

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗУЄВ Андрій Олександрович

УДК 519.688; 519.684; 519.67; 681.323

**ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ТА
СПЕЦІАЛЬНИХ ЕФЕКТІВ В СИСТЕМАХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРЕНАЖЕРНИХ
КОМПЛЕКСІВ**

Спеціальність 05.13.05 – Комп’ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеню
кандидата технічних наук

Харків – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Автоматика і управління в технічних системах» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Качанов Петро Олексійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри автоматики і
управління в технічних системах.

Офіційні опоненти

доктор технічних наук, професор
Дмитрієнко Валерій Дмитрович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
професор кафедри обчислювальної
техніки та програмування;

кандидат технічних наук, доцент
Гусятін Володимир Михайлович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, професор кафедри
електронних обчислювальних машин.

Захист відбудеться 25.02.2010р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м.Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий 21.01.2010р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Потреби в якісному, безпечному та недорогому навчанні навикам керування складними транспортними засобами визначають необхідність дослідження альтернативних варіантів навчання, без безпосереднього використання транспортного засобу. Найбільш актуальним напрямком навчання є тренажерні комплекси що використовують комп'ютерний синтез навколишнього оточення для навчання. Такі комплекси позбавлені більшості недоліків попередніх методів навчання, мають невисоку вартість, безпечні для людини і дозволяють моделювати будь-які ситуації, що виникають при експлуатації техніки.

Важливою складовою будь-якого тренажерного комплексу є візуальна складова процесу навчання, саме вона дозволяє донести до оператора принципи керування транспортним засобом, дозволяє йому реагувати на різні ситуації, що виникають в процесі роботи, відображає результати його дій. Основою візуалізації є моделювання позакаabinної обстановки максимально реалістичним чином.

Істотним обмеженням комп'ютерного синтезу позакаabinної обстановки є недостатня реалістичність отримуваних зображень. Ряд завдань синтезу зображень - розрахунку освітленості, накладення спецефектів, моделювання ландшафту, вимагають подальшого удосконалення і опрацювання, направлено на поліпшення якості зображень, що синтезуються. Потрібна розробка нових методів і алгоритмів, удосконалення і модифікація новітніх засобів обчислювальної техніки і комп'ютерної графіки. Застосування таких засобів дозволяє наблизити рівень навчання з використанням тренажерних комплексів до рівня навчання на реальній техніці і в деяких аспектах навіть перевищити його.

Таким чином, виникає важлива науково-технічна задача - синтезувати максимально достовірне зображення навколишнього оточення, з урахуванням рельєфу місцевості і об'єктів ландшафту, погодних умов і умов освітленості, специфіки виконуваного завдання і особливостей транспортного засобу, яка склала напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі автоматики і управління в технічних системах Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» відповідно до плану науково-дослідних робіт в рамках держбюджетної теми МОН України «Розробка методів ухвалення рішень в умовах неповної інформації про об'єкт управління» (ДР № 0103U001511); та госпдоговірних тем 752-ХКБМ, 900-ХКБМ, 1074-ХКБМ, 1079-ХКБМ, 1204-ХКБМ, 1205 - ХКБМ, 1692-ХКБМ, 1806-ХКБМ (м. Харків, КП ХКБМ ім. О.О.Морозова), де здобувач брав участь як виконавець.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є розробка нових і удосконалення існуючих методів, моделей і алгоритмів формування зображень

позакабинної обстановки в реальному масштабі часу і створення на їх основі програмно-технічних систем для тренажерних комплексів різноманітних транспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі:

- удосконалені методи моделювання природного і штучного освітлення ландшафту та об'єктів на ньому;
- обґрунтовано і розроблено метод розрахунку кутів орієнтації спостерігача і корекції геометричного образу, з урахуванням особливостей динамічних платформ і пристроїв відображення графічної інформації;
- розроблено метод автоматичної побудови ландшафтів з урахуванням параметрів рельєфу місцевості, ерозії, розподілу рослинності та ґрунтів;
- створено систему компактного зберігання та комп'ютерної візуалізації ландшафту в реальному масштабі часу;
- удосконалені методи комп'ютерного моделювання димо-пилових хмар, вибухів і джерел горіння, з метою підвищення їх швидкодії і реалістичності отриманого результату;
- удосконалено метод синтезу і накладення спеціальних ефектів з використанням прискорювачів тривимірної графіки загального призначення та синтезована структурна схема системи візуалізації тренажерного комплексу.

Об'єкт дослідження - процес комп'ютерного синтезу зображень позакабинної обстановки в системах візуалізації тренажерних комплексів транспортних засобів.

Предмет дослідження - методи і програмно-апаратні засоби систем синтезу і візуалізації ландшафтів.

Методи дослідження. Всі загальні положення дисертації базуються на фундаментальних основах теорії обробки зображень та комп'ютерної графіки. При проведенні досліджень застосовувались методи аналітичної геометрії і лінійної алгебри для розрахунку кутів нахилу динамічної платформи та перетворення геометричного образу об'єктів. Для знаходження кодуєчих поліномів для стиснення полів висот застосовувались методи кластерного аналізу. Для обробки синтезованого зображення застосовувались методи цифрової обробки сигналів. Для перевірки працездатності розроблених алгоритмів застосовувались методи комп'ютерного та математичного моделювання.

Наукова новизна роботи полягає в теоретичному узагальненні і удосконаленні методів синтезу і візуалізації ландшафту за допомогою обчислювальної техніки з урахуванням особливостей зорового сприйняття людини, характеристик освітленості і вирішення на їх основі актуальної задачі моделювання позакабинної обстановки тренажерних комплексів транспортних засобів в реальному масштабі часу.

