

Биометрическая идентификация по отпечаткам пальцев. Технология FingerChip

По данным американской консалтинговой компании **International Biometric Group**, объем рынка биометрических систем в период с 2006 по 2010 вырастет вдвое, а годовой оборот составит \$5,74 млрд. Главным фактором здесь является стремительный рост продаж портативных электронных устройств, в которых для авторизации пользователей применяется идентификация по отпечаткам пальцев. Увеличение спроса на биометрические системы связано также с повышенным вниманием, которое уделяется сегодня государственными структурами и частными компаниями вопросам безопасности.

В данной статье рассматриваются различные технологии электронного сканирования отпечатков пальцев, в том числе технология температурно-го сканирования **FingerChip** компании **Atmel**.

Ольга ГУРЕЕВА
gureeva@prosoft.ru

Введение

В Древнем Вавилоне и Китае отпечатки пальцев использовались как способ аутентификации человека. Отпечатками пальцев «подписывали» различные государственные документы, их оттиски оставляли на глиняных табличках и печатях.

В конце XIX века отпечатки пальцев стали использоваться в криминалистике. Появились первые алгоритмы сравнения отпечатков пальцев по различным участкам папиллярного узора. Более чем за сто лет использования данной технологии в целях идентификации ни разу не возникло ситуации, когда нашлись бы два человека с абсолютно одинаковыми отпечатками пальцев. Тем не менее, следует заметить, что научного доказательства уникальности папиллярного узора пальца человека до сих пор нет. Уникальность отпечатков пальцев — это эмпирическое наблюдение, и недоказанность гипотезы в данном случае объясняется исключительной сложностью ее доказательства.

Сегодня, в связи с развитием электронных технологий, идентификация по отпечаткам пальцев стала использоваться не только в криминалистике, но и в самых различных областях, требующих эффективного обеспечения безопасности. В первую очередь, такими областями стали:

- системы управления доступом;
- информационная безопасность (доступ в сеть, к персональному компьютеру, мобильному телефону);
- учет рабочего времени и регистрация посетителей;
- системы голосования;

- проведение электронных платежей;
- различные социальные проекты, где требуется аутентификация;
- государственные проекты (пересечение государственных границ, выдача виз, контроль пассажиропотока при воздушных перевозках).

Основной целью удостоверения личности с целью обеспечения безопасности является уникальная идентификация личности, то есть подтверждение того, что человек является тем, за кого себя выдает. Аутентификация должна быть достоверной, недорогой, быстрой и ненасильственной. Перечисленным требованиям соответствует технология биометрической идентификации, основанная на сканировании отпечатков пальцев.

Сканирование отпечатков пальцев

Отпечатки пальцев представляют собой рельефные линии, так называемые папиллярные узоры, строение которых обусловлено рядами гребешковых выступов кожи, разделенных бороздками. Эти линии образуют сложные кожные узоры (дуговые, петлевые, завитковые), которые обладают следующими свойствами:

- индивидуальность (различная совокупность папиллярных линий, образующих рисунок узора по их местоположению, конфигурации, взаиморасположению, повторяемая в другом узоре);
- относительная устойчивость (неизменность внешнего строения узора, возникающего в период внутриутробного развития человека и сохраняющегося в течение всей его жизни);



Рис. 1. Распознавание отпечатка пальца по выделенным деталям

- восстанавливаемость (при поверхностном нарушении кожного покрова папиллярные линии восстанавливаются в прежнем виде). Существует несколько алгоритмов распознавания отпечатков пальцев. Наиболее распространенным является алгоритм, основанный на выделении деталей. Обычно в отпечатке присутствует от 30 до 40 мелких деталей. Каждая из них характеризуется своим положением — координатами, типом (разветвление, окончание или дельта) и ориентацией (рис. 1).

Из набора данных характеристик формируется эталон отпечатка.

Физиологически отпечаток пальца — это рельефная поверхность кожи, содержащая поры.

Непосредственно под эпидермисом располагаются кровеносные сосуды. Морфология отпечатка пальца теснейшим образом связана с электрическими и температурными характеристиками кожи. Это значит, что для получения изображения отпечатков пальцев можно использовать не только краску, но и электромагнитную энергию в различных проявлениях. Заметим, что сканирование

отпечатков пальцев с хорошо различимыми папиллярными линиями является непростой задачей. Поскольку отпечатки слишком малы, для получения качественного изображения приходится использовать достаточно сложные методы.

