

Lihat diskusi, statistik, dan profil penulis untuk publikasi ini di: <https://www.researchgate.net/publication/309363445>

Teknik Verifikasi Tanda Tangan Berbasis Image Processing untuk Mengurangi Fraud di Lembaga Keuangan

Artikel di dalam Web Konferensi MATEC · Januari 2016

DOI: 10.1051/mateconf/20167605004

KUTIPAN
0

BACA
6.193

3 penulis:



[Walid B. Husein](#)

Universitas Inggris di Mesir

44PUBLIKASI**344**KUTIPAN

[LIHAT PROFIL](#)



[Mostafa A. Salama](#)

Universitas Inggris di Mesir

60PUBLIKASI**732**KUTIPAN

[LIHAT PROFIL](#)



[Osman Ibrahim](#)

Universitas Inggris di Mesir

18PUBLIKASI**91**KUTIPAN

[LIHAT PROFIL](#)

Teknik Verifikasi Tanda Tangan Berbasis Image Processing untuk Mengurangi Fraud di Lembaga Keuangan

Walid Hussein, Mostafa A. Salama dan Osman Ibrahim

Fakultas Informatika dan Ilmu Komputer, Universitas Inggris di Mesir, Kairo, Mesir

Abstrak. Tanda tangan tulisan tangan digunakan secara luas sebagai verifikasi pribadi di lembaga keuangan memastikan perlunya alat verifikasi tanda tangan otomatis yang kuat. Alat ini bertujuan untuk mengurangi penipuan di semua sektor transaksi keuangan terkait. Makalah ini mengusulkan teknik verifikasi tanda tangan online, kuat, dan otomatis menggunakan kemajuan terbaru dalam pemrosesan gambar dan pembelajaran mesin. Setelah gambar tanda tangan tulisan tangan untuk pelanggan ditangkap, beberapa langkah pra-pemrosesan dilakukan di dalamnya termasuk penyaringan dan deteksi tepi tanda tangan. Selanjutnya dilakukan proses ekstraksi fitur pada citra untuk mengekstraksi fitur Speeded up Robust Features (SURF) dan Scale-Invariant Feature Transform (SIFT). Akhirnya, proses verifikasi dikembangkan dan diterapkan untuk membandingkan fitur gambar yang diekstraksi dengan yang disimpan dalam database untuk pelanggan tertentu. Hasil menunjukkan akurasi yang tinggi, kesederhanaan, dan kecepatan dari teknik yang dikembangkan, yang merupakan kriteria utama untuk menilai alat verifikasi tanda tangan di perbankan dan lembaga keuangan lainnya.

1. Perkenalan

Tanda tangan adalah biometrik perilaku yang diperoleh pengguna untuk menyatakan identitas uniknya pada dokumen cetak. Permintaan otorisasi berdasarkan tanda tangan meningkat termasuk validasi kartu kredit, sistem keamanan, sistem perbankan, cek, kontrak, dll., Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Ini banyak digunakan sebagai bukti identitas dan metode otentikasi yang diterima secara sosial dalam kehidupan sehari-hari. Stakeholder sistem adalah orang, organisasi atau bank yang perlu memverifikasi tanda tangan [1, 2]. Stakeholder adalah nasabah Bank yang harus membubuhkan tanda tangannya, dan pegawai bank harus memverifikasi apakah contoh tanda tangan tersebut adalah tanda tangan asli di database, untuk menyelesaikan setiap transaksi yang diperlukan pada rekening tersebut. Pelanggan lain adalah karyawan organisasi: setiap organisasi yang masih bergantung pada kertas kerja, karyawan harus mengambil supervisor'

Sistem verifikasi tanda tangan otomatis bersaing dengan verifikasi visual saat ini yang terutama bergantung pada pengalaman, suasana hati, dan lingkungan kerja pemverifikasi. Selain itu, sulit bagi ahli mana pun untuk secara tepat memverifikasi rasio antara garis dan sudut tanda tangan asli dengan tanda tangan palsu [5]. Salah satu alasannya adalah tanda tangan hanyalah cara khusus dari tulisan tangan yang mengandung pola geometris yang kompleks dan seringkali plot yang tidak dapat dibaca [6]. Sebuah pemalsuan tanda tangan mereplikasi tanda tangan asli oleh pemalsu setelah praktek hati-hati. Jenis pemalsuan ini disebut pemalsuan terampil yang memperkuat tugas verifikasi tanda tangan. Dua jenis lainnya adalah pemalsuan acak di mana

pemalsu tidak mengetahui bentuk tanda tangan asli, dan pemalsuan sederhana dimana pemalsu mengetahui bentuk tanda tangan asli namun tidak cukup praktek untuk meningkatkan nilai kemiripan antara tanda tangan palsu dan asli.



