

**Національна академія наук України
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова**

ГРУЦЬ ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 004.92

**ТЕОРІЯ І СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНІ ОСНОВИ
ПОБУДОВИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ВІДЕО-КОМП'ЮТЕРНИХ
СТЕРЕОСКОПІЧНИХ 3D СИСТЕМ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
ВЕРЛАНЬ Анатолій Федорович
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України, головний
науковий співробітник відділу математичного
та комп'ютерного моделювання

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ОПАНАСЕНКО Володимир Миколайович
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова
НАН України, провідний науковий співробітник
відділу мікропроцесорної техніки

доктор технічних наук, професор
СВЯТНИЙ Володимир Андрійович
ДВНЗ «Донецький національний технічний
університет», м. Покровськ, завідувач кафедри
комп'ютерної інженерії

доктор технічних наук, професор
ТАРАСЕНКО Володимир Петрович
НТУ «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», завідувач кафедри
системного програмування спеціалізованих
комп'ютерних систем

Захист відбудеться «31» січня 2019 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.185.01 в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України за адресою: 03164, м. Київ, вул. Генерала Наумова, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, за адресою: 03164, м. Київ, вул. Генерала Наумова, 15.

Автореферат розісланий « 20 » грудня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.В. Душеба

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Конкретні форми комп'ютерної візуалізації неодноразово змінювалися, слідуючи, як за розвитком технічних засобів, так і за зростаючими потребами користувачів. Засоби відображення пройшли шлях від індикаторних лампочок і цифро-буквених дисплеїв – до сучасних LCD моніторів, шоломів віртуальної реальності, голографічних систем, лабораторних зразків волюметричних систем. Висока роздільна здатність LCD (OLED) дозволили суттєво розширити функціональні можливості об'єктів і процесів. Широке поширення отримали засоби півтонової кольорової машинної 3D графіки, яка забезпечує формування графічних сцен з фотореалістичною якістю. Відомі імена вчених України та країн СНГ, які працюють в цій галузі, створюючи все більш реалістичні тривимірні зображення, розробляючи нові методи та алгоритми, нові графічні станції, процесори, структури та комплекси – Антощук С. Г., Башков Є. О., Баяковський Ю. М. Бобринев В. И. Боюн В. П., Васюхін М. І., Вельтмандер П. В, Вяткін С. І., Галактіонов В. А., Гусятин В. М., Долговесов Б. С., Зорі С. А., Калютов А. В., Михайленко В. Є., Петух А. М., Полташев Т. Т, Романюк О. Н., Тормишев Ю. І., Хомченко А. Н., Шикін Є. В. Шлезінгер М. І. Серед науковців далекого зарубіжжя найвідомішими є роботи Бішопа Г., Бліна Д., Гілой В., Гуро Г., Дафа Т., Каутса Ж., Олано М., Роджерса Д., Сона Я., Хаста А., Фоли В., Фонга Б., Форсайта Д. На жаль, у системах з такою графікою не враховується особливість бінокулярного зору людини, при якому, завдяки двом двовимірним зображенням створюється один тривимірний образ із глибиною, об'ємом, рельєфом, взаєморозташуванням і точною локалізацією предметів у просторі. Багато вчених в Україні та країнах СНД проводять дослідження в області стереобачення та стереографіки –Ануреев В. П., Белостоцкий Е. М., Валюс Н. А., Джакония В. Е., Дунев Г. В., Евдокимов В. Ф., Ежов В. А., Кауман А., Катис Г. П., Колин К. Т., Копилов П. М., Кривков С. В., Мамчев Г. В., Петров В. Д., Рожкова Г. И., Русин Б. П., Шмаков П. В., а також, у далекому зарубіжжі – Адамс Дж., Алан С., Ньюмен У., Фоли Дж., Вен Ден А. Гурд Дж. Р., Дроник Е. А., Уокер Б. С., Спрул Р., Jung-Young Son, Donghoon Kang, Kae-Dulkwack, Kyung-Hun Cha, Sung-Кyu-Kim, Joo-Hwan Chun, Docherty Tom, Koch Rolf.

Бачення двома очима є головним інструментом людини для відчуття просторових взаємозв'язків і саме тому стереоскопічна 3D візуалізація використовується особливо для візуалізації тих просторових задач, коли півтонова 3D графіка неможлива. Це – так звані, каркасні (точково-скелетні) задачі: траєкторні, польові, фізико-хімічні, контурні, задачі розподілу, навчання, задачі натурно-комп'ютерного каркасного стереокопіювання.

Хоча метод стереоскопії з'явився ще в 16 столітті сучасні стереомонітори з'явилися на ринку тільки на початку 21 століття після того, як була досягнута комфортна для користувача частота зміни кадрів для LCD-матриць 100 Гц і більше. Такі стереомонітори спрямовані на візуалізацію 3D фото/кіно або ігрового контенту. Програмний продукт (наприклад, від компанії nVidia 3D Vision, яка є одна з кращих на ринку в цій галузі) теж спрямований на створення стереофайлів для вже готової стереопари фотографій, або відео. Стереопроцедури цієї компанії дозволяють

перетворювати стереопари в стереофайли для різних сучасних систем стереовізуалізації (дзеркальних, анагліфічних, обтюраторних і ін.). Є процедури, які виконують функції вирівнювання та повороту стереопар, процедури масштабування і взаємної заміни складових стереопар. Але, на жаль, немає процедур інтерактивної взаємодії з віртуальним стереозображенням. Окремий спостерігач, який має свій стереобазис і знаходиться в конкретному ракурсі перед монітором, через стереоокуляри бачить «своє» стереоскопічне віртуальне зображення. Відомо, що не збігання стереобазису та стереоракурсу з розрахунковими параметрами призводить при спостереженні до артефактів (геометричних спотворень), що не дає адекватного уявлення про всі особливості об'єкта. Для науково-дослідницьких і проектно-конструкторських робіт, пов'язаних з синтезом, аналізом, моделюванням складних видів каркасних комп'ютерних або натурно-комп'ютерних стереозображень, реалістичність і швидкість адекватного сприйняття віртуального зображення при визначенні просторової зони інтересу дослідника є принциповим і важливим питанням.

Існує ряд задач і проблем, вирішення яких дасть можливість суттєво підвищити реалістичність та швидкість адекватного сприйняття складних каркасних, та натурно-каркасних стереозображень. По-перше, це задача введення зворотного зв'язку по стереобазису і по стереоракурсу конкретного спостерігача в процедуру обчислення стереопар. По-друге, це задача створення інтерактивного інструментарію реального часу для організації взаємно-зворотного зв'язку між тривимірним простором і стереообластю. По-третє, це задача визначення кореспондентських стереоточок для синтезованого каркасного зображення. По-четверте, це задача крайового стереоефекту. В п'ятих, це задача побудови математичних моделей для аналізу геометричних спотворень, пов'язаних з неточністю стереобазису і стереоракурсу в різних стереосистемах. По-шосте, це задача створення високопродуктивних спеціалізованих стереосистем для відображення натурно-комп'ютерної стереоінформації. Ці задачі неможливо вирішити з використанням наявної теоретичної бази.

Оскільки для багатьох галузей застосування тривимірної комп'ютерної графіки традиційні методи та засоби формування стереоскопічних тривимірних зображень не задовольняють вимогам по адекватності, реалістичності та продуктивності – то існує важлива науково-прикладна проблема побудови спеціалізованих стереосистем з комбінованою формою представлення інформації, для розв'язку якої необхідна розробка теоретичних основ формування та аналізу тривимірних каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відділі «Теорії моделювання» Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАНУ відповідно до пріоритетних напрямків наукових досліджень, державних програм і тем. Дослідження по стереоскопічним 3D системам були розпочаті в 1981 р. Згідно спільної Постанови-Наказу № 00613/100 Президії НАН України і Міністерства машинобудування СРСР, тема: "Розробка систем обробки і відображення інформації з використанням стереоскопічних пристроїв» була записана окремим рядком в рамках проблеми:

«Розробка багатопроцесорних комплексів, що забезпечують напівнатурні моделювання». Дисертація виконана також у рамках відомчих науково-дослідних тем НАН України, а саме: "Дослідження і розробка програмно-апаратних засобів моделювання і відображення натурно-машинної стереоінформації (шифр СТЕРЕО)" – наукові доробки спрямовані на розробку теорії, методів і програмних засобів підтримки нових процедур стереопереробки таких як «стереоінтерольтор», «стереовікно» і включення їх в загальний пакет стереопертворення; а також – на розробку методики визначення зон стереобачення для натурної частини СТОК (стереоскопічний телевізійно-обчислювальний комплекс); "Розробка та дослідження теплотелевізійного обчислювального стереокомплексу для задач просторової дистанційної діагностики, управління, та візуального контролю об'єктів ядерної енергетики (шифр ГРАФІТ)" – розроблено методику конструювання, а також принципові схеми натурального каналу стереобачення видимого діапазону для робіт у високих полях радіації на базі промислової апаратури "Телар-32", проводилося стереомоделювання особливостей стереобачення в інфрачервоному діапазоні; "Розробка комп'ютерних технологій побудови моделей різної фізичної природи (шифр ПРОСТІР-2)" – дослідження були спрямовані, з одного боку, на розробку і аналіз обчислювальних процесів, що допускають ефективно застосування групових арифметичних операцій в лінійних і нелінійних задачах алгебри та аналізу, а також у задачах стереографіки, з іншого боку, – на розробку нових способів кодування двійкової інформації в позиційному та непозиційному базисах і на розробку нових методів синтезу високопродуктивних процесорів групових операцій; "Дослідження і розробка методів розпізнавання, які будуються на використанні спектральних перетворень, для інформаційного забезпечення безпеки енергетичних об'єктів (шифр ModA)" – запропоновано та досліджено метод і технологія натурно-комп'ютерного стереомоделювання на сучасній електронній базі; протестовано основні процедури програми "СТЕРЕО" в оболонці C++ Builder; "Розробка комп'ютерних технологій побудови, аналізу і візуалізації просторових моделей (шифр ПРОСТІР-3)" – дослідження спрямовані, з одного боку, – на розробку теоретичних основ формального перетворення з тривимірного простору в стереопростір і назад для комп'ютерних каркасних образів, з іншого боку, – на розробку моделей, алгоритмів і графічних стереопроцедур для таких об'єктів; також були розроблені моделі аналізу геометричних деформацій в стереобаченні, як для системи екран – спостерігач, так і для системи об'єкт – стереокамера – стереопроектор – стереоекран – спостерігач; "Розвиток теорії, розробка методів та засобів реалізації гібридних експертно моделюючих комп'ютерних систем в задачах комплексного управління перетворенням енергії (шифр ГІБРИД)" – запропоновано технологія використання принципу натурно-комп'ютерного графічного 3D моделювання для польових задач, а також – запропонована концепція, принцип функціонування та конструкційні особливості нової волюметричної системи на основі комбінованої шаруватості.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є підвищення рівня продуктивності, реалістичності та адекватності сприйняття складних комбінованих стереозображень при побудові спеціалізованих відео-комп'ютерних 3D систем за

рахунок розробки теоретичного базису та структурно-алгоритмічних основ формування і аналізу каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- розробити математичний апарат операторного перетворення з просторової форми подання графічної інформації в стереоскопічну форму і зворотно для різних ракурсів стереоспостереження (статичного, змінного, поворотного), а також – для систем, що містять плоске дзеркало;
- розробити математичні моделі для нових графічних 3D стереопроцедур інтерактивного режиму: курсор; огляд; інтерполятор; вікно; рекурсія; маніпуляція, щодо будь-якої точки простору стереобачення, яка встановлюється за допомогою курсору;
- розробити теоретичні основи вирішення задач пов'язаних (кореспондуючих) стереоточек для всіх графічних стереопроцедур каркасного виду, розроблених і реалізованих на основі даного апарату;
- розробити математичні основи вирішення проблеми крайового стереоефекту для комп'ютерних графічних каркасних стереозображень;
- розробити математичні моделі аналізу геометричних спотворень в комп'ютерних, відео та відео-комп'ютерних стереосистемах в різній конфігурації;
- розробити метод натурно-комп'ютерного графічного стереомодельовання;
- розробити методи синтезу високопродуктивних процесорів групової арифметичної операції, що працюють в позиційному і непозиційному базисах;
- розширити спектр задач, що вимагають використання групових арифметичних операцій;
- розробити структурно-алгоритмічні основи побудови стереоскопічних систем відображення цифрової, відео та відео-комп'ютерної інформації;
- встановити математичні залежності та структурно-алгоритмічні основи побудови стереосистеми визначення ракурсу і положення голови спостерігача перед монітором.

Крім того, необхідно було розробити: концепцію і основні принципи конструювання волюметричної системи на основі гібридної шаруватості; структуру та алгоритмічні основи побудови стереоскопічної багаторакурсної системи стеження за рухомим об'єктом; стереосистему відображення натурної інформації, що працює в полях високої радіації.

Об'єктом дослідження є процеси стереоскопічної обробки відео-комп'ютерної 3D-інформації.

Предметом дослідження є спеціалізовані стереоскопічні відео-комп'ютерні 3D системи із каркасною графікою.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: методи аналітичної геометрії, лінійної алгебри, перспективної геометрії, стереоскопії, машинної графіки – для розробки теоретичних основ синтезу процедур каркасної стереографіки та аналізу геометричних деформацій у стереосистемах; теорія чисел і чисельних методів; методи диференціального й інтегрального числення, теорія

систем алгебраїчних рівнянь, тейлоровські перетворення Г.Є. Пухова – для розробки процедур застосовування групової арифметичної операції; булева алгебра, машинна арифметика в залишкових класах – для синтезу спеціалізованих процесорів; теорія телебачення, теорія обчислювальних машин – для синтезу структур спеціалізованих стереосистем; комп'ютерне моделювання та стереомоделювання – для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень.

Перевірка теоретичних положень і принципів побудови проводилась на розроблених і реалізованих в ІПМЕ ім.Г.Є. Пухова НАН України стереосистемах: ТССОЦІ, ССОНІ, СТОК. Результати виявилися позитивні, про що свідчать підтвердженій Міністерством машинобудування економічний ефект від впровадження декількох поколінь системи ТССОЦІ; а також акт випробування системи ССОНІ на майданчику Спецатом, м. Прип'ять. Усі нові графічні стереопроцедури моделювалися з використанням програми СТЕРЕО на комплексі СТОК; де також було успішно доведено ефективність нового методу натурно-комп'ютерного графічного стереомоделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розвитку теорії і структурно-алгоритмічних основ побудови спеціалізованих високопродуктивних реалістичних відео-комп'ютерних стереоскопічних 3D систем, що володіють можливостями для підвищення рівня і швидкості адекватного сприйняття складних каркасних і натурно-каркасних стереозображень. Наукова новизна визначається наступними положеннями.

Вперше:

- Розроблено «операторний метод стереоперетворень» для постійного, змінного та 3х поворотних стереоракурсів спостереження, а також – для постійного ракурсу спостереження в стереосистемах, що містять плоске дзеркало, який встановлює взаємно-зворотний зв'язок між 3D координатами і стереокоординатами, що дозволило вирішити кореспондентську задачу (задачу пов'язаних (парних) стереоточок) для каркасних графічних стереозображень.

- Розроблено математичні основи побудови процедури «3D-вікно», що, дозволило вирішити проблему крайового стереоефекту в каркасних графічних стереозображеннях.

- Розроблено математичні моделі графічних стереопроцедур для каркасних конструкцій: 3D-огляд; 3D-інтерполятор; 3D-вікно; 3D-рекурсія; 3D-маніпуляції, 3D-курсор, відмінною рисою яких є врахування крайового стереоефекту і задоволення вимозі кореспондентської задачі.

- На базі теорії стереоперетворень поставлена і вирішена задача аналізу геометричних спотворень в різних системах: розроблено математичні моделі аналізу геометричних деформацій за рахунок іншого базису і/або ракурсу спостереження в системах: стереоекран – спостерігач; об'єкт – стереокамера – стереопроектор – стереоекран; об'єкт – стереокамера – стереопроектор – стереоекран – спостерігач для двох випадків розташування стереокамер і стереопроекторів: паралельно один одному або під кутом.

- Розроблено метод натурно-комп'ютерного графічного стереомоделювання з каркасною графікою, відмінною особливістю якого є можливість вимірювати

тривимірні координати будь-якого натурального 3D зображення, поданого в стереоскопічному вигляді, а також виконувати каркасні копії натурних 3D фрагментів.

- Розроблено структурно-алгоритмічні основи конструювання стереоскопічного телевізійно-обчислювального комплексу (СТОК), відмінною рисою якого є можливість в одному просторі стереобачення поєднувати два види стереоінформації: натурної, яка надходить по каналах прикладного відео і – комп'ютерної каркасної, синтезованої дослідником.

Отримали подальший розвиток:

- Методи синтезу процесорів групової операції, відмінною особливістю яких є орієнтація їх робот на комбінаційні схеми двійкової логіки, що працюють як в позиційному, так і в не позиційному базисі, що дозволило підвищити продуктивність обчислень.

- Теоретичний базис і структурно-алгоритмічні основи побудови стереосистеми визначення ракурсу та положення голови спостерігача перед монітором, відмінною особливістю якої є відповідність отриманих тривимірних координат – вектору ракурса оператора стереопертворень, що дозволяє в реальному часі вводити отримані дані в процедуру стереопереробки.

- Обчислювальні процедури, що використовують групові арифметичні операції, відмінною особливістю цих процедур є постановка систем диференціальних рівнянь у Т-області на обчислювальних структурах змішаного кодування та використання матриць операторів для вирішення систем диференціальних рівнянь певного класу.

- Концепція побудови та основні структурні особливості волюметричної системи, відмінною особливістю якої є використання принципу гібридної шаруватості.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень розроблено ряд високопродуктивних стереоскопічних спеціалізованих 3D комплексів та систем, що характеризуються високим рівнем реалістичності та адекватності сприйняття складної каркасної і натурно-каркасної інформації, включаючи стереоскопічний 3D комплекс відображення натурно-комп'ютерної інформації і систему відображення натурної інформації для роботи в високих полях радіації.

На основі запропонованої теорії були розроблені математичні засоби для аналізу геометричних деформацій, обумовлених неточністю реального стереобазису і ракурсу при спостереженні в різних конфігураціях стереосистем. Для усунення частини таких геометричних спотворень була запропонована система реального часу визначення ракурсу спостерігача і положення його голови в просторі, що дає можливість проектувати стереосистеми і комплекси з мінімальними спотвореннями.

