

УДК 004.92(045)

<sup>1</sup> С.М. Дудковський  
<sup>2</sup> В.М. Синеглазов, д-р техн. наук**ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ БАГАТОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих комплексів, НАУ  
e-mail: <sup>1</sup>dsn@ua.fm; <sup>2</sup>SVM@nau.edu.ua

*Розглянуто технічні засоби багатоканальних систем візуалізації стосовно літакобудування, їхні основні компоненти та загальні характеристики. Викладено вимоги до візуалізації даних систем автоматизованого проектування під час розробки наукоємної продукції. Використання багатоканальних систем візуалізації дозволяє візуалізувати дані систем автоматизованого проектування робіт на великих екранах у режимі стереозображення, що дає користувачу тривимірне високоякісне уявлення про проект у реальному режимі часу.*

**Вступ**

Створюючи наукоємну продукцію, розроблювач прагне до максимального використання засобів систем автоматизованого проектування робіт (САПР), вирішуючи різні завдання електронного проекту. Завдання візуалізації даних САПР на великих екранах у режимі стереозображення дають найбільш повне уявлення про проект у цілому. Це – пріоритетне завдання при розробці виробів в автомобільній і авіаційній промисловості. При створенні проектів у САПР необхідно дуже точно уявляти процес ув'язування систем і агрегатів в обмеженому просторі з великою кількістю компонентів. При цьому потрібно враховувати специфіку роботи кожного учасника, що входить у процес проектування. Розроблювачі різних напрямків повинні спільно оцінити на великому екрані взаємне ув'язування своїх компонентів у тривимірному поданні проекту і в реальному масштабі.

Для реалізації завдання візуалізації проектних даних САПР слід уявляти: з якими даними необхідно працювати, в яких процесах проектування буде задіяний комплекс візуалізації, скільки одночасно осіб повинно працювати з комплексом, наскільки реалістичним має бути зображення й динаміка переміщення об'єктів, яку площу буде займати комплекс і наскільки зручно користувачеві керувати цією системою.

**Аналіз розробок багатоканальних систем візуалізації**

Основними цілями при візуалізації тривимірних об'єктів є висока якість, реалістичність і кількість відображуваних кадрів за секунду візуалізованого зображення.

Якість візуалізації обумовлюється багатьма складовими, серед яких: підтримувана роздільна здатність екрана, використовувані моделі освітленості й зафарбування граней, алгоритми згладжування країв під час растеризації (антіаліасінг) і т.д.

Реалістичність зображення визначається якістю використовуваних текстур та якістю подання об'єкта, тобто кількістю триангульованих поверхонь, необхідних для якісного подання об'єкта. Крім того, важливе значення мають такі складові, як тіні, відбиття й відблиски від джерел світла. Тіні дають інший вигляд об'єкта (з боку джерела світла), за рахунок чого можна краще уявити взаємне розташування об'єктів і джерел світла в сцені. Для комфортної роботи користувачів із системою візуалізації необхідно забезпечити частоту зміни зображення на екрані в межах 15–25 кадрів за 1 с.

На провідних світових автомобільних і авіаційних фірмах широко використовуються багатоканальні системи візуалізації.

Як характеристики багатоканальних систем візуалізації можна використати такі:

- розмір екрана;
- роздільна здатність екрана;
- тип проекції;
- кількість каналів;
- використання стереорежиму.

У двоканальній системі CadWall (рис. 1, а) використано тричипні DLP-проектори з частотою 110 Гц, які застосовуються для активних стереопрограм.

У двоканальній системі CadWall використовується зовнішнє оптичне змішування й заломлюючі дзеркала для поєднання зображення з двох проекторів і плавного їх об'єднання у центрі. Роздільна здатність системи (розмір зображення у пікселях) – 2400 × 1024, яскравість зображення – 10 000 лм, контрастність 800:1.

На рис. 1, б показана триканальна система візуалізації для фронтального проектування на циліндричний екран, у якій використовуються однокіпні DLP-проектори із внутрішньою реалізацією деформування зображення й зовнішнім оптичним змішуванням в зонах перекриття зображення від проекторів. Роздільна здатність системи – 3520 × 1024, яскравість – 2 500 лм, контрастність 1000:1.

