

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХВАТУ РУХІВ****О.С. Кузьменко**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: oleksandr.kuzmenko@nure.ua

Під час написання цієї роботи було проведено всебічний огляд технологій захвату рухів, розглядаючи різні методології, що використовуються в даний час, окреслюючи ключові компоненти систем, що мають вирішальне значення для робототехніки. Було досліджено різноманітні системи захвату рухів, доступні сьогодні, висвітлюючи їхні переваги та недоліки. Загалом, це дослідження дає уявлення про сучасний стан технології захоплення та відстеження рухів та її потенційне застосування у створенні наступного покоління робототехніки.

**Ключові слова:** захват рухів, робототехніка, датчик.

**ANALYSIS OF THE METHODS MOTION CAPTURE TECHNOLOGISTS****E.S. Petrov**

Kharkiv National University of Radioelectronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: oleksandr.kuzmenko@nure.ua

The paper considers a comprehensive review of motion capture technologies was conducted, looking at the various methodologies currently in use, outlining the key components of systems that are critical to robotics. The various motion capture systems available today were investigated, highlighting their advantages and disadvantages. Overall, this research provides insight into the current state of motion capture and tracking technology and its potential application in the creation of the next generation of robotics.

**Key words:** motion capture, robotics, sensor.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** У сучасному світі технології захвату стрімко розвиваються та знаходять широке застосування в різноманітних галузях – від кінематографу та відеоігор до медицини, спорту, робототехніки та віртуальної реальності. Зростаючий попит на реалістичну анімацію, точну діагностику рухових порушень, ефективне навчання та тренування зумовлює необхідність постійного вдосконалення методів захвату рухів. Різноманіття існуючих технологій захвату рухів потребує глибокого аналізу їх переваг, недоліків та сфер застосування, що дозволить обґрунтовано обирати оптимальні рішення для конкретних завдань, знижувати витрати на розробку систем і підвищувати їхню ефективність.

**ВСТУП.** Технології захоплення руху використовуються переважно в комп'ютерній анімації та візуальних ефектах, в робототехніці та промисловості, медицині та спорті, тощо. У найрозповсюджених методах використовуються датчики та маркери, які прикріплюються до суб'єкта або об'єкта, щоб зафіксувати його рухи. Показання датчиків аналізуються, а результати використовуються для створення комп'ютерної симуляції рухів об'єкта [1,2].

У робототехніці захоплення руху використовується для надання роботам більш реалістичних і органічних рухів. За допомогою цього методу фіксуються рухи людини або тварин, щоб потім запрограмувати їх на відповідних роботів і надати їм більш реалістичних рухів [3,4].

Робототехніка постійно об'єднує нові технології та концепції для покращення гнучкості та адаптивності роботів. Промислові роботи широко використовуються в небезпечних і повторюваних виробничих завданнях, таких як зварювання, транспортування, складання, полірування, тощо. Хоча роботи широко використовуються в промисловості, їх важко і одночасно гнучко застосовувати в невизначених і неструктурованих середовищах. З нинішньою тенденцією виробництва, що зміщується в бік малих партій і індивідуального замовлення, зростає потреба в більш гнучких і зручних робототехнічних комплексах [5].

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** На сьогоднішній день існують такі типи методів захвату рухів: оптичні і неоптичні [1].

Є наступні оптичні методи захвату рухів: за допомогою маркерів, безмаркерний метод та метод багатокамерного захоплення рухів.

Для того, щоб зафіксувати рух, одним з найпоширеніших методів є захоплення руху на основі маркерів. Маркери прикріплюються до суб'єкта або об'єкта, а їхній рух відстежується камерою. Зазвичай ці маркери мають форму крихітних світловідбиваючих сфер, які відбивають інфрачервоне світло назад до камери. Потім камера записує рух об'єкта, поки маркери знаходяться на місці, і використовує цю інформацію для створення 3D комп'ютерної моделі. Основною перевагою є те, що така система захвату рухів забезпечує високу точність і акуратність, підходить для зйомки складних рухів [6].

