

**А.Л. Головинський, А.Л. Маленко, О.Ю. Роганова**

Інститут кібернетики НАН України,  
просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,  
+380 44 526 2008, факс +380 44 526 7418, [incyb@incyb.kiev.ua](mailto:incyb@incyb.kiev.ua)

## СУПЕРКОМП'ЮТЕР ЯК ПЛАТФОРМА ДЛЯ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ



**Вступ.** В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України функціонує найбільший в Україні суперкомп'ютерний комплекс СКІТ, загальна пікова продуктивність якого сягає 43 трлн операцій на секунду. Суперкомп'ютер ефективно вирішує завдання максимально широкого спектру — від дослідження надр Землі до лінгвістичних студій та від генетики до моделювання еволюції чорних дір.

Одне зі своїх застосувань комплекс знайшов в рамках науково-технічного проекту НАН України під час розв'язання задач фотограмметрії при партнерстві з Громадською організацією «Pixelated Realities», що займається просуванням цифрових методів як для реставрації, реконструкції, дослідження об'єктів культурної спадщини, так і для планування й ревіталізації (пожвавлення) міського простору.

**Мета.** Створення спеціалізованого програмно-апаратного комплексу на базі суперкомп'ютера СКІТ для вирішення ресурсоємного завдання фотограмметрії.

**Матеріали й методи дослідження.** Програмно-апаратний комплекс створено на базі оригінальної архітектури суперкомп'ютера СКІТ та фотограмметричного методу побудови тривимірних сцен, який полягає у відтворенні 3D-об'єкту за фотографіями. Завдання фотограмметрії передбачає обробку десятків тисяч фотографій для створення тривимірних сканованих образів пам'ятників, історичних будівель, археологічних розкопів та урбаністичних об'єктів з використанням програмного забезпечення RealityCapture.

**Результати дослідження.** Інноваційним результатом проекту є створення першого в Україні спеціалізованого програмно-апаратного комплексу, який використовує високопродуктивні обчислення для вирішення завдань тривимірної реконструкції за фотографіями. Також в Інституті кібернетики разом з партнерами розроблено спеціалізований програмно-апаратний комплекс «Хмарна кіностудія».

**Висновки.** Створення спеціалізованого суперкомп'ютерного сегмента та приклади його використання продемонстрували ефективність таких рішень в напрямі тривимірного моделювання й мультиплікації, а також наявність значного інтересу та великого ринку суперкомп'ютерних технологій. «Хмарна кіностудія» продовжила успішний досвід створення спеціалізованих обчислювальних систем, призначених для розв'язання важливих прикладних науково-технічних завдань.

*Ключові слова:* фотограмметрія, тривимірне моделювання, суперкомп'ютер.

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України створено та впроваджено в роботу найбільший в Україні суперкомп'ютерний комплекс СКІТ, загальна пікова продуктивність якого сягає 43 трлн операцій на секунду. Суперкомп'ютер ефективно вирішує завдання максимально широкого спектру — від

дослідження надр Землі до проблем лінгвістичних студій, від питань генетики до моделювання еволюції чорних дір. Користувачами комплексу СКІТ є понад 30 академічних інститутів, декілька університетів, державні установи й підприємства. Суперкомп'ютерний центр надає науковцям інструментарій для втілення своїх «ноу-хау» у реальні конкурентні продукти — інновації або науково-практичні результати.

Крім суто наукових проектів зі створення нових обчислювальних архітектур чи дослідження алгоритмів планування черги обчислювальних задач, Інститут кібернетики реалізовує також проекти, в яких втілено багаторічний науковий доробок, у інноваційні продукти, цікаві не тільки науковій спільноті, а й українській промисловості та бізнесу.

Одним із напрямків застосування комплексу було розв'язання завдань фотограмметрії у рамках започаткованої навесні 2016 року співпраці Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України з Громадською організацією «*Pixelated Realities*», яка займається просуванням цифрових методів як для реставрації, реконструкції, дослідження об'єктів культурної спадщини, так і для планування й ревіталізації (пожвавлення) міського простору. Завдання фотограмметрії передбачає обробку десятків тисяч фотографій, робота над якими на звичайній робочій станції займає декілька місяців. **Інноваційною складовою проекту** є створення першого в Україні спеціалізованого програмно-апаратного рішення на базі суперкомп'ютера для вирішення ресурсоємного завдання фотограмметрії з використанням програмного забезпечення *RealityCapture* [1]. За рік, що відтоді минув, партнерам вдалося втілити чимало проектів зі сканування пам'ятників, історичних будівель, археологічних розкопів та урбаністичних об'єктів і навіть узяти участь у створенні документальної стрічки про Чорнобильську атомну електростанцію у віртуальній реальності.

Ключовим **науковим результатом**, який дозволив створити спеціалізований програмно-апаратний комплекс, є архітектура комплексу СКІТ: бездисківні обчислювальні вузли дозволяють легко реконфігурувати та структурувати обчислювальне поле, змінюючи операційні системи та робочий процес, адаптуючи його під конкретне завдання.

Архітектура кластера для оброблення зображень і тривимірних сцен принципово відрізняється від звичайних кластерних завдань.

