А. В. ГОНЧАР, С. О. ДОВГИЙ, М. А. ПОПОВА

Національний центр «Мала академія наук України», Київ, Україна

ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО КОНСОЛІДАЦІЇ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ ТА ГІС

Розвиток інформаційного суспільства, становлення економіки знань, впровадження новітніх технологій ІТ-індустрії забезпечили можливість безкоштовного масового доступу до оцифрованого надбання світової цивілізації із залученням засобів доповненої та віртуальної реальності у тривимірному просторі. Лідерами у моделюванні тривимірної геометрії реальних об'єктів збереження історико-культурної спадщини є технології 3D-панорам та 3D ГІС, поєднання можливостей яких до сьогодні не набуло широкого поширення. **Предметом** вивчення статті є процеси консолідації онтологічних 3D-моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини та геоінформаційних систем для формування віртуальних екскурсійних маршрутів, що надасть нових можливостей у дослідженні світової культурної, історичної, наукової цифрової документальної спадщини за рахунок інтеграції трансдисциплінарних розподілених інформаційних ресурсів, що описують обраний об'єкт, в єдиний інформаційно-дослідницький простір. **Метою** статті є підвищення ефективності взаємодії користувачів з розподіленими інформаційними ресурсами та музейними системами знань, шляхом побудови моделей і розробки методу, а на їх основі – інформаційної технології формування трансдисциплінарних віртуальних музейних просторів, реалізації онтологічної взаємодії в їх середовищах з інтегрованим використанням просторово-розподіленої інформації на засадах інтеграції з геоінформаційними системами через онтологічний інтерфейс. **Завдання:** проаналізувати сучасні підходи та найпоширеніші програмні засоби для 3D-моделювання об'єктів збереження історико-культурної спадщини; розробити інфологічну модель онтологічного екскурсійного маршруту; формалізувати процес динамічного перерозподілу об'єктів збереження історико-культурної спадщини протягом екскурсії; розробити алгоритм консолідації 3D-моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини та ГІС для формування екскурсійного маршруту. Для досягнення поставленої мети використовувався комплекс **методів:** для розробки операціональних онтологічних моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини – системний аналіз, теорія множин, теорія графів, для формалізації представлення знань – алгебрологічний та аксіоматичний методи; для програмної реалізації інформаційної технології – шаблони проектування та об'єктно-орієнтований аналіз. Отримані наступні **результати:** аналіз програмних рішень для тривимірного представлення та аналізу даних в ГІС дозволив визначити, що більшість з них призначені лише для візуалізації геометрії та не мають засобів управління інформацією; показано, що найбільш придатною для практичної реалізації з точки зору залучення часових, трудових та фінансових ресурсів є ГІС з інтегрованими 3D-панорамами об'єктів збереження історико-культурної спадщини; визначено, що онтологічний підхід до консолідації різноформатних даних, створених за різними стандартами та технологіями, що забезпечує вирішення проблем гетерогенності та інтеперабельності трансдисциплінарних розподілених інформаційних ресурсів, які описують об'єкти збереження історико-культурної спадщини, є найбільш доцільним та ефективним; наведено алгоритм консолідації 3D-моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини та ГІС для формування екскурсійного маршруту; представлена онтологічна модель екскурсійного маршруту, таксономія якої реалізована у вигляді графу. **Висновки.** Розроблено концептуальні та системотехнічні засади трансдисциплінарного представлення моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини з інтегрованим використанням розподіленої інформації, зокрема геоінформаційної, включаючи формат онтологічної взаємодії у вигляді екскурсії в ГІС-середовищі.

Ключові слова: 3D-панорама; геоінформаційна система; онтологія; об'єкт збереження історико-культурної спадщини; екскурсійний маршрут.

Вступ

Останніми роками процес розвитку цифрового суспільства призвів до необхідності налагодження дистанційної комунікації. При цьому пріоритетними

завданнями постали організація географічно розподілених робочих місць, систем, баз даних і знань в єдиному середовищі, та якісна візуалізація інформації, що спрощує її сприйняття, аналіз та засвоєння, а також забезпечення гнучкості та адаптивності фун-

кціоналу простору взаємодії користувачів.

Становлення інформаційного суспільства та економіки знань збагатило словник сучасної людини поняттям «віртуальність», що увійшло в ужиток не лише в контексті інформаційно-комунікаційної галузі, промисловості, бізнесу, а й культури та освіти. Яскравою ілюстрацією цього факту в світовому масштабі є розуміння необхідності захисту накопичених в html-форматі глобальних знань, досягнення міжнародного консенсусу щодо збору, збереження і поширення цифрової форми документальної спадщини, про що йдеться в «Хартії ЮНЕСКО про збереження цифрової спадщини» [1]. За останні кілька років доступ до глобальних інформаційних ресурсів зазнав якісних змін: провідні об'єкти збереження спадщини (музеї, бібліотеки, архіви тощо) світу здійснили перехід від пасивної форми взаємодії із надбаннями цивілізації (оцифровані колекції, електронні зібрання, бази даних тощо) до активної, забезпечивши можливості віртуальної подорожі по осередках історичного, культурного, наукового знання. Новітні технології доповненої та віртуальної реальності, інтерактивні елементи, тривимірні інтерфейси перетворилися на невід'ємний атрибут сучасного цифрового об'єкту збереження спадщини.

