

СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ ЗА ЇХ СТЕРЕОПАРАМИ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВІРТУАЛЬНИХ МУЗЕІВ

CREATING 3D MODELS OF OBJECTS BY THEIR STEREOPAIRS OF IMAGES FOR VIRTUAL MUSEUMS

Рябоконт Д.І.

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем.
пр. Академіка Глушкова 40, Київ. Тел: 266-62-08 ел. пошта: dima@image.kiev.ua

Анотація.

Розглядається технологія побудови тривимірних моделей об'єктів за їх стереозображеннями, в основу якої покладено паралаксну оцінку дальності.

Abstract.

The technology of building the 3D-model of objects by their stereoimages is considered. The foundation of this technology is a parallax estimation of the scene depth.

Вступ

Збереження та оприлюднення культурної спадщини людства дуже важливо в соціальному житті сучасного суспільства. Завдяки розвитку обчислювальної техніки за засобів мультимедіа, ми можемо зараз зберігати культурні надбання не лише у тому вигляді, в якому їх було створено вперше, але й в іншому – електронному. За останні роки було створено чисельні віртуальні музеї, де експонати – це комп'ютерні файли, а відвідувачі – користувачі електронної мережі. Створення подібних музеїв дозволяє отримати детальну інформацію про найвидатніші досягнення людства та ознайомитися з їх історією. Такі музеї допомагають здобути освіту та сприяють культурному розвитку суспільства.

В даній роботі йтиме мова про створення віртуальних тривимірних моделей скульптур, будівель, архітектурних споруди. Підхід, що буде описаний, базуватиметься на вирішенні задачі оптимальної розмітки, що широко використовується в теорії розпізнавання образів. Побудова тривимірних об'єктів та сцен навколишнього світу виконуватиметься на основі однієї стереопари зображень. Буде розглянуто випадки обробки ідеальних та неідеальних стереопар. Відновлення просторової конфігурації об'єктів у випадку невідомого взаємного розташування камер базуватиметься на паралаксній оцінці зображень.

Існують також інші технології просторової реконструкції об'єктів за результатами зйомки, наприклад, за допомогою лазерного виміру дальності, чи за допомогою освітлення об'єкту кодованими променями. Проте, представлена технологія значно дешевша в реалізації і не залежить від розмірів об'єкта зйомки та природного освітлення сцени під час зйомки. Вона на відміну від інших дозволяє отримувати результат найбільш природнім шляхом, використовуючи природні механізми людського стереозору.

На початку роботи розглянуто принцип вирішення задачі стереозору, зокрема увагу буде присвячено поняттю паралаксу точок тривимірного простору. Далі розповідатиметься про алгоритм стереорекопструкції та технологію побудови тривимірних моделей. Звичайно ж, привернуть увагу результати стереорекопструкції, що надані в заключній частині роботи.

1. Принцип побудови тривимірних моделей

На Рис. 1 подано стереозображення кубу. **Паралаксом** точки у просторі, що належить кубу, будемо називати різницю горизонтальних координат проєкцій цієї точки на ліве та праве зображення. Так, наприклад, для точки 1 горизонтальна координата на лівому малюнку Рис.1 менша за горизонтальну координату на правому малюнку. Для точки 2 горизонтальні координати проєкцій на малюнки співпадають. Саме паралакс точок на зображеннях і дає нам інформацію про їх дальність або глибину.