Нові графічні 3D процедури для стереозображень каркасного типу, реалізовані на основі запропонованої теорії, розширили спектр маніпуляцій такими зображеннями, при виконанні умов однозначного рішення задачі кореспондуючих точок, і – вирішення задачі крайового ефекту.

Запропоновані система та метод натурно-комп'ютерного графічного стереомодельювання можуть послужити основою створення систем розпізнавання

об'єктів і систем стереоприцілювання пасивного типу, на базі комп'ютерної 3D скелетизації натурних підстилаючих поверхонь.

Можливість швидкого адекватного сприйняття каркасних стереозображень буде затребувана при візуалізації реальної траєкторної повітряної, космічної або підводної обстановки, в задачах виявлення зони інтересу, аналізу, управління при великій кількості об'єктів, що рухаються по своїх траєкторіях.

Крім того, можливість швидкого адекватного сприйняття складних натурно-каркасних зображень, можуть бути затребувані при візуалізації в ході мікрохірургічних операцій з великим зупиненням дрібних судин і нервів.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені на підприємстві ЦНПХМ, куди було передано в рамках спільних робіт 3 версії системи ТССОЦІ. Річний економічний ефект, затверджений Міністерством машинобудування від розробки і впровадження на підприємстві ЦНПХМ одного пристрою стереоскопічного відображення тривимірної траєкторної інформації, що надходить з напівнатурних моделюючих комплексів, склав 433, 6 тис. руб.

У 1989-1991рр., за завданням ВО «Спецатом» м. Прип'ять, Київська обл., була розроблена і пройшла випробування на майданчику Замовника система ССОНІ (стереоскопічна система відображення натурної інформації), призначена в якості системи дистанційного об'ємного зору для робототехнічних комплексів, що виконують монтажні-демонтажні роботи при розбиранні активних зон ядерних реакторів. ССОНІ була спроектована і реалізована на базі апаратури «Телар-32» для роботи в високих полях радіації (10^9 рентген).

Особистий внесок здобувача. Всі основні положення і результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать наступні результати: [4] – синтез спецпроцесора групової операції в СОК; [15] спосіб стереовізуалізації координат рухомого об'єкта; [23,32] математична модель аналізу спотворень; [25] структура і можливості графічного стереоредактора; [25] метод стереоінтерполяції; [32] операторний метод стереоперетворень; [33] метод аналізу геометричних деформацій в системі – екран – спостерігач; [34] метод аналізу спотворень в стереосистемі з камерами і проекторами спрямованими під кутом; [35] структура пристрою для ділення в СОК; [52,53] схема інтегрування в СОК; [56] математичні основи стереоскопічної машинної графіки.

Апробація результатів дослідження. Основні теоретичні та прикладні положення і висновки дисертаційного дослідження доповідалися на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях і семінарах, серед яких:

- республіканський семінар «Гібридні обчислювальні машини і комплекси». – м. Одеса. – 1976;
- всесоюзна конференція НТТ РЕЗ ім. А. С. Попова. – Кішіневі. – 1979;
- IV всесоюзна конференція «Діалог людина - ЕОМ» К. – 8-12 жовт. – 1985. – ІК ім. В.М.Глушкова АН УРСР;
- всесоюзна науково-технічна конференція «Моделювання-85: Теорія, засоби, застосування». – К. – 1985;

- IV звітна конференція ІПМЕ АН УРСР «Технічні засоби моделювання».– К.– 1985;
- науково-технічна конференція «Проблеми нелінійної електротехніки ПНЕ-88».– К.– 1988;
- конференція ІПМЕ НАН України «Методи і засоби комп'ютерного моделювання».– К.– 1995-1997;
- the 6th International Workshop on 3-D Imaging Media Technology.– Korea.–2000;
- the 5th Photonic Information Processing Conference.– Seoul.– 2000;
- III всесоюзна міжнародна науково-технічна конференція «МОДЕЛЮВАННЯ», ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України.– К.–2006;
- міжнародна науково-технічна конференція «МОДЕЛЮВАННЯ», ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України.– К.– 2008;
- міжнародна науково-технічна конференція «МОДЕЛЮВАННЯ», ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України. – К.– 2016;
- міжнародна конференція «ІСТ 2017».– Коблево.– Вересень 2017;
- 8 міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації» Кам'янець-Подільський.– 18-20 квітня.– 2018.

Публікації. Основні результати досліджень опубліковано в 57 наукових працях, з яких: 34 – відповідають вимогам до опублікування результатів дисертацій, у тому числі 1 монографія, 18 – у наукових журналах що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (3 – у базі Scopus); 16 – у матеріалах конференцій; 7 – в інших виданнях, з яких 2 – авторських свідоцтва, 2 – препринта.

Структура і загальний обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 8 розділів, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків. Загальний обсяг дисертації 348 сторінок. Дисертація містить 319 сторінок основного тексту, 12 таблиць, 84 малюнка. Список використаних джерел налічує 121 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У розділі 1 «**Проблеми адекватної візуалізації каркасних стереозображень**» розглянуті основні способи сепарації стереопар, які використовуються в моніторах і телевізорах, що з'явилися на ринку останнім часом.

За способом візуалізації сучасні 3D дисплеї ділять на кілька типів: стереоскопічні, голографічні та волюметричні (воксельні). Останні два типи поки не набули масового поширення та являють собою в основному лабораторні або демонстраційні зразки. Серед великого різноманіття стереодисплеїв, що з'явилися на ринку останнім часом, за способом сепарації стереопар виділені такі:

- Автостереоскопічні, які використовують ефект паралакс бар'єру. Хоча сам ефект був відомий ще раніше, значного розвитку він отримав після винаходу LCD-дисплеїв. Ефект паралакс бар'єру досягається за рахунок додатково вбудованого LCD-екрану.
- Екліпсні (обтюраторні) дисплеї. З CRT-дисплеями екліпсний метод сепарації використовується вже понад 25 років. В останнє десятиліття з'явилися також LCD-

дисплеї, здатні оновлювати зображення з потрібною частотою. Першою моделлю 120 Гц LCD-дисплея став Samsung SyncMaster 2233RZ.

- Інтерлейсні стереодисплеї. У інтерлейсних стереодисплеях використовують відомий принцип розгортки в телебаченні. У таких дисплеях, завдяки LCD-технології стало можливим одночасне, а не послідовне виведення на екран двох складових стереопари. Одна половина стереопари виводиться на парних рядках, інша - на непарних, вони мають різну поляризацію.

- Поляризаційно-фазові стереодисплеї. Поляризаційно-фазові дисплеї використовують метод, який оснований на поданні стереопари як суми 2 ортогонально-орієнтованих поляризованих зображень. Технічно це реалізується установкою другої РК-панелі без поляризаційних фільтрів, яка повертає площину поляризації в залежності від співвідношення яскравості пікселя на лівій і правій половині стереопари.

- Дзеркальні стереодисплеї. Дзеркальні стереодисплеї, що базуються на поєднанні 2 ортогонально поляризованих зображень з 2 дисплеїв за допомогою напівпрозорого дзеркала і наступному поділі лівого і правого ракурсів стереопари за допомогою пасивних поляризаційних окулярів. Істотною відмінністю сучасних стереодисплів є використання LCD-панелей.

- Анагліфічні стереодисплеї. Анагліфний метод оснований на властивостях світлофільтрів пропускати одні та затримувати інші промені залежно від їх кольору. Як правило, використовується червоний і додатковий до нього синьо-зелений (ціан) світлофільтр, а на екран дисплея виводиться зображення, отримане колірним накладенням 2 зображень стереопари. При перегляді результуючого зображення через кольорові фільтри (червоний і синьо-зелений), які пропускають світлові пучки червоного і синьо-зеленого кольорів до різних очей, формується стереоефект.

Аналіз переваг і недоліків перерахованих стереодисплів, які знаходяться на ринку, показує, що якщо мова йде про завдання, що вимагають тривалої обробки зображень у стереорежимі (типу: монтаж стереоскопічних відеофільмів, порівняння стереопар в криміналістиці тощо), то дисплей повинен мінімізувати навантаження на очі оператора при роботі. З цієї точки зору, серед розглянутих типів 3D дисплеїв можна виділити екліпсні і дзеркальні. Екліпсні стереодисплеї краще використовувати при невеликому обсязі робіт у режимі стерео: вони компактні, мають прийнятні параметри та можливість програмної і апаратної підтримки на професійних відеокартах. Для тривалої роботи в стереорежимі доцільно використовувати дзеркальні стереодисплеї. Хоча вони громіздкі та дорогі, але дають яскраве, без мерехтіння зображення, що значно зменшує навантаження на зір.

Для демонстраційних цілей анагліфічне стерео представляється ефективним засобом завдяки простоті. Крім того, як показали експерименти, такий спосіб сепарації має переваги при візуалізації каркасної графічної інформації, особливо, коли така інформація накладається на натурне напівтонове стереозображення. Так як в основному роботу присвячено каркасним зображенням, експерименти по комп'ютерному і натурно-комп'ютерному стереомодельюванню були проведені з використанням анагліфічного способу сепарації стереопар.

У розділі 1 наведено перелік задач, вирішення яких призводить до візуалізації тривимірних зображень точково-скелетного виду, а саме:

- Траекторні задачі. Візуалізація результатів натурних випробувань, комп'ютерного або напівнатурного моделювання поведінки рухомих об'єктів у різних середовищах (атмосфера, космос, підводне середовище); завдання локації.

- Польові задачі. Силові лінії поля (електромагнітного, теплового, та інш.).

- Фізико-хімічні задачі. Тривимірні моделі атомних ядер, кристалічних решіток, органічних молекул.

- Контурні задачі. Задачі, які вимагають візуалізації контурів перетину тривимірних об'єктів площинами на різних рівнях по третій координаті (картографія; розділи технічної та медичної томографії; завдання підготовки контурів для волюметричних систем).

- Задачі розподілу. Розташування в просторі об'єктів відносно невеликої величини в порівняно з займаним обсягом (моделі зоряного неба; домішок у розчинах і розплавах; карти підводних мінних полів, та інш.).

- Задачі навчання. Стереометрія, нарисна геометрія, креслення.

- Задачі дизайну та проектування (як основа для полутонної 3D графіки).

- Задачі натурно-комп'ютерного графічного стереомоделювання та задачі каркасного копіювання з натурних стереозображень.

У розділі 1 також визначені задачі, вирішення яких дасть можливість суттєво підвищити продуктивність і рівень реалістичності та адекватного сприйняття складних каркасних стереозображень, які виникають під час проведення наукових досліджень, пов'язаних з синтезом, аналізом, моделюванням складних видів каркасних комп'ютерних або натурно-комп'ютерних стереозображень. По-перше, це задача введення зворотного зв'язку по стереобазису і по стереоракурсу конкретного спостерігача в процедуру обчислення стереопар. По-друге, це задача створення інтерактивного інструментарію реального часу для організації взаємно-зворотного зв'язку між тривимірним простором і стереообластю. По-третє, це задача визначення кореспондентських стереоточок для синтезованого каркасного зображення, який піддався 3D стереоманіпуляціям (зсув, поворот, масштабування, деформація, огляд, інтерполяція, рекурсія і інші). По-четверте, це задача крайового стереоефекту, яка полягає в тому, що при маніпуляціях, коли одна зі складових (ліва або права) стереопари підходить до краю екрану або вікна, і виходить за його край, друга складова не має парних точок і тим самим не тільки викликає у спостерігача дискомфорт, але і втрачається можливість встановлення тривимірних координат шуканих стереоточок, тобто вирішувати кореспондентську задачу. В п'ятих, це задача побудови математичних моделей для аналізу геометричних спотворень, пов'язаних з неточністю стереобазису та стереоракурсу в стереосистемах: монітор – спостерігач; об'єкт – стереокамера – стереопроектор – монітор – спостерігач. По-шосте, це задача створення високопродуктивних спеціалізованих стереосистем для одночасного відображення стереоінформації двох видів: відеонатурної напівтонової і каркасної комп'ютерної.

Таким чином, каркасні графічні 3D стереозображення є важливим класом в спектрі інших завдань просторової візуалізації. Аналіз різних способів сепарації

стереопар і сучасних промислових стереодисплеїв показав, що для цілей комп'ютерного та відео-комп'ютерного 3D стереомодельовання з каркасною графікою оптимальним методом сепарації стереопар є анагліфічний.

У розділі 2 «**Операторний метод стереоперетворень**» запропоновано новий метод стереоперетворень, суть якого полягає в тому, що знайдено формальний математичний апарат, який встановлює взаємно-однозначну відповідність між тривимірними координатами довільної точки шуканого об'єкта, заданими в світовій системі координат, і стереокоординатами цієї точки, заданими в екранній системі координат. Перехід з просторової ділянки в стереоділянку виконується за допомогою, так званого, прямого оператора стереоперетворення; $S\{\vec{V}\} \Rightarrow \vec{s}$; зворотний перехід здійснюється за допомогою зворотного оператора стереоперетворення $S^{-1}\{\vec{s}\} \Rightarrow \vec{V}$ (рис.1).

Отримано матричні залежності, що відображають дане перетворення для випадку, коли спостерігач знаходиться в точці постійного стереоракурсу.

Прямий і зворотний стереооператори постійного ракурсу реалізуються за допомогою таких залежностей:

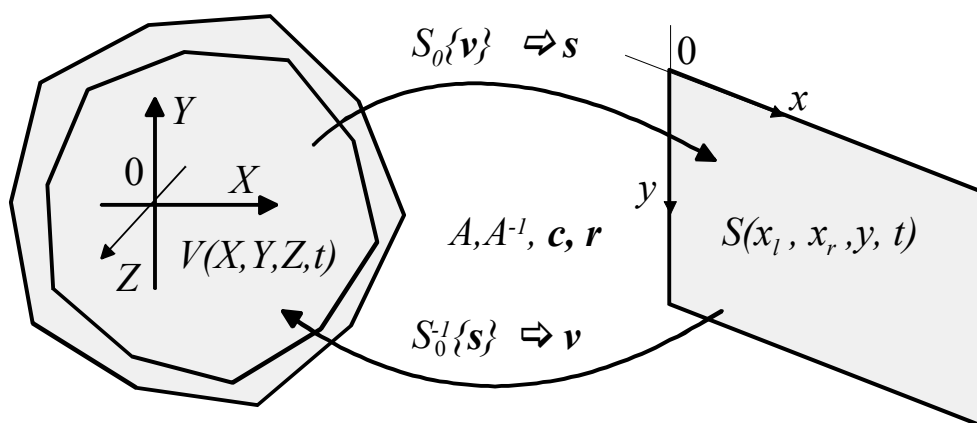


Рис. 1. Операторний метод стереоперетворення

$$\vec{s} = A(\vec{V} + \vec{c}) / (\hat{z}_0 - Z - \dot{z}), \quad \vec{V} = (\hat{z}_0 - Z - \dot{z})A^{-1}\vec{s} - \vec{c},$$

де $2a$ - стереобазис, A, A^{-1} - пряма та зворотна квадратні матриці,

$$A = \begin{bmatrix} \hat{z}_0 & 0 & a - \hat{x}_0 \\ \hat{z}_0 & 0 & -a - \hat{x}_0 \\ 0 & -\hat{z}_0 & -\hat{y}_0 \end{bmatrix}, \quad A^{-1} = \frac{1}{2a\hat{z}_0} \begin{bmatrix} (a + \hat{x}_0) & (a - \hat{x}_0) & 0 \\ -\hat{y}_0 & \hat{y}_0 & -2a \\ \hat{z}_0 & -\hat{z}_0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\vec{V} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad \vec{c} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix}, \quad \vec{r}_0 = \begin{bmatrix} \hat{x}_0 \\ \hat{y}_0 \\ \hat{z}_0 \end{bmatrix}, \quad \vec{s} = \begin{bmatrix} x_l \\ x_r \\ y \end{bmatrix},$$

\vec{V} - вектор тривимірних координат довільної точки об'єкта,
 \vec{s} - вектор стереокоординат шуканої точки,

\vec{c} - вектор зміщення початку координат світової і екранної систем,

\vec{r}_0 - вектор постійного стереоракурсу.

Отримано матричні залежності для обчислення пари стереооператорів змінного ракурсу, $\tilde{S}_0\{\vec{V}_i\} \Rightarrow \vec{s}_i$, $\tilde{S}_0^{-1}\{\vec{s}_i\} \Rightarrow \vec{V}_i$. У цьому випадку спостерігач, перебуваючи нерухомо в точці статичного ракурсу, може спостерігати 3D зображення, яке бачить уявний рухливий спостерігач.

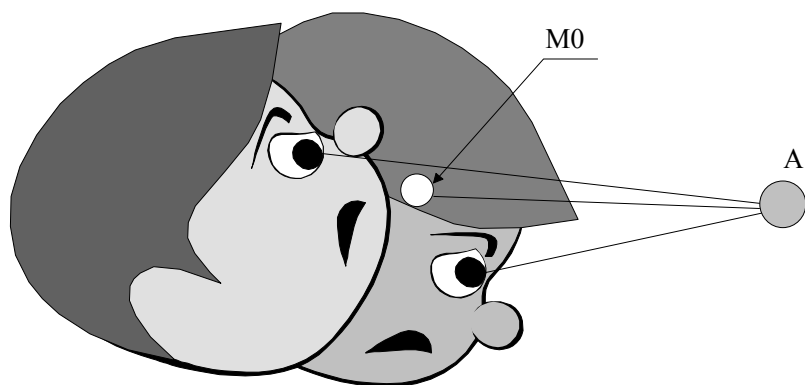
$$\vec{s} = A(\vec{V} + \vec{c} - \Delta\vec{r}_i)/(\hat{z}_i - Z - \dot{z}), \quad \vec{s} = A(\vec{V} + \vec{c} - \Delta\vec{r}_i)/(\hat{z}_i - Z - \dot{z}),$$

$$\Delta\vec{r}_i = \begin{bmatrix} \Delta\hat{x}_i = \hat{x}_i - \hat{x}_0 \\ \Delta\hat{y}_i = \hat{y}_i - \hat{y}_0 \\ \Delta\hat{z}_i = \hat{z}_i - \hat{z}_0 \end{bmatrix}, \quad \vec{r}_i = \begin{bmatrix} \hat{x}_i \\ \hat{y}_i \\ \hat{z}_i \end{bmatrix},$$

де \vec{r}_i - вектор поточного стану уявного спостерігача. Інші параметри ті ж, що і під час постійного стереоракурса.

