

## **ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ ОБРОБКИ ВІДЕО АВТОНОМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ З ЧАСОВО-ЗАЛЕЖНИМ MOTION BLUR ТА ШУМАМИ СЕНСОРА**

*Ляуданський Д. Д.; Приходько І. О., к.т.н., доц.*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Радіотехнічний факультет, м. Київ, Україна*

### **Актуальність дослідження**

У автономних роботизованих системах та безпілотних літальних апаратах відеосигнал є основним джерелом інформації для виконання навігаційних задач, стабілізації руху та аналізу оточення. Однак якість відео істотно погіршується під дією часово-залежного розмиття рухом (motion blur) та шумів сенсора, зокрема shot noise і read noise. Параметри розмиття, що визначають функцію розсіяння точки (PSF), змінюються від кадру до кадру через мікрівібрації, повороти та прискорення платформи [1]. Це ускладнює роботу алгоритмів обробки відео та знижує точність відновлення зображення в умовах шуму й нестабільного руху. Тому аналіз проблематики та сучасних підходів до компенсації motion blur і шумів сенсора є важливим для підвищення надійності відеосприйняття автономних систем [2].

### **Мета і завдання дослідження**

Метою роботи є систематизація сучасних проблем, що виникають під час обробки відеосигналів автономних роботизованих систем у присутності часово-залежного motion blur та шумів сенсора, а також аналіз підходів до їх компенсації. Для досягнення мети передбачається:

- охарактеризувати фізичні причини виникнення просторово-варіативного motion blur та його залежність від параметрів руху;
- описати основні моделі шумів сенсора та їх статистичні властивості;
- проаналізувати сучасні методи компенсації motion blur та шумів, включаючи адаптивні, стійкі та стохастичні підходи;
- визначити обмеження існуючих методів і окреслити перспективні напрями подальших досліджень.

### **Методологія**

Методологія дослідження ґрунтується на системному аналізі літератури IEEE, Elsevier, ICRA/IROS щодо обробки відеосигналів у динамічних і шумних умовах. Розглядаються класичні методи деконволюції, адаптивні моделі оцінювання руху, частотно-областні підходи та сучасні стохастичні методи оптимізації параметрів PSF, зокрема PSO (Particle Swarm Optimization), DE (Differential Evolution) та GA (Genetic Algorithm) [2-3]. Увага приділяється підходам, здатним працювати за умов високого рівня шуму та часової варіативності розмиття, що характерні для відео з автономних платформ.

### **Результати огляду**

1. Motion blur є складним нелінійним спотворенням, параметри якого змінюються у часі та просторі. PSF може мати довільну форму, що ускладнює задачу його оцінювання та компенсації.

2. Шуми сенсора мають нестационарний характер із дисперсією, що змінюється залежно від локальної яскравості зображення. Зокрема, дисперсні компоненти shot noise та read noise проявляються по-різному в яскравих і темних ділянках кадру, що ускладнює оцінювання руху та погіршує якість алгоритмів відновлення в умовах змінного освітлення [4-5].

3. Класичні методи деконволюції мають низьку стійкість до змінного PSF та шумів, оскільки покладаються на припущення про сталу або приблизно відому форму ядра розмиття [5].

4. Адаптивні методи дають кращі результати при змінному русі, оскільки можуть покaдрово оновлювати оцінки руху та частково компенсувати розмиття, але мають обмежену ефективність, коли PSF є довільної форми.

5. Стохастичні методи (PSO, GA, DE) демонструють потенціал у задачах оцінювання PSF, оскільки здатні знаходити параметри розмиття в багатомодальних та негладких просторах оптимізації, що робить їх перспективними для складних відеосцен автономних систем.

### **Висновки**

Проведений огляд показує, що обробка відеосигналів автономних роботизованих систем за умов часово-залежного motion blur та нестационарного шуму сенсора залишається складною інверсною задачею. Основні труднощі полягають у змінності та довільній формі PSF, нелінійності моделі розмиття та просторовій неоднорідності деградації, через що класичні методи деконволюції часто працюють нестабільно.

