

*к.т.н. Захожай О.И., Солошенко А.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина, zoi@bk.ru)*

ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА БАЗЕ FPGA

В статті розглядаються питання побудови системи високошвидкісної обробки зображень з використанням цифрових фільтрів і концепції System-On-Chip. Використання цифрових фільтрів дозволяє реалізувати високошвидкісну попередню обробку зображення, регулювання експозиції, що позитивно впливає на репрезентативність ознак на зображенні.

Ключові слова: *високошвидкісна обробка зображень, нерекурсивні цифрові фільтри, системи на кристалі, програмовані логічні інтегральні схеми.*

В статье рассматриваются вопросы построения системы высокоскоростной обработки изображений с применением цифровых фильтров и концепции System-On-Chip. Применение цифровых фильтров позволяет реализовать высокоскоростную предварительную обработку изображения, регулировку экспозиции, что позитивно влияет на репрезентативность признаков на изображении.

Ключевые слова: *высокоскоростная обработка изображений, нерекурсивные цифровые фильтры, системы на кристалле, программируемые логические интегральные схемы.*

Введение.

В последнее время широкое распространение получили методы анализа быстротекущих процессов при помощи высокоскоростной обработки видеоизображений [1-3]. Такие методы широко используются для анализа потока частиц в запыленной струе. Это стало возможным благодаря тому, что современные высокоскоростные цифровые камеры, основанные на матричных фотодиодных приемниках или приемниках на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС), представляющие собой сверхбольшие интегральные схемы с внутрикристальным процессором, позволяют регистрировать оптическое излучение нагретых частиц металлических порошков, движущихся в потоке струи со скоростью в диапазоне примерно от 50 до 500 м/с [2]. В силу скоротечности струи и сложной динамики изменения ее структуры (рисунок 1) необходимо вести высокоскоростную съемку с высокой частотой кадров (порядка 500 кадров в секунду и более) и осуществлять обработку больших массивов информации в режиме реального времени.

Анализ вопроса и постановка задачи.

Обработка одного кадра, регистрируемого цифровой камерой высокого разрешения, требует значительного объема вычислений с учетом большого формата матричного фотоприемника (миллионы пикселей) [3, 4]. Кроме того, учитывая скоротечность регистрируемого процесса и его явно выраженную динамику изменчивости структуры потока, необходимо производить скоростную съемку с большой частотой кадров, что порождает большой поток видеокадров, который должен быть проанализирован и обработан в режиме реального времени. Эффективное решение такой задачи возможно при помощи параллельной обработки потока изображений.

Построение систем параллельной обработки изображений может быть реализовано с применением технологии System-On-Chip, на базе ПЛИС архитектуры FPGA. Архитектура FPGA весьма удобна для реализации в ней прошивки программы параллельной цифровой обработки потока изображений с целью определения основных характеристик потока частиц в струе (распределения скоростей и плотности частиц).

На рисунке 1 показан кадр изображения потока запылённой струи, который должен подвергаться анализу.

Увеличив время экспозиции кадра, на изображении можно получить более длинные треки (как представлено на рисунке 2), для которых достаточно просто оценить скорость частиц в различных поперечных сечениях потока.

В этом случае, скорость частицы можно определить как отношение длины изображения трека L , приведенного на рисунке 2, к времени экспозиции кадра τ и умноженное на масштабный коэффициент μ , преобразующий расстояние на экране изображения в реальный пройденный частицей путь (коэффициент геометрического преобразования):

