

В. О. Дяченко, С. П. Зубенко, А. С. Лубан, В. М. Федорченко

Харківський національний технічний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ РОЗРОБКИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

**Анотація.** **Актуальність.** Спеціалізовані інтегральні схеми (ASIC) є ключовими компонентами для систем управління роботами, оскільки вони забезпечують високу продуктивність і ефективність обробки. Використовуються для обробки даних з сенсорів, таких як камери, лідари та інші датчики. Вони забезпечують швидку і точну обробку сигналів, необхідних для навігації та виявлення об'єктів. ASIC можуть бути налаштовані для управління різними двигунами. Вони забезпечують точне і швидке керування рухами роботів, що є критично важливим для промислових роботів і роботів-маніпуляторів. Також забезпечують високошвидкісну передачу даних між різними модулями системи робототехніки. Це можуть бути інтерфейси для зв'язку між процесорами, сенсорами та актуаторами. ASIC використовуються для оптимізації споживання енергії, що є важливим аспектом для мобільних роботів та безпілотних апаратів, які працюють на акумуляторах. В деяких випадках ASIC спеціалізуються на виконанні алгоритмів машинного навчання і нейронних мереж, що дозволяє роботам здійснювати складні завдання, такі як розпізнавання об'єктів та прийняття рішень в реальному часі. ASIC розробляються для виконання конкретних завдань, що дозволяє значно підвищити їх продуктивність у порівнянні з універсальними процесорами. Це особливо важливо для систем управління роботами, де необхідна швидка обробка даних у реальному часі. Спеціалізовані схеми споживають менше енергії порівняно з універсальними рішеннями, оскільки вони оптимізовані для виконання конкретних функцій. Це критично важливо для автономних роботів і пристроїв, що працюють на батареях. ASIC дозволяють зменшити розміри системи за рахунок високого рівня інтеграції компонентів. Це сприяє створенню компактних робототехнічних рішень, які можуть бути використані в функціонуванні мобільних роботів. Спеціалізовані інтегральні схеми забезпечують високий рівень надійності та безпеки, оскільки вони спроектовані для роботи у визначених умовах та з конкретними завданнями. Це зменшує ризик виникнення помилок або збоїв у роботі системи. Для великих обсягів виробництва розробка і використання ASIC може бути економічно вигіднішою, оскільки вона дозволяє знизити вартість одного чіпа завдяки масштабованому виробництву. Використання ASIC дозволяє швидше впроваджувати нові технології та алгоритми, оскільки спеціалізовані рішення можуть бути швидко адаптовані для підтримки нових функцій і можливостей. Всі ці фактори роблять розробку ASIC актуальною та надає можливість створювати унікальні архітектури, які максимально відповідають вимогам конкретних систем управління, що забезпечує їх оптимальну роботу. **Метою даної роботи** є дослідження існуючих методів та інструментів розробки спеціалізованих інтегральних схем для мобільних систем управління. **Об'єктом дослідження** є функціонування спеціалізованих інтегральних схем. **Предметом дослідження** є методи забезпечення енергоефективності спеціалізованих інтегральних схем. **Результати.** Проведено аналіз існуючих методів та інструментів розробки спеціалізованих інтегральних схем для мобільних систем управління. Використання ASIC для обробки сигналів і зображень у робототехніці дозволяє досягати високої продуктивності, ефективності та точності, що є критично важливим для багатьох застосувань. Це забезпечує роботам можливість швидко і точно реагувати на зміни в навколишньому середовищі та виконувати складні завдання з високою ефективністю. При управлінні рухом досягається висока точність, ефективність та надійність систем управління, а також відкриває нові можливості для створення більш складних і функціональних роботизованих систем, здатних виконувати широкий спектр завдань у різних галузях, включаючи промисловість, медицину, транспорт і побутові застосування. Хоча ASIC не є універсальними у звичайному розумінні, вони забезпечують високу продуктивність, енергоефективність і надійність для специфічних завдань. У додатках з визначеними вимогами і великими обсягами виробництва, де висока продуктивність і енергоефективність є критичними, використання ASIC є виправданим і ефективним рішенням. Для інших випадків можуть бути доцільними гібридні підходи, що поєднують переваги ASIC і універсальних рішень, таких як FPGA або універсальні процесори.

