**Карманные ПК: введение в тему**

Вопросы, связанные с карманными компьютерами, смартфонами и коммуникаторами, сегодня становятся актуальными, особенно в связи с активным развитием этого сегмента рынка и стремительным ростом популярности разнообразных сверхпортативных устройств. До сих пор мы их не затрагивали, поэтому в обзоре сочли возможным привести не только техническую информацию, но и сделать ряд отступлений, которые, с нашей точки зрения, необходимы, чтобы не только констатировать особенности сложившейся на данный момент в этом секторе ситуации, но и лучше понять тенденции его развития.

Изучив ситуацию на рынке, мы решили ограничиться периодом в полгода, поскольку существенных изменений за последние три года практически на нем не произошло. Все это время усиливались процессы унификации аппаратных платформ, которые постепенно вытесняли и к настоящему моменту полностью вытеснили платформы, которые мы не будем рассматривать в обзоре. В частности, это касается платформ на 68k-совместимых ЦП семейства Motorola DragonBall. Также не будем говорить о единственной компании, до последнего времени использовавшей достаточно оригинальные разработки (Sony), в связи с ее уходом с рынка КПК и прекращения производства моделей на базе Palm OS, где использовалась основанная на ARM платформа собственной разработки (CXD2230GA, Sony Handheld Engine, на базе ядра ARM926, 8-123 МГц, 1,7-270 мВт), и переориентацией стратегии развития мобильных устройств на смартфоны (выпускаемые подразделением Sony Ericsson).

**КПК: диспозиция**

Отечественный рынок КПК, смартфонов и коммуникаторов сегодня представлен 21 изготовителем, которые предлагают устройства на четырех основных платформах: Windows Mobile, Palm OS, Symbian и Linux. В России не действует распространенный в США и Европе сервис компании RIM, Blackberry, соответственно и сами терминалы не продаются, хотя на долю Blackberry в мире приходится 15-17% рынка.

Всего можно насчитать около девяноста моделей (см. таблицу «КПК, коммуникаторы и смартфоны. Справочные данные»), которые реально продавались в течение последних шести месяцев. За I квартал 2005 г. было продано около 85 тыс. КПК и смартфонов (данные компании ITResearch); показатели II квартала, по оценкам аналитиков, составят 100—130 тыс. Безусловно, следует отметить, что это связано прежде всего с ростом популярности смартфонов преимущественно на платформе Symbian, сектор традиционных КПК менее динамичен.

В течение первого полугодия 2005 г. было выпущено примерно полтора десятка новых моделей, ориентированных на все сегменты данного рынка. Это позволяет говорить о положительной тенденции развития, тем более что при сравнении с первой половиной 2004 г. новинок примерно в два раза больше. Если говорить о традиционных КПК, то следует отметить, что сегодня обе основные платформы развиваются достаточно активно.

За рассматриваемый нами период новых моделей на базе Palm OS было выпущено несколько больше, даже несмотря на то что «сектор Palm OS» для России фактически сводится к деятельности самой компании palm-One, поскольку прочие участники «экосистемы Palm» в нашей стране не работают. В мире же достаточно активны Куосега и ряд изготовителей из Юго-Восточной Азии, таких, как Group Sense PDA, QoolLabs и даже Samsung. При этом palmOne, избегавшая после выпуска ARM-версии Palm OS существенных технологических переделок платформы, осознала, что такая политика ведет к потере конкурентоспособности, и «взялась за ум». Из трех моделей, выпущенных, а не анонсированных, только одна относится к традиционным КПК (Tungsten E2), тогда как вторая — коммуникатор (Тгео 650), а третья — вообще представитель новой для palmOne категории «мобильный менеджер» (КПК, оснащенный емким 1-дюйм дисковым накопителем Hitachi Microdrive емкостью 4 Гбайт). Кроме того, palmOne раскрыла планы по выпуску до конца года десяти новых изделий, но о них мы поговорим, когда они превратятся из анонсов в реальные аппараты.

Общая ситуация в сегменте Windows Mobile пока стабильна. По «валовому продукту» отчетливо лидирует HP, она же обладает и наиболее широким модельным рядом КПК (12 моделей, рассчитанных на все ценовые сегменты рынка). В то же время с технологической точки зрения HP пока уступает конкурентам— даже в их модельном ряду 24хх/27хх нет ничего сверхнового. Наиболее мощная модель этой серии, iPAQ hx2270, хотя и имеет, например, биометрический датчик и мощный ЦП, на роль лидера претендовать не может в связи с особенностями позиционирования всего модельного ряда, формальным же флагманом семейства iPAQ остается модель 4700, которая была выпущена давно и уже начала морально устаревать. В связи с этим интерес клиентов (тенденции изменения доли рынка об этом свидетельствуют) начинает смещаться в сторону иных марок. Тем более что другие изготовители уже делают ставку не только на традиционно важные для приверженцев КПК с этой ОС «технологичность», мощность и дополнительные функции, но и имеют в запасе модели с какой-либо яркой, необычной технической особенностью. Это прежде всего такие устройства, как Dell Axim X50v со встроенным трехмерным акселератором (Intel 2700G, 16-Мбайт видеоОЗУ), ASUSTeK P505 с уникальным «пространственным джойстиком» и огромным по меркам этого сегмента временем автономной работы, Fujitsu Siemens Pocket LOOX 720, весьма удачно сочетающий присущие современному КПК высокого уровня возможности (в том числе цифровую камеру) при небольших размерах. В итоге по количеству продаваемых устройств HP хотя и сохраняет лидерство, но оно уже не столь значительно, как год назад. По оценкам ITResearch, ее рыночная доля в I квартале 2005 г. составляет около 35%, тогда как год назад была 45-50%. Свой вклад в этот процесс вносит и бурно развивающийся сегмент коммуникаторов на базе Windows Mobile, таких, как RoverPC S2 или I-Mate Jam. Среди наиболее интересных технологических тенденций следует отметить активизацию разработчиков КПК со встроенными адаптерами GPS. Реально доступны в России КПК AIRIS Xslim N509 (на платформе MiTAC 168) и Acer n35. Заметного вклада в расстановку сил на рынке они пока не вносят, но, учитывая рост популярности навигационных применений и развитые возможности современного навигационного ПО для карманных компьютеров, имеют неплохие перспективы.

Основной вклад в рост рынка персональных сверхпортативных устройств, как уже говорилось, вносит платформа Symbian, а конкретнее — компания Nokia. Главный фактор роста — значительное увеличение рынка мобильных телефонов, поскольку основная масса устройств этой платформы ведет свое происхождение именно от телефонов.

Причина бурного роста этого рынка прежде всего в том, что сегодня происходит планомерная «смартфони-зация» сегмента high-end-телефонов. К такому решению изготовителей подталкивает то обстоятельство, что они практически исчерпали возможности наращивания функциональности телефонов в рамках собственных закрытых платформ, потому и были вынуждены обратиться к наработкам создателей смартфонов. В авангарде этого процесса — компания Nokia, Sony Ericsson менее активно участвует в нем (во многом из-за внутренних проблем и реорганизации), совсем неактивна Siemens (и, судя по сделке с BenQ, совершенно напрасно).

Покупатели при этом нередко даже не догадываются о «смартфонной» природе своего нового модного телефона. И неудивительно, что после того, как заработал отлаженный механизм продажи сотовых телефонов, они сразу же заняли очень хорошие позиции как в мире, так и в России. Заняв примерно I % сотового рынка (основная масса продаж сотовых телефонов приходится на недорогие массовые модели, тогда как смарт фоны — устройства, преимущественно позиционируемые в ценовой нише «более 300 долл.»), смартфоны радикально изменили расстановку сил. Процесс «смарт-фонизации» далеко не закончен, но можно не сомневаться, что за год-полтора именно смартфоны станут основой продуктовых рядов в сегменте high-end всех успешных изготовителей.

**КПК: что почем**

Анализ структуры продаж КПК по ценовым сегментам позволяет выявить довольно интересные закономерности. Главная тенденция на сегодня — не рост бюджетного сегмента, как это свойственно большинству секторов рынка ИТ. Напротив, бюджетных моделей становится все меньше. На наш взгляд, это обусловлено не только особенностями сегодняшнего состояния рынка, но и тем, что данная ситуация носит системный характер. Часто встречающееся деление КПК и смартфонов на группы — «начального уровня», «мощные» и т. д. — предполагает ряд затруднений, а иногда просто неправомерно, особенно если речь идет о специализированных устройствах. Более целесообразно структурировать товарное предложение по ценовым группам. Такое деление достаточно четко соответствует и технологическим нишам, хотя исключения, безусловно, есть. В настоящее время на рынке существует четыре основные ценовые ниши — до 250 долл., 250-450 долл., 450-650 долл. и свыше 650 долл., причем в эти группы входят КПК на базе всех платформ, а также коммуникаторы и смартфоны.

В ценовой нише «до 250 долл.» сегодня сравнительно немного моделей, причем преимущественно на базе Palm OS, максимум приходится на ниши 250-450 и 450-650 долл. Но, по мнению изготовителей, несколько лет проработавших на этом рынке, оптимальная цена КПК примерно 300-350 долл. (зависит от платформы). Понятно, что покупателю лучше — дешевле, но при таком уровне цен рынок остается достаточно интересным изготовителю (хотя и не сверхприбыльным). При этом процессы «удешевления» сводятся к классическому понятию — «больше возможностей за те же деньги». Так, например, сегодня даже для бюджетных моделей в качестве стандартного интерфейса используется Bluetooth, а часто и Wi-Fi. Всего Bluetooth присутствует почти у 75% всех современных моделей, и около трети всей массы имеющихся на рынке «нала-донников» снабжаются средствами подключения к беспроводным сетям.

**Технические характеристики**

Формально технические характеристики наиболее мощных моделей карманных компьютеров (коммуникаторы и смартфоны фактически представляют собой именно КПК, отличаясь от «традиционных» лишь наличием сотового модуля соответствующего стандарта) позволяют с некоторыми натяжками сравнивать их с ноутбуками не такого уж далекого прошлого. В частности, тактовая частота процессоров, используемых в КПК, сегодня достигла 624 МГц, совокупная емкость флэш-памяти дошла до 128 Мбайт, установка 1-дюйм дисковых накопителей позволяет довести емкость «дисковой» подсистемы массовой памяти до 5 Гбайт (в будущем и того больше). Многие модели имеют два разъема для карт расширения (как правило, CompactFlash Туре II и SecureDigital, совместимый с SDIO). Разрешение экранов достигло 640х480 (тут следует заметить, что максимальный физический размер диагонали экрана КПК сегодня 4 дюйма, и ограничен он не столько возможностями технологии изготовления ЖК-дисплеев, сколько соображениями эргономики и удобства транспортировки сверхпортативного устройства).