Gambar 1. Contoh tanda tangan tulisan tangan untuk membuktikan identitas pengguna pada cek perbankan. Otentikasi tanda tangan ini adalah proses kunci untuk memberi pengguna akses ke rekening banknya.

Sistem verifikasi otomatis yang mengotentikasi tanda tangan seseorang dapat dikategorikan menjadi dua jenis, sistem online (dinamis) dan sistem offline (statis) [6, 7]. Dalam sistem online, data dinamis dapat diperoleh dari tampilan pengguna online seperti tablet elektronik dengan pena yang diinstruksikan dan dalam hal ini, inputnya adalah urutan fitur dinamis tentang aktivitas menulis pengguna seperti

Penulis koresponden: walid.hussein@bue.edu.eg

tekanan yang diberikan, kecepatan penulisan, dll. Sedangkan pada sistem offline, tanda tangan ditulis dalam kertas yang diolah menjadi gambar dua dimensi dan telah diubah ke dalam sistem dengan bantuan scanner atau kamera [8, 9]. Arsitektur verifikasi tanda tangan biasanya dimulai dengan mengekstrak fitur tanda tangan asli diikuti dengan klasifikasi sekumpulan tanda tangan uji asli dan terampil. Fitur offline dapat dikategorikan sebagai fitur Global dan lokal, fitur Global mendeskripsikan citra secara keseluruhan ukuran citra, sedangkan fitur lokal biasanya diekstraksi dengan cara mempartisi citra ke dalam grid dan mengekstraksi fitur di setiap bagiannya [10, 11]. Akhir-akhir ini, Poin menarik dipilih menggunakan SIFT (Scale-Invariant Feature transform) [SIFT] dan/atau SURF (Speed-up Robust Features) [SURF] untuk melakukan tugas verifikasi tanda tangan [12, 13]. Model-model ini mengekstraksi interest point di setiap gambar, lalu mengekstrak fitur/deskriptor untuk setiap interest point untuk memverifikasi pencocokan antara tanda tangan. Keakuratan solusi dari metode ini tergantung pada jumlah kecocokan tanda tangan asli dengan tanda tangan asli dan palsu lainnya [14, 15].

Pekerjaan yang diusulkan dalam makalah ini menggunakan pendekatan yang berbeda dalam memanfaatkan ekstraktor SIFT/SURF, di mana pencocokan bergantung pada penjumlahan jarak Euclidian antara interest point pada dua citra. Karya yang diterapkan di sini didasarkan pada basis data tanda tangan palsu asli dan terampil offline yang diekstraksi dalam karya di [16] dan di [17]. Hasilnya menunjukkan akurasi klasifikasi 95% yang lebih tinggi dari penelitian saat ini.

Sisa dari makalah ini disusun sebagai berikut: Bagian 2 menyajikan pekerjaan sebelumnya tentang penerapan alat pembelajaran mesin untuk melakukan tugas verifikasi tanda tangan. Bagian 3 menjelaskan pendekatan yang diusulkan, sedangkan pekerjaan eksperimental dan diskusi muncul di bagian 4 dan akhirnya kesimpulannya ada di bagian 5.

2. Bahan-bahan dan metode-metode

Citra tanda tangan pada awalnya diproses terlebih dahulu untuk memudahkan pekerjaan teknik ekstraktor fitur. Preprocessing meliputi pemotongan area tanda tangan, penghilangan noise, banalisasi gambar berwarna menjadi skala abu-abu dan akhirnya deteksi tepi atau perataan garis tanda tangan. Fitur dikategorikan menjadi dua jenis, fitur global dan grid. Fitur global menentukan seluruh struktur tanda tangan seperti tinggi, rasio tinggi-lebar, dan proyeksi gambar. Proyeksi horizontal dan vertikal maksimum mewakili baris dan kolom yang masing-masing berisi jumlah maksimum piksel hitam. Jenis fitur kedua adalah fitur kisi di mana kisi virtual dibuat dari segmen 12x8 untuk menggambarkan detail bagian gambar. Kepadatan piksel, distribusi piksel, Pelatihan diterapkan pada satu set tanda tangan asli menggunakan metode perhitungan jarak sederhana atau teknik pembelajaran mesin yang kompleks. Pendekatan ini dianggap sebagai metode unik yang mengekstrak banyak fitur yang memiliki fitur global seperti statistik

