

ІНТЕГРОВАНІ МОДЕЛІ ТА ПРОЦЕСИ СПІЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ХМАРНИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

Волк М.О., Ткаленко О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Кіберфізичні системи являють собою складні комплекси, у яких тісно поєднані обчислювальні компоненти та фізичні об'єкти, що взаємодіють між собою у реальному або наближеному до реального часі. Для дослідження таких систем необхідне багаторівневе моделювання, оскільки різні їхні підсистеми мають різну природу та описуються фахівцями різних галузей. Зазвичай кожен учасник розробки створює власну модель, використовуючи спеціалізовані мови та методи, адаптовані під конкретну предметну область. У результаті виникають окремі виконувані моделі кібернетичної частини та фізичного середовища, які, попри свою точність, часто не забезпечують повної інтеграції. Для отримання достовірних результатів необхідне спільне імітаційне моделювання, яке дає змогу аналізувати поведінку системи в цілому.

Існуючі підходи до спільного моделювання мають низку суттєвих обмежень [1]. По-перше, коли окремі моделі розглядаються як «чорні скриньки», втрачається частина семантичної інформації, що впливає на коректність інтеграції. По-друге, більшість поточних методів координації ґрунтуються на використанні інтерфейсів прикладного програмування з часовою синхронізацією, що спричиняє появу штучних затримок і знижує точність результатів. Мінімізація таких затримок, у свою чергу, веде до збільшення обчислювального навантаження та погіршення продуктивності. По-третє, побудова ефективної архітектури спільного моделювання є складною з алгоритмічної точки зору, тому необхідно підвищувати рівень абстракції під час опису механізмів координації та взаємодії між моделями [2].

Метою роботи є розроблення узагальненого інтерфейсу спільного моделювання, який дозволяє об'єднати моделі кібернетичних і фізичних компонентів у єдине середовище. Запропоновано визначення спеціалізованої мови для опису взаємодії та координації таких моделей. На її основі формується механізм автоматизованого створення продуктивної розподіленої інфраструктури для імітаційного моделювання та тестування хмарних кіберфізичних систем. Такий підхід забезпечує відтворюваність експериментів, підвищує точність моделювання та сприяє скороченню часу на проектування складних систем.

Список літератури

1. Lu, C., Zou, Q. & Zhou, J. Toward a modeling and analysis method of cyber-physical systems architecture evolution based on bigraph. *Scientific Reports*. 2025. 15, 8766. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92521-8>
2. Волк М.О., Поповкін М. М. Методи моделювання масштабованих хмарних ресурсів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2024, випуск 3(77), с. 56-59. doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.3.097>