Устройства ценой до 250 долл. в основном предназначены для начинающих пользователей, которым не слишком важны разнообразные функциональные возможности. Практически все КГ1К этого сегмента обладают скромными техническими характеристиками. За прошедшее полугодие тут появилась только одна новинка — palmOne Tungsten E2 (с Bluetooth); моделей на базе Windows Mobile после ухода с рынка Rover Computers и прекращения продаж Palmax z710 просто не осталось.

КПК ценой 250-450 долл. — это наибольший из четырех сегментов. В нем представлено множество моделей всех основных изготовителей. Такое разнообразие свидетельствует о высоком спросе на устройства данной категории, что объяснимо: за небольшую сумму сегодня можно приобрести устройство, позволяющее не только носить с собой всю необходимую информацию и работать с ней, но и слушать музыку и даже смотреть видеофильмы. Среди новинок этого сегмента встречаются как недорогие модели со скромными для данного класса характеристиками, так и мощные КПК, оснащенные процессорами с высокой тактовой частотой, а также беспроводными интерфейсами Wi-Fi и Bluetooth. Данный сегмент по базовым платформам можно разделить на три группы: Windows Mobile, Palm OS, a также устройства на других платформах. Причем моделей на Windows Mobile в структуре товарного предложения примерно в пять раз больше, чем на Palm OS, а прочие платформы составляют незначительную часть ассортимента. Стоит также отметить, что после снижения цены на некоторые смартфоны компании Nokia в нише «до 450 долл.» появились и представители платформы Symbian. Можно предположить, что число таких устройств в этом ценовом диапазоне будет расти в связи с постоянным снижением цен, хотя, скорее всего, это будут морально устаревшие, «немодные» модели. В нише 450-650 долл. представлены самые передовые устройства из модельных рядов компаний. Тут есть как обычные КПК, так и смартфоны и коммуникаторы. Основная отличительная особенность моделей этого сегмента — наличие у большинства беспроводных интерфейсов Wi-Fi и Bluetooth, высокопроизводительных процессоров, а также встроенной памяти большого объема. За прошедшие полгода данная группа подверглась наибольшему обновлению. Данный сегмент четко делится на две части — традиционные КПК и коммуникаторы. Продажи примерно поровну делятся между Windows Mobile и Symbian, фактически единственная модель на базе Palm OS в данном секторе — Тгео 650. Подробно останавливаться на описании технических характеристик новинок мы не будем, все они очень сходны, различаются лишь частотой процессора и объемом установленной памяти, а дополнительную информацию можно найти в таблицах.

Аппараты с крайне высокой ценой (свыше 650 долл.) в основном относятся к категории коммуникаторов и модных, дорогих смартфонов. Кроме того, в этой же нише располагаются клавиатурные КПК Nokia (серия 9300/9500) и Sharp (на базе Linux). Они ориентированы на профессиональных пользователей, которым необходимо самое мощное и сложное устройство и которые готовы за это платить дополнительно.

**КПК изнутри**

Элементная база КПК и мобильных устройств на сегодня довольно жестко стандартизована. Давно прошли времена, когда в этом сегменте рынка царило разнообразие видов.

История карманных компьютеров началась в середине 1980-х гг. прошлого века с выпуском модели Psion Organiser II, интерес массового рынка этот сегмент привлек несколько позднее, с выпуском модели Newton Message Pad. Фактически до середины 1990-х гг. в этом секторе царило значительное разнообразие схемотехнических решений. Это вполне естественно, учитывая специфику задач и технологические ограничения, существовавшие в то время. Требования предельной миниатюризации в сочетании с жесткими условиями по энергопотреблению вынуждали разработчиков создавать самые невероятные решения, а иногда и идти на непростые компромиссы, скажем, в целях максимального удешевления отказываться от такого, казалось бы, необходимого атрибута, как разъемы для карт памяти.

Разработчики первых КПК были вынуждены практически все создавать с нуля. Это относится не только к разводке плат, конструкции, иногда даже процессоры разрабатывались «под КПК».

Примерами оригинальных системных архитектур того времени могут стать несколько моделей, например Atari Portfolio (настоящий разработчик — DIP Systems, многие, наверное, помнят эту модель по фильму «Тер-минатор-1», где юный Джон Коннор «вскрывает» банкомат именно при помощи этого аппарата), компактный клон IBM PC (правда, не совсем с ним совместимый), построенный на базе МП 80С88 с тактовой частотой 4,9 МГц, оснащался 128-Кбайт ОЗУ и монохромным экраном с разрешением 240x64 пиксел (40x8 знакомест). Небезынтересен и один из исторически первых коммуникаторов AT&T EO Communicator 440/880, оригинальная система, построенная на базе ЦП AT&T Hobbit с тактовой частотой 20/30 МГц (этот ЦП применялся в первых прототипах Newton, кроме того, в его истории есть и другой интересный факт — на нем разрабатывалась операционная система BeOS). В этом процессоре использовалась система команд CRISP (C-machine Rational Instruction Set Processor), сочетавшая в себе производительность RISC-ЦП и компактность программ для CISC. Hobbit был реализован как набор микросхем АТТ92010 (ЦП и контроллер памяти), АТТ92011 (системный контроллер, который обеспечивал взаимодействие с подсистемами питания, контроллером прерываний, занимался выборкой и декодированием команд из памяти и работой с системной шиной), АТТ92012 (контроллер PCMCIA, позволял подключать до четырех плат PCMCIA), ATT92013 (контроллер периферийных устройств, который обеспечивал взаимодействие системной шины Hobbit и 8- или 16-разрядных устройств, подключаемых к шине, совместимой с ISA; до 8 устройств) и т. д. ЦП работал при напряжении 3,3-5 В, при 20 МГц производительность составляла 13,5 MIPS, потребляемая мощность 515 мВт. В целом Hobbit — это законченный комплект для создания сверхпортативных машин. AT&T разработала несколько более мощных моделей Hobbit — 92020S (более быстродействующую), 92020М (в ней только три микросхемы), 92020МХ/92021МХ (две микросхемы, которые обеспечивали функциональность первой модели и более высокую производительность), но на тот момент рынок уже захватил Newton. Еще одна показательная разработка, наглядно иллюстрирующая вынужденную «оригинальности» подхода разработчиков к созданию КПК — Amstrad PenPad 600 (1993 г.). Машина имела три (!) процессора Zilog Z8S180 с тактовой частотой 14,3 МГц. Первый предназначался для работы прикладного ПО, ОС и драйвера сенсорного экрана, второй — для управления энергопотреблением, последний — для системы распознавания рукописного ввода. Машина имела сенсорный монохромный экран с разрешением 320x240, 192 Кбайт памяти (32 Кбайт использовалось для видеоОЗУ, 32 Кбайт — для системы распознавания, 128 Кбайт — пользовательское ОЗУ). Подобных систем было множество: Casio Zoomer, GRiD/AST 2390, Sony Magic Link, Sharp Zaurus... Apple Newton MessagePad стал новым этапом в истории развития КПК.

**Ростки унификации**

После выпуска Newton MessagePad «зоопарк» моделей КПК значительно сократился. Тут сказались и действия Apple по рекламе MessagePad, и общая ситуация на рынке. В некотором смысле Newton стал первой более или менее унифицированной платформой для КПК. На его базе было создано несколько клонов, таких, как Sharp ExpertPad и Motorola Marco (кстати, этот аппарат оснащался встроенным радиомодемом).

Newton MessagePad — первый КПК, в котором применялся ЦП на базе архитектуры ARM (ARM 610 с тактовой частотой 20 МГц), сенсорный ЖК-экран 400x336 пикселов, 4-Мбайт ПЗУ, 640-Кбайт ОЗУ (482 Кбайт которого отводилось для системных нужд, 158 было доступно пользователю), разъем PCMCIA Type II, последовательный и инфракрасный порты. Со временем появились новые модели, но архитектура оставалась общей. Правда, Newton опередил свое время и не принес Apple финансового успеха. В 1998 г. его официально сняли с производства.

В 1996 г. на рынке КПК появился новый лидер — Palm Pilot на ЦП семейства Motorola DragonBall. В первых моделях применялись DragonBall/l6 МГц (МС68328), КПК имели 256-512-Кбайт ОЗУ (512 Кбайт в модели 5000), имелся ЖК-экран с разрешением 160x160 пикселов.

DragonBall оставался платформой для Palm OS более пяти лет, фактически именно Palm во многом стал для Motorola стимулом для развития и совершенствования этой серии ЦП. С каждой новой моделью ЦП появлялся новый Palm, DragonBall EZ (M68EZ328, 16 МГц) — в Palm III, Palm mlOx, Palm Zire; DragonBall VZ (MC68VZ328, 33,1 МГц, на микросхеме интегрирована вся основная периферия, в том числе контроллер цветного ЖК-экрана) — в Palm ml25, m500, ml30, m515, Tungsten W. Был выпущен DragonBall Super VZ, но этот ЦП использовала только Sony (ныне прекратившая производство КПК на базе Palm OS). В 2002 г. Palm объявила о переходе на архитектуру ARM (изначально планировалось использовать ЦП DragonBall MX с ARM-ядром, но в итоге Palm приняла решение перейти на TI ОМАР). Параллельно в сектор мобильных устройств приходит и Microsoft. Примечательно, что первые модели КПК па базе ее платформы Windows СЕ работали на ЦП с совершенно различной архитектурой — Hitachi SH3/SH4, MIPS, ARM, причем последний долгое время практически не использовался. В клавиатурных моделях класса HandHeld PC и в компактных Palm-Size PC чаще встречались MIPS SH3. Но затем с выпуском Compaq iPAQ, построенного на StrongARM, эта архитектура стала набирать популярность и в 2000 г. волевым решением Microsoft в спецификации Windows Powered Pocket PC был оставлен только ARM.

**ARM как общий знаменатель**

Итак, элементная база КПК и мобильных устройств сегодня в основном унифицирована. В эволюционной борьбе выиграли решения трех поставщиков — Intel, Texas Instruments и Samsung, а многообразие схемотехнических решений свелось к выбору и применению того или иного высокоинтегрированного модуля и подбору компонентов, исходя в основном из цены и, возможно, специфических требований, накладываемых выбранной ОС. Все они построены на архитектуре ARM.