На відміну від класичних науково-технічних завдань, що працюють у пакетному режимі, де науковець ставить завдання в чергу, визначає обсяг ресурсів і чекає на завершення процесу, завдання тривимірного моделювання й мультиплікації працюють у потоковому режимі. Дані постійного поповнюються з хмарного сховища, оброблюються в інтерактивному режимі, а згенеровані кадри або моделі надсилаються назад до сховища. Для таких завдань характерним є також активне використання графічних прискорювачів і великих обсягів оперативної пам'яті.

Для збереження проміжних результатів розрахунків в обчислювальних вузлах створено спеціалізовану систему на основі високошвидкісних твердотільних накопичувачів *SSD* із швидкістю 600 Мб/с та сукупною швидкістю ~18 Гб/с.

#### АРХІТЕКТУРА СКІТ

Суперкомп'ютер кластерного типу (рис. 1) є сукупністю обчислювальних вузлів, кожний з яких є багатопроцесорним сервером з симетричною багатопроцесорністю та загальною оперативною пам'яттю (*SMP*-архітектура), об'єднаних декількома локальними обчислювальними мережами різного призначення та продуктивності. Серед обчислювальних вузлів виділено окремі вузли для централізованого керування процесом обчислень. До складу суперкомп'ютера входять сервери, спеціалізовані для керування загальними файловими ресурсами та зовнішнім доступом користувачів до кластера. У кластерному комплексі є один чи декілька спеціалізованих обчислювальних вузлів з додатковим обладнанням та програмним забезпеченням, які в невеликих комплексах об'єднані з керівними вузлами.

Кластерний комплекс складається з декількох суперкомп'ютерів кластерного типу, пов'язаних між собою спільною файловою системою та мережами керування. Кластери у комплексі мають спільні структури управління.

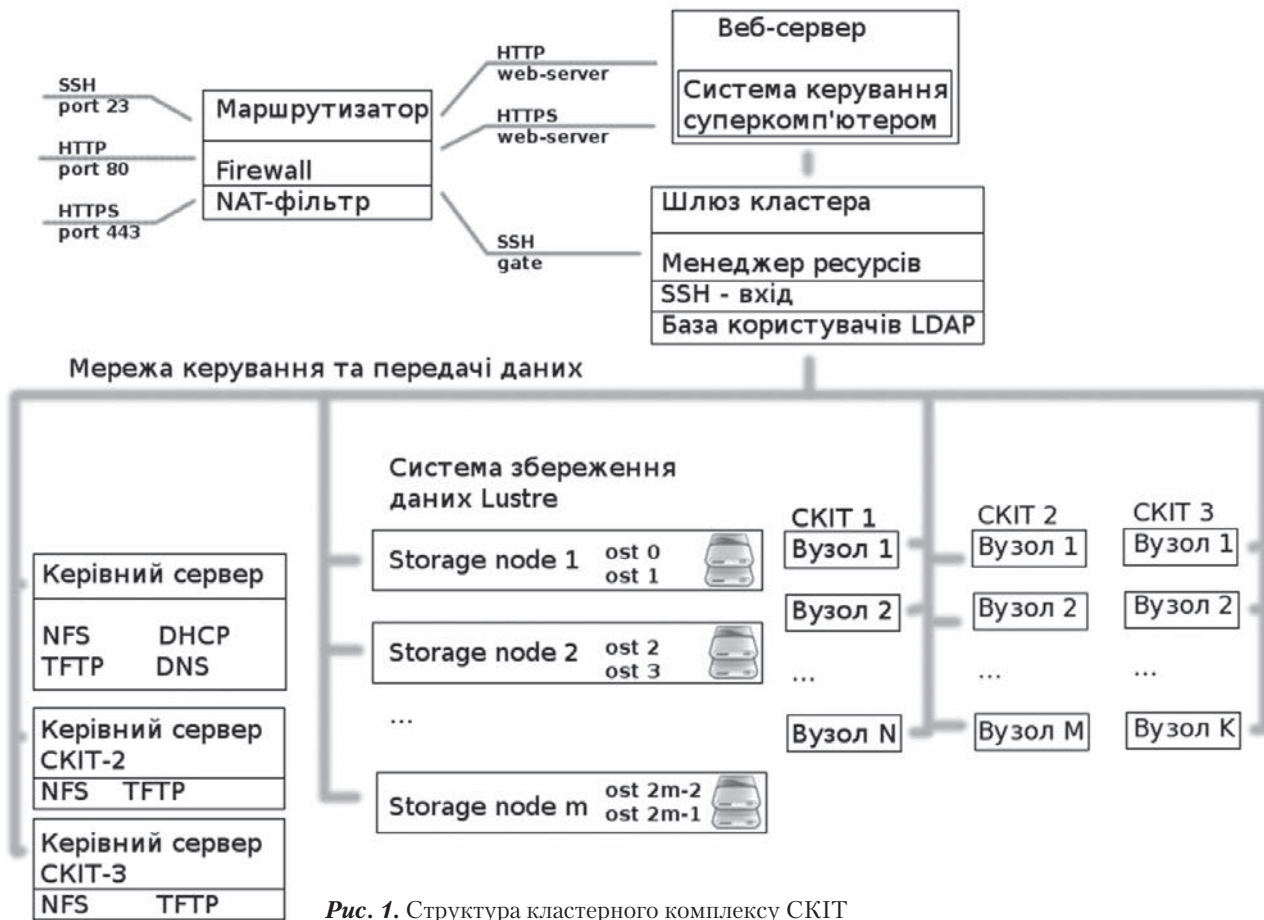


Рис. 1. Структура кластерного комплексу СКІТ

Спеціалізований програмно-технічний комплекс для вирішення задач реконструкції створено на базі кластера СКІТ-4, який базується на платформі *HP ProLiant Gen8 Blade-Systems*, має наступні характеристики:

- ✦ кластер складається з 12 вузлів на базі центральних процесорів *Intel Xeon E5-2600* з частотою ~2,6 ГГц, має 192 обчислювальних ядра, 36 прискорювачів *Nvidia Tesla M2075*, та ~768 Гбайт оперативної пам'яті;
- ✦ інтегрований із сховищем даних кластерного комплексу обсягом ~150 Тбайт;
- ✦ мережа передачі даних між вузлами *Infiniband FDR* становить ~56 Гбіт/с.

Кожен вузол має реальну продуктивність ~1 ТФлопс, 16 ядер (32 ядра у режимі *Hyper-Threading*), ~64 Гбайт оперативної пам'яті, 3 прискорювача *Nvidia Tesla M2075*.

### ЗАВДАННЯ ФОТОГРАМЕТРІЇ

Серед розв'язуваних завдань — у тому числі й фотограмметричні. Метод фотограмметрії передбачає створення хмари точок об'єктів реального світу з фотографій, зафільмованих із різних ракурсів. Хмари точок складають основу тривимірної моделі й фотореалістичної текстури. Фотограмметричний метод є доступним і досить точним способом тривимірного сканування. Вихідні зображення одержуються за допомогою звичайних фотокамер і безпілотних літальних апаратів. Подальше оброблення зображень потребує значних обчислювальних потужностей, адже на персональному комп'ютері обчислення навіть незначного за кількістю фотографій проекту можуть тривати впродовж тижнів або місяців. Крім того, велику кількість високоякісних техніч-



Рис. 2. Пам'ятник Дюкові (герцогу Арману де Ришельє), м. Одеса

них фотографій для сканування складно зберігати, а для розрахунку моделей на основі цих матеріалів необхідна потужна та стабільна обчислювальна техніка. І саме суперкомп'ютер СКІТ [2–5] здатен впоратись із зазначеним обсягом завдань.

Фотограмметрія знаходить своє застосування в багатьох галузях: геодезія, картографія, військова справа, археологія, архітектура та низка інших [6–8]. Складно уявити прогрес в будь-якій галузі без навчання, тестування, вивчення зразків, експериментів, аналізу даних і т. ін. Маючи віртуальний образ об'єкту вже не потрібно кудись їхати, щоб його роздивитись детально. Зокрема, цей метод може бути використаний у вирішенні питання фіксування об'єктів культурної та історичної спадщини за допомогою створення тривимірних моделей. Історичні події, природні явища, людська небалість тощо можуть вносити безповоротні зміни у вигляд об'єктів, що мають значення для людства. Тому важливим є завдання зафіксувати у первісному вигляді все те, що ще не втрачено.

Схожим за своїм значенням є завдання кінематографу — створення тривимірного мультиплікаційного фільму. Кожен об'єкт у віртуальному просторі розробляється, так само, як і для фотограмметрії, єдиною різницею є те, що як вихідний матеріал використовують не фотографії, а малюнки. Найчастіше мультиплі-

кація застосовується в роботі з дітьми. В час великої кількості інформаційних потоків є необхідним і, мабуть, найбільш ефективним способом знайомства дітей з технологіями через мультиплікаційні фільми [9–11].

### Деякі проекти, що виконувалися з використанням кластерної інфраструктури комплексу СКІТ

Наведені приклади створені за допомогою програмного забезпечення RealityCapture [1].

**Пам'ятник Дюкові (герцогу Арману де Ришельє), м. Одеса (рис. 2).** *Опис проекту:* 890 фотографій; час первинного зіставлення позицій камер — 8 годин; розрахунок хмари точок — 36 годин. У підсумку отримано модель розміром 800 млн полігонів.

*Історична довідка.* Арман Емманюель Софія Септіманія де Віньєро дю Плессі, герцог д'Егільбон, герцог де Фронсак, герцог де Ришельє народився 14 (25) вересня 1766 р. в Бордо, округ Бордо, Аквітанія, Франція. Помер 17 травня 1822 р. (Париж, Франція). З 1803 року був градоначальником Одеси. Арман де Ришельє зробив з провінційного містечка, справжній європейський мегаполіс за тогочасними мірками. За що згодом, на його честь, 30 червня 1827 року було закладено пам'ятник, створений видатним скульптором І.П. Мартосом [12].

Переглянути спрощену тривимірну модель пам'ятника можна за посиланням: <https://skfb.ly/Wxу6>.

**Готель «Пасаж», м. Одеса (рис. 3).** *Опис проекту:* 5200 фотографій; час первинного зіставлення позицій камер — 23 години; розрахунок хмари точок — 196 годин. Було отримано модель розміром 2 млрд полігонів.

*Історична довідка.* Готель «Пасаж» — це готельний комплекс і криті торгові ряди, пам'ятник історії та архітектури кінця XIX — початку XX ст. в Одесі, розташований на вулиці Преображенська, 34 (перетин вулиць Дерibasівської та Преображенської, Приморський район).

