN, O.O. YURKO, A.L. PEREKREST
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

DETERMINING THE SPEED OF A MOVING OBJECT BY SEQUENCE OF VIDEO IMAGES USING LABVIEW

When conducting physical experiments, research work and automation of industrial processes, there is a need to monitor a moving object in real time in order to determine the kinematic parameters of movement: coordinates at a given point in time, trajectory, instantaneous speed and acceleration. In previous work, the authors developed a virtual instrument for analyzing video images to determine the kinematic characteristics of moving objects using the Vision and Motion computer vision tools of Labview software. When tracking a slowly moving object, due to the pixel sampling of the field of view, the effect of "jerky" movement occurs, that is, the object does not change position for several frames, and then a shift of 1 pixel occurs. This is the reason for the impulse nature of the speed and distorts the real values of this parameter. To partially eliminate this effect, piecewise linear approximation of the coordinate dependencies of the object's movement was used, followed by averaging of the obtained velocity values. In this case, it was possible to reduce the relative error to 10%, but the abrupt nature of the change in speed relative to the average value remained. This, in turn, during further analysis entails the appearance of sign acceleration even with uniform motion, which distorts the calculated kinematic parameters of the object's movement.

In this work, a virtual instrument for analyzing video images was improved to increase the accuracy of determining the kinematic characteristics of moving objects using Labview software and the following results were obtained. With uniform and uniformly accelerated rectilinear motion, the best results in data analysis are obtained by a preliminary polynomial approximation of the coordinates of the object's movement. In this case, errors in determining kinematic characteristics do not exceed 0.5%. With a curvilinear trajectory of movement, it is advisable not to use an approximation of the coordinates of the object's movement, but to use the averaging of the obtained speed values. If the object size is 100 pixels, we can recommend a window width of at least 30 pixels. The error in determining the speed will depend on the curvature of the trajectory and the magnitude of the speed of the object itself.

Key words: computer vision, kinematic characteristics, object tracking, polynomial approximation, virtual device.

Постановка проблеми

При проведенні фізичних експериментів, дослідних робіт та автоматизації процесів на виробництві виникає необхідність слідкування за рухомим об'єктом в реальному часі з метою визначення кінематичних параметрів руху: координат в заданий момент часу, траєкторії, миттєвої швидкості та прискорення [1].

У попередній роботі [2] авторами був розроблений віртуальний прилад для аналізу відеозображень [3, 4] з метою визначення кінематичних характеристик рухомих об'єктів за допомогою інструментів машинного зору Vision and Motion [5] програмного забезпечення Labview [6, 7]. При слідкуванні за об'єктом, що рухається повільно, у зв'язку з піксельною дискретизацією поля зору виникає ефект руху «ривками», тобто об'єкт не змінює положення на протязі декількох кадрів, а потім відбувається зсув на 1 піксель. Це спричиняє імпульсний характер швидкості і спотворює реальні значення даного параметра.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для часткового усунення ефекту описаного в роботі [2] була застосована кусково-лінійна апроксимація координатних залежностей переміщення об'єкта з наступним усередненням отриманих значень швидкості. При цьому вдалося зменшити відносну похибку до 10%, але залишився стрибкоподібний характер зміни швидкості відносно середнього значення. Це, в свою чергу, при подальшому аналізі спричиняє появу знакозмінного прискорення навіть при рівномірному руху, що спотворює розраховані кінематичні параметри руху об'єкта.

Отже виникає необхідність альтернативного варіанту обробки координат, отриманих в результаті слідкування за рухомим об'єктом для зменшення похибки при визначенні швидкості.

Мета дослідження

Удосконалення віртуального приладу для аналізу відео зображень для підвищення точності визначення кінематичних характеристик рухомих об'єктів за допомогою програмного забезпечення Labview.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для поліноміальної апроксимації було використано ВП General Polynomial Fit з використанням методу найменших квадратів та порядком поліному 2.

