

REVIEW ALGORITMA PENGENALAN SIDIK JARI MENGUNAKAN PENCOCOKAN CITRA BERBASIS FASA UNTUK SIDIK JARI KUALITAS RENDAH

ABSTRAK

Biometrika merupakan cara untuk mengidentifikasi individu menggunakan karakteristik fisiologi atau perilaku seseorang seperti sidik jari, wajah, *iris*, retina dan telapak tangan. Makalah ini mengimplementasikan algoritma pengenalan sidik jari yang efisien menggunakan pencocokan citra berbasis fasa (*phase*), yaitu teknik pencocokan citra menggunakan komponen fasa dari transformasi fourier diskrit 2D (DFT) citra tersebut. Teknik yang diusulkan secara khusus efektif digunakan untuk verifikasi citra sidik jari kualitas rendah, dimana teknik konvensional tidak mampu mengidentifikasinya dengan benar

PENDAHULUAN

Sejalan dengan meningkatnya tuntutan dalam hal otomasi identifikasi individu, otentifikasi biometrika menjadi perhatian besar selama dekade terakhir ini. Biometrika merupakan cara untuk mengidentifikasi individu menggunakan karakteristik fisiologi atau perilaku seseorang seperti sidik jari, wajah, *iris*, retina dan telapak tangan. Di antara teknik biometrika, pengenalan (*recognition*) sidik jari [1] merupakan metoda yang paling populer dan banyak diterapkan untuk banyak aplikasi.

Metoda pengenalan sidik jari secara umum menggunakan pencocokan (*matching*) citra berbasis ciri (*feature*), dimana *minutiae* (yaitu *ridge ending* dan *ridge bifurcation*) diekstraksi dari citra sidik jari teregistrasi dan citra sidik jari *input*, kemudian sejumlah pasangan *minutiae* yang bersesuaian antara kedua citra tersebut digunakan untuk mengenali citra sidik jari yang valid [1]. Pencocokan berbasis ciri merupakan cara identifikasi yang efektif untuk kebanyakan orang.

Akan tetapi diketahui bahwasanya terdapat sejumlah orang yang memiliki sidik jari yang tidak dapat diidentifikasi dengan metoda berbasis ciri karena kondisi kulit yang khusus, dimana titik-titik ciri sangat sulit untuk diekstraksi menggunakan pemrosesan citra. Rasio orang yang memiliki sidik jari yang demikian bervariasi bergantung pada ras, jenis kelamin, umur, kelompok kerja dan lain-lain, tetapi dapat dikatakan bahwa sekitar satu sampai lima persen dari total populasi adalah termasuk kategori ini.

Untuk mengatasi masalah ini, makalah ini mengimplementasikan algoritma pengenalan sidik jari yang efisien menggunakan pencocokan citra berbasis fasa (*phase*), yaitu teknik pencocokan citra menggunakan komponen fasa dari transformasi *fourier* diskrit 2D (DFT) citra tersebut. Teknik ini telah terbukti efektif diaplikasikan untuk tugas registrasi citra akurasi tinggi pada aplikasi visi komputer [2]-[4], dimana estimasi translasi *sub-pixel* citra menjadi perhatian terbesar. Dalam *paper* ini juga didemonstrasikan bahwa teknik ini sangat efektif juga untuk pencocokan sidik jari [5]. Penggunaan informasi fasa *fourier* dari citra sidik jari memungkinkan pencocokan sidik jari yang sangat handal untuk sidik jari kualitas rendah dimana *minutiae* sulit untuk diekstraksi.