**ARM: генезис**

В 1985 г. английская компания Acorn Computer Group приступила к созданию RISC-процессора. Эта фирма занималась разработкой персональных компьютеров, которые пользовались популярностью в Англии. Машины были весьма интересные: уже тогда они имели графический интерфейс, многозадачный режим работы, весьма стройную архитектуру. Необходимость в собственном ЦП была связана с требованиями роста и развития, компании было необходимо конкурировать как с многочисленными ПК других изготовителей, так и с IBM PC (в Англии его победа была не столь быстрой и триумфальной, как в США).

До этого момента Acorn разрабатывала и делала все самостоятельно, от процессоров и системных плат до ОС и прикладного ПО. Но тут руководство приняло решение отойти от привычной практики, и Acorn направила в Intel запрос на лицензирование ядра ЦП i80286 — по тем временам новинки. Однако Intel не согласилась:

«Мы продаем процессоры, а не ядра». Acorn была вынуждена искать другие решения. В то время выбор огранивался кристаллами National 16032 и Motorola 68000, причем оба ЦП разработчики забраковали. Они плохо вписывались в архитектуру, были сложны, обеспечивали плохое время реакции на прерывания и т. п. Последнее стало основной причиной отказа от них, поскольку для Acorn скорость обработки прерываний была одним из критичных параметров, определявших «отзывчивость» системы. В итоге принимается решение самостоятельно разрабатывать новый ЦП.

Ресурсы скромной фирмы были несравнимы с возможностями лидеров полупроводниковой индустрии. И решение о реализации системы на базе архитектуры RISC, в то время набиравшей популярность, но еще относительно новой, в значительной степени было обусловлено именно недостатком ресурсов. RISC-процессор был технологически проще, позволял добиться значительной вычислительной мощности, хорошего времени реакции на прерывания, а значит, и времени отклика системы и т. д. Началась разработка (хотя даже сами разработчики считали свое занятие сумасшествием), в октябре 1983 г. был готов первый прототип и ряд микросхем сопровождения (видеоконтроллер, контроллер ввода-вывода, память и пр.). ЦП получил название ARM (от Acorn RISC Machine), имел тактовую частоту 8 МГц и более высокое быстродействие, чем тогдашний 80286. Правда, начальная версия в производство не пошла, в реальных системах использовался ARM 2.

В течение нескольких лет дела Acorn и ARM шли довольно вяло, под натиском х86 легендарные компьютеры «восьмибитной» эры один за другим сдавали позиции. Acorn держался долго, но... После продолжительного периода неудач и финансовых неурядиц Acorn RISC Machine была реорганизована в ARM Limited, которая оказалась более успешной, чем ее прародитель. ARM начала лицензировать технологические решения, в том числе ядро ЦП. И именно эта стратегия принесла ей успех. Сегодня ARM Ltd. — один из крупнейших «бесфабричных» разработчиков микропроцессорных архитектур. Лицензии на ядро ARM сейчас имеет практически любая более или менее крупная компания и даже некоторые конкуренты ARM (в том числе и Intel).

**ARM: эволюция**

В 1991 г. был создан ARM6 (вариантов ARM4 и ARM5 не было по маркетинговым соображениям). ARM 610 стал основой знаменитого Apple Newton MessagePad (до того Apple подумывала также о ЦП AT&T Hobbit). Этот ЦП обеспечивал достаточное быстродействие и был немного сложнее предшественников (35 тыс. транзисторов против 30 тыс. в ARM3), что позволяло удешевить производство на полупроводниковых заводах того времени.

В то же время появилась принятая и сегодня схема обозначений: ARM6 — собственно ядро, ARM60 — целостный ЦП, ARM610 — более развитые модификации ЦП с кэш-памятью, остальные цифры в номере означают наличие той или иной периферии, буквы — те или иные расширения системы команд.

Сегодня ARM предлагает широкую номенклатуру микропроцессорных ядер, архитектурных расширений, инструментальных средств и т. п. Если подходить к вопросу строго, то нужно заметить, что «процессора ARM» как такового не существует. ARM — это название архитектуры. Компания-разработчик продает ядро ЦП, оформленное либо в виде программы на языке Verilog (синтезируемые ядра), либо принципиальной схемы, либо в виде топологической макроячейки. Кроме ЦП предлагается целый ряд других решений, в частности библиотека макроячеек, реализующих стандартную периферию (PowerCell), а также разнообразные дополнительные технологии.

Модельный ряд ядер ARM развивался весьма интенсивно. В номенклатуре ядер ARM место младшего занимает семейство ARM7 Thumb, оно обеспечивает производительность около 130 MIPS, очень компактно (при проектных нормах 180 нм модификация ARM7TDMI занимает всего 0,59 мм2), удельное энергопотребление 0,25 мВт/МГц. Существуют также синтезируемые ядра ARM7TDMI-S и ARM7EJ-S, отличающиеся наличием в системе команд DSP-инструкций и средств акселерации работы виртуальной машины Java (Jazelle). ARM720T оснащается полнофункциональным модулем управления памятью (MMU, размер страницы 4-64 Кбайт), а ARM740T — упрощенным (MPU, без режима трансляции адресов). Оба ЦП имеют кэш-память (8 Кбайт).

В феврале 1996 г. DEC в сотрудничестве с ARM разработала первый ЦП серии StrongARM (SA-110) с пятиступенчатым конвейером, пятипортовым файлом регистров, блоком умножения и т. д., его энергопотребление примерно 1 Вт при тактовой частоте до 233 МГц.

ARM8 — в известной мере переходная модель, разработанная «по следам» совместного с DEC проекта StrongARM, довольно быстро сменившаяся ARM9 (с гарвардской шиной, буфером записи, гибкой схемой защиты памяти). Серия ARM9 Thumb создавалась для портативных устройств со значительными требованиями к быстродействию, производительность ядра достигает 220 MIPS, удельное потребление 0,3 мВт/МГц. В серии имеется несколько модификаций (в том числе ARM920T, ARM922T и ARM940T) с раздельными кэшами команд и данных (16/16, 8/8 и 4/4 Кбайт соответственно). Модификации ARM920T и ARM922T оснащаются MMU. В этой же серии существует семейство ядер ARM9E-S Thumb с DSP-расширениями системы команд и дополнительными средствами, повышающими быстродействие при обработке медиа-кода (в частности, умножитель-накопитель, в ЦП может быть предусмотрен математический сопроцессор VFP9-S, обеспечивающий выполнение операции с плавающей точкой над данными двойной точности). Емкость кэша от 1 Мбайт в ARM946E-S до 4-128 Кбайт в ARM926EJ-S.

Серия ARM10 Thumb ориентирована на 110-нм технологический процесс. Быстродействие ЦП этой серии достигает 700 MIPS при сохранении удельного потребления ARM9. В ядре используются 64-разрядные шины адреса и данных, имеются модули управления памятью команд и данных, в ядро может быть включен математический сопроцессор и т. д.

ARM 11 привнес рост производительности (до 1200 Dhrystone MIPS), еще более мощные средства кодирования и декодирования с акцентом на операции, свойственные MPEG-4, возможность роста тактовых частот за пределы 1 ГГц, улучшенные возможности организации многоядерных конфигураций и т. д.

Кроме процессорных ядер, существует несколько версий самой архитектуры ARM. Об этом следует помнить, поскольку нумерация ядер и архитектур не совпадает (например, в наиболее мощном на сегодня ядре ARM11 реализована система команд ARMv6).

Самая старая из существующих сейчас архитектур — ARMv4, она используется, например, в популярных ЦП StrongARM. ARN\v1 предполагает работу с 32-разрядными операндами в 32-разрядном адресном пространстве. ARMv4T — то же, но с добавлением набора инструкций Thumb (команды Thumb транслируются в их 32-разрядные аналоги). ARMv5 реализована в процессорах Intel XScale. Версия ARMv5TE стала первой, где реализованы DSP-расширения ARM, ARMv5TEJ — то же, но с добавлением команд акселерации Java (Jazelle). ARMv6 была серьезно доработана: появились средства работы с потоковыми данными (SIMD), Thumb-2 TrustZone. Архитектура ARMv7 ввела понятие «процессорных профилей»: «профиль А» определял требования к ЦП для полномасштабных ОС со сложной логикой работы с виртуальной памятью и прикладным ПО, «R» — для систем реального времени, «М» — для микроконтроллеров.

**ARM inside**

ARM — 32-разрядная, классическая load/store (в качестве операндов могут использоваться только загруженные в регистры процессора значения) RISC-архитектура. Она исключительно эффективна, обеспечивает высокое быстродействие и минимальные требования к питанию и при этом проста с точки зрения технологического процесса изготовления СБИС. В ранних моделях использовалась классическая архитектура фон Неймана (с общей памятью для данных и машинного кода), в современных моделях используется гарвардская архитектура (с раздельной памятью для кода и данных, как минимум на уровне кэша).

ЦП совместимы сверху-вниз, система команд довольно оригинальна, в частности все команды имеют одинаковую длину, выровнены по границе 32-разрядного слова, выполняются за один такт (за некоторыми исключениями). В классических ARM конвейер был короткий, всего три ступени, в современных вариантах доходит до восьми, а также реализуются средства суперконвейерной обработки. Кроме того, все команды условные для минимизации потерь при ветвлении (нередко для фрагментов кода выгоднее пропустить несколько команд, чем заниматься предсказанием ветвлений). Впрочем, в ряде модифицированных архитектур используются и блоки предсказания ветвлений (прежде всего это, конечно, Intel XScale). Имеются команды групповой пересылки, организации взаимодействия с сопроцессором и т. д. Менеджер памяти (MMU) в классической реализации также выполнен в виде отдельного модуля.

В ядре ARM имеется 16 видимых в пользовательском режиме 32-разрядных регистров (R0...R15, всего 31 регистр), счетчик команд (R15), регистр «связи» (R14), указатель стека программ (R13). Процессор может находиться в пяти режимах: привилегированном, пользовательском, прерывания, быстрого прерывания и исключения. При вызове обработчика быстрого прерывания стандартные регистры R8-R14 переименовываются (затеняются), при переходе из нользовательско-го режима в любой из системных переименовываются регистры R13 и R14. Предусматриваются механизмы быстрой обработки прерываний с оригинальной схемой «затенения» регистров (благодаря этому удается избежать такой «тяжелой» операции, как сохранение их содержимого в обработчике прерывания).