В результаті було отримано коефіцієнти поліному та графіки залежності (рис. 1) за кожною складовою переміщення:

$$x(i) = 52,9892 + 3,23307 \cdot 10^{-6} \cdot i + 0,00125003 \cdot i^2,$$

$$y(i) = 50,9892 + 3,23307 \cdot 10^{-6} \cdot i + 0,00125003 \cdot i^2.$$

Значення швидкості в залежності від номера кадра i розраховується відповідно до:

$$v(i) = \sqrt{(x(i) - x(i-1))^2 + (y(i) - y(i-1))^2}.$$

Для оцінки точності визначення швидкості було розраховано відносні похибки лінійної апроксимації з усередненням значень та поліноміальної апроксимації. Відповідні графіки наведені на рис. 2. Після початку руху за межами лінійного розміру корпусу об'єкта похибка лінійного усереднення знаходиться в межах 10%, а похибка поліноміальної апроксимації не перевищує 0,5%. Отже поліноміальна апроксимація на окремих ділянках дає покращення точності у 20 разів при визначенні швидкості.

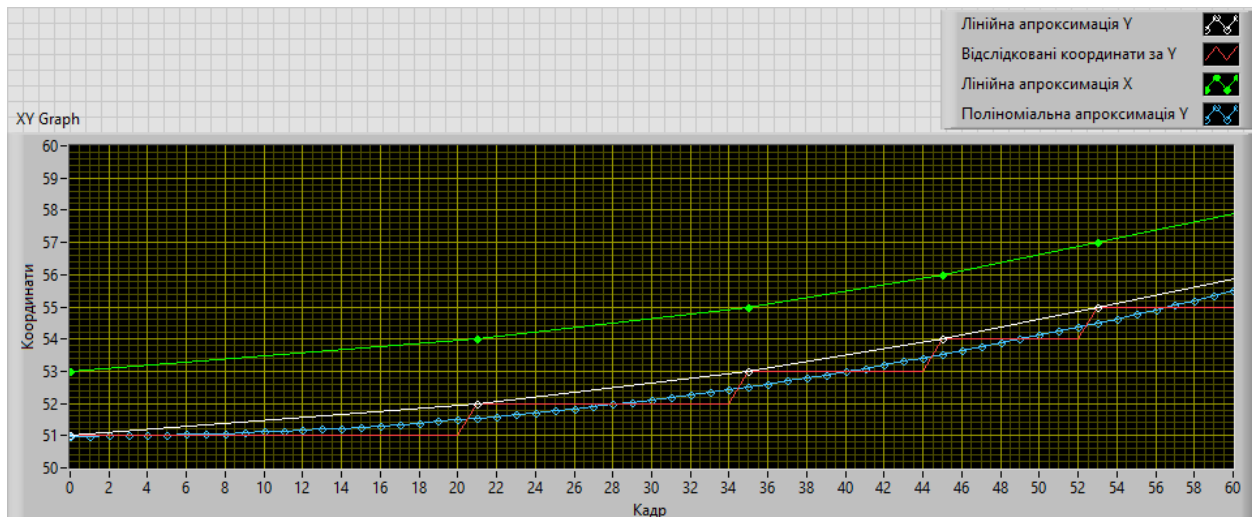


Рис. 1. Порівняння результатів лінійної та поліноміальної апроксимації

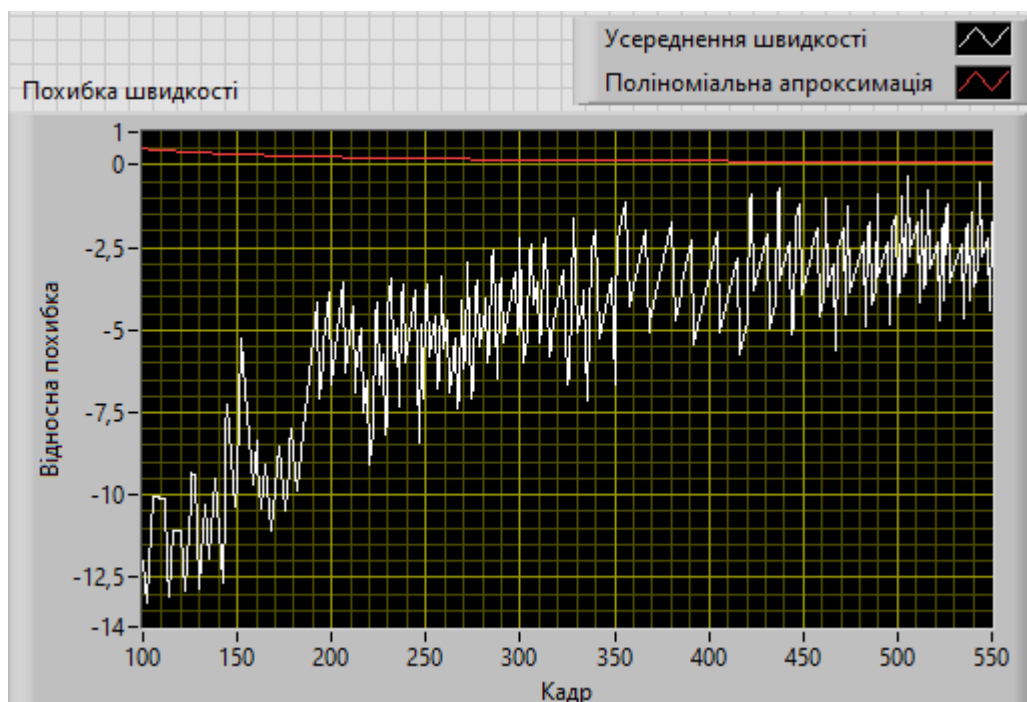


Рис. 2. Відносна похибка визначення швидкості