Основні наукові результати дослідження такі:

- вперше розроблений метод автоматичного формування ландшафту з урахуванням основних параметрів рельєфу місцевості, водної ерозії,

рослинного покриву і розподілу ґрунтів, який працює повністю автоматизовано і дозволяє, за початковими параметрами, відтворювати реалістичні моделі широкого переліку існуючих ландшафтів;

- отримали подальший розвиток методи розрахунку кутів орієнтації спостерігача і корекції геометричного образу тривимірної сцени за допомогою нелінійного перетворення, які дозволяють коректно моделювати пересування транспортних засобів на нерівних поверхнях, з урахуванням обмежень динамічної платформи, та підвищити точність відображення позакабінної обстановки з урахуванням особливостей зору людини;

- вдосконалено метод розрахунку освітленості від природних і штучних джерел світла, що дозволяє спростити синтез і накладення спец ефектів, які підвищують реалістичність зображення;

- вперше запропонований метод стискування і компактного зберігання полів висот, який забезпечує зменшення розміру, займаного полем в ОЗП, що дозволяє зберігати ландшафтні дані або з вищою дискретизацією, або більшої площі;

- вдосконалено метод візуалізації ландшафтів, запропонована система кешування фрагментів ландшафту у реальному масштабі часу, яка дозволяє понизити обчислювальне навантаження на центральний процесор;

- отримав подальший розвиток метод формування димо-пилових хмар і ефектів горіння з використанням геометричних об'єктів, що дозволило підвищити якість комп'ютерного моделювання цих явищ і одночасно збільшити швидкодію системи візуалізації.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені та удосконалені у роботі методи доведені до практичного втілення, що дозволяє створювати системи візуалізації для тренажерних комплексів різноманітних транспортних засобів, застосування яких дозволяє підвищити якість і знизити коштовність навчання, та підвищити безпеку керування транспортними засобами.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в наступному:

- розроблена та впроваджена система візуалізації і формування ландшафту в тренажерних комплексах танка Т-64Б і бронемашини БМП-2 (м. Харків, КП ХКБМ), які успішно пройшли Державні випробування та впровадження;

- результати роботи використовувалися в системах візуалізації тренажерних комплексів танків Т-80УД і Т-72, розроблених відповідно до державних контрактів для іноземних замовників з Пакистану, Алжиру і М'янми (м. Харків, КП ХКБМ).

Результати роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Автоматика і управління в технічних системах» НТУ «ХПІ» в рамках лекційних курсів «Комп'ютерна графіка», «Алгоритми та структури даних комп'ютерних систем управління».

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем самостійно. Серед них: система комп'ютерної візуалізації ландшафту, яка працює в реальному масштабі часу із застосуванням прискорювачів тривимірної графіки загального призначення; метод автоматичного формування ландшафту з урахуванням основних параметрів рельєфу місцевості; метод і алгоритм компактного зберігання полів висот; вдосконалені методи накладення спецефектів, розрахунку освітленості і візуалізації ландшафту.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації докладалися і обговорювалися на: I науково-технічній конференції Харківського університету Повітряних Сил (Харків, 2005р.), XIII, XIV, XVI міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2005, 2006, 2008р.), міжнародной научно-практической конференции «Интегрированные технологии и энергосбережение» ИТЭ-2007 (Алушта, 2007р.).

Публікації. По матеріалах дисертаційної роботи опубліковано 13 статей в фахових наукових виданнях ВАК України.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота містить: вступ, 4 розділи, виводи, додатки, список використаних джерел літератури. Повний об'єм дисертації: 174 сторінок, серед них: 38 рисунків по тексту, 13 рисунків на 10 окремих сторінках, 4 таблиці по тексту, 1 таблиця на 1 окремій сторінці, 4 додатка на 21 сторінці, список використаних джерел літератури з 96 найменувань на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і завдання дослідження, визначена наукова новизна і практична цінність результатів досліджень, приведені відомості про апробацію і практичну реалізацію результатів роботи.

У першому розділі проведений аналіз комп'ютерних систем візуалізації навколишнього середовища тренажерних комплексів транспортних засобів і різних підходів до їх побудови. Показана необхідність синтезу реалістичного зображення позакабінної обстановки для підвищення якості навчання операторів транспортних засобів.

Розглянуті переваги систем візуалізації, створених на основі прискорювачів тривимірної графіки, відмічені їх переваги і основні особливості вживаних методів.

Описані основні методи представлення та зберігання ландшафтних даних, вказані їх позитивні якості і недоліки. Показані особливості методів комп'ютерної візуалізації ландшафтів, розглянуті найбільш поширені методи.

Проведений огляд основних методів розрахунку освітлення тривимірних сцен. Проаналізовані особливості, що виникають при використанні моделей

розрахунку освітленості згідно методам Кука-Торренса і Орена-Наяра та показана необхідність розробки більш швидкодіючої комп'ютерної моделі розрахунку освітлення, з урахуванням особливостей прискорювачей тривимірної графіки.

Другий розділ присвячений розрахунку кутів спостереження і корекції геометричного образу тривимірної сцени при використанні у складі тренажера динамічної платформи. Розглянута система комп'ютерного синтезу зображення (рис. 1), яка складається з генератору ландшафту, триангулятору та блоку трансформації вершин, блоку розрахунку освітлення та обробки синтезованого зображення.

Запропонований метод розрахунку орієнтації і положення спостерігача, як при використанні внутрішнього екрану, так і при використанні зовнішнього проектора. Показано, що в деяких випадках кутів, які може відпрацювати динамічна платформа (зазвичай не перевищують 15-30 градусів), недостатньо для коректного моделювання характеру руху транспортного засобу. Такі випадки виникають на критичних кутах при підйомі або спуску транспортного засобу і при моделюванні аварійних ситуацій. При перевищенні критичного кута повороту необхідно додатково коректувати зображення.

В реальних умовах на існуючих тренажерах, при нахилі платформи на критичний кут (знаходженні на упорах) не відпрацьовуються коректно переміщення по нерівностях ландшафту. Для мінімізації пов'язаних з цим помилок по куту, пропонується коректувати кути нахилу платформи таким чином: як критичні кути беруться не конструктивні, а менші кути.

Вираз для розрахунку кутів орієнтації спостерігача, використовуваних при визначенні кутів спостерігача з урахуванням переворотів і знаходження платформи на критичних кутах нахилу, має вигляд:

$$\begin{aligned} \beta &= \beta_T, \\ \alpha &= \begin{cases} 0, & \text{при } \alpha < m \cdot \alpha_k, \\ \alpha - m \cdot \alpha_k, & \text{при } \alpha \geq m \cdot \alpha_k, \end{cases} \\ \gamma &= \begin{cases} 0, & \text{при } \gamma < m \cdot \gamma_k, \\ \gamma - m \cdot \gamma_k, & \text{при } \gamma \geq m \cdot \gamma_k, \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

де β , α , γ - азимут, кути тангажу і крену відповідно; α_k, γ_k - критичні кути нахилу динамічної платформи; m - коефіцієнт запасу по куту (від 0,6 до 0,8).



