

ESTIMASI JARAK MENGGUNAKAN SENSOR KINECT

Muhammad Fuad

Universitas Trunojoyo Madura
Raya Telang PO BOX 2 Kamal Bangkalan
Email: ibrahim.fuad@gmail.com

ABSTRAK

Pengukuran jarak menggunakan sensor berupa kamera digital sangat bergantung pada proses kalibrasi yang didukung algoritma pengolahan citra yang rumit. Pendekatan ini menghasilkan citra dengan *frame rate* yang rendah. Hal ini mengakibatkan hasil dari metoda ini cenderung kurang baik jika diterapkan pada sistem *realtime*. Akurasi pengukuran jarak dengan kamera dapat diperbaiki dengan bantuan beberapa sensor tambahan. Publikasi ini memaparkan suatu sistem yang mampu untuk melakukan estimasi jarak setiap piksel menggunakan sebuah sensor Kinect berbasis masukan video *Depth*. Sistem ini dapat diterapkan dalam robot untuk mengukur jarak terhadap penghalang guna mendukung kemampuan navigasi. Tiga pendekatan dalam estimasi jarak tiap piksel dengan menggunakan sensor Kinect dibandingkan dalam tulisan ini. Performa akuisisi data jarak berdasarkan masukan video *depth* menggunakan pustaka Microsoft Kinect SDK dibandingkan dengan hasil yang dicapai OpenNI. Sebuah metoda baru untuk estimasi jarak berbasis nilai *hue* dari video *depth* yang dibaca dengan pustaka LibfreeNect diusulkan dalam penelitian ini. Analisis terhadap hasil pengujian pada pengukuran terhadap beberapa titik penting dalam bingkai citra didiskusikan.

Kata Kunci: Estimasi Jarak, Sensor Kinect, OpenNI, Microsoft Kinect SDK, LibfreeNect.

ABSTRACT

Distance measurement using sensor such as digital camera is highly dependent on calibration process that supported with complicated image processing algorithm. This approach leads to low picture frame rate. It causes the result of this method unappropriate for realtime system. Accuration of distance measurement using camera usually can be refined with some extra sensors. This publication describes a system that capable to estimate distance per pixel using a Kinect sensor based on Depth video input. This system can be applied in robot for measuring distance of obstacles for supporting navigation. In this paper, three approach of distance per-pixel estimation is compared. Data acquisition performance of distance measurement based on depth video input using Microsoft Kinect SDK library is compared with the result achieved using OpenNI. A new method for distance estimation based on hue value of depth video using LibfreeNect is proposed in this research. Analysis of some experiment results on measuring several important points in frame is discussed.

Key Words: Distance Estimation, Kinect Sensor, OpenNI, Microsoft Kinect SDK, LibfreeNect.

1. Pendahuluan

Sistem robot membutuhkan kemampuan untuk menentukan jarak antara dirinya dengan penghalang yang ada di sekitarnya. Informasi jarak antara robot dengan penghalang dibutuhkan agar navigasi dapat menentukan reaksi yang dibutuhkan untuk menghindari benturan saat bergerak mencapai lokasi yang dituju. Kemampuan yang didukung dengan pembacaan data lingkungan menggunakan sensor ini dikenal dengan estimasi jarak. Kebutuhan akan kemampuan estimasi jarak tidak hanya diperlukan dalam dunia robotika namun juga dalam dunia otomotif, industri, maupun multimedia sebagaimana dibahas dalam penelitian [1].