«Пасаж» побудований на історичному місці — перші будівлі належали двом офіцерам, які отримали ділянку під забудову в кінці XVIII століття й продали для споруди дохідного будинку в 1822 році підприємцем М.А. Крамаревим. Дім було побудовано у 40-х роках XIX ст. Анна Сініцина продала його Моїсею Яковлевичу Менделевичу — купцю першої гільдії. М.Я. Менделевич зніс дохідний будинок і розпочав будівництво «Пасажа» («Пасаж Менделевича»). Авторами проекту були архітектори Лев Влодек (керівник групи) і Товій Фішель, скульптор Самуїл Мільман. Скульптурна група збереглася не в первісному вигляді через пожежу 31 жовтня 1901 року. Знищені були частина групи та башта над головним входом, на розі вулиць Преображенської та Дерибасівської, їх не було відновлено. Основними фігурами групи є Меркурій та Фортуна, що неодноразово повторюються в елементах декору. На момент введення в експлуатацію «Пасаж» було обладнано за найбільш

сучасними стандартами — електричне освітлення, яке забезпечувалося власною електростанцією, парове опалення, телефони, ліфт. У готелі налічувалось 162 комфортабельних номери [13].

Назва будівлі — «Пасаж» в одній з версій перекладу з французької означає «коридор, з обох боків якого розташовані магазини». Після завершення будівництва «Пасаж» являв собою новий тип торговельного центру. Перші поверхи будівлі від самого початку облаштовані як торговельні місця [13].

Завдяки розташуванню, у самому центрі міста, до більшовицького перевороту в Пасажі знаходилися найсолідніші магазини міста: ювелірний — Я. Кохрихта, парфумерний та галантерейний — Л. Аудерского-молодшого, білизни — В. Кацмана, грамофонів та музичних інструментів — Л. Іозефера, гастрономічний — Г. Беккеля, галантереї — Я. Гальперина, посудний — «Товарищества М. Кузнецова», книжковий — «Нового часу» А. Суворина, поштових



Рис. 3. Готель «Пасаж», м. Одеса

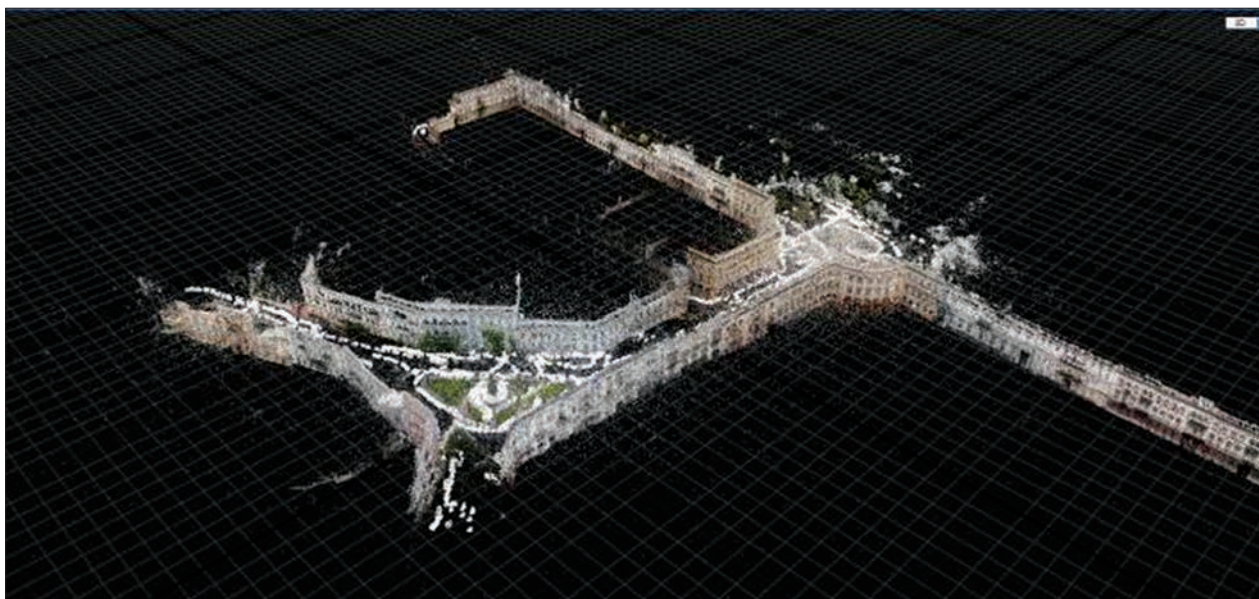


Рис. 4. Приморський бульвар, м. Одеса

листівок — Г. Ейшиського, крім того в Пасажі знаходилася «Придворна фотографія «Пасаж» Я. Белоцерковського». В роки румунської окупації Одеси (1941–1944 рр.) «Пасаж» функціо-

нував у звичайному режимі, навіть зберіг назви магазинів українською мовою [13].

**Приморський бульвар, м. Одеса (рис. 4).**  
Опис проекту: 6000 фотографій; час первин-



Рис. 5. «Chornobyl 360»

ного зіставлення позицій камер — 44 години; розрахунок хмари точок — 220 годин. Отримано модель розміром 1,4 млрд полігонів.

