

ÁP DỤNG THUẬT TOÁN CẢI THIỆN DẤU VÂN TAY BẰNG PHÉP LỌC GABOR

Dương Hiếu Đầu¹ và Nguyễn Trung Nhơn²

ABSTRACT

The fingerprint identification is widely used in various fields of our society, but some fingerprint images on ID cards are noisy and corrupted. In such situation, an effectively enhancement procedure to improve the clarity of the ridge structure is necessary. The available enhancement algorithms are based on either the local orientation field filtering scheme in space domain or the Gabon filtering scheme in the frequency domain. The first one could not be correctly estimated for fingerprint images of poor quality, which greatly restricts the applicability. The Gabon filters could obtain the reliable orientation estimate even for corrupted images. In this study, an enhancement plan using a space-frequency federated filtering scheme is discussed, which adapts the filtering methods to the input images according to a pre-defined quality factor. Only parts of the images of which quality factor do not meet the requirement are filtered by the Gabon filter. Experimental results show that the proposed method computationally efficient, with the same level of the enhancement performance.

Keywords: fingerprint identification, enhancement algorithms, Gabon filter

Title: The fingerprint enhancement algorithm using a Gabon filter

TÓM TẮT

Nhận dạng vân tay được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực xã hội. Tuy nhiên, một số hình ảnh dấu vân tay trên các chứng minh nhân dân bị nhiễu và bị biến dạng khá lớn. Trong những trường hợp như thế, một thuật toán cải thiện hiệu quả để nâng chất lượng các cấu trúc đường vân một cách rõ nét là điều cần thiết. Các thuật toán cải thiện tốt dựa trên một trong hai cơ sở là sử dụng vùng định hướng địa phương trong miền không gian tọa độ hoặc là dựa trên bộ lọc Gabor trong miền tần số. Phương pháp đầu không thể ước lượng chính xác các hình ảnh dấu vân tay chất lượng kém và có rất nhiều hạn chế khi vận dụng trong kỹ thuật lọc. Đối với bộ lọc Gabor, có thể thu được những ước lượng đáng tin cậy ngay cả với những hình ảnh bị hỏng, nhưng lại bị hạn chế về thời gian xử lý. Bộ lọc Gabor không phù hợp cho dòng vân tay thuộc hệ thống nhận dạng tội phạm AFIS. Trong bài báo này, thuật toán cải thiện dấu vân tay sử dụng bộ lọc miền tần số nhiều lớp được áp dụng, tương đối phù hợp với phương pháp lọc hình ảnh ngõ vào có yếu tố chất lượng xác định. Các kết quả thực nghiệm cho thấy, việc xử lý của thuật toán này mang lại hiệu quả tính toán có thể so sánh với các phương pháp cải thiện khác.

Từ khóa: Xác định dấu vân tay, giải thuật tăng cường, Bộ lọc Gabor

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự định hướng đường vân địa phương là thuộc tính quan trọng trong hình ảnh dấu vân tay. Bằng cách xem các dấu vân tay như là kết cấu định hướng, một số các phương pháp đã đề xuất cách thức để định lượng sự định hướng của dấu vân tay. Các thuật toán cải thiện trước đây theo Jain A., Prabhakar S., Lin Hong, S.

¹ Khoa Khoa Học Đại học Cần Thơ

² Trường PTTH chuyên Nguyễn Bình Khiêm, Vĩnh Long

Pankanti (2000), chủ yếu tập trung vào bộ lọc nhiễu dựa trên độ lệch hướng của các đường vân. Cấu trúc các đường vân trong hình ảnh dấu vân tay kém chất lượng thì không được xác định rõ, vì thế, các thông tin định hướng không thể được nhận dạng một cách chính xác và có nhiều hạn chế trong việc ứng dụng kỹ thuật lọc này. Các bộ lọc dựa trên kỹ thuật Gabor có thể đạt được sự ước lượng định hướng đáng tin cậy ngay cả đối với các hình ảnh bị hỏng theo Kamei T., Mizoguchi M. Nhưng nó thường không thích hợp cho dòng hệ thống nhận dạng dấu vân tay tội phạm như AFIS (Automatic Fingerprint Identification System) bởi vì thuật toán tính toán tốn kém thời gian.