**Ключові слова:** ASIC, EDA, FPGA, Synopsys, енергоефективність, машинне навчання, робототехніка, мобільні системи управління, Mentor Graphics.

### Вступ

Розробка спеціалізованих інтегральних схем [1] (ASIC) для мобільних систем управління вимагає особливих методів і підходів через обмеження, такі як розмір, енергоспоживання [2] та вимоги до продуктивності. Вона містить включає декілька основних методів та етапів, які забезпечують ефективність, компактність і низьке енергоспоживання: аналіз вимог, архітектурне проектування, моделювання та симуляцію, синтез і оптимізацію, фізичне проектування, верифікацію та тестування, енергоменеджмент, інтеграцію та тестування системи, термінальні та фізичні випробування, зворотній зв'язок та вдосконалення. Ці методи дозволяють створювати ефективні, компактні і енергоефективні спеціалізовані інтегральні схеми для мобільних систем управління

[3], забезпечуючи їх надійність і високу продуктивність. Для реалізації цих методів використовуються інструменти автоматизованого проектування (EDA), такі як Synopsys, Cadence, Mentor Graphics, які забезпечують всі необхідні етапи від концептуального проектування до фізичної реалізації і тестування чіпів. Ці інструменти забезпечують автоматизацію різних етапів проектування. Інструменти EDA забезпечують комплексний підхід до розробки ASIC, автоматизуючи більшість етапів процесу і забезпечуючи високу точність і ефективність проектування. Актуальність застосування інструментів EDA до розробки ASIC є надзвичайно високою, зважаючи на численні переваги, які вони надають у сучасних умовах.

**Метою цієї роботи** є дослідження існуючих методів та інструментів розробки спеціалізованих інтегральних схем для мобільних систем управління.

## Основна частина

Обробка сигналів і зображень є критично важливою для робототехніки, оскільки роботи повинні сприймати і аналізувати навколишнє середовище для виконання своїх завдань. Використання спеціалізованих інтегральних схем (ASIC) для цих цілей забезпечує високу продуктивність і ефективність. ASIC використовуються для прискорення алгоритмів розпізнавання об'єктів на зображеннях, що дозволяє роботам швидко і точно ідентифікувати предмети в їхньому оточенні. Це важливо для навігації [4], уникнення перешкод і виконання конкретних завдань, таких як сортування об'єктів на виробничих лініях. Спеціалізовані схеми можуть обробляти відеопотоки в реальному часі для виявлення та відстеження рухомих об'єктів. Це особливо важливо для автономних транспортних засобів, дронів та систем безпеки, де необхідно реагувати на рухомі об'єкти. ASIC можуть виконувати апаратне стиснення і декодування зображень та відео, що дозволяє зменшити обсяг даних для зберігання і передачі без втрати якості. Це важливо для систем з обмеженими ресурсами пам'яті та пропускну здатності.

Спеціалізовані інтегральні схеми дозволяють виконувати складні алгоритми аналізу зображень, такі як виявлення країв, сегментація зображень, аналіз текстур і кольорів. Це дозволяє роботам краще розуміти структуру і зміст зображень. Існує декілька прикладів використання ASIC для обробки сигналів: NVIDIA Jetson, Google Edge TPU, Intel Movidius Myriad, Vision Processing Unit (VPU).

Платформи NVIDIA Jetson використовують спеціалізовані графічні процесори (GPU) та ASIC для прискорення алгоритмів машинного навчання і комп'ютерного зору. Вони широко використовуються в автономних роботах, дронах та транспортних засобах.