У випадку лінійного прямолінійного руху добре працюють як лінійна, так і поліноміальна апроксимації (рис. 3). Тому, як більш універсальну, доцільно застосовувати поліноміальну апроксимацію руху.

Створення тестових відеофайлів з моделюванням руху об'єкта з заданими кінематичними параметрами доцільно розробити відповідний віртуальний прилад.

Для створення відеозапису з рухом об'єкта на площині використаємо палітру інструментів AVI з розділу Vision and Motion → Vision Utilities → Files → AVI. ВП AVI2 Create дозволяє створити новий відео файл в форматі avi. До входу AVI Path підключимо Path Constant із вказаним шляхом до місця зберігання файлу. Оскільки більшість бюджетних варіантів веб камер мають частоту 30 кадрів/с, відповідне значення подамо на вхід Frames Per Second [8].

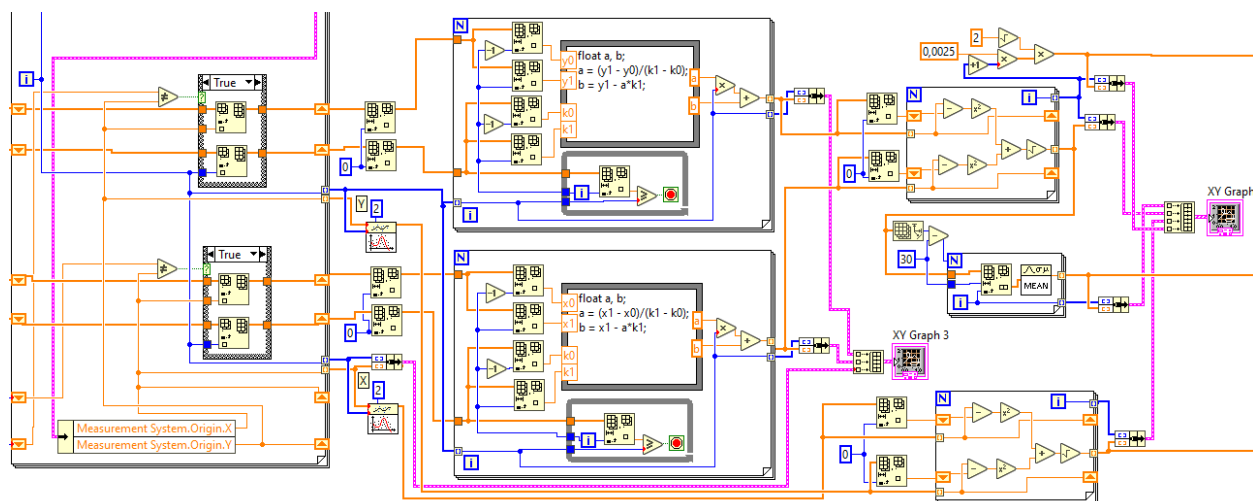


Рис. 3. Фрагмент блок схеми реалізації лінійної та поліноміальної апроксимації

Послідовність зображень об'єкта будемо формувати в циклі For Loop. Кількість ітерацій циклу буде визначати кількість кадрів відео файлу. В нашому випадку задамо $N = 600$. Отже тривалість відео запису буде складати $600/30 = 20$ с. Також кількість кадрів обмежує максимально допустимий розмір створюваного відеофайлу – 2 Гб.