Рис. 1. Система комп'ютерного синтезу зображення

Таким чином, при русі по похилій площині динамічна платформа відпрацьовуватиме мікронерівності рельєфу місцевості, при цьому конструктивні обмеження платформи коректуватимуться системою візуалізації.

Для наближення геометричної форми об'єктів до найбільш природною для сприйняття людиною пропонується об'єкти, розташовані поряд із спостерігачем, зображати на екрані за допомогою паралельної проекції, а видалені об'єкти - за допомогою центральної проекції. Для цього використовується функція коректування $\bar{F}_a(r)$, де r - нормалізована відстань від спостерігача до оброблюваної вершини, яка визначає ступінь геометричних спотворень.

Для проектування використовується центральна проекція і з урахуванням цього вводиться поправочна функція $F_z(r)$, яка компенсуватиме зміни розмірів об'єктів, внесені перспективною корекцією. Вираз для корекції положення точки на екрані має вигляд:

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \bar{F}_a(r) \cdot (k \cdot F_z(r) + 1) + x \cdot (1 - \bar{F}_a(r)), \\ y' &= y \cdot \bar{F}_a(r) \cdot (k \cdot F_z(r) + 1) + y \cdot (1 - \bar{F}_a(r)), \end{aligned} \quad (2)$$

де k - коефіцієнт нелінійності, який вибирається емпірично (при $k = 0$ - корекція перспективи не проводиться).

У **третьому розділі** розглянутий метод розрахунку освітлення штучним і природним світлом в реальному масштабі часу. Пропонується зберігати видимий з позиції спостерігача образ сцени (координати, властивості поверхні) в допоміжному буфері, що дозволить скоротити кількість операцій по перетворенню геометрії і розрахунку освітлення до мінімально можливого. Кількість операцій за розрахунком освітлення не залежатиме від складності геометрії об'єктів, що представляють тривимірну сцену, а залежатиме від розміру зображення, що синтезується. Така особливість дозволяє застосувати для розрахунку освітлення розсіяним світлом від основного джерела метод Орена-Наяра, а для розрахунку складової відблиску метод Кука-Торренса, при збереженні постійної частоти зміни кадрів зображення що синтезується. Для допоміжних джерел розрахунок ведеться на основі моделі освітлення Ламберта, а складова відблиску по методу Блінна.

Наведена модель дозволяє в реальному часі отримати апроксимацію освітлення, що передає характер поверхонь об'єктів для різних умов освітлення, і не залежить від складності представлення геометрії сцени.

Отримав подальший розвиток метод видалення ступінчастості на синтезованих за допомогою комп'ютеру зображеннях, суть якого полягає в тому, що точки зображення, які приводять до виникнення ефекту ступінчастості, зазвичай належать межі двох областей з різними характеристиками, наприклад, різною яскравістю або віддаленістю від спостерігача. Таким чином, їх можна виділити на отриманому зображенні і обробити.

Для знаходження точок які потенційно створюють сходинки, пропонується використовувати фільтр виділення контурів Канні з використанням оператора Собеля. Перепади визначаються як по колірній складовій зображення, так і по віддаленості точки від спостерігача, використовуючи дані про зображення, що синтезується, збережені в допоміжному буфері. Отримувані таким чином межі дозволяють достатньо точно визначити положення найбільш помітних спостерігачеві сходинок, наприклад тих, що утворюються між небозводом і ландшафтом на горизонті, або об'єктами, які спостерігаються на тлі неба.

При обчисленні меж по віддаленості точки від спостерігача проводиться корекція для видалення помилкових областей на великій віддаленості від спостерігача, для запобігання занадто сильному розмиттю зображення. Для здійснення корекції пропонується наступна функція

$$m(P) = \frac{2}{|P| + 0,1}, \quad (3)$$

де P - віддаленість центральної точки вікна фільтру від спостерігача.

Отримане в результаті виділення меж за колірною і позиційною інформацією чорно-біле зображення, де чорний колір відповідає внутрішнім пікселям, а білий, крапкам лежачим на межах, використовується як рівень розмиття зображення для згладжуючого фільтру.

Запропонована система моделювання спеціальних ефектів: туману і серпанку, пилових і димових хмар, вибухів і апроксимації фонового затінювання. При моделюванні використовуються дані про видимі точки, збережена в проміжному буфері геометрія, що дозволяє спростити і максимально прискорити накладення спецефектів.

Для моделювання пилових і димових хмар пропонується моделювати їх форму за допомогою невеликої кількості геометричних об'єктів (рис.2), що дає можливість коректно розрахувати освітлення і зменшити ефект «розрізання» геометрії, що виникає при моделюванні плоскими частинками.

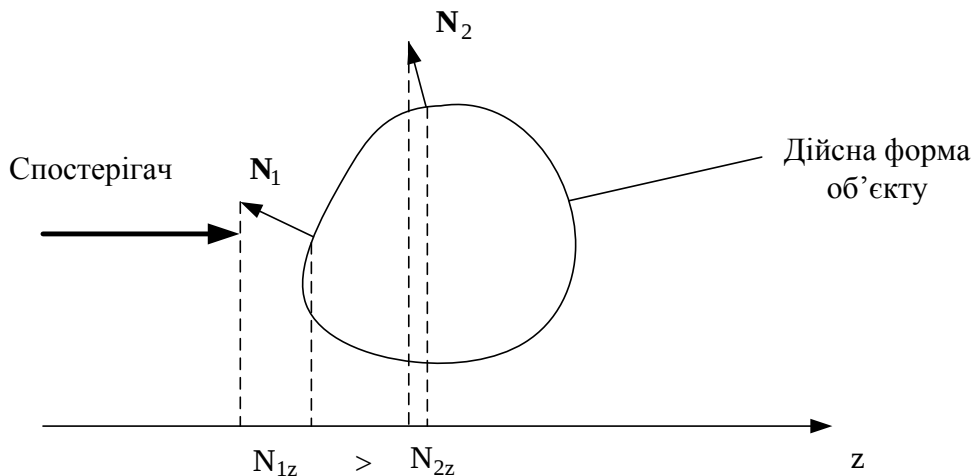


Рис. 2. Геометричний об'єкт для моделювання пилових і димових хмар

Для обчислення величини екранування димо-пиловим об'єктом використовується вираз:

$$m = |\mathbf{N}_v \cdot \mathbf{E}_v|^2, \quad (4)$$

де $\mathbf{N}_v$ - нормаль до поверхні в системі координат спостерігача; $\mathbf{E}_v$ - напрям спостереження в системі координат спостерігача; « $\cdot$ » - операція скалярного добутку.