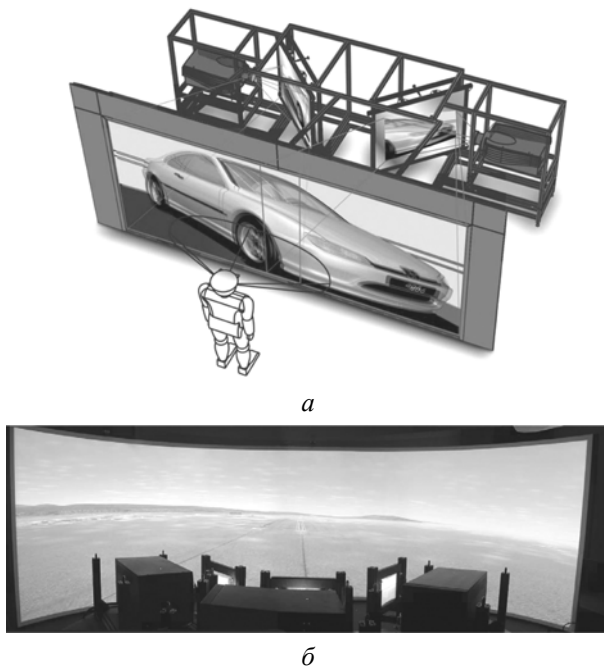


Рис. 1. Двоканальна (а) і триканальна (б) системи візуалізації

Система візуалізації, показана на рис. 2, використовується в системах, де потрібна висока якість зображення, наприклад, у кінотеатрах.



Рис. 2. Триканальна система візуалізації кінотеатрів

У цій триканальній системі для фронтального проектування на циліндричний екран використовують тричипні DLP-проектори із внутрішньою реалізацією деформування зображення й зовнішнім оптичним змішуванням. Роздільна здатність системи –  $3520 \times 1024$ , яскравість зображення – 15 000 лм, контрастність 800:1.

За сукупністю апаратно-програмних засобів і можливостями моделювання візуалізаційні комплекси є унікальними засобами колективної роботи розробників з великим набором графічних даних, створених у САД-системах. Це могутній інструмент візуалізації інженерних даних у реальному часі з можливістю інтерактивної взаємодії оператора з віртуальною моделлю складного технічного об'єкта.

### Принципова схема багатоканальної системи візуалізації

Основні компоненти багатоканальних систем візуалізації показані на рис. 3.

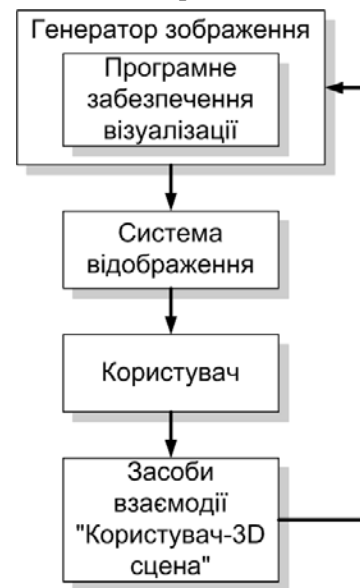


Рис. 3. Компоненти багатоканальної системи візуалізації

Багатоканальна система візуалізації складається з таких компонентів:

- генератор зображення із установленим програмним забезпеченням для візуалізації;
- система відображення – проектори та екран;
- засоби взаємодії «Користувач-3D сцена» (покажчики, датчики положення).

Генератор зображення з установленим програмним забезпеченням для візуалізації створює необхідне зображення для кожного каналу і передає його на проектори. Генератор зображення створюється на основі високопродуктивних систем, таких як: HP sv7, SGI Onix 4, кластери й високопродуктивні робочі станції на платформі PC з процесорами INTEL або AMD.

Високі вимоги, що ставляться до генератора зображення, обумовлені великою кількістю графічної інформації, яку необхідно обробити і передати системі відображення.

