

Т.О.Терещенко^{1*}, докт.техн.наук, Ю.С.Ямненко^{1**}, докт.техн.наук, Д.В.Лазарев²¹ – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна. E-mail: tereshhenko50@bk.ru² – Державне підприємство «Державне київське конструкторське бюро «Луч», вул. Мельникова, 2, Київ, 04050, Україна. E-mail: dvlazariev@gmail.com

Досліджено вплив затримки обчислення координат об'єкту на точність відеосупроводження об'єктів слідування шляхом моделювання роботи системи управління приводами. Наведено дані про формалізовану затримку для різних алгоритмів відеосупроводження. Бібл. 6, рис. 3.

Ключові слова: система відеосупроводження, сигнал помилки, модель двигуна постійного струму.

Вступ. Сучасні системи супроводження об'єктів за відеосигналом будуються, як правило, на базі електротехнічних комплексів, системи керування яких розраховують прогнозовані значення координат об'єктів за алгоритмами, точність яких залежить від затримки обчислень координат та частоти ШІМ-модуляції сигналів перетворювачів приводів позиціонування [2,4,6]. Вибір частоти комутації силових ключів перетворювачів впливає на точність позиціонування відеокамери спостереження, тому дослідження впливу величини затримки на точність позиціонування і, відповідно, на вибір частоти комутації ШІМ є актуальним [1]. Метою статті є моделювання та дослідження системи автоматичного регулювання приводу відеокамери спостереження за об'єктом для визначення передатних функцій та оцінки впливу затримки обчислень на точність позиціонування.

Структурна схема системи. Структурна схема системи відеосупроводження об'єкту представлена на рис. 1. Відеокамера, яка слідує за об'єктом, обертається приводами азимуту та вертикалі та передає відеосигнал до блоку визначення координат положення об'єкту. Блок управління оцінює відхилення спрямованості відеокамери від об'єкту та формує сигнали управління, що підсилюються та надходять до приводів, які обертають відеокамеру.



Рис. 1

Дослідження впливу затримки у блоці визначення координат на точність позиціонування відеокамери виконаємо шляхом моделювання роботи системи відеосупроводження.

Порівняння швидкодії алгоритмів обробки відеосигналів. Швидкодія сучасних алгоритмів супроводження за відеосигналом суттєво різниться в залежності від складності конкретного алгоритму, моделі об'єкта, апаратури, на якій він виконується, та від програмної реалізації. Тому швидкодію оцінюють в еквівалентних операціях фільтрації (ЕОФ) [4]. Швидкодія, виражена в ЕОФ, є безрозмірною величиною. При моделюванні затримки, котра спричинена обчисленням алгоритму та роботою перетворювачів з ШІМ, потрібно враховувати частоту кадрів відеосигналу $f_{\text{кадрів}}$, оскільки однаковий показник ЕОФ може задовольняти вимоги до системи з низькою частотою кадрів, але бути зовсім неприйнятним для системи з високою частотою кадрів. Тому при побудові моделі системи відеосупроводження використовувалася відносна затримка алгоритму відеосупроводження τ_{BC} , розрахована за формулою

$$\tau_{BC} = \frac{f_{\text{кадрів}}}{\text{ЕОФ}}. \quad (1)$$

Якщо показник ЕОФ більший за частоту кадрів відеосигналу, відносна затримка менша одиниці.

Моделювання роботи. Два канали управління положенням відеокамери – канали азимуту та вертикалі – є незалежними, тому розглянемо модель одного каналу (рис. 2).

Відеокамера, блок визначення координат та блок управління, представлені на рис.1, моделюються наступними елементами: 1) суматором, який обчислює різницю між вхідним сигналом r (заданим кутом) та фактичним кутом орієнтації відеокамери v : $e = r - v$; 2) ПІД-регулятором $P(z)$; 3) елементом затримки $Delay$, значення якої дорівнює τ_{BC} на заданій частоті дискретизації.

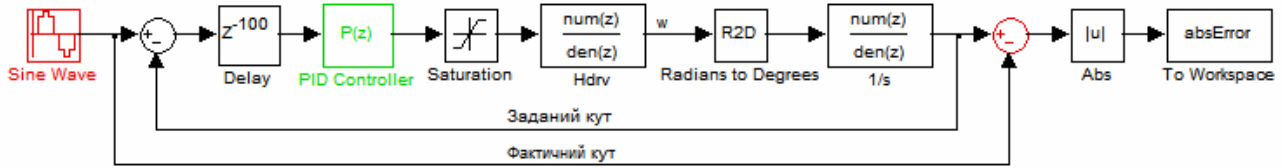


Рис. 2

Блок, позначений «Sine Wave», моделює рух об'єкту слідкування за допомогою тестового сигналу синусоїдальної або ступінчастої форми. Підсилювач, який перетворює сигнал управління на вхідну напругу привода, моделюється блоком підсилення з насиченням *Saturation*. Виконавчим елементом привода є електродвигун постійного струму. Привід моделюється блоком *Hdrv*. Його модель складена з наступних міркувань. Привід має передатну функцію

$$W_{\text{п}} = \frac{W_{\text{ед}} W_{\text{н}}}{1 + W_{\text{ед}} W_{\text{н}} W_{\text{пе}}}, \quad (2)$$

