

К.Л. Сафонов
(Державне підприємство
Міжнародний аеропорт «Бориспіль», Україна)
Д.К. Сафонов
(Національний авіаційний університет, Україна)

Концепція цифрових двійників для моделювання системи наземного руху в аеропортах

Публікація описує можливість використання концепції цифрових двійників для моделювання системи наземного руху в аеропортах за допомогою спеціальної імітаційної моделі, яка має можливість описувати та відтворювати конкретні сценарії, пов'язані з критичними ситуаціями в транспортній мережі, що вимагатимуть залучення автоматизованої системи управління

Вступ. В результаті проведеного на базі європейських аеропортів аналізу місцевих небезпечних факторів, особливу увагу було приділено руху транспортних засобів (ТЗ) на території аеродрому, як діяльності, що представляє собою високий потенційний ступінь ризику, який потребує впровадженню дієвих заходів щодо усунення цього ризику [1].

Як свідчить статистика, щорічно в аеропортах фіксується значна кількість наземних інцидентів, пов'язаних з експлуатацією транспортних засобів на робочій площі аеродрому.

Проведений Фондом безпеки польотів огляд авіаційних подій з повітряними суднами (ПС), показав, що із загальної кількості всіх подій 30 % приходилося на виїзди за межі злітно-посадкової смуги і несанкціоновані виїзди на злітно-посадкову смугу [2].

Несанкціоновані виїзди на злітно-посадкову смугу (ЗПС) – це будь-яка подія на аеродромі, спричинена в результаті несанкціонованого перебування повітряного судна, транспортного засобу або людини в захисній зоні поверхні, призначеної для посадки і злету ПС. Несанкціонований виїзд на ЗПС відноситься до основної категорії подій, що відбуваються в усьому світі в аеропортах та є серйозною проблемою.

Основний текст. У сучасних аеропортах працюють десятки тисяч повітряних суден і сотні тисяч одиниць авіаційної наземної техніки (АНТ) в постійній взаємодії між собою. Головною задачею організації такої взаємодії є забезпечення безпеки наземного руху, що передбачає захист від зіткнень повітряних суден і наземних транспортних засобів, наслідком яких може бути не тільки пошкодження транспортних засобів або літака, але може статися авіаційна подія (АП).

На сьогоднішній день всі основні функції з організації та контролю руху ПС і АНТ на площі маневрування виконує людина – авіадиспетчер. Його основне завдання це забезпечення безпеки польотів (БП) шляхом запобігання зіткненню повітряних суден один з одним, наземним транспортом або іншими перешкодами (об'єктами).

Літаками і АНТ управляють також люди, які виконують функції пілотів або водіїв (операторів). Дуже часто координація дій учасників транспортного процесу на аеродромі здійснюється лише шляхом обміну голосовою інформацією за допомогою тільки одного радіозв'язку.

Очевидно, що ідеальний рівень безпеки транспортних процесів в аеропортах не може бути досягнутий при збереженні великої частки участі людини в плануванні та реалізації наземного руху на аеродромі. Основним шляхом вирішення цієї проблеми є підвищення рівня автоматизації процесів управління наземним рухом на робочій площі аеродрому.

В документі, опублікованому Міжнародною асоціацією повітряного транспорту (IATA) [3] зазначається, що в майбутньому управління наземним рухом на робочій площі аеродрому буде передано автоматизованим системам, у результаті чого авіадиспетчери будуть виконуватимуть в першу чергу роль операторів (користувачів) та контролюватимуть функціонування таких систем.

Відомо, що віртуальне моделювання реальних систем і процесів за допомогою цифрових двійників (ЦД) стає все більш поширеним в авіаційній промисловості та є найефективнішим методом вивчення транспортних процесів в аеропортах [4].

Можна припустити, що інформаційна база автоматизованої системи управління наземним рухом на робочій площі аеродрому працюватиме в режимі ЦД, а сама система управління використовуватиме методи штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН). Такі методи, які здатні здійснювати адаптивне управління, не будучи запрограмованим для цього. Відмінною рисою такої системи управління стане можливість аналізу та інтерпретації інтенсивних потоків даних від наземного транспорту. В результаті будуть виявлені ситуації, які вимагають залучення автоматичного режиму контролю.

Цифрові двійники – це віртуальні копії реальних об'єктів, за допомогою яких можна перевіряти продуктивність та ефективність елемента чи системи.

