

УДК 621.39:004.6



Р. В. Нестеренко



С. О. Константинов



О. Р. Іщук

ВПЛИВ МЕРЕЖЕВИХ ПАРАМЕТРІВ НА ВЕЛИКОМАСШТАБНІ СИМУЛЯЦІЇ JCATS: ШИРОКОМОВНИЙ ТРАФІК, КОНТРОЛЬ ШТУРМУ ТА НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРОЦЕСОР КЛІЄНТА

У статті досліджується вплив мережевих параметрів на великомасштабні симуляції в середовищі Joint Conflict and Tactical Simulation (JCATS), зокрема увагу приділено таким аспектам, як широкомовний трафік, контроль штурму та навантаження на процесор клієнта. Із розширенням симуляцій понад 100 000 об'єктів підтримання синхронізації та оперативного реагування стає дедалі складнішим завданням. Критичні мережеві параметри, як-от: затримка, пропускна здатність і характер трафіка, суттєво впливають на результати симуляції.

Особливу увагу приділено проблемам, пов'язаним із широкомовними штурмами, що можуть виникати через надмірний мережевий трафік, та їхньому контролю за допомогою сучасних механізмів обмеження трафіка. Додатково в статті проаналізовано, як обробка широкомовних повідомлень впливає на навантаження процесора клієнтських систем, що призводить до затримок в інтерфейсі користувача, підвищення симуляції та зростання використання ресурсів.

Надано практичні рекомендації щодо оптимізації масштабування JCATS, зокрема через сегментацію мережі, впровадження механізмів контролю штурму, моніторинг продуктивності клієнтів та використання інструментів аналізу трафіка. Завдяки впровадженню цих стратегій оператори симуляцій можуть суттєво підвищити ефективність та надійність роботи під час проведення великомасштабних симуляцій. У висновках підкреслюється важливість подальших досліджень у цій галузі для забезпечення стійкості та результативності симуляцій в умовах постійних технологічних змін.

К л ю ч о в і с л о в а: система моделювання, державна безпека, бойові дії, мережеві параметри, командно-штабні навчання.

Постановка проблеми. У сфері деталізованої розподіленої симуляції, як-от Joint Conflict and Tactical Simulation (JCATS), взаємодія мережевих параметрів відіграє ключову роль у визначенні масштабованості та продуктивності системи. Із розширенням симуляцій понад 100 000 об'єктів (рис. 1) підтримання синхронізації та оперативності системи стає дедалі складнішим завданням. У цій статті розглядається вплив широкомовного UDP-трафіка на навантаження на процесор клієнта та загальну продуктивність і надійність симуляцій JCATS, а також методи управління широкомовними штурмами. Аналізуючи ці критично важливі чинники, автори мають на меті надати практичні висновки та рекомендації щодо оптимізації великомасштабного моделювання [1, 2].

Середовище симуляції JCATS є невід'ємною складовою військової підготовки та оперативного планування, оскільки значною мірою покладається на мережеву комунікацію для синхронізації змодельованих об'єктів, розповсюдження оновлень і підтримання цілісності глобального стану. Із розширенням масштабу симуляцій до десятків тисяч об'єктів обсяг і характер мережевого трафіка суттєво впливають на підсумкові показники продуктивності (рис. 2).

Критичні мережеві параметри, як-от: затримка (латентність), пропускна здатність і характер трафіку (наприклад, односпрямоване передавання у порівнянні з широкомовленням), можуть як сприяти, так і заважати ефективності симуляцій у реальному часі. Розуміння цих динамік є необхідним для оптимізації продуктивності та забезпечення того, щоб симуляції залишалися точними і зберігали швидке реагування навіть під високим навантаженням.

