

## АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ ВИДЕОКАМЕР

*Д.М. Чумаков, С.В. Козлов, В.Е. Усачев*

*В работе рассматривается один из возможных вариантов работы алгоритма автоматического задания параметров экспозиции (автоматическая адаптация) в цифровой видеокамере. Рассмотрены особенности условий работы видеокамеры в составе рентгенотелевизионной системы. Проведен сравнительный анализ возможных методов автоматизации процесса экспозиции посредством специализированного контроллера. Дано детальное описание алгоритма выбора параметров экспозиции методом предсказания на аппаратном уровне.*

В настоящее время среди рентгенотелевизионных систем все большее распространение получают преобразователи со специализированными цифровыми видеокамерами на основе матричных ПЗС. С увеличением разрешающей способности такой камеры резко возрастает нагрузка на систему сбора и обработки информации, состоящую из контроллера управления ПЗС и микропроцессора. Разработка контроллера, реализующего не только функции управления и накопления (оптических) данных, но и обеспечивающего первичную обработку информации на аппаратном уровне, может существенно снизить нагрузку на микропроцессор и, следовательно, повысить производительность всей системы. Целью данной работы является аппаратная реализация метода автоматической адаптации цифровой видеокамеры в составе рентгенотелевизионной системы.

Работа видеокамеры в составе рентгенотелевизионной системы имеет некоторые особенности:

- непрерывное время работы рентгеновского аппарата может быть ограничено;
- в большинстве случаев требуется однократный режим получения снимка;
- необходимо добиваться не только высокой чувствительности видеокамеры, но и наибольшего соотношения сигнал/шум;
- изображение, получаемое на экране люминофора характеризуется значительной зашумленностью.

С учетом приведенных особенностей был разработан алгоритм автоматической адаптации для цифровой видеокамеры на базе ПЗС матрицы FTF3020 фирмы Dalsa. Для управления процессом получения снимка и предварительной обработки в видеокамере используется микроконтроллер. В качестве элементной базы для построения контроллера была выбрана программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) Spartan-3 фирмы Xilinx (модификации S400). Эта дешевая и быстрая ИС с объемом внутренней памяти 288 Кб идеально подходит для решения поставленной задачи.

Процесс выбора оптимальной экспозиции состоит из нескольких этапов:

- делается короткая оценочная экспозиция (пробный снимок), на основании которой строится таблица распределения яркостей (гистограмма);
- в гистограмме производится поиск максимума (под максимумом гистограммы понимается значение наиболее яркого пикселя, встречающегося в кадре не менее некоторого порогового значения раз);
- зная время экспозиции, и используя тот факт, что яркость накопленного изображения пропорциональна времени накопления, производится предсказание итогового времени накопления;
- в случае превышения предсказанным временем некоторого порогового значения, принимается решение о группировке соседних пикселей (биннинг).

Рассмотрим каждый из этих этапов с точки зрения аппаратной реализации.

Для того чтобы построить гистограмму, в RTL модель контроллера нужно добавить описание модуля памяти и интерфейс работы с ним. Адрес ячейки памяти сопоставляется со значением яркости пикселя, а информация, хранящаяся по этому адресу, – с количеством пикселей в кадре соответствующей яркости. Здесь нужно отметить, что выделение памяти из расчета 6 миллионов пикселей на каждую ячейку абсолютно нецелесообразно. Необходимо знать лишь, достигнут ли порог количества пикселей для конкретного значения яркости, т. е. ячейки. Это делается для того, чтобы исключить из дальнейшего анализа значения, которые можно классифицировать как шум. Порог должен составлять примерно 3–5 % от общего количества пикселей. По достижению порогового значения в ячейке инкрементировать ее значение далее бессмысленно.

Рассчитаем значение порога и необходимую ширину слова в памяти. Однако прежде надо понять, сможем ли мы обеспечить анализ каждого пикселя при построении гистограммы.

Основным преимуществом аппаратной реализации автоматической адаптации является снятие части функциональной нагрузки с микропроцессора. Вместе с тем известно, что подобные задачи обработки и анализа данных быстрее решаются программным путем. В этой связи ставится подзадача – приступить к выполнению алгоритма адаптации как можно быстрее. В самом деле, для решения задачи программным методом необходимо сначала накопить и передать весь поток данных в процессор. Если же алгоритм адаптации выполняется в контроллере, накапливать данные в стеках FIFO, а потом, считывая из них данные пиксель за пикселем, строить гистограмму, не нужно. Процесс заполнения памяти для гистограммы замещает процесс накопления.