В процессорах ARM имеется ряд расширений системы команд, они присутствуют в соответствующим образом помеченных ядрах. Отметим, в частности, наличие специального 16-разрядного подмножества команд Thumb. Оно было разработано в связи с необходимостью повышения компактности кода. Как известно, программный код RISC-ЦП в среднем значительно объемнее, чем для CISC. Хотя ARM и здесь смотрится весьма достойно, тем не менее оставалась возможность оптимизировать этот параметр. Для этого было выбрано некое подмножество команд ЦП, которые были приведены к 16-разрядному виду путем удаления «избыточных» полей в операндах, адресации меньшего количества регистров и т. д. При таком подходе код становится компактнее на 25-35% (в зависимости от особенностей конкретного алгоритма), что важно при организации хранения программных модулей в условиях дефицита памяти. Процессор способен исполнять его с небольшими потерями в скорости, на лету транслируя команды в их 32-разрядные аналоги. Также имеются специальные средства для ускорения работы виртуальной машины Java (Jazelle), безопасности (Trust-Zone), SIMD.

Впрочем, обсуждение архитектуры ARM — это отдельная, весьма интересная тема, за более подробной информацией стоит обратиться к документации на ЦП (в частности, на Web-узле разработчика, www.arm.com).

На сегодня ARM стал стандартом де-факто в мире процессоров для сверхкомпактных устройств. Все три популярные сегодня платформы для КПК, смартфонов и коммуникаторов — Intel PCA (XScale), TI ОМАР/ 0МАР2 и Samsung S3C — основаны именно на ней. Рассмотрим их подробнее.

**Intel PCA**

По меткому выражению одного из корифеев компьютерной индустрии, «архитектура х86 есть торжество маркетинга над здравым смыслом». Эти ЦП тянут на себе ужасающий груз совместимости, а в жизни инженеров Intel (правда, в основном у технологов) в буквальном смысле есть место подвигу, когда приходится выпускать новые ЦП, сохраняя совместимость с разработками, созданными более двух десятилетий назад. Но в сегменте настольных и мобильных ПК, реализованных на традиционных технологиях, выхода нет — требования совместимости для ноутбуков звучат столь же значимо, как и для настольных ПК. Тем не менее в сегменте карманных компьютеров ситуация несколько иная.

Компания Intel — один из главных участников рынка в секторе ЦП для карманных ПК. Но именно «один из», здесь у нее есть сильные соперники, с которыми приходится бороться не только маркетинговыми, но и технологическими приемами.

В данный момент у Intel имеется три серии микросхем для карманных ПК (одна — для мобильных телефонов) и ряд дополнительных системных решений. История мобильных разработок Intel XScale, в общем, началась с покупки процессорного бизнеса компании Digital Equipment, создавшей микропроцессор StrongARM. Он несколько отличался от существовавших тогда реализаций. Главная задача, которую ставили перед собой разработчики этого ЦП, — создание быстродействующего ЦП с минимальными требованиями к питанию. Позднее, после покупки Intel микропроцессорного подразделения DEC, этот процессор выпускала компания Intel. Она довольно долго не обращала внимания на эту процессорную серию (во многом покупка была обусловлена возможностью разрешить ряд патентных коллизий, а вовсе не интересом к наработкам соперника; тем более что Intel на тот момент акцентировала внимание на RISC-ЦП других серий, таких, как i860 и i960).

Тем не менее Intel наладила производство StrongARM SA-1110 и разработала несколько его модификаций. ЦП (строго говоря, это была высокоинтегрирован-ная СБИС) StrongARM был основан на архитектуре ARMv4, имел трехступенчатый конвейер, 32-разрядную адресацию, аппаратную поддержку виртуальной памяти (двухуровневая таблица страниц), 32-Кбайт кэши команд и данных, 32-Кбайт буфер и был несовместим с режимом Thumb. StrongARM мог функционировать при частота^ 133, а позднее 206 МГц (до того нормой считалось 33—66 МГц).

Intel выпустила также микросхему сопровождения SA-1111, содержавшую контроллер USB, управления питанием, некоторую периферию. Эта микросхема также может быть использована с процессорами серии РХА25х.

Именно на StrongARM был построен первый КПК с Windows СЕ, использующий ЦП с архитектурой ARM — Compaq iPAQ. StrongARM SA-1110 потреблял 0,25 Вт при высокой (большей, чем у ЦП SH3 и MIPS, также применявшихся в КПК с Windows СЕ) производительности. Спустя некоторое время, в немалой степени благодаря успеху и популярности iPAQ, архитектура ARM стала стандартом де-факто в мире КПК, и с анонсом платформы Windows Powered Pocket PC 2000 Microsoft только закрепила это положение и де-юре. Обретя гарантированный рынок сбыта, Intel занялась совершенствованием серии, переименовав ее в XScale (в частности, был добавлен набор инструкций Thumb, улучшены средства управления питанием, расширена система команд и т.д.).

Сегодня комплекс технологий для рынка интеллектуальных мобильных устройств компания именует Intel Personal Internet Client Architecture (PCA). Строго говоря, использовать термин «платформа» в смысле полного, но достаточно жесткого и ограниченного определенными рамками архитектурного решения, в случае с Intel PCA было бы не совсем правомерно. Это скорее воплощение некоего стратегического видении Intel в отношении создания мобильных устройств. РСА специфицирует базовые компоненты, необходимые для решения этой задачи, в то же время оставляя возможность для маневра изготовителям. Не в последнюю очередь она нацелена на создание простой методологии создания мобильного ПО с высокой степенью переносимости или с минимальными требованиями к адаптации.

В рамках РСА существует несколько направлений: ЦП для мобильных и встраиваемых применений, архитектура для DSP-решений, флэш-память. В ряде случаев туда же относится такое направление, как разработка высокоинтегрированных СБИС для сверхминиатюрных устройств (в данном контексте прежде всего мобильных телефонов) и специализированных микросхем, подобных мобильным видеоакселераторам.

ЦП и другие аппаратные компоненты в терминологии Intel относятся к «прикладной подсистеме» (Application Subsystem). Она охватывает платформу XScale и прикладные подсистемы, такие, как управление ресурсами, взаимодействие с ОС (ввод-вывод, подключение устройств и накопителей и т. д.). Кроме того, она предоставляет интерфейсы взаимодействия с внешней памятью, периферией, системой управления питанием. Кроме того, на нее же возлагаются задачи организации высокоуровневого сетевого взаимодействия, прежде всего для подключения к беспроводным сетям Bluetooth и Wi-Fi, а также и обработки подключения к сотовым сетям.

Подсистема коммуникаций обеспечивает низкоуровневую организацию и управление сетевыми соединениями, включая как беспроводные соединения, так и традиционную телефонию и передачу данных. В ее задачи также входит обслуживание соединения по требованию прикладных программ, отслеживание вызовов, обработка ситуаций перехода между зонами и низкоуровневые функции сотовой телефонии (если таковые есть).

Еще один компонент — «стандартная шина». Intel разработала спецификацию унифицированной шины, на базе которой организован интерфейс для связи всех подсистем и компонентов как управляющих, так и передачи данных между прикладной и коммуникационной подсистемами. Здесь следует отметить, что именно унифицированность шины обеспечивает гибкость конфигураций при создании мобильных устройств. Она специфицирует не столько конкретные физические реализации, сколько необходимое подмножество функций, в том числе (в некоторых реализациях) средства обеспечения обратной совместимости или масштабирования.

Подсистема управления памятью специфицирует требования к памяти, определяя ее структуру с учетом типов модулей, производительности и энергопотребления различных типов памяти и охватывая как DRAM, так и энергонезависимую память (например, кэш, ОЗУ, системную память с возможностью «запуска-по-месту», XIP, а также внешние твердотельные накопители). В частности, предусматривается возможность разнообразных блокировок, разделения на логические «разделы» и т. д. Естественно, здесь главное место занимает флэш-память Intel, хотя на практике встречаются реализации и с памятью других изготовителей.

Основное преимущество РСА — предоставление полного комплекса схемотехнических решений для создания мобильных устройств, что позволяет их изготовителям миновать наиболее трудоемкие и дорогостоящие этапы подготовки аппаратных средств. Кроме того, в отличие от ASIC некоторых других изготовителей, Intel предоставляет достаточно полный и гибкий комплекс аппаратных средств и программного обеспечения, необходимых для воплощения в жизнь довольно широкого спектра мобильных концепций, включая даже довольно необычные и сложно совмещаемые с «монолитными» решениями. Примерами тут могут служить смартфоны, КПК, планшетные системы, коммуникаторы и даже интеллектуальная бытовая техника.

Недостаток этой платформы — в цене: на рынке есть и более дешевые решения, правда, уступающие разработкам Intel, но тем не менее позволяющие добиться хорошего компромисса с точки зрения потенциальной аудитории пользователей (например, серия КПК palmOne Zire, которые, несмотря на минимальные технические возможности, достаточно популярны, поскольку стоят зачастую менее 100 долл.). И даже несмотря на декларируемую изготовителем пригодность решений семейства РСА для устройств начального уровня, стремление Intel стимулировать изготовителей создавать более мощные и дорогие устройства просматривается достаточно явно.

Компоненты РСА, естественно, оптимизированы с точки зрения энергопотребления. К решению этой актуальной для мобильных устройств проблемы Intel подходит с двух сторон — как снижая требования к питанию собственно аппаратных компонентов («статический» подход), так и оптимизируя средства автоматической настройки в зависимости от сценария действий пользователя и характера выполняемых операций, а как следствие, нагрузки на основные подсистемы КПК («динамический» подход).

Еще один важный, хотя и несколько «сторонний» компонент — обширный набор хорошо проработанных программных средств, от интеграции и оптимизации ПО для различных программных сред до компиляторов и специализированных библиотек Intel Integrated Performance Primitives (Intel IPP) 2.0. В целом это тема отдельного разговора, хотя следует отметить, что платформа Intel совместима с большинством популярных мобильных ОС, таких, как Symbian, Palm OS, Java 2 Micro Edition (последняя не относится к ОС, но суть та же).

**Intel XScale**

В семействе процессоров XScale три серии: 270 (наиболее современная и мощная модификация), 260 (первая серия мобильных ЦП Intel, упакованных по технологии Multiple-Chip Product) и 250 (самая первая серия XScale). В целом схемотехника и дизайн в рамках семейства одинаковы, ЦП отличаются наличием интегрированной периферии и габаритами. Обозначение серии — это обозначение ЦП, модификации — системы, где, кроме ЦП, интегрирована память, необходимые контроллеры и периферия (например, РХА 271 — 32 Мбайт Intel StrataFlash плюс 32 Мбайт SDRAM).