Відносно новою технологією створення віртуальних маршрутів для турів та екскурсій, що раніше застосувалася виключно в географії, землеустрої, цивільному будівництві, розвитку транспортної інфраструктури, міському плануванні будь-якого масштабу, архітектурному проектуванні та інших галузях, що вимагають збереження і аналізу даних зі схематичного розташування об'єктів в просторі, є географічна інформаційна система (ГІС). Хоча основою ГІС є цифрова карта, створена у векторній або растровій графіці, так само як тривимірна панорама і панорамне фото, вона являє собою графічну візуалізацію просторових даних про об'єкт. ГІС включає дані про розміри і пропорції об'єктів, їх взаємне розташування, а 3D-панорами – їх зовнішні характеристики в панорамному фото.

Хоча головною і незаперечною перевагою 3D-панорами над геоінформаційними системами є достовірність і реалістичність зображень не тільки за розмірними і пропорційними даними, але і за наочним кольоровим і текстурним рішенням, проте створити віртуальний маршрут між об'єктами збереження спадщини неможливо без консолідації ГІС з 3D-моделлю об'єкту збереження спадщини. Такий тандем є ефективним і найперспективнішим інструментом при створенні цифрової, але в той же час натуральної системи для найбільш точної передачі якомога повнішої інформації про реально існуючий об'єкт дослідження у віртуальному просторі.

Метою статті є представлення рішення для підвищення ефективності взаємодії користувачів з розподіленими інформаційними ресурсами та музейними системами знань, шляхом побудови моделей і розробки методу, а на їх основі – інформаційної технології формування трансдисциплінарних віртуальних музейних просторів, реалізації онтологічної взаємодії в їх середовищах з інтегрованим використанням просторово-розподіленої інформації на засадах інтеграції з геоінформаційними системами через онтологічний інтерфейс.

Структура статті є наступною: в розділі 1 наведені методи та програмні рішення для створення 3D-моделей об'єкту збереження історико-культурної спадщини за допомогою лазерного сканування та панорамних фотографій. В розділі 2 представлені характеристики та програмні рішення 3D ГІС для формування екскурсійних маршрутів між 3D-моделями об'єктів збереження спадщини. Розділ 3 містить класифікацію даних для консолідації 3D-моделі об'єкту збереження історико-культурної спадщини, моделювання його оточення на місцевості та прокладання маршруту для екскурсії в ГІС. В розділі 4 описаний онтологічний підхід до консолідації 3D-моделей об'єктів збереження спадщини та ГІС для формування екскурсійного маршруту, наведений його алгоритм та представлена інфологічна модель онтологічного екскурсійного маршруту. У висновках наведені короткі результати та плани подальших досліджень.

1. 3D-моделювання об'єкту збереження історико-культурної спадщини

Сьогодні найпопулярнішими методами створення 3D-моделі об'єкту збереження історико-культурної спадщини є цифрові панорамні фото- та відеофіксації, в тому числі за допомогою БПЛА [2], та лазерне сканування [3].

Технологія наземного лазерного сканування дозволяє в короткі терміни отримати тривимірне зображення об'єкта у вигляді дискретних точок як з просторовими координатами (x, y, z), так і з якісними характеристиками поверхні (інтенсивність поглинання світла, колір тощо). Завдяки точності позиціонування і щільності вимірювань стає можливим аналіз об'єкта в цілому, що дозволяє найбільш повно відобразити його в моделі. Висока швидкість зйомки лазерного сканера (до декількох тисяч і навіть десятків тисяч вимірювань в секунду) і вбудований сервопривід дозволяють скоротити час польових робіт і звести до мінімуму вплив людського фактора при вимірах. Також важливою перевагою використання даної технології є зйомка недоступних або важкодоступних об'єктів за рахунок того, що лазерні

сканери ведуть зйомку на значній відстані в безвідбивному режимі.

Для 3D-моделювання об'єкту збереження історико-культурної спадщини за даною технологією використовують спеціалізовані програми, призначені для обробки даних лазерного сканування (наприклад, Real Works Survey (RWS), 3Dipsos), які дозволяють виконувати моделювання декількома способами, що дуже важливо для об'єктів спадщини, де щільність експонатів вкрай висока і багато з них є важкодоступними, та програмні продукти для тривимірного проектування (наприклад, Autodesk Inventor, Autodesk Civil 3D). Створена за допомогою лазерного сканування тривимірна модель об'єкту збереження історико-культурної спадщини може бути перетворена програмними засобами на набір креслень, розрізів і перетинів, які є складовою частиною стандартної проектної документації при будівництві. Таким чином, цю модель можна використовувати для підтримки дослідницької діяльності архітекторів, істориків тощо.

Попри всі переваги, технологія лазерного сканування є дорогою, а методи обробки даних ще продовжують розвиватися.