PENCOCOKAN CITRA BERBASIS FASA

Pada bagian ini dijelaskan prinsip pencocokan citra berbasis fasa menggunakan fungsi POC (*Phase Only Correlation*) atau kadang-kadang disebut fungsi korelasi fasa [2]-[4]. Anggap terdapat dua citra $N_1 \times N_2$, $f(n_1, n_2)$ dan $g(n_1, n_2)$, dimana diasumsikan bahwa range indeks adalah $n_1 = -M_1 \dots M_1$ ($M_1 > 0$) dan $n_2 = -M_2 \dots M_2$ ($M_2 > 0$), maka $N_1 = 2M_1 + 1$ dan $N_2 = 2M_2 + 1$. Misalkan $F(k_1, k_2)$ dan $G(k_1, k_2)$ sebagai notasi dari DFT kedua citra, maka:

$$\begin{aligned} F(k_1, k_2) &= \sum_{n_1, n_2} f(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_F(k_1, k_2) e^{j\theta_F(k_1, k_2)} \end{aligned}$$

Dimana

$$k_1 = -M_1 \dots M_1$$

$$k_2 = -M_2 \dots M_2$$

$$W_{N_1} = e^{-j\frac{2\pi}{N_1}}$$

$$W_{N_2} = e^{-j\frac{2\pi}{N_2}}$$

$$\sum_{n_1, n_2} \text{ menyatakan } \sum_{n_1=-M_1}^{M_1} \sum_{n_2=-M_2}^{M_2}$$

$A_F(k_1, k_2)$ adalah nilai amplitudo dan $\theta_F(k_1, k_2)$ fasa dari $F(k_1, k_2)$.

Dengan cara yang sama, maka $G(k_1, k_2)$ juga dapat didefinisikan, sehingga spektrum *cross-phase* $R_{FG}(k_1, k_2)$ antara kedua citra tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_{FG}(k_1, k_2) &= \frac{F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}}{|F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}|} \\ &= e^{j\theta(k_1, k_2)}, \end{aligned}$$

dimana $\overline{G(k_1, k_2)}$ adalah konjugasi kompleks dari $G(k_1, k_2)$ dan $\theta_F(k_1, k_2)$ menyatakan perbedaan fasa $\theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)$.

Fungsi POC, $r_{fg}(n_1, n_2)$ merupakan fungsi invers DFT 2D dari $R_{FG}(k_1, k_2)$, yaitu:

$$r_{fg}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1, k_2} R_{FG}(k_1, k_2) W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2}$$

dimana

$$\sum_{k_1, k_2} \text{ menyatakan } \sum_{k_1=-M_1}^{M_1} \sum_{k_2=-M_2}^{M_2}$$

Jika kedua citra mirip, maka fungsi POC akan memberikan nilai puncak runcing yang jelas. Sedangkan jika kedua citra tidak mirip maka nilai puncak akan turun secara drastis. Ketinggian puncak menunjukkan ukuran kemiripan yang baik untuk digunakan dalam pencocokan citra, sedangkan lokasi puncak, menunjukkan translasi perpindahan antar citra. Definisi fungsi POC kemudian dimodifikasi untuk mendapatkan fungsi BLPOC (*Band-Limited Phase-Only Correlation*). Tujuannya adalah untuk meningkatkan kinerja pencocokan

yaitu dengan menghilangkan komponen frekuensi tinggi yang tidak berarti dalam perhitungan spektrum *cross-phase* $R_{FG}(k_1, k_2)$, dimana perhitungannya bergantung pada komponen frekuensi inheren citra sidik jari [5]. Misalkan range dari frekuensi *inheren* didefinisikan sebagai $k_1 = -K_1 \dots K_1$ dan $k_2 = -K_2 \dots K_2$ dimana $0 \leq K_1 \leq M_1$ dan $0 \leq K_2 \leq M_2$, maka ukuran efektif spektrum frekuensi diberikan oleh $L_1 = 2K_1 + 1$ dan $L_2 = 2K_2 + 1$. Fungsi BLPOC adalah sebagai berikut