*Історична довідка.* Приморський бульвар (1827—1831 — Новий бульвар, 1831—1857 — Приморський бульвар, 1857—1877 — Міський бульвар, 1919—1941 — бульвар Фельдмана, 1877—1919, 1941—1944 — Миколаївський бульвар) — вулиця в історичному центрі Одеси. Тягнеться від Міської Думи до Воронцовського палацу. Забудовано лише один бік бульвару, інший — це зелений схил до порту. До бульвару тягнуться вулиці Пушкінська, провулки Чайковського й Воронцовського, прилягають до Катеринської й Думської площі, а від бульвару до пасажирського терміналу порту можна дістатися або Потьомкінськими сходами, або ж фунікулером [14].

Під час реконструкції бульвару в 2008 році, після того як зняли асфальтове покриття, в ґрунті було виявлено залишки культури, тіс-

но пов'язаної з грецькою, датовані приблизно VI—V ст. до н.е.; також знайдено фрагменти фортеці Єні-Дунья. Було вирішено не виконувати подальших археологічних досліджень, бо це вимагало б демонтажу всього бульварного покриття, а місце виявлення артефактів накрити скляним куполом, створюючи міні-музей [14].

**«Chornobyl 360» (рис. 5).** *Опис проекту:* 8700 фотографій; час первинного зіставлення позицій камер — 22 години; розрахунок хмари точок — 58 годин. Отримано модель щільністю 1,2 млрд точок.

У рамках документального проекту «Chornobyl 360» було виконано сканування Чорнобильської АЕС (разом із об'єктом «Арка»). За підсумками наземної та повітряної (за допомогою безпілотного літального апарату) зйомок команда проекту отримала понад 20 тис. фотографій для створення тривимірної моделі станції та її оточення.



Рис. 6. Поштова площа, м. Київ

Сканування здійснювалося безпосередньо перед тим, як найбільшу рухому конструкцію в Європі (об'єкт «Арка») було насунуто на старий саркофаг над четвертим енергоблоком (об'єктом «Укриття») на період найближчих 100 років. Проміжні результати цієї роботи було презентовано 18 листопада 2016 року в штаб-квартирі ООН у Нью-Йорку — в межах окремої мультимедійної виставки, відвідувачі якої мали змогу побувати у Зоні відчуження, скориставшись окулярами віртуальної реальності (<http://ukraineun.org/press-center/191-8-lystopada-v-shtab-kvartyri-oon-vidkrytya-multymediyna-vystavka-chornobyl360/>).

**Поштова площа, м. Київ (рис. 6).** *Опис проєкту:* 3800 фотографій; час первинного зіставлення позицій камер — 18 годин; розрахунок хмари точок — 42 години. Отримано модель щільністю 300 млн точок.

У 2015 році, під час початку реконструкції Поштової площі в Києві, археологи віднайшли унікальні артефакти часів Київської Русі — цілі частини мостових, будівель і укріплень, датованих XI—XIII ст. За словами директора Центру археології Києва Інституту археології НАН України кандидата історичних наук Ми-

хайла Сагайдака, впродовж 2015—2016 рр. учені виявили там унікальні знахідки княжої доби й залишки прибережного міського кварталу середньовічного Києва [15]. Відтепер можна стверджувати, що на території Поштової площі розташовувався порт і йшла жвава торгівля.

Як свідчить світова практика, зазвичай такі знахідки стають точками культурного тяжіння для туристичних міст. Результати розкопок на Поштовій площі дають підстави сподіватися на подальше консервування вулиці стародавнього Києва та її відкриття для відвідування — такою, якою вона була в давні часи. Тож під керівництвом Центру археології Києва Інституту археології НАН України команда ГО «*Pixelated Realities*» здійснила фіксацію археологічних розкопів із середньовічними дерев'яними конструкціями та створила їх тривимірну модель станом на червень 2016 року.

За участі вчених Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України було створено тривимірну модель усєї локації та розроблено прототип віртуального екскурсійного туру. Виготовлену на 3D-принтері зменшену модель розкопів було представлено під час прес-



конференції, проведеної 15 липня 2016 року за підтримки Міністерства культури України.

Виконані роботи з оцифрування археологічних знахідок дадуть змогу інакше поглянути на надзвичайно актуальне нині планування комплексу робіт із консервації та музефікації артефактів. Такі 3D-моделі можна друкувати й надсилати іншим дослідникам, а також використовувати для перегляду розкопів різних століть у рамках однієї локації. І це лише один із прикладів практичного застосування технологій, які роблять сучасні музеї не подібними до звичних і цікавими для відвідувачів.

Більше про проект можна дізнатися за посиланням: <https://www.youtube.com/watch?v=-0j5dVaVDMMc>.

**Фортеця Тустань, с. Урич (Соколівський район, Львівська область) (рис. 7).** *Опис проекту:* 9500 фотографій; 560 годин прорахунку на одному вузлі. Отримано хмару щільністю 800 тис. точок.