ЦД може бути використаний як універсальна інформаційна база для розробки та тестування різноманітних рішень у сфері автоматичного управління наземним рухом в аеропортах. Відповідно, впроваджуючи ЦД тієї чи іншої системи, з'являється унікальна можливість уникнути критичних ситуацій, пов'язаних із експлуатацією транспортних засобів на робочій площі аеродрому.

Вперше концепцію ЦД було сформульовано авторами, Майклом Грівзом та Джоном Вікерсом, у роботі [5], цифровий двійник – це сукупність віртуальних інформаційних конструкцій, яка повністю описує фізичний об'єкт – від мікрорівня (рівень окремого елементу) до макрорівня (загальний вигляд, геометричне подання, загальні властивості об'єкта в цілому). ЦД являє собою модель фізичного об'єкта або процесу, яка якнайповніше відображає його характеристики у динаміці протягом певного періоду часу. Концепція ЦД передбачає подання, обробку, маніпулювання усіма даними, що характеризують фізичного двійника, та отримання певних компонент цих даних по мірі виникнення потреби у них при вирішенні задач аналізу та

Термін «digital twin», як такий, вперше згадувався у звіті Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору США [6], де визначено, що ЦД є інтегрованою мультифізичною, мультимасштабованою, ймовірнісною симуляцією об'єкта дослідження (наприклад, літального апарата), яка використовує найкращі наявні моделі, що постійно вдосконалюються, дані, що безперервно надходять з давачів реального об'єкта та накопичуються, щоб відобразити життєвий цикл відповідного досліджуваного об'єкта – фізичного двійника. ЦД має забезпечувати реалістичність відображення фізичного двійника.

Оскільки ЦД поєднує віртуальне та фізичне середовища, концепція еволюціонує під сильним впливом Інтернету речей (IoT). Фізичне середовище зазвичай включає фізичну систему, взаємодіючі об'єкти (наприклад, транспортні засоби), датчики та комунікаційні інтерфейси. Усі дані датчиків, пов'язані з фізичною системою, передаються на ЦД в онлайн-режимі. У цьому відношенні ЦД стає точним і реальним відображенням фізичної системи. Крім того, за допомогою даних, наданих IoT (наприклад, даних GPS), стає можливим відображати продуктивність системи в ЦД та використовувати цю інформацію для прогнозування щодо фізичного аналога [7]. В наслідок чого, ЦД полегшує моніторинг системи в реальному часі [8].

Концепція ЦД для моделювання системи наземного руху в аеропортах ґрунтується на трьох ключових компонентах: імітаційна модель, цифровий двійник, додатки (рис.1).

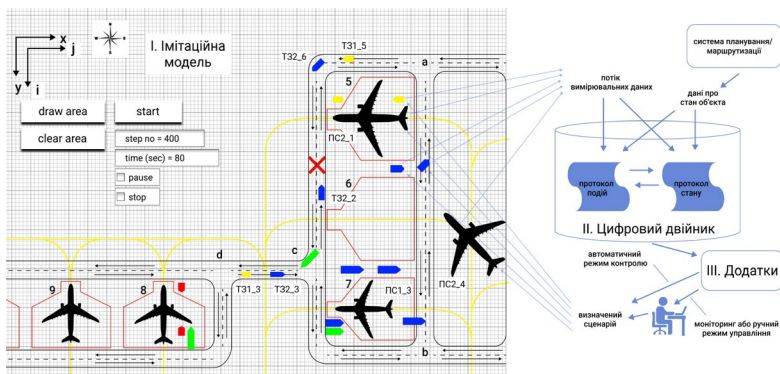


Рис. 1. Моделювання заданих сценаріїв наземного руху в аеропорту

Імітаційна модель (І) служить джерелом генерації потоків даних, що підтримують ЦД в робочому режимі для відображення сценаріїв, які пов'язані з критичними ситуаціями у транспортній системі. Цифровий Двійник (ІІ) – це динамічна інформаційна модель спостережуваного та контролюваного процесу. Додатки (ІІІ) – це комп'ютерні програми, які використовують дані, накопичені в ЦД, які необхідні для подальшого навчання автоматизованої системи управління на основі МН. Метою реалізації сценарію в моделі є моделювання критичної ситуації, при якій виникає необхідність активації автоматизованої системи управління.