Все существующие электронные методы получения отпечатков пальцев, в зависимости от используемых ими физических принципов, делятся на следующие виды:

- оптические;
- емкостные;
- радиочастотные;
- давления;
- ультразвуковые;
- температурные.

Далее приведем обзор каждого из этих видов и поясним, почему компанией Atmel был выбран температурный метод, как наиболее перспективный для линейки продуктов FingerChip.

Оптический метод

В настоящее время существует несколько разновидностей сканеров, предназначенных для получения отпечатков пальцев оптическим методом:

1. **FTIR-сканеры** — это устройства, в которых используется эффект нарушенного полного внутреннего отражения (Frusted Total Internal Reflection). Эффект заключается в том, что при падении света на границу раздела двух сред световая энергия делится на две части — одна отражается от границы, другая проникает через границу во вторую среду (рис. 2).

Доля отраженной энергии зависит от угла падения светового потока. Начиная с некоторой величины данного угла вся световая энергия отражается от границы раздела.

Это явление называется полным внутренним отражением. В случае контакта более плотной оптической среды (в нашем случае поверхности пальца) с менее плотной (например, с поверхностью призмы) в точке полного внутреннего отражения пучок света проходит через эту границу. Таким образом, от границы отразятся лишь пучки света, попавшие в определенные точки полного внутреннего отражения, к которым не был приложен папиллярный узор пальца. Для захвата полученной световой картинке поверхности пальца используется специальный дат-

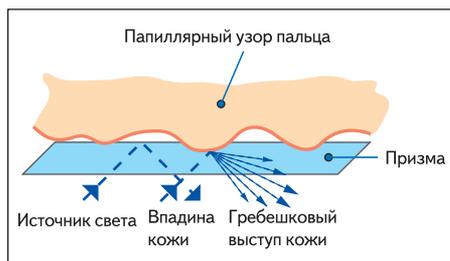


Рис. 2. Принцип работы FTIR-сканеров

чик изображения (КМОП или ПЗС, в зависимости от реализации сканера). Ведущими производителями подобных сканеров являются компании BioLink, Digital Persona, Identix.

2. **Опволоконные сканеры (Fiber Optic Scanners)** представляют собой опволоконную матрицу, в которой все волноводы на выходе соединены с фотодатчиками. Чувствительность каждого датчика позволяет фиксировать остаточный свет, проходящий через палец, в точке соприкосновения пальца с поверхностью матрицы.

Изображение всего отпечатка формируется по данным, считываемым с каждого фотодатчика (рис. 3). Производителем опволоконных сканеров является консорциум Elsys.

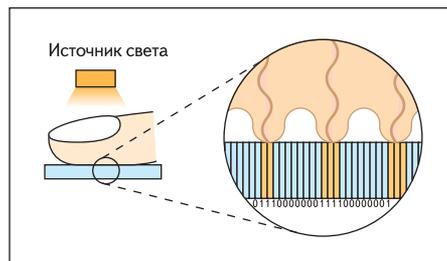


Рис. 3. Принцип работы опволоконных сканеров

3. **Электрооптические сканеры (Electro-Optical Scanners)** — технология основана на использовании специального электрооптического полимера, в состав которого входит светоизлучающий слой. Когда палец прикладывается к сканеру, неоднородность электрического поля у его поверхности (разность потенциалов между бугорками и впадинами кожи) отражается на свечении слоя. Таким образом, формируется изображение отпечатка пальца. В дальнейшем датчик изображения преобразовывает полученную картинку в цифровой вид. Данный тип сканеров выпускается компанией Security First Corp.

