

SIMULASI DAN ANALISIS MULTIPLE OBJECT TRACKING BERBASIS CITRA DENGAN METODE HIERARCHICAL PARTICLE FILTER

Kaziz Febrinata¹, Purba Daru Kusuma², Suryo Adhi Wibowo³

¹Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Objek tracking merupakan suatu bidang pada computer vision yang mempelajari cara melacak suatu objek yang bergerak pada suatu ruang. Objek yang dilacak merupakan objek yang sudah ditentukan. Pelacakan suatu objek bergerak sangat berguna untuk membantu tugas penting dalam aplikasi komputer vision seperti: pengenalan gerakan, pelacakan kendaraan, penghitungan jumlah kendaraan, augmented reality dan video kompresi. Object tracking mempunyai beberapa masalah antara lain adanya noise, kekacauan oklusi, dan perubahan dinamis dalam gerakan objek. Sehingga pada tugas akhir ini, dirancang sebuah sistem multiple object tracking dengan metode particle filter. Particle filter, juga dikenal sebagai sequential Monte Carlo merupakan salah satu metode stokastik yang telah dikembangkan dalam suatu komunitas visi komputer dan diterapkan untuk masalah pelacakan.

Sistem pelacakan ini bekerja dengan masukan secara non-real time. Objek yang dilacak berupa manusia. Proses pendeteksian manusia menggunakan metode Histogram of Oriented Gradient. Setelah melakukan deteksi manusia, maka objek tersebut akan dilacak dengan metode particle filter. Proses pelacakan dilakukan dengan cara membangkitkan random partikel pada area dekat dengan objek. Selanjutnya dilakukan proses model observasi untuk menghitung kemungkinan dari partikel tersebut yang mempunyai kesamaan histogram dengan objek target. Penghitungan kesamaan dilakukan dengan menggunakan Bhattacharyya coefficient.

Pengujian pada sistem ini dengan menggunakan parameter yang diubah-ubah yaitu threshold maksimum, threshold minimum, jumlah partikel, jumlah objek dan kondisi perekaman objek. Tingkat akurasi terbaik pada threshold 0.88 dan threshold minimum 0.73. Jumlah objek pada proses pelacakan menggunakan particle filter berbanding lurus dengan waktu pemrosesan, sedangkan pada pelacakan dengan metode Histogram of Oriented Gradient berbanding lurus dengan resolusi video.

Kata Kunci : object tracking, histogram, Bhattacharyya coefficient, Histogram of Oriented Gradient, particle filter.

Telkom
University

Abstract

Object tracking is a field in computer vision that learn how to track a moving object in a space. Tracked object is an object that has been determined. Tracking a moving object is very useful to help an important task in computer vision applications such as: the introduction of motion, vehicle tracking, vehicle counts, augmented reality and video compression. Object tracking has many problems such as the noise, clutter occlusion, and dynamic changes in the motion of the object. So that the final project, designed a multiple object tracking system with particle filter method. Particle filters, also known as sequential Monte Carlo is a stochastic method that has been developed in the computer vision community and applied to tracking problems.

Tracking's system works by using video processing in a non-real time. Tracked object in the form of humans. In the human detection process, use the Histogram of Oriented Gradient method. After the detection of human doing, then the object will be tracked with a particle filter method. Tracking process is done by generating random particles at close to the object area. Then performed the observations made models to calculate the probability of a particle that has the same histogram as the target object. Similarity calculation is done by using the Bhattacharyya coefficient. Then made a new estimate of the object's position.

Testing the system using modified parameters namely maximum threshold, the minimum threshold, the number of particles, the number of objects and the recording condition of the object. Best accuracy rate at 0.88 threshold and the minimum threshold of 0.73. Total objects in the tracking process using the particle filter is directly proportional to the processing time, whereas in the tracking Histogram of Oriented Gradient method proportional to the resolution of the video.