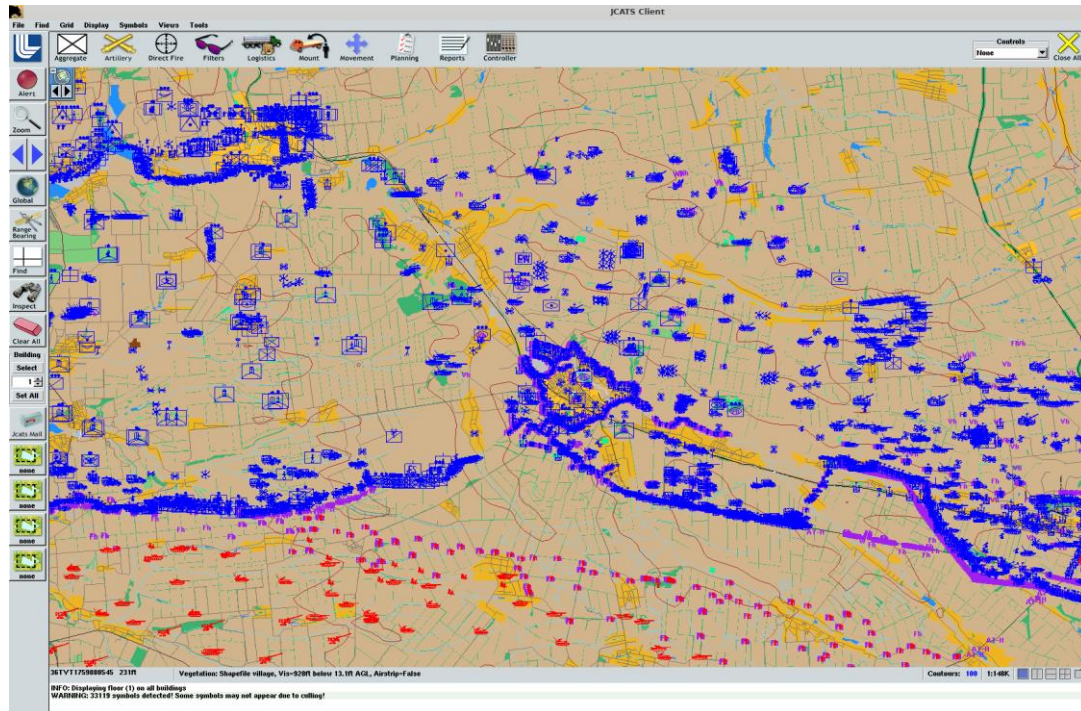


Рисунок 1 – Масштабування симуляцій понад 100 000 об'єктів

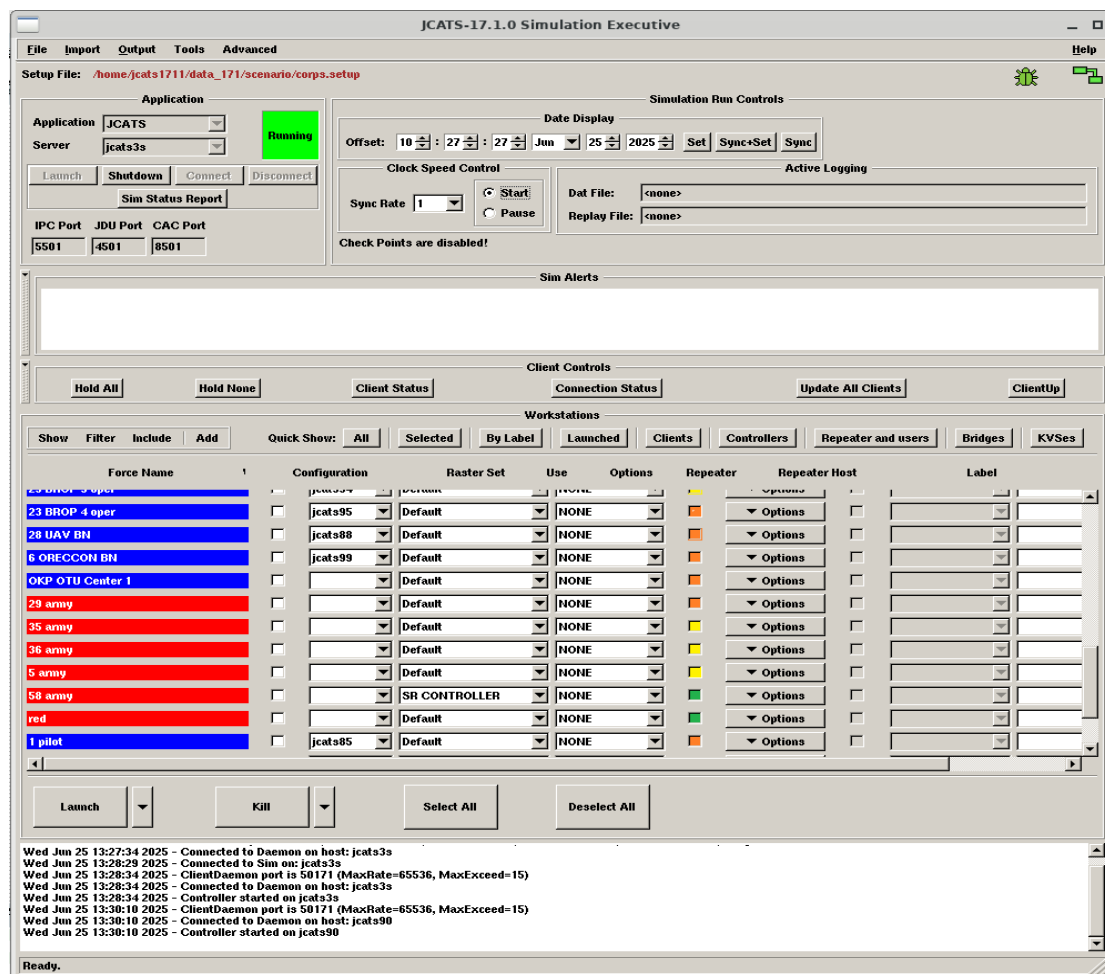


Рисунок 2 – Вплив обсягу і характеру мережевого трафіка на результати продуктивності

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемні питання використання систем моделювання досліджували такі вчені: Іохов О. Ю., Споришев К. О., Лавринчук О. В., Зайка Л. А., Бордунова К. І., Щолок А. В., Іщук О. Р., Шапран О., Федорієнко В., Тимошенко Р., Войтек К., Кулинич І. та інші.

Мета статті – дослідити вплив мережевих параметрів на ефективність великомасштабних симуляцій у середовищі Joint Conflict and Tactical Simulation (JCATS).

Виклад основного матеріалу. Широкомовні шторми є суттєвою проблемою у великомасштабних налаштуваннях JCATS. Вони виникають, коли надмірний широкомовний трафік перевантажує мережеві ресурси через значний обсяг, надлишковість або неправильне налаштування. У сценаріях з великою кількістю об'єктів шторми можуть бути спричинені частими оновленнями, петлями зворотного зв'язку через неналежно відфільтровані повідомлення або надлишковими широкомовними доменами. Наслідки таких штормів включають втрату пакетів, збільшення затримки і загальне погіршення якості симуляції.

Для вирішення цих проблем сучасна мережна інфраструктура пропонує механізми контролю широкомовних штормів (Broadcast Storm Control, BSC), які можуть придушувати надмірний широкомовний трафік шляхом обмеження швидкості