Изготовитель имеет возможность приобретать как сам ЦП, так и законченный комплект, в большинстве случаев используется первый вариант (поскольку на рынке есть существенно более доступные по ценам модули флэш-памяти).

Микроархитектура XScale предусматривает семи-, восьмиступенчатый конвейер с возможностью суперконвейерной обработки, средства динамического управления питанием, включая напряжение и тактовую частоту, расширения системы команд, предназначенные для ускорения обработки мультимедиа-данных, буфер предсказания переходов на 128 позиций, 32-Кбайт кэши инструкций и данных (IMMU/DMMU), 2-Кбайт мини-кэш, буфер для предотвращения «пробуксовки» кэша при обработке быстроменяющихся потоков данных. Также имеются блоки управления трансляцией адресов при выборке команд и инструкций (на 32 позиции каждый), мониторинга производительности, отладочный модуль (с возможностью расставлять точки прерывания и буфером трассировки на 256 позиций). Внутренняя шина данных имеет ширину 64 бита, обеспечивает одновременный ввод и вывод 32-бит слов, пропускная способность достигает 4,8 Гбайт/с (2,4 Гбайт/с в каждом направлении) при тактовой частоте 600 МГц. Кроме того, имеется буфер записи (восемь позиций), который обеспечивает возможность продолжения обработки, не дожидаясь завершения операций записи в память.

Архитектура Intel XScale совместима с системой команд ARMv5TE. Интересная особенность — суперконвейерная обработка, что и позволяет существенно повышать тактовые частоты. В конвейере объединяются целочисленные и МАС-операции, а также операции работы с памятью. Кроме того, имеется вычислительный сопроцессор, обеспечивающий ускорение обработки медиа-данных.

XScale PXA255. Единственная выпускаемая сейчас микросхема серии РХА25х, представляющая собой интегрированную систему, изготавливается по 180-нм технологии. Ядро ЦП функционирует на тактовой частоте 200—400 МГц. В этой модели была решена проблема недостаточной пропускной способности шины, которая в свое время попортила немало крови конструкторам КПК, когда с выпуском ЦП РХА250 выяснилось, что использование более мощного ЦП не дает ощутимого прироста скорости. Тактовая частота внутренней шины составляет 200 МГц (против 100 МГц в РХА250). Кроме того, микросхема была совместима с полным комплексом периферии, в том числе с платами расширения (PCMCIA/CF и MMC/SD), USB (клиент). Модуль Peripheral Control Module обеспечивает 16 программируемых каналов DMA, интегрированный контроллер ЖК-дисплея (также с DMA для ускорения работы с цветными экранами), интерфейс для коммуникационных контролеров (Bluetooth и сотовая связь), поддержку последовательной периферии, IrDA (FIR и SIR), три UART (один с аппаратным управлением потоком), кодек АС'97, высокоскоростной интерфейс для флэш-памяти StrataFlash и т. д. Модуль System Control Module предоставляет 17 портов ввода-вывода, часы, сторожевой и другие таймеры, контроллер питания, прерываний, два генератора тактовой частоты. Микросхема размещена в корпусе PBGA, площадь монтажа 17x17 мм.

XScale PXA26x. Это семейство стало первым, в котором Intel использовала метод упаковки Multiple-Chip Product. Кристаллы серии РХА26х — высокинтегриро-ванные системы, содержащие в одном корпусе не только ЦП, но и флэш-память довольно большого объема. В корпусе РХА261 размещается 16 Мбайт, РХА262 и РХА263 — 32 Мбайт флэш-памяти Intel StrataFlash, максимум для микросхемы — 256 Мбайт. Тактовые частоты до 200 и 300 МГц соответственно. Также предусматривается интегрированный контроллер дисплея, карт памяти и т. д. Еще одно важное отличие — 32-разрядная шина внешней памяти.

Площадь монтажа ЦП — 13x13 мм, корпус — TF-BGA (294-контактный). Это семейство ЦП предназначалось для высокопроизводительных КПК, правда, готовых устройств с процессорами этого семейства появилось не очень много, поскольку на момент выпуска этой модели КПК с РХА255 еще оставались достаточно новыми и позиционировались как High-End (изготовители делали ставку на беспроводные возможности и большое количество разъемов расширения, а не на вычислительную мощность), а потом появились РХА27х.

XScale PXA27x. Наиболее совершенный на сегодня ЦП серии XScale, находящийся в массовом производстве (кодовое название Bulverde), создавался с учетом накопленного Intel опыта, что и обусловило его популярность. В семействе РХА27х имеется довольно много модификаций.

Процессор обеспечивает высокую степень адаптивности для различных применений, что позволяет строить на его основе как высокопроизводительные high-end КПК, так и относительно недорогие системы. Кроме того, Intel ориентировалась и на применение этого ЦП как базового элемента смартфонов и коммуникаторов, в том числе для сетей третьего поколения (насыщенных мультимедийными данными).

Процессорное ядро имеет семиступенчатый конвейер, 32-Кбайт кэши инструкций и данных, 2-Кбайт мини-кэш. Также предусмотрено 256 Кбайт внутренней памяти SRAM, которая используется, в частности, для хранения и обработки данных в режимах с пониженным энергопотреблением. Тактовая частота ЦП может изменяться в диапазоне 104-624 МГц, напряжение питания ядра — 0,85-1,55 В. Предусматривается возможность работы с четырьмя банками SDRAM (до 512 Мбит, до 104 МГц). В зависимости от модификации ЦП РХА27х выпускаются в разных корпусах: 356-контактном VF-BGA, PXA271 и РХА272 — в 336-контактном FS-CSP. В процессоре может быть интегрирована флэш-память StrataFlash, предусматривается возможность подключения модулей NAND-ППЗУ.

В этой серии Intel реализовала ряд достаточно новых решений, таких, как Mobile SpeedStep и улучшенные средства обработки мультимедиа-данных Wireless ММХ, благодаря которым он оказался в состоянии конкурировать со СБИС, содержащими специализированные ядра DSP (прежде всего речь идет о Texas Instruments).

К числу таких разработок можно отнести и Intel Quick Capture, подсистему ускорения обработки растровой графики, снимаемой с камер и источников звука. Стоит отметить Mobile-интерфейс Scalable Link (Intel MSL), предназначенный для взаимодействия коммуникационных и прикладных ЦП (пропускная способность до 416 Мбит/с) и снижающий нагрузку на шины данных системы.

Кроме того, все микросхемы семейства предоставляют средства поддержки самой разнообразной периферии, в том числе USB Host/Client, USB OTG, SD I/O, карт памяти (ММС/SDCard, Memory Stick), SIM-карт, клавиатур, PCMCIA/CF и т. д. На сегодня это единственная платформа, обеспечивающая приемлемое быстродействие при работе с экранами высокого разрешения (для КПК это 640x480), даже без подключения специализированных микросхем, таких, как NVIDIA GoForce, ATI Imageon или «родной» Intel 2700G.

Функциональность подсистемы Wireless SpeedStep, в общем, очевидна. От стандартных средств снижения энергопотребления, реализованных в ЦП других серий, Wireless SpeedStep отличается наличием новых режимов работы: «глубокий останов», «сон» и «глубокий сон». Идея примерно та же, что и в SpeedStep на ноутбуках, с той лишь разницей, что СБИС, лежащая в основе КПК, предоставляет возможность отключить значительно больше простаивающих в каждый конкретный момент времени блоков.

Intel Quick Capture — подсистема взаимодействия с устройствами, генерирующими потоки медиа-данных, прежде всего с камерами и источниками аудиопотоков (цифровые фотоаппараты, запись видео со звуком и т. д.). Предусматривается три режима: Quick View (предварительный просмотр изображения), Quick Shot (быстрое кодирование и запись картинки, до 4 Мпиксел) и Quick Video (запись видео).

Wireless ММХ основана на «обычной» ММХ, известной со времен Pentium ММХ. Как известно, в ЦП семейства ARM предусматриваются некоторые средства улучшения производительности для «поточных» программ, требующих обработки значительных объемов однотипных данных, но Intel руководствовалась прежде всего тем, что как система команд ММХ имеет заметно лучшую поддержку. Принципы оптимизации кода и использование этого набора инструкций хорошо знакомы множеству программистов; соответственно можно рассчитывать на появление большого количества оптимизированных для Wireless ММХ программ. Тем не менее заметим, что в реальной жизни этих программ немного, даже разработчики ОС не торопятся оптимизировать низкоуровневые программные модули для работы с WMMX (хотя в ряде случаев используются отдельные алгоритмы из библиотек сопровождения, предоставляемых Intel; как пример можно привести Kaspersky Personal Security для PDA, где, судя по данным разработчика, используется ряд криптоалгоритмов, созданных Intel в рамках программы Wireless Trusted Platform).

Максимальная тактовая частота РХА27х составляет 624 МГц. Это не предел, Intel уже достаточно давно анонсировала возможность «разгона» до 800 МГц и даже 1 ГГц, но в массовое производство такие решения пока не запущены. В реальных КПК используются также ЦП, где тактовая частота ограничена 520, 416 или 312 МГц в зависимости от ценовой ниши устройства (менее скоростные процессоры, естественно, стоят дешевле). При этом тактовая частота может изменяться динамически.

Кроме этих трех семейств, у Intel есть ряд радиотехнических решений. Например, СБИС для смартфонов — PXA800F, высокоинтегрированная «система-на-кристалле» для создания устройств, работающих в сетях GSM/GPRS, построенная на микроархитектуре Intel MSA. Она была совместно разработана Intel и Analog Devices (ADI), обеспечивает функциональность DSP и контроллера на одном ядре, предоставляя некоторые дополнительные возможности, прежде всего улучшенное управление питанием (разумеется, обеспечивает достаточно эффективную обработку медиа-данных). PXA800F построена на ядре XScale, имеет тактовую частоту 312 МГц, 4-Мбайт встроенную флэш-память и 512-Кбайт SRAM, ядро DSP функционирует с тактовой частотой 104 МГц, DSP оснащается 512-Кбайт флэш-память и 64-Кбайт SRAM.