fitur, gradien gambar berasal dari distribusi piksel dalam gambar tanda tangan dan deskriptor, klasifikasi berisi variasi antara tanda tangan dari pengguna yang sama dan dilakukan distribusi dalam ruang jarak. Untuk setiap tanda tangan yang diuji, metode memperoleh distribusi yang dibandingkan dengan distribusi yang disimpan dan kesamaan di antara keduanya diperoleh. Metode ini tidak memanfaatkan kumpulan tanda tangan palsu dalam pelatihan. Pendekatan ini memanfaatkan pusat geometris untuk ekstraksi fitur. Pusat ini mendapatkan tanda tangan horizontal dan vertikal. Klasifikasi dan deskripsi dilakukan dengan pengklasifikasi Euclidean yang mendefinisikan vektor antara dua tanda tangan. Metode ini diuji dengan database 20 penulis, 10 tanda tangan asli dan 10 tanda tangan palsu. Metode ini mencapai 11,4% AER. Penggunaan teknik machine learning yang kompleks seperti model Hidden Markov, support vector machine dan neural network menunjukkan hasil yang lebih baik dalam domain verifikasi tanda tangan tulisan tangan. Akhir-akhir ini, detektor dan ekstraktor SIFT dan SURF menunjukkan hasil yang lebih baik di bidang verifikasi tanda tangan offline.

2.1 Algoritma SIFT/SURF

Scale Invariant Feature Transform (SIFT) adalah pendekatan yang ampuh dan sukses untuk melakukan deteksi fitur. Speeded Up Robust Features (SURF) didasarkan pada langkah dan prinsip yang sama tetapi menggunakan skema yang berbeda dan memberikan hasil yang lebih baik dan lebih cepat. Algoritma SURF dibagi menjadi dua langkah utama: pertama, interest point terdeteksi. Kedua, deskripsi interest point dilakukan. Kedua langkah ini bergantung pada representasi ruang skala.

Algoritma SIFT: SIFT Menghasilkan gambar, gambar lain 1/2, 1/4 dan 1/8 dari ukuran aslinya. Kemudian untuk setiap citra menerapkan operator Gaussian blur pada citra fungsi intensitas $I(x,y)$ seperti pada persamaan 1.

$$I(x,y) = \frac{1}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Persamaan 1 diterapkan untuk skala yang berbeda untuk semua gambar

dan $n = 0, 1, 2, 3, 4$. Kemudian terapkan lablacian dari pendekatan Gaussian, DOG, untuk setiap dua lapisan berurutan di setiap oktaf seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.

$$DoG(x,y) = I(x,y) - L(x,y,kn) \quad (2)$$

Kemudian ekstrak titik minat potensial, dengan mendeteksi ekstrem lokal untuk setiap titik di jendela lingkungan 3x3x3. Hapus semua poin yang lebih kecil dari ambang tertentu, dan terima hanya poin yang cocok dengan sudut Harris. Terakhir, untuk setiap tempat menarik, 128 deskriptor diekstraksi. Ini menunjukkan orientasi dan besarnya kisi-kisi 4x4 yang mengelilingi titik minat di delapan wilayah bersudut 45.

Algoritma SURF: Sementara itu, SURF mengecualikan langkah pembuatan gambar yang berbeda dalam pemrosesannya. Ini menggunakan matriks Hessian yang menyatakan perubahan lokal luas setiap titik dalam arah x dan y seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.

$$H(p, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(p, \sigma) & L_{xy}(p, \sigma) \\ L_{xy}(p, \sigma) & L_{yy}(p, \sigma) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dimana, L_{xx} -- -- -- --
turunan kedua dari Gaussian seperti yang ditampilkan dalam persamaan 4.

$$L_{xx}(p, \sigma) = I(p) * \frac{\partial^2 g(\sigma)}{\partial x^2} \quad (4)$$