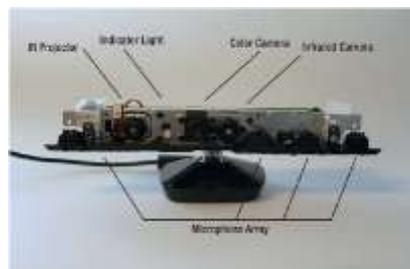
Penelitian mengenai kemampuan mengukur jarak telah diteliti dengan berbagai sensor. Inframerah, *ultrasonic*, *laser*, kamera mono dan stereo, merupakan beberapa sensor yang dimanfaatkan untuk mengukur jarak. Kamera menghasilkan lebih banyak informasi dibandingkan dengan sensor lain. Warna, iluminasi, tekstur, kedalaman (*depth*), dan lain sebagainya. Permasalahan dalam estimasi jarak muncul karena jarak aktual diukur dengan alat yang mengandung faktor ketidakpastian dari sisi parameter intrinsik maupun ekstrinsik sebagaimana dibahas dalam [2].

Pendekatan yang dilakukan pada penelitian sebelumnya sangat bergantung pada proses kalibrasi yang didukung algoritma pengolahan citra yang rumit. Kecepatan komputasi dan akurasi merupakan faktor yang perlu diperhitungkan sebelum menerapkan sistem secara *realtime*. Kekurangan yang masih ada dalam kamera disempurnakan dengan berkembangnya sensor jarak berbasis kamera yang biasa dikenal dengan kamera *depth* atau kamera *ranging* atau kamera RGB-D. Beberapa sensor yang muncul di pasaran pada tahun 2010, Mesa Imaging Swiss Ranger 4000 dengan teknologi ToF, PMD Technologies CamCube 2.0, Proyek Natal dari Microsoft dengan dukungan proyektor *infrared*, PrimeSense *depth camera* yang memancarkan pola *infrared* untuk menentukan *depth*. Microsoft Kinect sebagai luaran dari proyek Natal merupakan

sensor jarak berbasis kamera dengan harga termurah. Gambar 1, berdasarkan referensi [3], menampilkan sensor Kinect dalam kondisi terbuka sehingga terlihat komponen-komponennya yang terdiri dari proyektor *infrared*, kamera RGB, kamera *infrared*, indikator LED, larik mikrofon, dan motor.

Paper ini memaparkan suatu sistem estimasi jarak setiap piksel menggunakan sebuah sensor Kinect berbasis masukan video *Depth*. Tiga pendekatan dalam estimasi jarak tiap piksel *depth* berbasis sensor Kinect dibandingkan dalam tulisan ini. Akurasi dari proses akuisisi data jarak berdasarkan masukan video *depth* menggunakan pustaka Microsoft Kinect SDK dibandingkan dengan hasil yang dicapai OpenNI. Penelitian ini mengusulkan sebuah metoda baru untuk estimasi jarak berbasis nilai hue dari video *depth* yang dibaca dengan pustaka LibfreeNect. Analisis terhadap hasil pengujian pada pengukuran beberapa titik penting dalam bingkai citra didiskusikan.

Paper ini disusun sebagai berikut. Pada bagian kedua, beberapa penelitian pendahulu terkait estimasi jarak dipaparkan. Metoda yang diusulkan dijelaskan pada bagian ketiga. Hasil dari implementasi metoda dituliskan pada bagian keempat lengkap dengan diskusi dan pembahasannya. Kesimpulan dari riset ditampilkan pada bagian kelima dan ditutup dengan saran.



Gambar 1. Komponen dalam Sensor Kinect (sumber: [3])

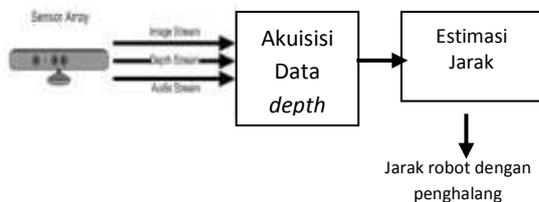
2. Tinjauan Pustaka

Topik estimasi jarak telah diteliti dalam beberapa riset di antaranya sebagaimana yang dilakukan Ying-Hao Yu dalam [2]. Penelitian dari Yu menggunakan kamera

global yang mendeteksi label tertempel pada bagian atas badan robot dengan teknik *Perspective Projection Image Ratio* (PPIR). Algoritma ini digunakan untuk mengukur jarak antara robot yang satu dengan lainnya. Kamera 5 Mega Pixel dengan fokus dapat diatur dari 7,1 hingga 21,4 mm ditempatkan di atas langit-langit sedemikian hingga mampu menjangkau area kerja robot. PPIR dari Yu menghasilkan tingkat kesalahan kurang dari 5%.