**Texas Instruments OMAP**

Платформа ОМАР (Open Multimedia Applications Platform), созданная компанией Texas Instruments, используется преимущественно в устройствах с развитыми коммуникационными возможностями: смартфонах и коммуникаторах. В классических КПК она применяется реже, но встречается прежде всего в серии моделей palmOne. Причина популярности платформы TI в «коммуникационном» сегменте рынка мобильных устройств вполне понятна: имея множество наработок в области цифровой обработки сигнала, TI здесь представляется естественным кандидатом на роль поставщика платформы (как-никак изготовители смартфонов тоже заинтересованы в снижении времени выхода на рынок, а значит, удешевлении производства и разработки устройств). Так, например, сегодня TI ОМАР используется в смартфонах и коммуникаторах Nokia. Следует отметить, что относительная (в сравнении с некоторыми конкурентами) маломощность таких микросхем, как 1510, применяемых в высококлассных моделях, подобных Nokia 7710, компенсируется эффективностью Symbian OS. Фактически на достаточно скромных аппаратных средствах эта ОС обеспечивает на большинстве задач примерно ту же субъективную производительность, что и Windows Mobile, функционирующая на значительно более мощных ресурсах.

Что же касается КПК, то здесь TI долгое время предоставляла менее дорогостоящие платформы, чем Intel, что было важно в первую очередь при создании недорогих моделей карманных компьютеров. Когда каждое устройство продается менее чем за 150 долл., оно должно приносить изготовителю максимум прибыли, но при этом отвечать каким-то (не обязательно максимальным) требованиям и ожиданиям конечного пользователя. И TI предоставляла весьма удачное решение. Безусловно, на этой же аппаратной платформе строились и более мощные системы, но скорее как результат глобального соглашения между изготовителем КПК и TI.

TI ОМАР — архитектура, весьма сильно ориентированная на обработку сигнала. Это необязательно сотовая или беспроводная связь, вполне «подойдут» любые медиа-данные, имеющие потоковую природу, в том числе воспроизведение медиа-контента, что актуально для современных конвергентных устройств. Сегодня существует уже второе поколение этой платформы, ОМАР2, но, как видно из таблиц, есть очень много популярных моделей, построенных на первой версии этой архитектуры.

Изначально ОМАР создавалась как платформа, которая позволит сочетать довольно противоречивые требования мобильного рынка: прежде всего необходимость в высокой вычислительной мощности с минимальным энергопотреблением. С этой задачей удалось справиться благодаря созданию комплекса решений, охватывающих высокопроизводительный ЦП (на базе архитектуры ARM), ряд разработок TI в области цифровой обработки сигнала (конкретно DSP серии TI TMS320) и интеграции модулей разделяемой памяти. При этом все компоненты размещены на одном кристалле (решение более чем естественное, если вспомнить о специфике применения, хотя в определенной степени не настолько гибкое, как у соперников). В то же время называть ее «заказной микросхемой» в общепринятом смысле не совсем правомерно, ОМАР предусматривает более развитые возможности «подстройки» под конкретные требования, в частности посредст вом модификации микропрограммных модулей (в то время это был серьезный дополнительный аргумент в пользу этой архитектуры).

Сегодня все распространенные ОС обеспечивают совместимость с ОМАР, включая Symbian, Windows Mobile и Palm OS. Разработка системного ПО ведется стандартными средствами ОС плюс SDK TI или же в пакете Code Composer Studio, который предоставляет полный набор средств разработки ПО для платформы в целом, маскируя ее двойственную RISC/DSP природу.

Преимущества системы, в которой интегрирован отдельный процессор обработки сигнала, очевидны: в конце концов именно к обработке сигнала сводятся практически все функции, требующие сколько-нибудь значительной вычислительной работы в современном КПК. Для большинства стандартных программ излишни ресурсы производительности даже самых маломощных современных ЦП (некоторое исключение составляет мобильное 3D, но это тема отдельного обсуждения). Использование отдельного ЦП позволяет резко повысить вычислительную мощность устройства, сохранив на приемлемом уровне его энергопотребление (также стоит помнить, что ^требования к питанию DSP в перерасчете на удельные единицы значительно ниже, чем у сопоставимого RISC-процессора). Это важно сейчас и будет еще важнее завтра, когда терминалам сотовой связи третьего поколения придется обеспечивать еще и высококачественное видео и аудио, причем все это параллельно (скажем, владелец не захочет прерывать онлайновую игру при поступлении входящего вызова).

Одна из ключевых особенностей ОМАР — возможность извне, посредством достаточно тривиального API (с точки зрения использования разработчиком прикладных программ, незнакомым с особенностями программирования DSP) манипулировать модулями цифровой обработки сигнала. Впрочем, в ряде случаев разработчики программных платформ ограничивают доступ к «мосту» DSP/BIOS (DSP/BIOS Bridge), например, Symbian предоставляет средства прямой работы с этим API только в дорогостоящих Premium-версиях SDK и DDK.

Надо отметить, что также существует ряд бюджетных решений, таких, как ОМАР310, где отдельные возможности DSP реализованы как «расширения» ЦП общего назначения (ARM925/ARM925T).

По данным изготовителя, DSP TMS320C55x обеспечивает примерно трехкратное превосходство в быстродействии над ЦП общего назначения при реализации мультимедиа-алгоритмов. В качестве базы для сравнения использовались ЦП StrongARM и ARM9E, среди тестов были задачи на распаковку JPEG, воспроизведение видеопотока MPEG-4, ряд специфичных для коммуникационных устройств задач (таких, как подавление эха).

В высокопроизводительных моделях ЦП, построенных на базе ОМАР2, это соотношение еще лучше. При этом потребляемая мощность значительно (более чем в два раза) меньше, нежели для ЦП общего назначения.

Архитектура ОМАР объединяет DSP серии С55х и ЦП ARM925T на одной микросхеме. Оба процессора используют кэш-команд, ядра имеют модуль управления памятью. Ядро ОМАР содержит два внешних интерфейса памяти и один порт внутренней памяти. Внешние интерфейсы памяти могут напрямую подключаться к модулям памяти SDRAM при частотах до 100 МГц и к стандартным асинхронным типам памяти (SRAM, Flash). Этот интерфейс обычно используется для организации подсистемы хранения, может быть 16-или 32-разрядным. Порт внутренней памяти обеспечивает прямой доступ к SRAM самой микросхемы и ориентирован на работу в роли буфера (как программного, например, для размещения критичных ко времени функций ОС или хранилища данных, например, видеобуфера). Все интерфейсы независимы и обеспечивают параллельный доступ от любого процессора или устройств с прямым доступом к памяти.

ОМАР также предусматривает DMA-интерфейсы для соединения с периферийными устройствами. Локальная шина — высокоскоростная, двунаправленная, многопользовательская, предоставляет внешнему устройству возможность работать с памятью микросхемы. Такой подход позволяет существенно упростить систему, снижая количество функциональных блоков, обеспечивающих взаимодействие между подсистемами устройства.

Кроме того, в ОМАР интегрирована наиболее распространенная периферия, например, контроллер ЖК-экра-на, универсальные интерфейсы ввода-вывода, UART, имеется также сторожевой таймер. При этом блок DMA прикладного ЦП имеет специализированный канал для пересылки данных из видеопамяти в контроллер ЖК (видеобуфер может размещаться в SDRAM или SRAM).

OMAP-DM270. Процессор для миниатюрных устройств, прежде всего камерофонов (совместно с Sharp TI выпустила эталонный дизайн такого аппарата). Микросхема изготавливается по технологии CMOS со 130-нм проектными нормами, напряжения питания 1,5 В (ядро), 3,3 В (ввод-вывод). Упаковка BGA.

Оснащается двумя ядрами — ARM7TDMI/80 МГц с 8-Кбайт кэшем инструкций и 128-Кбайт интегрированной памятью и DSP TMS320C54x/90 МГц со 128-Кбайт интегрированной памятью. На микросхеме также имеется программируемый блок обработки графики (точнее, любых SIMD-данных) iMX, функционирующий на тактовой частоте 180 МГц, два 8-Кбайт буфера для обработки графики, сопроцессор для обработки мультимедиа-данных. Предусматриваются средства ускорения генерации картинок низкого разрешения (для организации предварительного просмотра фотографий, отснятых камерой) и цифровое масштабирование, а также аппаратный блок предварительной пиксельной обработки. Модуль обеспечивает реализацию функций автофокусировки, настройки баланса белого и экспозиции в реальном времени. OMAP-DM270 поддерживает до 64 Мбайт памяти (120 МГц SDRAM с 32-/16-разрядным интерфейсом), внутреннюю флэш-память (до 16 Мбайт), имеется интерфейс для подключения SDRAM (100 МГц) до 128 Мбайт и стандартных устройств внешней памяти (CompactFlash, SmartMedia, Secure Digital и Memory Stick). Также предусмотрено два UART, 10-бит канал для вывода композитного видео (NTSC/PAL), видеовход, контроллер USB 1.1 и т. д.

Эта микросхема не самая мощная, но обеспечивает заметно лучшее соотношение цены и функциональности, не говоря уже о гибкости, нежели ASIC, применяемые во многих современных камерофонах (не зря даже Samsung, имеющая собственные решения в этой области, приняла решение использовать OMAP-DM270 в новейших устройствах с камерой и жестким диском). Хотя разрешение съемки по нынешним временам может показаться недостаточным, для аппаратов среднего класса эта модель — весьма удачный компромисс.

ОМАР310 и 330 — процессоры для недорогих устройств, в частности, модель 310 использовалась в КПК серии palmOne Zire. OMAP310 — улучшенная версия ОМАР310 с увеличенным быстродействием (на 17%) и сниженным энергопотреблением. Микросхемы сделаны по 130-нм технологии CMOS, интересны тем, что «двухъядерность» в них сводится к расширениям DSP в ЦП общего назначения (фактически это ARM925 с расширениями TI). Идея состоит в том, что создатель устройства сможет разрабатывать для него ПО, которое впоследствии без дополнительных затрат использовать на более мощных моделях, сокращая таким образом время выхода продукта на рынок (микросхема совместима с ОМАР1510). Ядро построено на архитектуре ARM9 с поддержкой Thumb (ARM9TDMI), работает на тактовой частоте до 175 МГц (новейшие версии), имеется 16-Кбайт кэш инструкций и 8-Кбайт данных, модули управления памятью, 192 Мбайт внутренней SRAM, используемой под кадровый буфер, контроллер DMA и т. д. На микросхеме также интегрирован полный набор необходимой периферии: три UART (один — с поддержкой SIR для инфракрасной связи). Обеспечивается возможность организации подключения к беспроводным сетям, имеется интерфейс цифровой камеры и ускоритель двухмерной графики (в модели 331).

