



Three-Dimensional Coordinate Reconstruction of
Each Digital Image Pixel in a Simple Stereo
Configuration Using the Belief Propagation
Method

Efron Manik

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

June 7, 2021

Rekonstruksi Koordinat Dimensi Tiga dari Setiap Pixel Citra Digital pada Konfigurasi Stereo Sederhana dengan Metode Belief Propagation

Efron Manik

efmanik@gmail.com

ABSTRACT

One of the major problems in computer vision is how to reconstruct the three-dimensional coordinates of each pixel which are shown in a digital image (inverse problem: each pixel to restore its natural coordinate). If we can determine the disparity of a pixel, we can determine the position of the pixels on the three-dimensional coordinate system using only simple calculations. The research was able to approach the disparity of almost every pixel with the actual disparity. This could be seen by comparing the digital image disparity results with actual digital image.

 Keywords : Disparity, correspondency, segmentation

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

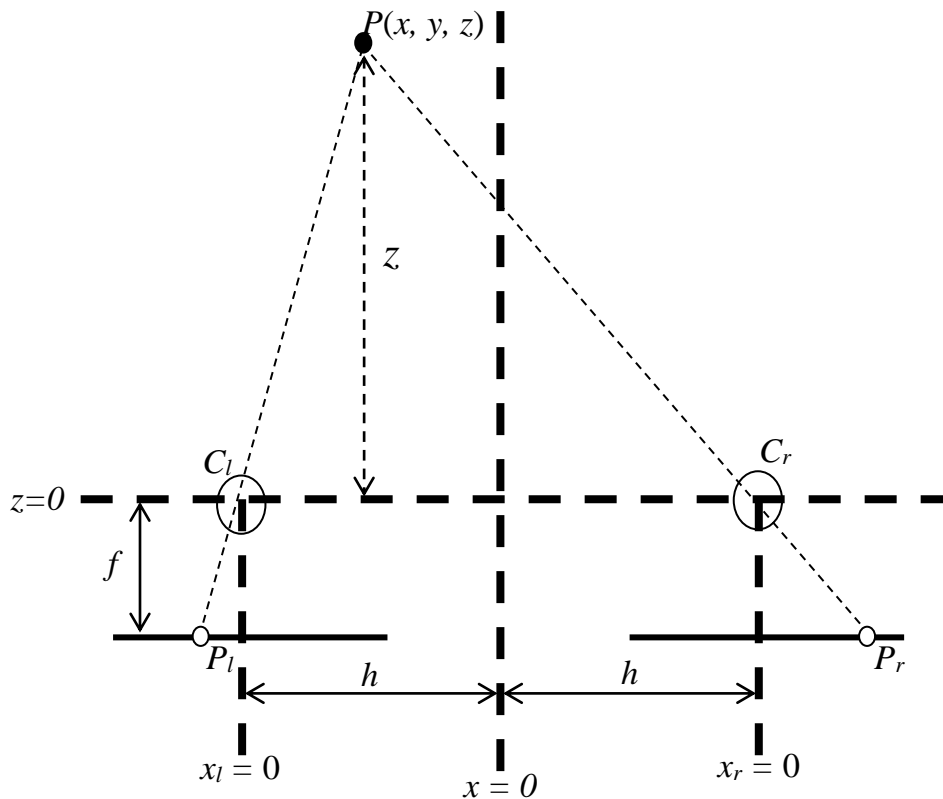
Konfigurasi Stereo Sederhana adalah konfigurasi dua kamera yang meniru cara penglihatan manusia dengan dua matanya, seperti diperlihatkan pada Gambar 1 (Florczyk 2005). Misalkan C_l dan C_r adalah kamera kiri dan kamera kanan secara berturut-turut yang diletakkan dengan jarak $2h$ dan fokus f . Jika P adalah sebuah titik pada koordinat alam yang proyeksinya pada citra digital kiri adalah pixel P_l dan proyeksinya pada citra digital kanan adalah pixel P_r , maka dengan operasi matematika sederhana kita dapat menghitung bahwa jarak titik P dari garis yang menghubungkan dua lensa kamera adalah