передавання або відкидання пакетів при перевищенні заданого порогу. Ефективний контроль штормів є критично важливим для підтримання стабільності мережі та захисту клієнтів з обмеженими ресурсами або застарілих систем. Наприклад, налаштування мережевого обладнання (маршрутизатори, програмовані комутатори) для обмеження широкомовного трафіка до керованої швидкості допомагає забезпечити передавання критичних оновлень без перевантаження мережі. Крім того, впровадження кращих практик у мережевому проєктуванні (сегментація мережі для обмеження широкомовних доменів) є необхідним для запобігання штормам та забезпечення безперебійної роботи під час великомасштабних симуляцій [3, 4, 5].

Навантаження на процесор клієнта та обробка широкомовних UDP-повідомлень. Оскільки кожен клієнт симуляції отримує мережевий трафік, обробка широкомовних повідомлень створює унікальні виклики. На відміну від унікаст-трафіку (односпрямованого передавання), який спрямований на конкретного одержувача, широкомовні повідомлення передаються до всіх клієнтів у підмережі незалежно від їхньої релевантності. Це може призводити до підвищеного навантаження на процесор (див. рисунок 3), особливо у випадках, коли ядро операційної системи змушене обробляти тисячі переривань на секунду. Симптомами перевантаження клієнтів широкомовним трафіком є затримки в інтерфейсі користувача, ривки в роботі симуляції та стрибки навантаження на процесор – усе це може суттєво погіршити якість симуляційного процесу.