! - " -- # - - # - - - - #
untuk membentuk gambar skala ruang. Setelah itu, berdasarkan penjumlahan dari respon wavelet Haar, bangun jendela persegi yang berpusat di sekitar titik perhatian. Ini adalah untuk memilih orientasi dominan dari interest point (x,y) respon Haar-wavelet berbobot (dx,dy). Hal ini memungkinkan s\$-- &*+ - orientasi yang dipilih, dari 8 wilayah di SIFT. 4 nilai orientasi dx,dy dan magnitudo |dx|, |dy| dari setiap titik (x,y) dipertimbangkan untuk kisi-kisi 4x4 di jendela 16x16 di sekitar titik minat, yang akan membentuk, 4x4x4, 64 vektor deskriptor untuk setiap fitur.

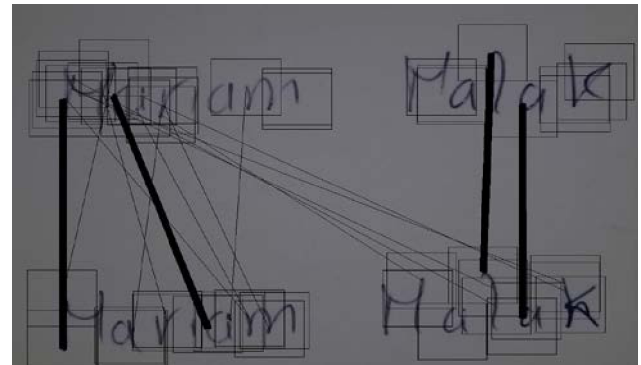
3 Model verifikasi tanda tangan yang diusulkan

Langkah pertama dalam sistem verifikasi yang diusulkan adalah pra-pemrosesan citra. Pada langkah pra-pemrosesan gambar, gambar tanda tangan pelatihan dan pengujian dilewatkan ke langkah ini. Tujuan utama dari fase ini adalah membuat citra tanda tangan siap untuk diekstraksi fitur. Fase preprocessing meliputi konversi skala abu-abu dan binarisasi.

Gambar diubah menjadi skala abu-abu: Gambar biner diubah menjadi skala abu-abu untuk mempermudah proses dan ekstraksi fitur lebih akurat.

Binarisasi gambar: Pada langkah ini, gambar skala abu-abu diubah menjadi gambar hitam putih menggunakan ambang batas yang masuk akal. Ini akan membuat tanda tangan lebih jelas karena akan berwarna hitam dan latar belakang akan berwarna putih. Pemfilteran ambang batas dianggap sebagai cara paling sederhana untuk membuat biner gambar. Threshold filtering melakukan binarisasi citra dengan menggunakan nilai threshold tertentu dan usus piksel citra. Semua piksel pada citra tanda tangan dengan usus sama semua lebih tinggi dari nilai ambang batas yang ditentukan akan diubah menjadi putih sebaliknya, semua piksel dengan intensitas lebih rendah dari nilai ambang batas akan diubah menjadi hitam yang akan membuat gambar tanda tangan menjadi hitam putih. Filter menerima gambar skala abu-abu untuk diproses, dan nilai ambang optimal berbeda dari gambar ke gambar dan diperoleh setelah penyelidikan mendalam dari gambar yang dilatih. Langkah selanjutnya adalah menerapkan metode ekstraksi fitur SURF/SIFT seperti yang dijelaskan di atas. Langkah terakhir adalah metode verifikasi/ pencocokan. Ini dilakukan dengan menghitung jarak Euclidean antara deskriptor. Untuk setiap titik kunci dalam deskriptor pada gambar asli, dua tetangga tertutup dihitung dan jarak akan diambil untuk mencocokkan antara keduanya dan menemukan kesamaan. Pencocokan masing-masing dua tanda tangan adalah

diterapkan berdasarkan jumlah poin kunci di masing-masing seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pencocokan fitur antara dua asli gambar tanda tangan