Процес створення 3D-моделі об'єкту збереження історико-культурної спадщини з фотопанорами складається з фотозйомки об'єкту, обробки і компонування зображень, створення кінцевих файлів. Для високоякісної панорамної фотозйомки рекомендується використання штатива і спеціальної панорамної головки, цифрового фотоапарата, об'єктива (ширококутового або типу Fisheye), спускового троса для фотокамери [4]. По завершенні процесу фотозйомки та створення рівнокутної проекції для формування безперервного безшовного панорамного зображення виконується зшивання серії вихідних фотознімків: приведення їх до вигляду, придатного для зшивання (циліндричної або сферичної проекції); власне зшивання (суміщення однакових елементів, що знаходяться в суміжних загальних областях знімків); змішування зображень з метою вирівнювання їх яскравості, контрастності і колірної тональності.

На сьогодні існує безліч як комерційних (Adobe Photoshop, Pano2VR, Easypano Panoweaver, ArcSoft Panorama Maker, Panorama Plus Starter Edition/X4) так і безкоштовних або тих, що мають безкоштовну пробну версію (Autopano Pro/Giga, Hugin, Microsoft Image Composite Editor), програм для створення 3D-панорам. Найпоширенішим ПЗ є програмний продукт PTGui, що має багатий спектр засобів для створення панорам і володіє зрозумілим інтерфейсом.

Останнім етапом 3D-моделювання об'єкту збереження історико-культурної спадщини є об'єднан-

ня серії готових 3D-панорам в так звані віртуальні тури або прогулянки, де перехід від однієї панорами до іншої здійснюється через активні зони, розміщені безпосередньо на зображеннях у вигляді елементів навігації та/або плану приміщень. Найчастіше для цього використовується Pano2VR, що дозволяє не лише сформувати шаблон з використанням плану приміщень і задати логіку навігації в рамках віртуального туру, а й прив'язати до активних точок елементи мультимедіаконтента, використовуючи інтерфейс розробника (Flash API).

3D-модель об'єкту збереження історико-культурної спадщини є основним джерелом інформації для створення 3D ГІС, в якій далі формується маршрут для віртуальної екскурсії.

2. 3D ГІС для формування екскурсійних маршрутів між 3D-моделями об'єктів збереження спадщини

Традиційно ГІС призначена для зберігання та аналізу інформації про просторові явища з метою отримання знань про навколишній світ. Згідно з [5] функціональність ГІС включає збір, структурування, маніпулювання, аналіз та представлення даних. Тривимірні геоінформаційні системи – 3D ГІС – дозволяють побачити територію з розташованими на ній об'єктами в 3D форматі, такими, якими вони виглядають в реальному житті. Дійсно, 3D ГІС націлена на забезпечення тих же функцій, що і 2D ГІС, однак, на жаль, таких 3D-систем, що здатні автономно повною мірою забезпечити процес створення та використання об'єктів збереження історико-культурної спадщини, на ринку майже немає. Для вилучення та управління необхідною інформацією, її аналізу та представлення, в тому числі у тривимірному вигляді, використовується декілька видів програмного забезпечення одночасно (наприклад, 2D ГІС, СУБД і САПР). Через недоліки всіх систем для обробки 3D-об'єктів дані часто розподіляються між декількома системами. Наприклад, одна система використовується для зберігання даних, а інша – для 3D-візуалізації. Ця ситуація часто виникає через проблеми неузгодженості, що призводить до зайвих витрат часу, зусиль і грошей для пошуку відповідного рішення.

На сьогоднішній день є кілька готових комерційних рішень, які можна віднести до категорії систем тривимірного представлення та аналізу даних. Значну частку ринку ГІС займають наступні системи, що пропонують деякі функції обробки тривимірних даних: 3D Analyst з ArcGIS (ESRI Inc.), Imagine VirtualGIS (ERDAS Inc.), gvSIG (gvSIG Association). Також зустрічаються приклади інтеграції додатків управління даними про реальні об'єкти (найчастіше

архітектурні та будівельні конструкції) з ГІС на прикладі платформ Autodesk Revit Series, Google Earth, Autodesk Infraworks, Autodesk 360, Autodesk Civil 3D, LandXplorer CityGML Viewer, QGIS та VISSIM.

Наведені програмні рішення зазвичай орієнтовані на візуалізацію геометрії, а не на моделювання геоданих (включаючи топологію і тематичні атрибути) або на виконання аналізу тривимірних геопросторових і тимчасових даних. Всі проаналізовані системи мають незначне забезпечення функціональності 3D ГІС з точки зору тривимірного структурування, тривимірного маніпулювання і тривимірного аналізу, але більшість з них можуть ефективно обробляти тривимірні дані в аспекті тривимірної візуалізації. Повністю інтегроване рішення 3D ГІС ще не було запропоновано постачальниками ГІС загального призначення.

І хоча наше життя протікає в трьох вимірах, комерційні ГІС до недавнього часу в основному обмежувалися обробкою даних тільки двох вимірів. Не вистачало як відповідного обладнання, так і програмного забезпечення, і причиною цього недоліку було недостатнє і дороге отримання 3D-геоданих. Очевидною причиною відсутності реалізації практичної повнофункціональної тривимірної ГІС є те, що перехід до 3D означає ще більшу різноманітність типів об'єктів і просторових відношень, а також дуже великі обсяги неструктурованих даних. Повнофункціональна 3D ГІС повинна бути справжньою 3D ГІАС (географічною інформаційною та аналітичною системою).