Google розробила спеціалізовані інтегральні схеми для прискорення обробки нейронних мереж на периферії мережі. Вони використовуються для виконання завдань машинного навчання на місці, без необхідності передачі даних у хмару. Чіпи Movidius Myriad спеціалізуються на обробці зображень і комп'ютерному зорі. Вони використовуються в дронах, камерах та інших пристроях, де важливо мати високу продуктивність при низькому енергоспоживанні. VPU – це спеціалізовані процесори для обробки візуальних даних, що забезпечують високу продуктивність і енергоефективність для завдань комп'ютерного зору. Перевагами використання ASIC для обробки сигналів та зображень є висока продуктивність, енергетична ефективність, мінімальні затримки, компактність та інтеграція.

Іншим напрямком використання ASIC є управління рухом в мобільних системах або робототехніці. Спеціалізовані інтегральні схеми забезпечують точне управління різними типами двигунів (електродвигунами, серводвигунами, кроковими двигунами), що дозволяє досягати високої точності і плавності рухів. Це важливо для роботів-маніпуляторів, автономних транспортних засобів та дронів. Використання ASIC для управління рухом у робототехніці дозволяє досягти високої точності, швидкості та енергоефективності. Управління рухом включає координацію різних двигунів і

механізмів, які відповідають за переміщення роботів, маніпуляторів та інших рухомих частин. Основними аспектами використання ASIC для управління рухом є: контроль двигунів, швидка обробка сигналів, інтеграція з сенсорами, енергоефективність, підтримка складних алгоритмів управління. ASIC забезпечують точне управління різними типами двигунів, такими як DC-мотори, серводвигуни та крокові двигуни. Це включає регулювання швидкості, положення та крутного моменту. Висока швидкість обробки дозволяє ASIC швидко реагувати на зміни вхідних сигналів від сенсорів та інших компонентів системи управління, забезпечуючи плавний і точний рух. ASIC можуть інтегруватися з різними сенсорами, такими як енкодери, акселерометри, гіроскопи та інші датчики [5], для забезпечення зворотного зв'язку і корекції руху в реальному часі. Завдяки оптимізації для конкретних завдань, ASIC забезпечують високу енергоефективність, що є важливим для мобільних та автономних роботів, які працюють на батареях. ASIC можуть реалізовувати складні алгоритми управління, такі як пропорційно-інтегрально-диференціальне (PID) регулювання, адаптивне управління та передбачувальне управління, забезпечуючи високий рівень точності і стабільності.

Прикладами використання є роботи-маніпулятори, автономні транспортні засоби, мобільні роботи, дрони та безпілотні летальні апарати (БПЛА), а також медичні роботи. У промислових роботах-маніпуляторах ASIC використовуються для точного контролю кожного суглоба і сегмента, що забезпечує високу точність виконання складних виробничих завдань. ASIC управляють приводними системами та системами рульового управління, забезпечуючи точне маневрування, дотримання траєкторії та уникнення перешкод. У мобільних роботах ASIC використовуються для управління рухом колес або гусениць, забезпечуючи плавний рух і точне позиціонування в просторі. ASIC управляють двигунами та пропелерами дронів, забезпечуючи стабільний політ, корекцію положення та виконання маневрів. У хірургічних роботах ASIC забезпечують точне управління інструментами та маніпуляторами, що дозволяє виконувати складні операції з високою точністю. Перевагами використання ASIC для управління рухом є: висока продуктивність (спеціалізовані схеми забезпечують високу швидкість і точність обробки даних, що дозволяє реалізовувати складні алгоритми управління в реальному часі); низьке енергоспоживання (оптимізація під конкретні завдання дозволяє знизити енергоспоживання, що є важливим для автономних роботів); компактність та інтеграція (ASIC можуть об'єднувати декілька функцій в одному чіпі, зменшуючи розмір і вагу системи управління); надійність і стабільність (спеціалізовані інтегральні схеми забезпечують високу надійність і стабільність роботи навіть у складних умовах експлуатації); гнучкість і масштабованість (ASIC можна налаштувати під специфічні вимоги різних застосувань, що робить їх універсальними для різних типів роботів і систем).