Програмне забезпечення системи візуалізації дозволяє створювати зображення для спеціальної конфігурації системи відображення. Програмне забезпечення має забезпечувати виконання кількох вимог:

- стійка робота з великою кількістю графічних даних;
- робота в багатоканальному режимі;
- робота з даними САПР без складної конвертації даних;
- збереження структури проекту.

Система відображення складається з проекторів та екрана. На кількість проекторів впливають тип екрана, кількість каналів і спосіб використання стереозображення. Стереозображення можна отримати двома способами:

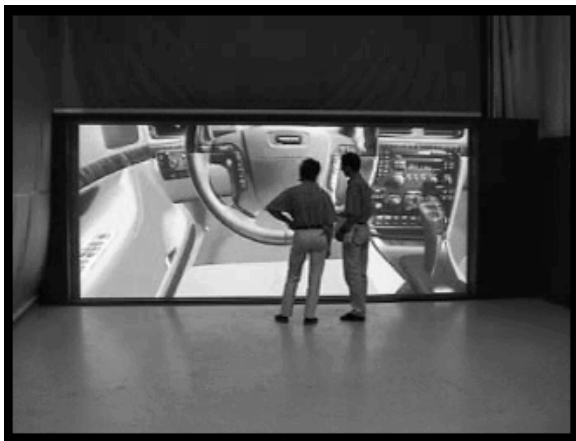
- пасивним (з використанням поляризації);
- активним (без застосування поляризації).

При використанні двоканальної системи для одержання активного стереозображення досить встановити два проектори. У разі використання пасивного стереозображення кількість проекторів подвоюється.

### Екран

Вибір екрана залежить від завдань, поставлених перед системою візуалізації й розміщенням проекторів. Екрани бувають:

- плоскими (рис. 4, а);
- циліндричними (рис. 4, б).



а



б

Рис. 4. Плоский (а) і циліндричний (б) екрани

За типом проекції розрізняють екрани із фронтальною проекцією (проектори встановлені перед екраном і користувач сприймає зображення на екрані як відбиття) і на просвіт (проектори встановлені за екраном, зображення проходить скрізь екран). Використовуючи кілька плоских екранів, можна отримати імерсійну систему.

Імерсійні системи дозволяють користувачу опинитися у середині кімнати, стіни якої є екранами, на які проектується зображення довкола нього, тобто він цілком поринає у віртуальний світ.

Імерсійні системи (рис. 5), які використовують циліндричні екрани, а також системи, побудовані як кімнати (екрани розташовані на стінах, підлозі і стелі), дуже дорогі та складні в налаштуванні й експлуатації.

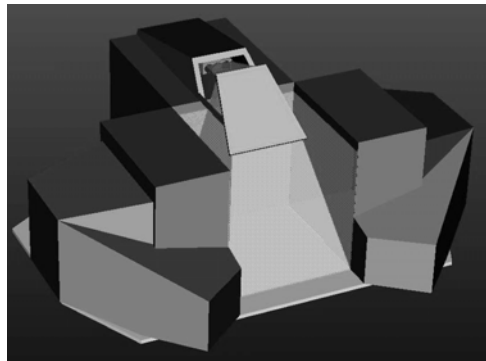


Рис. 5. Імерсійна система

Широкоформатний екран дозволяє більш повно оцінити проект для таких об'єктів, як літак або автомобіль, у яких переважають довговимірні поздовжні елементи конструкції. Використовуючи широкий екран, необхідно враховувати зону перекриття. Зона перекриття двоканальної системи візуалізації зображена на рис. 6.

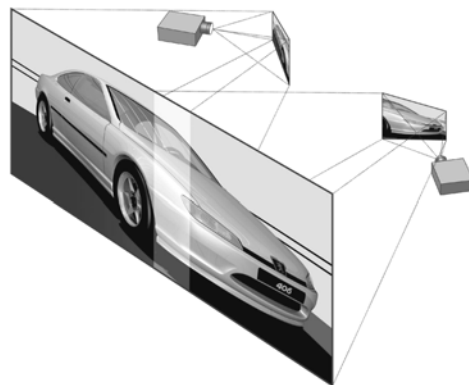


Рис. 6. Приклад двоканальної системи візуалізації з зоною перекриття від двох проекторів

Зона перекриття необхідна для усунення межі між кількома проекторами, вирівнювання яскравості й балансу кольорів. Для багатоканальних систем відображення використовують зони перекриття 12,5 і 20 % від ширини зображення. Існує два способи компенсації яскравості в зоні перекриття: оптична й електронна.