Для апроксимації розрахунку освітленості димо-пилових хмар пропонується враховувати явища поглинання і розсіювання світла згідно наступним виразам:

$$\begin{aligned} k &= c_a + |\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}|, \\ a &= c_a \cdot \text{lum}(c_t) \cdot k_a, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\text{lum}(c_t)$ - функція, що визначає яскравість кольору точки хмари; c_a - сумарне екранування фрагмента; k_a - коефіцієнт світимості фрагмента (від 0 до 1).

Запропонований метод дозволяє синтезувати різні типи екрануючих об'єктів - пилові хмари, дим, штучні пилові хмари (димові завіси), вибухи різних типів боєприпасів.

Четвертий розділ присвячений питанням, пов'язаним з отриманням полів висот, матеріалів і рослинності, які потрібні для моделювання ландшафту і синтезу за ними відображення ландшафту із заданої точки спостереження. Для зменшення вимог до об'єму ОЗП, який потрібен для зберігання поля або для підвищення дискретизації в горизонтальній площині, пропонується використовувати метод кодування поля висот, при якому блок з 4×4 сусідніх висот поля кодується таким чином, як наведено на рис. 3.

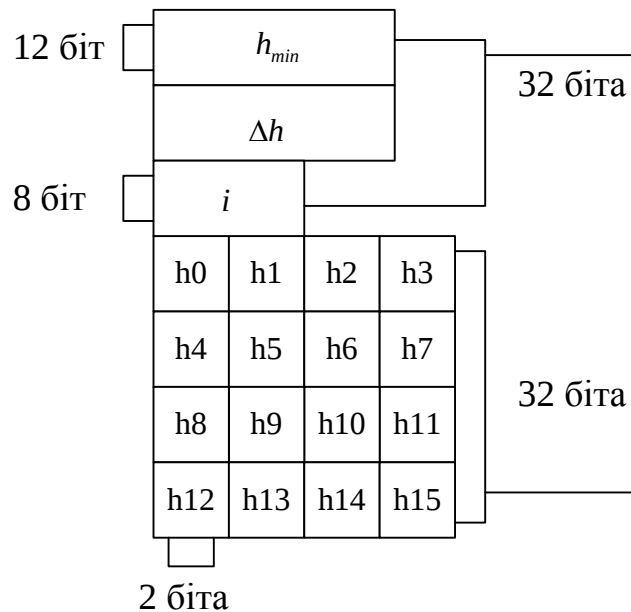


Рис. 3. Кодований блок висот

У кожному блоці зберігається номер полінома для кодування, мінімальна висота і різниця висот в блоці, а також набір кодів для отримання опорних висот:

$$\begin{aligned} h_{min} &= \min(h_0, h_1, \dots, h_{15}), \\ h_{max} &= \max(h_0, h_1, \dots, h_{15}), \\ \Delta h &= h_{max} - h_{min}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для обчислення поліномів використовуються методи кластерного аналізу: визначаються найкращі поліноми для кожного блоку, а потім з них вибирається обмежена множина найбільш оптимальних для кодування методом К-середніх.

При декодуванні значення опорних висот обчислюються таким чином:

$$h_j^c = h'_{min} + \Delta h' \cdot f_i(j),$$

де i - номер полінома для інтерполяції; j - номер опорної висоти; $f_i(j)$ - величина коефіцієнта i -го полінома для j -ої висоти.

У роботі проведений розрахунок помилок, що виникають при кодуванні поля, і визначений їх рівень (в середньому не перевищує 4 см), який є прийнятним для використання в системах візуалізації. Методика кодування з вибором полінома на основі методу К-середніх є найбільш переважною і характеризується оптимальним зменшенням середньої і максимальної помилки кодування. Застосування кодування дозволяє в два рази збільшити горизонтальні розміри поля (або збільшити дискретизацію) при тих же витратах пам'яті для зберігання, як і для некодованого поля.

Запропонований метод автоматизованого отримання початкових даних для моделювання ландшафту - полів висот, матеріалів і рослинності, а так само методика поліпшення якості ландшафту, шляхом накладення водної ерозії. Початкове поле висот будується за допомогою шумової функції Переліна, на яке накладається ерозія. Для розрахунку величини ерозії в кожній точці полігону проводиться трасування водних потоків, і сукупна величина обчислюється як суперпозиція кількості ґрунту що змивається потоками в даній точці. Отримана ерозія використовується для модифікації поля висот (рис. 4). Процес накладення ерозії повторюється кілька разів, залежно від типу ландшафту.

Отримання карт ґрунтів і рослинного покриву відбувається таким чином. Для кожної точки полігону обчислюється ґрунт, враховуючи наступні параметри: висоту, щодо рівня моря, нахил поверхні та величина ерозії.