Захоплення руху без маркерів усуває потребу в маркерах, покладаючись на алгоритми комп'ютерного зору для відстеження кожного руху об'єкта. Для реалізації цього методу використовуються алгоритми комп'ютерного зору для відстеження руху об'єкта без використання маркерів. Цей метод особливо ефективний для відстеження поведінки тварин або в ситуаціях, коли використання маркерів було б непрактичним, що і є його основною перевагою [7].

Результат моделювання системами маркерного захвату рухів Qualisys Track Manager та безмаркерного захвату рухів Simi Reality Motion зображено на рис.1а та рис.1б відповідно [6].

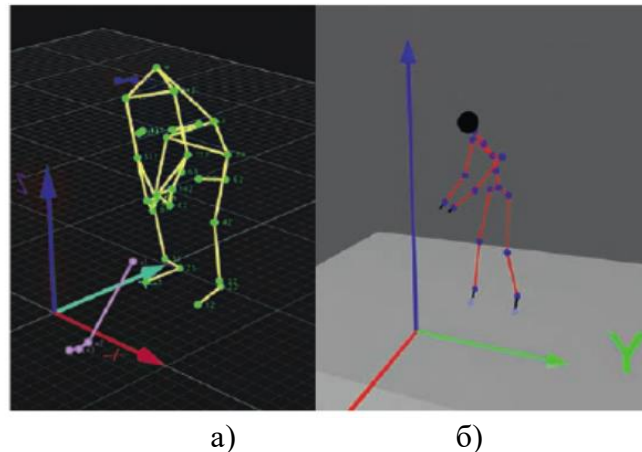


Рисунок 1 – Результат роботи маркерної і безмаркерної систем захвату рухів:

- а) Qualisys Track Manager;
- б) Simi Reality Motion.

Під час багатокамерної зйомки руху використовуються численні камери, які записують рух об'єкта з різних точок зору. Перевагою, у порівнянні з однокамерними вищезазначеними методами захвату рухів – є те, що результати цього методу є більш точними та детальними [8].

Неоптичними методи захвату рухів – це методи, які для захвату рухів використовують датчики та сенсори. У системах захвату рухів можуть використовуватися наступні датчики та сенсори: інерційні вимірювальні пристрої (ІВП), магнітні датчики, біомедичні датчики м'язів, датчики тиску.

Невеликі датчики, які відстежують прискорення і обертання об'єкта моделювання, називаються інерційними вимірювальними пристроями. Ці датчики, акселерометр і гіроскоп, дозволяють відстежувати рух без використання камер або маркерів, що є значною перевагою. Результат роботи саморобної системи захвату рухів на ІВП та моделювання рухів об'єктів UNITY 3D на прикладі захвату рухів людини, зображено на рисунку 2 [9].



Рисунок 2 – Результат роботи саморобної системи захвату рухів на ІВП

Використання магнітних датчиків для відстеження рухів об'єкта лежить в основі магнітного захоплення руху. Датчики прикріплюються до людини або предмета, що відстежується; потім магнітне поле слідує за їхніми рухами. Перевагою цього методу є те, що він може використовуватися для фіксації руху об'єктів у середовищах, де інші методи можуть бути недоцільними [10].

Електроміографія – це метод моніторингу електричної активності м'язів із застосуванням відповідних датчиків. Цей метод полягає у зчитуванні і запису м'язової активності об'єкта, що може бути корисним у ситуаціях, які вимагають високого ступеня точності. Дані про рух людини фіксуються за допомогою рефлекторів на тілі, а ЕМГ-активність вимірюється одночасно за допомогою ЕМГ-електродів. Результат захвату рухів можна побачити на рисунку 3 [11].

