

# «Кремниевая сходимость» и будущее проектирования электронных систем

Денни БИРАН (Danny BIRAN)

Перевод: Дмитрий КОМОЛОВ  
dima@efo.ru  
Роман ЗОЛУТХО  
roman@efo.ru  
Ирина ПАПЕНКОВА

**Увеличение степени интеграции микросхем для разработчиков электронных систем является позитивным моментом, поскольку полупроводниковые приборы могут иметь больше встроенных компонентов (процессоров, специальных вычислительных устройств, блоков памяти и периферийных контроллеров) в одной микросхеме, что означает более высокую производительность, меньшее энергопотребление и меньшие габаритные размеры. С другой стороны, теперь именно от разработчиков микросхем в большей степени зависит внедрение инноваций и позиционирование изделий для конкретных приложений. Разработчики электронных систем должны понимать, о чем думают проектировщики микросхем, и быть готовыми применять их продукцию для своих конкретных задач. В данной статье рассматривается, как меняются способы реализации наиболее важных приложений по мере развития технологии производства полупроводников.**

## Введение

Наиболее массовыми приложениями на современном российском рынке электроники являются системы видеонаблюдения, проводное и беспроводное телекоммуникационное оборудование и различные системы управления. Как правило, все эти устройства получают информацию по каналам с высокой пропускной способностью, осуществляют ее обработку для выделения необходимых данных и анализируют эти данные при помощи сложных вычислительных алгоритмов, а затем выполняют действия для реализации решений, сделанных на основе этого анализа. При этом обеспечивается минимальное время реакции системы.

Например, система видеонаблюдения может принимать с камеры 1080 строк видео прогрессивной развертки, обрабатывать его для улучшения контура изображения, идентифицировать и выделять

представляющие интерес объекты. Такая обработка обычно производится при помощи стандартных, относительно простых, но требующих интенсивных вычислений алгоритмов.

На следующей стадии более мощные блоки обработки анализируют эти объекты, пытаются определить, например, факт вторжения на объект или осуществить распознавание конкретных лиц. Такие алгоритмы разрабатываются для конкретных задач и могут часто модифицироваться. По результатам анализа система или включит сигнализацию и заблокирует выходы, или же оповестит органы безопасности.

## Программный вариант решения

Разработчики могут реализовать данную систему несколькими способами. Первый — это разработка программного обеспечения (ПО) для стандартного микропроцессора, специализированной микросхемы (Application-Specific Standard-Product, ASSP) или мощного 32-разрядного микроконтроллера. При этом решаются задачи разработки алгоритмов, отладки ПО и определения производительности системы. Если последней не хватает, то ее можно повысить, применив для этого или несколько микропроцессоров, или специальные вычислители, такие как процессоры ЦОС или векторные. Когда все перечисленные задачи решены, то система готова для окончательной верификации функциональности, быстродействия и энергопотребления.

В нашем примере управляющее программное обеспечение для системы видеонаблюдения будет выполняться на микропроцессорном ядре. Стандартные алгоритмы обработки изображений будут выполняться на процессоре ЦОС, а более сложные специализированные алгоритмы — на всех доступных процессорных ядрах параллельно. Этот вариант решения является относительно простым для внесения изменения в проект в случае обнаружения ошибок или модификации системы, но при этом он является самым медленным с точки зрения реализации алгоритмов и наиболее энергоемким. Таким образом, программное решение не является наилучшим для систем, которые требуют высокой производительности и большой функциональности. Кроме того, подобные реализации могут быть легко скопированы конкурентами, имеющими доступ к выпускаемому оборудованию, так как специфические функции реализованы с помощью ПО.

## Аппаратный вариант решения

Другой способ — это создание специализированной аппаратной части на основе требований, предъявляемых к разрабатываемому оборудованию, и написание системного программного обеспечения к ней. Таким способом создается большинство заказных микросхем (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC), ориентированных на конкретное приложение. Вначале разработчики оборудования определяют, какие процессорные ядра, аппаратные ускорители, блоки памяти

Вице-президент по развитию Дэнни Биран (Danny Biran) работает в компании Altera с января 2005 г. С 2001 по 2005 гг. занимал должность председателя правления компании Silverback Systems. Г-н Биран имеет 25-летний опыт деятельности в области полупроводников, включая работу в компаниях LSI Logic и National Semiconductor.