Критичні ситуації можуть бути зумовлені як конкретними подіями, так і розвиватися поступово під час процесів у транспортній системі. Кожна критична ситуація в транспортній системі потребує прийняття управлінських рішень, пов'язаних з двома завданнями: а) ідентифікація учасників руху, яким слід надсилати команди з інформацією про зміну маршруту, і б) визначення нового маршруту для кожного з ідентифікованих учасників руху.

Основними компонентами запропонованого ЦД є два типи протоколів (протокол подій і протокол стану), які можуть взаємно конвертуватися один до одного. Сценарії записуються у вигляді таких протоколів і впроваджуються в модель як до прийняття рішення в критичній ситуації, так і після.

На рис. 2 зображено функціональну схему реалізації концепції ЦД. Машинне навчання і ЦД можна комбінувати трьома способами. По-перше, ЦД може генерувати синтетичні дані для навчання моделі МН. По-друге, ЦД можна використовувати для тестування вивчення продуктивності моделей МН у нових сценаріях. По-третє, ЦД можна розглядати як навчальне середовище для навчання досліджуваної системи.

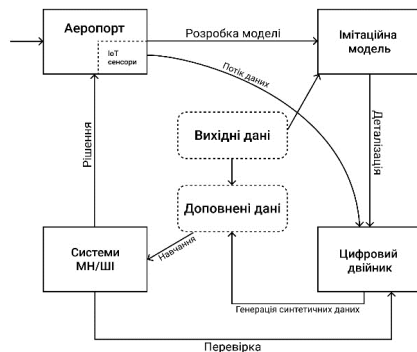


Рис. 2. Функціональна схема реалізації ЦД для управління наземним рухом на аеродромі

У переважній більшості випадків експерименти з таким складним фізичним об'єктом, як робоча площа аеродрому, надзвичайно витратні як за часом так і за фінансами, небезпечні або просто неможливі.

ЦД також може відігравати роль віртуальної динамічної моделі для проведення точних і відтворюваних чисельних експериментів з алгоритмами МН.

Нарешті, ЦД можна застосовувати як віртуальне динамічне середовище для навчання досліджуваної системи. Оскільки, навчання в реальному середовищі може призвести до травм людей або пошкодження майна. Крім того, такі тести можуть бути обмеженими або навіть неможливими через законодавчі заборони.

Навпаки, ЦД – це повністю кероване та прозоре змодельоване середовище. Крім того, вони можуть працювати паралельно і набагато швидше, ніж експерименти в реальному часі, що значно прискорює процес навчання.

Висновки. Впровадження концепції ЦД і створення віртуальної динамічної моделі системи наземного руху на робочій площі аеродрому дозволить своєчасно знаходити «вузькі» місця в транспортній системі аеропорту та пропонувати ефективні безпечні рішення вирішення проблеми, які допоможуть в майбутньому запобігти авіаційним подіям, інцидентам, пошкодженням повітряних суден на землі, а також несанкціонованим виїздам на ЗПС шляхом отримання ранніх попереджень, прогнозів і плану дій, моделюючи різні сценарії критичних (небезпечних) ситуацій під час руху ПС та ТЗ на робочій площі аеродрому, заснованих на інформації отриманої від радіолокатору контролю наземного руху, бортових систем контролю ПС (ТЗ), а також багатьох інших даних.

Список літератури

1. Руководство по предотвращению несанкционированных выездов на ВПП. Doc. 9870 – AN/463. – 1-е изд. – Монреаль, ICAO, 2007. – 110 с.
2. Tackling the global issue of runway safety. Assembly - 37th session. A37-WP/68 TE/21. ICAO, 2010. – 5 с.
3. International Air Transport Association: Vision 2050, Singapore, February 12, 2011. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iata.org/contentassets/bccae1c5a24e43-759607a5fd8f44770b/vision-2050.pdf>.
4. Alomar I., Tolujevs J., Medvedevs A. «Simulation of Ground Vehicles Movement on the Aerodrome». In Procedia Engineering. Vol. 178, 2017. – с. 340-348.
5. Grieves M., Vickers J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. Transdisciplinary perspectives on complex systems. Springer, 2017. – с. 85-113.
6. Modeling, Simulation, Information. Technology & Processing Roadmap. Technology Area 11. National Aeronautics and Space Administration, 2010. – с. 32.
7. W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjis, and W. Sihn, «Digital Twin in Manufacturing: A categorical literature review and classification», IFAC-PapersOnLine, 51, 2018. – с. 1016-1022.
8. A. M. Madni, C. C. Madni, and S. D. Lucero, «Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering», Systems, 7(1), 2019. – с. 7.