де $W_{\text{ед}}$, $W_{\text{н}}$, $W_{\text{пе}}$ – неперервні передатні функції електродвигуна постійного струму з ШІМ регулятором, навантаження та проти-ЕРС відповідно [3,5]. Передатна функція електродвигуна постійного струму визначається як

$$W_{\text{ед}} = \frac{K_{\text{м}} \cdot q}{Ls + R}, \quad (3)$$

де $K_{\text{м}}$ – коефіцієнт моменту електродвигуна; q – коефіцієнт редукції; L , R – індуктивний та активний опори якірного кола. Передатна функція проти-ЕРС визначається як

$$W_{\text{пе}} = K_{\text{пе}} \cdot q, \quad (4)$$

де $K_{\text{пе}}$ – коефіцієнт проти-ЕРС.

Передатна функція навантаження

$$W_{\text{н}} = \left[(J_{\text{р}} \cdot q^2 + J_{\text{н}})s + K_{\text{т}} \right]^{-1}, \quad (5)$$

де $J_{\text{р}}$ – момент інерції ротора; $J_{\text{н}}$ – момент інерції навантаження; $K_{\text{т}}$ – коефіцієнт тертя.

Блоки *Radians to Degrees* та dw/dt призначені для приведення кутової швидкості привода до кута повороту.

Частота кадрів відеосигналу для моделювання була встановлена рівною 25 Гц. На цій частоті працює блок ПІД-регулятора $P(z)$. Всі інші блоки в моделі дискретизовані з частотою роботи ШІМ 10 кГц. Для оцінювання точності супроводження використовувалася абсолютна різниця між фактичним та заданим кутами, які відповідають напряму відеокамери та напряму на об'єкт.

Результати моделювання. При моделюванні змінювалася затримка у блоці *Delay* та оцінювалася середня та максимальна нормована похибки. Нормування здійснено до середньої похибки при $\tau_{\text{BC}} = 1$. За тестові сигнали використовувалися сигнал синусоїдальної форми з частотою 1 Гц та ступінчатий сигнал. Залежності похибки від затримки на обробку зображення *a*) при синусоїдальному вхідному сигналі; *б*) при ступінчастому вхідному сигналі показані на рис. 3.

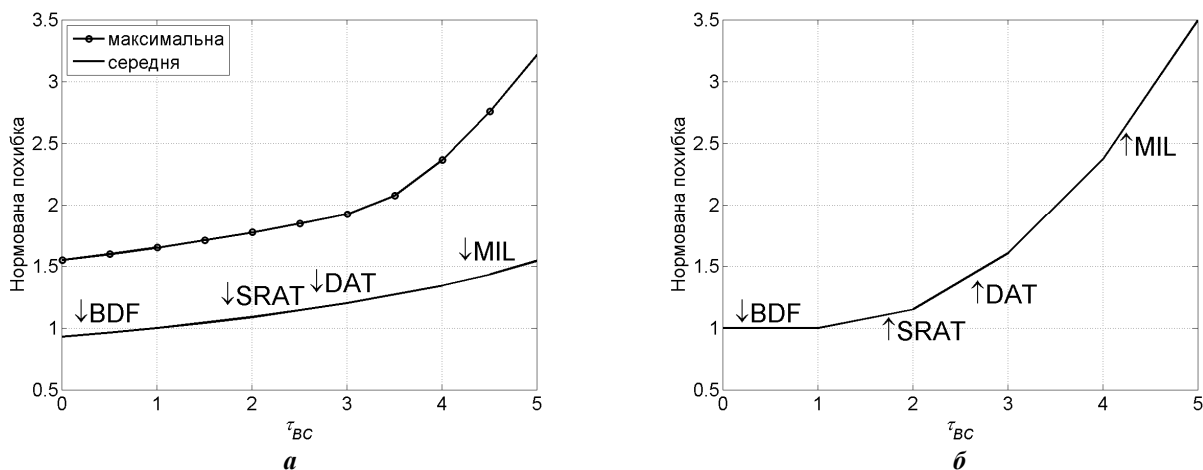


Рис. 3

Нормована похибка експоненційно зростає. При синусоїдальному вхідному сигналі при $\tau_{\text{BC}} < 3$ зростання максимальної похибки становить близько 10% на 1 τ_{BC} , а середня похибка починає стрімкіше зростати після $\tau_{\text{BC}} > 4,5$. При ступінчастому сигналі досить швидке зростання починається при $\tau_{\text{BC}} > 2$, що спричинено перерегулюванням. Максимальна похибка спричинена стрибком, амплітуда якого значно більша за середню похибку, тому на графіку вона не зображена. Хоча ступінчатий сигнал не є практичним випадком, оскільки тра-

екторія об'єкту не змінюється стрибком, він дозволяє оцінити динамічні властивості системи. В реальній системі похибка буде ближча до рис. 2, а, тому алгоритми з $\tau_{BC} < 3$ цілком прийнятні для розглянутої системи.