4. **Оптические протяжные сканеры (Sweep Optical Scanners)** — почти во всем аналогичны FTIR-устройствам, за исключением того, что для получения изображения отпечатка палец не просто прикладывается

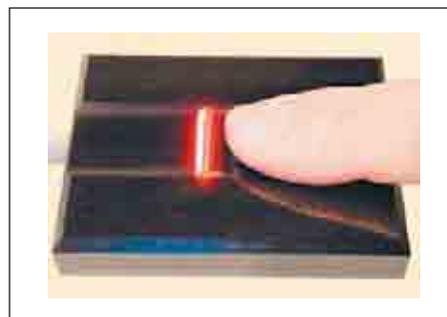


Рис. 4. Практическая реализация оптического протяжного сканера

к сканеру, а проводится по узкой полоске — считывателю (рис. 4). По мере движения пальца делается серия мгновенных фотографий. При этом соседние кадры снимаются с некоторым наложением, что позволяет значительно уменьшить размеры используемой призмы и самого сканера. Для получения результирующего изображения отпечатка пальца применяется специализированное программное обеспечение. Ведущим производителем сканеров данного типа является компания Cogent Systems.

5. **Роликовые сканеры (Roller Style Scanners)** — данные устройства являются самыми миниатюрными сканерами. Отпечаток захватывается при прокатывании пальцем прозрачного тонкостенного ролика. Аналогично протяжному сканеру, по мере движения пальца делаются мгновенные снимки фрагментов папиллярного узора с некоторым наложением изображения. При сканировании используется простейшая оптическая технология: внутри прозрачного цилиндра находятся статический источник света, линза и датчик изображения. После полной «прокрутки» пальца программно собирается результирующее изображение его отпечатка (рис. 5).



Рис. 5. а) Принцип работы роликового сканера; б) его реализация

Роликовые сканеры производятся компаниями Digital Persona, CASIO Computer, ALPS Electric.

6. **Бесконтактные сканеры (Touchless Scanners)** — в данных устройствах палец не контактирует непосредственно с поверхностью сканера. Палец всего лишь прикладывается к отверстию сканера и подсвечивается снизу с разных сторон несколькими

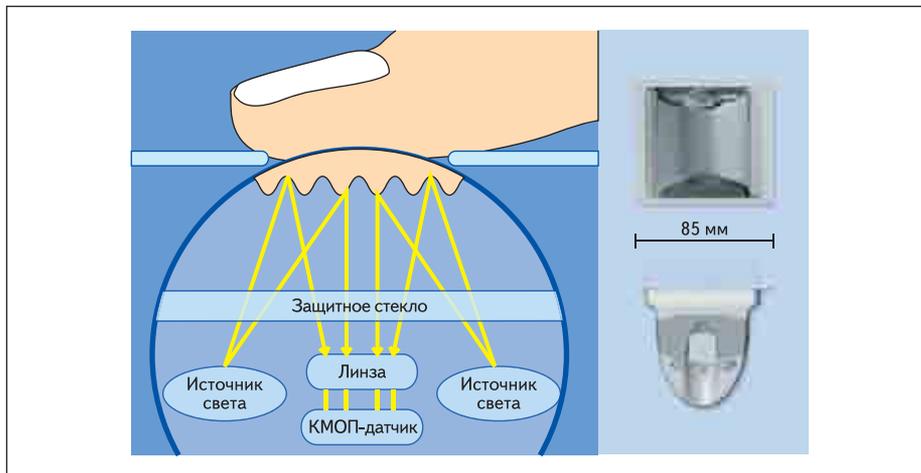


Рис. 6. Схема работы бесконтактного сканера и его реализация

источниками света. По центру отверстия расположена линза, с помощью которой изображение отпечатка пальца проецируется на КМОП-камеру (рис. 6).

Сканеры данного типа выпускает компания Touchless Sensor Technology.

Отметим ряд недостатков, которые присущи оптическим сканерам, и укажем, какие из них уже исправлены:

- Невозможность сделать их компактными. Эта проблема стояла до недавнего времени, но, как видно из приведенных рисунков, этот недостаток остался в прошлом.
- Оптические модули достаточно дороги из-за большого числа компонентов и сложной оптической системы. Этот недостаток сегодня также нивелируется в связи с существенным уменьшением стоимости датчиков изображения.
- Отсутствует эффективная защита от муляжей.

Последний недостаток является самым существенным, несмотря на то, что многие производители заявили о реализации механизмов защиты на том или ином этапе обработки сканируемого изображения.

Емкостный метод

Емкостные сканеры (Capacitive Scanners) являются сегодня наиболее распространенными полупроводниковыми устройствами для получения изображения отпечатка пальца.