*Історична довідка.* Тустань — це зруйнована наскельна фортеця-град часів Київської Русі, розташована у Львівській області. Нині від цієї споруди залишилися тільки скелі. На основі археологічних досліджень та за допомогою сканування скель і 3D-моделювання

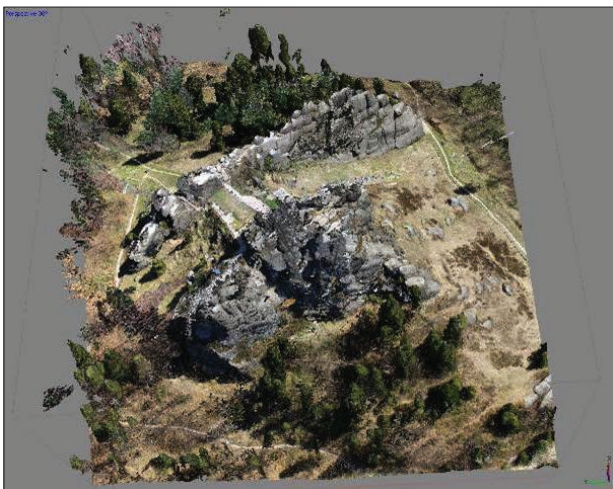


Рис. 7. Фортеця Тустань, с. Урич (Соколівський район, Львівська область)



Рис. 8. «Хмарна кіностудія»

Державний історико-культурний заповідник «Тустань» прагне відновити первісний вигляд фортеці. В Уричі на скелях можна побачити як виглядала фортеця раніше, — завдяки програмі доповненої реальності, створеної двома молодими талановитими розробниками — студентами третього курсу Національного університету «Львівська політехніка». Додаток дає змогу відчувати масштаб забудови та демонструє те, як дерев'яна фортеця була затиснута древніми умільцями поміж стрімких скель.

Посилання на додаток: <http://bit.ly/TustanApp>.

**«Хмарна кіностудія» (рис. 8).** Також 2016 року Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України та його партнери — ТОВ «Panama Grand Prix» та ГО «Pixelated Realities», створили спеціалізований програмно-апаратний комплекс «Хмарна кіностудія», призначений для розв'язання широкого кола завдань, що пов'язані з тривимірним моделюванням. Проект спрямовано на підвищення потужності й розширення сфери застосування суперкомп'ютерного комплексу СКІТ і створеного на його базі кластера СКІТ-4 із 1400 процесорними ядрами, ~170 Тбайт дискового простору, 16-ядерні обчислювальні вузли якого мають ~128 Гбайт оперативної пам'яті, по три прискорювачі *Nvidia Tesla M2075* і з'єднані високошвидкісною мережею *Infiniband FDR* ~56 Гбіт/с.

Архітектура кластера для оброблення зображень і тривимірних сцен принципово відрізняється від звичайних кластерних завдань. На відміну від класичних науково-технічних задач, що працюють у пакетному режимі, де науковець ставить її в чергу, визначає обсяг ресурсів і чекає на завершення, завдання тривимірного моделювання й мультиплікації працюють у потоковому режимі. Дані постійно поповнюються з хмарного сховища, обробляються в інтерактивному режимі, а згенеровані кадри або моделі надсилаються назад до сховища. Для таких завдань характерним є також активне використання графічних прискорювачів та великих обсягів оперативної пам'яті.

Для збереження проміжних результатів розрахунків в обчислювальних вузлах створено спеціалізовану систему на основі високошвидкісних твердотільних накопичувачів SSD зі швидкістю ~600 Мбайт/с та сукупною швидкістю ~18 Гбайт/с.

Розроблена хмарна кіностудія значно розширила сферу застосування СКІТ і викликала значний інтерес у творчій спільноті, зокрема у молодих архітекторів, фотографів і 3D-художників. Хмарну кіностудію було інтегровано в робочий процес анімаційної кіностудії, а партнер проекту виконав розрахунки для першого в Україні повнометражного тривимірного мультиплікаційного фільму «Микита Кожум'яка», який з'явився в українському кінопрокаті в жовтні 2016 року, а в світовому — на початку 2017 року. Середня тривалість обчислення одного кадру фільму склала 4 години. В цілому ж кластер виконав обчислення 50 тис. кадрів, з яких 60 % — увійшли до фінальної версії стрічки.

Результатом виконання проекту стало комплексне апаратно-програмне рішення «Хмарна кіностудія» для розв'язування завдань рендерингу (тобто візуалізації в комп'ютерній графіці).

### ВИСНОВКИ

Досвід виконаних у 2016 році робіт продемонстрував наявність значного інтересу та ринку, а також соціального імпаكتу й нагальних завдань в напрямі тривимірного моделювання й мультиплікації.

Інститут кібернетики працює над створенням спеціалізованих обчислювальних систем, призначених для розв'язання важливих прикладних науково-технічних завдань.

У 2013–2014 рр. було створено віртуальну гідродинамічну лабораторію, в якій розв'язувалися завдання з моделювання динаміки рідин і газів, здійснювалось обчислення динаміки вертолітних лопатей, турбін, обтікання корпусу морського суховантажного судна тощо. Виконання проекту хмарної кіностудії продовжило успішний досвід.

В рамках ініціативи «Хмарна кіностудія» проведено фотограметричні зйомки та надано обчислювальні ресурси для створення тривимірної моделі бюсту Ярослава Мудрого, який зберігається в національному музеї «Софія Київська». Отримані результати було використано при створенні документального фільму «Україна. Повернення історії—2», що вийшов 24 серпня 2017 року.

Важливим є те, що додаткові обчислювальні ресурси комплексу СКІТ можуть використовуватися не тільки в комп'ютерній графіці, а й для задоволення потреб широкого кола користувачів паралельних і грид-обчислень в установах НАН України.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Програмне забезпечення RealityCapture. URL: <https://www.capturingreality.com/Showcase> (дата звернення: 10/05/2017).
2. Загородний А.Г., Свистунов С.Я., Белоус Л.Ф., Головинський А.Л. UA-Grid: Українська національна грид-программа. Міжнар. конференція «Parallel and Distributed Computing Systems» PDCS 2013. Україна, Краків, 13–14 березня, 2013. С. 346–356.