$$z = \frac{2hf}{P_r - P_l},$$

dimana $d = P_r - P_l$ disebut *disparity*. Jadi jika kita dapat menentukan proyeksi titik P pada citra digital kiri (P_l) dan pada citra digital kanan (P_r) maka kita dapat merekonstruksi koordinat dimensi tiga dari titik P , yaitu $P(x, y, z)$ dimana y bersesuaian dengan tinggi pixel pada citra digital. Jika dua kamera tersebut terhubung dengan komputer maka kita dapat membuat kode program yang dapat menentukan semua koordinat dimensi tiga dari objek di depan dua kamera berdasarkan *disparity*. Sehingga suatu saat nanti mobil autonavigasi akan dapat diciptakan, yaitu: mobil tanpa sopir atau mobil yang hanya dikendalikan komputer yang terhubung dengan dua kamera di depan.

1.2. Perumusan Masalah

Salah satu masalah besar pada Komputer Vision adalah bagaimana merekonstruksi koordinat dimensi tiga dari setiap pixel yang tampak pada suatu citra digital (invers problem: mengembalikan setiap pixel ke koordinat alamnya). Konfigurasi Stereo Sederhana merupakan penelitian yang banyak dilakukan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Dengan menggunakan dua kamera yang diletakkan dengan jarak tertentu dan sumbu fokus kamera sejajar, kita akan mendapatkan dua citra digital (citra digital kiri dan citra digital kanan). Jarak antara suatu pixel yang berkorespondensi antara citra digital kiri dan kanan disebut *disparity*. Jika kita dapat menentukan *disparity* suatu pixel maka kita dapat menentukan letak pixel tersebut pada sistem koordinat dimensi tiga dengan hanya menggunakan perhitungan sederhana.



Gambar 1. Konfigurasi Stereo Sederhana

1.3. Kerangka Pemikiran

Homepage Middlebury (<http://cat.middlebury.edu/stereo/>) menyediakan empat pasang citra digital dengan Konfigurasi Stereo Sederhana untuk dilombakan, yaitu: Tsukuba, Venus, Teddy dan Cones. Besaran yang diukur adalah persentasi estimasi *disparity* yang salah. Ada tiga kategori daerah yang dihitung, yaitu: pixel *non-occluded*, daerah dekat *occluded*, dan semua pixel. Dua metode terbaik berturut-turut adalah metode “Segment-Based Stereo Matching Using Belief Propagation and a Self-Adapting Dissimilarity Measure” (Klaus *at al.* 2006), dan metode “Stereo Matching with Color-Weighted Correlation, Hierarchical Belief Propagation and Occlusion Handling” (Yang *at al.* 2006). Metode dari Klaus berada di urutan pertama untuk citra digital Venus, Teddy dan Cones, sedangkan metode dari Yang hanya menang untuk citra digital Tsukuba. Segmentasi daerah, kecocokan korespondensi lokal, pencocokan bidang yang robust, meminimumkan energi dengan metode graph-cuts merupakan langkah-langkah yang digunakan dalam metode pertama.

Walaupun langkah-langkah pada metode-metode tersebut tidak menggunakan referensi jurnal terbaru, metode-metode tersebut mampu menghasilkan kesalahan yang relatif kecil untuk tiga kategori yang dilombakan. Metode-metode tersebut mampu memisahkan objek yang satu dengan yang lainnya tetapi permukaan objek-objek tersebut hanya berbentuk potongan-potongan bidang datar. Dengan melakukan penelitian fundamental ini, kami yakin kami akan mendapatkan hasil yang lebih baik dengan cara memanfaatkan kelebihan dan kekurangan dua metode tersebut, serta menggunakan referensi jurnal yang lebih baru dan lebih baik.