Формули, що реалізують оператори стереооперетворення, розглянуті вище, справедливі за умови, що лінія, що з'єднує зіниці очей спостерігача, що знаходиться перед екраном стереодисплея і лінія, що з'єднує зіниці очей уявного спостерігача, були паралельні один одному та осі ox . При цьому базис стереобачення не змінювався. Однак, у ряді випадків, наприклад, при моделюванні процесів огляду об'єктів в ближній зоні стереобачення, пов'язаних з нахилами і поворотами голови уявного спостерігача, зазначені вище умови не виконуються. Це може призводити до порушення принципу еквівалентності при візуалізації, а значить – до некоректності застосування розглянутих вище стереооператорів. Тому, в таких випадках для побудови адекватної стереомоделі необхідно, беручи до уваги фактор зміни ракурсу стереобачення, врахувати фактор обертання лінії, що з'єднує зіниці спостерігача навколо осей, паралельних координатним осям. Для цього було розглянуто стереооператори, які отримали назву стереооператорів поворотного ракурсу, які позначені $\dot{S}_x\{\}$, $\dot{S}_y\{\}$, $\dot{S}_z\{\}$, відповідно при обертанні навколо осей, паралельних координатним: O-X, O-Y, O-Z.

Стереооператори поворотного ракурсу навколо осі O-X (рис.2):



$$\dot{S}_x\{\} = \tilde{S}_i\{\} |_{\hat{x}_i = const} \cdot$$

$$\dot{S}_x^{-1}\{\} = \tilde{S}_i^{-1}\{\} |_{\hat{x}_i = const} \cdot$$

Стереооператори поворотного ракурсу навколо осі O-Z (рис.3).

Прямий стереооператор:

$$\dot{S}_z\{\vec{V}\} = S_0\{\vec{V}'\}$$

Рис. 2. Поворот голови спостерігача вгору-вниз

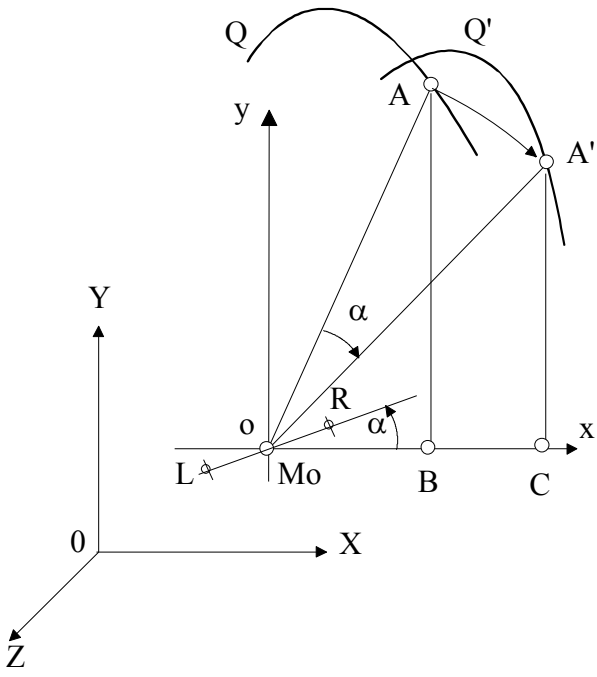


Рис.3. Поворот голови навколо осі OZ

$$X' = \sqrt{(X - \hat{X})^2 + (Y - \hat{Y})^2} \cos\left(\arctg \frac{Y - \hat{Y}}{X - \hat{X}} - \alpha\right) + \hat{X},$$

$$Y' = \sqrt{(X - \hat{X})^2 + (Y - \hat{Y})^2} \sin\left(\arctg \frac{Y - \hat{Y}}{X - \hat{X}} - \alpha\right) + \hat{Y},$$

$$Z' = Z.$$

Зворотний стереооператор: $\dot{S}_Z^{-1} \{ \vec{s} \} = S_0^{-1} \{ \vec{s}' \} +$

$$X = \sqrt{(X' - \hat{X})^2 + (Y' - \hat{Y})^2} \cos\left(\arctg \frac{Y' - \hat{Y}}{X' - \hat{X}} + \alpha\right) + \hat{X},$$

$$Y = \sqrt{(X' - \hat{X})^2 + (Y' - \hat{Y})^2} \sin\left(\arctg \frac{Y' - \hat{Y}}{X' - \hat{X}} + \alpha\right) + \hat{Y},$$

$$Z = Z'.$$

Стереооператор поворотного ракурсу навколо осі O-Y (рис.4).

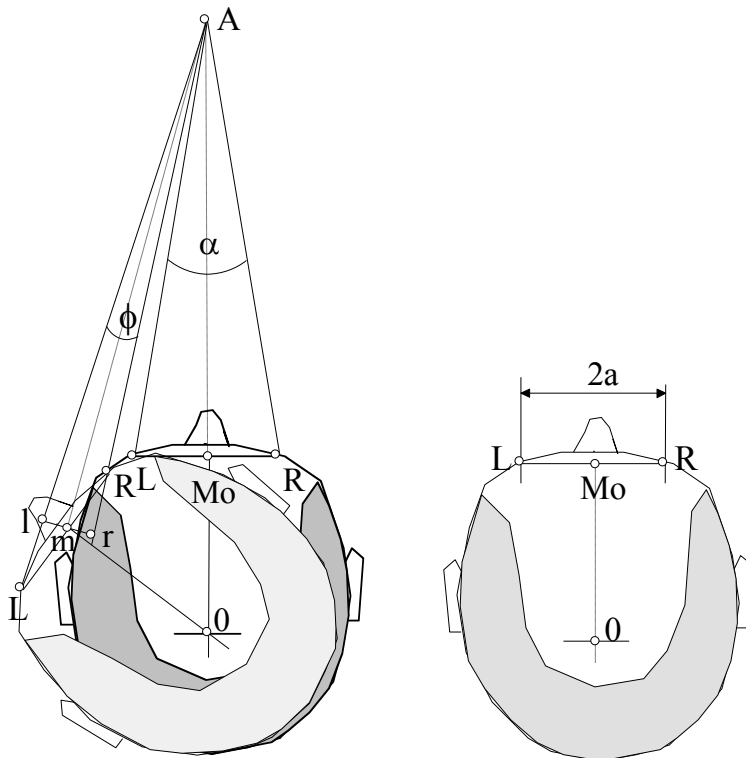


Рис.4. Поворот голови спостерігача вліво-вправо

Визначення прямого і зворотного стереооператорів поворотного ракурсу

$$\dot{S}_Y \{ \} = \tilde{S}_i \{ \} |_{a=\text{var}}, \quad \dot{S}_Y^{-1} \{ \} = \tilde{S}_i^{-1} \{ \} |_{a=\text{var}} \quad \text{зводиться до реалізації}$$

стереооператора змінного ракурсу при змінюваному базисі стереобачення, який визначається за додатковими формулами. У роботі також отримані стереооператори

для 3D систем, що містять плоске дзеркало (рис.5).

$$S_{om} \{ \vec{V} \} \Rightarrow \vec{s}_m, \quad S_{om}^{-1} \{ \vec{s}_m \} \Rightarrow \vec{V}$$

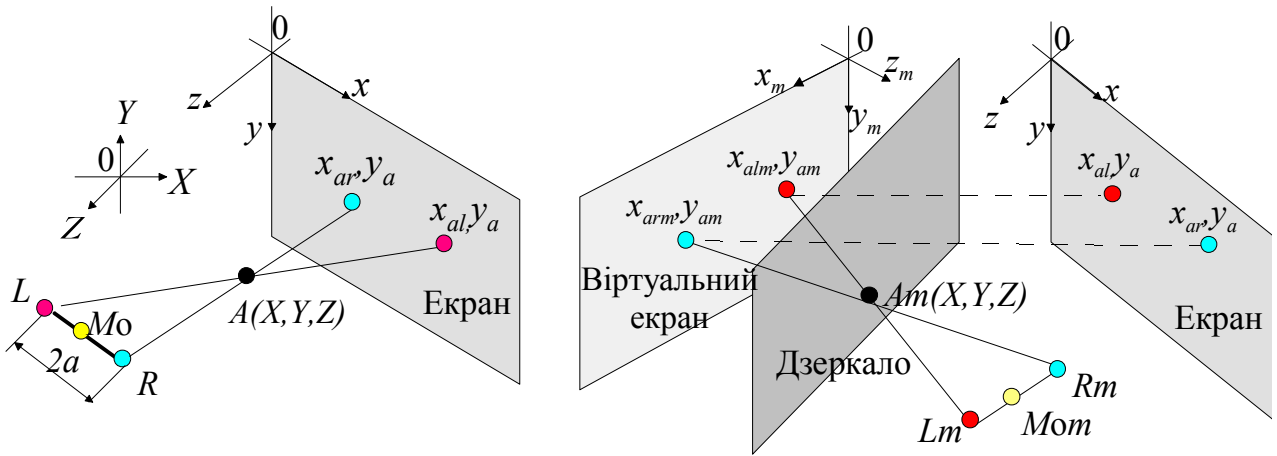


Рис.5. Звичайна стереосистема і стереосистема з дзеркалом
 а) Екран розташовано праворуч від спостерігача (рис.6).

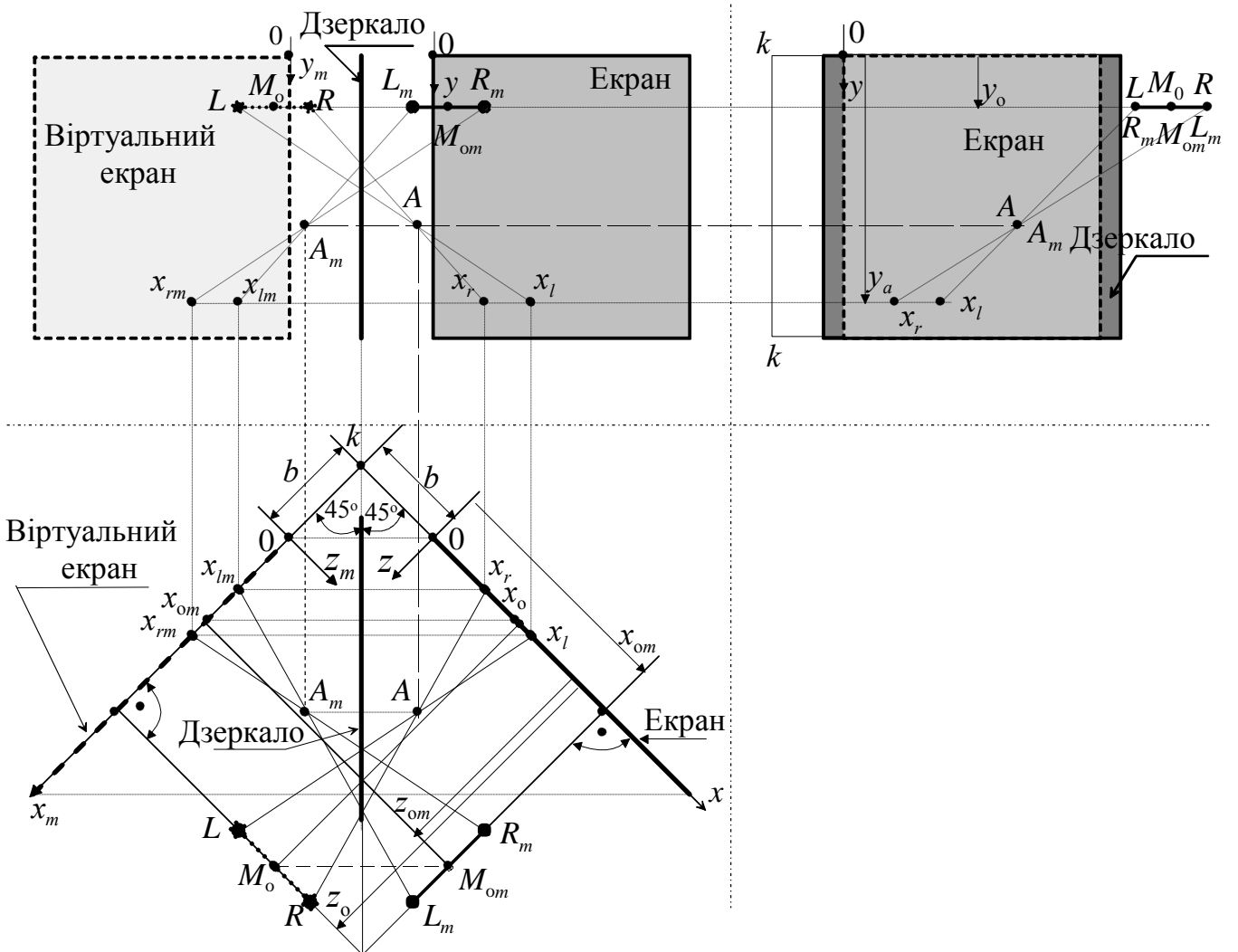


Рис.6. Три проекції стереосистеми з дзеркалом при положенні екрана праворуч

$$\vec{r}_{0m} = \begin{bmatrix} x_{0m} \\ y_{0m} \\ z_{0m} \end{bmatrix}, \quad \vec{s}_m = \vec{V} / (z_0 - Z), \quad A_m = \begin{bmatrix} z_0 & 0 & -a - x_0 \\ z_0 & 0 & a - x_0 \\ 0 & -z_0 & -y_0 \end{bmatrix}.$$

$$\vec{V} = (z_0 - Z)A_m^{-1} \cdot \vec{s}_m, \quad A_m^{-1} = (2az_0)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} a - x_0 & a + x_0 & 0 \\ y_0 & -y_0 & -2a \\ -z_0 & -z_0 & 0 \end{bmatrix}.$$

При куті 45 градусів між дзеркалом і екраном:

$$\vec{r}_{0m} = \begin{bmatrix} x_{0m} = z_0 - b \\ y_{0m} = y_0 \\ z_{0m} = x_0 + b \end{bmatrix}.$$

При довільному куті між дзеркалом і екраном:

$$x_{0m} = z_0 \cdot \sin 2\alpha + x_0 \cdot \cos 2\alpha - 2b \cdot (\sin \alpha)^2,$$

$$y_{0m} = y_0,$$

$$z_{0m} = (x_0 + b) \cdot \sin 2\alpha - z_0 \cdot \cos 2\alpha.$$

в) Екран розташовано вгорі над головою спостерігача.

Формули для визначення прямого та зворотного стереооператорів залишаються тими ж, що в попередньому випадку. Відмінними є формули для визначення стереоракурсу.

При куті 45 градусів:

$$\vec{r}_{0m} = \begin{bmatrix} x_{0m} = x_0 \\ y_{0m} = z_0 - b \\ z_{0m} = y_0 + b \end{bmatrix}.$$

При довільному куті між дзеркалом і екраном:

$$\vec{r}_{0m} = \begin{bmatrix} x_{0m} = x_0 \\ y_{0m} = z_0 \cdot \sin 2\alpha + y_0 \cdot \cos 2\alpha - 2b \cdot (\sin \alpha)^2 \\ z_{0m} = (y_0 + b) \cdot \sin 2\alpha - z_0 \cdot \cos 2\alpha \end{bmatrix}.$$

Запропоновано спрощення формул стереооператора постійного ракурсу до виду, що вимагає мінімальних витрат часу та апаратури на їх обчислення.

Істотне спрощення формул може бути досягнуто за рахунок особливого підбору констант. Якщо прийняти $\hat{z}_0 = 2^i$, $\hat{y}_0 = 2^k$, $a = 2^6$, $\hat{x}_0 = 192$, де i - ціле позитивне число; k - ціле, то зазначені формули набудуть вигляд:

$$\vec{s} = \begin{bmatrix} x_l = \frac{2^i(X - \dot{x}) - 2^7(Z + \dot{z})}{2^i - Z - \dot{z}} \\ x_l = \frac{2^i(X - \dot{x}) - 2^8(Z + \dot{z})}{2^i - Z - \dot{z}} \\ y = \frac{2^i(\dot{y} - Y) - 2^k(Z + \dot{z})}{2^i - Z - \dot{z}} \end{bmatrix}.$$

У розділі 2 також отримані матричні нерівності для визначення зони комп'ютерного стереобачення.

$$(\vec{H}, \vec{P}_{\min}) / \hat{z}_0 \leq X \leq (\vec{H}, \vec{L}_{\max}) / \hat{z}_0,$$

$$(\vec{Q}, \vec{E}_{\max}) / \hat{z}_0 \leq Y \leq (\vec{Q}, \vec{E}_{\min}) / \hat{z}_0.$$

де

$$\vec{L}_{\max} = \begin{bmatrix} \hat{x}_0 \\ -a \\ -x_{l-\max} \\ x_{l-\max} \\ -\dot{x} \\ -x_l - \max \\ \hat{x}_0 \\ -a \end{bmatrix}, \quad \vec{P}_{\min} = \begin{bmatrix} \hat{x}_0 \\ a \\ -x_{r-\min} \\ x_{r-\min} \\ -\dot{x} \\ -x_{r-\min} \\ \hat{x}_0 \\ a \end{bmatrix}, \quad \vec{E}_{\min} = \begin{bmatrix} y_{\min} \\ -\hat{y}_0 \\ -y_{\min} \\ \dot{y} \\ -\hat{y}_0 \\ y_{\min} \end{bmatrix}, \quad \vec{E}_{\max} = \begin{bmatrix} y_{\max} \\ -\hat{y}_0 \\ -y_{\max} \\ \dot{y} \\ -\hat{y}_0 \\ y_{\max} \end{bmatrix}.$$

Наведені нерівності дозволяють при обраних константах $\vec{c}, \vec{r}_0, a, b, c$ знайти залежності $X = f_1(Z); Y = f_2(Z)$, виходячи з яких для будь-якої точки просторового образу, що знаходиться перед або за екранної областю, можна стверджувати про факт її попадання в зону стереобачення.

