

RANCANG BANGUN VISION SENSOR MENGGUNAKAN STEREO KAMERA PADA SISTEM MANIPULASI OBJEK

Taryudi

DIII Teknologi Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

E-mail: taryudi@unj.ac.id

Abstract

The utilization of a standard robot manipulator in object manipulation systems requires additional sensor to detect the three dimension (3D) object in an arbitrary location within the workspace. Through this research a vision sensor based stereo camera was designed and created to detect the object. The manufacturing process begins by arranging two cameras webcam in parallel to the y axis and travel different distances in the x-axis. Next, camera calibration was done to obtain intrinsic and extrinsic parameters. Then, testing the stereo camera to detect the location of colored objects in a workspace. The results of this study have been made a vision sensor using a calibrated stereo camera, and it can detect the 3D colored objects in object manipulation system using a robot manipulator.

Keywords: Camera Calibration, Vision Sensor, Stereo Camera

Abstrak

Penggunaan robot manipulator standar dalam sistem manipulasi objek memerlukan penambahan sensor untuk mendeteksi objek secara tiga dimensi (3D) pada lokasi tertentu dalam sebuah *workspace*. Melalui penelitian ini dirancang dan dibuat sebuah vision sensor menggunakan stereo kamera untuk mendeteksi objek tersebut. Proses pembuatannya dimulai dengan menyusun dua buah kamera webcam secara paralel dalam sumbu y dan jarak yang berbeda dalam sumbu x. Berikutnya dilakukan kalibrasi kamera untuk mendapatkan parameter intrinsik dan ekstrinsik. Kemudian dilakukan pengujian stereo kamera untuk mendeteksi lokasi objek berwarna pada sebuah *workspace*. Hasil dari penelitian ini telah dibuat sebuah vision sensor menggunakan stereo kamera yang sudah dikalibrasi, dan dapat mendeteksi objek berwarna secara 3D pada system manipulasi objek menggunakan robot manipulator.

Kata kunci: Kalibrasi Kamera, Vision Sensor, Stereo Kamera

PENDAHULUAN

Saat ini, penggunaan robot otomatis banyak digunakan tidak hanya di industri tetapi juga pada pelayanan kesehatan, rumah tangga dan bisnis komersil (Hagerty, 2015). Salah satu tugas besar sebuah robot tersebut yaitu memanipulasi objek pada lokasi tertentu dengan posisi dan orientasi yang berbeda seperti mengambil dan menempatkan objek,

pemilihan objek dan juga kolaborasi robot dan manusia dalam menyelesaikan suatu pekerjaan. Untuk melakukan manipulasi objek, maka sebuah robot membutuhkan umpan balik informasi mengenai objek dan *workspace* secara akurat. Informasi mengenai lokasi objek dan ruang kerjanya dapat diambil dengan menggunakan vision sensor. Tetapi robot manipulator standar tidak

dilengkapi dengan sensor tersebut, sehingga perlunya dibuat sebuah vision sensor yang dapat mengenali posisi dan orientasi objek secara tepat dan akurat (Alzarok, Fletcher, & Longstaff, 2017).

Banyak jenis vision teknik yang sudah digunakan dalam bidang robotika sampai saat ini seperti *photogrammetry*, *stereo vision*, *structured light*, *time of flight* and *laser triangulation* (Pérez, Rodríguez, Rodríguez, Usamentiaga, & García, 2016; Wilson, 2016). Tetapi teknik *stereo vision* yang banyak digunakan karena beberapa keunggulannya yaitu antara lain memiliki tingkat keamanannya karena bersifat *non-invasif*, mempunyai jangkauan yang luas dan mempunyai tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan dengan teknik yang lainnya. *Stereo vision* adalah teknik pencitraan dengan cara membandingkan dua buah citra dengan pemandangan yang sama untuk mendapatkan kedalaman dari gambar (Borangiu & Dumitrache, 2010; Corke, 2011; Fevery, Wyns, Boullart, Llata García, & Torre Ferrero, 2010). Teknik *stereo vision* sudah banyak digunakan dalam otomasi industri seperti aplikasi pengambilan objek dalam box, penyortiran objek dan lain-lain.