Kombinasi beberapa sensor digunakan untuk meningkatkan akurasi dan daya jangkau dikerjakan pada penelitian dari Sooyeong Yi dalam [4]. Yi mengkombinasikan *laser* sebagai sumber cahaya terstruktur, cermin parabolik *omni-directional* yang menangkap pantulan cahaya, sehingga kamera dapat memantau pemandangan dari 360°. Tingkat kesalahan yang kecil terjadi pada pengukuran kurang dari 2000 mm sedangkan untuk pengukuran lebih dari 2000 mm tingkat kesalahan membesar. Kesalahan paling besar 300 mm untuk pengukuran jarak aktual kurang dari 5000 mm.

Penelitian Tarek dalam [5] menggabungkan sensor ultrasonic dan infrared untuk mengukur jarak. Akurasi rata-rata 97% untuk jarak antara 75 mm hingga 120 mm dan sangat bergantung pada material permukaan yang memantulkan sinyal dari kedua sensor ini. Ringbeck dalam [6] meneliti tentang pengukuran multidimensi dalam pengembangan sensor 3-D *Photonic Mixer Device* (PMD). Sensor dengan harga relatif mahal ini mampu mengukur hingga 10 m.



Gambar 2. Diagram blok estimasi jarak

3. Metode

Sistem estimasi jarak yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan rancangan sesuai diagram blok pada Gambar 2. Spesifikasi sensor Kinect yang lengkap dapat merujuk pada referensi [7].

Eksperimen dijalankan pada laptop dengan spesifikasi perangkat keras prosesor Intel Celeron 2 GHz, RAM 1 GB dengan VGA-*shared* 256 MB. Perangkat lunak yang digunakan berupa sistem operasi WindowsXP Professional *Service Pack* 3 32 bit. Implementasi algoritma menggunakan Microsoft Visual C# 2010 *Express Edition*.

Pembacaan data video RGB dan *depth* dalam proses akuisisi data dari sensor Kinect membutuhkan pustaka dan driver sebagai perangkat lunak antar muka. Beberapa pustaka digunakan dan dibandingkan dalam riset ini, yaitu: KinectSDK dari Microsoft, OpenNI dari PrimeSense, dan LibFreeNect dari OpenKinect.

Proses akuisisi data dengan KinectSDK berhasil menangkap dan menampilkan video seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Video RGB memiliki resolusi 640 x 480 piksel sedangkan resolusi video *Depth* sebesar 320 x 240 piksel. Setiap detik, 30 *frame* citra RGB dan *Depth* dapat dihasilkan dari kedua jenis video ini.



Gambar 3. Data hasil akuisisi RGB dan *depth* dengan KinectSDK.

Pemancar sinar inframerah (IR) dari sensor Kinect memproyeksikan gelombang ini ke lingkungan di sekitarnya berdasarkan sudut view 43° vertikal dan 57° horisontal. Obyek yang terpapar gelombang ini akan memantulkan IR kembali. Pantulan IR dari obyek penghalang tertangkap sensor kamera *depth*. Jarak antara kamera dengan lingkungan sekitarnya diperhitungkan dari berkas IR yang dipantulkan obyek penghalang.

Proses estimasi jarak diawali dengan menambahkan kemampuan untuk membedakan piksel berdasarkan jarak antara obyek penghalang dengan kamera. Kemampuan ini berhasil membuat piksel dari obyek yang dekat dengan kamera tampak lebih terang dari pada piksel dari obyek yang letaknya relatif jauh dari kamera seperti ditampilkan Gambar 4.



Gambar 4. Gradasi warna keabuan *Depth*.