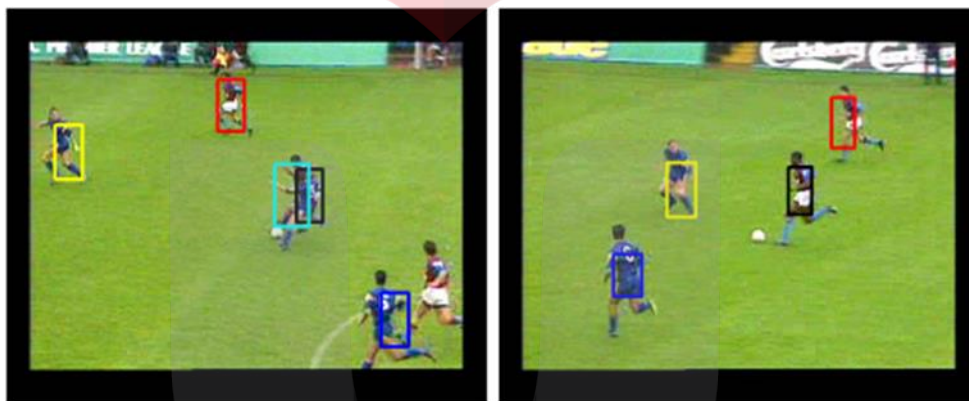
Keywords : object tracking, histogram, Bhattacharyya coefficient, Histogram of Oriented Gradient, particle filters.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Multiple Object Tracking

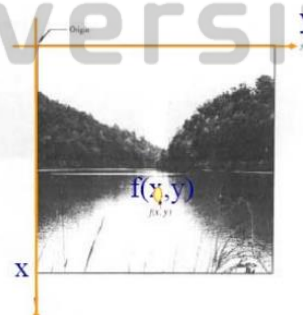
Multiple Object Tracking merupakan suatu metode untuk melacak objek yang bergerak dan jumlahnya lebih dari satu. Pelacakan suatu objek bergerak sangat berguna untuk membantu tugas penting dalam aplikasi *computer vision* seperti: pengenalan gerakan, pelacakan kendaraan, penghitungan jumlah kendaraan, *augmented reality* dan video kompresi.



Gambar 2.1 Multiple object tracking

2.2 Citra Digital

Citra adalah gambar dua dimensi yang dihasilkan dari gambar analog dua dimensi yang kontinu menjadi gambar diskrit melalui proses sampling. Gambar analog dibagi menjadi x baris dan y kolom sehingga menjadi gambar diskrit. Persilangan antara baris dan kolom tertentu disebut dengan piksel. Contohnya adalah gambar/titik diskrit pada baris x_1 dan kolom y_1 . hal tersebut dapat diilustrasikan pada gambar dibawah ini .

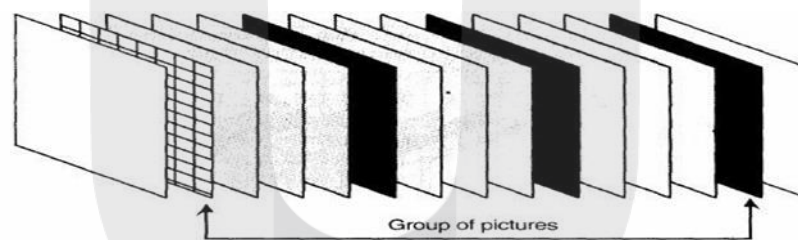


Gambar 2.2 Citra $f(x,y)$

Masing-masing titik pada matriks $f(x,y)$ memiliki nilai-nilai tertentu. Nilai-nilai inilah yang menunjukkan besar intensitas cahaya yang menyusun citra digital tersebut. Nilai intensitas tersebut dinamakan *picture elements* (piksel). Kumpulan piksel ini akan menentukan dimensi atau resolusi dari sebuah citra.

2.3 Video Digital

Pada dasarnya video dapat didefinisikan sebagai suatu rangkaian citra digital yang tersusun berdasarkan waktu. Video memiliki 3 dimensi karena dua dimensi yang pertama adalah baris dan kolom pada setiap citranya, sedangkan dimensi ketiga adalah waktu urutan framenya. Dengan demikian, video juga dapat diartikan sebagai citra digital yang dibaca secara berurutan dalam suatu waktu dengan kecepatan yang relatif cepat sehingga menimbulkan efek gambar bergerak.