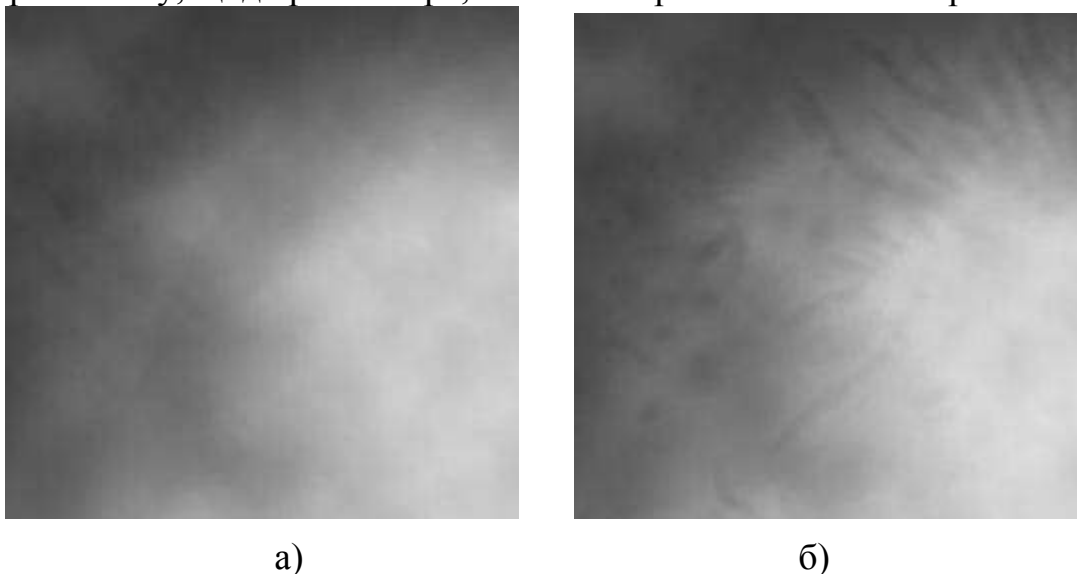


Рис. 4. Базове (а) і модифіковане (б) поле висот з урахуванням ерозії

Кожен матеріал описується набором обмежень - діапазонів висот, ерозії і нахилів, що визначають умови необхідні для появи ґрунту.

Якщо в точці можуть виникнути декілька ґрунтів, то для кожного з них обчислюється вагова функція w^m , що визначає відхилення властивостей ландшафту в точці від найбільш сприятливих для виникнення даного ґрунту:

$$w^m = k_m \cdot (w_h^m + w_e^m + w_g^m), \quad (7)$$

де w_h^m , w_e^m , w_g^m - вагові функції висот, ерозії і нахилу відповідно; k_m - ваговий коефіцієнт ґрунту.

Аналогічним чином працює алгоритм отримання рослинного покриву, але додатково для кожного типу рослинності перевіряється, чи може він вирости на ґрунті що знаходиться в точці і наскільки сприятливе зростання рослинності на цьому ґрунті (визначається коефіцієнтом). Описане обмеження визначається наступною Булевою функцією

$$f^v(x, y) = (w^v > p_{x,y}^v) \& (m_{x,y} \in \mathbf{m}^v), \quad (8)$$

де $p_{x,y}$ - псевдовипадкове число в діапазоні від 0 до 1 - що визначає вірогідність появи рослинності; $m_{x,y}$ - тип ґрунту; $\mathbf{m}^v$ - перелік ґрунтів, на яких може зростати рослинність з порядковим номером.

Запропонований метод побудови ландшафтів дозволив: значно поліпшити якість полів висот і ландшафтів, що синтезуються, наблизити їх візуальні і фізичні характеристики до реально існуючих ландшафтів, покращив суб'єктивне сприйняття візуальної картини. Крім того, методу притаманна велика гнучкість, що дозволяє отримувати різні ландшафти з різною величиною ерозії і різним рослинним покривом.

Розглянуто метод отримання сіток і візуалізації ландшафту що складається з трьох частин: вибір найбільш відповідного рівня деталізації ландшафту, відсікання трикутників пірамідою видимості і отримання зв'язаного набору трикутників, призначеного для обробки прискорювачем.

Система візуалізації ландшафту будується з використанням двох модифікованих методів: дискретній і безперервній деталізації. Для отримання в реальному часі рівня деталізації із заданою дискретизацією використовується алгоритм ROAM що проводить побудову сітки трикутників (тріангуляції) тільки з урахуванням нерівності ландшафту (мінімізації помилки тріангуляції ландшафту). Для безпосередньої візуалізації ландшафту використовується алгоритм дискретної деталізації Chunked LOD що використовує, як дискретні рівні деталізації сітки, отримані алгоритмом ROAM. Таке рішення дозволяє

мінімізувати витрати обчислювальних потужностей центрального процесора і вимогу до устаткування для візуалізації, при збереженні високої якості зображення.

Для зберігання рівнів деталізації використовується дворівнева схема кешування, що зберігає раніше створені сітки трикутників в системному ОЗП і ОЗП прискорювача тривимірної графіки. На рис. 5 представлена структурна схема запропонованої системи.

При візуалізації проводиться рекурсивний процес розбиття ландшафту з відсіканням невидимих фрагментів, який триває до деякого заздалегідь заданого рівня. Для областей віддалених від спостерігача розбиття проводиться до меншого рівня, ніж для областей розташованих в безпосередній близькості. Величина l є функцією відстані до спостерігача, і у міру видалення зменшується

$$l(d) = l_{\max} \cdot \left(1,0 - \frac{d}{d_h}\right)^q, \quad (9)$$

де $l_{\max}$ - максимальний рівень розбиття; d_h - дистанція до горизонту; q - параметр, що визначає якість розбиття.

Після завершення розділення, проводиться пошук видимих фрагментів в системі кешування, якщо вони не знайдені, проводиться їх триангуляція методом ROAM і вони поміщаються в систему кешування і поступають в систему візуалізації.