Gambar 4 menampilkan luaran dari proses estimasi jarak berupa video *depth* dengan gradasi warna keabuan yang menyatakan perbedaan jarak. Perbedaan jarak piksel dari obyek penghalang dengan kamera juga dapat dinyatakan menggunakan warna RGB sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Gradasi warna RGB pada *depth*.

Class *DepthFrame* dari KinectSDK berisi struktur data jarak kedalaman piksel dari setiap *frame*. Berikutnya, menampilkan informasi kedalaman sebagai estimasi jarak aktual yang dibaca dari setiap piksel *depth*. Gambar 6 menampilkan estimasi terhadap jarak piksel di tengah layar menggunakan KinectSDK. Jarak piksel ditampilkan dalam satuan mili meter.



Gambar 6. Estimasi jarak piksel di tengah layar dengan KinectSDK

Akuisisi data menggunakan OpenNI menghasilkan video RGB, *Depth*, dan IR. Untuk menghindari efek *flicker*, data diperbarui dalam *thread* yang terpisah dari grafis. Sensor diatur untuk memperbarui data setiap 150 mili detik.

Pengaturan ini dapat menghilangkan efek *flicker*. Hasil proses ini diolah sehingga citra *depth* menampilkan warna yang berbeda antara piksel dengan jarak dekat dan jauh seperti ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Data hasil akuisisi RGB dan *depth* dalam Gradasi Jarak dengan OpenNI

OpenNI menyediakan citra IR selain RGB, dan *Depth*. Gambar 8 menampilkan citra IR

dan *Depth* dari suatu pemandangan. Kedua data ini masih dapat diperoleh walaupun dalam kondisi lingkungan tanpa cahaya.



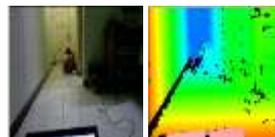
Gambar 8. Data hasil akuisisi IR dan *depth*.

Class *DepthGenerator* dari OpenNI menghasilkan struktur data berisi peta kedalaman (*depth map*) berupa *array* piksel bernilai jarak dalam satuan mili meter (mm). Proses selanjutnya, piksel yang berada di tengah layar ditampilkan sebagai informasi jarak sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Estimasi jarak piksel di tengah layar dengan OpenNI

Akuisisi data menggunakan pustaka LibFreeNect, yang menyatu dalam paket AForge.Video.Kinect, menghasilkan video *Depth* dalam gradasi warna berdasarkan jarak antara lingkungan dengan kamera seperti ditampilkan pada Gambar 10.

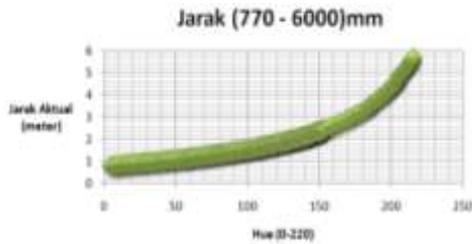


Gambar 10. Gradasi warna RGB pada *depth* sebagai hasil akuisisi data LibFreeNect

Berdasarkan pengamatan terhadap nilai dari komponen warna merah, hijau, biru ditemukan relasi antara perubahan warna RGB dengan jarak piksel. Relasi lebih sederhana, yang menjadi perhatian dalam riset ini, ditemukan antara perubahan nilai hue dengan jarak piksel. Nilai *hue* antara 0 hingga 220 mengalami peningkatan seiring jarak piksel dari obyek tinjau yang berubah dari 0 hingga 6000 mm. Gambar 11 menampilkan nilai *hue* 5,18 untuk jarak 770 mm yang meningkat hingga 218,32 untuk jarak 6000 mm.