Gambar 2.3 Frame pada video

Satu buah citra pada video dikenal sebagai frame. dan kecepatan yang digunakan untuk menggerakkan citra-citra tersebut dinamakan frame rate, dengan satuan *frame per second* (fps). Semakin besar nilai fps maka semakin halus video yang ditampilkan.

Beberapa karakteristik yang dapat mempengaruhi kualitas dari suatu video antara lain resolusi atau dimensi, kuantisasi atau kedalaman bit, dan *frame rate*.

2.3.1 Resolusi

Resolusi dinyatakan dalam satuan piksel $\times$ piksel, yang menyatakan ukuran panjang kali lebar dari suatu *frame* pada video. Semakin tinggi resolusinya, semakin besar bit yang digunakan untuk menyimpan dan mentransmisikan datanya, dan semakin bagus kualitasnya. Misalnya pada format AVI (*Audio Video Interleave*) resolusi adalah 320 piksel $\times$ 240 piksel.

2.3.2 Kuantisasi

Kedalaman bit biasanya dinyatakan dalam satuan bit / piksel. Kuantisasi atau Kedalaman bit menyatakan jumlah bit yang diperlukan untuk merepresentasikan tiap piksel pada sebuah frame. Semakin banyak jumlah bit yang digunakan untuk merepresentasikan sebuah citra, maka semakin baik kualitas citra tersebut.

2.3.3 Frame Rate

Frame rate menyatakan banyaknya *frame* yang bergerak tiap detik. Semakin banyak *frame* yang bergerak tiap detiknya maka semakin bagus kualitas video. *Frame rate* dinyatakan dalam *frame per second* (fps). Ada dua karakteristik yang berkaitan dengan *frame rate*, yaitu kehalusan gerakan (*smooth motion*) dan kilatan (*flash*). Untuk mendapatkan gerakan yang halus, video digital setidaknya harus menampilkan sedikitnya 25 frame/s. Apabila frame rate kurang dari 20 frame/s biasanya akan memunculkan kilatan (*flash*). Kilatan ditentukan oleh jumlah berapa kali layar digambar per detik.

2.4 Sistem Warna Pada Video Digital

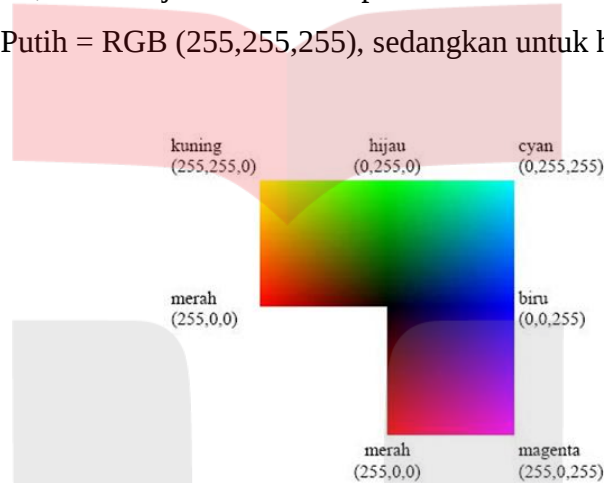
Cahaya adalah suatu bentuk elektromagnetik yang terdiri dari spectrum frekuensi yang mempunyai panjang gelombang kurang lebih 400 nanometer untuk cahaya ultraviolet sampai kurang lebih 700 nanometer untuk infra merah. Warna dari suatu objek merupakan pantulan cahaya yang tidak dapat diserap oleh objek tersebut.

Teori tentang cahaya ini dapat diperoleh dari teori tentang optik dari Isaac Newton, yang menyatakan bahwa suatu warna dapat terpancar karena perbedaan panjang gelombang sehingga dapat menghasilkan perbedaan efek visual.