Untuk menerapkan teknik *stereo vision*, maka dibutuhkan dua buah kamera dengan parameter yang identik dan disusun secara paralel dan harus dilakukan kalibrasi untuk mendapatkan parameter instrinsik dan parameter ekstrinsiknya. Dengan mengetahui parameter masing-masing kamera melalui proses kalibrasi maka stereo kamera yang sudah dibuat dapat digunakan untuk pengambil gambar dari sebuah objek dan dapat diketahui

jarak objek terhadap stereo kamera dengan cara menggunakan metode triangulasi. Triangulasi merupakan metode penghitungan jarak kamera terhadap objek dengan membandingkan parameter dua buah segitiga yang terbentuk dari proyeksi objek terhadap dua buah kamera. Hasil pengukuran menggunakan metode triangulasi dapat digunakan sebagai masukan pada pengendali sebuah robot manipulator dalam mendeteksi objek dan juga *workspace*, sehingga robot dapat melakukan tugas memanipulasi objek dengan tepat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah vision sensor yang terdiri atas dua buah kamera yang memiliki karakteristik identik kemudian disusun secara paralel atau yang lazim disebut sebagai stereo kamera. Stereo kamera ini digunakan sebagai bagian dari pengendali robot manipulator untuk mendeteksi posisi dan orientasi objek yang akan dimanipulasi. Dengan menggunakan *stereo vision system*, maka suatu objek dapat dideteksi secara tiga dimensi menggunakan metode triangulasi untuk mendapatkan data 3D suatu objek.

METODE

Pada penelitian ini meliputi perancangan sistem *stereo vision* menggunakan kamera webcam sehingga membentuk sebuah stereo kamera yang bisa digunakan sebagai vision sensor pada robot manipulator. Kemudian melakukan kalibrasi terhadap *stereo camera* untuk mendapatkan parameter intrinsik dan ekstrinsik yang layak digunakan dalam pengendalian robot manipulator untuk mendeteksi objek yang akan dimanipulasi. Selanjutnya

dilakukan pengujian sistem untuk mendeteksi objek 3D berwarna pada sebuah *workspace*. Berikut ini adalah langkah-langkah perancangan dan pembuatan sistem yang dilakukan.

Pembuatan Kamera Stereo

Kamera stereo dibuat dari dua webcam Logitech C310 yang identik dengan resolusi 640x480 piksel yang bisa dilihat di Gambar 1. Dua kamera yang identik itu diletakan di tempat di area yang kaku sejajar dengan aksis y dan jarak dengan aksis x adalah 92 mm. Kamera tersebut harus diletakan sejajar secara sempurna, jika tidak maka akan terjadi *offset* yang akan membuat artefak pada gambar 3D yang dihasilkan.

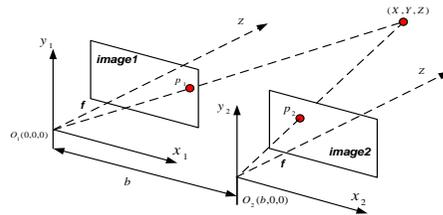
Untuk mengukur perbedaan dua kamera yang sejajar, digunakan perangkat lunak untuk menghitung posisi titik objek pada bidang gambar 2D lalu membandingkan nilai x dan nilai y antara dua gambar pada kamera kiri dan kanan sebagaimana tergambar pada Gambar 2. Perbedaan nilai y_1 and y_2 harus nol yang menunjukkan dua kamera sejajar.



Gambar 1. Rancangan Kamera Stereo

Pada **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.** menunjukkan titik yang muncul pada bidang gambar kamera kiri dengan koordinat adalah $p_1(x_1, y_1)$ dan titik yang muncul pada bidang gambar kamera kanan $p_2(x_2, y_2)$. Jarak

antara sentral kamera kiri (pusat optik) dan kamera kanan (pusat kanan) disebut sebagai *baseline* (b). Jarak antara x_1 and x_2 disebut sebagai perbedaan jarak (d).