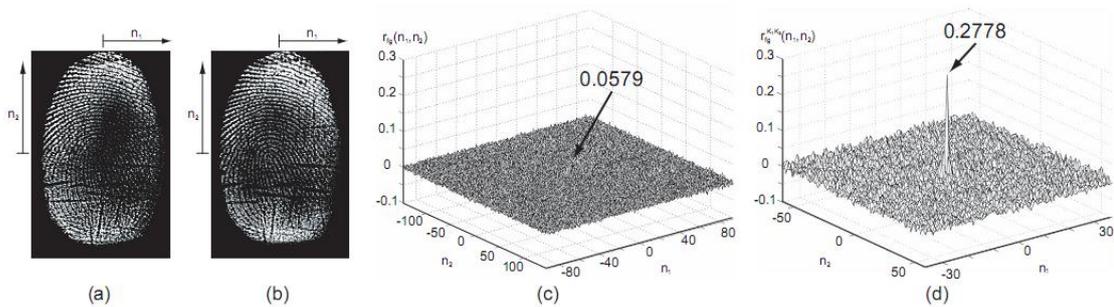
$$r_{fg}^{K_1 K_2}(n_1, n_2) = \frac{1}{L_1 L_2} \sum'_{k_1, k_2} R_{FG}(k_1, k_2) \times W_{L_1}^{-k_1 n_1} W_{L_2}^{-k_2 n_2},$$

dimana $k_1 = -K_1 \dots K_1, k_2 = -K_2 \dots K_2$ dan

$$\sum'_{k_1, k_2} \text{menyatakan } \sum_{k_1=-K_1}^{K_1} \sum_{k_2=-K_2}^{K_2}$$

Sebagai catatan bahwa nilai maksimum puncak korelasi fungsi BLPOC adalah selalu ternormalisasi 1 dan tidak bergantung L_1 dan L_2 .

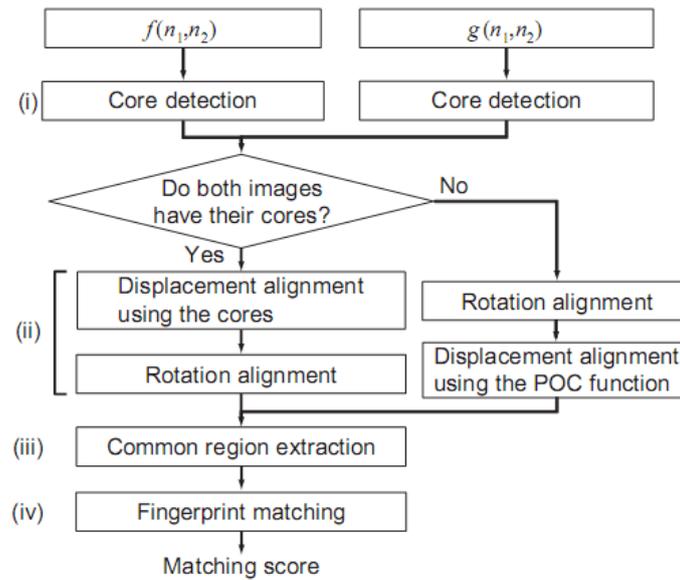
Gambar 1 menunjukkan contoh pencocokan keaslian menggunakan fungsi POC asli dan fungsi BLPOC. Fungsi BPLOC menghasilkan puncak korelasi yang lebih tinggi dan mempunyai kemampuan dikriminasi yang lebih baik dari pada fungsi POC asli.



Gambar 1. Contoh pencocokan keaslian menggunakan fungsi POC asli dan fungsi BLPOC:
 (a) citra sidik jari teregistrasi $f(n_1, n_2)$; (b) citra sidik jari *input* $g(n_1, n_2)$;
 (c) fungsi POC asli; (d) fungsi BLPOC

ALGORITMA PENGENALAN SIDIK JARI

Gambar 2 menunjukkan digram alir algoritma pengenalan sidik jari yang diusulkan. Algoritma tersebut terdiri dari empat langkah: (i) Deteksi *core*, (ii) pensejajaran (*alignment*) rotasi dan perpindahan, (iii) ekstraksi daerah irisan (*common*), (iv) pencocokan sidik jari



Gambar 2. Diagram alir algoritma POC

(i) Deteksi *core*

Langkah ini digunakan untuk mendeteksi *core* citra sidik jari teregistrasi $f(n_1, n_2)$ dan citra sidik jari *input* $g(n_1, n_2)$ supaya perpindahan antara kedua citra dapat disejajarkan (*align*). *Core* didefinisikan sebagai titik tunggal pada citra sidik jari yang menunjukkan kurva garis *ridge* maksimum. Untuk mendeteksi *core* ini digunakan metoda *Poincaré index*.