Их работа основана на эффекте изменения емкости $p-n$ -перехода полупроводника при соприкосновении гребня папиллярного узора с элементом полупроводниковой матрицы. Существуют модификации емкостных сканеров, в которых каждый полупроводниковый элемент в матрице выступает в роли одной пластины конденсатора, а палец — в роли другой. При приложении пальца к датчику между каждым чувствительным элементом и выступом-впадиной папилляр-

ного узора образуется емкость, величина которой определяется расстоянием между рельефной поверхностью пальца и элементом. Матрица этих емкостей преобразуется в изображение отпечатка пальца. Ведущими производителями сканеров данного типа являются компании Infineon, STMicroelectronics, Veridicom.

Недостаток емкостного метода — та же неэффективная защита от муляжей.

Радиочастотный метод

Радиочастотные сканеры (RF-Field Scanners) — в таких сканерах используется матрица элементов, каждый из которых работает как миниатюрная антенна.

Радиочастотный модуль генерирует сигнал низкой интенсивности и направляет его на сканируемую поверхность пальца. Каждый из чувствительных элементов матрицы принимает отраженный от папиллярного узора сигнал. Величина наведенной в каждой миниатюрной антенне ЭДС зависит от наличия или отсутствия вблизи нее гребня папиллярного узора. Полученная таким образом матрица напряжений преобразуется в цифровое изображение отпечатка пальца. Поскольку метод основан на физиологических свойствах кожи, его трудно обмануть имитацией пальца. К недостаткам метода относится необходимость качественного контакта пальца и передатчика, который может быть весьма горячим. Известным производителем радиочастотных сканеров является компания Authentec.

Нажимной метод (давления)

Чувствительные к давлению сканеры (Pressure Scanners) в своей конструкции используют матрицу пьезоэлектрических элементов, чувствительных к нажатию.

При прикладывании пальца к сканирующей поверхности гребешковые выступы

папиллярного узора оказывают давление на некоторое подмножество элементов матрицы.

Впадины кожного узора никакого давления не оказывают. Таким образом, совокупность полученных с пьезоэлектрических элементов напряжений преобразуется в изображение отпечатка пальца. Данный метод имеет ряд недостатков:

- низкая чувствительность;
- неэффективная защита от муляжей;
- подверженность к повреждениям при чрезмерно прилагаемых усилиях.

Чувствительные к давлению сканеры выпускает компания BMF.

Ультразвуковой метод

Ультразвуковые сканеры (Ultrasonic Scanners) сканируют поверхность пальца ультразвуковыми волнами. Расстояние между источником волн и гребешковыми выступами и впадинами папиллярного узора измеряются по отраженному от них эху (рис. 7). Качество получаемого изображения в десятки раз лучше, чем у любого другого представленного на биометрическом рынке метода. Кроме того, данный способ практически полностью защищен от муляжей, поскольку позволяет помимо отпечатка папиллярного узора пальца получать информацию и о некоторых других характеристиках (например, о пульсе).

Основным недостатком ультразвукового метода является высокая цена сканеров данного вида по сравнению с оптическими и полупроводниковыми сканерами.

Ведущим производителем сканеров данного типа является компания Ultra-Scan Corporation.

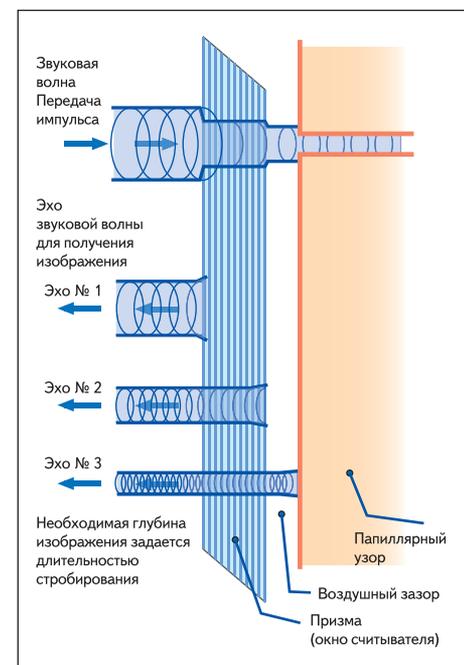


Рис. 7. Принцип работы ультразвукового сканера

Температурный метод

Термосканеры (Thermal Scanners) — в таких устройствах используются датчики, которые состоят из пирозлектрических элементов, позволяющих фиксировать разницу температуры и преобразовывать ее в напряжение.