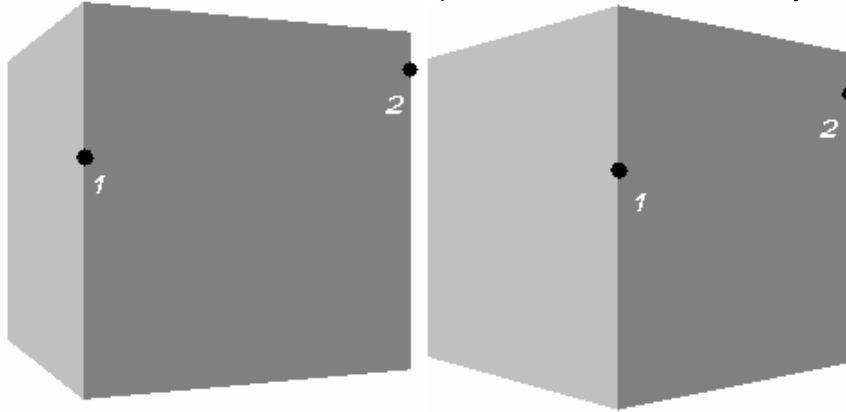


Рис. 1

Якщо для кожної точки лівого зображення знайти відповідну їй точку на правому зображенні, то тим самим можна визначити відносні дальності точок на зображенні.

Нехай T - **поле зору**, що визначається як $T = \{(j, i) \mid 0 \leq j < DY, 0 \leq i < DX\}$, де

- DY – розмір по вертикалі,
- DX – розмір по горизонталі.

Під **зображенням** F будемо розуміти функцію, яка кожному елементу поля зору ставить у відповідність трійку чисел

$$F: T \rightarrow \{(r, g, b) \mid 0 \leq r \leq 255, 0 \leq g \leq 255, 0 \leq b \leq 255\}.$$

Розміткою G будемо називати відображення

$$G: T \times T \rightarrow \{0, 1\};$$

$G(j, i, l, k) = 1$, якщо елементу (j, i) лівого зображення ставиться у відповідність елемент (l, k) правого зображення;

$G(j, i, l, k) = 0$ у протилежному випадку.

Розмітка має визначати для кожного елементу лівого зображення принаймні один відповідний елемент правого зображення,

$$\forall i, \forall j \sum_{l, k} G(j, i, l, k) > 0.$$

Під **функцією якості співставлення пари елементів** будемо розуміти функцію, що ставить у відповідність парі елементів на зображеннях невід'ємне число – міру збіжності елементів зображення,

$$q: T \times T \rightarrow [0, 0.65535].$$

Якістю відновленого рельєфу Q будемо називати число

$$Q = \sum_{j, i, l, k \mid G(j, i, l, k) = 1} q(j, i, l, k).$$

На шукану розмітку G накладається обмеження – умова **неперервності по вертикалі**

$$\forall i, \forall j, \forall k, \forall l (G(j, i, l, k) = 1) \Rightarrow (G(j, i+1, l_1, k) + G(j, i, l_2, k+1) + G(j, i+1, l_3, k+1) > 0).$$

Ця умова означає, що на стереозображеннях не містяться поверхні, які самоперекриваються чи мають розриви. Відновлена поверхня знаходиться в класі таких поверхонь, що є неперервними в горизонтальному напрямку.

Задача відновлення рельєфу полягає в знаходженні розмітки G , що доставляє мінімум функції Q при виконанні умови **неперервності по горизонталі**

$$\arg \max_{j, i, l, k | G(j, i, l, k) = 1} \sum q(j, i, l, k)$$

$$\forall i, \forall j, \forall k, \forall l (G(j, i, l, k) = 1) \Rightarrow (G(j, i+1, l_1, k) + G(j, i, l_2, k+1) + G(j, i+1, l_3, k+1) > 0). \quad (1)$$

Розглянемо приклад знаходження відповідних точок для деякого рядку лівого зображення. Будемо вважати, що можливі відповідні точки на правому зображенні містяться в тому самому рядку.