2.4.1 Sistem Warna RGB

RGB adalah suatu model warna yang terdiri dari merah, hijau, dan biru, digabungkan dalam membentuk suatu susunan warna yang luas. Setiap warna dasar, misalnya merah, dapat diberi rentang-nilai. Untuk monitor komputer, nilai rentangnya paling kecil = 0 dan paling besar = 255. Pilihan skala 256 ini didasarkan pada cara mengungkap 8 digit bilangan biner yang digunakan oleh mesin komputer. Dengan cara ini,

akan diperoleh warna campuran sebanyak $256 \times 256 \times 256 = 16777216$ jenis warna. Sebuah jenis warna, dapat dibayangkan sebagai sebuah vektor di ruang 3 dimensi yang biasanya dipakai dalam matematika, koordinatnya dinyatakan dalam bentuk tiga bilangan, yaitu komponen-x, komponen-y dan komponen-z. Misalkan sebuah vektor dituliskan sebagai $r = (x,y,z)$. Untuk warna, komponen-komponen tersebut digantikan oleh komponen R (*Red*), G (*Green*), B (*Blue*). Jadi, sebuah jenis warna dapat dituliskan sebagai berikut: warna = RGB(xxx, xxx, xxx). Putih = RGB (255,255,255), sedangkan untuk hitam= RGB(0,0,0).



Gambar 2.4 Sistem pewarnaan RGB

2.4.2 Sistem Warna Grayscale

Grayscale adalah warna-warna piksel yang berada dalam rentang gradasi warna hitam dan putih. Untuk pengubahan warna image menjadi *grayscale*, cara yang umumnya dilakukan adalah dengan memberikan bobot untuk masing-masing warna dasar red, green, dan blue dimana bila dijumlahkan ketiga bobot tersebut akan bernilai 1.

$$Y = (a \times R) + (b \times G) + (c \times B) \quad (2.1)$$

Dimana :

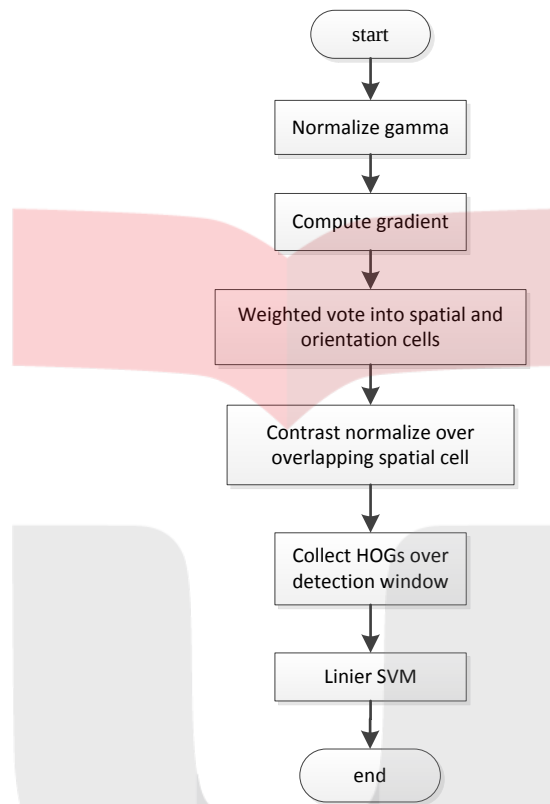
Y = Citra grayscale

a,b,c = koefisien pengali yang berjumlah

2.5 Histogram of Oriented Gradient (HOG)

Histogram of Oriented Gradient (HOG) adalah fitur yang digunakan dalam computer vision dan pengolahan citra yang berfungsi untuk mendeteksi objek. Teknik ini menghitung orientasi gradient dalam suatu lokal bagian pada citra. HOG dikembangkan dari teknik SIFT dan digunakan untuk mendeskripsikan informasi bentuk tubuh dengan

menggunakan *gradient direction histogram*. Proses HOG dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.5 Proses HOG