При прикладывании пальца к сканеру по температуре прикасающихся к пирозлектрическим элементам выступов папиллярного узора и температуре воздуха, находящегося во впадинах, строится температурная карта поверхности пальца, которая в дальнейшем преобразуется в цифровое изображение.

Температурный метод имеет множество преимуществ. К ним относятся:

- высокая устойчивость к электростатическому разряду;
- устойчивая работа в широком температурном диапазоне;
- эффективная защита от муляжей.

К недостаткам данного метода можно отнести то, что изображение быстро исчезает.

При прикладывании пальца в первый момент разница температур значительна и уровень сигнала, соответственно, высок. По истечении короткого времени (менее одной десятой доли секунды) изображение исчезает, поскольку палец и датчик приходят к температурному равновесию. Именно эта особенность была использована компанией Atmel в технологии температурного сканирования, которая нашла свое отражение в микросхемах FingerChip. Сегодня Atmel является ведущим производителем термосканеров.

Технология FingerChip

В технологии FingerChip используется температурный метод получения изображения в сочетании с протяжным сканированием, которое применяется в оптических протяжных сканерах, рассмотренных выше. Протяжной способ позволяет существенно уменьшить размер чувствительной матрицы и сделать ее по ширине равной получаемому отпечатку, а по длине — всего несколько долей миллиметра. Для получения изображения необходимо просто провести пальцем по узкой полоске считывателя. Заметим, что в сочетании с температурным методом такой способ получения отпечатков пальцев не оставляет следов после сканирования по причине малого времени жизни изображения.

Малый размер и низкая стоимость матрицы в сочетании с эффективной защитой от муляжей, а также надежное функционирование в широком диапазоне температур являются отличительными особенностями технологии температурного сканирования, применяемой компанией Atmel.

На данный момент Atmel выпускает три вида считывателей: AT77C102B, AT77C104B, AT77C105A. Основные их технические характеристики представлены в таблице.

Таблица. Технические характеристики датчиков FingerChip

Характеристика	AT77C102B	AT77C104B	AT77C105A
Размер чувствительного элемента, мм	0,4×14	0,4×11,6	0,4×11,6
Размер матрицы, пикселей	8×280	8×232	8×232
Разрешение, dpi (точек на дюйм)	500	500	500
Скорость считывания, кадров/с	1780	2130	2130
Габаритные размеры, мм	1,64×17,46	1,5×15	1,5×15
Напряжение питания, В	3–3,6	2,3–3,6	2,3–3,6
Рабочая температура, °С	–40...+85	–40...+85	–40...+85
Износостойчивость поверхности, считываний	1 млн	4 млн	4 млн
Дополнительные функции	нет	есть	есть

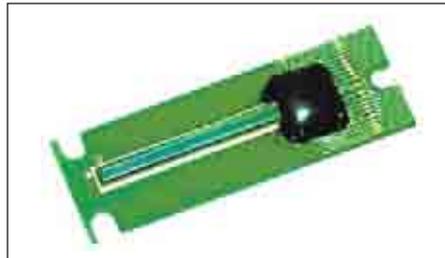


Рис. 8. Датчик FingerChip AT77C102B

Датчик FingerChip AT77C102B (рис. 8) выполнен по техпроцессу 35 мкм и объединяет на монолитной прямоугольной КМОП-подложке размером 1,64×17,46 мм схемы считывания и преобразования данных. Отпечаток пальца считывается при вертикальном движении пальца, приложенного к матрице.

Матрица FingerChip имеет размер 8×280, то есть содержит 2240 термочувствительных элементов. Также присутствует служебная нерабочая колонка, предназначенная для калибровки и идентификации кадров. Шаг матрицы 50×50 мкм, что соответствует разрешению 500 точек на дюйм при размере чувствительного элемента 0,4×14 мм. Это позволяет получить изображение центральной области отпечатка пальца, отвечающего требованиям спецификации качества изображения (IQS).

