

# Адаптивна регуляризація розв'язку задачі погодження стерео зображень

Лисак Юрій, Луцик Олексій, Русин Богдан

ФМІ НАН України, м. Львів, вул. Наукова 5а  
ylysak@ipm.lviv.ua

Запропоновано ефективну імовірнісну модель, яка визначає гладкість розв'язку задачі погодження стерео зображень. На відміну від більшості глобальних підходів, де параметри гладкості розв'язку є незмінними для всього зображення і задаються ззовні користувачем, в даній роботі гладкість розв'язку визначається на основі аналізу пари стерео зображень і залежить від різниці яскравості сусідніх пікселів

## Вступ.

Класичною задачею погодження стереозображень є знаходження функції відмінності або карти глибини (disparity map), яка являє собою двовимірний масив даних, в комірках якого міститься інформація про взаємне розташування погоджених між собою пікселів стерео зображень, отриманих при відомих розташуваннях камер в просторі. Відома конфігурація камер дозволяє суттєво спростити розв'язання даної задачі шляхом накладання геометричних, або так званих епіпольярних обмежень, які являються фундаментальними в комп'ютерному баченні (Computer Vision) і використовуються практично у всіх відомих на даний час методах погодження. При використанні епіпольярних обмежень пошук відмінності між двома стерео зображеннями відбувається лише вздовж попарно спряжених між собою епіпольярних ліній, а не по цілому зображенню. В поєднанні з процедурою ректифікації, яка проводить вирівнювання епіпольярних ліній пошук відмінності відбувається вздовж рядків зображення. Докладніше про епіпольярні обмеження та процедуру ректифікації можна ознайомитись [1]. В загальному приймається, що стерео зображення являються зображеннями деякої тривимірної сцени, яка є ламбертівською, без дзеркальних відблисків і прозорих областей.

Хоча використання епіпольярних обмежень у поєднанні з ректифікацією значно спрощує розв'язок задачі погодження, проте сама задача погодження є достатньо складною через наступні проблеми:

- **Шум.** На практиці завжди присутні слабкі зміни інтенсивності світла, наявність розмиття (blurring) а також шум відео сенсорів при проведенні стерео зйомки.
- **Слабо текстуровані області.** Через наявність областей в яких не спостерігається істотної зміни яскравості, важко проводити пошук відмінності. В такому випадку інформація з текстурованих областей поширюється на слабо текстуровані області шляхом використання обмежень на гладкість розв'язку.
- **Неоднорідність розв'язку (depth discontinuities).** Обмеження на гладкість не повинні поширюватись

на границі розділу об'єктів з різними значеннями дальності розташування (глибини)

- **Перешкоди.** Наявність перешкод (occlusions) на зображенні призводить до появи хибно погоджених пікселів. Внаслідок відповідної конфігурації камер і відповідного рельєфу сцени виникають області які видно лише на одному з стерео зображень через їх загордження іншими областями тривимірної сцени.

## 1. Погодження зображень як задача знаходження максимуму апостеріорної ймовірності.

Оскільки задача погодження зображень розглядається як некоректно визначена, використання бесівського критерію дозволяє представити її розв'язок як задачу пошуку максимуму апостеріорної ймовірності. Це в свою чергу дозволяє краще враховувати різні апріорні обмеження в тому числі обмеження на гладкість розв'язку та його єдність.

Нехай дано деяке зображення  $I$ . Визначимо множину випадкових змінних  $D = \{D_i = d_i, i \in I\}$  кожна змінна якої може приймати дискретні значення з деякої вибраної множини  $S$ .

Зображення інтерпретується як реалізація дискретного випадкового марковського поля в якому кожному пікселю ставиться у відповідність значення випадкової змінної  $D_i$  тоді, коли умовна ймовірність

$P(d_i | d_{I-i})$  визначається лише значеннями сусідньої множини пікселів  $N$  по відношенню до  $i$  [2]. Множина сусідів може бути записана наступним чином:

$$N = \{N_{i,j}, i, j \in I\} \quad N_{i,j} = \{i', j' | i', j' \in I, (i', j') \neq (i, j), (i - i')^2 + (j - j')^2 \leq k\},$$

де  $k$  – визначає степінь сусідства (надалі приймається, що  $k=1$ ).

Множина  $D$  являється розв'язком задачі погодження і являє собою карту глибини (функцію відмінності).

На основі спостережень  $g$  розв'язок задачі погодження може бути представлений як задача пошуку максимуму апостеріорної ймовірності  $P(d|g)$ . Використовуючи бесівське правило отримуємо:

$$P(d|g) = \frac{P(g|d)P(d)}{P(g)}, \quad (1)$$

де  $P(d)$  апіорна ймовірність,  $P(g|d)$  - функція правдоподібності  $P(g)$  - густина розподілу ймовірності спостережень.