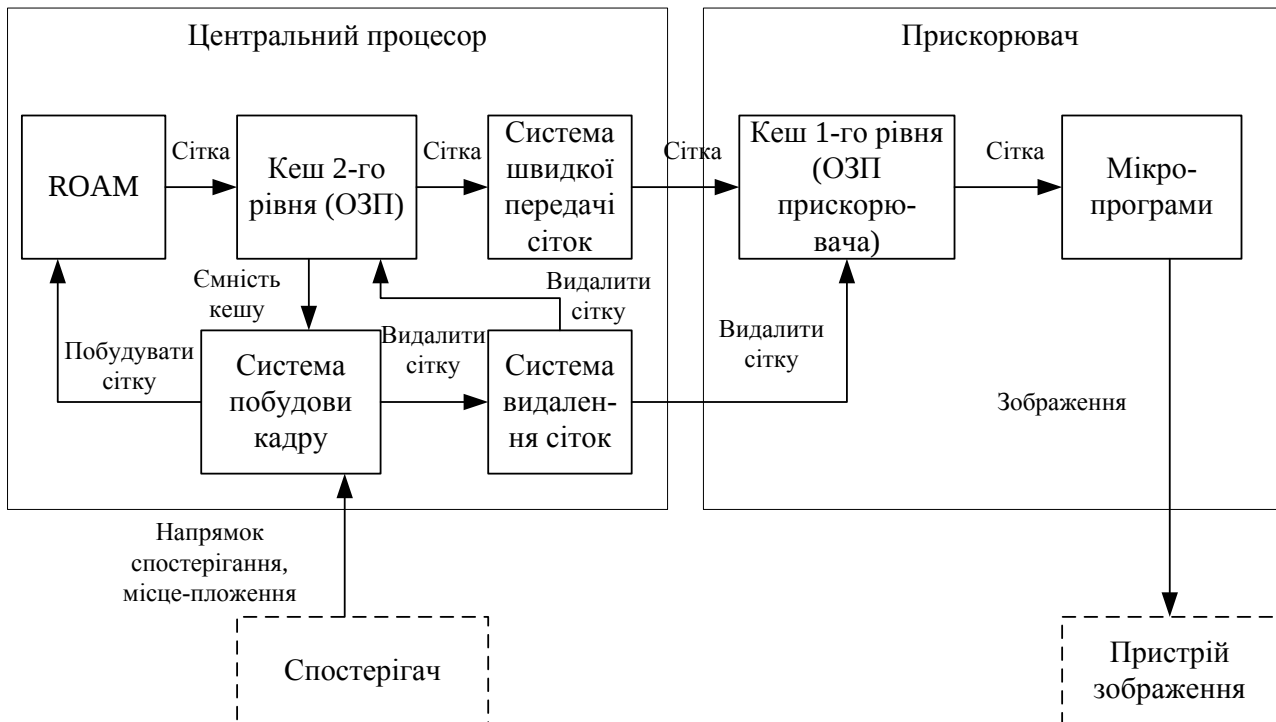


Рис. 5. Структурна схема системи візуалізації ландшафту

У підрозділі так само розглянуті питання стиковки частин ландшафту з різною деталізацією, вибір рівня деталізації, модифікація ландшафту в реальному масштабі часу, пристрій ефективної системи кеш-пам'яті і система циклічного повторення ландшафту.

Основною особливістю запропонованого методу є те, що обчислювальні ресурси центрального процесора використовуються тільки для побудови сіток використовуваних системою кешування, реалізації запитів висот і безпосередньо роботи системи у момент видалення і додавання нової сітки трикутників в систему кешування.

У завершальній частині роботи розглянуті питання практичної реалізації запропонованих методів - використовувані середовища і мови програмування, програмні комплекси для створення початкових матеріалів для системи візуалізації (текстур, геометрії об'єктів), а також проведена оцінка швидкодії, в результаті якої визначено, що запити з кодованого поля здійснюються швидше (більш ніж на 10%) у разі практичного застосування.

Запропонований метод побудови сіток трикутників ландшафту дозволяє формувати зображення ландшафту розміром 4×4 км. з частотою зміни кадрів зверху 85 Гц при віддаленості лінії горизонту від спостерігача більше 4 км, з деталізацією переднього плану 0,5 метра по горизонталі. В середньому, метод забезпечує швидкодію на рівні методу Chunked LOD, при цьому, використовуючи у декілька разів менший об'єм пам'яті для зберігання сіток.

Використання обчислювальних потужностей центрального процесора при використанні запропонованого методу, не перевершує 15%, що дозволяє проводити обчислення фізичній і тактичній підсистемам тренажерного комплексу на тому ж ПК, на якому будується сітка трикутників.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу по вдосконаленню методів і засобів формування зображень в системах комп'ютерної візуалізації тренажерних комплексів. Проведені дослідження, що направлені на вдосконалення зображень в системах візуалізації тренажерних комплексів, дозволили вирішити ряд задач розрахунку освітленості, накладення спецефектів та моделювання ландшафту. Розроблені моделі, методи і засоби розширили науково-технічну базу комп'ютерного формування зображень в реальному масштабі часу.

Основні наукові і практичні результати можна сформулювати таким чином:

1. Для отримання реалістичного ландшафту пропонується автоматично синтезувати модель ландшафту з урахуванням водної ерозії поверхні, коли в якості вхідних даних використовуються такі величини, як діапазон висот, нерівність ландшафту, величина і характер ерозії, розподіл рослинності і

грунтів. Показано, що запропонований метод побудови моделі ландшафту дозволяє значно поліпшити реалістичність полігонів, дозволяє наблизити їх візуальні і фізичні характеристики до реально існуючих ландшафтів, що покращує суб'єктивне сприйняття візуальної картини, і відповідно підвищує якість навчання.

2. Отримав подальший розвиток метод розрахунку позиції і орієнтації спостерігача в системах візуалізації тренажерних комплексів, що використовують динамічну платформу. Застосування методу дозволяє коректно відображати характер пересування транспортних засобів на нерівних поверхнях та в разі виникнення позаштатної ситуації, з урахуванням обмежень динамічної платформи та при застосуванні зовнішнього екрану. Розроблена структурна схема системи візуалізації тренажерного комплексу.

3. Вдосконалено метод розрахунку геометричного образу тривимірної сцени за допомогою нелінійного перетворення в реальному масштабі часу з використанням прискорювачів тривимірної графіки. Наведене рішення дозволяє підвищити точність відображення позакабінної обстановки з урахуванням особливостей зору людини.

4. Отримав подальший розвиток метод розрахунку освітленості від природних і штучних джерел світла, який веде до спрощення розрахунку освітленості та синтезу і накладенню спецефектів. Показано, що метод розрахунку освітлення з використанням додаткового буфера геометрії дозволяє моделювати атмосферні явища, розраховувати взаємне затінювання об'єктів, а так само передавати різні ефекти в реальному масштабі часу. Для розрахунків використовуються обчислювальні ресурси прискорювачів тривимірної графіки. Застосування методу спільно з методами взаємного затінювання об'єктів та видалення ступінчастості на синтезованих зображеннях дозволяє видалити артефакти затінювання та зменшити кількість розрахунків.

5. Запропоновано метод кодування полів висот та їх компактного зберігання, який дозволяє збільшити в два рази роздільну здатність поля висот в горизонтальній площині при тих же об'ємах пам'яті, які займає некодоване поле або в два рази збільшити його розміри. Проведений розрахунок помилок кодування, який показав, що спотворення, що вносяться при кодуванні поля згідно запропонованому методу, не критичні і дозволяють застосувати його в системах візуалізації і фізичного моделювання.