и интерфейсные контроллеры будут необходимы для реализации системы. Затем они передают эти требования разработчикам специализированной микросхемы.

В нашем примере разработчики системы должны выбрать двухъядерный процессор ARM для выполнения системного программного обеспечения, графическое процессорное ядро (разработанное третьей фирмой) для предварительной обработки исходного изображения, а также разработать собственный модуль ЦОС для реализации сложных алгоритмов распознавания изображений. При этом, параллельно с разработкой специализированной микросхемы, содержащей указанные ядра, программисты будут вынуждены иметь дело с тремя различными средами программирования и отладки (для трех различных узлов разрабатываемой системы).

Аппаратное решение обеспечивает максимальное быстродействие разрабатываемой системы и ее наилучшую энергетическую эффективность, но требует наличия квалифицированной команды разработчиков микросхем и современного производства полупроводников. Кроме того, после завершения разработки специализированной микросхемы внесение в проект изменений (из-за выявленных ошибок или при модернизации системы) будет очень сложным, дорогим и медленным. Иногда модификация проекта возможна с помощью системного ПО, но в этом случае в жертву приносятся скорость и энергопотребление системы, которые делали аппаратный подход привлекательным.

Таким образом, аппаратное решение будет лучшим для всех проектов, где требуются максимальная производительность и минимальная потребляемая мощность. На практике заказные микросхемы разрабатываются только тогда, когда ожидаются значительные объемы их продаж (чтобы оправдать затраты и риски) и если известно, что требования к аппаратной части системы не будут меняться в течение всего ее жизненного цикла.

## Использование СБИС программируемой логики

Третий способ — использование для создания системы микросхем программируемой логики (СБИС ПЛ). Он занимает промежуточное положение между программным и аппаратным решениями. С одной стороны, модификация алгоритмов, реализованных на СБИС ПЛ, сложнее, чем модификация ПО, но при этом разработка новой конфигурации СБИС ПЛ значительно проще, чем создание новой версии заказной микросхемы. С другой стороны, проект, выполненный на микросхеме программируемой логики, имеет гораздо более высокое быстродействие и низкое энергопотребление, чем при программной реализации на стандартных микропроцессорных ядрах. Но все же решение на основе СБИС ПЛ, как правило, медленнее

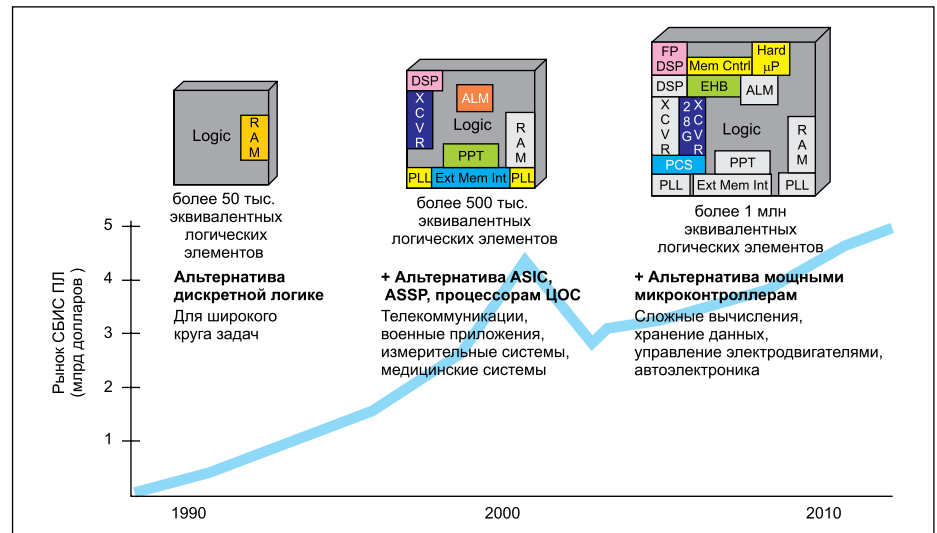


Рис. 1. Развитие архитектуры СБИС ПЛ

и более энергоемко, чем аппаратное решение на заказной микросхеме.