Таким чином, запропонований операторний метод стереоперетворень є формальним математичним інструментом для синтезу та аналізу комп'ютерних графічних 3D зображень, що враховує різні випадки розташування голови спостерігача перед монітором; а також ті випадки, коли спостерігач перед монітором бачить 3D об'єкт або сцену очима віртуального спостерігача, що переміщається в просторі. Особливість запропонованого операторного методу стереоперетворень полягає в тому, що він встановлює взаємно-зворотний однозний

зв'язок між тривимірним простором і віртуальним стереопростором. При цьому стереобазис і вектор стереоракурсу визначається матрицею перетворень, що забезпечує збільшення реалістичності та адекватності сприйняття комп'ютерних стереозображень. Крім того, такий підхід є основою для створення таких графічних каркасних стереопроцедур, у яких автоматично вирішується кореспондентська задача. Отримано модифікації формул прямого стереооператора постійного ракурсу, що вимагають мінімуму обчислювального навантаження та орієнтовані на синтез швидких спецпроцесорів, що реалізують перетворення з просторової області в стереообласть. Також отримані математичні залежності для реалізації прямого та зворотного стереооператора постійного ракурсу для стереосистем, що містять плоске дзеркало.

У розділі 3 «Графічні стереопроцедури» використовуються ті тривимірні зображення, які представлені каркасними графічними базами даних, де основними об'єктами зображень є поле незалежних точок і поле незалежних і/або пов'язаних відрізків прямих.

Структура файлу довільного тривимірного каркасного об'єкта, яка прийнята в програмі «СТЕРЕО» виглядає таким чином:

$$b_i \quad a \quad \dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{z} \quad \hat{x}_0 \hat{y}_0 \hat{z}_0 \quad X_1^1 Y_1^1 Z_1^1 \quad X_2^1 Y_2^1 Z_2^1 \quad X_1^2 Y_1^2 Z_1^2 \quad X_2^2 Y_2^2 Z_2^2 \\ X_1^3 Y_1^3 Z_1^3 \quad X_2^3 Y_2^3 Z_2^3 \quad X_1^4 Y_1^4 Z_1^4 \quad X_2^4 Y_2^4 Z_2^4 \quad \dots \quad X_1^i Y_1^i Z_1^i \quad X_2^i Y_2^i Z_2^i$$

де i – число об'єктів візуалізації (кількість тривимірних відрізків плюс кількість одиночних точок);

a – половина величини базису стереобачення;

$\dot{x}\dot{y}\dot{z}$ – координати вектора зміщення правої світової системи координат і лівої екранної системи координат, виражені в екранній системі;

$\hat{x}_0 \hat{y}_0 \hat{z}_0$ – координати постійного ракурсу, виражені в екранній системі координат;

$X_1^i Y_1^i Z_1^i \quad X_2^i Y_2^i Z_2^i$ – тривимірні координати кінцевих точок довільного відрізка в просторі, виражені в світовій системі координат. Після процедури стереоперетворення:

$$b_i \quad a \quad \dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{z} \quad \hat{x}_0 \hat{y}_0 \hat{z}_0 \quad (x_{11}^L x_{11}^R y_{11} \quad x_{12}^L x_{12}^R y_{12}) \quad (x_{21}^L x_{21}^R y_{21} \quad x_{22}^L x_{22}^R y_{22}) \\ (x_{31}^L x_{31}^R y_{31} \quad x_{32}^L x_{32}^R y_{32}) \quad (x_{41}^L x_{41}^R y_{41} \quad x_{42}^L x_{42}^R y_{42}) \quad \dots \quad (x_{j1}^L x_{j1}^R y_{j1} \quad x_{j2}^L x_{j2}^R y_{j2})$$

У дужках наведено стереобаза для окремої стереоточки або для окремого стереовектора. Як видно, кожен каркасний стереоб'єкт в базі даних супроводжується точним просторовим значенням стереобазиса, стереоракурса та вектором взаємного зсуву світової і екранної системи координат. Це дає можливість зменшити геометричні спотворення за рахунок неточності вибору базису та ракурсу при візуалізації, і, як наслідок, підвищити адекватність і реалістичність сприйняття стереозображення. Крім того, ліва та права складова стереопари (зв'язані точки)

будь-якої окремої або вузловий точки (x_j^L, x_j^R) каркасного стереозображення в стереобазі даних завжди знаходяться поруч з відповідною ординатою (y_j) даної стереопари. Це забезпечує необхідних умов вирішення кореспондентської задачі.

Процедура «стереокурсор». Стереокурсором (стереолокатором) названа інтерактивна комп'ютерна процедура, призначена для наведення в будь-яку точку зони стереобачення стереоскопічної фігури прицілювання (стереокурсора), з безперервною синхронізацією виведення на термінал дисплею тривимірних координат центру стереокурсора.

Моделні експерименти, проведені на стереокомплексі СТОК з оцифрування за допомогою стереокурсора натурних стереозображень, дали можливість визначити на першому етапі досліджень цієї задачі ряд вимог, що пред'являються як до самих фігур прицілювання, так і до систем їх управління. Залежно від характеру натурної стереосцени (форми, фактури, освітленості самого об'єкта та навколишнього середовища) точність наведення стереокурсора в потрібну точку стереоскопічного натурального об'єкта суттєво відрізняється при різних формах фігур прицілювання. Тому необхідна розробка математичних моделей різних видів фігур стереокурсорів.

Стереокурсор - це спеціальна база стереоданих конкретної фігури прицілювання, яка утворюється в результаті застосування прямого стереооператора постійного ракурсу до кожної вузлової точки векторного опису курсора в світовій системі координат. Таким чином, реалізація різних видів стереокурсорів пов'язана з однотипною процедурою стереооперетворення (відмінність лише в числі процедур). Відрізняються також і процедури обчислення вузлових точок усіх векторів, які формують обраний вид курсору в тривимірній системі координат відповідно до його математичної моделі. У дисертаційній роботі запропоновано 5 математичних моделей різного виду стереокурсорів (А, В, С, D, Е, рис.7-11); і основні інструкції по управлінню стереокурсором:

- вибір типу курсора з наявного меню;
- установка і зміна кроку руху курсору незалежно по кожній з трьох координат з будь-якою дискретністю;
- зміна форми та розмірів курсора з будь-якою дискретністю;
- переміщення курсору з заданим дискретним кроком по простору машинного стереобачення по шести напрямках (вгору-вниз, вліво-вправо, вперед-назад);
- вивід на термінал поточних тривимірних координат центру стереокурсора;
- повернення курсору в вихідну позицію;
- гасіння курсору, при необхідності, продовжуючи його переміщення, а потім, якщо потрібно, його висвітлення;
- вивід курсору в інверсному вигляді;
- управління курсором у режимі кнопочного Джойстика;
- управління курсором у режимі 3D миша.

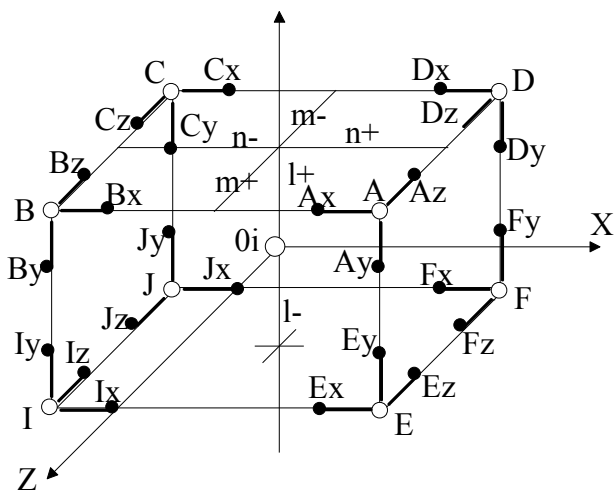


Рис.7. Курсор А

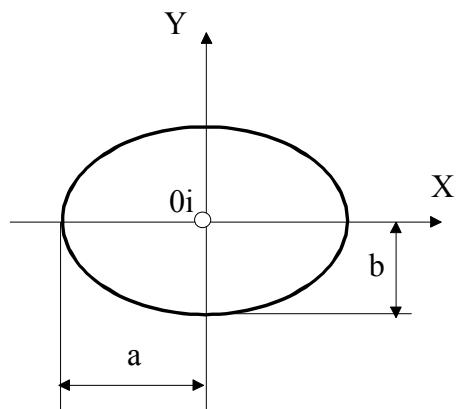


Рис.8. Курсор В

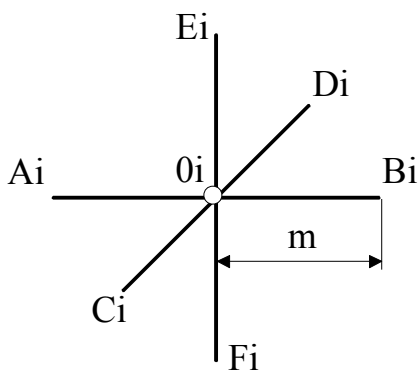


Рис.9. Курсор С

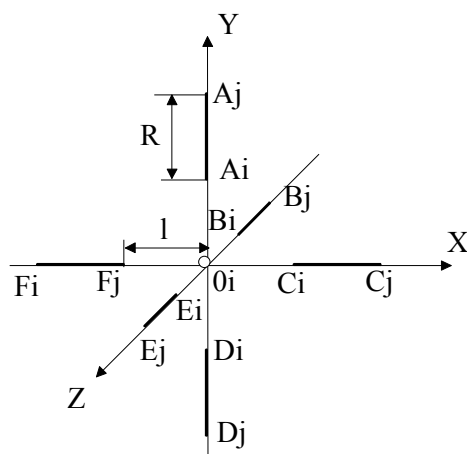


Рис. 10. Курсор D

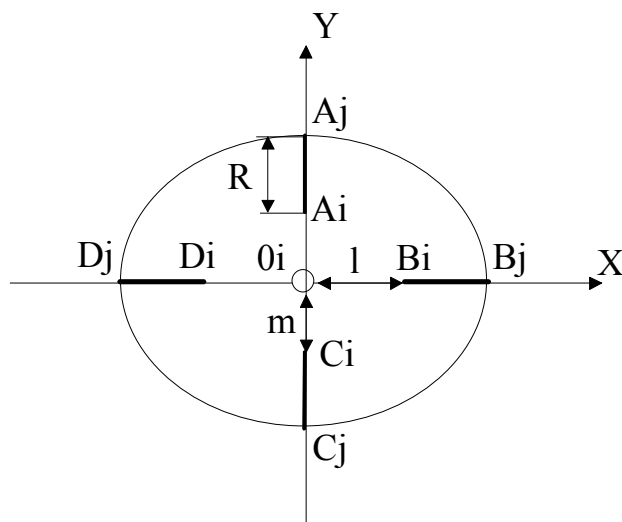


Рис.11. Курсор E

Процедура зсуву стереозображення. Зсув (перенесення) стереозображень у вибраній системі можна здійснювати двояким способом, це: – або зрушення зображення в тривимірній системі координат з подальшим застосуванням стереооператора $S_0 \{ \}$,

$$S_0 \{ \vec{V}_i + \overrightarrow{\Delta V}_i \} \Rightarrow \vec{s}_i + \overrightarrow{\Delta s}_i, \text{ де } \overrightarrow{\Delta V}_i = \begin{bmatrix} \pm \Delta X_i \\ \pm \Delta Y_i \\ \pm \Delta Z_i \end{bmatrix}, \quad \overrightarrow{\Delta s}_i = \begin{bmatrix} \pm \Delta x_l^i \\ \pm \Delta x_r^i \\ \pm \Delta y^i \end{bmatrix};$$

– або зміна вектора зміщення двох систем координат $\vec{c} : \vec{c}_{\text{смети}} = \vec{c} + \overrightarrow{\Delta c}$, де

$$\overrightarrow{\Delta c} = \begin{bmatrix} \pm \Delta \dot{x} \\ \pm \Delta \dot{y} \\ \pm \Delta \dot{z} \end{bmatrix}.$$

Процедура стереомасштабування та стереодеформації щодо довільної точки простору. Йдеться про масштабування довільної точки А щодо будь-якої точки простору стереобачення, яка встановлюється в інтерактивному режимі, за допомогою стереокурсор. В результаті застосування даної процедури шукане стереозображення або зменшується в напрямку точки, обраної стереокурсором, або збільшується в протилежному напрямку. У загальному випадку формули масштабування такі:

$$\vec{V}_A = M \bullet \vec{V}_B,$$

де

\vec{V}_B - вектор просторових координат довільної точки В, до масштабування;

\vec{V}_A - вектор просторових координат точки А утворений після масштабування точки А;

M - матриця масштабування або деформації :

$$M = \begin{bmatrix} M_X & 0 & 0 \\ 0 & M_Y & 0 \\ 0 & 0 & M_Z \end{bmatrix}.$$

Щоб виконувалася процедура масштабування щодо обраної точки стереопростору (точка О), однаково по всіх координатах, необхідно масштабні коефіцієнти вибрати так:

при стисненні:

$$\begin{cases} M_X = ((M - 1) + X_o) / M, \\ M_Y = ((M - 1) + Y_o) / M, \\ M_Z = ((M - 1) + Z_o) / M, \end{cases}$$

при розтягуванні:

$$\begin{cases} M_X = ((M + 1) - X_o) / M, \\ M_Y = ((M + 1) - Y_o) / M, \\ M_Z = ((M + 1) - Z_o) / M, \end{cases}$$

де X_o, Y_o, Z_o - координати точки O , що встановлюються стереокурсором, M - коефіцієнт масштабування. Якщо масштабні коефіцієнти відрізняються один від одного, будуть реалізовуватися різні випадки деформації зображень щодо обраної точки. Після виконання вищевказаних обчислень відбувається процедура стереоперетворення та стереовізуалізації.

Процедура стереоогляду. Стереоогляд зображень зводиться до процедури застосування нового ракурсу спостереження. Як було показано в розд. 2, якщо відбувається моделювання процесу стереоогляду без урахування обертання голови віртуального спостерігача, то досить в стереоперетвореннях використовувати прямий стереооператор змінного ракурсу $S_i\{\}$. Якщо необхідно включити в процес стереомоделювання облік обертання голови, то для цих цілей використовуються стереооператори поворотних ракурсів $\dot{S}_x\{\}$, $\dot{S}_y\{\}$, $\dot{S}_z\{\}$.

Процедура повороту стереозображень. Запропоновано процедуру повороту на довільний кут стереозображень навколо координатних осей, позиція яких в просторі встановлюється в діалозі з допомогою стереокурсору.

Процедура стереоінтерполяції. Процедура стереоінтерполяції призначена для забезпечення режиму швидкої тривимірної оцифровки і/або скелетизації натурних стереозображень зі складними нелінійними поверхнями, які погано піддаються математичному опису. Така процедура буде ефективна при синтезі оптимальних тривимірних кривих і поверхонь, представлених в стереоскопічному вигляді при натурно-комп'ютерному стереомоделюванні. У зоні комп'ютерного стереобачення за допомогою стереокурсору обрано дві довільні точки $M_1 (X_1, Y_1, Z_1)$ і $M_3 (X_3, Y_3, Z_3)$, де $OXYZ$ світова права система координат, рис.12. У будь-якому місці

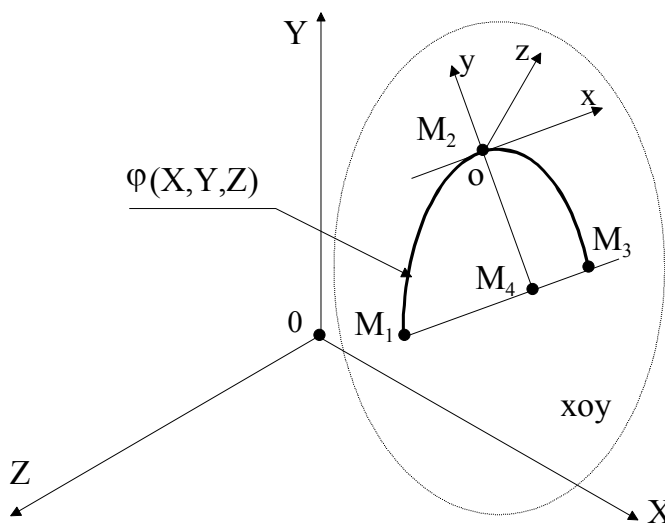


Рис. 12. Розташування інтерполяційної кривої і систем координат

дотичної в точці M_2 завжди дорівнює куту нахилу прямої M_1-M_3 .

Остання можливість є дуже істотною та пов'язана з тим, що дає користувачеві, який конструює шукану криву, відчуття, що крива своєї середньої точкою M_2 спрямовується в просторі за центром фігури прицілювання стереокурсору, що підвищує ефективність синтезу оптимальних інтерполяційних кривих. Шукана

простору, обмеженого з одного боку зоною стереобачення, а з іншого – простором, розташованим між двома площинами, проведеними перпендикулярно відрізка прямої M_1-M_3 через точки M_1 і M_3 , також за допомогою стереокурсору, задається довільна точка $M_2 (X_2, Y_2, Z_2)$. Процедура стереоінтерполяції дає можливість синтезувати безперервну інтерполяційну криву, що проходить через точки M_1, M_2, M_3 . Усі точки цієї кривої лежать в одній площині і, крім того, кут нахилу

крива складається з двох парабол, що стикаються в середній точці. Розглянуто алгоритм синтезу кривої, що дозволяє реалізувати шукану стереокриву методом кусочно-лінійної апроксимації з малою похибкою в околі середньої точки.

Процедура стереовікно. Процедура «Стереовікно» є процедурою, еквівалентом якої в тривимірній напівтоновій графіці немає. Ця процедура орієнтована на усунення так званого крайового ефекту в стереобаченні. Усі, хто спостерігав стереозображення в стереокіноотеатрах або на моніторах комп'ютерів або телевізорів, звернули увагу на те, що на ділянках лівого та правого країв екранів, при спостереженні стереоскопічних зображень, відчувався дискомфорт. Пов'язано це з тим, що у країв екрану часто відсутні компоненти всіх стереопар зображуваних сцен (просто не вистачає місця на екрані). В одному випадку є праві складові стереопар, але не повністю присутні ліві. В іншому випадку, навпаки, є ліві складові, але немає правих, або те й інше одночасно. При спостереженні стереозображень в стереокіноотеатрах глядач менше відчуває даний дискомфорт через великий екран, оскільки головні події, як правило, зосереджені в центрі екрана, і глядач не відволікається на бокові периферійні зони. У стереографіці, де площа екрану невелика, дискомфорт крайового ефекту призводить до швидкої стомлюваності очей спостерігача – це перше; а по друге, при цьому відбувається втрата пов'язаних стереоточок. Тому важливим є завдання розробки процедури «Стереовікно», покликаної не тільки реалізувати відсікання при виході частини стереопар зображень за межі екрану або вікна, але одночасно коригувати ті частини стереопар, що залишилися в площині екрану, щоб не порушити їх кореспондентність.