3. Головинський А.Л., Маленко А.Л., Горенко С.О., Бандура О.Ю. Архітектура GPU вузлів обчислювального кластера. *Матеріали міжнар. конференції «High Performance Computing»*. Київ, 12–14 жовтня 2011. С. 70–75.
4. Головинський А.Л., Маленко А.Л., Белоус Л.Ф. Веб-портал системи управління суперкомп'ютером. *Выч. мет. программирование*. 2010. № 11 (4). С. 130–136.
5. Головинський А.Л., Маленко А.Л., Сергієнко І.В., Тульчинський В.Г. Енергоефективний суперкомп'ютер СКІТ–4. *Вісник Національної академії наук України*. 2013. № 2. С. 50–59.
6. Дорожинський О.Л. GPS і фотограмметрія — що це дає? *Вісник геодезії та картографії*. 1999. № 3. С. 16–17.
7. Веприцька К.Д. Особливості фотограмметричних досліджень архітектурно-археологічних пам'яток на прикладі решток Генуезької фортеці в м. Феодосії, АР Крим, Україна. *Науковий вісник будівництва*. 2016. № 2 (84). С. 44–48.
8. Железняк О.О., Чубко Л.С. *Космічна фотограмметрія*. Київ, 2012. 220 с.
9. Сітцева М.В. Роль мультиплікації у розвитку дитини в умовах інформаційного суспільства. URL: <http://www.inforum.in.ua/conferences/12/2/12> (дата звернення: 02.11.2017).
10. Коваленко В.В. Про використання мультиплікаційних фільмів у роботі з молодшими школярами. *II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Наукова молодь 2014»*. URL: [http://conf.iitlt.gov.ua/Conference.php?h\\_id=5](http://conf.iitlt.gov.ua/Conference.php?h_id=5) (дата звернення: 02.11.2017).
11. Гавриш Н.В. Вплив мультфільмів на формування моральної свідомості у дітей. *Вісник Львівського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2013. Ч. II, № 13 (272). С. 103–110.
12. Пам'ятник Арману де Рішельє. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Пам%27ятник\\_Арману\\_де\\_Рішельє](https://uk.wikipedia.org/wiki/Пам%27ятник_Арману_де_Рішельє) (дата звернення: 02.11.2017).
13. Пасаж (Одеса). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Пасаж\\_\(Одеса\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Пасаж_(Одеса)) (дата звернення: 02.11.2017).
14. Приморський бульвар (Одеса). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Приморський\\_бульвар\\_\(Одеса\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Приморський_бульвар_(Одеса)) (дата звернення: 02.11.2017).
15. Сагайдак М.А. *Давньокіївський Поділ: Проблеми топографії, стратиграфії, хронології*. Київ, 1991. 168 с.

Стаття надійшла до редакції 15.05.17

## REFERENCES

1. Software RealityCapture. URL: <https://www.capturingreality.com/Showcase> (Last accessed: 10/05/2017).
2. Zagorodniy, A. G., Svistunov, C. Ya., Belous, L. F., Golovynskiy, A. L. (2013, March) *UA-Grid: Ukrainian National Grid System*. International Conference “Parallel and Distributed Computing Systems” PDCS 2013. Kharkiv, 2013.
3. Golovynskiy, A. L., Malenko, A. L., Gorenko, S. O., Bandura, O. Yu. (2011, October). *GPU architecture archives in the cluster cluster*. International Conference “High Performance Computing”. Kyiv, 2011.
4. Golovynskiy, A. L., Malenko, A. L., Belous, L. F. (2010). “Web-portal of supercomputer management system”. *Comp. meth. of programming*, 11(4), 130–136.
5. Golovynskiy, A. L., Malenko, A. L., Sergienko, I. V., Tylchinsky, V. G. (2013). Energoeffective supercomputer SKIT-4. *Journal of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 50–59.
6. Dorozhynskiy, O. L. (1999). GPS and photogrammetry — what is this? *Journal of geodesy and cartography*, 3, 16–17.
7. Vepricka, K. D. (2016). Features photogrammetric studies architectural and archaeological sites an example remnants of the Genoese fortress in the city. Feodosia, Crimea, Ukraine. *Scientific journal construction*, 2(84), 44–48.
8. Jeleznyak, O. O., Chubko, L. S. (2012). *Space photogrammetry*. Kyiv. 220 p.
9. Sitceva, M. The role of animation in child development in the information society. URL: <http://www.inforum.in.ua/conferences/12/2/12> (Last accessed: 02.11.2017).
10. Kovalenko, V. V. On the use of animated films to work with younger students. *II National Scientific Conference of Young Scientists “Scientific young 2014”*. URL: [http://conf.iitlt.gov.ua/Conference.php?h\\_id=5](http://conf.iitlt.gov.ua/Conference.php?h_id=5) (Last accessed: 02.11.2017).
11. Gavrish, N. V. (2013). The influence of cartoons on the formation of moral consciousness in children. *Journal of Lviv National Taras Shevchenko University, Part II*, 13(272), 103–110.
12. Pam'yatny`k Armanu de Rishel'ye. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Пам%27ятник\\_Арману\\_де\\_Рішельє](https://uk.wikipedia.org/wiki/Пам%27ятник_Арману_де_Рішельє). (Last accessed: 02.11.2017).
13. Pasazh (Odesa). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Пасаж\\_\(Одеса\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Пасаж_(Одеса)) (Last accessed: 02.11.2017).

