

Penerapan Jaringan Syaraf Berbobot Tiga untuk Identifikasi Pembuat Tulisan Tangan

Samsuryadi¹ dan Siti Mariyam Shamsuddin²

¹Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya, Indonesia

²Soft Computing Research Group (SCRG), Universiti Teknologi Malaysia

e-mail: ¹syamsuryadi@unsri.ac.id dan ²mariyam@utm.my

Abstrak

Tulisan tangan seseorang dapat dijadikan perantara untuk mengetahui identitas pembuatnya. Untuk mengetahui identitas personal ini memerlukan proses pembangkitan penciri dari seseorang tersebut melalui tahap ekstraksi ciri pada setiap kata tulisan tangan seseorang. Metode ekstraksi ciri yang digunakan adalah Zernike aspect moment invariants (ZAMI) sedangkan metode pelatihan dan pengenalan menggunakan Jaringan Syaraf Bobot Tiga (JSBT). Hasil ekstraksi ciri dari setiap tulisan tangan seorang dilakukan pelatihan menggunakan Prinsip Kontinuitas Homogen (PKH) sebagai dasar pengetahuan awal terhadap sampel tersebut. Tujuan artikel ini adalah menentukan kepemilikan tulisan tangan yang sah berdasarkan teks bebas menggunakan JSBT. Hasil eksperimen memperlihatkan bahwa kinerja model yang digunakan mencapai 98% dengan menggunakan berbagai variasi sampel uji dan latih.

Kata kunci: Jaringan Syaraf Bobot Tiga, tulisan tangan, Prinsip Kontinuitas Homogen, pengetahuan awal, teks bebas.

Abstract

Personal handwriting could be refereed to know the identity of his/her writer. To know the identity of person needed process of features generating a person from feature extraction stage based on personal word handwriting. Feature extraction method was used Zernike aspect moment invariants (ZAMI) meanwhile training and testing used Three Weight Neuron Networks (TWNN). The results of feature extraction personal handwritings were trained using the principle of homology-continuity (PHC) as fundamental the prior knowledge of samples. The aim of paper was to determine authorship of handwriting based text-independent using TWNN. Experiment results showed that the model performance achieved 98% for varies of testing and learning samples.

Keywords: Three Weight Neuron Networks, handwriting, principle of homology-continuity, prior knowledge, text-independent.

1. Pendahuluan

Penelitian penentuan kepemilikan tulisan tangan yang sah berkembang dengan pesat semenjak perkembangan komputer forensik dan sebagai pendukung pakar pembaca tulisan (*graphologist*). Selama ini, banyak penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi penulis berdasarkan tulisan tangan dengan teks bebas menggunakan

pendekatan pencocokan *template*, Jaringan Syaraf Tiruan (JST) bobot tunggal dan Pengenalan Pola Statistik (PPS). Pendekatan ini memfokuskan pada "klasifikasi" atau "pemisahan" terhadap kelompok sampel pelatihan dan tidak menggunakan pengetahuan awal (*prior knowledge*) antara kelompok sampel sejenis. Oleh karena itu, JST bobot tunggal dan PPS memiliki kelemahan sebagai berikut ini.

Pertama, kedua metode di atas memiliki nilai akurasi rendah terhadap sampel belum terlatih. Sistem identifikasi pembuat tulisan tangan klasik menggunakan pelatihan terhadap berbagai jenis sampel tulisan tangan untuk memisahkan berbagai jenis sampel [1,2]. Bila terdapat sampel tulisan tangan tidak terlatih, maka sistem tetap akan dapat membagi sampel tersebut menjadi suatu sub kelompok sekalipun hasil identifikasinya tidak akurat.

Kedua, berdasarkan Prinsip Pemisahan Optimal (PPO) pada JST dan PPS klasik, bila ada sampel baru ditambahkan ke suatu sistem identifikasi tulisan, maka seluruh sampel harus dilatih ulang. Pengulangan pelatihan ini dapat memperlama waktu pelatihan, sehingga sistem tersebut kurang sesuai untuk sampel yang berukuran besar.