3. Консолідація 3D-моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини та ГІС

Під консолідацією розумітимемо комплекс методів і процедур, спрямованих на вилучення різноформатних даних, створених за різними стандартами та технологіями, з трансдисциплінарних розподілених джерел, забезпечення необхідного рівня їх якості та інформативності та представлення в уніфікованому вигляді.

Вихідними даними для консолідації тривимірної моделі об'єкту збереження історико-культурної спадщини, моделювання його оточення на місцевості та прокладання маршруту для екскурсії є:

- векторна карта – сукупність описів паспортичних даних про аркуш карти (масштаб, проекція, система координат, прямокутні і геодезичні координати кутів аркуша тощо), метричних даних об'єктів карти (координати об'єктів на місцевості) і семантичних даних об'єктів карти (різні властивості об'єктів);

- матриця висот, що містить абсолютні висоти рельєфу місцевості, де розташовані об'єкти збереження спадщини;

- триангуляційна модель рельєфу, що містить трикутники нерегулярної мережі, що описують поверхню місцевості;

- класифікатор карти – сукупність описів шарів векторної карти, видів об'єктів та їх умовних позначень, видів семантичних характеристик і прийнятих ними значень, представлених в цифровому вигляді;

- бібліотека тривимірних моделей об'єктів, що містить описи об'ємного виду об'єктів;

- цифрові фотознімки місцевості і цифрові фотографії об'єктів місцевості.

При відображенні тривимірних моделей внутрішніх приміщень також можуть бути використані окремі об'єкти і цілі інтер'єри, створені в різних програмах редагування тривимірних зображень та імпортовані до бібліотеки тривимірних зображень класифікатора векторної карти ГІС.

Для тривимірної візуалізації в 3D ГІС потрібні відповідні засоби тривимірного просторового аналізу, що дозволяють легко переміщуватися між великими моделями в режимі реального часу. Дослідження попиту на 3D ГІС демонструють перевагу вибору користувачів на користь фототекстурування, що викликає необхідність зберігати додаткові дані (значення параметрів моделі) для накладення на геометрію.

Отже, найбільш придатною для практичної реалізації з точки зору залучення часових, трудових та фінансових ресурсів є інтегрована ГІС з 3D-моделюванням об'єкту збереження історико-культурної спадщини з фотопанорами.

4. Онтологічний підхід до консолідації 3D-моделей об'єктів збереження спадщини та ГІС для формування екскурсійного маршруту

ГІС, в сенсі інтеграції семантичних і геометричних даних і просторових відношень, здається найбільш придатною системою для забезпечення аналізу великого обсягу даних і, таким чином, для обслуговування безлічі додатків і рутинних дій. Тому розробники, які працюють з просторовою або семантичною інформацією, вже багато років намагаються досягти функціональності ГІС. Розробники САПР (як то Autodesk) створюють засоби для зв'язування двовірної і тривимірної геометрії з семантичними даними і організації топологічно структурованих шарів. Розробники СУБД (Oracle, Informix) вводять просторові дескриптори для подання геометричних

даних і підтримують їх разом з семантичними даними. Консенсусом про спосіб подання, забезпечення доступу і організацію розповсюдження просторової інформації є специфікації OpenGIS, що дозволяють скерувати зусилля розробників програмних засобів і дослідників з різних галузей знань в одному напрямку – розробці функціональної ГІС. В результаті змінюється роль СУБД, яка має стати гео-СУБД – інтегрованим «контейнером» семантичних і геометричних властивостей реальних об'єктів, що надасть функціональні можливості для зберігання, вилучення та аналізу просторових даних.

Незважаючи на те, що існує досить значна кількість робіт, присвячених структуруванню тривимірних даних, дослідження зосереджені навколо декількох основних ідей, оскільки рівень явно описаних просторових відношень варіюється. Кожна запропонована структура даних демонструє ефективність і недоліки по відношенню до конкретних програм і операцій, які необхідно виконати. Проте, для забезпечення повної функціональності тривимірної ГІС мають бути вирішені питання тривимірної буферизації, найкоротшого тривимірного маршруту та тривимірної взаємозалежності, які є одними з найбільш привабливих для дослідження. Інтеграція об'єктно-орієнтованих підходів з 3D ГІС зміщує дослідні акценти зі стандартних дескрипторів об'єктів і операцій в бік баз даних.