### Проектори, стереозображення та тип використовуваної поляризації

До основних типів проекторів відносять: проектори з електронно-променевою трубкою CRT, проектори з вбудованою рідкокристалічною панеллю LCD і проектори з вбудованим поворотним чипом DLP. DLP-проектори бувають одночипні й тричипні.

Використання в багатоканальних системах проекторів CRT недоцільно через високу вартість, малу яскравість й складності в налаштуванні й експлуатації.

Сучасні багатоканальні системи будуються на проекторах LCD й DLP.

Стереоскопічні проекційні системи засновані на роздільній передачі зображень для лівого й правого ока, внаслідок чого виникає стереоскопічний ефект.

В активній, або послідовній схемі використовується по чергові проекція зображення для лівого й правого ока на екран і спеціальні рідкокристалічні «затворні» окуляри зі склом, що по черзі затемнюється для правого і лівого ока і синхронізується з зображенням за допомогою інфрачервоного випромінювача.

Таким чином, кожне око одержує призначене для нього зображення.

У цій схемі необхідно використовувати проектори з великою частотою вертикального розгорнення, зазвичай це 120 Гц (60 кадрів за 1 с для кожного ока).

У пасивній схемі розділення зображень переважно здійснюється за допомогою поляризації світла (рис. 7).

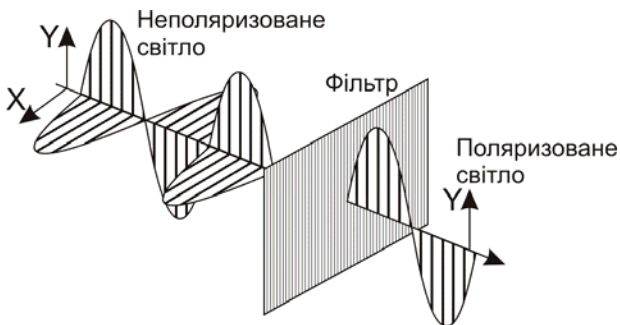


Рис. 7. Пасивна поляризація світла

Для пасивної поляризації використовуються два проектори з встановленими поляризаційними фільтрами, орієнтованими ортогонально один до одного.

Обидва зображення одночасно проєктуються на екран, виготовлений зі спеціального матеріалу, що має мінімальний ступінь деполіризації відбитого світла.

Для прямої (глядачі й проектори знаходяться з одного боку від екрана) і зворотної (глядачі і проектори розділені екраном) проєкцій використовуються матеріали різного типу.

Для спостереження користуються окулярами з поляризаційними фільтрами, орієнтованими паралельно відповідним фільтрам проекторів, внаслідок чого кожне око «одержує» призначене для нього зображення.

На якість зображення впливає також тип фільтрації (лінійна або кругова) світла, що використовується при пасивній поляризації. При лінійній фільтрації (рис. 8, а) спостерігається перекичування зображення або його втрата у разі нахилу голови в бік, тобто при кутовому незбігу осі у фільтрів проекторів і окулярів. Переважніше використання кругової поляризації (рис. 8, б), але при цьому потрібне точне налаштування фільтрів проекторів для зменшення кількості подвійних зображень.