Sementara itu terdapat metode baru yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi pemilik tulisan tangan menggunakan kognisi atau pengetahuan berdasarkan Prinsip Kontinuitas Homogen (PKH) dan Pengenalan Pola Biomimetik. Samsuryadi dan Shamsuddin (2011), dan Samsuryadi (2013) telah mengembangkan identifikasi tulisan tangan dengan teks bebas menggunakan jaringan syaraf bobot ganda (*double weight neuron networks*) dan bobot tiga (*three weight neuron networks*) [3,4].

Artikel ini menggunakan Jaringan syaraf bobot tiga (JSBT) dengan sudut pandang pendekatan Pengenalan Pola Biomimetik (PPB) dan ekstraksi ciri *Zernike aspect moment invariants* (ZAMI) untuk menentukan kepemilikan suatu citra kata tulisan tangan seseorang. Akurasi hasil identifikasi diperoleh mencapai lebih dari 98% dengan menggunakan berbagai sampel latihan dan sampel uji.

Selanjutnya, artikel ini dibahas menggunakan sistematika sebagai berikut: pembahasan konsep PPB secara ringkas pada bagian 2, menyajikan metode ZAMI untuk mengekstraksi ciri tulisan tangan pada bagian 3 dan deskripsi model identifikasi pembuat tulisan tangan berdasarkan PPB pada bagian 4. Bagian 5 memaparkan hasil-hasil eksperimen dan pembahasan, serta bagian 6 memuat simpulan hasil penelitian dan rekomendasi penelitian selanjutnya.

2. Pengenalan Pola Biomimetik (PPB)

Pengenalan Pola Biomimetik (PPB) memakai kognisi atau pengetahuan sebagai pengganti dari klasifikasi pada pengenalan pola statistik [5]. Pengenalan Pola Statistik (PPS) menganggap semua informasi terdapat pada kumpulan sampel. Setiap sampel terpisah dan tidak memiliki relasi satu sama lainnya. Sebaliknya, PPB beranggapan bahwa dua objek pada suatu sampel sama memiliki kelas yang sama. Terdapat sekurang-kurangnya satu perubahan secara bertahap pada kedua objek tersebut dan semua objek dalam perubahan ini termuat pada kelas sama [6]. Oleh karena itu, tujuan PPB adalah pelingkup sampel terbaik pada ruang ciri sebagai pengganti pemisahan terbaik dalam PPS.

Selain itu, PPB memiliki suatu prinsip dasar pada ruang ciri, yaitu: bila dua sampel berkelas sama tidak eksak sama, maka perbedaan antara keduanya harus

berubah secara bertahap. Barisan perubahan bertahap harus ada antara kedua sampel tersebut, dan setiap sampel dalam barisan tersebut memiliki kelas sama. Proses perlakuan ciri ini harus dipetakan secara kontinu (berkelanjutan). Prinsip kontinuitas antar sampel sejenis pada ruang ciri ini dinamakan Prinsip Berkelanjutan Homogen [7,8].

Prinsip Kontinuitas Homogen (PKH) dapat digambarkan secara matematis sebagai berikut. Misalkan A merupakan suatu kumpulan sampel sejenis pada kelas A . Bila x dan y adalah dua titik termuat pada A dan terdapat bilangan kecil ($\varepsilon > 0$), maka B memenuhi Persamaan (1),

$$B = \{x_1 = x, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n = y \mid \rho(x_m, x_{m+1}) < \varepsilon, \forall m \in [1, n-1], m \in N\} \subset A \quad (1)$$

Dimana $\rho(x_m, x_{m+1})$ adalah jarak antara x_m dan x_{m+1} pada suatu ruang ciri. Persamaan (1) adalah suatu pengetahuan awal dari distribusi sampel pada PPB dan setiap sampel homogen pada kelas A harus terdistribusi pada daerah terhubung pada ruang ciri tersebut.

Pada PPB, sub ruang sampel dari setiap jenis sampel dibentuk hanya berdasarkan pada jenis sampel itu sendiri [9]. Lagi pula, pembentukan sub ruang dari suatu jenis sampel tertentu tergantung pada analisis relasi antar jenis sampel latih dan penggunaan metode dari pelingkupan objek dengan bentuk geometrik yang kompleks pada ruang multi-dimensi [10].

3. Ekstraksi Ciri Tulisan Tangan

Proses identifikasi kepemilikan tulisan tangan memerlukan vektor ciri yang didapatkan dari tahapan ekstraksi ciri. Ekstraksi ciri memegang peranan penting dalam mempresentasikan ciri-ciri dari citra kata tulisan tangan. Untuk mendapatkan karakteristik ciri citra yang berkualitas dan sesuai kebutuhan, maka artikel ini menggunakan metode ekstraksi ciri *Zernike Aspect Moment Invariant* (ZAMI).