Приймемо робоче поле спостереження 1000×1000 пікселів. При формуванні кольорового 32-бітного зображення на кожен піксель (8 Б, тобто 256 значень на кожен базовий колір), отримуємо розмір одного кадру $32 \times 1000 \times 1000 = 32$ Мб. Але при зберіганні окремого кадру у форматі bmp або tiff, розмір зображення стискається у 8 разів, тобто складає 3 Мб. З урахуванням загальної кількості кадрів маємо розмір відеофайла: $3 \text{ Мб} \times 600 = 1,8 \text{ Гб}$, що є менше за встановлене обмеження.

Для створення зображення (кадру) Image та виділення для нього області пам'яті скористаємося ВП Create VI. Оскільки потрібне кольорове зображення, то обираємо його тип – RGB (U32).

Необхідне зображення формуємо у вигляді двовимірної масиву даних розміром 1000×1000 , елементами якого є константи кольору Color Box Constant. Спочатку формуємо матрицю фоновому зображення білого кольору. Об'єктом спостереження буде червоний квадрат розміром 100×100 пікселів. В залежності від його положення за координатою X, формуються відразу всі рядки з зображенням об'єкта (прямокутний масив 1000×100 пікселів білого кольору з накладеним червоним квадратом). Потім у фоновому зображенні в залежності від положення за координатою Y замінюються необхідні рядки на створений прямокутний масив із зображенням об'єкта. Координати верхнього лівого кута об'єкта визначаються розрахунками за рівнянням обраної траєкторії руху і подаються в якості індексів рядків та стовбців до інструментів Replace Array Subset, як показано на рис. 4.

ВП ArrayToColorImage зі створеної двовимірної матриці чисел створює кольорове зображення кадру типу Image. Для можливості перегляду процесу створення кадрів в реальному часі в циклі розташуємо індикатор Display Image. ВП AVI2 Write Frame формує з послідовності створених зображень avi файл [9].

Для організації процесу пошуку та слідкування за об'єктом за допомогою блоку Vision Assistant окрім потоку відеоданих необхідно мати окреме виділене зображення, що безпосередньо містить сам об'єкт. Тому після формування даних відеоряду виділимо окремий кадр за допомогою інструменту Delete From Array та запишемо отримане зображення у файл, користуючись ВП Write File 2. Для зменшення розміру файлу оберемо формат jpeg.