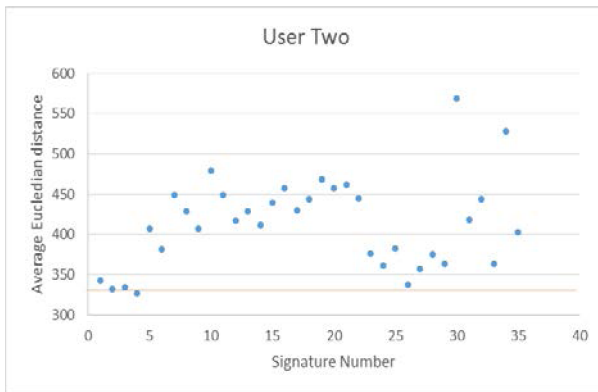
4 Hasil Eksperimen

4.1 Akurasi model yang diusulkan

Model yang diusulkan diterapkan pada dua dataset benchmark yang tersedia di [16] dan [17]. Untuk dataset pertama [16], hasil pada gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa, 4 poin pertama adalah pencocokan asli-asli, sedangkan titik-titik lainnya adalah pencocokan asli-palsu. Dalam pengujian ini, 30 tanda tangan palsu diuji verifikasi tanda tangan pengguna satu dan pengguna dua. Ambang batas yang ditentukan di sini diterapkan sebagai dua titik dari empat yang memiliki jarak Euclidian terendah. Dengan demikian, hasil menunjukkan akurasi klasifikasi hampir 85% untuk membuktikan pemalsuan pengguna satu dan akurasi klasifikasi 92% untuk pengguna dua, seperti yang ditampilkan pada gambar 3 dan gambar 4; masing-masing. Perhatikan bahwa hasil ini didasarkan pada nilai jarak Euclidian, bukan berdasarkan jumlah pencocokan.



Gambar 3. Tanda tangan Asli-Asli vs Asli-Dipalsukan untuk pengguna.



Gambar 4. Tanda tangan Asli-Asli vs Asli-Dipalsukan untuk pengguna dua.

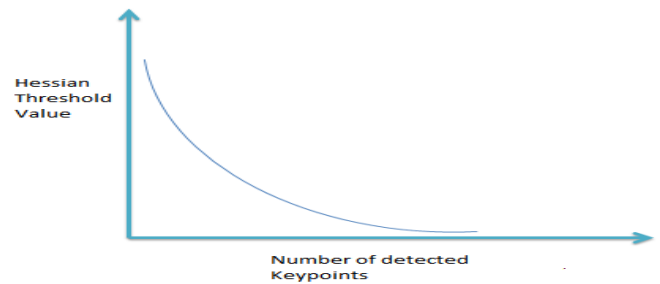
Tes yang sama diterapkan pada dataset kedua [17], tetapi diterapkan dengan membandingkan antara dua tanda tangan asli pertama dan antara tanda tangan asli pertama dan 3 tanda tangan palsu lainnya, hasilnya adalah akurasi verifikasi 100% dari tanda tangan palsu.

4.2 Investigasi parametrik model

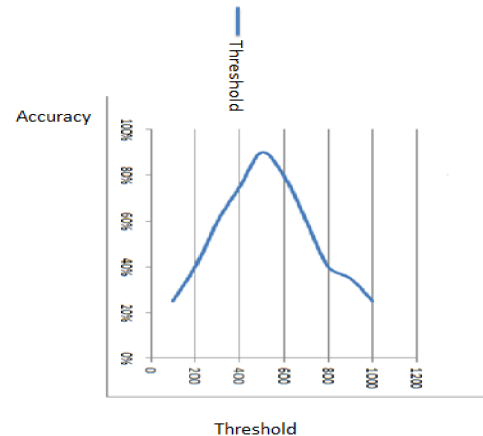
Studi parametrik diterapkan dalam pekerjaan ini dengan mengubah nilai ambang batas pada detektor SURF. Detektor SURF bergantung pada matriks Hessian untuk menemukan semua titik minat pada gambar tertentu. SURF membagi gambar tanda tangan menjadi menggunakan kernel Gaussian urutan kedua dan menghitung kernel ini dengan filter kotak. Fungsi utama di library EmguCV adalah untuk mendeteksi interest point menggunakan SURF dengan nilai ambang Hessian. Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai terbaik untuk ambang goni bisa dari 300 hingga 500.