На Рис. 2 наведено такий приклад для зображень, що містять 8 точок в кожному рядку. Клітини на цьому рисунку відповідають восьми пікселям рядку лівого зображення, а точки (**мітки**) в кожній клітині відповідають восьми пікселям рядку правого зображення. Вибір певної мітки в деякій клітині означає співставлення пари пікселів – одного на лівому та одного на правому зображенні. Вибір в кожній клітині щонайменше однієї мітки будемо називати **розміткою клітини**. Дві клітини, що знаходяться поруч будемо називати **сусідніми**. Для сусідніх клітин існують обмеження на їх розмітку. Вибрані мітки в сусідніх клітинах мають з'єднуватись дужкою.

Кожна точка в кожній клітині містить якість співставлення пари пікселів – число, що характеризує міру збіжності двох елементів зображення – піксела на лівому та піксела на правому зображенні.

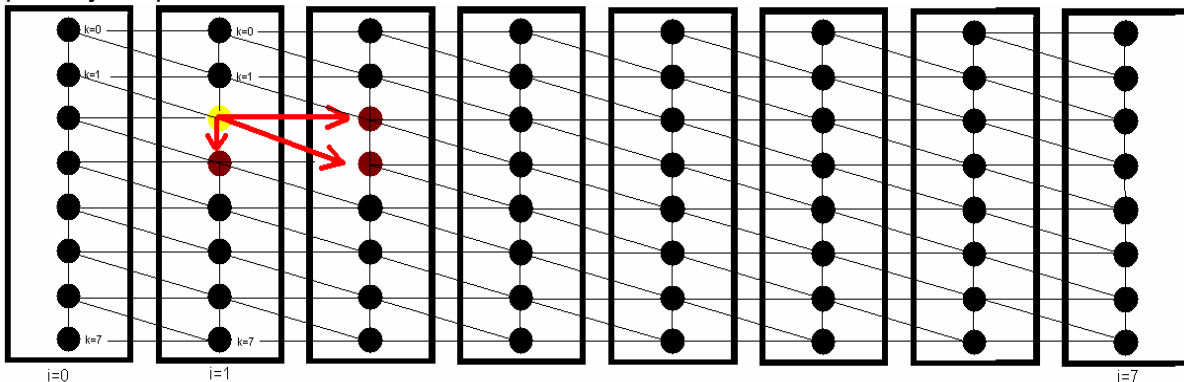


Рис. 2

Необхідно знайти таку розмітку, що максимізувала б суму якостей співставлення пар елементів зображень за умови горизонтальної неперервності розмітки. Умова горизонтальної неперервності в цьому випадку вимагає, щоб в кожних двох сусідніх клітинах вибрані точки повинні бути з'єднані дужкою. Так, наприклад, на Рис. 2 у клітині $i=1$ вибрана мітка $k=2$. Це накладає умову на подальший вибір міток в клітині $i=2$. Там тепер можна вибрати лише мітки $k=2$ або $k=3$.

Розв'язання оптимізаційної задачі (1) здійснюється за допомогою методів **динамічного програмування**. Отриману розмітку в клітинах можна розглядати як шлях на графі, який починається в крайній лівій клітині і закінчується в крайній правій клітині. В результаті модель відновленого рельєфу знаходиться в класі таких моделей, що складається з неперервних, нерозривних поверхонь.

2. Технологія побудови тривимірних сцен за стереозображеннями

2.1 Взаємне розміщення камер

При створенні стереозображень тривимірних сцен для їх просторової реконструкції, важливу роль відіграє взаємне положення камер. Відстань між камерами – **база**, має враховувати особливості об'єкта зйомки.

З одного боку, велика база дозволяє збільшити точність визначення просторових координат сцени. При зменшенні бази зменшується й інформація про глибину тривимірної сцени, а при нульовій базі, вона зовсім відсутня.

З іншого боку, при великій базі можливі випадки, коли ділянки поверхні зйомки спостерігаються тільки на одному зображенні. Особливо це стосується поверхонь з різкими перепадами висот та об'єктів з гострими частинами. В таких випадках точна стереореконострукція неможлива.

Отже, для оптимального розміщення камер слід встановити їх подалі одну від одної при умові бінокулярної видимості об'єкта.