На графіках середньої похибки наведено затримки відомих алгоритмів: Best Displacement Flow (BDF), Scale Ratio Adaptive Tracker (SRAT), Distractor Aware Tracker (DAT) та Multiple Instance Learning tracker (MIL) [4]. З графіків видно, що швидкодії алгоритму MIL недостатньо для розглянутої системи через високий рівень похибок, в той час як швидкодії інших алгоритмів буде достатньо. Зазначимо, що у алгоритмів, які мають $\tau_{BC} > 1$, виникатимуть пропуски кадрів, якщо не застосовувати оптимізації алгоритму для паралельної обробки.

Висновки. Побудована модель системи відеосупроводження дозволяє оцінити вплив затримки алгоритмів супроводження об'єктів за відеосигналом. Отримана залежність нормованої похибки від затримки дозволила визначити вимоги до швидкодії блока обчислення координат: показано прийнятність алгоритмів з $\tau_{BC} < 1$ та можливість застосування алгоритмів з $\tau_{BC} < 3$ за умови паралельної обробки відеокadrів.

1. Жушков В.Я., Вербицкий Е.В., Особенности управления преобразователями постоянного тока // Техн. электродинамика. Темат. вып. «Проблемы современной электротехники». – 2012. – № 2. – С. 71-73.

2. Терещенко Т.А., Лазарев Д.В., Александров Д.С. Применение преобразования Уолша в системе видеосопровождения для вычисления корреляции изображений объектов // Техн. электродинамика. Темат. вып. «Проблемы современной электротехники». – 2012. – № 2. – С. 133-135.

3. Hughes A., Drury B. Electric motors and drives. – Newnes, 2013. – 433 p.

4. Kristan M. The Visual Object Tracking VOT2015 Challenge Results // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops. – 2015. – Pp. 1-23.

5. Nise N.S. Control Systems Engineering. – Jefferson City: John Wiley & Sons, 2011. – 926 p.

6. Wu Y., Lim J., Yang M.H. Online object tracking: A benchmark // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2013. – Pp. 2411-2418.

УДК 62.529

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВИДЕОСОПРОВОЖДЕНИЯ

Т.А.Терещенко¹, докт.техн.наук, Ю.С.Ямненко¹, докт.техн.наук, Д.В.Лазарев²

¹ – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина. E-mail: tereshhenko50@bk.ru

² – Государственное предприятие «Государственное киевское конструкторское бюро «Луч», ул. Мельникова 2, Киев, 04050, Украина. E-mail: dvlazariev@gmail.com

Исследовано влияние задержки вычисления координат объекта сопровождения на точность видеосопровождения путем моделирования работы системы управления приводами. Приведены данные о формализованной задержке для различных алгоритмов видеосопровождения. Библ. 6, рис. 3.

Ключевые слова: система видеосопровождения, сигнал ошибки, модель двигателя постоянного тока.

POSITIONING PRECISION EVALUATION OF VIDEO SYSTEMS

T.A. Tereshchenko¹, Yu.S. Yamnenko¹, D.V. Lazarev²

¹ – National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Peremohy str., 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: tereshhenko50@bk.ru

² – State Enterprise "State Kyiv Design Bureau "Luch", str. Melnikov, 2, Kyiv, 04050, Ukraine. E-mail: dvlazariev@gmail.com

The article investigates the influence of the object coordinates calculation delay on the video tracking accuracy by simulating the operation of the drives control system. The data about the formalized delay for a variety of tracking algorithms is shown. References 6, figures 3.

Keywords: system of video tracking error signal, the DC motor model.

1. Zhuyikov V.Ya., Verbitskiy E.V. Features direct current converter control // Tekhnichna Elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Problemy sychasnoi elektrotekhniki". – 2012. – Part 2. – Pp. 71-73. (Rus)

2. Tereshchenko T.A., Lazarev D.V., Aleksandrov D.S. Application of Walsh transform in video-tracking system for images correlation computation // Tekhnichna Elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Problemy sychasnoi elektrotekhniki". – 2012. – Part 2. – Pp. 133-134. (Rus)

3. Hughes A., Drury B. Electric motors and drives. – Newnes, 2013. – 433 p.

4. Kristan M. The Visual Object Tracking VOT2015 Challenge Results // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops. – 2015. – Pp. 1-23.

5. Nise N.S. Control Systems Engineering. – Jefferson City: John Wiley & Sons, 2011. – 926 p.

6. Wu Y., Lim J., Yang M.H. Online object tracking: A benchmark // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2013. – Pp. 2411-2418.

Надійшла 03.02.2016
Остаточний варіант 25.04.2016