Зменшити вплив широкомовного трафіка на продуктивність клієнтів можна за допомогою кількох стратегій.

1. Фільтрація нерелевантних широкомовних повідомлень. Застосування фільтрації на рівні операційної системи або програмного забезпечення може суттєво знизити обчислювальне навантаження на клієнтські системи. Це дозволяє клієнтам обробляти лише ті повідомлення, які є дійсно важливими для їхньої роботи.

2. Оптимізація налаштувань мережевого інтерфейсу. Налаштування параметрів мережевого інтерфейсу, як-от розмір буфера та частота обробки пакетів, може вплинути на ефективність обробки трафіка, зменшуючи затримки та підвищуючи загальну продуктивність.

3. Впровадження механізмів управління трафіком. Використання механізмів, які контролюють та обмежують обсяг широкомовного трафіка, може допомогти зменшити перевантаження мережі та підвищити загальну продуктивність.

4. Зменшення частоти оновлень. Оптимізація частоти надсилання широкомовних повідомлень, наприклад, шляхом агрегації даних або зменшення кількості оновлень, може знизити загальний обсяг трафіка та зменшити навантаження на клієнтські системи.

Завдяки впровадженню таких підходів оператори симуляцій можуть підвищити ефективність і надійність функціонування клієнтських систем під час великомасштабних симуляцій, забезпечуючи більш стабільний і швидкий доступ до необхідних даних [1, 5, 6].

Практичні рекомендації щодо масштабування JCATS

Для ефективного масштабування симуляцій JCATS із кількістю об'єктів понад 100 000 необхідний комплексний підхід. Наведені рекомендації є ключовими для оптимізації роботи мережі та забезпечення безперебійного симуляційного процесу.

Р. В. Нестеренко, С. О. Константинов, О. Р. Іщук. Вплив мережевих параметрів на великомасштабні симуляції JCATS: широкомовний трафік, контроль штурму та навантаження на процесор клієнта