ZAMI merupakan perpaduan ekstraksi ciri dari *Zernike Moment Invariant* (ZMI) dan *Aspect Moment Invariant* (AsMI) yang diintegrasikan oleh Bakar pada tahun 2011 [11] sehingga faktor standar (η_{pq}) pada ZMI Persamaan (2), menggunakan *Geometrical Moment Invariants* (GMI) [12] pada Persamaan (3), diubah dengan faktor skala aspek [13] pada Persamaan (4).

$$\begin{aligned} ZM_1 &= \frac{3}{\pi} [2(\eta_{20} + \eta_{02} - \eta_{00})], \\ ZM_2 &= \frac{9}{\pi^2} [(\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2], \\ ZM_3 &= \frac{16}{\pi^2} [(\eta_{03} - 3\eta_{21})^2 + (\eta_{30} - 3\eta_{12}^2)], \\ ZM_4 &= \frac{144}{\pi^2} [(\eta_{03} - 3\eta_{21})^2 + (\eta_{30} + \eta_{12})^2], \\ ZM_5 &= \frac{13824}{\pi^4} \{(\eta_{03} - 3\eta_{21})(\eta_{03} + \eta_{21}) [(\eta_{03} + \eta_{21})^2 - 3(\eta_{30} + \eta_{12})^2] - \\ &\quad (\eta_{03} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{03} + \eta_{21})^2]\}, \end{aligned}$$

$$ZM_6 = \frac{864}{\pi^3} \{ (\eta_{02} - \eta_{20}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{03} + \eta_{21})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{03} + \eta_{21})(\eta_{30} + \eta_{12}) \} \quad (2)$$

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{(\mu_{00})^{(p+q+2)/2}}, \quad (3)$$

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{00}^{\frac{p+q+1}{2}}}{\mu_{20}^{\frac{p+1}{2}} \mu_{02}^{\frac{q+1}{2}}} \mu_{pq}. \quad (4)$$

Berdasarkan Persamaan (2) di atas, diketahui bahwa ZAMI mempunyai karakteristik rotasi dan citra berskala tidak sama (*unequaled scaling images*) dengan enam ciri seperti *Zernike moment*. Hasil sampel ekstraksi cirri citra kata “been” seorang penulis diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Sampel Hasil Ekstraksi Ciri Kata “been” dari dua Penulis dengan ZAMI

Ciri	<i>been</i>	<i>been</i>
f ₁	0,63777330261983	0,449513312942748
f ₂	0,93555166900087	0,627894198877834
f ₃	2,18836888649497	1,871058718933294
f ₄	3,26899123819969	5,865980413818833
f ₅	6,81649426558917	7,158517346043996
f ₆	4,62195359571808	4,166695007848163

4. Identifikasi Pembuat Tulisan Tangan

Pada bagian ini membahas pemodelan sistem identifikasi pembuat tulisan tangan menggunakan pengenalan pola biomimetik (PPB), pelatihan sampel dan identifikasi sampel.

4.1 Pemodelan Identifikasi Penulis

Artikel ini membahas identifikasi penulis berdasarkan citra kata tulisan tangan menggunakan teks bebas. Penggunaan teks bebas tidak memerlukan citra kata tulisan tangan yang sama tetapi ekstraksi ciri citra tulisan tangan mempertimbangkan perbedaan tekstur [14].

Dewasa ini, banyak penelitian identifikasi penulis menggunakan model keputusan statistik, seperti: *Bayesian Classifier* [15], *GMM* [16], *SVM Classifier* [1,2], dan *HMM* [17, 18]. Klasifikasi pengenalan pola ini digunakan untuk menentukan pola tanpa menggunakan pengetahuan awal terhadap relasi antara sampel pada kelas sama. Berbeda halnya manusia dalam mengenali objek menggunakan keumuman antara objek pada kelas sama tersebut. Hal ini dilakukan dengan asumsi bahwa titik sampel pada kelas sama dalam ruang ciri kontinu dan karakternya dapat terkenali. Oleh karena itu, pengenalan suatu kelas objek tertentu adalah penting, analisis dan kognisi bentuk kumpulan titik terbatas ditentukan oleh seluruh objek dalam ruang cirri tersebut.