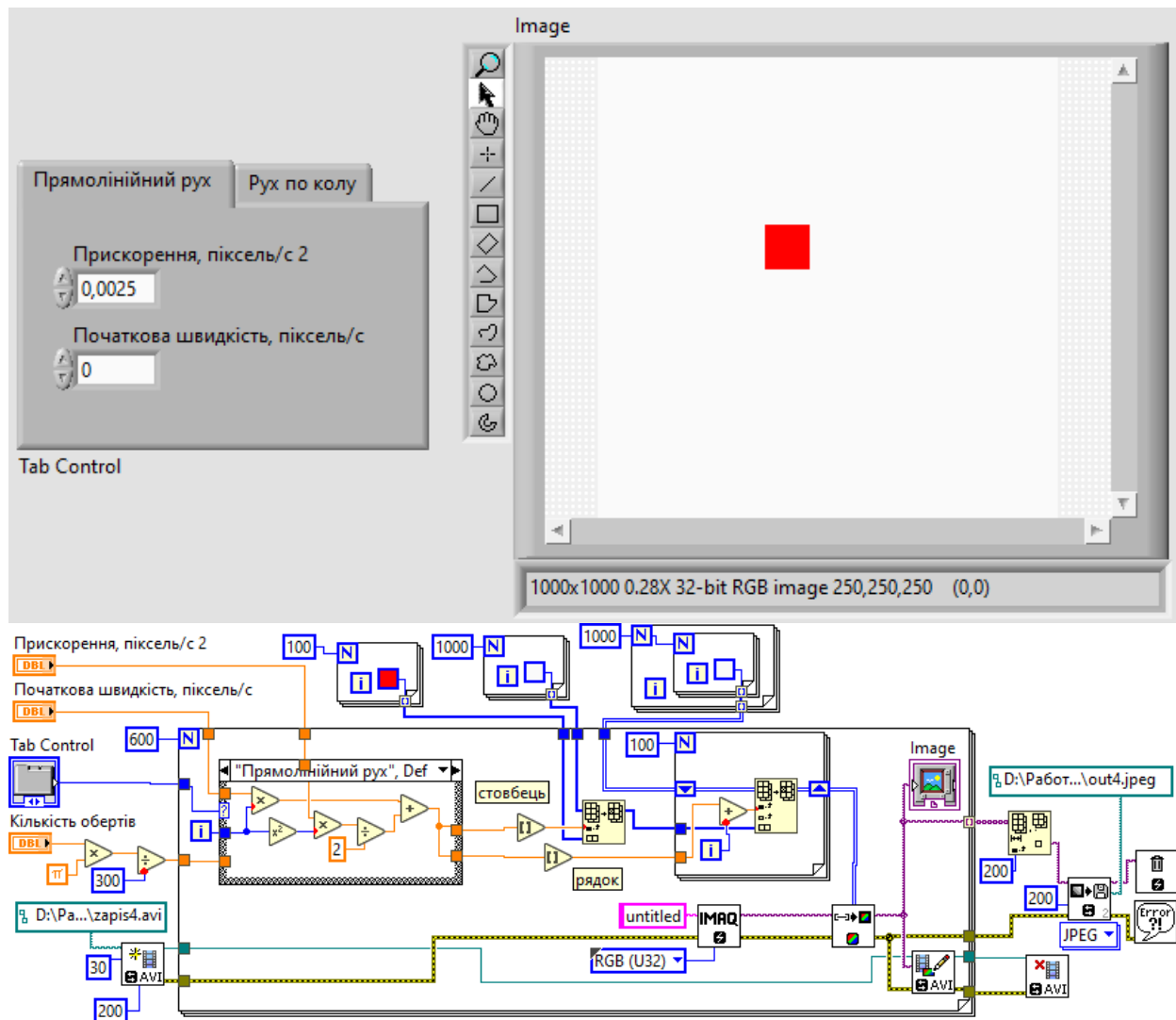


Рис. 4. Передня панель та блок-діаграма для створення тестових відеофайлів з записом руху об'єкту

Для моделювання прямолінійного руху вихідними даними будуть початкова швидкість v_0 та прискорення a . Тоді для руху об'єкта по діагоналі робочого поля розрахунок координат виконується за формулами:

$$x_i = v_0 \cdot i + a \cdot i^2 / 2,$$

$$y_i = v_0 \cdot i + a \cdot i^2 / 2.$$

Для моделювання рівномірного руху за колом радіусом $R = 400$ пікселів із центром, розташованим приблизно у центрі робочого поля, тобто зсув на 450 пікселів по горизонталі та вертикалі. Отже рівняння траєкторії має вигляд:

$$(x_i - 450)^2 + (y_i - 450)^2 = 400^2.$$

Для створення рівномірного руху об'єкт повинен мати незмінну кутову швидкість. Тому зручно скористатися рівнянням кола в полярних координатах з завданням зміни кута оберту з необхідним кроком та наступним перерахунком в декартові координати. Отже розрахунок координат в робочому полі при рівномірному русі об'єкта по колу буде мати вигляд:

$$x_i = 450 + 400 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{300} i\right),$$

$$y_i = 450 + 400 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{300} i\right),$$

де n – задана кількість повних обертів, які повинен виконати об’єкт протягом 600 кадрів; i – номер кадра.

Для зручності моделювання різних кінематичних сценаріїв руху на лицьову панель вине-семо закладки, де користувач зможе обирати:

– «Прямолінійний рух» з вхідними параметрами: v_0 – початкова швидкість, піксель/кадр; a – прискорення, піксель/кадр². При $a = 0$ маємо рівномірний прямолінійний рух, а при $a \neq 0$ – рівноприскорений рух по діагоналі робочого поля;

– «Рух по колу» з вхідним параметром n – кількість повних обертів за 600 кадрів (за 20 с.), що відповідає кутовій швидкості $\pi \cdot n / 10$ рад/с. Здійснюється рівномірний рух по колу радіусом 400 пікселів, розташованим у центрі робочого поля.