Оскільки  $P(g)$  не впливає на розв'язок, то задача пошуку максимуму апостеріорної ймовірності може бути записана наступним чином:

$$P(d|g) \propto [P(g|d)P(d)]. \quad (2)$$

Згідно теореми Хамерслі-Кліфорда, яка встановлює еквівалентність між випадковим марковським полем та розподілом Гібса [3], вираз (2) можна записати через розподіл Гібса :

$$P(d) = Z^{-1} \cdot e^{-\beta \cdot U(d)}, \quad (3)$$

де  $Z$  - нормуючий множник,  $\beta$  - параметр який називають температурою  $U(d)$  - енергетична функція, яка визначається сумою енергетичних потенціалів по відношенню до множини сусідніх пікселів  $N$ . [4] тобто

$$U(d) = \sum_{c \in C} V_c(d). \quad (4)$$

Таким чином вираз для визначення апостеріорної ймовірності можна записати наступним чином:

$$P(d|g) \propto [Z^{-1} \cdot e^{-\beta \cdot U(g|d)} Z^{-1} \cdot e^{-\beta \cdot U(d)}] \quad (5)$$

Що є еквівалентним до знаходження мінімуму:

$$d = \arg \min_{d \in S} U(g|d) + U(d) \quad (6)$$

де  $U(g|d)$  - енергетична функція яка визначається на основі вибраної міри подібності між пікселями стерео пари (абсолютна різниця, квадрат різниці, нормована взаємо-кореляція, рангова міра).  $U(d) = \delta(\Delta d_N)$  - встановлює обмеження на гладкість функції відмінності. В літературі широко застосовується модель Потса:

$$\delta(\Delta d_N) = \begin{cases} 0 & \Delta d_N = 0 \\ 1 & \Delta d_N \neq 0 \end{cases}, \quad (7)$$

яка дуже добре підходить для гладких поверхонь. У випадку погодження зображень сцени на якій представлено об'єкти з значними перепадами дальності, використання моделі Потса призведе до надмірного згладження функції відмінності (over smoothing). Крім того, в більшості методів погодження які базуються на мінімізації виразу (6), параметри функції яка регулює гладкість є постійними для всього зображення і задаються користувачем ззовні, що в свою чергу також приводить до вищевказаної проблеми.

## 2. Визначення параметрів регуляризуючої функції.

Оскільки рівень гладкості функції відмінності залежить від характеру сцени, а отже від пари стерео зображень, необхідно визначити характерну ознаку яка б дозволила відрізнити окремі об'єкти які являють собою частину сцени і знаходяться на різних рівнях дальності. Найпростішою такою ознакою є різниця яскравості сусідніх пікселів на зображенні, оскільки значні перепади яскравості сусідніх пікселів на зображенні як правило спостерігаються на границях розділу між різними об'єктами.

Таким чином припустимо, що різниця між двома сусідніми значеннями  $\Delta d_N$  функції відмінності описується наступною ймовірнісною моделлю:

$$P(\Delta d_N, \alpha) = \begin{cases} e^{-(k_{\Delta d} |\Delta d_N| + k_{\Delta I} |\Delta I|)} & \alpha = 1 \\ \frac{1}{L} & \alpha = 0 \end{cases}, \quad (8)$$

де  $|\Delta d_N| \in \{0, 1, \dots, L-1\}$ ,  $|\Delta I_N|$  різниця яскравості сусідніх пікселів.

Позначимо ймовірність  $P(\alpha = 1) = \rho$ , тоді вираз (8) можна записати наступним чином:

$$P(\Delta d_N) = \rho e^{-(k_{\Delta d} |\Delta d_N| + k_{\Delta I} |\Delta I|)} + (1 - \rho) \frac{1}{L}. \quad (9)$$

Визначимо умовну ймовірність

$$\begin{aligned} \omega &= P(\alpha = 1 | \Delta d_N, k_{\Delta d}, k_{\Delta I}) = \\ &= \frac{\rho e^{-(k_{\Delta d} |\Delta d_N| + k_{\Delta I} |\Delta I|)}}{\rho e^{-(k_{\Delta d} |\Delta d_N| + k_{\Delta I} |\Delta I|)} + (1 - \rho) \frac{1}{L}}, \end{aligned} \quad (10)$$