Trendline dari grafik pada Gambar 11 didekati menggunakan persamaan eksponensial terhadap kelompok data jarak tertentu sehingga dihasilkan formula

estimasi jarak sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 11. Relasi jarak aktual dan Hue

Tabel 1. Formula estimasi jarak

No.	Aktual (mm)	Hue (0 - 220)	Estimasi Jarak
1.	800 - 1000	0 - 59	$0,721 * EXP * (0,007 * Jarak)$
2.	1100 - 2100	60 - 144	$0,670 * EXP * (0,008 * Jarak)$
3.	2200 - 2500	145 - 160	$0,690 * EXP * (0,008 * Jarak)$
4.	2600 - 3000	161 - 177	$0,720 * EXP * (0,008 * Jarak)$
5.	3000 - 3500	178 - 187	$0,640 * EXP * (0,009 * Jarak)$
6.	3600 - 4000	188 - 197	$0,820 * EXP * (0,008 * Jarak)$
7.	4100 - 4500	198 - 204	$0,700 * EXP * (0,009 * Jarak)$
8.	4600 - 5000	205 - 209	$0,750 * EXP * (0,009 * Jarak)$
9.	5100 - 5600	210 - 216	$0,780 * EXP * (0,009 * Jarak)$

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian performa estimasi jarak berbasis Microsoft KinectSDK, OpenNI, dan LibFreeNect dilakukan dengan menempatkan suatu obyek tinjau tertentu di depan sensor Kinect di dalam ruangan dengan pencahayaan lampu. Pengukuran dilakukan terhadap piksel obyek di tengah frame dimulai dengan jarak terdekat hingga jarak terjauh dari sensor.

Gambar 12 menampilkan pengukuran dengan KinectSDK terhadap obyek penghalang berupa manusia pada jarak terdekat 800 mm dan jarak terjauh 1600 mm.



Gambar 12. Pengukuran jarak KinectSDK.

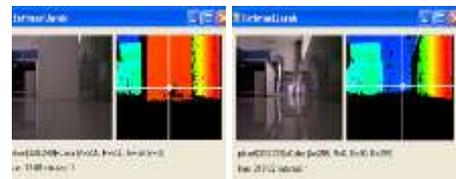
OpenNI menghasilkan performa lebih baik dari pada Microsoft KinectSDK. Berdasarkan pengukuran jarak terhadap kardus warna putih, seperti ditampilkan pada Gambar 13, diketahui bawah jarak

terdekat yang dapat diukur 500 mm dan jarak terjauh 4500 mm.



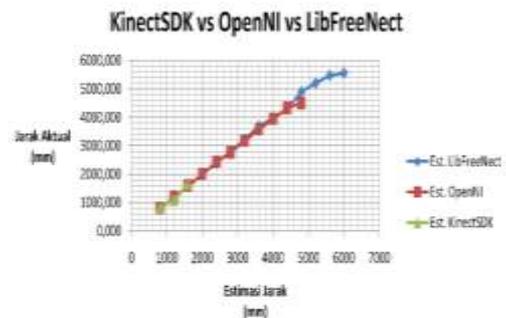
Gambar 13. Pengukuran jarak OpenNI

LibFreeNect diuji dengan mengukur jarak antara kardus warna putih dengan kamera. Diperoleh hasil yang lebih baik lagi, berturut-turut 770 mm dan 6000 mm sebagai jarak terdekat dan terjauh sebagaimana ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengukuran jarak LibFreeNect

Perbandingan pendekatan estimasi jarak dengan KinectSDK, OpenNI, LibFreeNect disajikan dalam chart pada Gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan estimasi jarak dengan KinectSDK, OpenNI, dan LibFreeNect.

Eksperimen menyatakan bahwa akurasi estimasi jarak berbasis konversi nilai hue menggunakan persamaan eksponensial sepotong-sepotong yang dibaca dengan pustaka LibfreeNect, sebagai pendekatan yang diusulkan dalam penelitian ini, memiliki jangkauan area kerja tertinggi dengan nilai 5200 mm dan rata-rata akurasi untuk keseluruhan area kerja sebesar 98,45%. Nilai rata-rata akurasi dari pendekatan penelitian ini untuk jangkauan area kerja yang sama dengan OpenNI meningkat menjadi 99%. Angka ini

meningkat hingga 99,10% untuk area kerja yang sama dengan Microsoft KinectSDK.