2.2 Підготовка зображень до стереообробки

Перед стереообробкою зображень необхідно виконати деякі підготовчі операції.

По-перше, необхідно переконатися в тому, що всі точки тривимірної сцени зображені на обох знімках. В протилежному випадку всі моновидимі точки на зображеннях рекомендується зробити чорними.

По-друге, необхідно позбутися точок, що не відносяться до об'єкта зйомки, бо серед них можуть зустрічатися моновидимі. Їх також рекомендується замалювати в чорний колір.

По-третє, треба переконатися у відсутності відблисків на об'єкті. Зображення блискучих поверхонь не можуть бути стереореконоструйовані за допомогою описаної методики, оскільки відбиті від поверхні промені несуть інформацію не про об'єкт, а про джерело освітлення.

Лише при виконанні цих умов гарантується правильна стереореконострукція сцени.

2.3 Побудова моделі за паралаксною оцінкою

Після обробки пари стереозображень, для кожного елемента лівого зображення знаходиться відповідний йому елемент на правому зображенні. Різниця горизонтальних координат відповідних пікселів (паралакс) якісно відображає відстань до точки зображення. При відсутній інформації про внутрішні параметри камер, стереореконострукція можлива лише з точністю до масштабних перетворень. Якщо ж відстань між камерами значно менша за відстань від камер до об'єкта, то за просторові координати об'єкта можна брати наступні величини:

Горизонтальна просторова координата = індекс піксела на лівому зображенні,

Вертикальна просторова координата = індекс піксела на лівому зображенні,

Дальність = паралакс піксела на лівому зображенні.

Для тривимірної візуалізації важливі не абсолютні координати об'єкта, а його відносні координати. Тож за допомогою оператора необхідно змінити просторові масштаби моделі у відповідності про уявлення щодо дійсних пропорцій об'єкта. Це можна зробити за допомогою тривимірних графічних редакторів.

