

Статистическая модель деформаций отпечатков пальцев

Ушмаев О. С.

Oushmaev@ipiran.ru

Москва, Институт проблем информатики РАН

В докладе рассмотрена нетипичная для распознавания отпечатков пальцев (ОП) задача учета и моделирования возможных упругих деформаций. Получена статистическая модель деформаций, позволяющая эффективно учитывать нелинейные искажения во многих прикладных задачах распознавания ОП.

К основным искажающим факторам, негативно влияющим на соотношение ошибок ложного совпадения (второго рода, False Acceptance Rate, FAR) и ложного несовпадения (первого рода, False Rejection Rate, FRR) в системах идентификации ОП можно отнести [1]: малый размер зоны пересечения ОП, плохое качество получаемых на вход распознающей системы изображений и искажения отпечатков, вызванных упругими деформациями. Первый фактор скорее субъективный и может быть преодолен еще на этапе ввода как самим человеком в случае, когда он дружен системе, например, при верификации своей личности, так и оператором в случае автоматизированной дактилоскопической идентификационной системы (АДИС). Малое окно является технологической характеристикой, подавление влияния шумов выполняется на этапах предобработки. Касательно учета деформаций, впервые использовать методы теории упругости [2] для восстановления упругих деформаций ОП было предложено в работе [3], ранее использовали либо модели тонкой пластины [4], слабо отражающих механику деформаций отпечатков, либо эмпирические модели [1]. Получаемые при этом преобразования в общем случае выглядят неестественно, особенно при экстраполяции.

Малые упругие деформации довольно точно описывается решением следующего линейного уравнения механики деформируемого тела [2]

$$\mu \nabla^2 \mathbf{u} + (\lambda + \mu) \nabla \operatorname{div} \mathbf{u} = -\mathbf{F}, \quad (1)$$

где \mathbf{u} — карта смещений; \mathbf{F} — внешняя сила; λ и μ — коэффициенты упругости Ламе. Очевидной проблемой применения уравнения (1) является принципиальная невозможность измерения внешних сил. В [3] на основе уравнения (1) был предложен метод вычислений деформаций ОП, использующий для приближения правой части уравнения данные о соответствии контрольных точек ОП. В [5] приведены методы быстрого решения (1) и алгоритм внедрения учета деформаций в произвольные алгоритмы распознавания ОП. В [6] показано значительное улучшение

распознавания ОП за счет учета упругих деформаций в терминах ошибок 1-го и 2-го родов.

Однако результаты [3,5,6] не решают значительных проблем применения механических методов — трудоемкость вычислений и большой размер описания деформаций. Далее рассмотрена проблема статистического анализа деформаций ОП с целью сократить размерность описания.

В качестве исходных данных были рассмотрены измерения деформаций методами [3] на открытых базах отпечатков пальцев FVC2002 (DB1, DB2, DB4), всего 8400 примеров. Для сокращения размерности описания использовался метод главных компонент в частотной области. Прямое вычисление главных компонент на прореженной карте смещений размерностью 936 узлов ожидаемо не привело к положительному результату. Причиной этого является довольно сильные корреляции и относительно небольшой объем выборки.

Для повышения эффективности вычислений к картам смещений применялось двумерное преобразование Фурье. В частотной области 92 низкочастотные компоненты составляют 93% энергии карты смещений и 98% энергии во внутренней части изображения (без учета края, где доминируют маргинальные эффекты). В дальнейшем для полученных данных в частотной области вычислялись главные компоненты. Предварительный анализ полученных в спектральной области главных деформаций показал, что дисперсия остатков первых 4 главных деформаций составляет 15%, а первых 20 — только 2%, что позволяет сделать заключение о небольшой «внутренней» размерности деформаций. Визуализация главных компонент в пространственной области позволяет однозначно интерпретировать искажающие факторы: микроповорот (возникающий из-за невозможности точно факторизовать деформации по движениям), продольный сдвиг, поперечный сдвиг и деформационный поворот (поворот пальца со значительным давлением на поверхность сканера).

Полученный массив главных деформаций является ортонормированным, поэтому произвольная деформация D может быть разложена в сумму вычисленных главных компонент деформаций. Проведенный анализ показывает, что для эффективного учета деформаций достаточно использовать первые 10–12 компонент. Такое существенное снижение размерности описания искажений позволяет решить или повысить эффективность существующих решений многих прикладных проблем распознавания ОП.

1. Синтетические базы данных. Исследование синтетической базы FVC 2002 DB4 показало отличие статистики деформаций от естественных приложений. Модель позволяет более эффективно имитировать есте-

ственные деформации ОП при создании искусственных тестовых масивов.

2. Имитация множества приложений на этапе сравнения. В [7] показано, что использование для обучения нескольких приложений ОП значительно улучшает качество распознавания. Приведенная модель позволяет имитировать несколько приложений при регистрации ОП.
3. Улучшение шаблона ОП. В [8] приведена концепция выбора наименее деформированного состояния ОП. Приведенная модель эффективно решает данную задачу, так как дает численную меру деформации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-07-00031.

Литература

- [1] *Halici U., Jain L. C., Erol A.* Introduction to Fingerprint Recognition, Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition. — CRC Press, 1999.
- [2] *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теоретическая физика, том VII. Теория упругости. — М.: Физматлит, 2001.
- [3] *Ushmaev O., Novikov S.* Registration of Elastic Deformations of Fingerprint Images with Automatic Finding of Correspondences // Proc. MMUA03, Santa Barbara, CA, 2003. — Pp. 196–201.
- [4] *Bazen A. M., Gerez S. H.* Thin-Plate Spline Modelling of Elastic Deformation in Fingerprints // 3rd IEEE Benelux Signal Processing Symposium, 2002.
- [5] *Novikov S., Ushmaev O.* Registration and Modelling of Elastic Deformations of Fingerprints // Int'l Workshop Biometric Authentication (ECCV8, BioAW-2004), Prague, Czech Republic, May2004. — Springer, 2004. — Pp. 80–88.
- [6] *Ushmaev O., Novikov S.* Efficiency of Elastic Deformation Registration for Fingerprint Identification // 7th Int'l Conf. on Pattern Recognition and Image Analysis (PRIA-2004). — Vol. 3, — St. Petersburg: SPbETU, 2004. — Pp. 833–836.
- [7] *Ушмаев О. С., Сидицын И. Н.* Опыт проектирования многофакторных биометрических систем // Труды VIII международной конференции «Кибернетика и высокие технологии XXI века». — Т. 1. — С. 17–28.
- [8] *A. Ross, S. Dass and A. K. Jain* Estimating Fingerprint Deformation // Int'l Conf. on Biometric Authentication (ICBA), Hong Kong. — Springer Publishers, 2004. — LNCS, Vol. 3072. — Pp. 249–255.