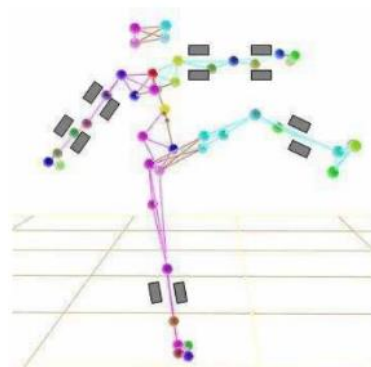


Рисунок 3 – Результат захвату рухів людини за допомогою датчиків м'язів

Сила, яку суб'єкт чинить на поверхню, може бути визначена за допомогою датчика тиску. Цей метод особливо корисний у випадках, коли суб'єкт взаємодіє з поверхнею, наприклад, у віртуальній реальності, де можна відстежувати рух рук суб'єкта. Реалізацію подібного методу можна побачити на рис. 4 [12].



Рисунок 4 – Результат захвату рухів за допомогою VRGluв

**ВИСНОВКИ.** Технологія захоплення руху перетворилася на наріжний камінь у різних галузях - від анімації та спортивної науки до робототехніки та охорони здоров'я. Завдяки вдосконаленню оптичних, інерційних, електромагнітних і гібридних систем ми маємо цілу низку інструментів, які здатні фіксувати рухи людини з надзвичайною точністю та гнучкістю. Кожна технологія захоплення руху має свої унікальні переваги та обмеження, що робить їх придатними для різних застосувань, виходячи з таких факторів, як необхідна точність, середовище і простота використання.

Очікується, що в міру розвитку технології захоплення руху її застосування в таких галузях, як робототехніка, біомеханіка та інтерактивні медіа, розширюватиметься, що сприятиме подальшому подоланню розриву між цифровим і фізичним світом.

Підсумовуючи, можна сказати, що стан захоплення руху є надійним і багатообіцяючим. Постійні інновації в цій галузі, ймовірно, призведуть до нових проривів, не тільки в вдосконаленні існуючих додатків, але й у створенні нових застосувань, які стануть рушійною силою наступного покоління технологій, орієнтованих не тільки на людину але і на інших живих істот за необхідністю.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Motion Capture and Tracking for Animation and Robotics. [Електроний ресурс] URL: <https://typeset.io/pdf/motion-capture-and-tracking-for-animation-and-robotics-3njiok2b.pdf>
2. Comparison of markerless and marker-based motion capture systems using 95% functional limits of agreement in a linear mixed-effects modelling framework. [Електроний ресурс] URL: [https://www.researchgate.net/publication/376720305\\_Comparison\\_of\\_markerless\\_and\\_marker-based\\_motion\\_capture\\_systems\\_using\\_95\\_functional\\_limits\\_of\\_agreement\\_in\\_a\\_linear\\_mixed-effects\\_modelling\\_framework](https://www.researchgate.net/publication/376720305_Comparison_of_markerless_and_marker-based_motion_capture_systems_using_95_functional_limits_of_agreement_in_a_linear_mixed-effects_modelling_framework)
3. Human Motion Retargeting to a Full-scale Humanoid Robot Using a Monocular Camera and Human Pose Estimation. [Електроний ресурс] URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12555-023-0686-y>
4. Characterization of Wing Kinematics by Decoupling Joint Movement in the Pigeon. [Електроний ресурс] URL: <https://www.mdpi.com/2313-7673/9/9/555>
5. Motion capture and AR based programming by demonstration for industrial robots using handheld teaching device. [Електроний ресурс] URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-73747-4>