Для аналізу рівномірного руху об’єкта за нелінійною траєкторією оберемо відео-файл, що містить результати моделювання руху об’єкта за круговою траєкторією з радіусом $R = 400$ рх (пікселів) і за період $T = 20$ с (600 кадрів) виконує два оберти. Отже швидкість руху об’єкту буде дорівнювати:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi 400}{10} = 251,2 \text{ рх/с, або } v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi 400}{300} = 8,37 \text{ рх/кадр.}$$

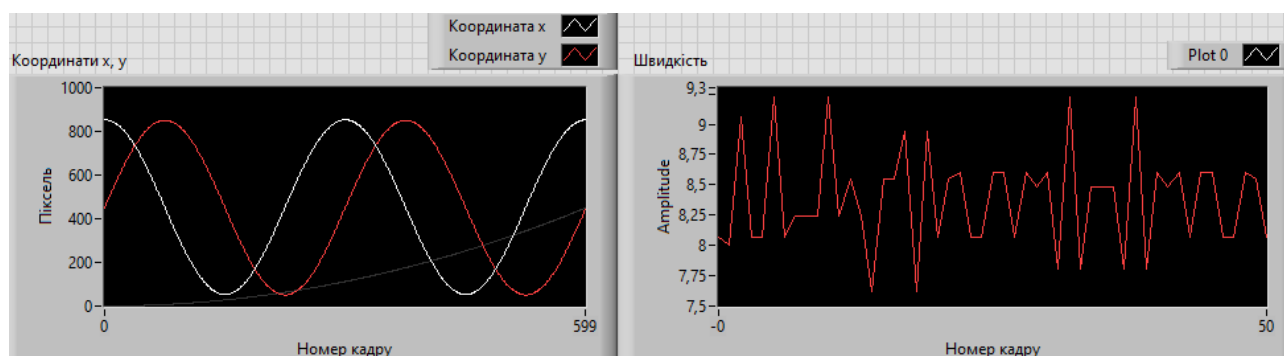


Рис. 5. Відслідковування параметрів об’єкта, що рухається по траєкторії кола

Використаємо попередньо розроблений віртуальний прилад для аналізу тестового відео зображення з метою визначення координат та швидкості об’єкта.

На рис. 5 наведені результати слідування за об’єктом в реальному режимі без наступної обробки даних. Так графіки координат мають періодичний гармонійний характер з двома повними періодами, що відповідає вихідним умовам при моделюванні руху. Визначена швидкість має деякий розкид значень: $8,4 \pm 0,8$ рх/кадр, тобто за відносною похибкою відхилення не перевищує 9,5%.

При застосуванні попередньо розробленого ВП з реалізацією алгоритма кусково-лінійної апроксимації з наступним усередненням за вікном у 30 пікселів, отримуємо усереднене значення швидкості 8,4 рх/кадр з незначним відхиленням (на рис. 6 виділено білим кольором).

У даному випадку кусково-лінійна апроксимація траєкторії руху за координатами буде зайвою, оскільки в кожному кадрі є зміна положення об’єкта. Це підтверджується на рис. 6, де значення швидкості отримані без лінійної апроксимації і лише з застосуванням усереднення,