У роботі отримані математичні співвідношення, які використані в алгоритмі, який реалізований в програмі стереокомплексу СТОК. Стереовідсікання виконується по контуру прямокутної області з довільним розміром сторін для всіх розроблених графічних стереопроцедур. Контур стереовікна може бути поміщений в будь-якій ділянці екранної площини в діалоговому режимі.

Крім того, отримано математичні співвідношення і для випадку, коли стереовікно розташоване паралельно екранної площини в будь-якому місці зони стереобачення.

Процедура віртуального 3D занурення в графічних стереомоделях. У всіх, хто працював з графічними стереомоделями, виникало бажання не тільки спостерігати глибинні співвідношення досліджуваної стереомоделі з одного ракурсу, а й – бажання зануритися вглиб досліджуваного простору, щоб більш детально дослідити тривимірну зону інтересу. По суті, така процедура глибинного занурення зводиться до перерахунку стереоскопічної сцени для нового положення спостерігача. Але якщо реальний спостерігач залишається в точці постійного ракурсу, то зануритися всередину стереосцени можна тільки за рахунок моделювання занурення віртуального спостерігача. В роботі показано, що «Процедура віртуального 3D занурення в графічних стереомоделях» реалізується за допомогою стереооператора змінного ракурсу $\tilde{S}_0\{\vec{V}_i\} \Rightarrow \vec{s}_i$, розглянутого в розділі 2. Показано, що процедура глибинного занурення віртуального спостерігача в стереопростір може бути реалізована двома способами: або за рахунок зміни координати Z вектора

стереоракурсу в прямому стереооператорі змінного ракурсу; або за рахунок переміщення шуканої графічної стереосцени уздовж координати Z у протилежному напрямку при реалізації прямого стереооператора постійного ракурсу.

Процедура стереорекурсія. Процедурою «стереорекурсія», названо процедуру, що використовується для синтезу на наступному етапі каркасну базу, отриману на попередньому кроці. Наприклад, на першому кроці був сформований стереовектор у площині екрану; на другому кроці стереорекурсії цей вектор було повернуто на 360° навколо осі oz , – у результаті вийшло скелетне коло, що лежить в екранній площині. На наступному кроці стереорекурсії отримане коло повернуто на 360° навколо осі oy , – у результаті отримано каркасна куля. Або, наприклад, на другому кроці стереорекурсії, стереоколо було зрушено вглиб, – у результаті маємо каркасну трубу. На першому кроці рекурсії може бути не тільки довільний набір стереоточок і/або стереовекторів, а й будь-яка стереокрива, сформована за допомогою стереоінтерполятора, або синтезована від руки за допомогою 3D-миші, рис.13.

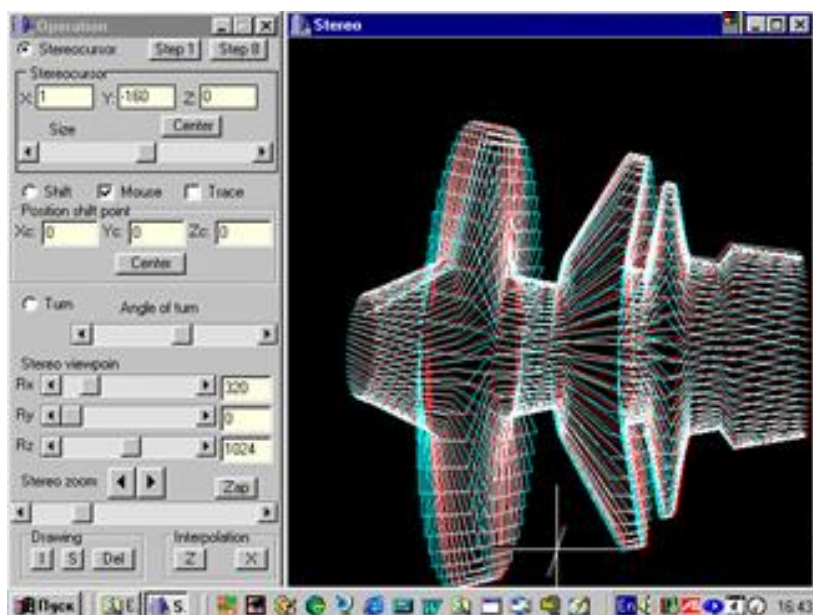


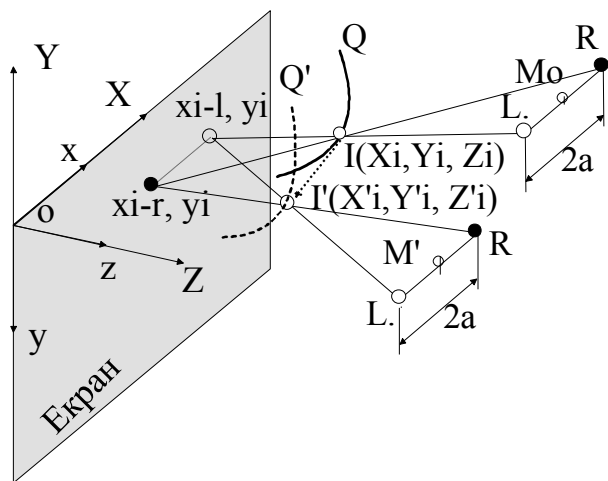
Рис.13. Приклад застосування процедури стереорекурсії

Висновки. Розроблені стереографічні процедури для скелетно-точкових примітивів є ефективним інструментарієм формування та аналізу каркасних зображень, що забезпечує множину можливостей, які відсутні у відомих програмних продуктах: стереоінтерполяція, стереорекурсія, стереовікно. Завдяки процедурі «стереовікно» повністю виключено крайовий ефект для всіх графічних зображень, сформованих на основі операторного методу стереопертворень, і тим самим усунуто можливість втрати пов'язаних стереоточок при всіх маніпуляційних процедурах, що при правильній організації стереобаз даних повністю вирішує кореспондентську задачу для каркасних зображень. Завдяки процедурі «стереокурсор» у будь-який

момент часу в операційному полі програми присутні 3D координати центру фігури прицілювання стереокурсору і тому забезпечується постійний взаємозворотний зв'язок між реальними 3D координатами і стереокоординатами. Іншими словами, стереокурсор – це зонд у віртуальний стереосвіт, під постійним контролем 3D координат його подорожі. Крім того, використовуючи комбінацію процедури «стереорекурсія» і інших процедур з'явилася можливість швидкого формування унікальних каркасних зображень.

Розділ 4. «Математичні моделі для аналізу геометричних спотворень у стереобаченні» У зв'язку з тим, що останнім часом засоби отримання, переробки та відображення тривимірної інформації все частіше застосовуються в нових технологіях дистанційного контролю та управління, важливим стає питання про адекватність швидкого сприйняття просторової інформації. Чи ту тривимірну сцену або об'єкт (які спочатку були задумані дизайнером або отримані оператором) бачить конкретний спостерігач, який використовує який-небудь засіб візуалізації тривимірної інформації при прийнятті рішень? Відповідь на поставлене запитання набуває особливої ваги в тих випадках, коли системи об'ємного бачення використовуються в критичних технологіях просторового управління реального часу з людиною в контурі управління.

На основі операторного методу стереоперетворень були розроблені математичні моделі аналізу стереодеформацій для різних конфігурацій 3D систем. Метою досліджень було створення математичної моделі аналізу стереоскопічних зображень по всьому каналу проходження інформації: об'єкт – стереокамера – стереопроектор – екран – спостерігач. Спочатку були отримані математичні моделі для аналізу геометричних спотворень у системі екран – спостерігач. Одна модель враховує геометричну деформацію стереоскопічних зображень, якщо спостерігач знаходиться не в розрахунковій точці ракурсу спостереження (рис.14).



$$\vec{v}'_i = \frac{(\hat{z}_1 - Z'_i)}{(\hat{z}_0 - Z_i)} \cdot P \bullet \vec{v}_i,$$

$$P = \begin{bmatrix} \hat{z}_0 / \hat{z}_1 & 0 & (\hat{x}_1 - \hat{x}_0) / \hat{z}_1 \\ 0 & \hat{z}_0 / \hat{z}_1 & (\hat{y}_0 - \hat{y}_1) / \hat{z}_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Рис.14. Деформація при іншому ракурсі

Наступна модель враховує інший базис стереобачення при спостереженні (рис.15).

$$\vec{v}'_i = \frac{(\hat{z}_0 - Z'_i)}{(\hat{z}_0 - Z_i)} \cdot T \cdot \vec{v}_i,$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{\hat{x}_0(a-b)}{b \cdot \hat{z}_0} \\ 0 & 1 & \frac{\hat{y}_0(b-a)}{b \cdot \hat{z}_0} \\ 0 & 0 & \frac{a}{b} \end{bmatrix}.$$

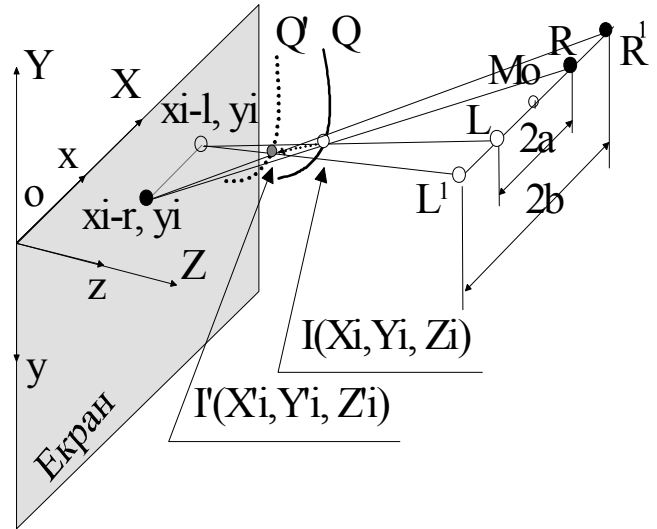


Рис. 15. Деформація при іншому базисі

Третя модель – для обліку одночасно і іншого стереоракурсу спостереження, і іншого стереобазису.

$$\vec{v}' = \frac{(\hat{z}_i - Z')}{(\hat{z}_0 - Z)} \cdot A_a^{-1} \cdot A_b \cdot \vec{v}, \quad H = \begin{bmatrix} \hat{z}_0 & 0 & \frac{\hat{x}_i \cdot b - \hat{x}_0 \cdot a}{a \cdot \hat{z}_i} \\ \hat{z}_i & \hat{z}_0 & \frac{a \cdot \hat{y}_0 - b \cdot \hat{y}_i}{a \cdot \hat{z}_i} \\ 0 & 0 & \frac{b}{a} \end{bmatrix}.$$

Також були визначити деформаційні кути повороту довільного відрізка прямої. Ці моделі орієнтовані тільки на комп'ютерне стереобачення.

Далі, були отримані математичні моделі аналізу геометричних деформації в системі: об'єкт – стереокамера – стереопроектор – екран. Одна модель враховує інший базис і ракурс для систем, у яких центральні оптичні осі камер і проєкторів паралельні між собою і перпендикулярні поверхні екрану, при цьому можливе врахування коефіцієнта масштабування проєкторів.

$$\vec{s}_{p/m}^i = \frac{A_p \cdot (\vec{V}_i + \vec{k}) + \vec{d}}{\hat{z}_c - Z_i}, \quad \vec{s}_{p/m}^i = \begin{bmatrix} x_{l-p/m}^i \\ x_{r-p/m}^i \\ y_{p/m}^i \end{bmatrix}, \quad \vec{V}_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}, \quad \vec{k} = \begin{bmatrix} -l/2 \\ h/2 \\ -\hat{z}_c \end{bmatrix},$$

$$A_p = \begin{bmatrix} M \cdot \hat{z}_p & 0 & p-l/2 \\ M \cdot \hat{z}_p & 0 & -p-l/2 \\ 0 & -M \cdot \hat{z}_p & -h/2 \end{bmatrix}, \quad \vec{d} = \begin{bmatrix} M \cdot c \cdot \hat{z}_p \\ -M \cdot c \cdot \hat{z}_p \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Далі було отримано загальна математична модель. Під загальною математичною моделлю аналізу стереозображень у даному випадку розуміється модель, що описує систему: об'єкт – стереокамера – стереопроектор – екран – спостерігач з паралельним розташуванням стереокамери і стереопроектора. При цьому базиси та ракурси у стереокамери, стереопроектора і спостерігача можуть відрізнятися один від одного. Дана математична модель дозволяє враховувати оптичний масштабний коефіцієнт у стереопроектора.

$$\vec{V}_i' = \frac{\hat{z}_v - Z_i'}{v \cdot \hat{z}_v (\hat{z}_c - Z_i')} \cdot [T_1 \cdot (\vec{V}_i + \vec{k}) + \vec{g}_1],$$

$$X_i' = \frac{(Z_i - \hat{z}_c) \cdot (p \cdot \hat{x}_v - v \cdot l/2) + M \cdot \hat{z}_p [v \cdot (X_i - l/2) + c \cdot \hat{x}_v]}{(Z_i - \hat{z}_c)(p - v) + M \cdot c \cdot \hat{z}_p},$$

$$Y_i' = \frac{(Z_i - \hat{z}_c) \cdot (c \cdot h/2 - p \cdot \hat{y}_v) + M \cdot \hat{z}_p [v \cdot (Y_i + h/2) - c \cdot \hat{y}_v]}{(Z_i - \hat{z}_c)(p - v) + M \cdot c \cdot \hat{z}_p},$$

$$Z_i' = \frac{\hat{z}_v [p \cdot (Z_i - \hat{z}_c) + M \cdot c \cdot \hat{z}_p]}{(Z_i - \hat{z}_c)(p - v) + M \cdot c \cdot \hat{z}_p}.$$

Було отримано дві загальні математичні моделі для стереосистем:

1) об'єкт – стереокамера – стереопроектор – екран – спостерігач; камери та проектори спрямовані під кутом. Проектори можуть мати систему оптичного масштабування, але не мають системи компенсації трапецеїдальних спотворень,

$$\vec{V}_i' = (\hat{z}_v - Z_i') \cdot A_v^{-1} \cdot \vec{s}_{p/m}^i,$$

$$x_{r-p/m}^i = \frac{M \cdot \sqrt{(\hat{z}_p)^2 + p^2} \cdot \sin \left[\arctg \left(\frac{\hat{z}_c}{c} \right) - \arctg \left(\frac{\hat{z}_c - Z_i}{c + l/2 - X_i} \right) \right]}{\sin \left[\arctg \left(\frac{\hat{z}_p}{p} \right) - \arctg \left(\frac{\hat{z}_c}{c} \right) + \arctg \left(\frac{\hat{z}_c - Z_i}{c + l/2 - X_i} \right) \right]},$$

$$x_{l-p/m}^i = \frac{M \cdot \sqrt{(\hat{z}_p)^2 + p^2} \cdot \sin \left[\arctg \left(\frac{\hat{z}_c}{c} \right) - \arctg \left(\frac{\hat{z}_c - Z_i}{X_i + c - l/2} \right) \right]}{\sin \left[\arctg \left(\frac{\hat{z}_p}{p} \right) - \arctg \left(\frac{\hat{z}_c}{c} \right) + \arctg \left(\frac{\hat{z}_c - Z_i}{X_i + c - l/2} \right) \right]} + l/2.$$

$$y_{p/m}^i = h/2 - \frac{M \cdot (Y_i + h/2) \sqrt{(\hat{z}_p)^2 + (h/2 - \hat{y}_p)^2} \cdot \cos \left[\arctg \left(\frac{Y_i + h/2}{\hat{z}_c - Z_i} \right) \right]}{(\hat{z}_c - Z_i) \cdot \sin \left[\arctg \left(\frac{\hat{z}_p}{h/2 - \hat{y}_p} \right) + \arctg \left(\frac{Y_i + h/2}{\hat{z}_c - Z_i} \right) \right]};$$

2) об'єкт – стереокамера – стереопроектор – екран – спостерігач; камери та проектори спрямовані під кутом. Проектори можуть мати систему оптичного масштабування та систему компенсації трапецеїдальних спотворень,

$$\vec{V}_i' = (\hat{z}_v - Z_i') \cdot A_v^{-1} \bullet \vec{s}_{p/m}^i,$$

$$x_{r-p/m}^i = M \cdot \sqrt{(\hat{z}_p)^2 + p^2} \cdot \operatorname{tg} \left[\arctg \left(\frac{\hat{z}_c}{c} \right) - \arctg \left(\frac{\hat{z}_c - Z_i}{c + l/2 - X_i} \right) \right] + l/2,$$

$$x_{l-p/m}^i = M \cdot \sqrt{(\hat{z}_p)^2 + p^2} \cdot \operatorname{tg} \left[\arctg \left(\frac{\hat{z}_c}{c} \right) - \arctg \left(\frac{\hat{z}_c - Z_i}{X_i + c - l/2} \right) \right] + l/2,$$

$$y_{p/m}^i = h/2 - \frac{M \cdot (Y_i + h/2) \sqrt{(\hat{z}_p)^2 + (h/2 - \hat{y}_p)^2}}{\hat{z}_c - Z_i}.$$

Висновки. Розроблені математичні моделі є основою для аналізу геометричних спотворень у різних конфігураціях стереосистем. При цьому базили та ракурси у стереокамери, стереопроектора і спостерігача можуть відрізняються один від одного; камери і проектори можуть розташовуватися паралельно один одному або під кутом; стереопроектор може мати систему оптичного масштабування, а також – систему компенсації трапецеїдальних спотворень. Порівнюючи відомі координати ряду характерних точок об'єкта з отриманими координатами відповідних точок на моделі, можна аналізувати якість стереосистем як діючих, так і тих, що проектуються. Іншими словами, отримані моделі можна розглядати як новий інструментарій для проектування стереосистем з мінімальними спотвореннями.