(ii) pensejajaran (*alignment*) rotasi dan perpindahan

Supaya dapat dilakukan pencocokan sidik jari akurasi tinggi, maka perlu adanya normalisasi rotasi dan perpindahan antara citra sidik jari teregistrasi $f(n_1, n_2)$ dan citra sidik jari *input* $g(n_1, n_2)$.

Pada kasus dimana kedua citra sidik jari mempunyai *core*, yang pertama dilakukan adalah mensejajarkan perpindahan translasi antar citra sidik jari menggunakan posisi *core*. Selanjutnya, dilakukan normalisasi rotasi. Pertama-tama dibuat sekelompok citra terotasi $f_\theta(n_1, n_2)$ dari citra sidik jari teregistrasi $f(n_1, n_2)$ untuk sudut $40^\circ < \theta < 40^\circ$ dengan jangka 1° , menggunakan interpolasi *bi-cubic*. Sudut rotasi citra *input* relatif terhadap citra teregistrasi dapat ditentukan dengan mengevaluasi kemiripan antara citra teregistrasi yang dirotasi $f_\theta(n_1, n_2)$ dengan citra *input* $g(n_1, n_2)$ menggunakan fungsi BLPOC.

Sedangkan pada kasus dimana salah satu dari citra sidik jari teregistrasi $f(n_1, n_2)$ dan citra sidik jari *input* $g(n_1, n_2)$, tidak mempunyai *core*, maka yang pertama dilakukan adalah normalisasi rotasi menggunakan cara di atas. Selanjutnya dilakukan pensejajaran perpindahan translasi antara citra teregistrasi yang dirotasi $f_\theta(n_1, n_2)$ dengan citra *input* $g(n_1, n_2)$. Nilai perpindahan didapat dari lokasi puncak fungsi POC antaran $f_\theta(n_1, n_2)$ dan $g(n_1, n_2)$.

Akhirnya didapat versi citra yang ternormalisasi untuk citra teregistrasi dan citra *input* yang dinyatakan sebagai $f'(n_1, n_2)$ dan $g'(n_1, n_2)$.

(iii) ekstraksi daerah irisan (*common*)

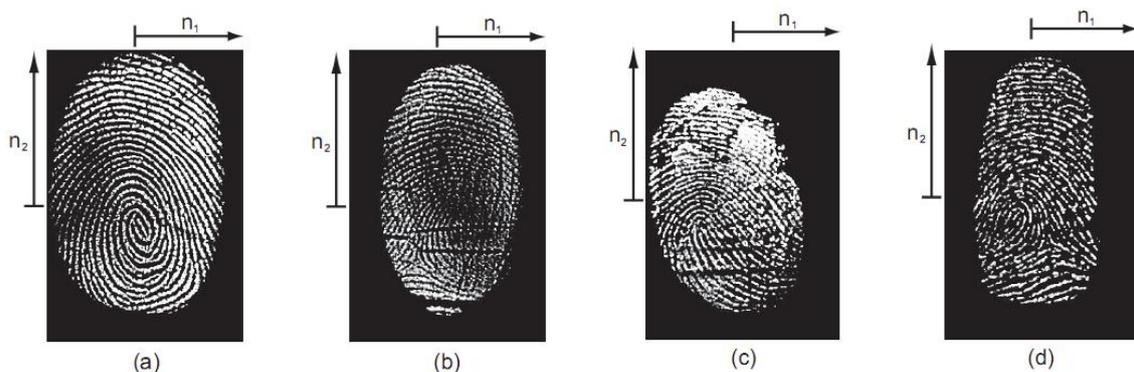
Langkah selanjutnya adalah ekstraksi daerah irisan (*common*) yang *overlap* antara kedua citra $f'(n_1, n_2)$ dan $g'(n_1, n_2)$. Proses ini meningkatkan akurasi pencocokan sidik jari, karena daerah *non-overlap* dari kedua citra menjadi komponen *noise* yang tidak berkorelasi pada fungsi BLPOC. Supaya dapat dideteksi area sidik jari yang efektif dari $f'(n_1, n_2)$ dan $g'(n_1, n_2)$, maka dilakukan pengujian proyeksi *axis* n_1 dan proyeksi *axis* n_2 dari nilai *pixel*. Hanya area irisan citra yang efektif, $f''(n_1, n_2)$ dan $g''(n_1, n_2)$, dengan ukuran sama, yang diekstraksi untuk langkah pencocokan citra berikutnya.