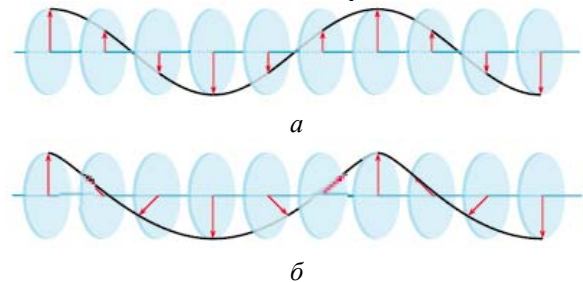


Рис. 8. Лінійна (а) і кругова (б) фільтрації при пасивній поляризації

Поляризація, показана на рис. 9, виконує розділення зображення для правого й лівого очей за допомогою фільтрів різних кольорів (частіше – червоний та синій кольори). Вона використовується в системах зі спрощеними вимогами до передачі кольору. Особливості такої поляризації полягають у простоті отримання поляризованого зображення та застосуванні дешевих окулярів.

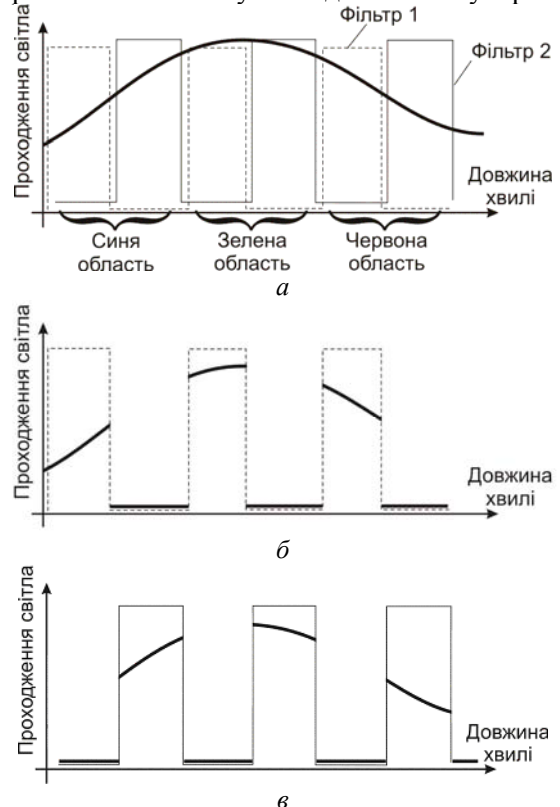


Рис. 9. Колірна поляризація: а – неполяризоване зображення; б – фільтрація для лівого ока; в – фільтрація для правого ока

Однією з важливих характеристик проектора є його яскравість. Використовуючи стереозображення, важливо враховувати втрати яскравості від застосування фільтрів та окулярів.

Втрати яскравості на LCD-проекторі при використанні пасивного стереозображення досягають 40 % (рис. 10, а).

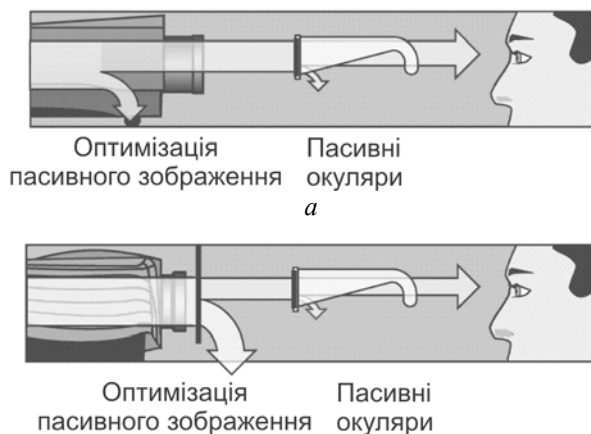


Рис. 10. Втрати яскравості на LCD-проекторі (а) та DLP-проекторі (б)

Особливості використання поляризації з LCD-проекторами полягають у використанні поляризації, яка відбувається в проекторі, застосуванні простих окулярів та двох проекторів.

Втрати яскравості на DLP-проекторі при використанні пасивного стереозображення досягають 60 % (рис. 10, б).

Особливостями використання поляризації з DLP-проекторами є: поляризація, що відбувається поза проектором; застосування простих окулярів та двох проекторів.

Втрати яскравості на CRT- і DLP-проекторах при використанні активного стереозображення можуть досягати 80 % (рис. 11).