Розділ 5. «Обчислювальні процедури, що використовують групові операції». Задачі моделювання і відображення 3D об'єктів, особливо стереоскопічних, вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Для спеціалізованих стереоскопічних систем можна запропонувати метод прискорення обчислювальних процедур, що базується на застосуванні процесорів групових арифметичних операцій. Проведені раніше дослідження показали, що якщо в якості групової операції вибрати арифметичну операцію скалярного множення двох дійсних векторів, то типові задачі лінійної алгебри (матрично-векторні операції, системи лінійних алгебраїчних рівнянь) допускають ефективно застосування зазначеної операції. У розділі 5 наведені результати подальших досліджень у напрямку прискорення обчислювальних процедур на базі зазначеної групової арифметичної операції в задачах моделювання систем лінійних і нелінійних диференціальних рівнянь, а також у процедурах тривимірної графіки. Запропоновано матриці операторів для неоднорідних систем лінійних диференціальних рівнянь, які дозволили розширити коло вирішуваних завдань, методом прямих і зворотних диференційно-інтегральних операторів, запропонованих раніше. Доведено можливість підвищення ефективності вирішення систем диференціальних рівнянь за методом Пухова Г.Є. (Т-перетворення, задача Коші, системи з постійними та змінними коефіцієнтами) на обчислювальних структурах зі змішаним кодуванням. Також проведено аналіз на предмет застосування групової арифметичної операції для прискорення обчислювального процесу при вирішенні систем нелінійних рівнянь. Розглянуто обчислювальні процедури 3D графіки, що вимагають групової обробки.

Висновок. Групова арифметична операція скалярного множення двох дійсних векторів є домінуючою в багатьох обчислювальних процесах алгебри і аналізу; в матричних перетвореннях; у 3D графіці і в стереографіці. Для тих спеціалізованих стереосистем, які включені в контур оперативного управління важливими динамічними процесами, спеціалізований процесор сум парних додатків дасть істотне підвищення продуктивності обчислень у процедурах стереообробки і в інших обчислювальних процесах.

У розділі 6 розглянуті **«Методи синтезу процесорів групових арифметичних операцій»** Вимогою підвищеної швидкодії була обумовлена необхідність того, що синтез процесорів групових арифметичних операцій було проведено відповідно до ідеології паралельних обчислювачів, а конкретно – на основі комбінаційних матричних структур. Було запропоновано два методи кодування, які дозволяють з єдиних позицій синтезувати швидкі обчислювальні структури процесорів групових арифметичних операцій.

Метод надлишкового кодування. Раніше були розглянуті питання розширення розрядної сітки машини (надлишкова система кодування) стосовно помножувачів, які працюють з двійковими числами в додаткових кодах. У роботі розвинено цей підхід з метою формалізації застосування надмірної системи кодування при синтезі процесорів групових арифметичних операцій. Формалізація оснований на ідеї застосування ділянки зображень; при цьому вихідна інформація, задана в області оригіналів за допомогою так званого прямого перетворення, перекладається в ділянку зображень, $\hat{A}_i = (P + A_i) \bmod P$, при обмеженні $|A_i| < P/2$, де P – модуль перетворення, ціле, позитивне число. В ділянці зображень виконуються всі

необхідні групові операції, і далі, якщо необхідно, здійснюється переклад шуканих результатів в область оригіналів зворотним перетворенням

$$A_i = \begin{cases} \dot{A}_i, & \text{при } \dot{A}_i \leq P/2, \\ A_i - P, & \text{при } \dot{A}_i > P/2. \end{cases}$$

Для операцій алгебраїчного додавання, множення, групової операції на ділянці зображень залежність має вигляд

$$\left(A \begin{array}{c} + \\ \times \end{array} B \right)^* = \left(\dot{A} \begin{array}{c} + \\ \times \end{array} \dot{B} \right) \Big|_{\text{mod } P}, \quad \left(\sum_{i=1}^n A_i B_i \right)^* = \left(\sum_{i=1}^n \dot{A}_i \dot{B}_i \right) \Big|_{\text{mod } P}.$$

Сума парних добутоків дорівнює сумі парних добутоків зображень співмножників, взятої по модулю перетворення. Отримані формули арифметичних операцій в області зображень носять узагальнений характер. Вони справедливі, якщо інформація в області оригіналів представлена в будь-якій позиційній або непозиційній системі числення. В роботі наведені різні приклади.

Другий метод: *метод детермінованого синтезу*. Суть методу полягає в такому: по-перше, в матричній комбінаційній обчислювальній структурі процесора виявляються джерела двійкової інформації з негативною вагою; по-друге, встановлюються детерміновані шляхи поширення двійкової інформації з негативною вагою всередині комбінаційної структури; по-третє, в точках проходження інформації з негативною вагою через яруси матричного процесора встановлюються спеціальні комбінаційні обчислювачі, що допускають роботу тільки з числами певного знака та мають ознаки детермінації в сенсі знаку на всіх входах і виходах. Проаналізовано таблиці повних однорозрядних двійкових суматорів, на предмет визначення ознак знаку. Показано, що досить мати тільки дві базові схеми суматорів, які реалізують всі необхідні функції. Розглянуто модифікації включення базової схеми однорозрядного повного суматора. Були розглянуті модифікації схем суматора з інверсіями переносів. Як демонстрація методу, було розглянуто приклад синтезу комбінаційного помножувача, що працює в додатковому коді, а на його основі – синтез комбінаційного процесора скалярного добутку двох векторів, що працює з числами в додаткових кодах. Розглянуто доцільність введення в набір модулів СОК (системи числення в залишкових класах) модуля, кратного двом. Додаткові можливості СОК з модулем, кратним двом, проявляються в обчислювальних структурах зі змішаним кодуванням, де інформація подано і у вигляді позиційної системи, і в СОК, коли ставиться завдання обов'язкового збільшення діапазону подання чисел в непозиційному базисі. Розглянуто: канал перетворення позиційного двійкового коду в код СОК по модулю 2^s ; суматор за модулем 2^s ; помножувач за модулем 2^s ; перетворення з СОК в поліадічне числення.

Висновки. Обидва розглянутих методи дозволяють з єдиних позицій синтезувати процесори групових арифметичних операцій. Перший досить формалізований, а тому розробник при синтезі не замислюється про знаки

операндів, оскільки всі перетворення проводяться на ділянці зображень, де всі числа тільки додатні. Однак цей метод передбачає збільшену кількість обладнання. Другий метод більш складний, вимагає від розробника спеціальних знань і творчості, але зате дозволяє створювати економічні схеми комбінаційних матричних процесорів високої продуктивності. Непозиційна система числення в залишкових класах, що містить в своєму складі модуль, кратний двом, зберігаючи переваги СОК з модулем, рівним двом, має ту перевагу, що дозволяє в обчислювальних структурах змішаного кодування розширити діапазон подання чисел в непозиційному базисі при мінімумі схемних доповнень для операцій модульного підсумовування, модульного множення, перетворення з позиційного базису в СОК і перетворення з СОК в поліадічний код.

Розділ 7. «Спеціалізовані стереоскопічні 3D системи». За завданням одного з підприємств Міністерства машинобудування були розроблені, виготовлені і передані Замовнику три модифікації стереоскопічної системи ТССОЦІ, яка була призначена для стереообробки і стереовізуалізації каркасної просторової графічної інформації, що є результатом напівнатурного моделювання рухомих об'єктів. У перших двох модифікаціях системи в якості ЕОМ була задіяна Електроніка -100I (PDP-8), у третій модифікації - ЕОМ СМ-1420 (PDP-11). У першій модифікації реалізація стереооператора постійного ракурсу та групова арифметична операція виконувалася програмним способом, у наступних модифікаціях – апаратним способом. В останній модифікації апаратним шляхом був реалізований процесор пучків стереовекторів. Алгоритм роботи, тимчасові діаграми, структурні особливості організації пам'яті стереокадра і обчислювальних блоків детально викладені в монографії [1]. У 1987 році експонат ТССОЦІ на ВДНГ України, м. Київ завоював диплом II ст. Після демонстрації ТССОЦІ на виставці Прогрес-86/87, м. Москва Міжгалузева експертна Рада зі сприяння впровадженню прийняла рішення про широке впровадження системи ТССОЦІ в рамках підприємств Міністерства електронної промисловості.

З 1987 року в інституті були розпочаті дослідження по створенню прикладних стереосистем для візуалізації натурної інформації. Був розроблений і створений діючий зразок спеціалізованої телевізійної стереоскопічної системи для відображення натурної інформації, реалізованої на основі промислової телевізійної установки ПТУ-52. Система містила дві чорно-білі телевізійні камери КТП-64, блок перетворювача натурної інформації в стереоскопічну форму, блок дистанційного керування, блок синхронізації, кольоровий телевізійний приймач, змінні об'єктиви, стереоскопічні окуляри. Система призначалася для розпізнавання об'єктів, сцен, процесів у навколишньому просторі в системах оперативного прийняття рішень при дистанційному контролі і управлінні. В основу перетворення просторової інформації в стереоскопічну форму був обраний анагліфічний спосіб сепарації стереопар. Відеосигнал з лівої камери кодувався червоним кольором, відеосигнал з правої камери кодувався бірюзовим кольором. У 1989 році на замовлення ПО Спецатом м. Прип'ять, Київська обл. на базі апаратури "Телар-32", камер КТ-108, був розроблений, створений і переданий Замовнику зразок системи ССОНІ (Стереоскопічна система для відображення натурної інформації). ССОНІ була

спроектована для роботи в високих полях радіації (до 10^9) рентген і призначалася для робототехнічних комплексів, що виконують демонтажні роботи з розбирання ядерного реактора, як системи об'ємного бачення при дистанційному управлінні ріжучим інструментом.

Маючи досвід роботи з системами, які окремо працюють з комп'ютерною та натурною стереоінформацією, в 1991 році був розроблений і створений діючий експериментальний зразок стереосистеми нового напрямку – СТОК (стереоскопічний телевізійно-обчислювальний комплекс), характерною особливістю якого є можливість обробляти та відображати не тільки натурну стереоінформацію (живе стереовідео), що надходить у комплекс по каналах прикладного стереобачення, не тільки комп'ютерну каркасну стереоінформацію, яку синтезує людина за допомогою спеціальних програм і стереопроекторів, але і, найголовніше, – комбіновану стереоінформацію, що подається в загальну зону стереобачення в реальному часі, в режимі накладення. При цьому і натурна, і комп'ютерна, і комбінована просторова інформація надходить на загальний екран в стереоскопічному вигляді, і сприймається людиною через анагліфічні окуляри як віртуальна реальність, що дозволяє досліднику спілкуватися з натурно-комп'ютерним віртуальним світом в надзвичайно наочній формі. СТОК являє собою комплекс, який об'єднав в собі систему ТССОЦІ, ЕОМ СМ-1420 і систему ССОНІ.

Блок схема діючого зразка СТОК, у якого в якості комп'ютера була задіяна ЕВМ СМ 1420, наведена на рис.16, де ЕОМ – СМ-1420; TV – кольоровий

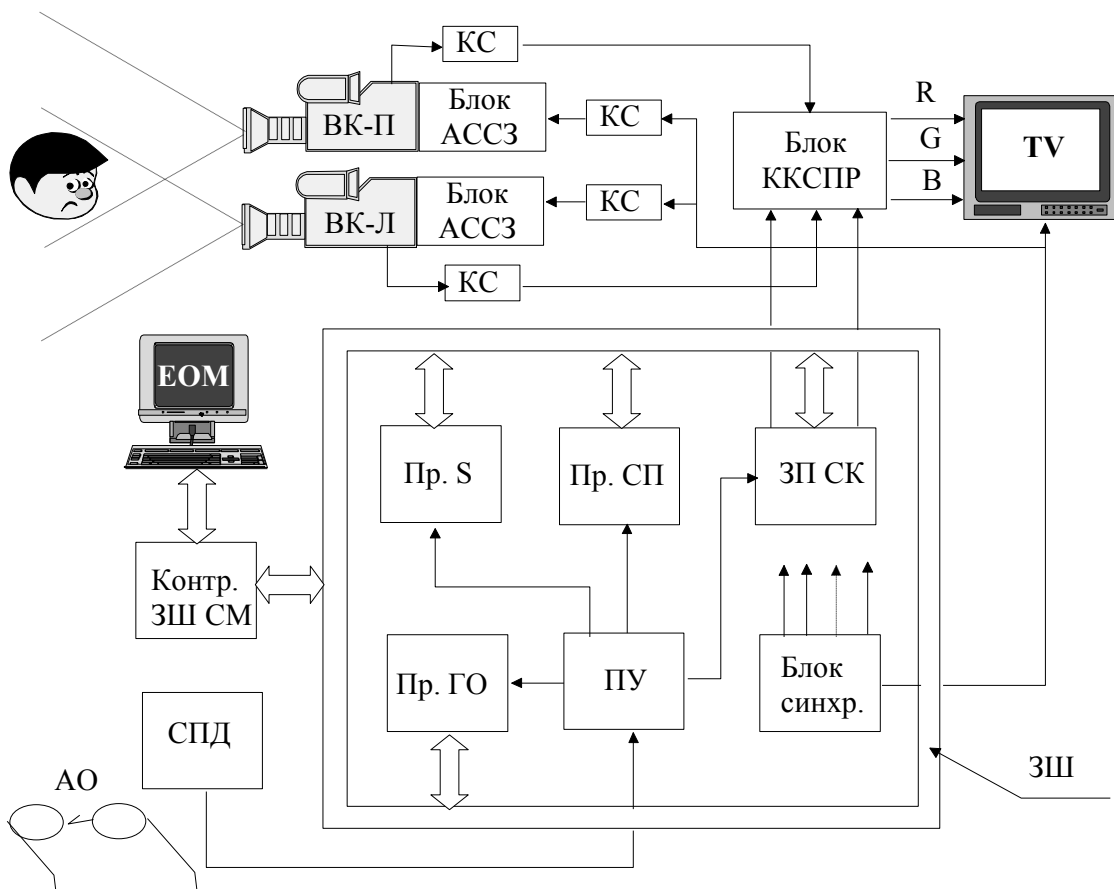


Рис.16. Блок схема телевізійно-комп'ютерного стереокомплексу СТОК

телевізійний монітор; ВК-Л - відеокамера лівого каналу натурального стереобачення; ВК-П – відеокамера правого каналу натурального стереобачення; Блок АССЗ – блок автосінхростереозахвату; Блок ККСР – блок кодування, кольорової суміші та погодження рівней відеосигналів; ЗШ – загальна шина ТССОЦі; Пр.ГО – процесор групової операції; ПР.СП – процесор стереопучків; Пр.S – процесор стереоперетворення; ПУ – пристрій управління; ЗП СК – пам'ять стереокадру; Блок сінхр. – блок синхронізації комплексу; Контр. ЗШ СМ – контролер зв'язку ЗШ СМ і ЗШ ТССОЦі; СПД – сенсорний пульт діалогу; КС – канал зв'язку; АО – анагліфічні окуляри.

Спеціально для цього комплексу був розроблений новий метод натурно-комп'ютерного стереомоделювання. Суть запропонованого методу впливає з основних характеристик комплексу СТОК і полягає в тому, що в загальну зону натурно-комп'ютерного стереобачення розміщується стереозображення натурних просторових об'єктів і сцен або їх фізичних моделей і одночасно в тій же зоні розміщується стереозображення комп'ютерних каркасних моделей просторових об'єктів і сцен, синтезованих людиною. Фактично, після процедури налаштування та юстирування натурно-комп'ютерного каналу стереобачення сам процес натурно-комп'ютерного стереомоделювання полягає в тому, що телевізійна стереокамера розташовуються в зоні заданої просторової сцени моделювання та наводяться на ті об'єкти і фрагменти сцени, які власне і є предметом або областю моделювання; і після отримання на екрані стереозображення шуканої натурної сцени або об'єкту, іде процес комп'ютерного стереосинтезу проектованого об'єкту та розміщення останнього в тій точці простору зображення натурної сцени або натурального об'єкту, в яку дослідник вказує спеціальним тривимірним стереокурсором. Як показали численні експерименти, натурні стереозображення зручно подавати в напівтоновому вигляді, а комп'ютерні стереозображення – в каркасному вигляді (прямому або інверсному); при цьому комп'ютерні стереозображення добре видно на тлі натурних стереозображень навіть у тих випадках, коли відбувається нанесення комп'ютерних образів на натурні. На рис.17. наведено фото телевізійно-комп'ютерного стереозображення, яке зняте з екрану комплексу СТОК.

На натурне стереозображення людини накладено стереозображення каркасів літака та окулярів; літак посаджений на площину перфокарти, яку тримають в руці. Зображення анагліфічні. Для поєднання натурних і комп'ютерних стереозображень були вирішені такі задачі:

1. Задача визначення та узгодження базисів стереобачення для натурального та комп'ютерного стереоканалів.
2. Задача визначення та узгодження ракурсів стереоканалів.
3. Задача вибору та узгодження систем координат, а також питання визначення місця розташування екранних площин для натурального і комп'ютерного стереоканалів.
4. Задача визначення та узгодження зон стереобачення.
5. Задача юстирування комп'ютерного, натурального та комбінованого каналів.



Рис.17. Натурно-комп'ютерне стереозображення з екрану комплексу СТОК.

У розділі запропонована *система, метод і алгоритм визначення позиції спостерігача перед монітором* [28]. Система визначення позиції голови спостерігача базується на основі двох тепловізійних камер, які встановлюються на екрані монітора та інфрачервоних датчиків, які кріпляться на стереоокулярах. Перевага запропонованої системи полягає в тому, що в її математичному апараті та алгоритмі роботи використані ідеї операторного методу стереоперетворень, який лежить в основі всіх інших графічних каркасних процедур комплексу. В роботі доведено, що при установці трьох датчиків на окуляри, можуть визначатися і положення перенісся спостерігача, і три кутові координати повороту його голови.

Також розглянуто *багаторакурсійну стереоскопічну систему стеження за рухомим об'єктом*. Мова йде про стереоскопічну систему, коли ставиться завдання спостереження та візуалізації за об'єктом, що знаходиться в ближній зоні стереобачення. Багато ракурсів забезпечується за рахунок кількох відеокамер, кожна з яких спрямована на об'єкт зйомки під своїм ракурсом.

В роботі запропонований один з варіантів вирішення завдання наведення рухомої платформи з відеокамерами для багаторакурсійної стереосистеми. Розроблено математичні основи та алгоритм роботи системи наведення камер на об'єкт.