3. Результати стереореконструкції



Рис. 3



Рис. 4

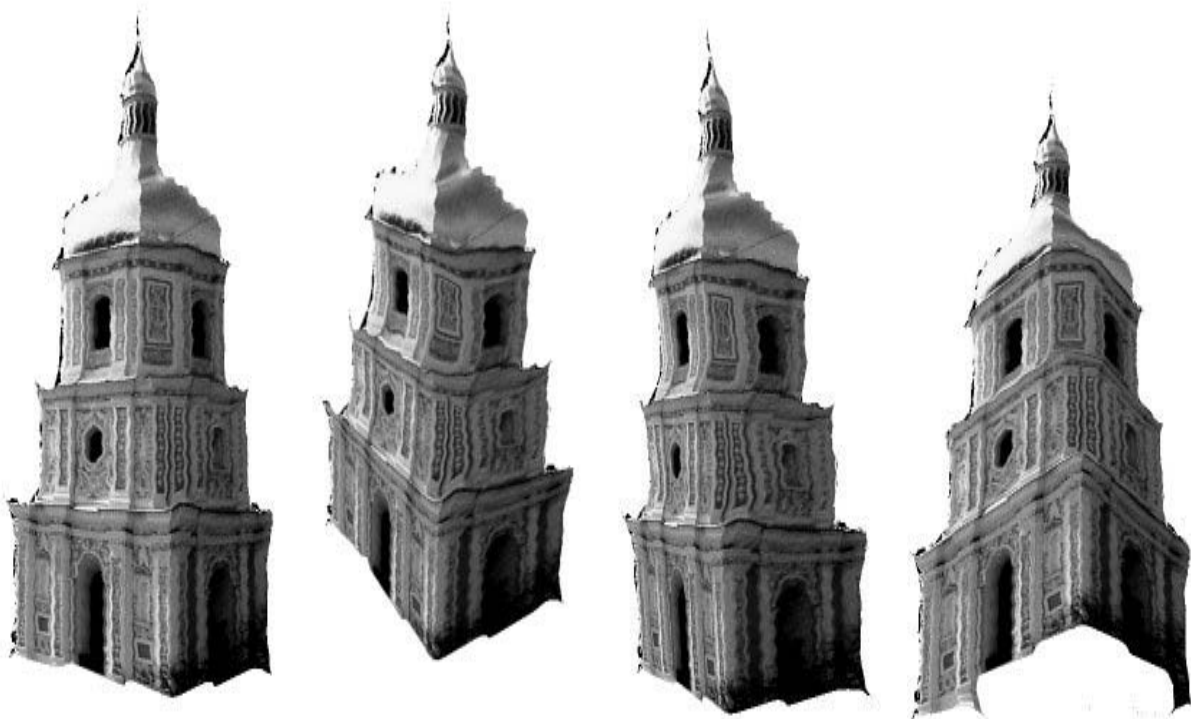


Рис. 5

На Рис. 3 наведено приклад стереопари. Там міститься зображення храму та прилегли до нього будинки. На Рис. 4 подано зображення храму, що відокремлено від загальної сцени на стереозображеннях, та підготовлено до обробки. На Рис. 5 представлено реконструйовані тривимірні моделі храму, що створені з різних точок зору.