$$V = \frac{\mu \cdot L}{\tau}. \quad (1)$$

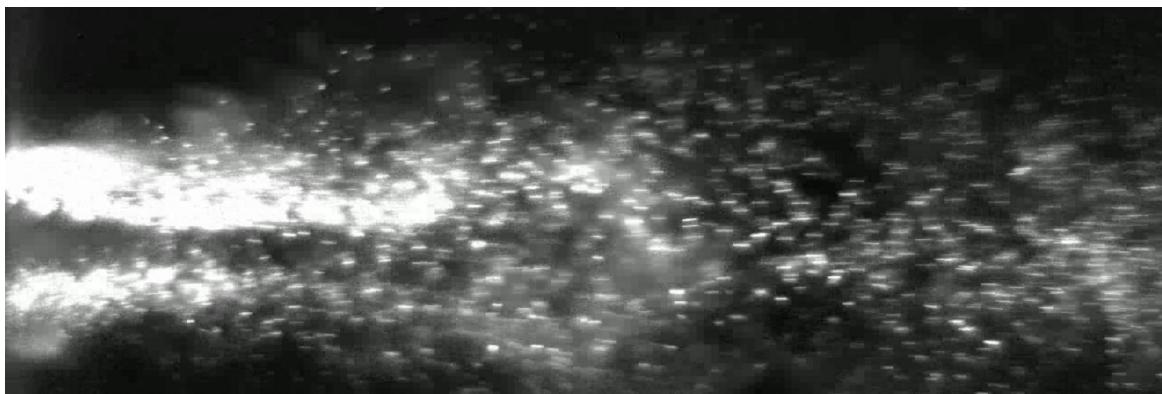


Рисунок 1 – Изображение потока частиц в запыленной струе, полученное высокоскоростной цифровой камерой на основе ПЗС-матрицы

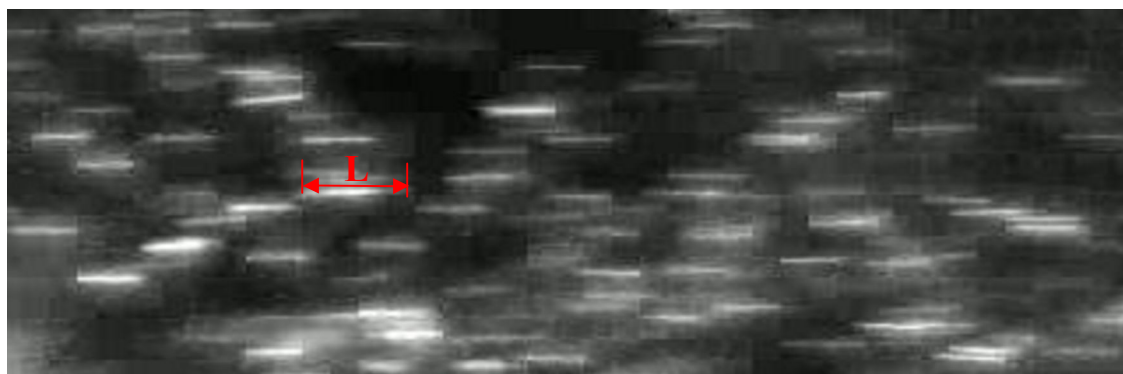


Рисунок 2 – Изображение треков частиц (время экспозиции $\tau=10$ мкс)

Решение задачи.

Для проведения подобных измерений необходима установка, структурная схема которой приведена на рисунке 3.

Система работает следующим образом. Сфокусированное оптической системой (3) изображение потока частиц (2) регистрируется цифровой камерой в виде изображения треков частиц. В блоке управления и обработки изображения (5) выполняется предварительная обработка полученных видеоданных (фильтрация изображения и подавление помех) и вычисление характеристик потока (векторов скоростей).

Обработка цифрового изображения состоит из следующих этапов:

- нормировка отсчетов сигналов согласно калибровочной таблице;
- фильтрация на шумоподавление;
- выделение на изображении треков частиц и измерение параметров их векторов скоростей.

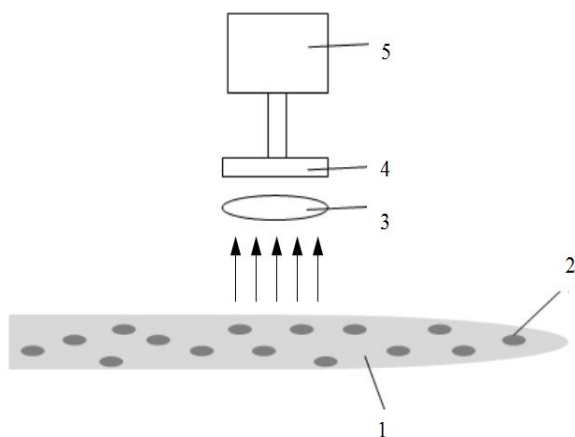
В случае неоднородности чувствительности и других геометрических искажений сигналов ячеек матричного фотоприемника производится калибровка отсчетов яркостного сигнала каждой ячейки:

$$\hat{x} = x \cdot g(x), \quad (2)$$

где x – отсчет яркостного сигнала ячейки матричного фотоприемника;

\hat{x} – нормированный отсчет;

$g(x)$ – значение калибровочного коэффициента из таблицы калибровки отсчетов изображения, полученной на этапе калибровки видеорегистратора по эталонным источникам.