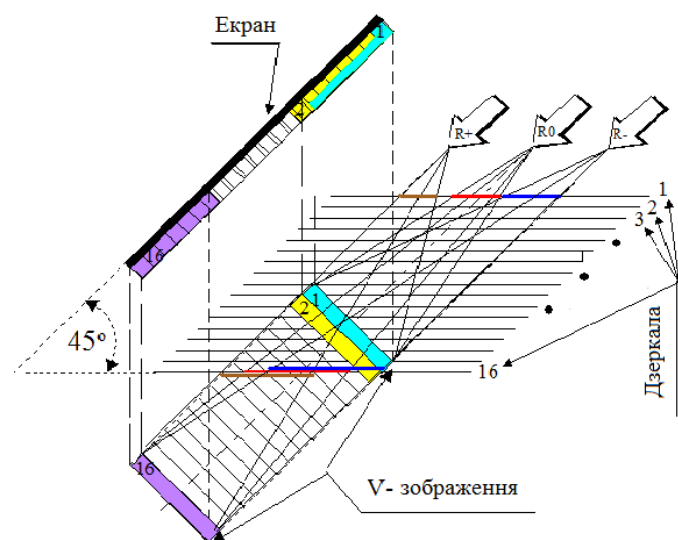
Висновки. Вирішені основні методологічні аспекти задачі суміщення в одному просторі стереобачення натурних і комп'ютерних стереозображень, що дало можливість реалізувати на створеному телевізійно-обчислювальному стереокомплексі процедуру реального віртуального моделювання з урахуванням процедур дистанційного вимірювання тривимірних координат натурних об'єктів електронним способом. Запропонований метод натурно-комп'ютерного стереомоделювання можна розглядати як новий ефективний інструмент, що володіє великою наочністю, гнучкістю та універсальністю. Метод пройшов апробацію при

вирішенні ряду задач, пов'язаних з питаннями конструювання прикладних стереоскопічних систем.

Розроблений проект системи визначення положення голови спостерігача в просторі перед монітором, що діє в реальному часі, дозволить виключити деформаційні спотворення від неточності розташування спостерігача перед монітором, що поліпшить реалістичність і адекватність сприйняття стереозображень і перетворить для оператора одноракурсійну стеросистему в багаторакурсійну. Система дозволить також визначати 6 ступенів свободи положення голови спостерігача, що дасть можливість спостерігачеві розглядати віртуальний каркасний образ обертаючи голову.

Розроблений проект багаторакурсійної системи стеження за рухомим об'єктом дозволить вирішити ті труднощі, які виникають при спостереженні та візуалізації за об'єктом, що знаходиться в ближній зоні стереобачення, який рухається (випадок побудови технічного зору роботів).

Розділ 8. «**Волюметрична система відображення на базі гібридної шаруватості**». Для всіх видів стереоскопічних 3D систем притаманний один принциповий недолік – це дисбаланс між акомодациєю та конвергенцією зору, що викликає дискомфорт і стомлюваність у спостерігача. У зв'язку з цим, постійно ведуться розробки волюметричних дисплеїв і систем, в яких тривимірне зображення формується безпосередньо в просторі. У таких системах не потрібно використання будь-яких додаткових пристроїв (типу окулярів або шоломів) для спостереження 3D зображень; і отже, у них відсутній зазначений вище дисбаланс зору. Відповідно до плану робіт по темі ГІБРИД в ІПМЕ ім.Г.Є. ПУХОВА НАН України на 2014-2016 роки була поставлена задача розробити концепцію, основні принципи функціонування та конструкцію волюметричної спеціалізованої системи відображення просторової інформації. При цьому були поставлені наступні вимоги до характеристик такої системи: безокулярність, багаторакурсність, динамічність, кольоровість, висока роздільна здатність, багатооператорність. В основу



запропонованої концепції було покладено принцип пошарового відображення, при якому кожен шар графічного 3D зображення розташовується на своєму глибинному місці. Всі шари разом утворюють єдине тривимірне тіло. Був обраний віртуальний спосіб синтезу волюметричного зображення, за рахунок відображення в дзеркалах (рис.18).

Рис.18. Принцип дзеркальної шаруватості

Далі був запропонований принцип гібридної шаруватості, суть якого полягає в тому, що в кожному дзеркалі, що обертається, відбивається зображення не з одного РК екрану, а з монітора, який складається сам з декількох шарів РК-матриць (рис.19). Розглянуто спрощене креслення волюметричної системи, підраховані основні параметри системи.

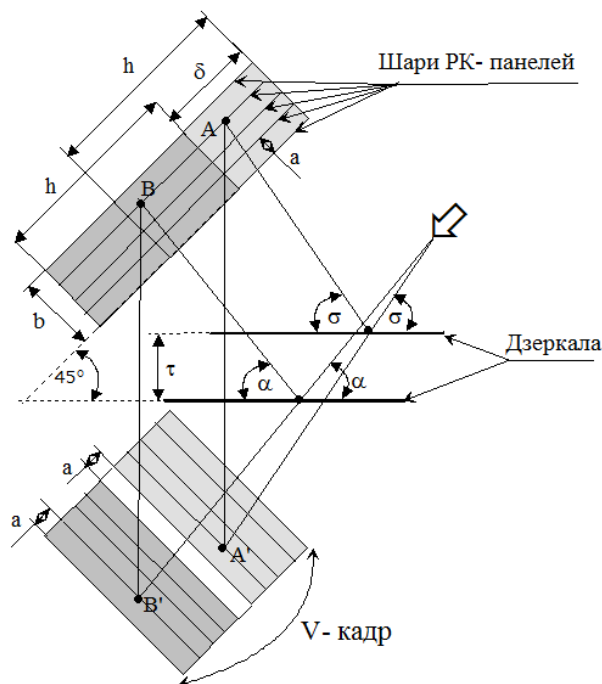


Рис.19. Принцип гібридної шаруватості

Висновки. Проведені дослідження показали, що запропонований вид волюметричної системи, яка реалізується на основі шаруватих блоків рідкокристалевих матриць із загальним підсвічуванням у обертових плоских дзеркалах, задовольнив технічним вимогам, за винятком одного. Вимога по кольоровості задоволена частково: в повному віртуальному волюметричному багатшаровому зображенні число кольорових шарів дорівнює числу дзеркал, що обертаються, наприклад 12 кольорових з повних 144, або 16 з 16 або 16 з 192 і так далі, залежно від обраної конфігурації. Починаючи з 2014 р. на ринку з'явилися плоскі екрани на основі практично невидимих РК-матриць. Деякі фірми, повідомляють, що вже домоглися прозорості 70%. Це вселяє оптимізм при подальших модифікаціях запропонованого виду волюметричних систем на базі гібридної шаруватості, оскільки кількість кольорових шарів у загальному обсязі може бути збільшена в рази.

ВИСНОВКИ

Дисертацію присвячено вирішенню важливої науково-прикладної проблеми підвищення рівня продуктивності, реалістичності та адекватності сприйняття складних комбінованих стереозображень при побудові спеціалізованих відео-

комп'ютерних 3D систем за рахунок розробки теорії і структурно-алгоритмічних основ формування та аналізу каркасних і натурно-каркасних стереозображень. У результаті дослідження були отримані наступні основні наукові та практичні результати:

1. Проведено дослідження і аналіз основних сучасних способів сепарації стереопар на предмет адекватного сприйняття каркасних стереозображень, що дозволило: визначити коло задач, вирішення яких призводить до візуалізації просторових зображень точково-скелетного виду; обґрунтувати переваги анагліфічного способу сепарації стереопар при накладенні каркасних 3D зображень на натурне стереозображення; визначити проблеми та основні задачі, пов'язані з підвищенням рівня продуктивності та адекватності сприйняття каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

2. Вперше розроблено «операторний метод стереоперетворень», що встановлює взаємнооднозначну відповідність між 3D координатами та стереокоординатами для постійного, змінного та 3х поворотних стереоракурсів спостереження, а також – для постійного ракурсу спостереження в стереосистемах, що містять плоске дзеркало, що дозволило поставити та вирішити ряд задач, спрямованих на підвищення рівня адекватності, реалістичності та продуктивності сприйняття складних стереозображень.

3. На базі запропонованого операторного методу вперше вирішена кореспондентська задача для каркасних графічних стереозображень, що дало можливість для будь-яких стереозображень, як синтезованих вперше, так і тих, які пройшли різні маніпуляції, однозначно встановлювати кореспондуючі (суміжні) точки стереопар.

4. На базі запропонованого операторного методу вперше розроблено математичні основи вирішення задачі крайового стереоефекту при формуванні каркасних графічних стереозображень, що дозволило, по-перше, усунути дискомфорт при спостереженні каркасних графічних зображень на краях екрану, по-друге, – виключило можливість втрати кореспондуючих стереоточок на краях.

5. Вперше розроблено математичні основи для нових графічних каркасних стереопроцедур: «3D-огляд», «3D-інтерполятор», «3D-вікно», «3D-рекурсія», «3D-маніпуляції» «3D-курсор», що розширило можливість оператора синтезувати незвичайні віртуальні стереозображення, а також – дало можливість оператору взаємодіяти із стереозображенням в інтерактивному режимі, маючи під рукою стереокурсор, тривимірні координати центру якого постійно виводяться на екран.

6. На базі запропонованого операторного методу вперше розроблено математичні моделі аналізу геометричних спотворень при використанні іншого базису і/або ракурсу спостереження в системах: стереоекран – спостерігач; об'єкт – стереокамера – стереопроектор – стереоекран; об'єкт – стереокамера – стереопроектор – стереоекран – спостерігач для різних випадків розташування стереокамери та стереопроектора, що дало можливість встановлювати факт адекватності сформованої тривимірної моделі запитам спостерігача, при різних умовах спостереження, зйомки і візуалізації. Отримані моделі можна розглядати як

новий інструментарій для проектування стереосистем з мінімальними спотвореннями.

7. Вперше розроблено метод натурно-комп'ютерного графічного стереомодельювання, що дав можливість поєднувати в одному віртуальному стереопросторі і в реальному часі два види стереоінформації: натурної напівтонової і комп'ютерної графічної, при повному узгодженні стереоракурсів, стереобазисів та систем координат. Метод розширив можливості тривимірного графічного моделювання, особливо в тих випадках, коли стереокамери розташовані в зонах, де людині знаходиться небезпечно.

8. Вперше розроблено основні принципи конструювання стереоскопічного телевізійно - обчислювального комплексу (СТОК) для відображення комбінованої натурно-каркасної 3D інформації, що дозволило реалізувати запропонований метод натурно-комп'ютерного графічного стереомодельювання.

9. Розроблено теоретичні основи побудови стереосистеми визначення позиції спостерігача перед монітором, що дозволило проектувати бездротову стереосистему визначення 6 ступенів свободи позиції голови спостерігача перед монітором, орієнтовану на процедури операторного методу стереоперетворення, і тим самим, виключити похибки розташування спостерігача.

10. Доведено, що групова арифметична операція скалярного добутку двох дійсних векторів є домінуючою в багатьох обчислювальних процесах алгебри і аналізу, в матричних перетвореннях, у 3D графіці і в стереографіці. Запропоновано матриці диференційно-інтегральних операторів для неоднорідних систем лінійних диференціальних рівнянь, які дозволили розширити коло вирішуваних задач. Доведено можливість використання обчислювальних структур змішаного кодування з груповою операцією для вирішення систем лінійних диференціальних рівнянь у T-області за методом Пухова Г.Є. для тих спеціалізованих стереосистем, які включені в контур оперативного управління важливими динамічними процесами. Процесор сум парних додатків дасть істотне підвищення продуктивності обчислень у процедурах стереообробки і в інших обчислювальних процесах.

11. Для синтезу процесорів групових арифметичних операцій отримали подальший розвиток два методи синтезу процесорів групових арифметичних операцій: метод надлишкового кодування, метод детермінованого синтезу. Обидва методи дозволяють з єдиних позицій синтезувати швидкі обчислювальні комбінаційні структури процесорів.

12. Запропоновано концепція та основні принципи конструювання волюметричної системи на основі гібридної шаруватості, що дозволяє проектувати динамічну, багаторакурсну, багатооператорну 3D систему високої роздільної здатності, що не має додаткових пристроїв (типу окулярів або шоломів) для спостереження 3D зображень. Така система дасть можливість усунути дисбаланс між акомодациєю та конвергенцією зору, що викликає дискомфорт і стомлюваність у спостерігача стереозображень.

13. Запропоновано принцип побудови та алгоритм руху багатокамерної стереосистеми стеження за рухомим об'єктом в ближній зоні, що дозволяє проектувати системи стереоскопічного зору для робототехнічних комплексів.

14. Розроблено та виготовлено 3 версії телевізійної стереоскопічної системи відображення цифрової інформації (ТССОЦІ), що дало можливість обробляти та відображати в реальному часі багатотраєкторну просторову інформацію, що надходить з напівнатурних моделюючих комплексів.

15. Розроблено та виготовлено спеціалізовану стереоскопічну систему відображення натурної інформації (ССОНІ), що дозволило використовувати її в якості системи дистанційного просторового зору робототехнічних комплексів, що працюють в полях високого рівня радіації.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на таких підприємствах:

- ЦНПХМ, м. Москва (Система ТССОЦІ);
- ПО Спецатом м. Прип'ять, Київська обл. (Система ССОНІ).

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Груц Ю.Н. Стереоскопическая машинная графика / Ю.Н.Груц // К: Наук. думка. – 1989.– 160с.– ISBN 5–12–001188–8.
2. Груц Ю.Н. Способ представления решения однородных систем линейных дифференциальных уравнений для моделирования их на вычислительном комплексе “ЦВМ – процессор групповой операции” / Ю.Н. Груц // В кн.: Математическое моделирование и теория электрических цепей.– К.– 1975 . – Вып.13.– С.71–78.
3. Груц Ю.Н. Решение краевых задач на гибридных вычислительных комплексах со специализированными процессорами / Ю.Н. Груц // В кн.: Гибридные вычислительные машины и комплексы.– К.– 1975. С. 34–38.
4. Груц Ю.Н. Непозиционная система счисления в специализированных процессорах групповых операций / М.В.Синьков, Ю.Н. Груц, В.Ф. Ващенко, В.П. Ануреев // В кн.: Математическое моделирование и теория электрических цепей. – К.– 1975 . – Вып.13.– С.66–71.
5. Груц Ю.Н. Многопроцессорные приставки к ЦВМ для моделирования нелинейных систем / Ю.Н. Груц // В кн.: Математическое моделирование и теория электрических цепей. – К.– 1978.–Вып.16.– С.105–111.
6. Груц Ю.Н. Матрицы операторов при моделировании неоднородных систем линейных дифференциальных уравнений / Ю.Н. Груц // В кн.: Гибридные вычислительные машины и комплексы.– К.– 1979 .–Вып.1.– С.56–60.
7. Груц Ю.Н. Постановка систем линейных дифференциальных уравнений в Т-области на вычислительных структурах со смешанным кодированием / Ю.Н.Груц // В кн.: Электроника и методы гибридных вычислений. Сб. научн. трудов. – К.–1978 .– С.151–159.
8. Груц Ю.Н. К вопросу введения отрицательных чисел в СОК с модулем, кратным двум / Ю.Н.Груц // В кн.: Гибридные вычислительные машины и комплексы. Сб. научн. трудов.–К.– 1979 .– С.58–64.

9. Груц Ю.Н. Некоторые аспекты СОК с модулем, кратным двум / Ю.Н. Груц // В кн.: Гибридные вычислительные машины и комплексы. Сб. научн. трудов.– К.– 1984.– Вып.7.– С.97–101.
10. Груц Ю.Н. Избыточное кодирование при синтезе процессоров групповых операций / Ю.Н.Груц // В кн.: Гибридные вычислительные машины и комплексы. Сб. научн. трудов.– К.– 1985.–Вып.8.– С.44–50.
11. Груц Ю.Н. Отображение трехмерной машинной информации при полунатурном моделировании / Ю.Н.Груц // В кн.: Вопросы специального машиностроения.– Москва.– 1986.– Серия 4.– 14с.
12. Груц Ю.Н. К вопросу вывода трехмерной машинной информации на телевизионный экран / Ю.Н.Груц // В кн.: Гибридные вычислительные машины и комплексы. Сб. научн. трудов.– К.– 1987.– Вып.10.– С.76–82.
13. Груц Ю.Н. Принципы организации оперативного диалога с ЭВМ при моделировании нестационарных трехмерных нелинейных полей / Ю.Н.Груц // В кн.: Проблемы нелинейной электротехники ПНЭ-88, Ч.1. – К.– 1988. – С.168–171.
14. Груц Ю.Н. Стереоскопические системы распознавания машинной и натурной информации / Ю.Н.Груц // В кн.: Вопросы специального машиностроения.– Москва.– 1991.– Срия 4.– 16 с.
15. Груц Ю.Н. Алгоритмы определения координат подвижного объекта, ориентированные на задачи стереоскопической машинной графики / Ю.Н.Груц, Г.А.Козорез // В кн.: Вопросы специального машиностроения.– Москва.– 1991.– Срия 4.– 13с.
16. Груц Ю.Н. Система и метод натурно-компьютерного стереомоделирования / Ю.Н.Груц // В кн.: Методы и средства компьютерного моделирования.– К.– 1995.– С10–12.
17. Груц Ю.Н. Технология получения прикладных стереобаз данных для систем виртуальной реальности / Ю.Н.Груц // В кн.: Методы и средства компьютерного моделирования.– К.– 1997.– С.11–13.
18. Груц Ю.Н. Пространственное отсечение в стереографике / Ю.Н.Груц // Збірник наукових праць ІПМЕ НАН України.– Львів. –1998. –Вип.3.– С. 60–65.
19. Gruts Y.N. Stereointerpolation Procedure / Yu.N. Gruts // Engineering Simulation.– 1999.– Vol.17.– P. 117-125.
20. Груц Ю.Н. Математическая модель анализа стереоизображений / Ю.Н.Груц, В.Ф. Евдокимов // Электронное моделирование.– 2001.–Т.23, №6.– С.106–112.
21. Груц Ю.Н. Многоакурная стереоскопическая система слежения за подвижным объектом / Ю.Н.Груц // В сборнике: Моделювання та інформаційні технології.– К.– 2001.– Вип.11.– С. 120–126.
22. Груц Ю.Н. Математическая модель для анализа изображений в стереосистемах, содержащих стереокамеры и стереопроекторы, направленные под углом / Ю.Н.Груц // В сборнике: Моделювання та інформаційні технології.– К.– 2001.– Вип.14.– С. 85–98.
23. Груц Ю.Н. Метод анализа геометрических деформаций в стереовидении / Ю.Н.Груц, В.Ф.Евдокимов // Київ: ІПМЕ НАН України. Збірник наукових праць.– 2002.– Вип.16.– С.100–109.