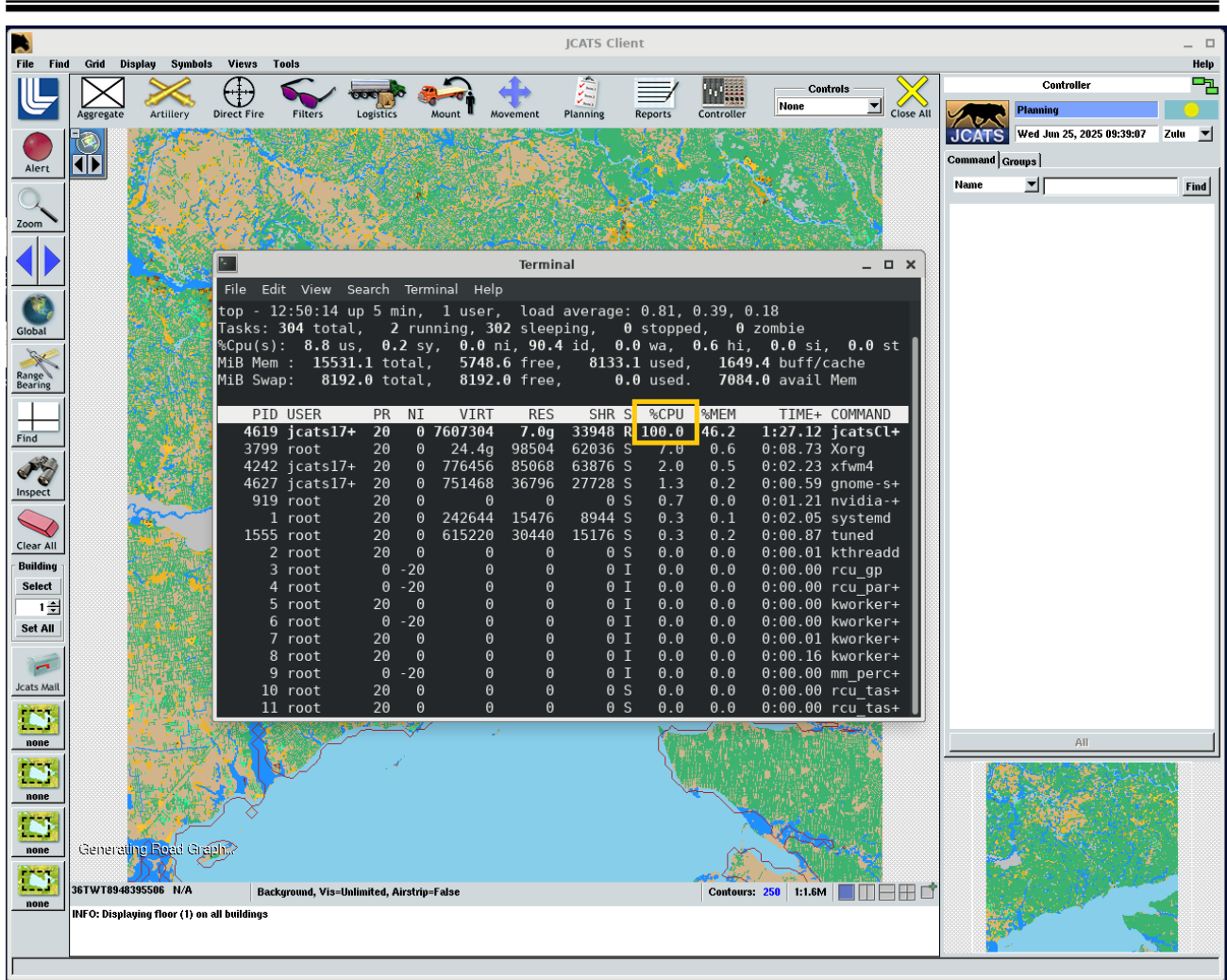


Рисунок 3 – Можливе підвищення навантаження на процесор

Сегментація мережі. Розділення мережі на сегменти є критично важливим для обмеження широкомовних доменів, що мінімізує ризик виникнення широкомовних штурмів і сприяє ефективному використанню мережевих ресурсів.

Впровадження контролю штурму. Необхідно застосовувати механізми контролю штурму на всіх керованих комутаторах і маршрутизаторах для придушення надмірного широкомовного трафіка. Важливо правильно налаштувати ці механізми, щоб забезпечити стабільність мережі без значних втрат пакетів.

Моніторинг продуктивності клієнтів. Потрібно регулярно вимірювати завантаження процесора та мережевого інтерфейсу (NIC) клієнтів до, під час та після симуляцій. Такі дані допоможуть коригувати налаштування мережі та розподіл ресурсів клієнтських систем.

Інструменти аналізу трафіка. Важливо використовувати інструменти моніторингу: tcpdump, Wireshark або вбудовані аналізатори трафіка в RouterOS для ефективного моніторингу та регулювання широкомовного трафіка. Аналіз шаблонів трафіка дозволяє виявити вузькі місця та визначити шляхи оптимізації.

Стрес-тестування. Ефективним є проведення синтетичного тестування широкомовних штурмів із використанням таких інструментів, як-от: ping, iperf або власні UDP-навантажувачі для моделювання найгірших сценаріїв. Такий проактивний підхід дозволяє виявити слабкі місця мережевої інфраструктури до того, як вони вплинуть на реальні симуляції.

Висновки

Вплив мережевих параметрів на продуктивність симуляцій JCATS у великомасштабних сценаріях є надзвичайно значущим. Неконтрольований ширококомовний трафік та недостатні обчислювальні / мережеві ресурси можуть спричинити появу заторів трафіка, які погіршують якість симуляції або навіть призводять до збоїв у системі. Завдяки впровадженню ефективних стратегій контролю ширококомовного трафіка, оптимізації керування навантаженням на процесори клієнтів та дотриманню кращих практик у проєктуванні мережі оператори симуляцій можуть істотно зменшити ці ризики.