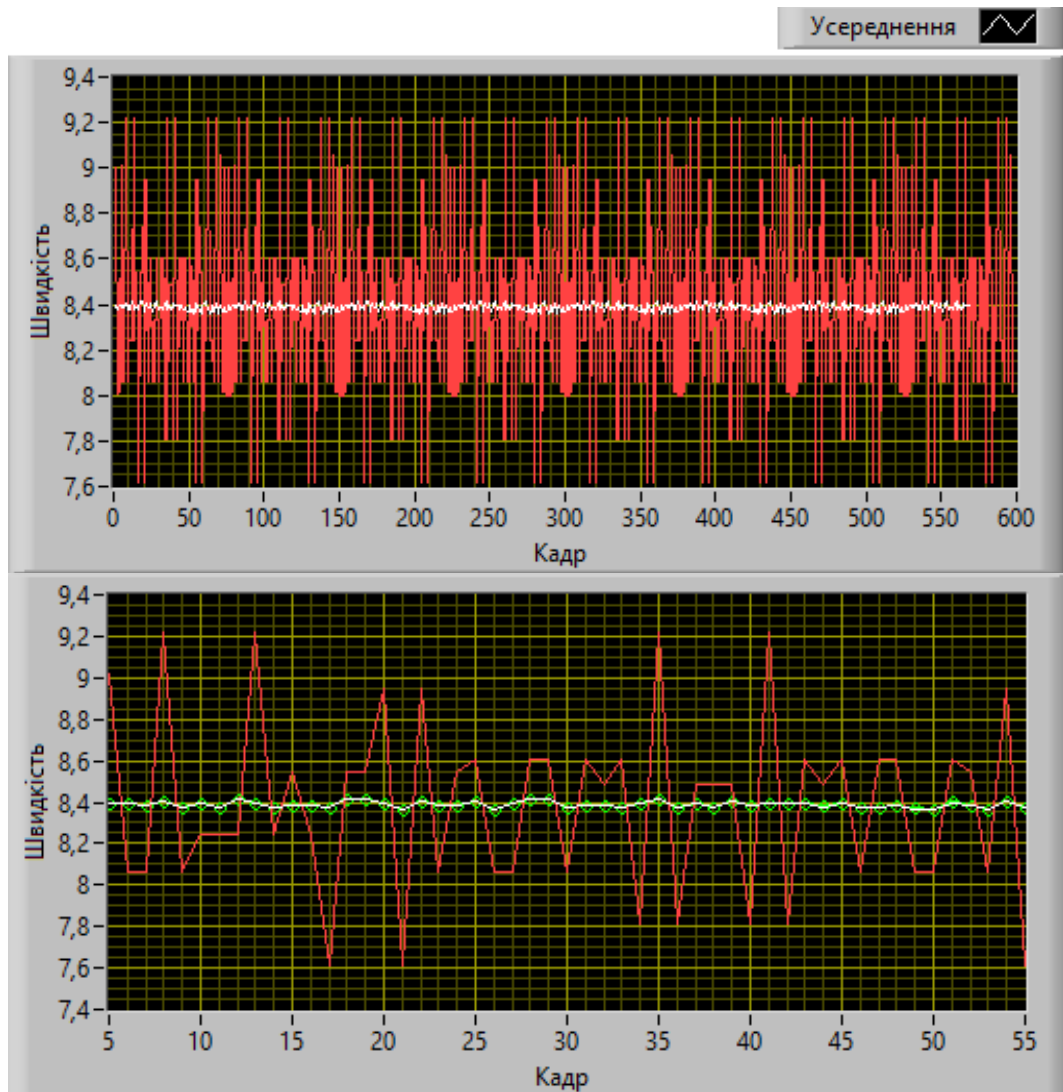


Рис. 6. Застосування алгоритма кусково-лінійної апроксимації з наступним усередненням для визначення швидкості при круговому русі

показані зеленими кругами-точками. Ці точки повністю лягають на білу лінію (отримана з використанням лінійної апроксимації з усередненням).

Отже при аналізі рівномірного руху об'єкта за нелінійною траєкторією для визначення швидкості руху об'єкта достатньо скористатися усередненням даних без застосування кусково-лінійної апроксимації. Це дозволяє отримати прийнятну точність розрахунку при економії програмних ресурсів [10].

Висновки

1. Пікселізація зображення вносить похибки при визначенні швидкості рухомого об'єкта, що набуває імпульсного характеру. Особливо це спостерігається при невеликих швидкостях та криволінійних траєкторіях.

2. При рівномірному та рівноприскореному прямолінійному русі найкращі результати при аналізі даних дає попередня поліноміальна апроксимація координат переміщення об'єкта. При цьому похибки з визначення кінематичних характеристик не перевищують 0,5%.

3. При криволінійній траєкторії руху, доцільно не використовувати апроксимації координат переміщення об'єкта, а застосувати усереднення отриманих значень швидкості. При

розмірі об'єкта у 100 пікселів можна рекомендувати ширину вікна не менше за 30 пікселів. Похибка визначення швидкості буде залежати від кривизни траєкторії на величини самої швидкості руху об'єкта.