Sementara itu, citra kata tulisan tangan seseorang memiliki variasi tegak lurus dan miring. Variasi citra kata tulisan tangan dibentuk oleh pemetaan tulisan tangan pada ruang dimensi tinggi secara kontinu. Situasi ini mengikuti perinsip kontinuitas PPB bahwa keseluruhan sampel berkategori sama berada dalam ruang ciri [8].

Asumsikan suatu kumpulan sampel pelatihan dari tulisan tangan seseorang, yaitu $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, dengan $S_i = (S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{id})$, dimana $i = 1, 2, \dots, n$, n adalah jumlah sampel pelatihan, dan d adalah jumlah citra kata tulisan tangan. Selanjutnya, hasil perhitungan jarak dari seluruh pelatihan sampel tulisan tangan dinyatakan dengan Persamaan (5).

$$\rho = \{\rho(S_1, S_2), \rho(S_1, S_3), \dots, \rho(S_1, S_n), \rho(S_2, S_3), \dots, \rho(S_{n-1}, S_n)\}. \quad (5)$$

Dimana ρ adalah koleksi seluruh jarak pada sampel pelatihan (S), dan $\rho(S_1, S_2)$ adalah jarak antara S_1 dan S_2 , dan seterusnya.

4.1.1 Pembentukan Jaringan Syaraf Bobot Tiga (JSBT)

Proses pembentukan JSBT didasari oleh Persamaan (5) dengan langkah sebagai berikut.

Langkah 1: menentukan dua sampel dari S dengan jarak terkecil, selanjutnya diberi label P_{11} dan P_{12} ;

Langkah 2: menentukan P_{13} didasarkan pada sampel terkini dari kumpulan sampel yang memiliki jarak terkecil ke P_{11} dan P_{12} . Aturan penentuan P_{13} dinyatakan pada Persamaan (6).

$$\sum_{i=1}^2 \rho(P_{13}, P_{1i}) = \min_{P_t \in u} \sum_{i=1}^2 \rho(P_t, P_{1i}), u = S - \{P_{11}, P_{12}\}. \quad (6)$$

Akhir langkah ini diperoleh JSBT pertama yang dinyatakan dengan T_1 dan kumpulan titiknya adalah $V_1 = \{P_{11}, P_{12}, P_{13}\}$. Selanjutnya membentuk suatu bangun geometrik kompleks (T_1) dan jangkauan khususnya adalah:

$$T_1 = \{X | \rho(X, \theta_1) \leq Th\}, X \in R^d, \quad (7)$$

$$\theta_1 = \{Y | Y = \alpha_2(\alpha_1 T_{11} + (1 - \alpha_1) T_{12}) + (1 - \alpha_2) T_{13}, \alpha_1 \in [0, 1], \alpha_2 \in [0, 1]\}. \quad (8)$$

Dengan $\rho(X, \theta_1)$ merupakan jarak antara titik X dan unit pelingkup θ_1 , dan Th adalah nilai ambang tertentu.

Langkah selanjutnya adalah merumuskan syaraf berikutnya untuk membentuk sebanyak $(n-2)$ syaraf. Proses selanjutnya menemukan P_{k1} dari sampel terkini pada kumpulan triple bobot (Tri). Menentukan P_{k1} menggunakan Persamaan (9).

$$\sum_{i=1}^3 \rho(P_{k,1}, P_{k-1,i}) = \min_{P_t \in u_k} \sum_{i=1}^3 \rho(P_t, P_{k-1,i}), u_k = S - \bigcup_{j=1}^{k-1} Tri_j. \quad (9)$$

Hasil akhir yang didapat berdasarkan Persamaan (9) dinyatakan dengan $Tri_{k-1} = \{P_{k2}, P_{k3}, P_{k4}\}$ dan penentuan Tri_k , menggunakan Persamaan (10).

$$\rho(P_{k1}, P_{k2}) \leq \rho(P_{k1}, P_{k3}) \leq \rho(P_{k1}, P_{k4}). \tag{10}$$

Jika Persamaan (10) terpenuhi dengan aturan di atas, maka JSBT $Tri_k = \{P_{k1}, P_{k2}, P_{k3}\}$, selainnya $Tri_k = \{P_{k1}, P_{k2}, P_{k4}\}$. Akhir proses terbentuk $(n - 2)$ JSBT, yaitu $Tri = \{Tri_1, Tri_2, \dots, Tri_{n-2}\}$.