1 – исследуемый поток, 2 – частицы порошка,
3 – оптическая система,
4 – матричный фотоприемник цифровой камеры,
5 – блок управления видеосенсором и обработки потока изображений

Рисунок 3 – Структурная схема установки для анализа характеристик потока на основе высокоскоростной обработки изображений

Для увеличения контрастности полученного изображения и уменьшения уровня остаточного шума, что упростит последующее определение векторов скоростей, предлагается произвести высокочастотную фильтрацию изображения с помощью не рекурсивного фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр).

Входные и выходные сигналы КИХ-фильтра связаны через операцию свертки [5]:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \hat{x}(n-k), \quad (3)$$

где $\hat{x}(n-k)$ – отсчет входного нормированного сигнала, сдвинутого на k отсчетов относительно текущего n -го отсчета;

$h(k)$ – коэффициенты импульсной характеристики фильтра, захватывающего в «окно сканирования» N отсчетов.

Тогда, выделение треков частиц можно осуществить путем сегментации изображения на основе среднего уровня яркости. Для пикселей, входящих в состав трека частицы, задается среднее значение яркости m . На изображении производится поиск однородных областей сплошной связанности по порогу T , отвечающих условию:

$$\max_{P \in R} |y(P) - m| < T, \quad (4)$$

где R – однородная область;

$y(P)$ – яркость пикселя изображения, координаты которого связаны с величиной P .

Среди полученных однородных областей отбрасываются те области, которые не являются треками частиц. Для оставшихся областей вычисляются длины треков, а затем и скорости, в соответствии с зависимостью (1).

Обобщенная структурная схема системы высокоскоростной обработки видеозображения, реализующей предложенный метод, приведена на рисунке 4.

Данные об изображении от видеосенсора поступают на блок обработки сигнала, где фильтруются и поступают на процессор для дальнейшей обработки и передачи. В системе предлагается применение концепции System-On-Chip, на базе ПЛИС архитектуры FPGA.

В блоке обработки сигналов целесообразна реализация цифрового фильтра, который, благодаря параллельной обработке потока изображений, позволяет осуществлять анализ и обработку данных в режиме реального времени. Этот факт обосновывает применение ПЛИС архитектуры FPGA, потому как остальные типы микросхем не позволяют эффективно организовать параллельную обработку больших массивов одноформатных данных на высокой частоте.

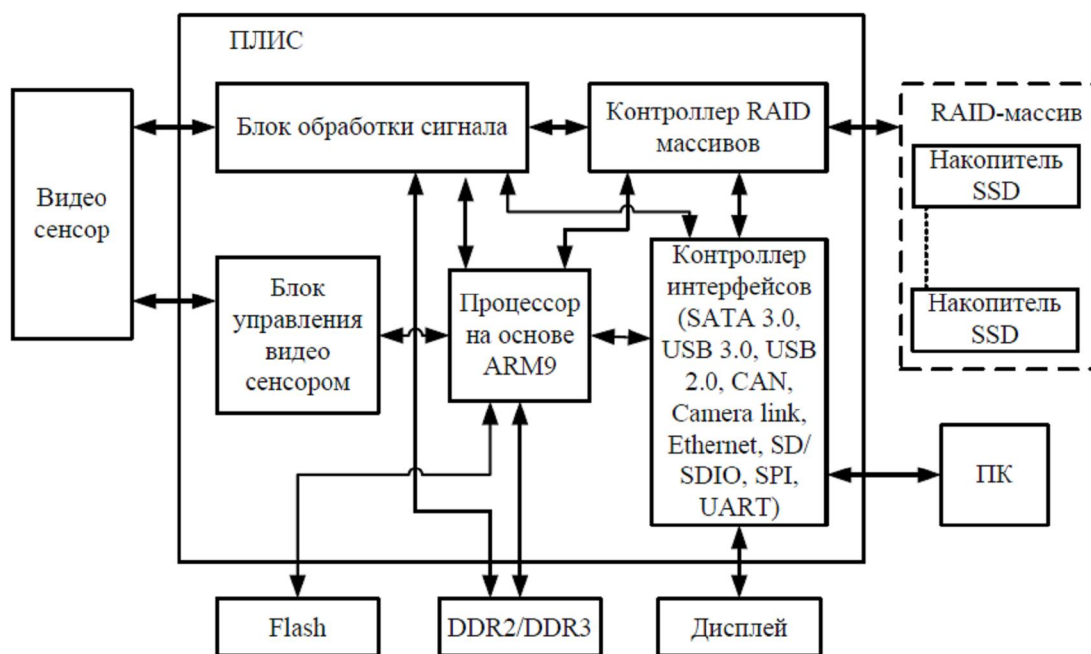


Рисунок 4 – Структурная схема системы высокоскоростной обработки видеоизображения