2 PHƯƠNG PHÁP GABOR – LỌC ĐỊNH HƯỚNG ĐỊA PHƯƠNG

Kỹ thuật lọc định hướng địa phương lợi dụng các hướng ưu tiên của đường vân địa phương bên trong hình ảnh dấu vân tay ngày càng sử dụng phổ biến trong hệ thống kiểm chứng dấu vân tay. Điều kiện của thuật toán là sự giả định việc định hướng đường vân địa phương để có thể ước lượng với mức độ đáng tin cậy. Trong thực tế, sự giả thiết này là không phù hợp hình ảnh dấu vân tay kém chất lượng. Hình 1 và hình 2 hiển thị sự ước lượng định hướng các hình ảnh có mức độ chất lượng khác nhau. Thuật toán áp dụng bộ lọc Gabor trên hình ảnh dấu vân tay có thể đạt được độ tin cậy khá cao ngay cả với các hình ảnh bị hỏng vài vùng nhỏ. Tuy nhiên, các ảnh loại này khi tính toán sẽ tốn kém khá nhiều thời gian.



Hình 1: Sự định hướng của hình ảnh có chất lượng tốt



Hình 2: Sự định hướng của hình ảnh có kém chất lượng

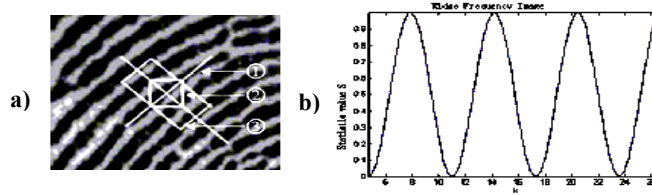
2.1 Cải thiện dấu vân tay sử dụng bộ lọc Gabor

Trong mức xám hình ảnh dấu vân tay, giá trị điểm ảnh có thể được mô hình hoá như hình ảnh của một sóng hình sin dọc theo hướng vuông góc với hướng đường vân địa phương, theo Maio D. Maltoni D., Cappelli R., Wayman I.J., Jain A., (2002). Hình 3 mô tả sóng hình sin của đường vân. Tần số đường vân địa phương là một tính chất khác trong hình ảnh dấu vân tay. Bộ lọc Gabor có cả hai ưu điểm là tần số chọn lọc và định hướng chọn lọc thuộc tính ngoài ra nó còn có độ phân giải tối ưu chung trong cho không gian và tần số. Do đó bộ lọc Gabor có thể loại bỏ tín hiệu nhiễu và bảo tồn cấu trúc song song thật sự của các đường vân tạo lợi thế định hướng địa phương và tần số địa phương.

Để ước lượng tần số địa phương, một cửa sổ tần số địa phương được đưa ra (Hình 3.a). Các bước liên quan đến việc ước lượng tần số, theo Jain A., Ross A., Prabhakar S. các đường vân địa phương được trình bày như sau:

- 1- Chia ảnh thành các khối ảnh kích thước $w \times w$, sao cho tâm tại điểm ảnh (i, j) .

- 2- Tính các cửa sổ tần số địa phương kích thước $w \times l$, sao cho tâm tại điểm ảnh (i, j) , thỏa mức bình thường để định hướng địa phương.
- 3- Tính toán các $S [0], S [1], \dots, S [\ell-1]$ của các đường vân và chỗ lõm trong cửa sổ tần số.