4.2 Pelatihan Sampel

Menurut prinsip PPB, penentuan sub ruang suatu jenis sampel ditentukan oleh jenis sampel itu sendiri dan pelatihan jenis sampel hanya memerlukan jenis sampel tersebut. Bila suatu sampel baru ditambahkan ke sistem, maka hanya sampel baru saja yang memerlukan pelatihan. Hal ini akan mempersingkat waktu pemrosesan sistem. Alur proses pelatihan tulisan tangan seseorang dinyatakan dengan diagram alir seperti pada Gambar 1.

Gambar 1 memperlihatkan tahapan pelatihan sampel (data) per orang yang dimulai dari ekstraksi ciri setiap kata tulisan tangan, melatih seluruh ciri kata dan hasilnya disimpan dengan label tertentu yang akan digunakan pada tahap klasifikasi/identifikasi.



Gambar 1: Skema Pelatihan Sampel dengan Jaringan Syaraf Bobot Tiga

4.3 Identifikasi Tulisan Tangan Berdasarkan Jaringan Syaraf Bobot Tiga

Andaikan $Th = 0$, JSBT dapat digambarkan seperti Persamaan (11) berikut ini.

$$\rho = \|X - \theta_{(w_1, w_2, w_3)}\|. \tag{11}$$

Keluaran nilai ρ adalah jarak dari X ke daerah terbatas $\theta_{(w_1, w_2, w_3)}$. Jarak dari X ke daerah pelingkup dari penulis kelompok ke- i adalah

$$\rho_i = \min_{j=1}^{M_i} \rho_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, \text{total penulis.} \quad (12)$$

Dimana M_i menyatakan jumlah syaraf JSBT dari penulis ke- i , ρ adalah jarak dari X ke daerah pelingkup syaraf ke- j dari kelompok penulis ke- i .

X diklasifikasikan ke kelompok penulis yang berhubungan dengan ρ_i terkecil, menggunakan Persamaan (13) [19].

$$j = \min_{i=1}^{\text{tot}} \rho_i, \quad j \in 1, 2, \dots, \text{sampel.} \quad (13)$$

5. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini mengembangkan identifikasi pembuat tulisan tangan dengan teks bebas menggunakan citra kata tulisan tangan berdasarkan basis data IAM [20]. Data (sampel) tulisan tangan yang dipilih berasal dari 40 penulis (*writer*) atau setara 2421 sampel citra kata tulisan tangan dengan masing-masing penulis memiliki jumlah kata yang berbeda. Penulis harus teridentifikasi menurut jenis kata berbeda yang terakumulasi pada media penyimpanan data.

Selanjutnya, data set dibagi berdasarkan banyak penulis dengan selisih sampel masing-masing kelompok sebanyak 10 penulis yang digunakan untuk mengukur kinerja model pengenalan pola biomimetik (PPB), yaitu kombinasi antara ZAMI dan JSBT, ZAMI-JSBT. Contoh, sampel pertama dengan 10 penulis (741 sampel kata) dengan sampel latih dan sampel uji masing-masing sebanyak 519 dan 222. Sampel kedua dengan 20 penulis (1297 sampel) terbagi dua bagian, yaitu: 909 sampel untuk pelatihan dan sampel lainnya (388 sampel) untuk pengujian dan seterusnya. Hasil pengujian menggunakan ZAMI-JSBT diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Akurasi Identifikasi dengan ZAMI-JSBT

Penulis	Sampel Latih	Sampel Uji	Hasil (%)
10	519	222	98,65
20	909	388	98,20
30	1317	561	98,04
40	1697	724	98,48

Tabel 2 menunjukkan hasil eksperimen dari 10 sampai 40 penulis dengan akurasi melebihi 98%, walaupun banyaknya data latih dan uji bertambah.

6. Kesimpulan

Pengenalan pola biomimetik (PPB) dapat menentukan kepemilikan tulisan tangan menggunakan teks bebas dengan akurasi hasil lebih dari 98%. Selain itu, PPB memiliki kelebihan terhadap penambahan data baru yang tidak memerlukan pelatihan ulang terhadap seluruh data tersebut. Beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut adalah membuat studi komperatif terhadap metode pengenalan pola statistik (PPS) dan jaringan syaraf tiruan, serta menggunakan metode ekstraksi ciri global dan lokal lainnya.