ASIC забезпечують високошвидкісну та надійну комунікацію між різними модулями робототехнічних систем. Це включає обмін даними між процесорами, сенсорами та актуаторами, що дозволяє інтегрувати

різні компоненти в єдину систему. Забезпечення комунікації між модулями робототехнічних систем за допомогою спеціалізованих інтегральних схем (ASIC) є критично важливим для ефективного функціонування роботів. ASIC забезпечують високу швидкість передачі даних, надійність і енергоефективність, що є ключовими факторами для успішної інтеграції різних компонентів у робототехнічних системах. Основними аспектами забезпечення комунікації за допомогою ASIC є: високошвидкісна передача даних, низька затримка, енергоефективність, надійність та стабільність, підтримка різних інтерфейсів. ASIC забезпечують високу пропускну здатність і швидкість передачі даних між модулями, що дозволяє роботам обробляти великі обсяги інформації в реальному часі. Завдяки оптимізації для конкретних задач комунікації, ASIC забезпечують мінімальні затримки при передачі даних, що є критично важливим для координації роботи різних компонентів системи. Спеціалізовані інтегральні схеми забезпечують високу надійність і стабільність комунікаційних з'єднань, що зменшує ризик виникнення помилок і збоїв у роботі системи. ASIC можуть підтримувати різні комунікаційні інтерфейси, такі як I2C, SPI, UART, CAN, Ethernet, що забезпечує гнучкість в інтеграції різних модулів.

В якості прикладів використання ASIC для комунікації між модулями можуть бути розподілені роботизовані системи, автономні транспортні засоби, індустриальні роботи та медичні роботи. У системах з великою кількістю сенсорів і актуаторів, ASIC забезпечують ефективну передачу даних між цими компонентами, що дозволяє роботу приймати обґрунтовані рішення в реальному часі. Для автономних автомобілів ASIC використовуються для координації роботи різних систем, таких як сенсори, блоки управління рухом, системи безпеки і комунікації з іншими автомобілями. У промислових роботах, які виконують складні виробничі операції, ASIC забезпечують швидку і надійну комунікацію між маніпуляторами, контролерами та системами управління. В медичних роботах, таких як хірургічні системи, ASIC дозволяють забезпечити синхронізовану роботу різних інструментів та систем моніторингу, що підвищує точність і безпеку операцій. Перевагами використання ASIC для комунікації між модулями є: оптимізація під конкретні завдання, зниження складності системи, масштабованість, захист і безпека даних. ASIC проектується з урахуванням специфічних вимог комунікації, що дозволяє досягти оптимальної продуктивності і надійності. Використання ASIC дозволяє інтегрувати кілька функцій в одному чіпі, що зменшує кількість компонентів і складність системи. ASIC можуть бути масштабованими для підтримки різних розмірів і складностей робототехнічних систем, що робить їх універсальними для різних застосувань. Спеціалізовані схеми можуть включати вбудовані засоби захисту даних і криптографії, що забезпечує безпеку комунікацій між модулями.

Використання ASIC для зниження енергоспоживання є критично важливим у багатьох сучасних робототехнічних системах. ASIC розробляються для виконання специфічних функцій, що дозволяє оптимізувати їх роботу і знизити енергоспоживання в