Hình 3: Hình ảnh tần số đường vân
 a) Cửa sổ tần số (b) Hình ảnh tần số đường

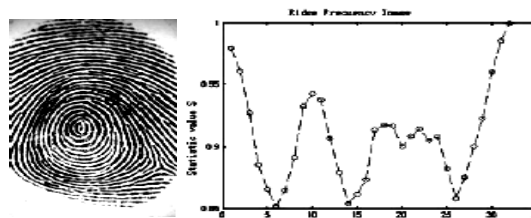
$$S[k] = \frac{1}{w} \sum_{n=0}^{w-1} N(u, v) \quad k = 0, 1 \dots \ell-1 \tag{1}$$

$$u = i + \left[\frac{w}{2} - n \right] \sin \theta(i, j) + \left[k - \frac{\ell}{2} \right] \cos \theta(i, j)$$

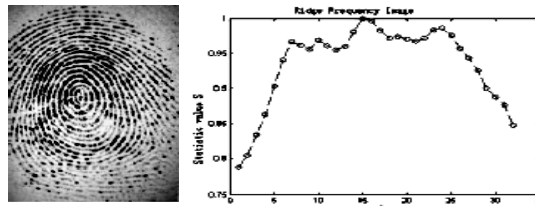
$$v = j + \left[n - \frac{w}{2} \right] \cos \theta(i, j) + \left[k - \frac{\ell}{2} \right] \sin \theta(i, j)$$

Với $\theta(i, j)$ là định hướng địa phương và $N(u, v)$ là hình ảnh bình thường. Các $S [0], S [1], \dots, S [\ell-1]$ tạo thành một dạng sóng hình sin rời rạc, trong đó có cùng tần số như của các đường vân và các chỗ lõm trong cửa sổ tần số (Xem hình 3.b). Đặt $T(i, j)$ là số điểm ảnh giữa hai đỉnh liên tiếp.

Bằng cách sử dụng các thông tin về sự định hướng và tần số, bộ lọc Gabor cho thấy có hiệu suất chất lượng hình ảnh địa phương tốt hơn là chất lượng hình ảnh định hướng trong phép lọc định hướng. Tuy nhiên, cách tính phức tạp của bộ lọc Gabor không thể đáp ứng yêu cầu về thời gian thực hiện trong hệ thống nhận dạng vân tay tự động.



Hình 4: Hình ảnh tần số của ảnh dấu vân tay chất lượng tốt



Hình 5: Hình ảnh tần số của ảnh dấu vân tay chất lượng kém

Dựa vào các thảo luận ở trên, chúng ta lấy các thông số đặc trưng của đường cong sắp xếp là yếu tố đánh giá chất lượng của hình ảnh dấu vân tay. Sử dụng các yếu tố chất lượng như một tiêu chí của chương trình lọc cải thiện hình ảnh, chương trình của chúng tôi đạt được khả năng thích ứng của các lựa chọn của hai chương trình bộ lọc: lĩnh vực lọc định hướng và lọc Gabor, điều này đảm bảo tốt hiệu năng lọc trong khi vẫn giữ tổng số các tính toán phức tạp ở mức thấp để đáp ứng yêu cầu thời gian thực thi.

Các tham số tần số và tham số biên độ có thể xác định dạng sóng hình sin lý tưởng duy nhất. Các đường cong sắp xếp ở trên là tương tự như dạng sóng hình sin lý tưởng. Vì vậy, chúng ta sẽ lấy tham số tần số và các thông số biên độ như là hai tham số quan trọng cho các yếu tố chất lượng. Xem xét sự xen vào độ nhiễu, sự khác biệt của các đỉnh vân và chỗ lõm khi đưa vào trong các tính toán các yếu tố chất lượng, chúng tôi thu được những dữ liệu thống kê $S[0], S[1], \dots, S[\ell-1]$ dạng công thức (1) và đường cong sắp xếp của chúng. Đặt $DI(i, j), Df(i, j), DPD(i, j), DVD(i, j)$ là phương sai của các biên độ, chu kỳ và sự khác biệt của các đỉnh vân và chỗ lõm, do đó yếu tố chất lượng địa phương được định nghĩa là:

$$Q(i, j) = \alpha DI(i, j) + \beta DT(i, j) + \gamma DP_d(i, j) + \eta PV_d(i, j) \quad (2)$$

với $\eta, \gamma, \beta, \alpha$ là hệ số trọng lượng, và $0 < \gamma, \eta < \alpha, \beta < 1$. Yếu tố chất lượng $Q(i, j)$ là ước lượng của mỗi khối ảnh trong hình ảnh dấu vân tay. Theo đó, các yếu tố chất lượng của toàn bộ hình ảnh được định nghĩa là:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Q(i, j)}{M \times N}$$

với $M \times N$ là số lượng các khối trong hình ảnh dấu vân tay. Yếu tố chất lượng có thể là dấu hiệu phân tích chất lượng của các đường cong sắp xếp, để tăng chất lượng của hình ảnh và hiệu suất của các thuật toán cải thiện. Các bước liên quan với phép lọc liên tiếp với các yếu tố chất lượng như sau:

Bước 1: Cải thiện hình ảnh qua xử lý với bộ lọc tạo bởi sự định hướng địa phương.

Bước 2: Thu được những đường cong sắp xếp của các kết quả từ công thức (1) và tính toán các yếu tố chất lượng của hình ảnh.

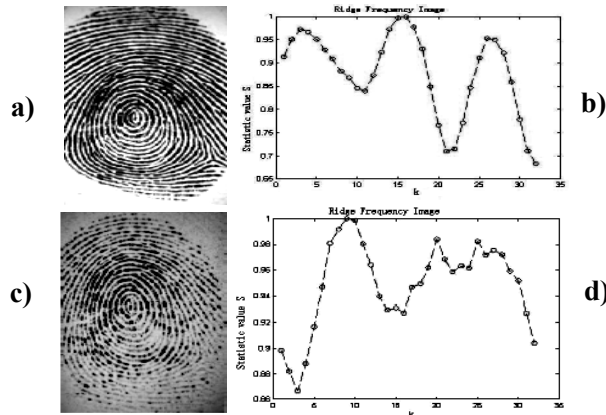
Bước 3: Quyết định các phương án lọc bởi các yếu tố chất lượng: nếu các yếu tố chất lượng là thấp được xác định trước ngưỡng τ , chất lượng của hình ảnh xử lý có thể được chấp nhận và hình ảnh xử lý có thể được xử lý đầu ra như là ảnh được cải thiện chất lượng, nếu không chúng ta xem xét chất lượng của hình ảnh xử lý không được chấp nhận và đi đến bước 4.

Bước 4: Thực hiện các bộ lọc Gabor lên hình ảnh mà không thể chấp nhận được ở bước 3 và kết quả hình ảnh đầu ra như là ảnh cải thiện.

3 THỰC NGHIỆM

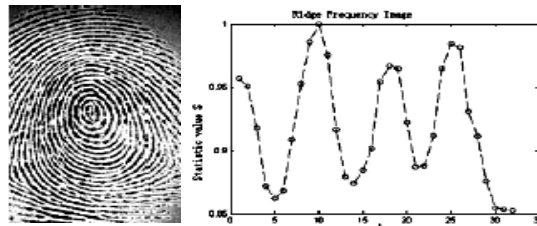
Các thực nghiệm đã được thực hiện bằng cách sử dụng các chương trình đề xuất trên hình ảnh với chất lượng khác nhau trong cơ sở dữ liệu của Maio D., Maltoni D.,. Kết quả cho thấy khả năng thích ứng của đánh giá chất lượng và lựa chọn

chương trình lọc trên hình ảnh dấu vân tay có thể đạt được bằng cách sử dụng các yếu tố chất lượng, như thể hiện trong hình 6 và hình 7. Lưu ý rằng chỉ khi các yếu tố chất lượng ảnh là quá kém, không thể đáp ứng yêu cầu nhận dạng thì mới nên xử lý bằng chương trình lọc Gabor. Điều này tiết kiệm nhiều tính toán phức tạp cho toàn bộ quá trình nhận dạng dấu vân tay.