У результаті ретельного планування та постійного моніторингу стає можливим успішне проведення симуляцій, у яких задіяно понад 100 000 об'єктів, що в підсумку підвищує рівень підготовки та оперативних спроможностей військового персоналу. Подальші дослідження та співпраця між мережевими інженерами і фахівцями з симуляцій будуть критично важливими для безперервного вдосконалення методологій, забезпечуючи надійність та ефективність симуляцій в умовах постійного технологічного розвитку.

Перелік джерел посилання

1. Проблеми застосування систем імітаційного моделювання у Збройних Силах України : матеріали наук.-практ. семінару (м. Київ, 28 травня 2024 р.). Київ, 2024. С. 62.
2. Іохов О., Лаврінчук О., Горелишев С. Використання засобів імітаційного моделювання бойових дій у процесі підготовки офіцерів Національної гвардії України. *Чесць і закон*. № 3(86). 2023. С. 22–31.
3. Bordunova K. I., Shcholak A. V., Ishuk O. R. Features of training jcats simulation system operators in the national guard of Ukraine. *Актуальні проблеми діяльності складових сектору безпеки і оборони України в умовах особливих правових режимів: поточний стан та шляхи вирішення* : тези II Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 20 берез. 2025 р. Харків, 2025. С. 30, 31.
4. Порівняльний аналіз Jcats та Jtls-Go з метою підготовки військових фахівців / О. Шапран та ін. *Вісник науки та освіти*. № 1(31). 2025. С. 1936–1956.
5. Лаврінчук О. В., Заїка Л. А. Система імітаційного моделювання JCATS: практика використання та дослідження адекватності моделі. *Актуальні питання забезпечення службово-бойової діяльності військових формувань та правоохоронних органів* : збірник тез доп. XII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 27 жовт. 2023 р. Харків, 2024. С. 188–190.
6. Споришев К. О. Математичні моделі системи імітаційного моделювання JCATS. *Актуальні питання забезпечення службово-бойової діяльності військових формувань та правоохоронних органів* : збірник тез доп. XII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 27 жовт. 2023 р. Харків, 2024. С. 314, 315.

Стаття надійшла до редакції 27.06.2025 р.

UDC 621.39:004.6

R. Nesterenko, S. Konstantinov, O. Ishchuk

INFLUENCE OF NETWORK PARAMETERS ON LARGE-SCALE JCATS SIMULATIONS: BROADCAST TRAFFIC, STORM CONTROL, AND CLIENT CPU LOAD

The article explores the impact of network parameters on large-scale simulations within the Joint Conflict and Tactical Simulation (JCATS) environment, specifically focusing on aspects such as broadcast traffic, storm control, and client CPU load. As simulations expand to encompass over 100,000 entities, maintaining synchronization and responsiveness becomes increasingly challenging. Critical network parameters, such as latency, bandwidth, and the nature of traffic, significantly influence simulation outcomes.

Particular attention is given to the challenges posed by broadcast storms, which can arise from excessive traffic, and their control through modern mechanisms that allow traffic limiting. Additionally, the article

analyzes how the handling of broadcast messages affects the CPU load of clients, leading to user interface delays, simulation jitters, and increased resource utilization.

Practical recommendations are provided for optimizing the scaling of JCATS, including network segmentation, implementation of storm control mechanisms, monitoring client performance, and utilizing traffic analysis tools. By employing these strategies, simulation operators can significantly enhance the efficiency and reliability of operations during large-scale simulations. The conclusions emphasize the importance of ongoing research in this field to ensure the robustness and effectiveness of simulations in the face of constant technological changes.

K e y w o r d s: simulation system, state security, combat operations, network parameters, command and staff exercises.

Нестеренко Роман Васильович – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри управління логістикою Національної академії Національної гвардії України.
<https://orcid.org/0000-0001-6357-3613>

Константинов Сергій Олександрович – науковий співробітник центру імітаційного моделювання Національної академії Національної гвардії України.
<https://orcid.org/0009-0000-7323-0390>

Іщук Олександр Романович – інженер центру імітаційного моделювання Національної академії Національної гвардії України.
<https://orcid.org/0009-0001-1833-4426>