Comaniciu (2002) mengajukan Algoritma *Mean-Shift* untuk mensegmentasi daerah citra digital. Metode ini didasarkan pada teorema barisan. Dalam bukunya, Medioni and Kang (2004) menulis dasar teori metode robust dengan aplikasinya pada komputer vision. Wang and Suter (2004) memperkenalkan metode pencocokan bidang yang robust dan menyebutnya metode Adaptive-Scale Residual Consensus (ASRC). Mereka telah menguji metode tersebut dan menyimpulkan metode ASRC lebih baik dari LMedS, RANSAC, MSAC, RESC, ALKS, dan ASSC. Metode ASRC tidak membutuhkan *inliers threshold* awal sehingga metode ini cocok digunakan pada komputer vision. Dua metode pemenang lomba di atas menggunakan metode RANSAC, sehingga kami yakin kami akan mampu mendapatkan metode yang lebih baik karena kami menggunakan metode pencocokan bidang yang robust ASRC yang lebih baik.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan metode yang lebih baik untuk menghitung *disparity* setiap pixel yang tampak pada suatu citra digital. Jika *disparity* diketahui maka kita dapat membuat kode program yang dapat menentukan semua koordinat dimensi tiga dari objek di depan dua kamera. Sehingga suatu saat nanti mobil autonavigasi akan dapat diciptakan, yaitu: mobil

tanpa sopir atau mobil yang hanya dikendalikan komputer yang terhubung dengan dua kamera di depan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium FKIP Universitas HKBP Nommensen mulai bulan Maret – Desember 2010. Penelitian ini dibiayai DP2M Ditjen Dikti T.A 2010.

2.2. Bahan dan Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan software Mat Lab. Stereo citra digital yang digunakan adalah Tsukuba (Gambar 2) yang ada di Homepage Middlebury (<http://cat.middlebury.edu/stereo/>). Membuat algoritma yang mampu memisahkan objek-objek dengan latar belakang, dan objek yang satu dengan objek lainnya dengan kesalahan yang lebih kecil akan dikerjakan pada tahun pertama. Permukaan objek-objek yang dikerjakan pada tahun pertama masih berbentuk bidang-bidang datar. Selanjutnya pembuatan algoritma untuk memperbaiki permukaan masing-masing objek akan dikerjakan pada tahun kedua.



Hasil Kamera Kiri

Hasil Kamera Kanan

Gambar 2. Sepasang Citra Digital Stereo Tsukuba

2.3. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

I. Korespondensi

Membuat algoritma dan kode program yang mampu menentukan *disparity* pixel-pixel sebanyak mungkin dan setepat mungkin. Mendapatkan *disparity* pixel-pixel sebanyak mungkin dilakukan dengan cara mencari pasangan pixel citra digital kiri pada citra kanan dan selanjutnya mencari pasangan pixel citra digital kanan yang belum

berkorespondensi pada citra digital kiri dengan memperlemah kesamaan metriknya. Mendapatkan *disparity* setepat mungkin dilakukan dengan cara memperbesar jari-jari lingkungannya untuk pixel yang mempunyai lebih dari satu pasangan. *Disparity* pixel-pixel ini akan digunakan sebagai acuan untuk mencari *disparity* pixel-pixel lain yang belum diketahui.

II. Segmentasi

Mempelajari metode segmentasi *Mean-Shift* untuk menemukan jenis *kernel K* terbaiknya. Selanjutnya membuat algoritma dan kode programnya.

III. Pencocokan Bidang yang Robust

Mempelajari metode pencocokan bidang yang robust ASRC serta melihat kelebihan dan kekurangannya. ASRC dibandingkan dengan metode RANSAC untuk dapat membuat algoritma dan kode program pencocokan bidang yang robust yang lebih baik.

IV. Aproksimasi Disparity secara Optimal

Mempelajari kekuatan dan kelemahan metode graph-cut yang diajukan oleh Deng *at al.* (2007) untuk meminimumkan energi untuk mendapatkan aproksimasi *disparity* yang optimal. Membuat algoritma dan kode programnya.

V. Algoritma Disparity Bidang

Menggabungkan semua algoritma dan kode program pada langkah I sampai dengan langkah IV untuk mnedapatkan *disparity* setiap pixel.



Citra Digital Asli

Citra Digital Setelah Segmentasi

Gambar 3. Segmentasi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Software yang digunakan adalah MatLab dan citra digital yang digunakan adalah citra digital pada Gambar 2 yang sudah baku yang diambil dari <http://cat.Middleburedu/stereo/>.