Langkah pertama dalam *preprocessing* adalah untuk memastikan normalisasi warna dan nilai-nilai gamma. Pada Dalal dan Triggs menunjukkan, langkah ini dapat diabaikan dalam perhitungan deskripsi HOG. Sebaliknya, pada langkah pertama perhitungan adalah perhitungan nilai gradien. Metode yang paling umum adalah menerapkan 1-D berpusat. Metode ini memerlukan *color filtering* atau intensitas data gambar dengan *kernel filter* berikut:

$$[-1,0,1] \text{ dan } [-1,0,1]^T \quad (2.2)$$

Untuk pemrosesan yang lebih lengkap diperlukan lebih banyak *masks* seperti 3x3 masker Sobel (Operator Sobel). Untuk mendeteksi *edges*, pertama gambar diubah ke bentuk gambar *grayscale*. *Edges* dideteksi menggunakan horizontal dan vertical *Sobel operators*: K_x dan K_y :

$$G_x(x, y) = K_x * I(x, y), \quad G_y(x, y) = K_y * I(x, y). \quad (2.3)$$

Magnitude dan orientasi dari *edges* adalah

$$S(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)} \quad (2.4)$$

$$\theta = \tan^{-1}(G_y(x, y)/G_x(x, y)) \quad (2.5)$$

Esensi dari HOG ini adalah tampilan dalam bentuk objek dapat digambarkan dengan distribusi jumlah *gradient* atau arah tepi (*edge directions*). Implementasinya dilakukan dengan membagi citra menjadi region kecil yang terhubung atau disebut dengan *cell*. Masing-masing *cell* meng-compile histogram dari arah gradient atau orientasi batas tepi (*edge orientasi*) atau untuk piksel di dalam *cell*. Untuk meningkatkan akurasi, *local histogram* dapat dinormalisasi dengan menghitung ukuran intensitas di wilayah yang lebih besar pada citra atau disebut dengan blok. Kemudian menggunakan nilai normalisasi pada semua *cell* yang ada pada blok tersebut. Hasil normalisasi menjadikan *invariant* yang lebih baik untuk perubahan *illumination* atau *shadowing*.

Keunggulan HOG dibanding dengan metode lainnya adalah karena beroperasi pada level lokal sehingga cocok pada perubahan *invariant* untuk transformasi geometrik atau fotometrik. Perubahan tersebut hanya terjadi pada wilayah spasial yang ukurannya lebih besar. Selain itu, HOG memungkinkan untuk mengabaikan gerakan tubuh individu manusia selama masih mempertahankan posisi tegak.

HOG mempunyai performansi yang baik untuk mendeteksi orang pada citra statik. Tetapi HOG tidak dapat digunakan pada sistem *real-time* karena memerlukan waktu pemrosesan yang banyak.

2.6 Warna Histogram

Histogram merupakan representasi grafis untuk distribusi warna dari citra digital. Untuk membuat histogram warna perlu menentukan jumlah *bin* histogram. Secara umum, semakin banyak *bin*, maka akan lebih bersifat diskriminatif. Tetapi semakin banyak *bin* maka waktu komputasi untuk menghitung histogram akan semakin lama. Warna histogram dapat dibuat dari berbagai jenis warna citra seperti RGB, grayscale, *rg chromaticity* dll. Histogram dapat dibuat menjadi N-dimensional. Pada tugas akhir ini, sistem menggunakan 3 dimensional untuk menghitung histogram dengan menggunakan warna RGB. Masing-masing dimensional terdiri dari 8 bin. Bin merupakan skala nilai

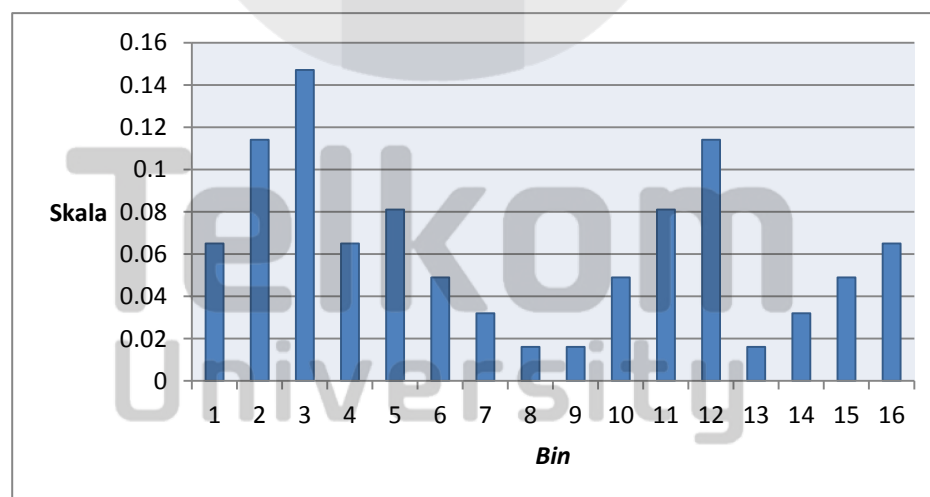
piksel. Misalkan untuk warna merah pada warna RGB akan dihitung histogram dengan jumlah bin 4. Untuk bin 0 range nilai piksel antara 0-63, bin 1 antara 64-127, bin 2 antara 128-191 dan bin 3 antara 192-255. Nilai-nilai tersebut merupakan nilai dari warna merah pada format warna citra RGB. Warna histogram yang didapat selanjutnya dinormalisasi dengan membagi setiap bin dengan jumlah bin yang diset.