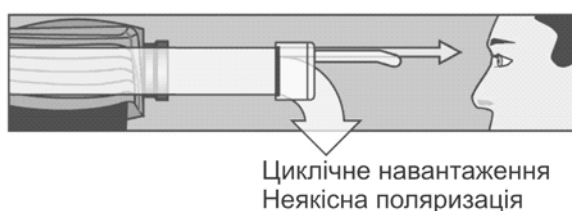


Рис. 11. Втрати яскравості на CRT- й DLP-проекторах

Використання активного стереозображення має такі особливості: циклічний режим роботи проектора (щораз утрачається 50 % яскравості на окулярах), затворні окуляри, та застосування одного проектора.

Активні проекційні стереосистеми істотно дорожче пасивних, тому що для них необхідні такі дорогі компоненти, як CRT-проектори зі спеціальним люмінофором, затворні окуляри, система синхронізації.

Для пасивних стереопроєкцій можуть бути використані стандартні офісні LCD- або DLP-проектори, а також прості у виготовленні пасивні стереоокуляри.

При використанні активного стереозображення необхідна висока частота зображення на проекторі – більш ніж 96 Гц, тоді як для пасивного стереозображення достатньо 60 Гц.

### Змішування зображення

Техніка змішування кромки передбачає перекриття зони зображення розташованих поряд проекторів для плавної освітленості та передачі кольору від одного зображення до іншого. Методи змішування розділяють на оптичні та електронні. Для одержання необхідної яскравості при оптичній або апертурній модуляції, використовуються тверді кромки або градієнти. Вони можуть бути встановлені внутрішнім або зовнішнім способом. Перевага оптичних рішень полягає в змішуванні чорного й білого рівнів кольорів (рис. 12).

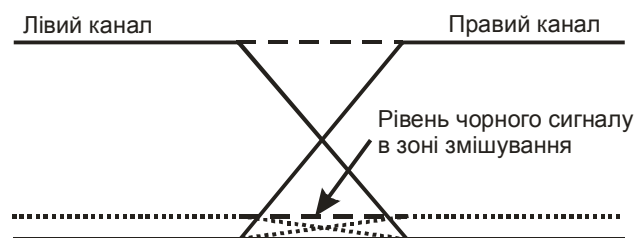


Рис. 12. Варіант оптичного змішування, що являє собою перехід між білим й чорним рівнями

Оптичне змішування може налаштуватися в умовах експлуатації. Для простих дво- або тристоронніх змішувань майже всі оптичні рішення можуть бути корегованими. Комплексні змішування між трьома або більше каналами можуть викликати певні труднощі. Рішення з використанням твердих кромки прості для виробництва й відносно недорогі, особливо при зовнішньому використанні. Ширина твердої кромки перекриття визначається розташуванням кромки й розміром вихідної зіниці лінзи. Результуюча зона півтіні збігається з зоною, передбачуваною для змішування. Застосування твердої кромки при нерівномірному заповненні вихідної лінзи системою освітлення не дає позитивного результату. У такому разі замість плавного градієнта на екрані спостерігається східчастий ефект.

При градієнтному змішуванні можна використовувати безперервні або розмиті шаблони. Градієнтні рішення можуть також сприяти створенню змінних і дуже широких зон переходу. Однак корекція таких рішень може мати тривалі ітераційні цикли.

Крім того, градієнтні рішення в незначному ступені впливають на розв'язання проблем, обумовлених нерівномірною яскравістю. В процесі використання шаблонів згладжування градієнтні рішення можуть піддаватися негативному впливу, обумовленому проблемами дифракції традиційними під час згладжування. Світло проєктора може переломлюватися крізь ці шаблони, викликаючи розщеплення кольорів і затінення зображення в зоні змішування.

Електронне змішування (рис. 13) може застосовуватися в проєкторі, якщо він має таку функціональність і використовує альфа-канал з генератора зображення.