(iv) pencocokan sidik jari

Langkah terakhir adalah dengan menghitung fungsi BLPOC antara dua citra terekstraksi $f''(n_1, n_2)$ dan $g''(n_1, n_2)$ kemudian mengevaluasi hasilnya. Fungsi BLPOC kemungkinan memberikan nilai puncak korelasi lebih dari satu karena perubahan bentuk sidik jari yang elastis. Oleh karena itu, didefinisikan skor pencocokan antara kedua citra adalah jumlah dari dua nilai puncak tertinggi fungsi BLPOC.

HASIL EKSPERIMEN

Database eksperimen diperoleh dari 30 orang dengan menggunakan sensor sensitif tekanan (BLP -100, *BMF Corporation*), yang dapat merekam citra sidik jari dengan ukuran 256×384 *pixel*. Dari 30 orang, 20 memiliki sidik jari kualitas baik, dan 10 memiliki sidik jari kualitas rendah, karena kering (6), kasar (2), dan alergi (2). Gambar 3. menunjukkan beberapa contoh citra sidik jari. Jumlah semua citra sidik jari yang digunakan adalah 330 citra, dimana untuk tiap orang didapatkan 11 citra.



Gambar 3. Contoh citra sidik jari dalam database:

(a) kualitas baik, (a,b,c) kualitas rendah, karena (b) kering, (c) kasar dan (d) elergi

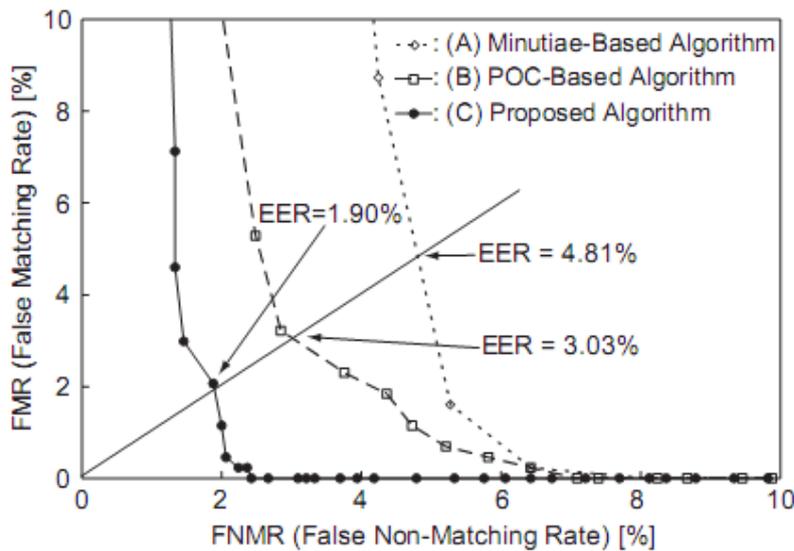
Tiga algoritma pencocokan berbeda yang dibandingkan adalah: (A) algoritma berbasis *minutiae* (yang secara komersial sudah ada) (B) algoritma berbasis POC sederhana [5] dan (C) algoritma yang diusulkan ini.