В 6-мегапиксельной ПЗС матрице FTG3020 для увеличения скорости сбора данных реализован метод скоростного 4х-стороннего считывания, поддерживаемый контроллером. Чтение секторов происходит параллельно, что ведет к увеличению числа АЦП и сопоставленных с ними очередей FIFO. Пиксель считывается за 6 тактовых сигналов ПЛИС. При параллельном чтении ПЗС матрицы за это время в ПЛИС передаются данные о 4 пикселях. Для каждого пикселя при построении гистограммы необходимо:

- считать текущее значение;
- сравнить с порогом;
- по необходимости записать инкрементированное значение в ту же ячейку.

Очевидно, что обновить 4 ячейки памяти за 6 тактовых сигналов невозможно. Поэтому в данном контроллере диаграмма распределения яркости строится на основании каждого второго пикселя, что вполне допустимо. При этом интерфейс обращения к памяти позволяет выбирать пиксели из разных четвертей ПЗС матрицы, что можно отнести к его безусловным преимуществам. Искомое пороговое значение, соответственно, равно  $L \approx 0,05 \cdot 6 \cdot 10^6 \div 2 = 150000$  пикселей. Данный параметр корректируется на этапе экспериментальной проверки видеокамеры, однако уже сейчас можно сказать, что для построения гистограммы достаточно ширины слова в памяти – 18 бит. Глубина блока памяти зависит от разрядности АЦП, с которого считываются оптические данные, что составляет для VSP1221 фирмы Texas Instruments 12 бит. Отсюда объем занимаемой памяти:  $V_h = 2^{12} \cdot 18 = 73728$  бит.

Построив гистограмму, следует перейти к поиску ее максимума. Поиск осуществляется от ячейки памяти со старшим адресом в сторону младших адресов. Значение каждой ячейки считывается и подвергается анализу. Максимум есть первая найденная ячейка, значение которой равно L (порог). Выполнение данного механизма может занять от 2 до 8192 тактов. Это очень критично. Однако был найден иной метод нахождения максимума, способный сократить время поиска до 0.

Еще раз обратимся к алгоритму обновления информации при построении гистограммы. Алгоритм занимает 3 такта. На втором такте считанное значение ячейки памяти сравнивается с порогом  $L$  и принимается решение об его инкрементировании. На этом же такте в случае достижения в ячейке порогового значения нужно сравнить ее адрес с адресом текущего максимума, значение которого хранится в специальном регистре. Если значение регистра-максимума меньше сравниваемого с ним, оно заменяется. Таким образом, на момент окончания формирования гистограммы максимум уже известен.

Необходимо отметить, что использование данного метода, сопряженного со сложностью аппаратных вычислительных действий на такт, может привести к снижению показателя максимально возможной частоты работы ПЛИС.

На следующем этапе алгоритма автоматической адаптации необходимо предсказать оптимальное время экспозиции, увеличив значение времени накопления пробного снимка во столько же раз, во сколько найденный максимум  $M$  гистограммы меньше требуемого ( $MAX = 4096$ ). Исходя из того, что оценочная экспозиция была достаточно короткой, можно говорить о том, что коэффициент увеличения не меньше 1, а искомая экспозиция не может быть меньше оценочной. Сложность дальнейших вычислений для аппаратного уровня довольно высока, так как коэффициент не всегда является целым числом. Далее рассматривается метод, представляющий решение данной подзадачи без участия микропроцессора.

Вычисление коэффициента усиления состоит из 2 частей, представленных в виде 2 состояний цифрового автомата. Автомат работает следующим образом. В первом состоянии вычисляется целая часть коэффициента. Если значение  $M$  принадлежит отрезку  $[0, MAX \div 2]$ , то целая часть коэффициента больше 1. Пусть  $F_1$  – целое, тогда в общем случае: если  $M \leq MAX \cdot (1 \div F_1)$ , максимум гистограммы  $M$  и время экспозиции  $T$  нужно увеличивать в  $F_1$  раз до тех пор, пока  $M \notin [0, MAX \div 2]$ . Так как сравнение происходит за 1 такт, принимаем  $F_1 \in [2, 6]$ , дабы не усложнять вычисления. По этой же причине  $M$  и  $T$  могут увеличиваться несколько раз, прежде чем автомат перейдет в следующее состояние. Сравнение начинается с наибольшего  $F_1$ . Во втором состоянии происходит вычисление дробной части коэффициента. Для данного состояния автомата стратегия осталась практически неизменной. Пусть  $F_2$  – целое, тогда в общем случае: если  $M \leq MAX \cdot (1 - (1 \div 2^{F_2}))$ , то новые значения  $M$  и  $T$  вычисляются по формуле:  $N' = N + N \div 2^{F_2}$ , где  $N'$  – новое значение  $M$  или  $T$ , а  $N$  – текущее. При  $F_2 \in [2, 6]$  в итоге можно добиться погрешности, не превышающей  $\frac{1}{64} MAX$ .