6. Вдосконалена система комп'ютерної візуалізації ландшафту таким чином, що ландшафт синтезується з використанням двох модифікованих методів: дискретній і безперервній деталізації, що дозволяє проводити ресурсоемні розрахунки освітлення за допомогою прискорювача тривимірної графіки в реальному масштабі часу. Показано, що використання запропонованого методу візуалізації ландшафту дає прийнятне по співвідношенню швидкодія/якість розбиття трикутників, дозволяє уникнути затримок при великих кількостях тріангуляцій в кадрі, та створити ілюзію безперервності ландшафту.

7. Отримав подальший розвиток метод моделювання димо-пилових хмар, вибухів, джерел спалаху, та наведена система візуалізації таких ефектів. Запропонований метод дозволяє: розраховувати щільність і освітлення димо-пилових хмар; відтворювати будь-які екрануючі об'єкти в реальному масштабі часу; скоротити кількість об'єктів необхідних для імітування, що значно зменшує навантаження на центральний процесор обчислювальної системи.

8. Результати роботи упроваджені в КП ХКБМ ім. А.А. Морозова в рамках робіт по розробці системи візуалізації для тренажерних комплексів танків Т-64Б, Т-72, Т-80УД і бронемашини БМП-2, та у навчальному процесі на кафедрі автоматики і управління в технічних системах НТУ «ХПІ» в рамках лекційних курсів «Комп'ютерна графіка», «Алгоритми та структури даних у комп'ютерних системах».

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Зуев А.А. Метод построения и визуализации реалистичных ландшафтов для тренажерных комплексов наземной техники / П.А. Качанов, О.Г. Васильченков, А.А. Зуев - Збірник наукових праць Харківського військового університету. – Харків: ХВУ, 2003. – Вип. 1. – С. 10-16.

Здобувачем запропоновано метод побудови сітки трикутників, що описують ландшафт, який працює швидше існуючих методів.

2. Зуев А.А. Построение сцен трехмерной графики при помощи системы нелинейной перспективы / П.А. Качанов, О.Г. Васильченков, А.А. Зуев - Механіка та машинобудування. – Харків, 2003. – №1 – том 2. – С. 96-100.

Здобувачем наведена математична модель і система візуалізації ландшафту з урахуванням корекції перспективи.

3. Зуев А.А. Метод улучшения качества сцен трехмерной графики / П.А. Качанов, О.Г. Васильченков, А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – №21. – С. 79-84.

Здобувачем розроблено спосіб корекції перспективної проекції з урахуванням особливостей зорового сприйняття людини, за допомогою прискорювачів тривимірної графіки.

4. Зуев А.А. Синтез реалистичных ландшафтов для тренажерных комплексов / П.А. Качанов, О.Г. Васильченков, А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – №17. – С. 101-107.

Здобувачем наведено метод поліпшення синтезованого ландшафту місцевості за допомогою моделювання водної ерозії.

5. Зуев А.А. Методика определения степени фотореалистичности изображений / П.А. Качанов, А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – №7. – С. 73-76.

Здобувачем запропоновано оцінний критерій, за допомогою якого можна порівнювати комп'ютерний-синтезовані зображення з набором фотореалістичних зображень отриманих за допомогою цифрової камери.

6. Зуев А.А. Метод построения сеток треугольников для визуализации ландшафта в реальном времени / П.А. Качанов, А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – №17. – С. 43-46.

Здобувачем розроблено та наведено метод і алгоритм синтезу сітки трикутників для представлення протяжних ландшафтів призначений для роботи з використанням прискорювача тривимірної графіки.

7. Зуев А.А. Алгоритм расчета освещения сцен трехмерной графики в реальном масштабе времени / А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – №9. – С. 46-51.

8. Зуев А.А. Модифицированная методика расчета атмосферных явлений при формировании освещенности трехмерной сцены / П.А. Качанов, А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – №31. – С. 63-66.

Здобувачем наведено удосконалення методу накладення атмосферних явищ на синтезоване зображення ландшафту.

9. Зуев А.А. Методика определения углов ориентации наблюдателя в тренажерных комплексах / А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – №10. – С. 96-99.

10. Зуев А.А. Метод упаковки полей высот / А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – №36. – С. 44-48.

11. Зуев А.А. Компрессия полей высот при помощи полиномов / П.А. Качанов, А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – №37. – С. 52-55.

Здобувачем розроблено та наведено метод та алгоритм компактного зберігання полів висот дозволяє зберігати поле висот, використовуючи в 4 рази менший об'єм ОЗП, в порівнянні з початковим полем.

12. Зуев А.А. Методы расчета позиции и ориентации наблюдателя в системах визуализации тренажерных комплексов / П.А. Качанов, А.А. Зуев - Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – Вип. №2. – С. 159-162.

Здобувачем запропоновано удосконалення методу та алгоритм розрахунку кутів спостерігача в системі візуалізації при застосуванні динамічної платформи.

13. Зуев А.А. Метод сглаживания границ на компьютерно-синтезированных изображениях / П.А. Качанов, А.А. Зуев - Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – №31. – С. 71-76.

Здобувачем розроблено метод виділення і згладжування меж для визначення точок синтезованого зображення які створюють сходинки і алгоритм їх подальшого видалення.

АНОТАЦІЇ

Зуєв А.О. Програмно-апаратні засоби формування зображень та спеціальних ефектів в системах візуалізації тренажерних комплексів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 - комп'ютерні системи і компоненти. - Національний технічний університет - «Харківський політехнічний інститут», Харків 2009.

Дисертація присвячена розробці систем моделювання і візуалізації навколишнього оточення для тренажерних комплексів транспортних засобів.

У дисертаційній роботі розглянутий метод автоматизованого здобуття ландшафтних даних: полів висот, ґрунтів, рослинності та трав'яного покриву. Запропоновано метод підвищення якості ландшафтів, що синтезуються, за рахунок накладення водної ерозії. Для зберігання отриманого поля наведено метод компактного зберігання, який дозволяє зменшити об'єм пам'яті, яку займає поле в чотири рази в порівнянні з початковим. Розроблений метод заснований на кодуванні поля із застосуванням методів кластерного аналізу для відшукування найкращих кодів і подальшому його відновленню з використанням поліномів.