де коефіцієнти  $k_{\Delta d}$  та  $k_{\Delta I}$  визначаємо шляхом знаходження максимуму  $\log P(\Delta d_N, \alpha | k_{\Delta d}, k_{\Delta I})$ :

$$\begin{aligned} \log P(\Delta d_N, \alpha | k_{\Delta d}, k_{\Delta I}) &= \\ \sum_N \omega \log P(\Delta d_N, \alpha = 1 | k_{\Delta d}, k_{\Delta I}) &+ \\ (1 - \omega) \log P(\Delta d_N, \alpha = 0 | k_{\Delta d}, k_{\Delta I}) & \end{aligned} \quad (11)$$

Таким чином алгоритм для визначення функції відмінності буде складатись з наступних кроків:

- 1) початкова ініціалізація  $\rho$ ,  $k_{\Delta d}$ ,  $k_{\Delta I}$
- 2) визначення  $d$  шляхом мінімізації виразу (6)
- 3) перерахунок  $\rho$ ,  $k_{\Delta d}$ ,  $k_{\Delta I}$  формула (11)
- 4) перерахунок  $d$ , мінімізація виразу (6)
- 5) повторення кроків 2 3 4 до збіжності, або до заданої кількості ітерацій.

### 3. Експериментальні результати

Тестування алгоритму погодження відбувалось на ректифікованій парі стерео зображень Рис1. На Рис 2 та Рис.3 подано результат визначення функції відмінності отриманого при різних ітераціях запропонованого алгоритму.

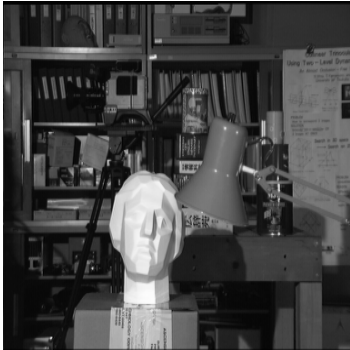
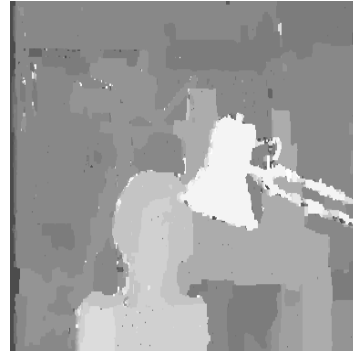


Рис. 1 Стерео пара зображень

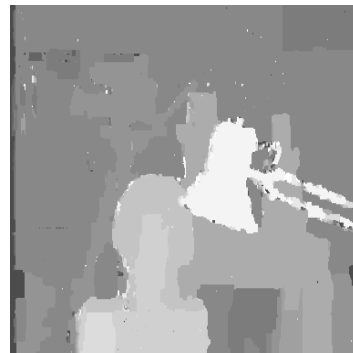


а)

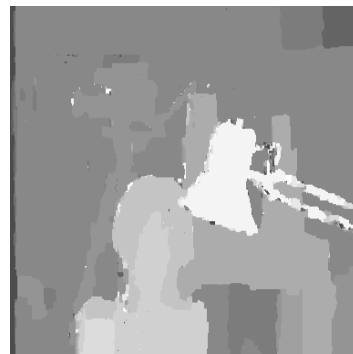


б)

Рис. 2 Результат погодження зображень після першої а) та другої ітерації б).



а)



б)

Рис .3 Результат погодження зображень після третьої а) та четвертої ітерації б) відповідно

### 4. Висновки

В роботі запропоновано ефективний алгоритм знаходження параметрів регуляризуючої функції, яка накладає обмеження на гладкість розв'язку задачі погодження стерео зображень. Рівень гладкості змінюється в залежності перепадів яскравості між об'єктами сцени.

## 5. Література

- [1] Hartley, R., Zissermann, A., "Multi-View Geometry in Computer Vision", Cambridge University Press, pp. 607, 2000
- [2] S. Z. Li, Markov Random Field Modeling in Computer Vision, Springer, Tokyo, Japan, 1995.
- [3] J. Besag, "Spatial interaction and the statistical analysis of lattice systems," Journal of the Royal Statistical Society B, vol. 36, pp.192–225,1974.
- [4] S. Z. Li, "Markov random field models in computer vision," in Proceedings of 3rd European Conference on Computer Vision (ECCV'94), vol.2, pp.361–370, Stockholm, Sweden, May 1994.
- [5] V.Kolmogorov and R. Zabih. Computing visual correspondance with occlusions using graph cuts. InICCV, volume II, pages 508–515, 2001.
- [6] J. Sun, H.-Y. Shum, and N.N. Zheng, "Stereo Matching Using Belief Proagation," Proc. European Conf. Computer Vision, pp. 510-524, 2002.
- [7] L. Cheng and T. Caelli, "Bayesian Stereo Matching," Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, pp. 192-192, 2004.