Так, при формуванні маршруту віртуальної екскурсії необхідним кроком є додавання до змодельованих об'єктів збереження історико-культурної спадщини їх характеристик, а, отже, і створення бази даних. Засобами сучасних програмних рішень на тривимірній моделі можна створити необхідне число активних зон, за допомогою яких здійснюється перехід за гіперпосиланням на розподілені інформаційні ресурси (бази даних, електронні системи, текстовий, табличний, мультимедіа-контент тощо) або запит до внутрішньої бази даних, де зберігається інформація про екземпляри (експонати) об'єкту збереження історико-культурної спадщини. Однак такий спосіб забезпечення доступу до інформаційних ресурсів супроводжується не лише організаційними труднощами (часові, трудові та фінансові витрати), адже завжди існує ризик втрати інформації через зміну віртуальної адреси інформаційного ресурсу, але й вимагає вирішення ряду таких проблем як гетерогенність та інтеоперабельність трансдисциплінарних інформаційних ресурсів, що описують екземпляри (експонати) об'єкту збереження історико-культурної спадщини. Використовуючи базу даних, можна швидко і ефективно читати, вносити, змінювати і видаляти дані, однак при формуванні маршруту для віртуальної екскурсії необхідно забезпечити агрегацію, інтеграцію та узгодженість

інформаційних ресурсів, включених до 3D-моделей інших об'єктів збереження історико-культурної спадщини, створених у різних форматах за різними стандартами та технологіями.

Комп'ютерні онтології є перспективним рішенням для інтеграції гетерогенних джерел даних, що забезпечують вирішення проблем структурної та семантичної гетерогенності даних, їх інтеоперабельності, усунення неузгодженості та невизначеностей тощо. Сьогодні онтології є істотним елементом багатьох прикладних програм, використовуються в агентних системах, системах керування знаннями, електронній комерції, робототехніці, телекомунікаціях, медицині, усяди. Формування віртуальної екскурсії як системи знань про об'єкти збереження історико-культурної спадщини, що представляється у вигляді інтегрованого, розподіленого в мережі інформаційного контенту, найбільш ефективно реалізовувати на основі онтології, як семантичної моделі предметної області. Також онтологія може слугувати ефективним інструментом пошуку та агрегації інформації з гетерогенних джерел, представлення та інтерпретації трансдисциплінарної інформації в процесі досліджень [6, 7].

Онтологічний підхід до консолідації 3D-моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини та ГІС забезпечує комунікацію між системами (ГІС та 3D-панорамою), між користувачами і системами (виступаючи в ролі «єдиного вікна» доступу до семантично пов'язаних контекстів інформаційних ресурсів) та користувачів між собою (визначаючи загальний словник користувачів, яким потрібно спільно взаємодіяти з інформацією). Структура онтології дозволяє відобразити специфічні задачі інтегрованого інформаційного середовища та надає можливостей для їх вирішення в середовищі онтографу за відсутності необхідних засобів аналітики в середовищі геоінформаційної системи [8].

Алгоритм консолідації 3D-моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини та ГІС для формування екскурсійного маршруту включає наступні кроки:

1. Створення 3D-моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини з фотопанорам.
2. Формування онтології об'єктів збереження історико-культурної спадщини та її інтеграція до створених 3D-моделей (рис. 1).
3. Створення 3D ГІС для інтеграції онтомоделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини.
4. Формування онтологічного екскурсійного маршруту (рис. 2).

Рис. 1. Інтеграція онтології та 3D-панорами

Інфологічна модель онтологічного екскурсійного маршруту формально може бути представлена наступним чином:

$$O_{\text{route}} = \{X, R, F, D_o, D_{\text{GIS}}\}, \quad (1)$$

де X, R, F – кінцеві множини відповідно:

X – множина об'єктів збереження історико-культурної спадщини, включених до маршруту $X = \{X_M, X_L, X_A, \dots, X_{\text{obj}}\}$,

де X_M – множина музеїв, $(x_{M_1}, \dots, x_{M_n}) \in X_M \mid X_M \subset X$;

X_L – множина бібліотек, $(x_{L_1}, \dots, x_{L_n}) \in X_L \mid X_L \subset X$;

X_A – множина архівів, $(x_{A_1}, \dots, x_{A_n}) \in X_A \mid X_A \subset X$;

X_{obj} – множина інших визначних об'єктів, $(x_{\text{obj}_1}, \dots, x_{\text{obj}_n}) \in X_{\text{obj}} \mid X_{\text{obj}} \subset X$;

R – множина відношень між об'єктами збереження історико-культурної спадщини, що визначають напрям та послідовність включення до маршруту $R = \{R_M, R_L, R_A, \dots, R_{\text{obj}}\}$;

F – множина функцій інтерпретації X та/або R ;

D_o – множина онтологічних описів кроків, з яких формується маршрут;

D_{GIS} – множина описів дій, виконуваних в ГІС для синхронізації відображення онтологічного екскурсійного маршруту.