Процессор ОМАР850 входит в серию «прикладных коммуникационных» микросхем TI. Он фактически составляет часть набора микросхем TCS3500, предназначенного для создания мощных смартфонов и коммуникаторов, обеспечивает поддержку GSM/GPRS/EDGE, позволяет воспроизводить видеопоток MPEG-4 и Windows Media-video, MP3, работать с картинками высокого разрешения (до 2 Мпиксел) и т. д. Техпроцесс — стандартные для этой серии решений 130 нм, потребляемый ток 10 мкА (в режиме ожидания). Архитектура полноценная, двухпроцессорная, «прикладной» ЦП — ARM926TEJ с тактовой частотой 200 МГц, предусмотрен аппаратный ускоритель Java, набор инструкций для обработки потоковых данных. Реализованы средства сопряжения с беспроводными сетями, аппаратный ускоритель двухмерной графики и криптографический акселератор. Эталонный дизайн TCS3500 предусматривает разведенную плату, реализацию стека протоколов GSM/GPRS/EDGE, инструментарий разработчика.

ОМАР750 — более простая версия этой же платформы, занимающая промежуточное положение между микросхемами серии ОМАР73х. От последней ее отличает большее быстродействие и ряд дополнительных функций. Роль ЦП общего назначения выполняет

ARM926, DSP — TMS320C54x. Реализован полноценный GSM/GPRS модем класса 12, поддержка DDR (в ОМАР73х — только SDRAM), повышена пропускная способность интерфейса кадрового буфера. Кроме того, предусмотрены адаптеры беспроводных сетей, Bluetooth, средства подключения GPS-модулсй и цифровой камеры.

ОМАР730 и 733 — микросхемы для мобильных устройств базового уровня, модель 733 отличается от 730 возможностью работы с памятью до 256 Мбайт (stacked mobile SDRAM). OMAP733 — часть радиочастотного НМС TCS2630, кроме того, на базе микросхем этой же серии построена эталонная платформа для смартфона, разработанная совместно palmOne и TI. Внутренняя структура довольно интересна. В это решение интегрированы ядро прикладного ЦП (ARM926) и модуль обработки сигнала, в котором имеются DSP TMS320C54x и ядро ARM7TDMI. Микросхема оснащается акселератором Java, средствами USB On-Thc-Go и т. п. Процессор компактен, размер кристалла — 12x12 мм (MicroStar BGA).

ОМАР710 — базовая версия платформы для смартфонов, КПК и Интернет-терминалов. В однокристальном варианте имеется модем GSM/GPRS и ЦП ARM925 с некоторыми фирменными расширениями TI. Платформа создавалась как часть радиочастотного НМС TCS2500, программно совместима с ОМАР310.

ОМАР1510 — модель начального уровня из серии высокопроизводительных, очень популярна как среди изготовителей КПК, так и смартфонов/коммуникаторов: достаточно упомянуть такие аппараты, как palmOne Zire/Zire 21, Nokia 7710 (самый экзотический коммуникатор построен на скромной по возможностям микросхеме, впрочем, это ощущается по некоторой его «задумчивости» на операциях, не связанных с обработкой сигнала). Предоставляются все базовые возможности, но и только. Максимальная тактовая частота 132 МГц. На базе этого решения, в частности, построен популярный смартфон Motorola MPx200. Микросхема недорогая и эффективная, изготавливается по 130-нм технологии, содержит ядра DSP TMS320C55x и TI925T ARM9TDMI. Первое функционирует на тактовой частоте до 192 МГц, содержит кэши инструкций и данных (16 и 8 Кбайт соответственно), собственную память (64-Кбайт DARAM, 96-Кбайт SARAM), средства ускорения операций с видео, графикой, смешения цветов и т. д. Максимальная тактовая частота ядра ARM 168 МГц, содержит 16-Кбайт кэш инструкций и 8-Кбайт кэш данных, имеется 196 Кбайт внутренней SRAM (используется как фреймбуфер), MMIJ и т. п. На микросхеме интегрирован богатый комплект периферии, от USB (правда, 1.1, но зато и клиент и хост, с возможностью подключения до трех ведомых устройств) и интерфейса камеры до контроллера дисплея (с DMA) и контролеров карт памяти.

ОМАР161х — серия микросхем с большей производительностью. По разным причинам, в основном из-за особенностей ценовой политики, они не стали настолько же популярны, как предыдущая (ОМАР1510) и более мощная (ОМАР1710) модели. ОМАР 161х обеспечивает примерно в полтора раза более высокое быстродействие, чем ОМАР1510 на стандартных задачах, и 70%-пый прирост в работе с мультимедиа, до восьми раз — при работе с Java (в основном благодаря применению ядра ARM926TEJ с поддержкой Jazelle). Микросхема содержит ядро двухмерной акселерации.

ОМАР1710 — наиболее мощный представитель платформы ОМАР первого поколения, последующие модели относятся уже к ОМАР2. Эта многофункциональная, высокоинтегрированная микросхема, основанная на ОМАР1610. Это первый процессор TI, выпускаемый по 90-нм технологическому процессу. Переход на более совершенную технологию позволил снизить энергопотребление и площадь кристалла почти на 50%. При этом производительность возросла на 40% относительно предыдущего поколения микросхем, был расширен список периферийного оборудования. Процессор ориентирован на совместную работу с радиотехническими НМС компании TI в случае создания коммуникатора или смартфона, включая модели для сетей GSM/GPRS/EDGE, CDMA2000, UMTS. Ядра ЦП — DSP TMS320C55x и ARM926TEJ — функционируют при тактовой частоте до 220 МГц, имеется собственная память, в том числе защищенные области и загрузочный модуль, четырехканальный DMA (17 логических каналов), развитый набор периферийных устройств и т. д.

ОМАР24хО — новейший представитель этого семейства ЦП, первый процессор на базе архитектуры ОМАР2. Компания TI позиционирует его как процессор для сверхмощных персональных устройств, оснащенных средствами отображения трехмерной графики, цифровыми камерами высокого (более 4 Мпиксел) разрешения, приема высококачественного ТВ-потока и т.д. В серии две модели, ОМАР2410 и ОМАР2420, TI относит их к классу решений для устройств АОЕ, Аll-in-One Entertainment.

В основе ЦП два ядра — ARM1136JS-F, функционирующее при тактовой частоте до 330 МГц, и TMS320C55x (220 МГц). Они дополнены средствами ускорения трехмерной графики на базе разработок PowerVR МВХ (по оценкам TI, выигрыш при рендеринге трехмерных сцен составляет до 40 раз). Кроме того, появилась дополнительная микросхема управления питанием, TWL92230, благодаря чему TI ликвидировала некоторое отставание по сравнению с XScale. Реальных устройств на базе этой платформы на момент написания обзора не существовало (исключая несколько анонсов, также есть информация, что именно эта микросхема будет использоваться в следующем поколении игровых консолей N-Gage).

**Samsung S3C2400**

Серия СБИС Samsung S3C2400 на рынке КПК стала известна относительно недавно, с выпуском микросхем серии HP iPAQ hl9xx, и на сегодня очень широко распространена среди бюджетных КПК. Изначально предполагалось, что микросхемы Samsung станут основой для сверхдешевых и сверхкомпактных КПК с монохромными экранами, совместно с Microsoft даже была разработана некая концептуальная модель, но впоследствии идея не имела успеха — и устройства все же остались цветными. Еще один существенный технологический вклад Samsung в развитие КПК — распространение дешевой флэш-памяти NAND и популяризация неоптимальной схемы работы. В связи с отсутствием у модулей памяти средств XIP, «исполнения-по-месту», половина установленного на КПК ОЗУ тратилась на хранение ОС, программные компоненты которой копировались туда из ПЗУ при первой загрузке (т. е. ПЗУ использовалось только для хранения файлов системы).

В семействе «мобильных» микросхем Samsung имеется несколько изделий, ориентированных на разные сегменты рынка, не только на КПК, но и, например, на GPS-адаптеры и МРЗ-плееры. Samsung не балует разработчиков КПК особенным разнообразием схемотехнических решений, фактически большинство микросхем построены на одной и той же основе (синтезируемое ядро ARM92x различных модификаций), различаясь тактовой частотой, периферией и корпусировкой. Серия S3C24xO содержит несколько ЦП, основной интерес представляют S3C24A0A, S3C2410A и S3C2410, которые отличаются типом ядра (ARM926EJ-S и ARM920T соответственно) и наличием интегрированного декодера MPEG-4. Они ориентированы на рынок традиционных и мультимедийных КПК/смартфонов. S3C24A0A обеспечивает достаточно высокую производительность при обработке сигналов, не в последнюю очередь благодаря аппаратному модулю обработки MPEG-4. СБИС имеет высокую степень интеграции, в частности предусматриваются 16-Кбайт кэши инструкций и данных, MMU, ЖК-контроллер, интерфейс с камерой, загрузочный блок NAND флэш-ППЗУ, модуль системного управления (в частности, обеспечивает управление энергопотреблением), двухканальный UART, четырехканальный контроллер DMA, таймеры, GPIO, контроллер USB-хоста (используется, например, в Acer пЗО, — довольно необычная для бюджетного КПК возможность), SD/MMC и т. д.

Модель семейства S3C2410A пользуется значительно большей популярностью. Этот ЦП фактически стал стандартом для бюджетных КПК, его используют все, включая HP, Acer, Eten и др. У Samsung есть еще несколько решений (например, S3C341O), но в КПК они встречаются очень редко. Из особо интересных, тем не менее, стоит отметить S3C2410X01, тактовая частота которой может достигать 533 МГц при сохранении невысокого энергопотребления.

**КПК: на пути к мобильному 3D**

Возникновение в модельных рядах разработчиков микросхем трехмерной графики изделий для карманных ПК и смартфонов обусловлено скорее маркетинговыми соображениями, нежели реальной потребностью рынка. Учитывая специфику мобильных устройств, прежде всего ограниченный по размерам экран, можно сказать, что 3D с трудом прокладывает себе дорогу в карманы пользователей (кстати, во многих случаях при отображении 3D на экранах мобильных устройств не возникает необходимости даже в банальной фильтрации текстур — из-за небольшого разрешения экрана пикселизация просто незаметна). Тем не менее этот процесс, пусть и относительно вяло, но идет. И отчасти чтобы «застолбить» место на рынке, отчасти для полноты спектра продуктов, все основные участники этого рынка отметились и здесь (во многих аппаратах также используются не слишком интересные с технической точки зрения, зато надежные и дешевые контроллеры Epson).

Специфика «мобильного 3D» состоит прежде всего в том, что только средств трехмерной графики заведомо недостаточно, контроллер должен обеспечивать большое количество дополнительных функций, от кодирования/декодирования видеопотоков, поддержки видео- и цифровых камер и т. д. Еще требуется обеспечить хорошее время работы от батарей. При всем этом изготовителям ГП приходится соперничать в данном сегменте со встроенными решениями, что тоже сказывается на темпах развития данного рынка.