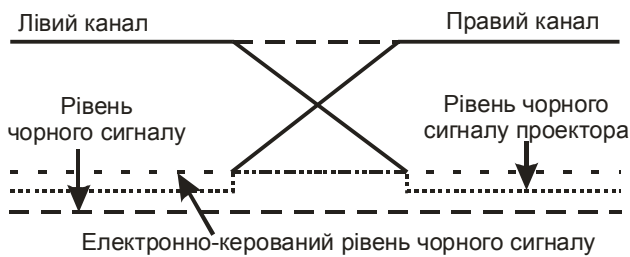


Рис. 13. Варіант електронного змішування, що являє собою компенсацію чорних рівнів

Електронне змішування простіше налаштовується та полегшує автоматизацію використання системи візуалізації, однак для темного зображення результати незадовільні. Така ситуація обумовлена пропусканням незначної кількості світла, що властиве усім проєкторам, заснованим на матрицях, у момент їхнього відображення чорного кольору. Запобігти витокові цього світла неможливо. Це означає, що для чорного зображення електронне змішування неефективне. Результуюче зображення на екрані для чорних зображень в зоні перекриття двох проєкторів є вдвічі яскравіше, ніж при використанні одного проєктора. У зоні перекриття трьох проєкторів зображення яскравіше втричі і т.д. Додавання електричним способом чорного сигналу до зон перекриття вирівнює яскравість у зоні змішування. Але при електричному змішуванні помічається відносна втрата загальної контрастності системи відображення.

Електричне змішування використовують для візуалізації об'єктів, у яких завжди присутня значна кількість відбитого світла, що необхідно для одержання мінімального рівня чорного сигналу. Таким чином, електричне змішування бажано використовувати для яскравих зображень.

Гнучкість електричного змішування і можливості автоматизації налаштування роблять цей метод найбільш прийнятним для систем відображення, однак, необхідно враховувати спосіб і умови застосування системи візуалізації.

### Загальні вимоги до системи візуалізації

Система візуалізації має багато характеристик, які повинні задовольняти вимогам, що ставляться до системи. Як загальні характеристики системи візуалізації можна використовувати такі:

- кількість одночасно візуалізованих системою триангульованих поверхонь;
- кількість кадрів, відтворених на екрані за 1 с;
- тип та розмір екрана.

Ці характеристики взаємозалежні.

Кількість оброблюваних системою візуалізації триангульованих поверхонь пов'язана з набором геометричних даних для візуалізації та точністю їх виконання. Сучасні системи можуть візуалізувати 10–20 мільйонів триангульованих поверхонь.

Для комфортної роботи користувачів з системою візуалізації необхідно забезпечити оновлення зображення об'єктів на екрані в межах 15–25 кадрів за 1 с. Ця вимога впливає на обсяги геометричної інформації, завантаженої для візуалізації. Розмір екрана впливає на комфортність роботи користувача з даними. Сучасні екрани можуть бути плоскими (більше ніж 4x2 м), кривими (кут огляду до 120°), системи типу кімнати (5 або 6 екранів у вигляді куба) і сферичними.

Вибір типу екрана залежить від способу його використання. На тип екрана також впливає кількість користувачів, які будуть одночасно працювати з системою візуалізації.

Вибір технічних засобів для системи візуалізації (рис. 14) передбачає визначення:

- 1) розміру і типу екрана (результатом є кількість каналів для генерації зображення);
- 2) типу стереозображення (використання пасивної або активної поляризації для стереозображення впливає на тип і кількість проєкторів);

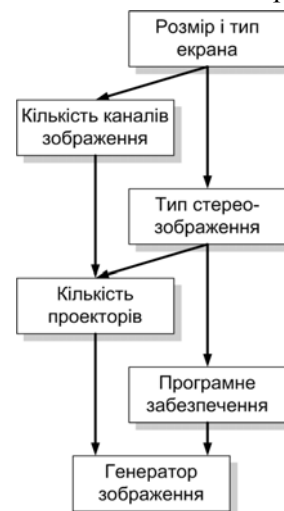


Рис. 14. Послідовність вибору технічних засобів системи візуалізації

- 3) проекторів залежно від кількості каналів і типу поляризації вибирається тип проекторів і визначається їхня кількість;
- 4) програмне забезпечення візуалізації (залежить від CAD-системи, в якій виконані об'єкти);
- 5) генератор зображення.