Основою онтології екскурсійного маршруту є таксономія, представлена множиною дводольних графів $G = (N, E)$, вершинами яких є імена об'єктів збереження історико-культурної спадщини N ,

Рис. 2. Формування онтологічного екскурсійного маршруту

$(N_{obj_1}, \dots, N_{obj_n}) \in N_{obj} \mid N_{obj} \subset N$, об'єднані в класи (за приналежністю до типу об'єкту збереження спадщини – музей, бібліотека, архів тощо), а дугами – семантичні відношення між ними E , на основі яких об'єкти згруповані в класи за своїми властивостями

$$(G_M, G_L, G_A, \dots, G_{obj}) \in G_{route}. \quad (2)$$

Оскільки в реальному житті екскурсійний маршрут не є гомогенним, тобто таким, що включає в себе об'єкти збереження спадщини лише одного типу (наприклад, лише музеї, присвячені життю та творчості Т. Г. Шевченка), передбачений динамічний перерозподіл об'єктів протягом екскурсії (наприклад, *погруддя* Т. Г. Шевченка на станції метро Університет (1) – *пам'ятник* Шевченкові у Києві на вул. Терещенківській (2) – *Національний музей* Тараса Шевченка (3) – *бюст* Т. Г. Шевченка на фасаді

Національного академічного театру опери та балету України (4) – *Літературно-меморіальний будинок-музей* Т. Г. Шевченка (5) – *Михайлівський Золотоверхий монастир* у Києві, що зображений на акварелі Т. Г. Шевченка 1846 р. (6) на рис. 2), що може призвести до утворення нових класів об'єктів таксономії [7, 9]:

$$G_M \cup G_L = G(N, E) \mid N_M \subseteq N, N_L \subseteq N;$$

$$E_M \subseteq E, E_L \subseteq E, \quad (3)$$

$$N_M \cap N_L = \{N \mid N \in N_M, N \in N_L\}. \quad (4)$$

Процес формування екскурсійного маршруту в середовищі таксономії зводиться до вирішення задачі комівояжера на графі, після чого відображається в середовищі ГІС.

5. Синхронізація онтологічного екскурсійного маршруту з 3D ГІС (рис. 3).

Рис. 3. Консолідація фрагменту екскурсійного маршруту (онтологічної 3D-моделі об'єкту збереження історико-культурної спадщини) з 3D ГІС

Висновки

Консолідація геоінформаційних систем з 3D-панорамою дозволить створити інноваційний інструмент формування екскурсійних маршрутів віртуальними музеями, що надасть нових можливостей у дослідженні світової культурної, історичної, наукової цифрової документальної спадщини.

Онтологічний підхід до консолідації 3D-моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини та ГІС для формування екскурсійного маршруту є універсальним та враховує особливості області знань, репрезентацією якої є об'єкт збереження спадщини за рахунок трансдисциплінарної інтеграції розподілених інформаційних ресурсів, що описують онтологічну модель обраного об'єкту. Запропонований підхід автоматизує формування екскурсійного маршруту та його складових (віртуальних екскурсій окремих об'єктів збереження спадщини) шляхом створення онтологічних описів кожного кроку. Використання описаного підходу до формування екскурсійного маршруту дозволяє автоматизувати його відображення в ГІС, що є відмінною рисою систем реального часу, адже в залежності

від наявних даних може бути обраний найбільш оптимальний маршрут за найкоротший період часу.

Застосування онтології області знань в якості інформаційної моделі об'єкту збереження історико-культурної спадщини дозволить автоматизувати формування інформаційно-дослідницького середовища, яке найбільше відповідає рівню підготовки та науковому профілю дослідника.

Подальші дослідження будуть присвячені детальнішому розгляду процесу автоматизованої генерації екскурсійних маршрутів з наборів онтологій тривимірних моделей об'єктів збереження історико-культурної спадщини та програмній реалізації запропонованого підходу.

Література

1. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Charter on the Preservation of the Digital Heritage [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529.page=2>. – 6.11.2020.
2. Martínez, Iglesias L. Using Small Unmanned Aerial Vehicle in 3D Modeling of Highways with Tree-

Covered Roadsides to Estimate Sight Distance [Text] / L. Iglesias Martínez, C. De Santos-Berbel, V. Pascual, M. Castro // *Remote Sensing*. – 2019. – No. 2625. – P. 1-13. DOI: 10.3390/rs11222625.7

3. Klapa, P. Application of Integrated Photogrammetric and Terrestrial Laser Scanning Data to Cultural Heritage Surveying [Text] / P. Klapa, B. Mitka, M. Zygmunt // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – Vol. 95, Iss. 3. – Article Id: 032007. – P. 1-8. DOI: 10.1088/1755-1315/95/3/032007.

4. Онтологічний кабінет дослідження життя та творчості Тараса Шевченка в середовищі науково-освітнього порталу KOBZAR.UA. [Текст] : монографія / С. О. Довгий, О. Є. Стрижак, Т. І. Андрущенко та ін. – Київ : Інститут обдарованої дитини, 2016. – 175 с.

5. Campbell, H. *Gis and Organizations* [Text] / H. Campbell, I. Masser. – London : CRC Press., 2020. – 224 p. DOI: 10.1201/9781003062639.

6. Stryzhak, O. Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information [Text] / O. Stryzhak, V. Prychodniuk, V. Podlipaiev // *Advances in Information and Communication Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering*. – Cham : Springer, 2019. – Vol. 560. – P. 34-75.

7. Dovgyi, S. Transdisciplinary Fundamentals of Information-Analytical Activity [Text] / S. Dovgyi, O. Stryzhak // In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) *Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 152. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-58359-0_7.

8. Попова, М. А. Модель онтологического интерфейса агрегации информационных ресурсов и средств ГИС [Текст] / М. А. Попова // *International Journal "Information Technologies and Knowledge"*. – 2013. – Vol. 7, Iss. 4. – P. 362-370.