Перспективними напрямками подальших досліджень є:

1. оцінювання PSF довільної форми для динамічних та вібраційних режимів руху;
2. спільне оцінювання руху та PSF у єдиній оптимізаційній моделі;
3. моделювання просторово-варіативного розмиття на рівні локальних областей кадру;
4. компенсація motion blur у шумних та низькоосвітлених умовах;
5. використання IMU для попередньої оцінки траєкторії з подальшим уточненням параметрів розмиття;
6. гібридні методи, що поєднують стохастичну оптимізацію і локальні адаптивні алгоритми;
7. прискорення оцінювання PSF на графічних процесорах (GPU) для обробки в умовах реального часу.

Ці напрями визначають потенціал розвитку адаптивних та робастних методів відновлення відеосигналів у автономних роботизованих системах.

**Перелік посилань**

1. N. Hansen, Arbitrarily Shaped PSF Estimation for Image Deblurring, in GECCO Proceedings, 2011. Доступ: <http://www.cmap.polytechnique.fr/~nikolaus.hansen/proceedings/2011/GECCO/proceedings/p85.pdf>
2. M. Elad, N. Hansen, PSO-Based Estimation of Motion Blur Kernel Parameters, in GECCO Proceedings, 2011. Доступ: <http://www.cmap.polytechnique.fr/~nikolaus.hansen/proceedings/2011/GECCO/proceedings/p85.pdf>
3. S. D. Chenna, A. P. Subudhi, Single Image Motion Deblurring using Genetic Algorithms, 2013. Доступ: [https://www.researchgate.net/publication/257443465\\_Single\\_Image\\_Motion\\_Deblurring\\_using\\_Genetic\\_Algorithms](https://www.researchgate.net/publication/257443465_Single_Image_Motion_Deblurring_using_Genetic_Algorithms)
4. M. El-Sayed, Using a Blur Metric to Estimate Linear Motion Blur Parameters, ResearchGate, 2021. Доступ: [https://www.researchgate.net/publication/355737416\\_Using\\_a\\_Blur\\_Metric\\_to\\_Estimate\\_Linear\\_Motion\\_Blur\\_Parameters](https://www.researchgate.net/publication/355737416_Using_a_Blur_Metric_to_Estimate_Linear_Motion_Blur_Parameters)
5. W. Ren, et al., Deep Image Deblurring: A Survey, 2022. Доступ: [https://www.researchgate.net/publication/361540644\\_Deep\\_Image\\_Deblurring\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/361540644_Deep_Image_Deblurring_A_Survey)

**Анотація**

У роботі подано огляд проблем обробки відеосигналів автономних роботизованих систем за умов часово-залежного motion blur та нестационарного шуму сенсора. Розглянуто моделі деградації, особливості формування PSF та обмеження класичних методів деконволюції. Показано, що змінний рух, локальні коливання освітленості та шум зі змінною дисперсією значно ускладнюють оцінювання розмиття. Окреслено перспективні напрями досліджень, зокрема оцінку PSF довільної форми, спільну оптимізацію руху і PSF, моделі просторово-варіативного розмиття та використання стохастичних методів для знаходження параметрів розмиття у складних відеосценах БПЛА.

**Ключові слова:** розмиття; відновлення зображень; стохастична оптимізація; еволюційні алгоритми; адаптивні методи; відео автономних систем; компенсація розмиття.

**Abstract**

This work provides a concise review of challenges in processing video signals of autonomous robotic systems affected by time-varying motion blur and non-stationary sensor noise. Image degradation models, PSF characteristics, and the limitations of classical deconvolution are discussed. It is shown that dynamic motion, illumination variability, and noise with changing variance significantly complicate blur estimation. Promising research directions are outlined, including arbitrary-shaped PSF estimation, joint motion-PSF optimization, spatially varying blur modelling, and the use of stochastic algorithms for parameter estimation in complex UAV video scenes.

**Keywords:** blur; image restoration; stochastic optimization; evolutionary algorithms; adaptive methods; autonomous systems video; blur compensation.