Розглянута структурна схема і запропонований алгоритм роботи системи візуалізації ландшафту, яка поєднує найкращі сторони існуючих методів, при цьому позбавлена ряду їх недоліків.

Зазнав подальшого вдосконалення метод розрахунку освітленості з використанням допоміжного буфера точок зображення які видимі та метод синтезу спеціальних ефектів за допомогою геометричних фігур з подальшим їх згладжуванням. Показані шляхи видалення ступінчастості на отриманому зображенні за допомогою модифікованого методу виділення меж Канні із застосуванням оператора Собеля. Отримали подальший розвиток методи розрахунку фонового затінювання і накладення туману і серпанку.

У роботі запропонований метод корекції геометричного образу сцени за допомогою нелінійного перетворення і розрахунку кутів спостерігача в системі візуалізації при використанні динамічної платформи спільно із зовнішнім екраном.

Ключові слова: комп'ютерні системи візуалізації, програмно-апаратні засоби опрацювання інформації, тренажерні комплекси, прискорювачі тривимірної графіки, комп'ютерний синтез ландшафтів.

Зуев А.А. Программно-аппаратные средства формирования изображений и специальных эффектов в системах визуализации тренажерных комплексов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - компьютерные системы и компоненты. - Национальный технический университет - «Харьковский политехнический институт», Харьков 2009.

Диссертация посвящена разработке системы моделирования и визуализации окружающей обстановки для тренажерных комплексов транспортных средств.

В диссертации обоснована цель, актуальность направления исследования, проведен обзор известных методов построения, хранения и визуализации ландшафтов, рассмотрены методы расчета освещения и наложения спецэффектов, показаны их преимущества и недостатки. Рассмотрены вопросы применения динамических платформ и коррекции геометрического образа синтезируемой сцены. Показаны преимущества построения системы визуализации с использованием ускорителей трехмерной графики.

К основным недостаткам существующих методов построения, хранения и визуализации ландшафтов можно отнести следующие: трудоемкость получения исходных данных для построения ландшафта, большой объем памяти, занимаемой полями высот и сетками треугольников, представляющих ландшафт, и низкое быстродействие алгоритмов синтеза сеток. Так же следует отметить невозможность проведения расчетов освещения согласно точным моделям Кука-Торренса и Орена-Наяра в реальном масштабе времени и трудоемкость расчета освещенности от большого количества локальных источников света. Большинство существующих систем визуализации тренажерных комплексов не учитывают особенностей зрительного восприятия человека и конструктивных ограничений динамических платформ.

В диссертационной работе рассмотрен метод автоматизированного получения ландшафтных данных: полей высот, грунтов, растительности и травяного покрова. Предложен метод повышения качества синтезируемых ландшафтов за счет наложения водной эрозии. Для хранения полученного поля предложен метод компактного хранения, который позволяет уменьшить объем памяти, занимаемой полем, в четыре раза по сравнению с исходным.

Разработанный метод хранения основан на кодировании поля с применением методов кластерного анализа, для отыскания наилучших кодов и последующем его восстановлением с использованием полиномов.

Рассмотрена структурная схема и предложен алгоритм работы системы визуализации ландшафта, которая сочетает наилучшие стороны существующих методов, при этом лишена их недостатков. Предложенная система визуализации использует в среднем менее 15% вычислительной мощности центрального процессора, что позволяет проводить более точное физическое и логическое моделирование в ходе обучения.

В работе предложен метод расчета освещенности с использованием промежуточного буфера видимых точек изображения, который позволяет проводить расчет освещения основного источника света согласно точным методам Кука-Торренса и Орена-Наяра, рассчитывать освещенность от множества локальных источников. Применение вспомогательного буфера позволяет упростить наложение спецэффектов и пост-обработку синтезированного изображения.

В качестве примера синтеза спецэффектов рассмотрена визуализация дымо-пылевых облаков и взрывов, предложен метод получения таких объектов при помощи геометрических фигур с последующим их сглаживанием. Показаны пути удаления ступенчатости на полученном изображении при помощи модифицированного метода выделения границ Канни с применением оператора Собеля учитывая цветовой характер изображения и удаленность точек от наблюдателя.

В работе предложен метод коррекции геометрического образа сцены при помощи нелинейного преобразования и расчета углов наблюдателя в системе визуализации при использовании динамической платформы совместно с внешним экраном, повышающий реалистичность синтезируемой картины. Получили дальнейшее развитие методы расчета фонового затенения и наложения тумана и дымки согласно заданным погодным условиям.

Проведено моделирование и оценка быстродействия и объемов занимаемой памяти для предложенных методов, которые подтвердили возможность их практического применения в тренажерных комплексах наземных машин.

Ключевые слова: компьютерные системы визуализации, программно-аппаратные средства обработки информации, тренажерные комплексы, ускорители трехмерной графики, компьютерный синтез ландшафтов.

Zuev A.A. Program-technical facilities of images and special effects generation in the visualization systems of training complexes. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree in technical science by speciality 05.13.05 - Computer Systems and Components. - National Technical University - "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv 2009.

The thesis is devoted to system development of design and environment visualization for the trainer complexes of ground vehicles .

The automated landscape generation method is considered in the thesis: heights fields, soils, vegetation and soil-covering. The synthesized landscapes method of upgrading is offered due to imposition of water erosion. The heights fields compact storage method which allows to decrease amount of RAM occupied weed in 4 times as compared to initial is offered. The developed method of storage is based on height-field encoding with the use of cluster analysis methods for searching the best codes and subsequent by his renewal with polynomials use.

A flow diagram is considered and the algorithm of landscape visualization system is offered, which combines the best features of existent methods at the same time deprived their failings.

The method of light calculation with use support buffer of image visible points and method of special effects synthesis is in-process offered through geometrical figures with subsequent their smoothing out. The ways for aliasing removal on the image through the modified Canny edge detection method with Sobel operator is described. The methods of the ambient shading calculation and fog-haze application got further development.

The method of geometrical appearance correction is in-process offered through nonlinear transformation and observer's angles calculation in visualization system at the use of dynamic platform jointly with an external screen.

Keywords: computer systems of visualization, information processing software and hardware resources, training complexes, graphics processing units, computer synthesis of landscapes.