9. Гончар, А. В. Онтологія екскурсії 3D панорамою віртуального музею [Текст] / А. В. Гончар, М. А. Попова, О. Є. Стрижак // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2019. – Т. 29, № 1. – С. 71-78. DOI: 10.32347/2411-4049.2019.1.71-78.

References

1. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Charter on the Preservation of the Digital Heritage. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529.page=2>. (accessed 6.11.2020).

2. Martínez, Iglesias L., De Santos-Berbel, C., Pascual, V., Castro, M. Using Small Unmanned Aerial Vehicle in 3D Modeling of Highways with Tree-Covered Roadsides to Estimate Sight Distance. *Remote Sensing*, 2019, no. 2625, pp. 1-13. DOI: 10.3390/rs11222625.7.

3. Klapa, P., Mitka, B., Zygmunt, M. Application of Integrated Photogrammetric and Terrestrial Laser Scanning Data to Cultural Heritage Surveying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 95, iss. 3, article id: 032007, pp. 1-8. DOI: 10.1088/1755-1315/95/3/032007.

4. Dovgyi, S. O., Stryzhak, O. Ye., Andrushchenko, T. I. et al. *Ontolohichnyy kabinet doslidzhennya zhyttya ta tvorchosti Tarasa Shevchenka v seredovyschi naukovo-osvitn'oho portalu KOBZAR.UA* [Ontological office for the study of life and work of Taras Shevchenko in the scientific and educational portal KOBZAR.UA]. Kyiv, 2016. 175 p.

5. Campbell, H., Masser, I. *Gis and Organizations*. London, CRC Press. Publ., 2020. 224 p. DOI: 10.1201/9781003062639.

6. Stryzhak, O., Prychodniuk, V., Podlipaiev, V. Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information. *Advances in Information and Communication Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering*. Cham, Springer Publ., 2019, vol. 560, pp. 34-75.

7. Dovgyi, S., Stryzhak, O. *Transdisciplinary Fundamentals of Information-Analytical Activity*. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) *Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 152, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-58359-0_7.

8. Popova, M. A. Model' ontologicheskogo interfeisa agregatsii informatsionnykh resursov i sredstv GIS [Model of the ontological interface for the aggregation of information resources and GIS tools]. *International Journal "Information Technologies and Knowledge"*, 2013, vol. 7, iss. 4, pp. 362-370.

9. Honchar, A. V., Popova, M. A., Stryzhak, O. Ye. Ontolohiya ekskursiyi 3D panoramoyu virtual'noho muzeyu [Ontology of a tour of the 3D panorama of a virtual museum]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 2019, no. 29 (1), pp. 71-78. DOI: 10.32347/2411-4049.2019.1.71-78.

ONTOLOGICAL APPROACH TO CONSOLIDATION OF 3D MODELS OF OBJECTS OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE AND GIS

A. Honchar, S. Dovgyi, M. Popova

The development of the information society, the rise of the knowledge economy, the implementation of the latest technologies in the IT industry have provided the opportunity for free mass access to the digitized heritage of world civilization using augmented and virtual reality in three-dimensional space. The leaders in modeling the three-dimensional geometry of real heritage conservation objects are 3D panorama and 3D GIS technologies, the combination of whose capabilities has not yet become widespread. The paper **subject** is the processes of consolidation of ontological 3D models of heritage conservation objects and geoinformation systems for the formation of virtual excursion routes, which will provide new opportunities in the study of the world cultural, historical, scientific digital documentary heritage by integrating transdisciplinary distributed information resources describing the selected object into a piece of unified information and research space. The paper **purpose** is to increase the efficiency of user interaction with distributed information resources and museum knowledge systems by creating models and developing a method and on their based on – information technology for the formation of transdisciplinary virtual museum spaces, the implementation of ontological interaction in their environments with the integrated use of spatially distributed information based on integration with geoinformation systems through an ontological interface. **Objectives:** to analyze modern approaches and the most common software tools for 3D modeling of heritage conservation objects; to develop an infological model of an ontological excursion route; formalize the process of dynamic redistribution of heritage conservation objects during the excursion; to develop an algorithm for consolidating 3D models of heritage conservation objects and GIS for the formation of an excursion route. To achieve this goal, a set of **methods** was used: to develop operational ontological models of heritage conservation objects – system analysis, set theory, graph theory, to formalize knowledge representation – algebraic-logical and obvious methods; for software implementation of information technology – design patterns and object-oriented analysis. The following **results** were obtained: analysis of software solutions for three-dimensional representation and analysis of data in GIS made it possible to determine that most of them are intended only for geometry visualization and do not have information management tools; it is shown that the most suitable for practical implementation in terms of including time, labor and financial resources is GIS with integrated 3D panoramas of heritage conservation objects; it was determined that the ontological approach to the consolidation of multi-format data, created according to various standards and technologies, provides a solution to the problems of heterogeneity and interoperability of transdisciplinary distributed information resources that describe heritage conservation objects, is the most appropriate and effective; an algorithm for the consolidation of 3D models of heritage conservation objects and GIS for the formation of an excursion route is presented; an ontological model of an excursion route is presented, the taxonomy of which is implemented in the form of a graph. **Conclusions.** The conceptual and system-technical foundations of the transdisciplinary representation of models of heritage conservation objects with the integrated use of distributed information, in particular geographic information, including the format of ontological interaction in the form of an excursion in the GIS environment, have been developed.