24. Груц Ю.Н. Графический стереоредактор для работы с трехмерными объектами скелетного типа / В.Ф.Евдокимов, Ю.Н.Груц // Київ: ІПМЕ НАН України. Збірник наукових праць.– 2003.– Вип.20.– С. 105–112.
25. Груц Ю.Н. Алгоритм повышения точности синтеза интерполяционной кривой / Р.В.Яровой, Ю.Н.Груц // Электронное моделирование.– 2010.–Т.32, №5. – С.105–111.
26. Груц Ю.Н. Процедура виртуального 3D погружения в графических стереомоделях / Ю.Н.Груц // Электронное моделирование.– 2011.– Т.33, №2,.– С. 119–124.
27. Груц Ю.Н. Стереоператоры для 3D-систем, содержащих зеркало / Ю.Н.Груц // Электронное моделирование.– 2014.– Т.36, №6.– С.99–109.
28. Груц Ю.Н. Математическая модель графической процедуры отсечения для скелетных стереоизображений / Ю.Н.Груц // Моделювання та інформаційні технології.– К.– 2015.– Вип.74.– С.60–69.
29. Груц Ю.Н. Волюметрическая система на основе гибридной слоистости / Ю.Н.Груц // Моделювання та інформаційні технології.– К.– 2015.– Вип.79.– С.27–34.
30. Груц Ю.Н. Система, метод и алгоритм определения позиции наблюдателя в пространстве / Ю.Н. Груц // Моделювання та інформаційні технології.– К.– 2001.– Вип.10.– С.9–18.
31. Gruts Y.N. Method of Model-Computer Stereomodelling / Yu.N. Gruts // Engineering Simulation.– 1997.– Vol.14.– С. 681–690.
32. Gruts Y.N. Stereoscopic operators and their Application / Yu.N. Gruts, Jung-Young Son, Donghoon Kong // Journal of Optical Society of Korea.–Vol. 5, No. 3.– September 2001.– P.90–92. (WoS, Scopus).
33. Gruts Y.N. Distortion Analysis in Stereoscopic Images / Jung-Young Son, Yuri Gruts, Joo-Hwan Chun, Yong-Jin Choi, Ji-Eun Bahn, Vladimir I. Bobrinev // Optical Engineering.– Vol. 41(3).– 2002.– P.680–685. (Scopus, Inspec).
34. Gruts Y.N. Stereoscopic image distortion in radial camera and projector Configurations / Jung-Young Son, Yuri N Gruts, Kae-Dal Kwack, Kyung-Hun Cha, Sung-Kyu Kim // J.OPT.Soc.Am.A.– Vol.24, N3.– March. 2007.– P.643–650. (ISSN · 1084-7529, Scopus, Web of Science.).

Праці апробаційного характеру:

35. Груц Ю.Н. О выполнении деления в системе остаточных классов / Ю.Н. Груц, В.М.Синьков, В.Е.Телешев // Материалы республиканского семинара “Гибридные вычислительные машины и комплексы”.– Одесса.– 1976.– С.69.
36. Груц Ю.Н. Эффективность выполнения операций суммирования и умножения в позиционных и непозиционных системах счисления / Ю.Н. Груц // Материалы республиканского семинара “Гибридные вычислительные машины и комплексы”.– Одесса.– 1976.– С.69–70.
37. Груц Ю.Н. Вычислительные структуры смешанного кодирования на основе групповых операций / Ю.Н. Груц // В кн.: Проблемы создания и использования

- высокопроизводительных информационно-вычислительных машин.– НТО РЭС им. А.С. Попова.– Кишинев.– 1979.– 0.2с.
38. Груц Ю.Н. Групповые логические операции в специализированных процессорах / Ю.Н. Груц // В кн. Теоретическая электротехника и электроника. Информ. Материалы.– К.– 1979.– С.89–90.
39. Груц Ю.Н. Постановка систем линейных дифференциальных уравнений в T-области на вычислительных структурах со смешанным кодированием / Ю.Н. Груц // В кн. Теоретическая электротехника и электроника. Информ. Материалы.– К.– 1979.– С.102–103.
40. Груц Ю.Н. Вопросы создания средств трехмерной стереоскопической графики / Ю.Н. Груц // Диалог человек – ЭВМ: Тезисы докл. IV Всесоюзной конф. 8–12 окт.1985.– К.– ИК им. В.М.Глушкова АН УССР. – Ч.1.– С. 110–111.
41. Груц Ю.Н. Применение групповых арифметических операций в процедуре организации баз данных при стереопереработке / Ю.Н. Груц // Моделирование-85: Теория, средства, применение. Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф.– К.– 1985.– ЧЗ.– С. 90–92.
42. Груц Ю.Н. Структурные и алгоритмические особенности процессора стереовекторов / Ю.Н. Груц // В кн.: Технические средства моделирования (Материалы IV отчетной конф. ИПМЭ АН УССР, 1985 г.).– К.– 0.2с.
43. Груц Ю.Н. Математические основы организации баз данных при выводе графической информации на стереодисплей / Ю.Н. Груц // В кн.: Методы моделирования и математические модели процессов (Материалы IV отчетной конф. ИПМЭ АН УССР).– К.– 1985.– 0.2с.
44. Груц Ю.Н. Система и метод натурно-компьютерного стереомоделирования / Ю.Н.Груц // В кн.:”Методы и средства компьютерного моделирования”/по материалам конф. ИПМЭ НАН Украины.– К.– 1995.– С. 10–12.
45. Груц Ю.Н. Технология получения прикладных стереобаз данных для систем виртуальной реальности / Ю.Н.Груц // В кн.:”Методы и средства компьютерного моделирования” по материалам конф. ИПМЭ НАН Украины.– 1997.– С.11–13.
46. Gruts Y.N. Stereoscopic operators and its application / Yu.N. Gruts, Jung-Young Son // Proceedings of The 6th International Workshop on 3-D Imaging Media Technology and The 5th Photonic Information Processing Conference.– 2000.– Vol.6,N1.– P.34–38.
47. Груц Ю.Н. Натурно-компьютерное стереомоделирование / Ю.Н.Груц // Сб. трудов конференции: SIMULATION-2006.– К.– С. 193–197.
48. Груц Ю.Н. Технология совмещения стереопространств при 3D-моделировании / Ю.Н.Груц // Сб. трудов конференции: SIMULATION-2008, Том 2.– К.– С.416–422.
49. Груц Ю.Н. Принцип построения волнометрической 3D системы на основе комбинированной слоистости / Ю.Н.Груц // Vth International Scietific Conference SIMULATION–2016.– К.– 2016.– С.178–182.
50. Груц Ю.Н. Операторний метод стереоперетворень в комп’ютерній графіці / Ю.Н.Груц // Материалы 6-й Международной научно-технической конференции: Информационные системы и технологии ИСТ-2017, посвященной 80-летию В.В. Свиридова 11–16 сентября 2017.– Коблево, Украина.– Харьков.– С.37–38.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

51. Груц Ю.Н. Групповые логические операции в специализированных процессорах, работающих в СОК / Ю.Н.Груц // В кн.: Математическое моделирование и теория электрических цепей. "Наукова думка", К.– 1978.– Вып.16.– С.102–105.
52. Груц Ю.Н. Устройство для интегрирования в системе остаточных классов / М.В.Синьков, Ю.Н.Груц // Авт. Свидетельство №7723598 (СССР). Бюл. изобретений №11.– 1980 .
53. Груц Ю.Н. Устройство для интегрирования в системе остаточных классов / М.В.Синьков, Ю.Н.Груц // Авт. Свидетельство №737961 (СССР). Бюл. изобретений №20.– 1980.
54. Груц Ю.Н. Способ кодирования информации в процессорах групповых операций/Ю.Н.Груц // В кн.: Специализированные процессоры: Препринт-224.– ИЭД АН УССР.– К.– 1980.– С.34–35.
55. Груц Ю.Н. Стереоскопическая машинная графика: Методы синтеза процессоров групповых операций / Ю.Н.Груц // Препринт АН УССР, Институт проблем моделирования в энергетике; 63).– К.– 1986.– 48с.
56. Груц Ю.Н. Стереоскопическая машинная графика: Математические основы, алгоритмы, программы / Ю.Н.Груц, В.П.Ануреев // Препринт АН УССР, Институт проблем моделирования в энергетике; 55/.– К.– 1986.– 28с.
57. Груц Ю.Н. Телевизионно-компьютерные стереосистемы: от прошлого к будущему / Ю.Н.Груц // Видео квадрат.– 1998.– №5.– С.25–30.

АНОТАЦІЯ

Груць Ю.М. Теорія і структурно–алгоритмічні основи побудови спеціалізованих відео-комп'ютерних стереоскопічних 3D систем. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Київ, 2018.

Дисертацію присвячено вирішенню важливої науково-прикладної проблеми – підвищенню рівня продуктивності, реалістичності та адекватності сприйняття складних комбінованих стереозображень при побудові спеціалізованих відео-комп'ютерних 3D систем за рахунок створення теорії і структурно-алгоритмічних основ формування і аналізу каркасних та натурно-каркасних стереозображень. Визначено коло задач, вирішення яких призводить до візуалізації просторових зображення точково-скелетного виду. Виявлені основні проблеми, пов'язані з підвищення рівня продуктивності, та адекватності сприйняття каркасних і натурно-каркасних стереозображень. Розроблено «операторний метод стереоперетворень», що встановлює взаємно-однозначну відповідність між 3D координатами і стереокоординатами для постійного, змінного та 3х поворотних стереоракурсів спостереження; а також – для постійного ракурсу в стереосистемах, що містять плоске дзеркало. На базі даного методу вирішена проблема крайового ефекту, та

кореспондентська задача для каркасних графічних стереозображень. Розроблено математичні моделі унікальних графічних стереопроцедур для каркасних конструкцій: 3D-огляд, 3D-інтерполятор, 3D-вікно, 3D-рекурсія, 3D-маніпуляції. Розроблено математичні моделі аналізу геометричних спотворень за рахунок іншого базису і/або ракурсу спостереження в різних стереосистемах. Розроблен метод натурно-комп'ютерного стереомоделювання. Розроблено основні принципи конструювання стереоскопічного телевізійно-обчислювального комплексу для відображення натурно-комп'ютерної 3D інформації. Отримали подальший розвиток: теоретичні питання і принципи побудови стереосистеми визначення позиції спостерігача перед монітором; обчислювальні процедури, що використовують групові арифметичні операції; методи синтезу процесорів групової операції.

Три модифікації стереосистеми відображення каркасної інформації впроваджені на одному з підприємств Міністерства машинобудування. Стереосистема відображенні натурної інформації впроваджена на ВО Спецатом, м. Прип'ять, Київська обл.

Ключові слова: Стереоскопічна графіка, каркасні (точково-скелетні) стереозображення, оператори стереоперетворення, натурно-комп'ютерне стереомоделювання, геометричні спотворення, 3D-вікно, 3D-рекурсія, 3D-інтерполятор, 3D-огляд, кореспондентська задача, крайовий стереоефект, процесор групової операції.

АННОТАЦІЯ

Груц Ю.Н. Теория и структурно-алгоритмические основы построения специализированных видео-компьютерных стереоскопических 3D систем. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев, 2018.

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной проблемы – повышению уровня производительности, реалистичности и адекватности восприятия сложных комбинированных стереоизображений при построении специализированных видео-компьютерных 3D систем за счет создания теории и структурно-алгоритмических основ формирования и анализа каркасных и натурно-каркасных стереоизображений. Выявлен круг задач, решение которых приводит к визуализации пространственных изображений точечно-скелетного вида; указаны преимущества анаглифического способа сепарации стереопар при наложении каркасных 3D изображений на натурное стереоизображение. Определен ряд задач и проблем, связанных с повышением уровня производительности и адекватности восприятия каркасных и натурно-каркасных стереоизображений, решение которых позволило повысить реалистичность и скорость адекватного восприятия сложных стереоизображений. Известно, что не совпадение стереобазиса и стереоракурса с расчетными параметрами приводит при наблюдении к артефактам (геометрическим искажениям), что не дает адекватного представления обо всех особенностях объекта; поэтому стоит проблема построения математических моделей для анализа

геометрических искажений, связанных с неточностью стереобазиса и стереоракурса в различных системах, и как следствие – задача введения обратной связи по стереобазису и по стереоракурсу конкретного наблюдателя в процедуру вычисления стереопар. Вторая проблема – это создание интерактивного инструментария реального времени для организации взаимно-обратной связи между трехмерным пространством и стереообластью. В-третьих, есть проблема определения корреспондентских стереоточек и решения задачи краевого стереоэффекта для каркасных изображений. Еще одной важной проблемой оказалась проблема создания высокопроизводительных специализированных стереосистем для отображения натурно-компьютерной стереоинформации.

В диссертации были решены указанные выше проблемы и задачи. Разработан «операторный метод стереопреобразований», устанавливающий взаимно-однозначное соответствие между 3D координатами и стереокоординатами для постоянного, переменного и 3х поворотных стереоракурсов наблюдения; а также – для постоянного ракурса в стереосистемах, содержащих плоское зеркало. Получены модифицированные формулы прямого стереооператора постоянного ракурса, требующие минимума вычислительной нагрузки. На базе данного метода полностью решена проблема краевого эффекта и корреспондентская задача для каркасных графических стереоизображений. Разработаны математические модели уникальных графических стереопроцедур для каркасных конструкций: 3D-обзор, 3D-интерполятор, 3D-окно, 3D-рекурсия, 3D-манипуляции, относительно любой точки стереопространства, устанавливаемой с помощью процедуры 3D-курсора. Разработаны математические модели анализа геометрических искажений за счет другого базиса и/или ракурса наблюдения в системах: стереоэкран – наблюдатель; объект – стереокамера – стереопроектор – стереоэкран; объект – стереокамера – стереопроектор – стереоэкран – наблюдатель для двух случаев расположения стереокамеры и стереопроектора: параллельно друг другу или под углом. Разработаны основные принципы конструирования специализированного стереоскопического телевизионно-вычислительного комплекса для отображения натурно-компьютерной 3D информации, отличительной особенностью которого является возможность совмещать в одном пространстве стереовидения двух видов 3D информации: – натурной полутоновой, поступающей по каналам прикладного стереовидения, и графической каркасной, синтезированной оператором с помощью стереопроцедур. Разработан метод натурно-компьютерного графического стереомоделирования. Решены основные методологические аспекты проблемы совмещения в одном пространстве натуральных и компьютерных стереоизображений, что позволило реализовать на созданном телевизионно-вычислительном стереокомплексе процедуру реального виртуального моделирования, включая процедуру дистанционного измерения трехмерных координат натуральных объектов электронным способом.

Получили дальнейшее развитие:

- теоретические вопросы и принципы построения стереосистемы определения позиции наблюдателя перед монитором, отличительной чертой которой является соответствие полученных трехмерных координат – вектору ракурса оператора

стереопреобразований, что позволяет в реальном времени вводить полученные данные в процедуру стереопереработки;

- методы синтеза быстродействующих процессоров групповой операции, отличительной чертой которых является ориентация их работы на комбинационные схемы двоичной логики, работающих как в позиционном базисе, так и в СОК;
- вычислительные процедуры, использующие групповые арифметические операции, среди которых постановка систем дифференциальных уравнений в Т-области на вычислительных структурах смешанного кодирования.

На основе предложенной операторной теории стереопреобразований было разработано, создано и передано Заказчику (ЦНИИХМ) три версии телевизионной стереоскопической системы отображения цифровой информации. Годовой экономический эффект, утвержденный вышестоящей организацией от разработки и внедрения на предприятии одного устройства стереоскопического отображения трехмерной траекторной информации, поступающей с полунатурных моделирующих комплексов, составил 433,6 тыс. руб. Стереосистема отображения натурной информации для работы в высоких полях радиации была внедрена на ПО Спецатом, г. Припять, Киевская обл.

Ключевые слова: Стереоскопическая графика, каркасные (точечно-скелетные) стереоизображения, операторы стереопреобразования, натурно-компьютерное стереомоделирование, геометрические искажения, 3D-окно, 3D-рекурсия, 3D-интерполятор, 3D-обзор, корреспондентская задача, краевой стереоэффект, процессор групповой операции, СОК, Т-преобразования.

ABSTRACT

Grutz Yu.M. Theory and structural and algorithmic foundations of the construction of specialized video-computer stereoscopic 3D systems. – As the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Engineering in specialty 05.13.05 – computer systems and components. – Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to the solution of an important scientific and applied problem - to increase the level of productivity, realism and adequacy of the perception of complex combined stereo images in the construction of specialized video-computer 3D systems by creating a theory and structural algorithmic bases for the formation and analysis of wireframe and full-frame stereoscopic images. A range of tasks is determined, the solution of which leads to the visualization of spatial images of a point-skeleton kind. The main problems associated with increasing the level of productivity and adequacy of the perception of wireframe and natural-wireframe stereo images are revealed. A "operators method of stereo transformation" has been developed that establishes a one-to-one correspondence between 3D coordinates and stereo coordinates for a constant, alternating and 3 rotary points of views and also for a constant point of view in the stereo system containing a flat mirror. On the basis of this method, the edge effect problem, and task of corresponding points for wireframe stereo images are solved. Mathematical models of unique graphical stereoprocedures for wireframe designs have been developed: 3D-

overview, 3D-interpolator, 3D-window, 3D-recursion, 3D-manipulation. Mathematical models of geometric distortion analysis due to a different basis and / or view angle in different stereosystems are developed. A method natural-computer stereo modeling has been developed. The basic principles of the construction of a stereoscopic television-computer complex for the visualisation of natural-computer 3D information are developed. Were improved: theoretical questions and principles of building a stereo system for determining the position of the observer in front of the monitor; procedures that use group arithmetic operations; methods of synthesis of processors of group operation.

Three modifications of the stereoscopic display of wireframe information were implemented at one of the enterprises of the Ministry of Mechanical Engineering. The stereoscopic system of full-scale information was implemented on the BO Spetsatom, Pripyat, Kiev region.

Keywords: Stereoscopic graphics, wireframe (point-skeletal) stereo images, stereoscopic operators, natural-computer stereomodeling, geometric distortions, 3D-window, 3D-recursion, 3D-interpolator, 3D-overview, correspondent task, edge stereo effect, processors of group operation.