Список використаної літератури

1. Мосьпан Д. В., Юрко О. О., Перекрест А. Л., Кухаренко Д. В., Вадурін К. О. Комп'ютеризований практикум з моделювання фізичних процесів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2022. Випуск 6 (137). С. 29–35.
2. Мосьпан Д., Юрко О., Перекрест А., Кухаренко Д., Вадурін К., Повниця С. Візуальна фіксація руху об'єкта засобами Labview при проведенні фізичного експерименту. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2023. Випуск 4 (141). С. 39–45.
3. Зюляєв Д. Д. Особливості використання USB та web-камер. *ЧДУ*. 2010. Випуск 121. Том 134. С. 99–105.
4. Смолій В. В., Савицька Я. А., Місюра М. Д., Шкарупило В. В. Системи візуалізації та розпізнавання образів. Навчальний посібник. Київ: ФОП Ямчинський О. В., 2020. 200 с.
5. NI Vision Assistant Tutorial. Worldwide Technical Support and Product Information. National Instruments Corporation, USA, 2004. 62 p.
6. Machine vision forum. NI Community. URL: <https://forums.ni.com/t5/Machine-Vision/bd-p/200> (дата звернення: 16.10.2023).
7. NI Vision for LabVIEW. User Manual. National Instruments Corporation. November 2005. 149 p.
8. National Instruments [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <http://www.ni.com/> (дата звернення: 16.10.2023).
9. Convert Series of Graph Images to AVI Video. NI Community. URL: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000kKcMSAU&l=ru-UA> (дата звернення: 16.10.2023).
10. Мосьпан Д. В. Вхідний контроль параметрів матеріалу системи автоматизованого виготовлення товстостінних деталей з рифтами. *Науково-виробничий журнал «Електромеханічні і енергозберігаючі системи»*. Кременчук: КрНУ, 2023. Випуск 2 (61). С. 64–69.

References

1. Mos'pan, D.V., Yurko, O.O., Perekrest, A.L., Kukharenko, D.V., & Vadurin, K.O. (2022). Komp'yuteryzovanyu praktykum z modelyuvannya fizychnykh protsesiv [Computerized workshop on simulation of physical processes]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho*. Kremenchuk: KrNU. 6 (137). 29–35 [in Ukrainian].
2. Mos'pan, D., Yurko, O., Perekrest, A., Kukharenko, D., Vadurin, K., & Povnytsia, S. (2023). Vizual'na fiksatsiya rukhu ob'yekta zasobamy Labview pry provedenni fizychnoho eksperymentu [Visual fixation of object movement by means of Labview during a physical experiment]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho*. Kremenchuk: KrNU. 4 (141). 29–35 [in Ukrainian].
3. Zyulyayev, D.D. (2010). Osoblyvosti vykorystannya USB ta web-kamer [Peculiarities of using USB and web cameras]. *Black Sea National University named after Petro Mohyla*. 121 (134). 99–105 [in Ukrainian].
4. Smoliy, V.V., Savyts'ka, YA.A., Misyura, M.D., & Shkarupylo, V.V. (2020). Systemy vizualizatsiyi ta rozpiznavannya obraziv. [Visualization and pattern recognition systems]. Kyiv: FOP Yamchynskiy O.V. [in Ukrainian].

5. NI Vision Assistant Tutorial (2004). Worldwide Technical Support and Product Information. National Instruments Corporation, USA [in English].
6. Machine vision forum. NI Community. Retrieved from: <https://forums.ni.com/t5/Machine-Vision/bd-p/200> [in English].
7. NI Vision for LabVIEW (2005). User Manual. National Instruments Corporation. USA [in English].
8. National Instruments. Retrieved from: <http://www.ni.com/> [in English].
9. *Convert Series of Graph Images to AVI Video*. NI Community. Retrieved from: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000kKcMSAU&l=ru-UA> [in English].
10. Mospan, D.V. (2023). Vkhidnyi kontrol parametriv materialu systemy avtomatyzovanoho vyhotovlennia tovtostinnykh detalei z ryftamy. *Naukovo-vyrobnychiy zhurnal «Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy»*. Kremenchuk: KrNU. Vypusk 2 (61). S.64-69. [in Ukrainian].

Моспан Денис Владиславович – к.т.н., доцент кафедри комп’ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. E-mail: denis.mospan@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5473-7874.

Юрко Олексій Олексійович – к.т.н., доцент кафедри комп’ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. E-mail: yurkoalexe@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8244-2376.

Перекрест Андрій Леонідович – д.т.н., професор, завідувач кафедри комп’ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. E-mail: pksg13@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7728-9020.

Mospan Denis Vladyslavovich – Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Computer Engineering and Electronics of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. E-mail: denis.mospan@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2151-4858.

Yurko Oleksiy Oleksiyovych – Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Computer Engineering and Electronics of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. E-mail: yurkoalexe@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8244-2376.

Perekrest Andrii Leonidovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Engineering and Electronics of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. E-mail: pksg13@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7728-9020.