Detektor SURF mempertimbangkan fitur-fitur tersebut dalam gambar tanda tangan yang goninya lebih besar dari ambang goni yang ditentukan. Oleh karena itu, semakin tinggi nilai ambang yang ditentukan, semakin sedikit titik kunci dalam gambar yang akan diambil oleh detektor tetapi dengan akurasi yang lebih tinggi. Ambang batas yang ditentukan rendah, titik kunci tinggi akan diambil. Ketika ambang Hessian adalah 500, poin kunci adalah 329 dan ketika 100, poin kunci adalah 1004. Poin kunci 1004 berarti banyak poin kunci yang tidak perlu diekstraksi dari fitur, banyak perhitungan akan dilakukan yang akan meningkatkan waktu komputasi algoritma dan ekstraksi fitur tidak akan akurat. Oleh karena itu, setelah menguji beberapa tanda tangan dengan nilai ambang goni yang berbeda, nilai terbaik untuk ambang goni bisa dari 300 hingga 500.

Bagan di bawah ini pada gambar 5 menunjukkan hubungan antara nilai ambang goni dengan akurasi dan jumlah titik yang terdeteksi. Oleh karena itu, hubungan antara nilai ambang goni dan jumlah titik kepentingan berbanding terbalik. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, nilai ambang goni yang lebih tinggi akan menghasilkan poin kunci yang lebih sedikit dan ambang goni yang lebih rendah akan menghasilkan poin kunci yang lebih banyak.



Gambar 5. Hubungan antara nilai ambang goni dan Jumlah poin bunga.



Gambar 6. Hubungan antara nilai ambang goni dan Akurasi detektor SURF.

Seperti yang ditunjukkan pada gbr.6, setelah menguji beberapa tanda tangan dengan nilai ambang goni yang berbeda menunjukkan bahwa akurasi terbaik dari perangkat lunak adalah ketika nilai ambang goni antara 300 dan 500. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 di atas, nilai ambang goni yang lebih tinggi akurasi tinggi dan lebih rendah nilai ambang akurasi rendah hingga 500 setelah ambang goni; nilai yang lebih besar dari 500, memberikan lebih sedikit titik yang terdeteksi pada gambar tanda tangan yang akan membuat akurasi perangkat lunak kurang sehingga nilai ambang goni terbaik adalah 500.

5. Kesimpulan

Meskipun keberadaan alat verifikasi tanda tangan otomatis diperlukan, namun belum diterapkan di sebagian besar lembaga keuangan. Alasannya adalah sebagian besar alat yang tersedia saat ini bekerja dengan akurasi ca tertinggi. 80%, yang membuat mereka tidak dapat diandalkan dalam tugas verifikasi. Selama bertahun-tahun, para peneliti mencoba mengembangkan alat verifikasi tanda tangan yang lebih kuat menggunakan kemajuan dalam algoritme pemrosesan gambar.

Tujuan utama dari pekerjaan ini adalah untuk menawarkan sistem verifikasi tanda tangan tulisan tangan offline yang ekonomis dan efisien, untuk mencapai tujuan tersebut beberapa metode telah ditinjau dan algoritma fitur selancar digunakan dalam makalah ini sebagai deskriptor gambar yang kuat. Database tanda tangan dikumpulkan dan disimpan berisi tanda tangan penulis terkenal. Model yang diusulkan berhasil memverifikasi tanda tangan pengguna dengan a

akurasi terendah 85%, menunjukkan penerapannya yang menjanjikan dan memberikan ruang untuk lebih banyak perbaikan untuk diteliti dan diselidiki.

Pekerjaan masa depan dari studi ini adalah untuk meningkatkan langkah ekstraksi fitur dari algoritma dengan mengadopsi fitur yang terkait dengan korelasi silang, dan energi tanda tangan dan kemiringan. Terakhir, alat ekstraksi fitur otomatis dapat dikembangkan untuk memprediksi fitur yang relevan, yang menentukan setiap tanda tangan dan mengurangi upaya verifikasi.