Pertama, dicari korespondensi antara pixel kiri dan pixel kanan yang bersesuaian. Metrik matematika digunakan untuk menentukan korespondensi pada stereo vision. Metode ini sering disebut metode kecocokan korespondensi secara lokal. Selanjutnya Algoritma *Mean-Shift* digunakan untuk mensegmentasi daerah citra digital sehingga tampak seperti pada Gambar 3. Metode ini dilakukan secara iterasi dengan melewati pesan dari setiap pixel dan untuk setiap pixel yang berdekatan secara paralel.

Dengan menggunakan *disparity* yang diperoleh pada langkah korespondensi satu-satu dan segmentasi dari citra digital *disparity* untuk setiap pixel akhir ditentukan. Setiap bagian daerah akan mempunyai *disparity* yang sama untuk suatu daerah tersebut. *Disparity*-nya adalah rata-rata *disparity* setiap pixel yang ada di daerah tersebut. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.a., dimana warna putih menyatakan bahwa daerah tersebut merupakan daerah yang paling dekat ke kamera dan jika warna semakin hitam maka daerah tersebut makin jauh dari kamera.



a. Disparity Hasil Penelitian b. Disparity Sebenarnya
 Gambar 4. Citra Digital Disparity Tsukuba

Citra digital pada Gambar 2 yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 288 pixel × 384 pixel. Jadi seluruhnya terdiri dari 110.592 pixel. Jika *disparity* hasil penelitian dan *disparity* sebenarnya pada Gambar 4 dibandingkan maka ada sebanyak 53054 pixel yang *disparitinya* sama, sebanyak 19415 pixel yang *disparitinya* berbeda 1 – 5 pixel, sebanyak 29237 pixel yang *disparitinya* berbeda 8 – 10 pixel, dan sebanyak 8886 pixel yang *disparitinya* berbeda lebih dari 11 pixel. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kesalahan Disparity Hasil Penelitian

| No | Kesalahan Disparity | Sebanyak | Persentasi |
|----|---------------------|-------------|------------|
| 1 | 0 pixel | 53054 pixel | 48,0% |
| 2 | 1 – 5 pixel | 19415 pixel | 17,6% |

| | | | |
|---------------|----------------|---------------------|---------------|
| 3 | 6 – 10 pixel | 29237 pixel | 26,4% |
| 4 | lebih 11 pixel | 8886 pixel | 8,0% |
| Jumlah | | 110592 pixel | 100,0% |

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mampu menaksir *disparity* dari hampir setiap pixel mendekati *disparity* sebenarnya. Hal ini dapat kita lihat pada Gambar 4 dengan cara membandingkan *disparity* citra digital hasil penelitian dengan *disparity* citra digital sebenarnya. Tetapi kekonvergenan metode Belief Propagation perlu dipelajari lagi, karena sampai saat ini syarat cukup dan perlu untuk kekonvergenan metode ini belum ditemukan untuk Grap Sembarang. Sehingga kita hanya mencoba-coba berapa iterasi yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil terbaik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terimakasih kepada pemerintah Indonesia atas bantuan dana penelitian Fundamental yang digunakan dalam penelitian. Penelitian ini dibiayai oleh proyek pengkajian dan penelitian ilmu pengetahuan terapan dengan surat perjanjian pelaksanaan penelitian nomor: 266/SP2H/PP/DP2M/IV/2010 bulan April 2010 Direktorat Pembinaan Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Comaniciu, D., and P. Meer. 2002. *Mean shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis*. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence **24**(5):603–619.
- Florczyk, S. 2005. *Robot Vision: Video-based Indoor Exploration with Autonomous and Mobile Robots*. Wiley-VCH. Germany.
- Klaus, K., M. Sormann and K. Karner. 2006. *Segment-based Stereo Matching Using Belief Propagation and a Self-adapting Dissimilarity Measure*. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision.
- Medioni, G., and S.B. Kang. 2004. *Emerging Topics in Computer Vision*. Prentice Hall. USA.
- Wang, W., and D. Suter. 2004. *Robust Fitting by Adaptive-Scale Residual Consensus*. Proceedings of the 8th European Conference on Computer Vision, Prague.
- Yang, Q., L. Wang, R. Yang, H. Stewenius, and D. Nister. 2006. *Stereo Matching With color-weighted Correlation, Hierarchical Belief Propagation and*

Occlusion Handling. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.