Pada tugas akhir ini menggunakan warna histogram karena proses untuk menghitung warna histogram relatif singkat, hal ini sangat menguntungkan untuk proses pelacakan objek. Sehingga proses pelacakan objek diharapkan membutuhkan waktu yang singkat untuk setiap framenya.

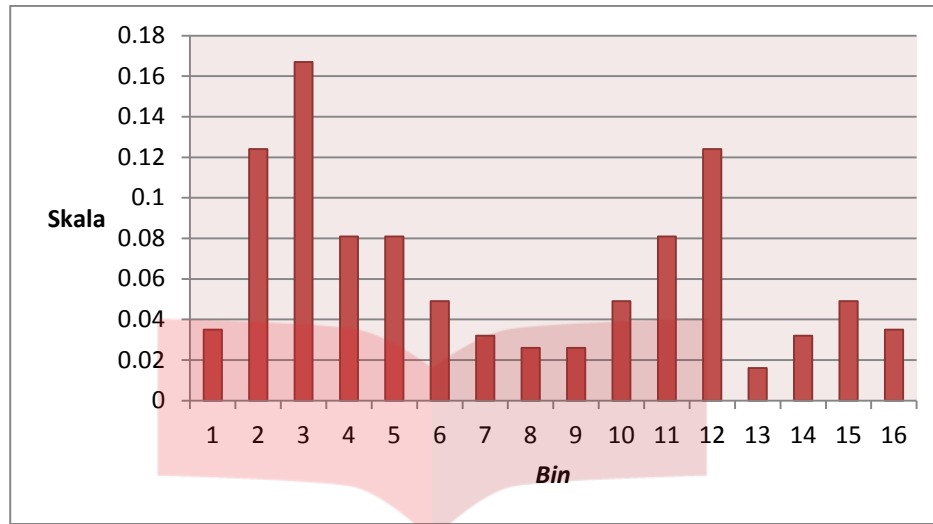
2.7 Model Matching

Model matching merupakan metode untuk mencocokkan histogram asli dengan histogram kandidat, dengan melihat seberapa dekat objek kandidat dengan objek asli. Terdapat beberapa teknik untuk mencocokkan histogram, seperti *Bhattacharyya Coefficient*, *Earth Movers Distance*, *Chi Squared* dan *Euclidean Distance*. Dalam tugas akhir ini digunakan teknik *Bhattacharyya Coefficient*. The *Bhattacharyya Coefficient* bekerja pada histogram yang telah dinormalisasi dengan jumlah bin yang sama. Mengingat dua histogram dengan p dan q , *Bhattacharyya Coefficient* diberikan sebagai:

$$\rho = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u q_u} \quad (2.2)$$



Gambar 2.6 Histogram 16 bin



Gambar 2.7 Histogram 16 bin

Tabel 2.1 *Bhattacharyya Coefficient*

Bin	Target Frequency p_u	Candidate Frequency q_u	$\sqrt{p_u q_u}$
1	0.065	0.035	0.04769
2	0.114	0.124	0.11889
3	0.147	0.167	0.15668
4	0.065	0.081	0.05408
5	0.081	0.081	0.081
6	0.049	0.049	0.049
7	0.032	0.032	0.032
8	0.016	0.026	0.02039
9	0.016	0.026	0.02039
10	0.049	0.049	0.049
11	0.081	0.081	0.081
12	0.114	0.124	0.11889
13	0.016	0.016	0.016
14	0.032	0.032	0.032
15	0.049	0.049	0.049
16	0.065	0.035	0.04769
<i>Bhattacharyya Coefficient</i>			0.9737

Hasil *Bhattacharyya Coefficient* sama dengan 1 jika histogram yang dicocokkan sama, dan sama dengan nol jika kedua histogram sangat berbeda.