Referensi

1. J. Chambers, W. Yan, A. Garhwal, dan M. Kankanhalli (2015) Keamanan mata uang dan forensik: sebuah survei, *Multimed Tools Appl* vol. 74, hlm. 4013-4043.
2. Bhanu Priya Taneja, Navdeep Kaur, (2015) Sistem Biometrik Berdasarkan Tanda Tangan Off-Line, *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 4(5), Mei 2015.
3. Maykin Warasart dan Pramote Kuacharoen (2012) Otentikasi Dokumen Berbasis Kertas Menggunakan Tanda Tangan Digital dan Kode QR, 2012 Konferensi Internasional ke-4 tentang Teknik dan Teknologi Komputer (ICCET 2012).
4. Vijaypal Singh Dhaka, Mukta Rao, Manu Pratap Singh (2009) Verifikasi Tanda Tangan pada Cek Bank Menggunakan Hopfield Neural Network, *KARPAGAM Journal of Computer Science*, vol 3(4).
5. < > ? XZ - \ (2014) Mendeteksi tanda tangan tulisan tangan dalam dokumen pindaian, *Lokakarya Musim Dingin Computer Vision* ke-19, Krtiny, Republik Ceko, 3-5 Februari 2014.
6. Biswajit Halder, Rajkumar Darbar, Utpal Garain, Abhoy Ch. Mondal (2014) Analisis Fluorescent Paper Pulp untuk Mendeteksi Uang Kertas India Palsu, *Keamanan Sistem Informasi, Seri Catatan Kuliah Ilmu Komputer*, vol. 8880, hlm 411-424.
7. Jain, UA; Patil, NN (2014) Studi banding berbagai metode verifikasi tanda tangan offline, dalam *Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT)*, Konferensi Internasional 2014, pp.760-764, 7-8 Feb. 2014.
8. Anu Rathi, Divya Rathi, Parmanand Astya (2012) Verifikasi Tanda Tangan Tulisan Tangan Secara Offline Dengan Menggunakan Metode Pixel Based, *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 1(7), September - 2012.
9. Saroj Ramadas, Geethu PC (2015) Studi Banding Pada Skema Verifikasi Tanda Tangan Tulisan Tangan Offline, *International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology (IJARTET)*, vol. 2(10), Maret 2015.
10. Karrar Neamah, Dzulkifli Mohamad, Tanzila Saba, Amjad Rehman (2014) Diskriminatif Fitur Penambangan untuk Verifikasi Tanda Tangan Tulisan Tangan Offline, 3D Res (2014) 5:2
11. Roy, Sayantan, Maheshkar Sushila (2014) Verifikasi Tanda Tangan Offline Menggunakan Pendekatan Berbasis Grid dan Berbasis Centroid, *Jurnal Internasional Aplikasi Komputer*, vol. 86(8), hlm. 0975-8887, Januari 2014.
12. Javier Ruiz-del-Solar, Christ Devia, Patricio Loncomilla, Felipe Concha (2012) Verifikasi Tanda Tangan Offline Menggunakan Titik Minat Lokal dan Deskriptor, *Kemajuan dalam Pengenalan Pola, Analisis Gambar dan Aplikasi*, dari rangkaian Catatan Kuliah Ilmu Komputer, vol . 5197, hlm. 22-29.
13. Malik, MI; Liwicki, M.; Dengel, A.; Uchida, S.; Frinken, V. (2014) Analisis dan Verifikasi Stabilitas Tanda Tangan Otomatis Menggunakan Fitur Lokal, dalam *Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR)*, Konferensi Internasional ke-14 2014, hlm. 621-626, 1-4 September 2014.
14. Rajpal Kaur, Pooja Choudhary (2015) Verifikasi Tanda Tangan Offline di Punjabi berdasarkan Fitur SURF dan Pencocokan Titik Kritis menggunakan HMM, *Jurnal Internasional Aplikasi Komputer*, vol. 111(16), hlm. 0975-8887, Februari 2015.
15. J. Ruiz-Shulchopper dan WG Kropatsch (2008) Verifikasi Tanda Tangan Menggunakan Poin dan Deskriptor Minat Lokal, *CIARP 2008, LNCS 5197*, hlm. 22-29, 2008.
16. Javier Galbally, Moises Diaz-Cabrera, Miguel A. Ferrer, Marta Gomez-Barrero, Aythami Morales, Julian Fierrez (2015) Pengenalan tanda tangan online melalui kombinasi data dinamis nyata dan data statis yang dihasilkan secara sintetik, *Pengenalan Pola*, vol. 48(9), September 2015, hlm. 2921-2934.
17. Marcus Liwicki, Michael Blumenstein, Elisa van den Heuvel, Charles EH Berger, Reinoud D. Stoel, Bryan Found, Xiaohong Chen, Muhammad Imran Malik (2011) SigComp11: Kompetisi Verifikasi Tanda Tangan untuk Pemalsuan Terampil On dan Offline, dalam *prosiding Int.11 Konferensi tentang Analisis dan Pengakuan Dokumen*.