14. Pry`mors`ky`j bul`var (Odesa). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Приморський\\_бульвар\\_\(Одеса\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Приморський_бульвар_(Одеса)) (Last accessed: 02.11.2017).
15. Sagaydak, M. A. (1991). *The ancient Kyiv Division: Problems topography, stratigraphy, chronology*. Kyiv. 168 p.

Received 15.05.17

*Golovynskyi, A., Malenko, A., and Roganova, O.*  
Glushkov Institute of Cybernetic, the NAS of Ukraine,  
40, Glushkov Ave., Kyiv, 03187, Ukraine,  
+380 44 526 2008, fax +380 44 526 7418, incyb@incyb.kiev.ua

SUPERCOMPUTER AS A PLATFORM  
FOR INNOVATION DEVELOPMENT

**Introduction.** The largest in Ukraine supercomputer complex SKIT with total peak performance of reaching 43 trillion operations per second operates at the Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine. The supercomputer effectively solves the tasks of the widest possible spectrum, from the study of the Earth's interior to linguistic studios, from genetics to modeling the evolution of black holes.

The complex has found one of its applications in solving photogrammetric problems within the framework of R&D project of the NAS of Ukraine in partnership with Pixelated Realities NGO that deals with the promotion of digital methods for restoration, reconstruction, and research of objects of cultural heritage and with planning and revitalization of urban space.

**Purpose.** The purpose of the project is to create a specialized hardware and software complex based on the SKIT supercomputer to solve the resource-intensive photogrammetric problem.

**Materials and methods.** The software and hardware complex is based on original architecture of the SKIT supercomputer and photogrammetric method of building 3D scenes, which is reproducing the 3D objects by photographs. The task of photogrammetry involves the processing of several ten thousand photographs to create 3D scanned images of monuments, historic buildings, archaeological excavations, and urban objects using RealityCapture software.

**Research results.** The project innovative result is the creation of the first in Ukraine specialized software and hardware system that uses high-performance computations to solve the problems of 3D reconstruction by photographs. Also, the Institute of Cybernetics, together with its partners, has developed Cloud Studio specialized hardware and software system.

**Conclusions.** The creation of specialized supercomputer segment and examples of its use have demonstrated the effectiveness of such solutions in 3D modeling and animation, as well as the presence of a significant interest and a large market of supercomputer technologies. The Cloud Studio continues a successful experience of creating specialized computing systems designed to solve important applied R&D problems.

*Keywords:* photogrammetry, 3D modeling, and supercomputer.

*А.Л. Головинский, А.Л. Маленко, Е.Ю. Роганова*  
Институт кибернетики НАН Украины,  
проспект Академика Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,  
+380 44 526 2008, факс +380 44 526 7418, incyb@incyb.kiev.ua

СУПЕРКОМПЬЮТЕР КАК ПЛАТФОРМА  
ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

**Введение.** В Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины функционирует наибольший в Украине суперкомпьютерный комплекс СКИТ, общая пиковая продуктивность которого достигает 43 трлн операций в секунду. Суперкомпьютер эффективно решает задания максимально широкого спектра — от исследования недр Земли до лингвистических студий и от генетики до моделирования эволюции черных дыр.

Одно из своих применений комплекс нашел в рамках научно-технического проекта НАН Украины во время решения задачи фотограмметрии при партнерстве с Общественной Организацией «*Pixelated Realities*», которая занимается продвижением цифровых методов как для реставрации, реконструкции, исследования объектов культурного наследия, так и для планирования и реализации (оживления) городского пространства.

**Цель.** Создание специального программно-аппаратного комплекса на базе суперкомпьютера СКИТ для решения ресурсоемкой задачи фотограмметрии.

**Материалы и методы исследования.** Программно-аппаратный комплекс создан на базе оригинальной архитектуры суперкомпьютера СКИТ и фотограмметрического метода создания трехмерных сцен, которое заключается в воссоздании 3D-объекта по фотографиям. Задача фотограмметрии предусматривает обработку десятка тысяч фотографий для создания трехмерных сканированных образов памятников, исторических строений, археологических раскопок и урбанистических объектов с использованием программного обеспечения *Reality Capture*.

**Результаты исследования.** Инновационным результатом проекта есть создание первого в Украине специального программно-аппаратного комплекса, который использует высокопродуктивные вычисления для решения заданной трехмерной реконструкции по фотографиям. Также в Институте кибернетики вместе с партнерами разработано специальный программно-аппаратный комплекс «Облачная киностудия».

**Выводы.** Создание специального суперкомпьютерного сегмента и примеры его использования продемонстрировали эффективность таких решений в направлении трехмерного моделирования и мультипликации, а также наличие большого интереса и значительного рынка суперкомпьютерных технологий. «Облачная киностудия» продолжила успешный опыт создания специализированных вычислительных систем, предназначенных для решения важных прикладных научно-технических задач.

*Ключевые слова:* фотограмметрия, трехмерное моделирование, суперкомпьютер.