2.8 Particle Filter

Particle filter didasarkan pada prinsip Bayes dan merupakan metode simulasi Monte-Carlo berurutan ditunjukkan oleh kepadatan probabilitas partikel. Pada proses particle

filter, untuk menemukan objek yang dilacak dengan cara menyebarkan random sampel pada daerah sekitar objek sebelumnya. Kemudian dihitung probabilitas kesamaannya dengan objek target. Selanjutnya penentuan posisi objek yang baru.

Untuk mengimplementasikan particle filter diperlukan beberapa langkah sebagai berikut :

1. Transisi model merepresentasikan bagaimana objek bergerak diantara frame.
2. Model observasi untuk menghitung kemungkinan setiap sampel dengan target.
3. Inisialisasi untuk menentukan posisi objek yang baru.

Pada saat transisi antar frame, frame selanjutnya akan dibangkitkan partikel. Partikel yang dibangkitkan dengan distribusi normal.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

Parameter μ dalam formula di atas adalah rata-rata atau harapan distribusi (dan juga median dan modus). Parameter σ adalah deviasi standar, sehingga varians adalah 2σ . Jika $\mu = 0$ dan $\sigma = 1$, distribusi disebut distribusi normal standar atau distribusi normal satuan, dan variabel acak dengan distribusi yang merupakan standar normal menyimpang. Setiap partikel akan dihitung histogramnya. Proses selanjutnya adalah menghitung kemungkinan setiap histogram dengan histogram target menggunakan *bhattacharyya coefficient*

Resampling partikel dilakukan untuk menghitung partikel yang melebihi *threshold*. Partikel-partikel yang telah ter-*resampling* akan menjadi acuan untuk menentukan posisi target yang baru. Penentuan posisi menggunakan persamaan berikut.

$$x, y = \frac{\sum_{n=1}^m x_n y_n}{m} \quad (2.4)$$

Dimana x, y merupakan koordinat posisi objek yang baru, x_n, y_n merupakan posisi dari partikel yang telah ter-*resampling*, sedangkan m merupakan jumlah partikel yang ter-*resampling*.

BAB V

PENUTUP

5.1.Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada proses pelacakan single objek dan multiple objek, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses pendeteksian multiple objek akan bekerja dengan baik jika objek manusia di dalam frame di-capture secara utuh dan sempurna.
2. Ukuran resolusi berpengaruh pada waktu komputasi deteksi objek manusia, semakin besar ukuran proses deteksi semakin lama, tetapi akurasi deteksi semakin bagus. Untuk pelacakan 1 objek resolusi paling baik untuk kecepatan waktu pemrosesan dan ketepatan pelacakan objek adalah 480x320 dengan akurasi 85 % dan waktu pemrosesan 490 ms, sedangkan untuk multiple adalah 640x480 dengan akurasi pendeteksian 82.08 % dan waktu pemrosesan 1113 ms.
3. *Threshold* terbaik untuk sistem ini 0.88 untuk maksimum *threshold* dan 0.73 untuk minimum *threshold* dengan akurasi rata-rata 95 %. Nilai *threshold* jika terlalu besar atau mendekati 1, akan berpengaruh pada proses *resampling*, banyak partikel yang tidak ter-*resampling* karena partikel harus sama persis dengan target. Jika terlalu sedikit partikel yang ter-*resampling*, berpengaruh pada proses pembaharuan posisi objek, posisi objek akan menjadi tidak akurat. Sedangkan jika terlalu kecil, maka banyak partikel yang bukan termasuk bagian dari objek ikut ter-*resampling*. Sehingga akurasi ketepatan menjadi jelek.
4. Jumlah partikel terbaik untuk single objek adalah 50 dengan waktu rata-rata pemrosesan setiap frame 20.95 milisecond, sehingga setiap detik dapat memproses sebanyak 47.73 frame. Untuk multiple objek jumlah partikel terbaik adalah 30 partikel, dengan pemrosesan waktu setiap frame 47.89, sehingga setiap detik dapat memproses sekitar 20.87.
5. Perubahan warna pada objek setiap frame sangat berpengaruh pada proses pelacakan. Perubahan warna akan berpengaruh terhadap penghitungan histogram. Pada tugas akhir ini penghitungan histogram dilakukan pada komponen warna RGB, sehingga jika ada perubahan cahaya atau objek tidak terlihat dengan jelas, maka nilai histogram akan berbeda dengan nilai histogram objek target.
6. Perubahan ukuran objek setiap frame sangat berpengaruh pada ketepatan pelacakan. Sistem pada tugas akhir ini bekerja dengan baik jika objek mempunyai