Gambar 2. Geometri Kamera Paralel

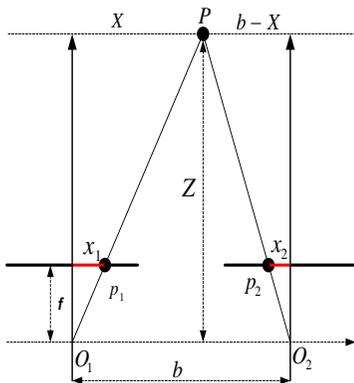
Konfigurasi Kamera Stereo

Konfigurasi *stereo vision* yang digunakan sebagai pendekatan dalam penelitian ini berdasarkan pada (Taryudi & Wang, 2017), tergambar pada Gambar 2, dengan dua kamera secara paralel. Jarak dua kamera optik pusat adalah b , and mereka memiliki jarak fokal yang sama f . Referensi poinnya adalah $P(X_p, Y_p, Z_p)$, proyeksi adalah $p_1(x_1, y_1)$ dalam gambar di permukaan datar 1 and $p_2(x_2, y_2)$ dalam gambar di permukaan datar 2. Kemudian dengan proyeksi perspektif, kita memiliki koordinat gambar P dalam dua gambar dipermukaan datar sebagaimana tergambar di Gambar 3 untuk mempermudah perhitungan.

$$\frac{X}{x_1} = \frac{Z}{f} ; \frac{Y}{y_1} = \frac{Z}{f} ; \frac{b-X}{x_2} = \frac{Z}{f}, \quad (1)$$

Pada Gambar 2, Kita sudah mengasumsikan sudah mengidentifikasi kamera parameter yang diperoleh dari stereo kamera kalibrasi di Matlab (Bouguet, 2015). Gambarnya di kedua kamera adalah

p_1 dan p_2 , $d = x_1 + x_2$ adalah paralaks and aksis-Y adalah tegak lurus terhadap halaman (Liu & Chen, 2009). Menurut prinsip persamaan segitiga, kita bisa mendapatkan persamaan (1) dari Gambar 3, kita juga bisa melihat bahwa b dapat ditulis dalam persamaan (2) dan Z adalah titik kedalam P yang diperoleh dari persamaan (3).



Gambar 3. Triangulasi Stereo Vision

$$b = \frac{Z}{f} x_1 + \frac{Z}{f} x_2 \quad (2)$$

$$Z = \frac{b * f}{x_1 + x_2} \quad (3)$$

Disparity d adalah perbedaan koordinat x pada titik x_1 dan x_2 sebagaimana tertulis pada persamaan (4) dibawah ini.

$$d = x_1 + x_2 \quad (4)$$

Dengan memasukan persamaan (4) ke persamaan (3), titik P dapat dilihat pada rumus (5). Setelah nilai Z didapatkan, kemudian kita akan mendapatkan koordinat X and Y pada titik P dengan menggunakan rumus (6) dan (7), secara berurutan.

$$Z = \frac{b * f}{d} \quad (5)$$

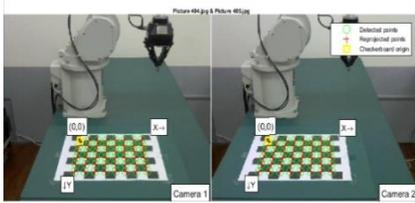
$$X = \frac{Z * x_1}{f} \quad (6)$$

$$Y = \frac{Z * y_1}{f} \quad (7)$$

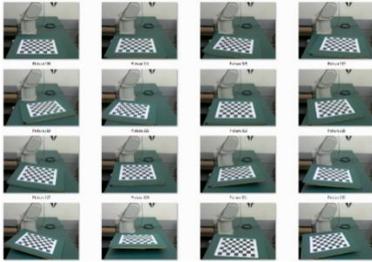
Dimana x_1 and x_2 adalah lokasi piksel pada gambar 2-D, and X, Y and Z adalah posisi aktual pada gambar 3D.

Kalibrasi Stereo Kamera

Parameter kamera intrinsik dan ekstrinsik diperoleh dengan kalibrasi kamera yang merupakan hal prinsip dalam sistem *stereo vision* dan memiliki peran penting dalam banyak bidang *computer vision*. Keakuratan estimasi jarak obyek sebenarnya ditentukan oleh ketepatan kalibrasi kamera. Kalibrasi kamera adalah proses penentuan parameter intrinsik kamera dan parameter ekstrinsik berkenaan dengan sistem koordinat (Bouguet, 2015; Corke, 2011; Nguyen, Slaughter, Max, Maloof, & Sinha, 2015). Parameter intrinsik adalah karakteristik dari kamera, seperti, $(\alpha, \beta, \gamma, u_0, v_0)$ dimana (u_0, v_0) adalah koordinat titik pokok, α and β adalah faktor skala dalam gambar u and v axes, and γ adalah parameter yang menggambarkan kemiringan dari dua sumbu gambar. Parameter ekstrinsik adalah orientasi dan lokasi kamera, seperti, (R, t) dimana R adalah rotasi and t adalah terjemahan dari kamera kanan yang berkaitan dengan kamera kiri (Zhang, Matsushita, & Ma, 2011).