Поэтому применение микросхем программируемой логики будет оптимальным тогда, когда программное решение не удовлетворяет требованиям по быстродействию или энергопотреблению, а использование заказных микросхем невозможно либо из-за финансовых ограничений и небольшого объема выпуска устройств, либо из-за высокой вероятности частой модификации устройств. Такая ситуация возникает не редко, и, как следствие, в последние годы продажи микросхем программируемой логики растут быстрее, чем продажи микросхем для альтернативных решений.

В нашем примере разработчики системы видеонаблюдения могут использовать стандартный микропроцессор для системного ПО и СБИС ПЛ, в которой будут использоваться синтезируемые IP-ядра предварительной обработки изображений и будет реализован модуль ЦОС для сложных пользовательских алгоритмов. Таким образом, разработка системы с использованием СБИС ПЛ будет напоминать на функционально-блочном уровне разработку заказной микросхемы, хотя на вентильном уровне реализация будет совершенно иной.

## Наилучший вариант решения

В идеале разработчики систем должны иметь возможность выбора наилучшего варианта для реализации каждой конкретной задачи. Функции, которые используются редко и некритичны ко времени выполнения, могут быть реализованы программно на подходящем микропроцессоре. Функции, требующие высокой производительности, критичные к потребляемой мощности и определяемые стандартами, ограничивающими возможность их модификации, могут быть реализованы в виде аппаратных блоков.

Функции, которые требуют поддержки аппаратными средствами, но могут изменяться, реализуются на основе микросхем программируемой логики.

Предшественные поколения полупроводниковых устройств имели небольшую степень интеграции, поэтому микропроцессоры, специальные вычислители, сложные интерфейсные контроллеры и микросхемы программируемой логики представляли собой отдельные микросхемы. Но уже на полупроводниках, выполненных по технологии 90 нм, стало возможным создавать системы на кристалле (System on Chip, SoC), которые содержали перечисленные элементы, за исключением массива программируемой логики. При этом большинство решений для реализации систем было сделано разработчиками микросхем SoC, а не разработчиками конкретных электронных устройств. В этом случае разработчики конечного оборудования могли только выбирать оптимальную SoC для своего проекта, создавать уникальное ПО для нее и, если возможно, подключать к SoC внешнюю СБИС ПЛ, необходимую для реализации уникальных функций.

Сейчас ситуация в очередной раз изменилась. Разработчикам современных микросхем стало доступно огромное количество транзисторов, и произошло то, что специалисты Altera называют «кремниевой сходимостью». С одной стороны, к мощным микроконтроллерам добавились специализированные аппаратные блоки, и зачастую современные микроконтроллеры напоминают заказные системы на кристалле (ASIC SoCs). С другой стороны, современные заказные и специализированные микросхемы (ASIC и ASSP), как правило, содержат 32-разрядные процессорные ядра и выглядят как самые современные микроконтроллеры. Современные семейства СБИС ПЛ, такие как SoC FPGA фирмы Altera, содержат, кроме массива программируемой логики, несколько аппаратных процессорных