Тактовая частота может устанавливаться программно до значения 2 МГц, обеспечивая получение до 1780 кадров в секунду, что является достаточным даже при быстром движении пальца по датчику. Результирующий отпечаток собирается из последовательности серии кадров с помощью программного обеспечения Atmel.

Функциональная диаграмма данного устройства показана на рис. 9.

Цикл работы для каждого кадра следующий:

1. Выбирается колонка из 280+1 пикселей в матрице. Колонки выбираются последовательно слева направо с циклическим возвратом в начало. После сброса вывод начинается с крайней левой колонки.
2. Каждый пиксель в колонке посылает свое значение температуры в виде аналогового сигнала в линейку усилителей.
3. Две строки выбираются одновременно (четная и нечетная). Усиленные сигналы с них подаются на 4-битные аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Полученные аналоговые величины могут быть также использованы в качестве выходных данных (на диаграмме не отражено).
4. Два 4-битных цифровых эквивалента сохраняются в сдвиговом регистре и отсылаются параллельно одним байтом через параллельные выходы De0-3 (четная строка) и Do0-3 (нечетная строка).

На рис. 10 показана последовательность вывода одного кадра; на рис. 11 — последовательность кадров при активном режиме работы FingerChip.

Помимо функции считывания, присущей всем трем устройствам, модели AT77C104B и AT77C105A имеют дополнительные опции навигации (аналогично сенсорному экрану) и эмуляции нажатия клавиши, что позволяет с их помощью осуществлять управление.

Наличие различных корпусов (рис. 12) предоставляет возможность оптимального выбора способа установки датчика в разрабатываемое устройство.

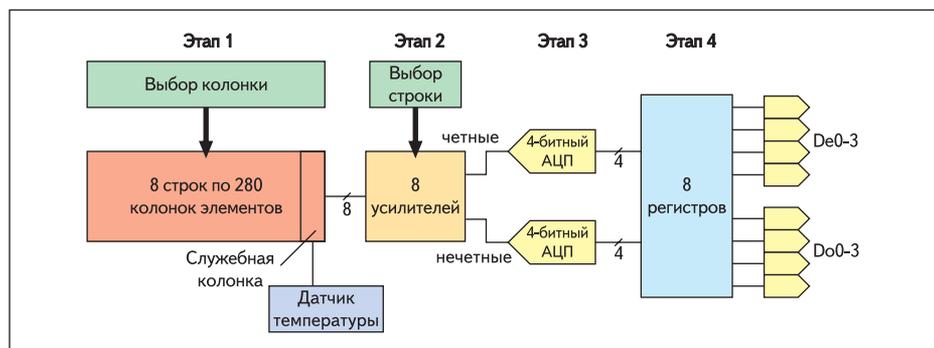


Рис. 9. Функциональная диаграмма датчика AT77C102B.

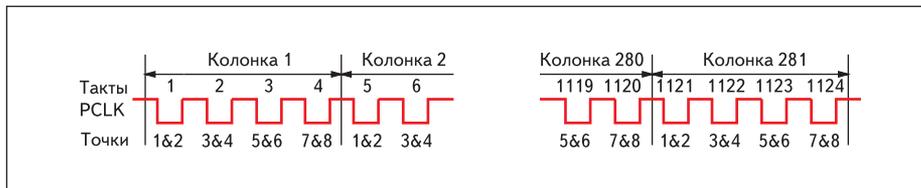


Рис. 10. Вывод кадра FingerChip

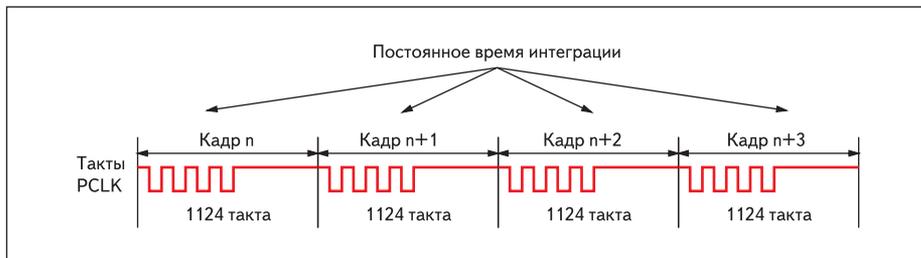


Рис. 11. Последовательность кадров FingerChip



Рис. 12. Варианты корпусов датчика FingerChip по способу крепления и соединения с базовой платой:
 а) СВ01 — крепление с помощью эластомера; б) СВ08 — приклеивание с эластомером;
 в) СВ02 — крепление через разъем для гибкого кабеля

Преимущества технологии FingerChip

Технология FingerChip имеет отличия, благодаря которым она может применяться в различных системах безопасности. Интегральная схема датчика надежно защищена от электростатических разрядов с напряжением до 16 кВ.