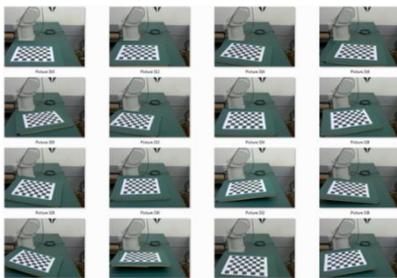


Gambar 4. Kalibrasi Kamera Stereo



Gambar 5. Gambar Papan Catur yang Diambil Menggunakan Kamera Kiri

Pada penelitian ini, digunakan metode yang dikembangkan oleh (Bouguet, 2015) dengan menggunakan papan catur untuk mengkalibrasi kamera seperti yang terlihat pada Gambar 4. Untuk mendapatkan keakuratan kalibrasi kamera, 16 posisi dan orientasi yang berbeda dari papan catur yang tertangkap dari kamera kiri dan kanan seperti yang tergambar pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 6. Gambar Papan Catur yang Diambil Menggunakan Kamera Kanan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi kamera stereo dilakukan untuk mendapatkan parameter kamera

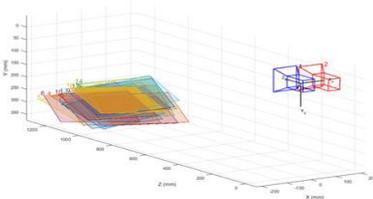
intrinsik dan ekstrinsik. Dalam penelitian ini, digunakan metode yang diusulkan oleh (Bouguet, 2015) dengan menggunakan papan catur hitam putih untuk melakukan kalibrasi. Sistem kamera stereo disusun dengan jarak *baseline* 92 mm antara dua kamera, kemudian. Papan catur yang digunakan memiliki 63 kotak dengan pola 9 x 7, dan ukuran untuk setiap kotak sebesar 40 mm x 40 mm. Ukuran papan catur yang akurat diperlukan untuk memberikan perkiraan yang akurat terhadap fitur target objek. Untuk prosedur kalibrasi, sebanyak 16 posisi dan orientasi yang berbeda pada gambar dengan piksel sebesar 640 x 480 ditangkap oleh masing-masing kamera secara bersamaan dan diproses menggunakan Matlab. Sudut kotak catur dideteksi dengan akurasi subpiksel sebagai masukan metode kalibrasi; dan *outputnya* mencakup matriks intrinsik, distorsi dan ekstrinsik dari dua kamera dan matriks transformasi perspektif. Semua *output* tersebut dibutuhkan untuk memproyeksikan ulang informasi mendalam ke koordinat dunia nyata. Hasil dari kamera kalibrasi terdapat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1, parameter intrinsik hampir sama antara kamera kiri dan kanan, termasuk panjang fokus dan titik fokus. Kedua parameter itu akan digunakan untuk proses triangulasi pada tahap selanjutnya. Untuk parameter ekstrinsik, rotasi kedua kamera matrik R adalah kira-kira matriks unit, yang artinya tidak ada rotasi, tetapi translasi hanya pada dua kamera. Dari translasi vektor t , kita dapat mengetahui bahwa translasi pada aksis y dan z adalah kecil dan jarak awal antara dua kamera sebesar 92 mm.

Tabel 1. Parameter Intrinsik dan Ekstirisk Dari Kamere Stereo

Parameter intrisik	Kamera kiri	Kamera kanan
Panjang fokus [pixel]	$\alpha = 791.5897$	$\alpha = 793.8894$
	$\beta = 905.1776$	$\beta = 908.0247$
Titik fokus [pixel]	$u_0 = 318.6567$	$u_0 = 311.2690$
	$v_0 = 349.4288$	$v_0 = 351.5866$
Kemiringan	$\gamma = -4.6270$	$\gamma = -0.9511$
Parameter ekstrinsik (posisi dari kamera kiri terhadap kamera kanan)	Rotasi	$R = \begin{bmatrix} 0.9999 & 0.0004 & -0.0109 \\ -0.0004 & 1.0000 & -0.0003 \\ 0.0109 & 0.0003 & 0.9999 \end{bmatrix}$
	Translasi [mm]	$T = \begin{bmatrix} -91.9891 & -1.8890 & 2.3283 \end{bmatrix}^T$

Berdasarkan hasil eksperimen, kalibrasi kamera stereo telah berhasil dengan parameter intrinsik dan ekstrinsik yang dapat digunakan dalam proses triangulasi. Namun parameter kamera yang dihasilkan kurang akurat karena kamera stereo yang dibuat memiliki resolusi rendah. **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.** 6 menunjukkan lokasi kamera stereo terhadap titik koordinat yang diketahui sebagai parameter ekstrinsik. Warna biru dan merah menunjukkan kamera kiri dan kanan dengan jarak awal sebesar 92mm.