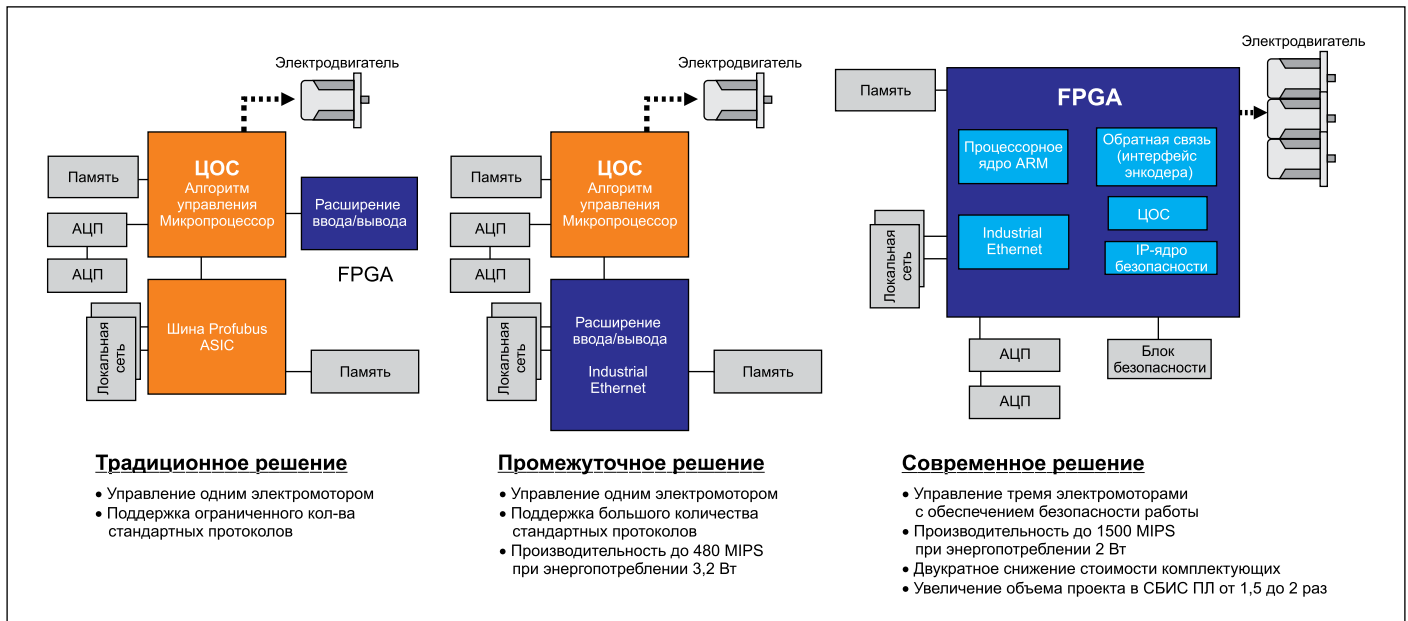


Рис. 2. Применение СБИС ПЛ в промышленных приложениях: эффективное управление электродвигателями

ядер и специализированные аппаратные блоки. Это позволяет разработчикам системы реализовывать задачи программно, аппаратно, или с использованием программируемой логики — оптимальным способом в каждом конкретном случае. На рис. 1 представлено развитие архитектуры СБИС ПЛ.

В нашем примере, используя микросхемы семейств SoC FPGA, разработчики системы могут реализовать системное ПО и часть алгоритмов обработки изображения на паре мощных процессоров, а остальные алгоритмы — на аппаратных блоках ЦОС и программируемой логики. Таким образом, вся система будет реализована на одной микросхеме. На рис. 2 представлено применение СБИС ПЛ в промышленных приложениях.

В виду того, что стоимость разработки ASIC существенно возрастает с переходом на новые проектные нормы, остается все меньше и меньше приложений, где их применение будет выгодно. В то же время за счет «кремниевой сходимости» микроконтроллеры, микросхемы ASSP и СБИС ПЛ становятся все более и более похожими друг на друга. Но при этом только СБИС ПЛ имеют массив программируемой логики для аппаратной реализации блоков и устройств, которые будут уникальными для разрабатываемой системы. На рис. 3 представлены переломные моменты развития технологии СБИС ПЛ по сравнению с заказными микросхемами.