Сравнение начинается с наименьшего  $F_2$ . Заметим, что деление числа на  $2^F$ , где  $F$  – целое, не является сложной для аппаратного уровня операцией, так как соответствует сдвигу регистра на  $F$  разрядов вправо. По выходу из цифрового автомата получаем новые значения максимума гистограммы  $M$  и искомой экспозиции  $T$ .

Завершающим этапом алгоритма автоматической адаптации является принятие решения о биннинге. Метод объединения соседних пикселей (биннинг) используется для увеличения чувствительности камеры. При этом чувствительность возрастает, а разрешение падает пропорционально количеству объединенных пикселей. Во столько же раз уменьшается поток, передаваемый в персональный компьютер. Этим методом придется воспользоваться, если непрерывное время работы рентгеновского аппарата ограничено и предсказанная экспозиция больше данного предела. При этом искомое время накопления следует сократить в 4 раза для биннинга «2×2», в 16 раз для биннинга «4×4» и т. д.

По работе можно сделать следующие выводы.

Была поставлена задача аппаратной реализации метода автоматической адаптации для специализированной цифровой видеокамеры. Проведенный анализ возможностей элементной базы (ПЛИС) показал, что все этапы алгоритма можно реализовать аппаратно. По результатам исследования разработана структурная модель модуля автоматической адаптации контроллера управления ПЗС матрицей видеокамеры рентгеновского преобразователя. RTL модель написана на языке Verilog HDL. Устройство реализовано на ПЛИС Xilinx XC3S400.

Использование вычислительных алгоритмов для предсказания позволяет гибко настраивать свойства камеры под конкретные условия съемки.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИС В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ ВИДЕОКАМЕРАХ

*Д.М. Чумаков, С.В. Козлов*

*В работе рассматривается один из возможных вариантов реализации на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) контроллера управления ПЗС матрицей видеокамеры рентгеновского преобразователя. Целью работы является разработка контроллера, реализующего функции управления, накопления и обработки оптических данных на аппаратном уровне. Проведен анализ возможностей элементной базы. Проведены исследования по оптимизации контроллера для повышения производительности системы сбора и обработки информации.*

В настоящее время одним из перспективных направлений неразрушающего контроля качества изделий является создание рентгенотелевизионных систем с возможностью получения и обработки изображений на персональном компьютере. В рамках этой задачи возникает необходимость разработки специализированной цифровой видеокамеры на основе высокочувствительной ПЗС матрицы, имеющей относительно невысокую стоимость. Помимо стоимости, конкурентоспособность такой камеры напрямую зависит от ее разрешающей способности, с увеличением которой резко возрастает нагрузка на систему сбора и обработки информации. Целью данной работы является разработка контроллера, реализующего функции управления, накопления и обработки данных на аппаратном уровне, что снизит нагрузку на микропроцессор и, следовательно, повысит производительность системы.

Контроллер должен обеспечивать управление ПЗС матрицей (далее матрица) высокого разрешения FTF3020 фирмы Dalsa, оптимально используя представленные в ней новые механизмы скоростного считывания данных, тактирование и сбор информации с 12-битного АЦП VSP1221 фирмы Texas Instruments, а также накопление полученной информации во внутренней памяти с последующей передачей ее микропроцессору для дальнейшей обработки. В качестве элементной базы для построения контроллера была выбрана программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) Spartan-3 фирмы Xilinx (модификации S400). Эта дешевая и быстрая ИС с объемом внутренней памяти 288 Кб идеально подходит для решения поставленной задачи.

Проведем анализ возможностей ПЛИС.

Основной функцией контроллера является функция управления ПЗС. Сигналы интегрирования и очистки пикселей, а также вертикального и горизонтального сдвига данных в матрице ПЛИС формирует, анализируя лишь состояние группы определенных внутренних регистров. Перед обработкой в системе данные из матрицы оцифровываются