Рис. 6

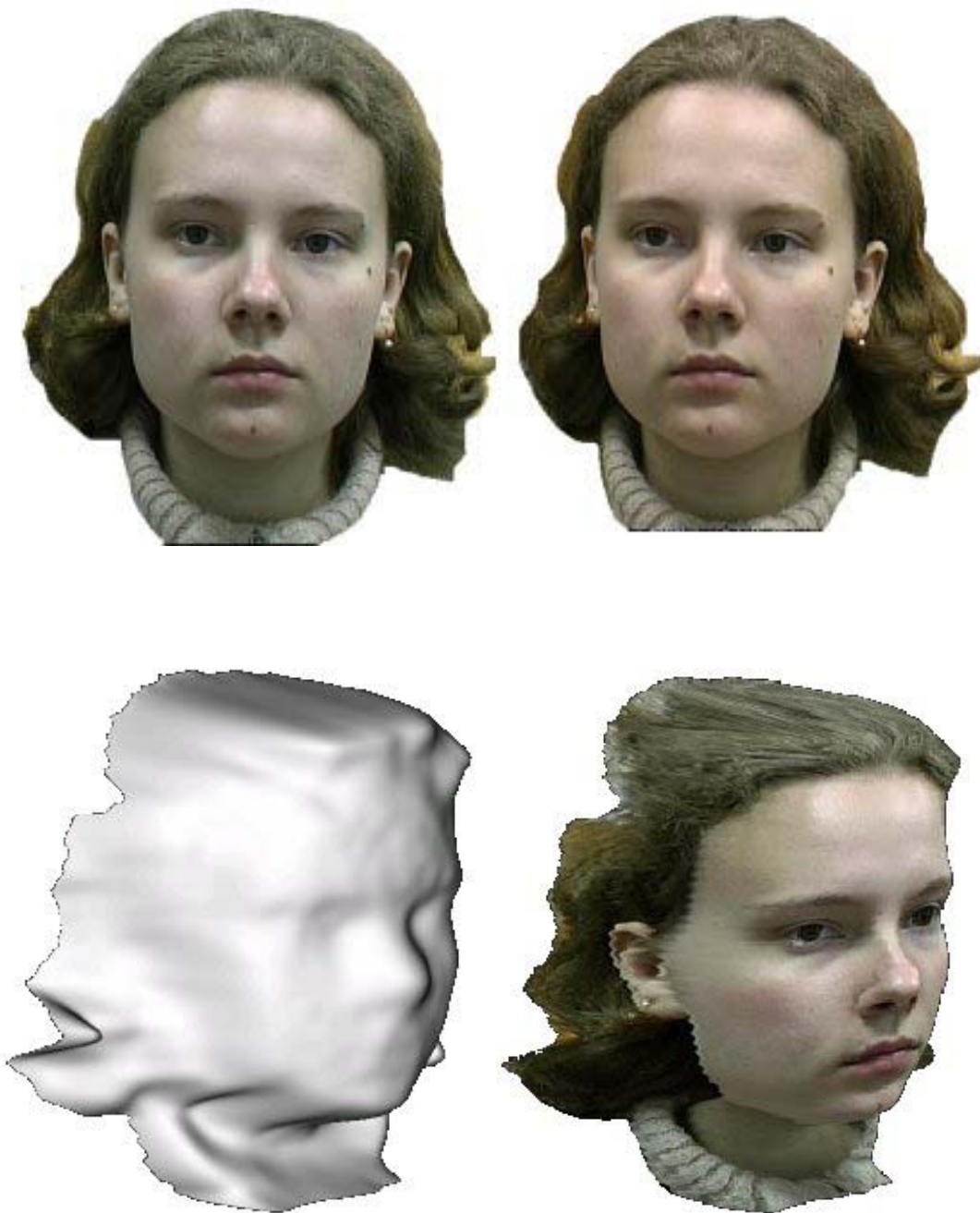


Рис. 7

На Рис. 6 подано приклад відновлення тривимірної моделі дитячої іграшки. Рисунок містить дані для обробки – стереопару зображень, та результат – забарвлена і незабарвлена модель.

На Рис. 7 подано приклад відновлення просторової конфігурації людського обличчя. Результат реконструкції представлено у вигляді забарвленої і незабарвленої моделі.

Висновки

В даній роботі було запропоновано технологію створення тривимірних моделей об'єктів за стереопарою зображень. Апаратура, що реалізує описану технологію досить проста. Необхідно мати два пристрої вводу зображень – фотоапарати чи відеокамери, та персональний комп'ютер. Час, необхідний для створення тривимірної моделі об'єкта, складає близько 10 хвилин. Обсяг пам'яті для зберігання моделі не перебільшує 1 Мб. У зв'язку з цим виникає можливість ефективного зберігання та обробки інформації про об'єкт зйомки. Так, наприклад, обсяг даних відеозйомки, що охопила б всі можливі ракурси об'єкта, перебільшував би обсяг даних з тривимірною моделлю в сотні разів. Для передачі даних через комп'ютерну мережу чи для зберігання їх на комп'ютері виграш у кількості інформації, що необхідно обробляти, суттєвий.

Для візуалізації реконструйованих моделей достатньо мати персональний комп'ютер із стандартним програмним забезпеченням, що підтримує тривимірну графіку. Описана технологія може бути використана для створення віртуального музею, де зберігатиметься просторові моделі скульптур, архітектурних споруд тощо.

Робота була виконана в рамках української державної науково-технічної програми "Образний комп'ютер". Під час виконання роботи виконавець підтримувався DAAD програмою уряду Німеччини "Стипендія Леонарда Ейлера 2001/2002".

Література

- [1] Г.Л. Гимельфарб. *"Симметризованное би- и тринокулярное стереозрение: взаимосвязь между теоретическими основами и эвристическими решениями."* Теоретические и прикладные вопросы распознавания изображений. Киев 1995.
- [2] R. Sara. *"The Class of Stable Matching for Computation Stereo."*
- [3] R. Hartley. *"In defence of the 8-point algorithm."* In International Conference on Computer Vision, pages 1064–1070, 1995.
- [4] T. Werner. *"Practice of 3D Reconstruction from Multiple Uncalibrated Unorganized Images. Czech Pattern Recognition Workshop 2000."*
- [5] Г.Л. Гимельфарб. *"Симметричный подход к задаче автоматических стереоскопических измерений в фотометрии."* Кибернетика 1979.