### Будущее проектирования электронных систем

В течение следующих нескольких лет «кремниевая сходимость» будет определять способы реализации систем. В одном случае самые современные микроконтроллеры и ASSP станут типовой аппаратной основой



Рис. 3. Переломные моменты развития технологии СБИС ПЛ по сравнению с заказными микросхемами

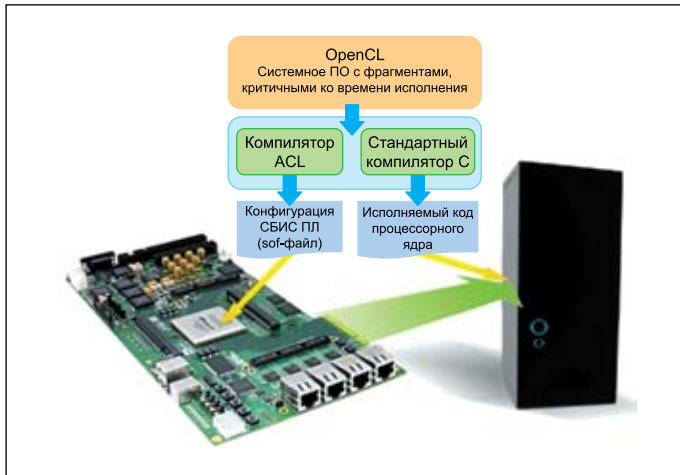
для различных систем, функционирование которых будет определяться различным ПО. В другом случае, благодаря использованию СБИС ПЛ, создаваемые системы будут отличаться на аппаратном уровне.

Это расхождение путей реализации систем ускорится за счет развития двух новых технологий: 3D-сборок и гетерогенных систем программирования. Технология 3D-сборок позволяет объединить кристаллы, сделанные по различным технологиям, например СБИС ПЛ, микропроцессор, динамическую память и радиочастотную схему, в одном стеке. Одним из первых примеров этой технологии является процессор Intel серии Atom E6x5C, который объединяет процессорное ядро Atom с кристаллом программируемой логики фирмы Altera. Процессорное ядро обеспечивает промышленный стандарт для ПО, а программируемая логика позволяет

создавать повышающие производительность системы специализированные вычислители и интерфейсные контроллеры.

Серия E6x5C также иллюстрирует необходимость второй технологии — гетерогенной среды программирования. В идеале, разработчики системы начнут создавать и отлаживать программный код только для одного процессорного ядра. Затем, с помощью отладочной платформы, задачи разделяются между несколькими процессорными ядрами с общей кэш-памятью, выявляются критические фрагменты кода и для них создаются аппаратные ускорители. Таким образом, разработчики совершенствуют дизайн системы, пока он не будет полностью удовлетворять требованиям по быстродействию и энергопотреблению.

Примером такого средства разработки является OpenCL для СБИС ПЛ, разра-



**Рис. 4.** Разработка программно-аппаратной системы с помощью средств стандарта Open CL

батываемый в настоящее время компанией Altera. Целью данной работы является создание единой среды, в которой разработчики

системы смогут создать программный код на языке C, выделить фрагменты, требующие интенсивных вычислений, сконструировать параллельные аппаратные блоки для ускорения исполнения этих фрагментов и, в конечном итоге, сгенерировать законченную аппаратно-программную систему. На рис. 4 представлено системное ПО с фрагментами, критичными ко времени исполнения.

### Заключение

Из-за увеличения степени интеграции наблюдается процесс «кремниевой сходимости», когда все основные электронные блоки системы постепенно собираются в корпусе одной микросхемы. При этом разработчики электронного оборудования имеют все меньше возможностей добавлять в разрабатываемые изделия свои собственные, специфические функции. Но применение SBIS ПЛ, несмотря на то, что при поверхностном взгляде они все больше и больше напоминают микросхемы ASSP и микроконтроллеры, предоставляет разработчикам удобный способ создания систем, содержащих уникальные аппаратные части, специализированные под конкретные задачи. Развитие технологии 3D-сборок и гетерогенных сред разработки будет только ускорять процесс выделения микросхем системного уровня, содержащих массив программируемой логики, из традиционного мира микроэлектроники. ■