порівнянні з універсальними рішеннями, такими як процесори загального призначення. Використання технологій динамічного регулювання напруги і частоти (DVFS) дозволяє адаптувати енергоспоживання до поточних завдань. ASIC можуть включати спеціальні режими енергозбереження, такі як сплячі режими (sleep modes) і режими низького споживання (low-power modes), що дозволяють знизити енергоспоживання під час періодів низької активності. Об'єднання кількох функцій на одному чіпі дозволяє знизити енергоспоживання, оскільки зменшується кількість зовнішніх з'єднань і відповідних енергетичних втрат. Розробка ASIC з використанням архітектур, оптимізованих для енергоефективності, таких як асинхронні схеми або схеми з низьким енергоспоживанням, дозволяє досягти значного зниження енергоспоживання. Використовується у мобільних роботах та дронах, промислових роботах, медичних пристроях та побутовій електроніці. Перевагами використання є: висока енергоефективність, компактність і легкість, зниження тепловиділення, продовження часу автономної роботи. Також існують ASIC, які розроблені спеціально для машинного навчання [6], забезпечують високу продуктивність при значно нижчому енергоспоживанні, що робить їх ідеальними для різних застосувань, від центрів обробки даних до мобільних пристроїв і вбудованих систем. Основними аспектами їх використання для машинного навчання є: висока продуктивність, енергоефективність, підтримка великих обсягів даних, низька затримка. З переваг можна виділити оптимізація під конкретні завдання, зниження вартості, підвищену надійність та зменшення тепловиділення [7, 8].

## Висновки

Проведено аналіз існуючих методів та інструментів розробки спеціалізованих інтегральних схем для мобільних систем управління. Використання ASIC для обробки сигналів і зображень у робототехніці дозволяє досягати високої продуктивності, ефективності та точності, що є критично важливим для багатьох застосувань. Це забезпечує роботам можливість швидко і точно реагувати на зміни в навколишньому середовищі та виконувати складні завдання з високою ефективністю. При управлінні рухом досягається висока точність, ефективність та надійність систем управління. Це відкриває нові можливості для створення більш складних і функціональних роботизованих систем, здатних виконувати широкий спектр завдань у різних галузях, включаючи промисловість, медицину, транспорт і побутові застосування. Також використання ASIC забезпечує комунікації між модулями робототехнічних систем є ключовим фактором для досягнення високої продуктивності, надійності та енергоефективності роботизованих систем. Це дозволяє створювати складні інтегровані рішення, здатні виконувати широкий спектр завдань у різних галузях, таких як промисловість, медицина, транспорт і побутові застосування. Завдяки високій енергоефективності, спеціалізовані інтегральні схеми дозволяють створювати автономні пристрої з тривалим часом роботи, знижуючи тепловиділення і підвищуючи загальну ефективність систем. Це відкриває нові можливості для

використання робототехніки у різних галузях, від промисловості до медицини і побутової електроніки.

В деяких випадках ASIC використовуються для завдань машинного навчання, що дозволяє досягти високої продуктивності, ефективності та надійності, що є критично важливим для сучасних додатків. Завдяки спеціалізації під конкретні завдання, ASIC забезпечують оптимальну продуктивність і низьке енергоспоживання, що робить їх незамінними для складних і ресурсомістких завдань машинного навчання.

Хоча ASIC не є універсальними у звичайному розумінні, вони забезпечують високу продуктивність, енергоефективність і надійність для специфічних завдань. У додатках з визначеними вимогами і великими обсягами виробництва, де висока продуктивність і енергоефективність є критичними, використання ASIC є виправданим і ефективним рішенням. Для інших випадків можуть бути доцільними гібридні підходи, що поєднують переваги ASIC і універсальних рішень, таких як FPGA або універсальні процесори.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Munister V. Network-on-Chip & SoC Architecture. Educational and practical publication // Glucksritter.2021. – p.92–100.
2. Дяченко В. Інтелектуальні підходи енергозбереження у безпроводних сенсорних комп'ютерних мережах // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2020. – Т. 4 (62). – С. 114-118. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.4.114.
3. Boyd B., Gauci J., Robertson M., Nguyen V., Gupta R., Gucer V., Kislicins V. Building Real-time Mobile Solutions withMQTT and IBM MessageSight. IBM.2014.p.21-38.
4. Yick, J., Mukherjee, B., Ghosal, D. Analysis of a Prediction-based Mobility Adaptive Tracking Algorithm // Proceedings of the IEEE Second International Conference on Broadband Networks (BROADNETS), Boston. 2005. Vol. 1. P. 753–760
5. Abbas, I., Liu, J., Faheem, M., Noor, R. S. Different sensor based intelligent spraying systems in Agriculture // Sensors and Actuators A: Physical. 2020. Volume 316. P. 1–16.
6. Das, K., Behera, R. N. A survey on machine learning: concept, algorithms and applications // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2017. 5(2). P. 1301–1309.
7. Design considerations for solar energy harvesting wireless embedded systems / Raghunathan, V., Kansai, A., Hse, J., Friedman, J., Srivastava, M. // Proceedings of the IPSN. 2005. P. 457–462.
8. Yu, Z., Tsai, J. J. P. A Framework of Machine Learning Based Intrusion Detection for Wireless Sensor Networks // 2008 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing. 2008. P. 272–279.