Tabel 2. Perbandingan akurasi estimasi jarak dengan LibFreeNect (L), OpenNI (O), Microsoft KinectSDK (K).

Aktual (mm)	Estimasi Jarak (mm)			Akurasi (%)		
	L	O	K	L	O	K
800	790,00	793	832	98,75%	99,62%	95,08%
1200	1190,00	1202	1107	99,17%	98,99%	92,10%
1600	1610,00	1603	1677	99,38%	99,57%	95,38%
2000	1996,00	2015	-	99,80%	99,05%	
2400	2394,00	2443	-	99,75%	97,95%	
2800	2797,00	2777	-	99,89%	99,28%	
3200	3227,10	3186	-	99,15%	98,73%	
3600	3703,60	3583	-	97,12%	96,74%	
4000	3955,80	3952	-	98,90%	99,90%	
4400	4316,23	4350	-	98,10%	99,22%	
4800	4896,00	4521	-	98,00%		
5200	5201,52	-	-	99,97%		
5600	5472,70	-	-	97,73%		
6000	5554,40	-	-	92,57%		
			Rerata	98,45%	98,91%	94,19%
				99,00%		
				99,10%		

5. Kesimpulan

Area kerja sensor Kinect dalam pengukuran jarak ditentukan algoritma estimasi jarak dan pustaka yang digunakan.

Publikasi ini mengusulkan pendekatan estimasi jarak menggunakan sensor Kinect dengan pustaka LibFreeNect berbasis konversi nilai *hue* dalam video *Depth* menjadi jarak dengan persamaan eksponensial yang diterapkan pada kelompok-kelompok data *hue*. Pendekatan ini menghasilkan rata-rata akurasi 98,45% untuk pengukuran jarak kamera atau robot dengan penghalang pada jangkauan area kerja dari 800 mm hingga 6000 mm pada penggunaan sensor di dalam ruangan.

6. Saran

Area kerja Kinect yang dibahas dalam penelitian ini fokus pada jangkauan jarak yang dapat dibaca sensor. Sudut view 43° vertikal dan 57° horisontal merupakan batasan yang menarik untuk dikembangkan sehingga dapat dicapai view yang meliputi keseluruhan arah (*omnidirectional*).

Daftar Pustaka

- [1] Schwarte, R., Buxbaum, B., Heinol, H., Xu, Z., Schulte, J., Riedel, H., Steiner, R., Scherer, M., Schneider, B., and Ringbeck, T. [2000], "New Powerful Sensory Tool in Automotive Safety Systems Based on PMD-Technology", *AMAA – Advanced Microsystems for Automotive Applications 2000*, Berlin.
- [2] Yu, Y.H., Kodagoda, S., and Ha, Q.P. [2010], "Relative Distance Estimation for Indoor Multi-Robot Control Using Monocular Digital Camera".
- [3] Webb, J., and Ashley, J. [2012], *Beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK*. Apress.
- [4] Yi, S., Choi, B., and Ahuja, N. [2007], "Real-time Omni-directional Distance Measurement with Active Panoramic Vision". *International Journal of Control, Automation, and Systems*. Vol. 5. No. 2. pp. 184 – 191. April
- [5] Tarek, M. [2009], "Using Ultrasonic and Infrared Sensors for Distance Measurement". *World Academy of Science, Engineering and Technology* 27.
- [6] Ringbeck, T., Moller, T., Hagebecker, B. [2007], "Multidimensional Measurement by Using 3-D PMD Sensors". *Advances in Radio Science*. 5. 135 -146.
- [7] Microsoft Research. [2011], *Getting Started with the Kinect for Windows SDK Beta from Microsoft Research*. Technical Report. Chicago: Microsoft Corporation. Beta 1 Draft Version 1.1