Hình 6: Ước lượng thuộc tính tần số ảnh dấu vân tay sau khi lọc định hướng
(a) Kết quả lọc định hướng ảnh chất lượng cao (b) Ước tính tần số thuộc tính ($Q = 0,515$)
(c) Kết quả lọc định hướng ảnh kém chất lượng.
(d) Ước tính tần số thuộc tính ($Q = 18,006$).

Sau khi xử lý bằng chương trình lọc Gabor, hình ảnh kém chất lượng 6c được thể hiện rõ nét hơn trong hình 7.



Hình 7: Kết quả lọc Gabor của ảnh kém chất lượng (6c) với $Q = 0,501$

4 KẾT LUẬN

Dựa trên các phân tích và so sánh về giải thuật của hai thuật toán cải thiện hình ảnh dấu vân tay khác nhau ta có thể thấy trong cả hai phương án lọc tiêu chí định hướng và phương án lọc Gabor, yếu tố chất lượng được tích hợp vào trong giải thuật xử lý để ứng dụng phân tích ảnh vân tay thực tế. Tuy nhiên, phương án lọc Gabor tốn nhiều thời gian (khoảng vài chục lần nhiều hơn) so với lọc định hướng nếu chất lượng ảnh có vài khu vực chất lượng quá kém. Trong một số trường hợp, ta vẫn phải sử dụng phép lọc Gabor tiếp theo sau phép lọc định hướng nếu sau phép lọc định hướng mà chất lượng ảnh vẫn không thể nhận dạng được. Do yêu cầu của yếu tố chất lượng trong hiệu quả của toàn bộ thuật toán nhận dạng vân tay, chúng ta cần chọn lọc các phương pháp lọc nhiều thích hợp tùy theo cấu trúc chất

lượng hình ảnh được xem xét. Kết quả thực nghiệm với phép lọc ảnh đã cho thấy hiệu quả khả quan về yếu tố chất lượng của phương án được đề xuất và đó là một trong những phương tiện khá hiệu quả cho các ứng dụng của hệ thống nhận dạng dấu vân tay tự động. Tiếp tục cải tiến các thuật toán, chúng ta có thể phát triển bộ lọc Gabor chỉ trong một số vùng hình ảnh có tính địa phương ảnh hưởng độ nhiễu cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Jain A., Prabhakar S., Lin Hong, S. Pankanti, (2000), Filterbank-Based Fingerprint Matching. IEEE Transactions on Image Processing., 9(5):846-859.
- Jain A., Ross A., Prabhakar S., (2004), An Introduction to Biometric Recognition. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology. 14:4-20.
- Kamei T., Mizoguchi M. Image Filter Design for Fingerprint Enhancement. Proc. ISCV' 95. 1995:109-114.
- Lin Hong, Wan Yi-fei, Jain A., (1998), Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Matching Intelligence. 20(8):777-789.
- Maio D. Maltoni D., Cappelli R., Wayman I.J., Jain A., (2002): Second Fingerprint Verification Competition. Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition, IEEE CS Press. vol. 3:811-814.
- Maio D., Maltoni D., Cappelli R., Wayman I.J., Jain A., (2002), FVC2000: Fingerprint Verification Competition. IEEE PAMI. 24(3):402-412.
- Prabhakar S., Pankanti S., Jain A., (2003). Biometric Recognition: Security & Privacy Concerns. IEEE Security & Privacy Magazine. 1(2):33-42.
- Rao A., A Taxonomy for Texture Description and Identification, (1990). New York, NY: Springer-Verlag.