Received (Надійшла) 12.04.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.06.2024

#### Methods and tools of the development of specialized integrated circuits for mobile control systems

Vladyslav Diachenko, Serhiy Zubenko, Luban Artem, Volodymyr Fedorchenko

**Abstract. Relevance.** Application-specific integrated circuits (ASICs) are key components for robot control systems because they provide high performance and processing efficiency. They are used to process data from sensors, such as cameras, lidar and other sensors. They provide fast and accurate signal processing necessary for navigation and object detection. ASICs can be configured to control various motors (DC, servo motors, stepper motors). They provide accurate and fast control of robot movements, which is critically important for industrial robots and robot manipulators. They also provide high-speed data transfer between various modules of the robotics system. These can be interfaces for communication between processors, sensors and actuators. ASICs are used to optimize power consumption, an important aspect for mobile robots and battery-powered drones. In some cases, ASICs specialize in running machine learning algorithms and neural networks, enabling robots to perform complex tasks such as object recognition and real-time decision making. ASICs are developed to perform specific tasks, which allows to significantly increase their performance compared to universal processors. This is especially important for robot control systems, where fast real-time data processing is required. Specialized circuits consume less energy compared to universal solutions because they are optimized to perform specific functions. This is critical for autonomous robots and battery-powered devices. ASICs make it possible to reduce the size of the system due to a high level of integration of components. This contributes to the creation of compact robotic solutions that can be used in narrow spaces or on board mobile robots. Specialized integrated circuits provide a high level of reliability and safety, as they are designed to work in specific conditions and with specific tasks. This reduces the risk of errors or system failures. For high-volume production, the development and use of an ASIC can be more cost-effective, as it allows for lower cost per chip due to large-scale production. The use of ASIC allows faster implementation of new technologies and algorithms, as specialized solutions can be quickly adapted to support new functions and capabilities. All these factors make the development of ASIC relevant and provide an opportunity to create unique architectures that maximally meet the requirements of specific control systems, which ensures their optimal operation. **The purpose** is to research existing methods and tools for the development of specialized integrated circuits for mobile control systems. **The object** operation of specialized integrated circuits. **The subject** are the methods of ensuring the energy efficiency of specialized integrated circuits. **Results** An analysis of existing methods and tools for the development of specialized integrated circuits for mobile control systems was carried out. The use of ASICs for signal and image processing in robotics allows for high productivity, efficiency, and accuracy, which is critical for many applications. This provides robots with the ability to quickly and accurately respond to changes in the environment and perform complex tasks with high efficiency. Motion control achieves high precision, efficiency and reliability of control systems, and also opens up new opportunities for creating more complex and functional robotic systems capable of performing a wide range of tasks in various industries, including industry, medicine, transport and domestic applications. Although ASICs are not general purpose in the usual sense, they provide high performance, power efficiency and reliability for specific tasks. In applications with defined requirements and large volumes of production, where high performance and energy efficiency are critical, the use of ASIC is a justified and effective solution. For other cases, hybrid approaches combining the advantages of ASICs and general-purpose solutions such as FPGAs or general-purpose processors may be appropriate.

**Keywords:** ASIC, EDA, FPGA, Synopsys, energy efficiency, machine learning, robotics, mobile control systems, Mentor Graphics.