Полоса считывания устойчива к истиранию, выдерживает значительные приложенные усилия и позволяет получить более 1 миллиона отпечатков. Рабочее напряжение датчика AT77C102V составляет от 3,0 до 3,6 В, энергопотребление — 16 мВт при 3,3 В с частотой 1 МГц. Предусмотрен «спящий» режим, в котором включена функция сброса, остановлен тактовый генератор, выключена температурная стабилизация и отключен выходной сигнал и все выходные линии переведены в состояние высокого импеданса. В спящем режиме ток потребления ограничивается лишь током утечки. В рабочем режиме датчик полностью пассивен. Для получения данных используется температура прикладываемого пальца. В случае, когда разница температур между пальцем и датчиком становится незначительной (менее одного градуса), то включается температурная стабилизация для повышения температуры микросхемы и увеличения разницы температур.

Основные преимущества датчиков FingerChip заключаются в одновременном использовании температурного метода получения изо-

бражения, метода покадрового восстановления изображения и интеграции схем считывания и преобразования изображения на одной КМОП-подложке. Интеграция двух схем на одной подложке снижает стоимость устройства, его энергопотребление и увеличивает скорость работы.

Независимые тесты показали, что если человеком силой принуждают поставить свой отпечаток для получения доступа, то неровное проведение пальцем по датчику или обильное потоотделение помешают считать изображение отпечатка.

Комплект для разработки и отладки

Датчики FingerChip можно приобрести отдельно. Тем не менее, для извлечения эталона и сравнения образца с эталоном требуется специальное программное обеспечение, которое необходимо либо покупать у третьих фирм,



Рис. 13. Биометрический модуль AT77SM0101BCB02VKE

либо создавать самостоятельно. В связи с этим, использовать отдельные датчики становится экономически целесообразным только при крупносерийном производстве. Для применения считывателей отпечатков пальцев в мелкосерийном и среднесерийном производстве компания Atmel рекомендует использовать модуль биометрии AT77SM0101BCB02VKE (рис. 13), построенный на базе 32-разрядного микроконтроллера Atmel AT91RM9200.

Для оценки возможности модуля AT77SM0101BCB02VKE и разработки программного обеспечения нижнего уровня выпускается набор разработчика AT77SM0101BCB02VEK (рис. 14). Набор состоит из модуля биометрии AT77SM0101BCB02VKE, базовой платы с блоком питания и разъемами (Ethernet, USB, RS-232, внешней Flash-памяти CompactFlash, SmartMedia, NAND Flash, смарт-карты ISO7816), коммутационных кабелей, документации, демонстрационного ПО для Windows и Linux, SDK для Linux.



Рис. 14. Набор разработчика AT77SM0101BCB02VEK

Отладочный набор позволяет продемонстрировать возможности модуля биометрии, а также разработку программного обеспечения верхнего и нижнего уровня.

Подводя итог всему вышесказанному, хотелось бы отметить, что сегодня мы наблюдаем за стремительным развитием биометрических технологий. В области получения изображений отпечатков пальцев еще недавно существовало только две технологии — оптическая FTIR и емкостная, со своими преимуществами и недостатками.

Сканеры, использующие технологию FingerChip, не только избавлены от недостатков, свойственных устройствам предыдущего поколения, но и приобрели ряд особо привлекательных черт, таких как крайне малый размер и небольшая цена. ■

Литература

1. Bishop P. Atmel FingerChip Technology for Biometric Security. Atmel White Paper. www.atmel.com.
2. Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. Handbook of Fingerprint Recognition. Springer, New York, 2003.
3. Задорожный В. Идентификация по отпечаткам пальцев // PC Magazine/Russian Edition. 2004. № 1.