Keywords: 3D-panorama; geographic information system; ontology; heritage conservation object; excursion route.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОНСОЛИДАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ И ГИС

А. В. Гончар, С. А. Довгий, М. А. Попова

Развитие информационного общества, становления экономики знаний, внедрение новейших технологий ИТ-индустрии обеспечили возможность бесплатного массового доступа к оцифрованному достоянию мировой цивилизации с привлечением средств дополненной и виртуальной реальности в трехмерном пространстве. Лидерами в моделировании трехмерной геометрии реальных объектов сохранения наследия являются технологии 3D-панорам и 3D ГИС, сочетание возможностей которых до сих пор не получило широкого распространения. **Предметом** изучения статьи являются процессы консолидации онтологических 3D-моделей объектов сохранения наследия и геоинформационных систем для формирования виртуальных экскурсионных маршрутов, что предоставит новые возможности в изучении мирового культурного, исторического, научного цифрового документального наследия за счет интеграции трансдисциплинарных распределенных информационных ресурсов, описывающих выбранный объект, в едином информационно-исследовательском пространстве. **Целью** статьи является повышение эффективности взаимодействия пользователей с распределенными информационными ресурсами и музейными системами знаний, путем создания моделей и разработки метода, а на их основе – информационной технологии формирования трансдисциплинарных виртуальных музейных пространств, реализации онтологического взаимодействия в их средах с интегрированным использованием пространственно-распределенной информации на основе интеграции с

геоинформационными системами через онтологический интерфейс. **Задачи:** проанализировать современные подходы и самые распространенные программные средства для 3D-моделирования объектов сохранения наследия; разработать инфологическую модель онтологического экскурсионного маршрута; формализовать процесс динамического перераспределения объектов сохранения наследия в течение экскурсии; разработать алгоритм консолидации 3D-моделей объектов сохранения наследия и ГИС для формирования экскурсионного маршрута. Для достижения поставленной цели использовался комплекс **методов:** для разработки операционных онтологических моделей объектов сохранения наследия – системный анализ, теория множеств, теория графов, для формализации представления знаний – алгебро-логический и аксиоматический методы; для программной реализации информационной технологии – шаблоны проектирования и объектно-ориентированный анализ. Получены следующие **результаты:** анализ программных решений для трехмерного представления и анализа данных в ГИС позволил определить, что большинство из них предназначены только для визуализации геометрии и не имеют средств управления информацией; показано, что наиболее подходящей для практической реализации с точки зрения привлечения временных, трудовых и финансовых ресурсов является ГИС с интегрированными 3D-панорамами объектов сохранения наследия; определено, что онтологический подход к консолидации разноформатных данных, созданных по различным стандартам и технологиям, обеспечивает решение проблем гетерогенности и интероперабельности трансдисциплинарных распределенных информационных ресурсов, которые описывают объекты сохранения наследия, является наиболее целесообразным и эффективным; приведен алгоритм консолидации 3D-моделей объектов сохранения наследия и ГИС для формирования экскурсионного маршрута; представлена онтологическая модель экскурсионного маршрута, таксономия которой реализована в виде графа. **Выводы.** Разработаны концептуальные и системотехнические основы трансдисциплинарного представления моделей объектов сохранения наследия с интегрированным использованием распределенной информации, в частности геоинформационной, включая формат онтологического взаимодействия в виде экскурсии в ГИС-среде.

Ключевые слова: 3D-панорама; геоинформационная система; онтология; объект сохранения наследия; экскурсионный маршрут.

Гончар Андрій Володимирович – провідний фахівець відділу освітніх програм, Національний центр «Мала академія наук України», Київ, Україна.

Довгий Станіслав Олексійович – д-р фіз.-мат. наук, проф., Президент, Національний центр «Мала академія наук України», Київ, Україна.

Попова Марина Андріївна – канд. техн. наук, завідувачка відділу створення та використання інтелектуальних мережних інструментів, Національний центр «Мала академія наук України», Київ, Україна.

Andrii Honchar – leading specialist of the educational programs department, National Center “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine,
e-mail: avhonchar@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8877-7559.

Stanislav Dovgyi – Dr in Physics and Mathematics, Professor, President, National Center “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine,
e-mail: SODovgyi123@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1078-0162, Scopus Author ID: 6506788221,
<https://scholar.google.com/citations?hl=ru&authuser=2&user=5yh2u2AAAAAJ>

Maryna Popova – PhD in Information Technologies, Head of Intelligent Information Tools Department, National Center “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine,
e-mail: pm@man.gov.ua, ORCID: 0000-0002-0258-1713, Scopus Author ID: 57217055684,
ResearcherID: C-8433-2019, <https://www.researchgate.net/profile/Maryna-Popova>
<https://scholar.google.com/citations?user=rAPTPDwAAAAJ&hl=ru&authuser=2>