Kinerja sistem identifikasi berbasis biometrika dievaluasi dengan menggunakan kurva ROC (*Receiver Operating Characteristic*), yang menggambarkan FNMR (*False Non Matching Rate*) terhadap FNMR (*False Matching Rate*) pada *threshold* yang berbeda untuk skor pencocokan. Pertama-tama dievaluasi FNMR untuk semua kemungkinan kombinasi dari uji coba

keaslian, yaitu sebanyak ${}_{11}C_2 \times 30 = 1650$. Selanjutnya dievaluasi FMR untuk ${}_{30}C_2 = 435$ uji coba kepalsuan, dimana dipilih sebuah citra (yang pertama) untuk setiap sidik jari dan membuat semua kemungkinan kombinasi. Gambar 4 menunjukkan kurva ROC untuk ketiga algoritma (A)-(C). Terlihat algoritma yang diusulkan (C) mempunyai kinerja yang lebih baik, karena kurva ROC berada di bawah daerah FMR/FNMR daripada algoritma berbasis *minutiae* (A) dan algoritma berbasis POC (B).

Tabel 1. ZeroFMR dan EER

	All Fingerprints (30 subjects × 11 images)		Low-Quality Fingerprints (10 subjects × 11 images)	
	ZeroFMR	EER	ZeroFMR	EER
(A)	8.12%	4.81%	13.64%	10.31%
(B)	7.09%	3.03%	0.54%	0.54%
(C)	2.42%	1.90%	0.00%	0.00%



Gambar 4. Kurva ROC dan EER

EER (*Equal Error Rate*) dan *ZeroFMR* digunakan untuk menunjukkan akurasi sistem verifikasi. EER didefinisikan sebagai *error* dimana FNMR dan FMR adalah sama. Sedangkan *ZeroFMR* didefinisikan sebagai FNMR terendah dimana FMR=0%. EER dan *ZeroFMR* ditunjukkan pada tabel 1, untuk semua citra sidik jari dan hanya citra sidik jari kualitas rendah. Pada saat digunakan semua sidik jari, algoritma yang diusulkan (C) mempunyai EER 1,90%, algoritma berbasis POC (B) 3,30% dan algoritma berbasis *minutiae* (A) 4,81%. Sedangkan pada saat hanya digunakan sidik jari kualitas rendah, algoritma yang diusulkan (C) mempunyai EER 0,00%, algoritma berbasis POC (B) 0,54% dan algoritma berbasis *minutiae* (A) 10,31%. Sebagaimana diamati pada eksperimen di atas, algoritma yang diusulkan secara khusus berguna untuk verifikasi sidik jari kualitas rendah.

KESIMPULAN

Paper ini mengusulkan sebuah algoritma pencocokan sidik jari yang efisien menggunakan pencocokan citra berbasis fasa. Teknik yang diusulkan secara khusus efektif digunakan untuk verifikasi citra sidik jari kualitas rendah, dimana teknik konvensional tidak mampu mengidentifikasinya dengan benar. Untuk ke depannya, diharapkan teknik yang diusulkan ini dapat diimplementasikan dalam peralatan verifikasi sidik jari yang ada.

REFERENSI

- [1] D. Maltoni, D. Maio, A. K. Jain, and S. Prabhakar, *Handbook of Fingerprint Recognition*. Springer, 2003.
- [2] C. D. Kuglin and D. C. Hines, "The phase correlation image alignment method", Proc. Int. Conf. on Cybernetics and Society, pp. 163-165, 1975.
- [3] K. Takita, T. Aoki, Y. Sasaki, T. Higuchi, and K. Kobayashi, "High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E86-A, no. 8, pp. 1925-1934, Aug. 2003.
- [4] K. Takita, M. A. Muquit, T. Aoki, and T. Higuchi, "A sub-pixel correspondence search technique for computer vision applications", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E87-A, no. 8, pp. 1913-1923, Aug. 2004.
- [5] K. Ito, H. Nakajima, K. Kobayashi, T. Aoki, and T. Higuchi, "A fingerprint matching algorithm using phaseonly correlation", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E87-A, no. 3, pp. 682-691, Mar. 2004.
- [6] M. Kawagoe and A. Tojo, "Fingerprint pattern classification", Pattern Recognition, vol. 17, no. 3, pp. 295-303, 1984.
- [7] Products using phase-based image matching. [Online]. Available: <http://www.aoki.ecei.tohoku.ac.jp/poc/>