ukuran yang sama untuk setiap framenya. Jika terjadi perubahan ukuran objek, semakin besar atau semakin kecil, akan berpengaruh terhadap penghitungan histogram. Ukuran partikel pada sistem ini sesuai dengan ukuran objek target. Jadi, jika pada frame tertentu objek mengalami perubahan ukuran, nilai histogramnya akan berbeda jauh dengan target dan nilai *Bhattacharyya coefficient* akan kurang dari *threshold* minimal.

7. Pelacakan dengan HOG mempunyai waktu yang relatif lama tergantung dengan ukuran frame dan tidak tergantung pada banyaknya objek yang dideteksi. Berbeda dengan partikel filter, waktu pemrosesan tergantung pada jumlah objek dan ukuran objek. HOG tidak cocok untuk pelacakan karena HOG mempunyai waktu pemrosesan yang tinggi.

5.2.Saran

Adapun saran untuk pengembangan tugas akhir selanjutnya adalah :

1. Melakukan preprocessing sebelum deteksi manusia dengan HOG untuk menambah akurasi pendeteksian objek.
2. Menggunakan metode pendeteksian manusia selain menggunakan HOG untuk mendapatkan tingkat akurasi dan waktu pemrosesan yang lebih baik.
3. Melakukan proses pelacakan lebih cepat dan tingkat akurasi yang tinggi.
4. Melakukan pengujian sistem dengan masukan *realtime*.
5. Menggunakan warna histogram selain RGB, karena warna RGB rentan terhadap perubahan cahaya.
6. Menggunakan metode adaptif partikel filter, yang dapat mengubah-ubah parameter tergantung pada kondisi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Yang, R. Duraiswami and L. Davis. Fast Multiple Object Tracking via a Hierarchical Particle Filter. University of Maryland
- [2] D. Navneet and T. Bill. .Histograms of Oriented Gradients for Human Detectionx. INRIA Rh[^] one-Alps, 655 avenue de l'Europe, Montbonnot 38334, France
- [3] G. Sulistiawan. Analisis Centroid Untuk Meningkatkan Keandalan Pada Alat Pemantau Ruangan Secara Real Time Berbasis Webcam dengan Metode Frame Different. Bandung: Institut Teknologi Telkom, 2010.
- [4] J. Lujun, C Jian and Hu Huang. Human Tracking in the complicated background by particle filter using color-histogram and hog. Department of Electronic Engineering, University of Electronic Science and : Technology of China, 2010
- [5] L. Peihua. Object Tracking with Particle Filter Using Color Information. School of Comp. Sci. and Tech : Heilongjiang University, 2010
- [6] S. Budi, K. Hyoungeop, J. Koi and T. Seiji Ishikawa. A color-based particle filter for multiple object tracking in an outdoor environment, 2010
- [7] X. Jiu. Real-time Human Tracking by Detection based on HOG and Particle Filter. Graduate School of Information, Production and Systems Waseda University, Japan
- [8] Computer Vision Applications with C# - Part I
<http://www.codeproject.com/Articles/35463/Computer-Vision-Applications-with-C-Part-I>

Telkom
University