Таким образом, применение цифрового фильтра позволяет увеличить время экспозиции кадра, то есть выделить из общей картины кадра более яркие объекты и, в свою очередь, получить более длинные треки, как проиллюстрировано на рисунке 2. Такая предварительная обработка изображения позволяет упростить оценку скорости частиц в различных поперечных сечениях потока.

Настройка параметров цифрового фильтра должна обеспечивать выбор экспозиции таким образом, чтобы на изображении осуществлялась прорисовка только наиболее освещенных участков кадра. Остальные области, соответственно, должны приравняться к статическому фону и исключаться из дальнейшего анализа.

Применение данного способа обработки видеоизображений при помощи нерекурсивных фильтров с конечной импульсной характеристикой, позволяет не только качественно выделять наиболее репрезентативные признаки на изображении, но и, за счет применения архитектуры FPGA, сократить время разработки программного обеспечения для высокоскоростной обработки видеосигнала.

Следует отметить, что структурная схема системы высокоскоростной обработки видеоизображения, изображенная на рисунке 4, содержит дополнительные внешние элементы памяти, от скорости работы которых, во многом, зависит и эффективность высокоскоростной обработки видеоизображений. В качестве внешней памяти использованы твердотельные накопители (SSD, Solid-State Drive) без движущихся механических частей, а состоящих только из микросхем памяти и управляющего контроллера, что также позитивно влияет на надежность функционирования системы и хранения данных. Твердотельный накопитель имеет странично-блочную организацию (запись и чтение производится по странице целиком, стирание – поблочно), что совместно с концепцией RAID-массива позволяет обеспечить высокоскоростной доступ для чтения и записи данных. В новом поколении твердотельных накопителей используется интерфейс SATA третьего поколения. Его применение весьма актуально с учетом более высокой производительности. Скорости чтения и записи последних моделей накопи-

телей находятся на уровне порядка 500 МБ/с.

Функции управления и сопряжения с внешними устройствами в системе заключаются в формировании на кристалле процессорного ядра и необходимого контроллера интерфейсов. Данные функции позволяют использовать стандартные средства разработки программного обеспечения для проектируемой System-On-Chip. В качестве архитектуры процессорного ядра целесообразно использование архитектуры ARM9, как архитектуры высокопроизводительного 32-разрядного процессора.

Выводы.

На основании выше изложенного, можно сделать следующие выводы.

1. Решение задачи высокоскоростной обработки изображений является актуальной научно-технической задачей.

2. Рациональные решения с применением цифровых фильтров на базе современных ПЛИС архитектуры FPGA расширяют

возможности по исследованию различных быстропротекающих процессов.

3. Применение архитектуры FPGA позволяет реализовать высокоскоростную параллельную обработку больших массивов одноформатных данных.

4. Для решения задачи предварительной обработки изображения и регулировки экспозиции предлагается применение нерекурсивного цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой.

5. Предложена структура системы высокоскоростной обработки видеоизображений, в которой реализована концепция System-On-Chip, что позитивно влияет на эксплуатационные характеристики системы и ее быстродействие.

6. Для эффективного решения задачи высокоскоростной обработки видеоизображений необходимо проведение исследований в направлении разработки методов и алгоритмов синтеза рациональных структур нерекурсивных цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой.

Библиографический список

1. Яне Б. *Цифровая обработка изображений* / Яне Б. — Москва: Техносфера, 2007. — 584с.
2. Кестер У. *Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов* / Кестер У. — Москва: Техносфера, 2010. — 328 с.
3. Фисенко В.Т. *Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие* / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. — 192 с.
4. Гонсалес Р. *Цифровая обработка изображений* / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — Москва: Техносфера, 2005. — 1072 с.
5. *Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание* / Айфичер, С. Эммануил, Джервис, У. Барри. — Москва.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 922 с.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. Паэрандом Ю.Э.