Referensi

- [1] O. Santana, C. M. Travieso, J. B. Alonso, and M. A. Ferrer, "Writer identification based on graphology techniques", ICCST. pp: 167-173, 2008.
- [2] S. Chanda, K. Franke, and U. Pal, "Text independent writer identification for Oriya script", 10th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems, pp.: 369-373, 2012.
- [3] Samsuryadi, and S.M. Shamsuddin, "Writer Identification Based on Hyper Sausage Neuron", International Conference on Computing and Informatics (ICOICI) Universiti Utara Malaysia (UUM) and UNIKOM, Bandung, 8-9 June 2011.
- [4] Samsuryadi, "Biomimetic Pattern Recognition for Writer Identification Using Geometrical Moment Invariants", Ph.D Thesis, Universiti Teknologi Malaysia, 2013, unpublished.
- [5] W. Shoujue, and C. Xu, "Biomimetic (topological) pattern recognition - a new model of pattern recognition theory and its application", Proc. of the International Joint Conference on Neural Networks. No. 3, pp. 2258-2262, Jul. 20-24, 2003.
- [6] W. Shoujue, "A new development on ANN in China – biomimetic pattern recognition and multi weight vector neurons", Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 35-43, 2003.
- [7] W. Shoujue, and Z. Xingtiao, "Biomimetic pattern recognition theory and its applications", *Chinese Journal of Electronics*. Vo1. 13, No. 3, pp. 373-377, July 2004.
- [8] W. Shou-jue, and L. Jiangliang, "High dimensional imagery geomtery and it's applications", *Chinese Journal of Electronics*, Vol. 15, No. 4A, Oct 2006.
- [9] H. Qin, W. Shoujue, and H. Sun, "Biomimetic pattern recognition for speaker-independent speech recognition", Proc. of International Conference on Neural Networks and Brain, No. 2, pp. 1290-1294, Oct. 13-15, 2005.
- [10] W. Shou-jue, and W. Bainan, "Analysis and theory of high-dimension space geometry for artificial neural networks", *Acta Electronics Sinica*, Vo.30, No.1, pp.1-4, Jan, 2001.
- [11] N. A. Bakar, "Integrated Zernike formulation for features granularity in pattern recognition", Master Thesis, Universiti Teknologi Malaysia, 2011, unpublished.
- [12] M.K.Hu, "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants", *IRE Transaction on Information Theory*, 8(2), 179-187, 1962.
- [13] P. Feng, and M. Keane, "A New Set of Moment Invariants for Handwritten Numeral Recognition", *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing* (1), Los Alamitos, IEEE Computer Society Press, 154-158, 1994.
- [14] Z. He, Y. Y. Tang, and X. You, "A contourlet-based method for writer identification", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 1, pp. 364 – 368, 10-12 Oct. 2005.
- [15] I. M. Siddiqi, and N. Vincent, "Writer identification in handwritten documents", 9th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), Brasil. vol. 1, pp. 108–112, 2007.

-
- [16] A. Schlapbach, L. Marcus, and H. Bunke, “A writer identification system for on-line whiteboard data”, *Pattern Recognition Journal* 41, pp. 23821–23897, 2008.
- [17] A. Schlapbach, and H. Bunke, “A writer identification and verification system using HMM based recognizers”, *Pattern Anal. Appl.* 10, pp. 33–43, 2007.
- [18] H. Cao, R. Prasad, and P. Natarajan, “OCR-Driven writer identification and adaptation in an HMM handwriting recognition system”, *International Conference on Document Analysis and Recognition*, pp. 739-743, 2011.
- [19] C. Wenming, H. Jianhui, X. Gang, and W. Shoujue, “Iris Recognition Algorithm Based on Point Covering of High-Dimensional Space and Neural Network”, *Lecture Notes in Computer science*, 3587, 305-313, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 2005.
- [20] U.-V. Marti, and H. Bunke, “The IAM-database: an English Sentence Database for off-line handwriting recognition”, *Int. Journal Document Analysis and Recognition*, vol. 5, pp. 39-46, 2002.