### Перспективи розвитку багатоканальних систем візуалізації

Багатоканальні системи візуалізації розвиваються за кількома напрямками:

- 1) генератор зображення:
  - перехід від дорогих і складних систем (HP SV7, SGI Onix 3) до архітектури PC з процесорами 64 біт (Intel, AMD);
  - застосування шини PCI-Express x16 для графічних карт;
  - збільшення продуктивності графічних карт (збільшення розрядності, текстурної пам'яті, використання пам'яті DDR3);
  - використання технології паралельної роботи кількох графічних карт у режимі SLI та CrossFire;
- 2) програмне забезпечення візуалізації:
  - перехід на нові операційні системи (64 біт) і програмне забезпечення візуалізації для архітектури PC (збільшення розрядності адресної пам'яті);
  - використання процесорів Intel Xeon64 й AMD Opteron у генераторах зображення;
  - формування специфікації формату представлення тривимірних даних Universal 3D;
- 3) система відображення:
  - дослідження в зоні демонстрації тривимірного зображення без використання окулярів;
  - зменшення вартості проекторів;
  - збільшення яскравості світлового потоку;
  - зменшення габаритів системи відображення.

### Висновок

Технологія візуалізації на великому екрані даних САПР має великі потенційні можливості в завданнях створення наукоємної продукції. У 2003–2004 рр. відбувся стрибок у потужності систем на платформі PC, вони за продуктивністю почали наздоганяти дорогі рішення на RISK архітектурі. На даний момент продуктивності технічних засобів на платформі PC ще не вистачає для візуалізації великих обсягів даних через обмеження в адресній пам'яті (не більше ніж 4 ГБ). Але обраний напрям розвитку технічних компонентів платформи PC, і зокрема перехід на 64-бітну архітектуру як технічних, так і програмних засобів, використання графічних адаптерів з інтерфейсом PCI-Express у режимі SLI дозволить конкурувати або перевершувати за продуктивністю рішення на платформі RISK.

### Література

1. Clodfelter Robert M., Nir Yoav. Multi-Channel Display Systems for Data Interpretation and Command and Control: [http://www.barco.com/projection\\_systems/downloads/Multi\\_Channel\\_Display\\_Systems.pdf](http://www.barco.com/projection_systems/downloads/Multi_Channel_Display_Systems.pdf).
2. Клименко С.В., Вигер И., Брусенцев П. Профессиональные системы виртуальной реальности на базе PC: <http://www.nvworld.ru/docs/reality.html>.
3. Клименко С.В. Система визуализации индуцированного виртуального окружения для задач исследования космоса: состояние проекта // Тр. 14-й междунар. конф. по компьютерной графике и зрению "Графикон-2004". – М., 6–9 сент. 2004. – М.: МГУ. – С. 12–15.
4. Михайлюк М.В. Компьютерная графика в системах визуализации имитационно-тренажерных комплексов: [http://www.imvs.ru/imvs/libel/05/michailyuk\\_04.pdf](http://www.imvs.ru/imvs/libel/05/michailyuk_04.pdf).

Стаття надійшла до редакції 29.08.05.

С.Н. Дудковский, В.М. Синеглазов

Технические средства многоканальных систем визуализации

Рассмотрены технические средства многоканальных систем визуализации применительно к самолетостроению, их основные компоненты и общие характеристики. Изложены требования к визуализации данных систем автоматизированного проектирования при разработке наукоёмкой продукции. Использование многоканальных систем визуализации позволяет визуализировать данные систем автоматизированного проектирования работ на больших экранах в режиме стереоизображения, что дает пользователю трехмерное высококачественное представление о проекте в реальном режиме времени.

S.N. Dudkovsky, V.M. Sineglazov

Means of multichannel systems of visualization

Multichannel system software of visualization referenced to aircraft industry is considered in this issue. System components, their general characteristics and CAD data visualization requirements for high tech production designing are included. Application of multichannel system of visualization allows CAD data large screen visualizing in stereo image mode, which provides real-time, three-dimensional high-quality project representation to users.