Дополнительная микросхема, особенно мощная, усложняет конструкцию и, что важнее, требует дополнительного питания. И это не очень сочетается с практикуемой в данном сегменте политикой максимальной интеграции периферии на одной микросхеме, чтобы избежать дублирования функциональности (например, задействовать имеющийся в основной СБИС объем SRAM, в стандартной конфигурации используемой под видеобуфер), требуются дополнительные усилия. В итоге в секторе КПК дела пока несколько лучше у ATI и Intel, большинство же анонсов NVIDIA связано со смартфонами/мощными телефонами.

**NVIDIA GoForce**

Модельный ряд ГП NVIDIA для мобильных устройств довольно широк. Компания занялась сегментом КПК в 2003 г. после покупки корпорации MediaQ, которая разрабатывала высокопроизводительные ЖК-контрол-леры для КПК, — они использовались в некоторых моделях Toshiba и HP iPAQ. После приобретения продуктовая серия была сравнительно быстро переориентирована на трехмерную графику, однако следует признать, не в ущерб другим возможностям.

NVIDIA GoForce 2100 фактически представляет собой очень компактную модификацию контроллера MediaQ и ориентирован прежде всего на мобильные телефоны. Он обеспечивает ускорение обработки мультимедиа и двухмерной графики для экранов с разрешением до 320x240 пиксел. Микросхема оснащается 160 Кбайт видеопамяти. Сильной стороной решений MediaQ, а теперь и NVIDIA всегда считался гибкий интерфейс для подключения к разнообразным типам ЖК-экранов. Микросхема встречается в i-mode телефонах Mitshubishi.

Модель GoForce 2150 — улучшенная версия Go-Force 2100 с возможностью обработки фотографий с разрешением до 1,3 Мпиксел, аппаратным декодером JPEG, поддержкой двухдисплейных конфигураций в телефонах, блоком постобработки MPEG-4 и базовыми средствами снижения энергопотребления.

Микросхемы серий GoForce 3000 и 4000 основаны на общей архитектуре, но отличаются емкостью видеопамяти (320 и 640 Кбайт), максимальным разрешением экрана (480x320 и 640x480) и фотокамер (2 и 3 Мпиксел соответственно). Кроме того, в модели 4000 предусматривается ряд дополнительных возможностей, например, аппаратное кодирование видеопотока MPEG-4 (в GoForce 3000 предусмотрен лишь декодер). И обе эти микросхемы сегодня позиционируются как решения для сотовых телефонов. Кроме того, в этой серии были усовершенствованы средства управления питанием.

GoForce 3D — наиболее мощная серия геометрических ускорителей NVIDIA для карманных ПК. Собственно, это первые микросхемы, обеспечивающие полноценное ускорение операций, связанных с обработкой 3D. Разработчик называет их «беспроводными медиа-процессорами» (Wireless Media Processor, WMP) и нацеливается как на рынок высокопроизводительных КПК и специализированных мобильных консолей, так и на сектор смартфонов и high-end-телефонов.

Кроме ГП, микросхема оснащается аппаратным кодеком JPEG (до 2048x1536) со средствами NVIDIA Fo-toPack, обеспечивающим оптимизацию сжатия JPEG, кодеком MPEG-4 (VGA, до 30 кадр/с) и кодеком для видеоконференций (CIF, 352x288, до 30 кадр/с). Емкость внутренней памяти увеличена до 1280 Кбайт (со 128-разрядной шиной). В серии GeForce 3D существует две модели, 4800 и 4500, различающихся наличием средств FotoPack и максимальным разрешением дисплея.

Самая интересная особенность GoForce 3D — пик-сельно-шейдерная архитектура. Модель GoForce 3D 4800 позволяет одновременно обрабатывать до шести текстур, геометрический процессор обеспечивает ускорение графики, естественно, разгружая ЦП (поскольку берет на себя еще и управление экраном, камерами и кодеками, выигрыш получается еще более существенный).

При этом энергопотребление кристалла относительно невелико. При задействовании средств снижения энергопотребления nPower (весьма оптимизированное и комплексное решение, объединяющее целый ряд методов экономии энергии, от использования техпроцесса с проектными нормами 130 нм и минимизацией утечек до архитектурных особенностей «раскладки» микросхемы), в процессе игры тратит, по оценкам разработчика, 20-50 мВт, тогда как сопоставимое по функциональности программное ядро, реализованное на ЦП общего назначения или DSP, может потребовать до 5-50 Вт.

Графическое ядро GoForce 3D предоставляет практически все базовые средства, включая расчет трансформаций, поддержки множественных текстур, до восьми поверхностей (цвет, Z, текстуры), билинейную/трилинейную фильтрацию, вычисления с плавающей и фиксированной точкой и т. д. Нельзя не отметить, что рост популярности трехмерной графики в мобильных устройствах стимулирует появление достаточно развитых и законченных стандартов ее поддержки в программном обеспечении, GoForce 3D совместим со всеми существующими сегодня программными платформами и стандартами мобильной графики, включая OpenGL ES и MD3D.

GoForce, будучи мощным устройством, вызывает вполне закономерный интерес. Хотя его возможности и представляются несколько избыточными для бытового КПК, изготовители портативных игровых консолей уже его используют (в частности, он применяется в Gizmondo, игровом аппарате на базе Windows Mobile).

ATI Imageon

ATI тоже начала со скромного адаптера Imageon 100, предназначенного преимущественно для мобильных телефонов и недорогих КПК. Разработки ATI сегодня довольно широко распространены, правда, преимущественно в сегменте мобильных телефонов. Это связано с тем, что они оказались несколько более сбалансированными, да и опыт ATI в разработке хорошо интегрированных мультимедиа-акселераторов тоже сказался. Кроме того, надо учитывать, что главный на тот момент соперник ATI, компания MediaQ, в самое «жаркое» время, когда начиналась разработка «трехмерных» телефонов первого поколения, уже вышедших на рынок, переживала реорганизацию и слияние с NVIDIA. Тем не менее послужной список ATI в мобильном сегменте выглядит достаточно солидно — Motorola, Fujitsu, LG (с трехмерным игровым телефоном SV360). В секторе КПК микросхемы серии ATI Imageon можно найти в игровой консоли Tapwave Zodiac (на базе Palm OS), коммуникаторах Hitachi и КПК Zaurus и Toshiba.

В то же время сейчас ATI почти полностью переориентировалась на рынок коммуникационных устройств, микросхема Imageon 3200, которая используется, в частности, в HP iPAQ hz4700 и Tapwave Zodiac, по каким-то причинам была снята с производства. Ускоритель был весьма интересный, он позиционировался как медиа-сопроцессор, в котором, кроме графики, интегрированы и такие устройства, как контроллер USB OTG, SDIO, кодеки MPEG/JPEG. Но он, судя по всему, не выдержал конкуренции со стороны интегрированных СБИС от изготовителей платформ (примерно в то время происходили процессы унификации аппаратных платформ и набирали силу 11 ОМАР и Samsung S3C2400).

В модельном ряду графических микросхем для мобильных устройств ATI на сегодня довольно много модификаций, относящихся к трем семействам — 2100, 2200 и 2300. Imageon 2282 ориентирован на high-end-смартфоны, требующие прежде всего высокопроизводительных средств обработки видео, включая режим «картинка-в-картинке» (для видеоконференций). Imageon 2182 предназначается для недорогих моделей, обеспечивает поддержку цифровых камер с разрешением до 1,3 Мпиксел, записи-воспроизведения видео и звука. Imageon 2300 — мощный мультимедийный акселератор, на базе которого можно воздавать сверхмощные (по нынешним меркам) телефоны и смартфоны, обеспечивающие хорошее быстродействие при рендеринге графики, причем параллельно с обработкой сигнала, что может быть актуально для сетей третьего поколения. Кроме того, он обеспечивает поддержку кодеков MPEG-4, работу портов оцифровки видео и камер с высоким разрешением (1,3 и 2 Мпиксела), возможность работы в двухдисплейных конфигурациях. Imageon 2260/2262 — мультимедийные сопроцессоры, в основном ускоряющие обработку именно медиа-контента, а затем — игр. Кроме того, они позволяют создавать телефоны с камерами высокого разрешения (до 2 Мпиксел). Imageon 2240 — двухмерный ускоритель для недорогих камерофонов. Imageon 2200/2250 — базовая модель с относительно скромными возможностями (тем не менее реализована поддержка захвата видео и ЦФК).

**Intel 2700G**

Это изделие было разработано Intel в рамках проекта по созданию РХА27х и тесно с ним связано (фактически Intel позиционирует его как микросхему сопровождения для РХА27х, кодовое название проекта — Marathon). На сегодня единственный известный пример массовой модели, где он используется, — Dell Axim X50v. Сильная сторона этого решения — Intel умеет продвигать свои наработки, и, в частности, она реализовала ряд программных решений, упрощающих создание ПО, использующего преимущества этой микросхемы. Не так давно прошла информация об успешной попытке портирования на Dell Axim X50v ряда трехмерных игр, таких, как Cube (FPS с весьма оригинальной и совершенной технологией рендеринга), Solterra, Yeti 3D и др. Безусловно, главная заслуга тут принадлежит разработчикам программных «прослоек», таких, как OpenGL ES и JSR 184, но это демонстрирует очень неплохой потенциал акселератора. Особенно когда он перейдет в разряд решений для массового рынка (пока он из-за высокой стоимости используется лишь в high-end-моделях, все же 15 долл. в партии 10 тыс. пока довольно дорого для этого сегмента).

В семейство Intel 2700G входят две модели: 2700G3 (с объемом памяти 384 Кбайт на кристалле, он ориентирован на экраны QVGA/HVGA) и 2700G5 (с 704-Кбайт памятью, ориентирован на VGA). Обе микросхемы также предоставляют средства аппаратного ускорения обработки MPEG (2 и 4) и WMV, позволяет разрабатывать двухдисплейные устройства. Максимальное разрешение — до SXVGA Intel совместно с Intrinsyc также разработала эталонную платформу для устройства на базе РХА27х и 2700G. В частности, предусматривается экран VGA с диагональю 4-дюйм, 128 Мбайт SDRAM, 64 Мбайт флэш-ППЗУ (естественно, Intel StrataFlash), 16-Мбайт видеоОЗУ, 1-Мпиксел камеру, два разъема для карт памяти, средства беспроводной связи.

**Список литературы**

Журнал «Upgrade» №8, 2005 г.