Gambar 6. Parameter Ekstrinsik Stereo Kamera

Deteksi Posisi Objek 3D berwarna

Dengan menggunakan metode triangulasi dan pemrosesan gambar menggunakan aplikasi

Matlab, stereo kamera yang sudah dibuat dapat mendeteksi posisi objek secara 3D terhadap kamera stereo pada sebuah *workspace* seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Deteksi Objek Berwarna

Pada Gambar 7 tersebut diperlihatkan tiga buah objek berwarna terdeteksi pada posisi (x,y,z) secara berurutan untuk objek warna biru 9.2, -56.1, 1168, untuk objek warna hijau adalah 139.7, 10.4, 1063.3, dan untuk objek warna orange pada posisi -22.7, 60.2, 979.3.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil membuat kamera stereo dari dua jenis kamera yang identik sejajar pada sumbu y dan jarak dengan sumbu x adalah 92 mm. Parameter intristik dan ekstrisik sudah berhasil didapatkan melalui kalibrasi kamera stereo dengan menggunakan papan catur sebanyak 63 kotak dengan pola 9 x 7 dan ukuran 40 mm x 40 mm untuk setiap kotak. Akan tetapi, hasil nya menunjukkan akurasi yang kurang disebabkan oleh kamera yang dibuat memiliki resolusi yang rendah. Sehingga disarankan untuk menggunakan kamera dengan resolusi yang lebih tinggi. Selain itu kamera stereo yang dibuat dapat digunakan

untuk mendeteksi objek berwarna secara 3D pada sebuah *workspace*.

DAFTAR RUJUKAN

- Alzarok, H., Fletcher, S., & Longstaff, A. (2017). 3D Visual Tracking of an Articulated Robot in Precision Automated Tasks. *Sensors*, 17(1), 104.
- Borangiu, T., & Dumitrache, A. (2010). *Robot arms with 3D vision capabilities*: INTECH Open Access Publisher.
- Bouguet, J.-Y. (2015). Matlab camera calibration toolbox. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc.
- Corke, P. (2011). *Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB* (Vol. 73): Springer Science & Business Media.
- Feverly, B., Wyns, B., Boullart, L., Llata García, J. R., & Torre Ferrero, C. (2010). Industrial robot manipulator guarding using artificial vision. *Robot Vision*, 429-454.
- Hagerty, J. R. (2015). Meet the New Generation of Robots for Manufacturing. *The Wall street Journal*.
- Liu, Z., & Chen, T. (2009, 25-26 April 2009). *Distance Measurement System Based on Binocular Stereo Vision*. Paper presented at the Artificial Intelligence, 2009. JCAI '09. International Joint Conference on.
- Nguyen, T., Slaughter, D., Max, N., Maloof, J., & Sinha, N. (2015). Structured Light-Based 3D Reconstruction System for Plants. *Sensors*, 15(8), 18587.
- Pérez, L., Rodríguez, Í., Rodríguez, N., Usamentiaga, R., & García, D. F. (2016). Robot Guidance Using Machine Vision Techniques in Industrial Environments: A Comparative Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(3), 335. doi: 10.3390/s16030335
- Taryudi, & Wang, M.-S. (2017). Eye to hand calibration using ANFIS for stereo vision-based object manipulation system. *Microsystem Technologies*, 1-13. doi: 10.1007/s00542-017-3315-y
- Wilson, A. (2016). 3D expands the dimensions of vision systems. *Vis. Syst. January 2016*, Available online: <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-21/issue-1/features/3d-expands-the-dimensions-of-vision-systems.html> (accessed on 15 June 2106).
- Zhang, Z., Matsushita, Y., & Ma, Y. (2011). *Camera calibration with lens distortion from low-rank textures*. Paper presented at the Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on.