6. Comparative Analysis of Biomechanical Variables in Marker-based and Markerless Motion Capture Systems. [Електроний ресурс] URL: [https://www.researchgate.net/publication/368973495\\_Comparative\\_Analysis\\_of\\_Biomechanical\\_Variables\\_in\\_Marker-based\\_and\\_Markerless\\_Motion\\_Capture\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/368973495_Comparative_Analysis_of_Biomechanical_Variables_in_Marker-based_and_Markerless_Motion_Capture_Systems)
7. Система захвата движения без маркеров на основе веб-камер с помощью OpenPose. [Електроний ресурс] URL: [https://www.researchgate.net/publication/364279668\\_Markerless\\_Motion\\_Capture\\_System\\_Based\\_on\\_Webcams\\_Using\\_OpenPose](https://www.researchgate.net/publication/364279668_Markerless_Motion_Capture_System_Based_on_Webcams_Using_OpenPose)
8. Devising a Multi-camera Motion Capture and Processing System for Production Plant Monitoring and Operator's Training in Virtual Reality. [Електроний ресурс] URL: [https://www.researchgate.net/publication/372834452\\_Devising\\_a\\_Multi-camera\\_Motion\\_Capture\\_and\\_Processing\\_System\\_for\\_Production\\_Plant\\_Monitoring\\_and\\_Operator's\\_Training\\_in\\_Virtual\\_Reality](https://www.researchgate.net/publication/372834452_Devising_a_Multi-camera_Motion_Capture_and_Processing_System_for_Production_Plant_Monitoring_and_Operator's_Training_in_Virtual_Reality)
9. A Low-Cost Inertial Measurement Unit Motion Capture System for Operation Posture Collection and Recognition. [Електроний ресурс] URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/2/686>
10. Motion capture system of magnetic markers using three-axial magnetic field sensor. [Електроний ресурс] URL: [https://www.researchgate.net/publication/224069021\\_Motion\\_capture\\_system\\_of\\_magnetic\\_markers\\_using\\_three-axial\\_magnetic\\_field\\_sensor](https://www.researchgate.net/publication/224069021_Motion_capture_system_of_magnetic_markers_using_three-axial_magnetic_field_sensor)
11. Integration of Motion Capture and EMG data for Classifying the Human Motions. [Електроний ресурс] URL: [https://www.researchgate.net/publication/220966573\\_Integration\\_of\\_Motion\\_Capture\\_and\\_EMG\\_data\\_for\\_Classifying\\_the\\_Human\\_Motions](https://www.researchgate.net/publication/220966573_Integration_of_Motion_Capture_and_EMG_data_for_Classifying_the_Human_Motions)
12. Maksymova, S., Yevsieiev, V., & Abu-Jassar, A. (2025). MICROCHIP MARKING RECOGNITION AND IDENTIFICATION USING A COMPUTER VISION SYSTEM MATHEMATICAL MODEL. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(4), 321-330.
13. Chala, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2025). USING THE HUMAN FACE RECOGNITION METHOD BASED ON THE MOBILENETV2 NEURAL NETWORK IN AUTHENTICATION SYSTEMS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(3), 882-895.
14. Demska, N., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2025). ANALYSIS OF METHODS, MODELS AND ALGORITHMS FOR A COLLABORATIVE ROBOTS GROUP DECENTRALIZED CONTROL. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(2), 235-249.
15. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Demska, N. (2025). Development of a model for recognizing various objects and tools in a collaborative robot workspace. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 224-239.
16. Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). Capturing Human Movements in Real Time in Collaborative Robots Workspace within Industry 5.0. *Journal of universal science research*, 2(10), 232-247.
18. Maksymova, S., Abu-Jassar, A., Gurin, D., & Yevsieiev, V. (2024). Comparative Analysis of methods for Predicting the Trajectory of Object Movement in a Collaborative Robot-Manipulator Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(10), 38-48.
19. Невлюдов, І. Ш., Євсєєв, В. В., & Гурін, Д. В. (2025). MODEL DEVELOPMENT OF DYNAMIC REPRESENTATION A MODEL DESCRIPTION PARAMETERS FOR THE ENVIRONMENT OF A COLLABORATIVE ROBOT MANIPULATOR WITHIN THE INDUSTRY 5.0 FRAMEWORK. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*, 1(79), 42-48.

**Науковий керівник:** Євсєєв Владислав В'ячеславович, професор, доктор технічних наук, професор кафедри КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки