

УДК 621.396

Д.П. Кутергин, А.В. Терлецкий, канд. техн. наук

Сегментация изображений методом пороговой обработки в системах технического зрения на основе КМОП-сенсоров

Представлен метод пороговой обработки стохастических оптических изображений в системах технического зрения, используемых для управления технологическими процессами. Метод пороговой обработки основан на использовании встроенных в КМОП-сенсор штатных функций.

Image thresholding method of stochastic optical images processing in the technical vision systems used for technological processes control is conducted. An thresholding method based on the CMOS sensor integrated functions has been developed.

Ключевые слова: сегментация; пороговая обработка; системы технического зрения; стохастические оптические сигналы; КМОП-сенсоры; обработка изображений; фоновая составляющая; бесконтактные уровнемеры.

Введение

В автоматизированных системах управления технологическими процессами широкое применение находят элементы технического зрения, обрабатывающие стохастические оптические сигналы, проходящие через неоднородную оптическую среду, и подверженные воздействию фоновой засветки, возникающей, например, вследствие высокой температуры в ходе технологического процесса. Для повышения эффективности обработки стохастического оптического сигнала целесообразно предварительно выделить интересующую область на изображении с целью последующей ее обработки для определения целевого параметра управления технологическим процессом. Такого рода предварительная обработка изображения, т. е. разбиение его на составные части, имеющие содержательный смысл: объекты, их границы или другие информативные фрагменты, характерные геометрические особенности и др. – называется сегментацией [1].

Сегментация является наиболее критичной процедурой в процессе автоматизации анализа изображений [2–4], поскольку ее результаты в дальнейшем влияют на всю последующую обработку изображения, связанную с измерением параметров оптического сигнала, формированием целевого параметра управления технологическим процессом, а также и на количество

необходимых вычислений, что особенно важно для систем реального времени.

Количество разработанных методов сегментации велико [2–4], но большинство из них сводится к методам пороговой обработки и кластеризации, выделения краев, извлечения областей [2]. При выборе конкретного метода сегментации необходимо учитывать как свойства изображения и способ его получения, так и особенности конкретного метода последующей его обработки.

Целью работы является разработка метода сегментации изображения с целью подавления фоновой составляющей изображения стохастического оптического сигнала и увеличения динамического диапазона системы технического зрения.

В работе рассмотрен метод сегментации квазистатического изображения стохастического оптического сигнала, используемого в бесконтактной системе контроля, и измерения уровня расплава в стекловаренной печи (рис. 1).

Постановка задачи

Задачей системы технического зрения, в данном случае, является статистическая обработка стохастического оптического сигнала с целью определения технологического уровня расплава, а также формирование управляющего сигнала для загрузчика шихты [5].

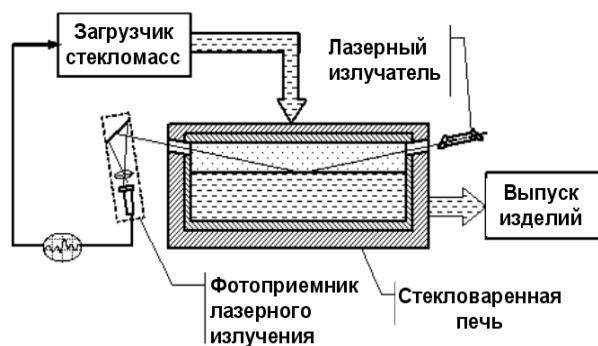


Рис.1. Система автоматизированного управления технологическим стекловаренным процессом

В данной системе стохастический оптический сигнал формируется на экране в виде изображения пятна когерентного лазерного излучения, прошедшего через неоднородную оптическую среду плавильной печи и отразившегося от неоднородной поверхности расплава. Изображение пятна, воспринимаемое КМОП-сенсором с

экрана, представляет собой быстро изменяющееся распределение яркости в лазерном луче искаженного воздействием случайных процессов. Природа этих процессов обусловлена флуктуациями отражающей поверхности расплава, а также турбулентными процессами в высокотемпературной среде над расплавом. Кроме того, изображение пятна лазерного излучения содержит значительную фоновую засветку расплавленного материала, существенно снижающую контрастность изображения, а также чувствительность и динамический диапазон по яркости фотоприемника лазерного уровнямера. Поэтому для повышения точности и эффективности системы технического зрения в замкнутой системе авторегулирования необходима предварительная сегментация оптического изображения пятна лазерного излучения, с целью выделения его полезной составляющей для последующей обработки. Реализации распределения яркости в пятне лазерного излучения, представленные на рис. 2, получены покадровым его расположением телевизионной камерой и регистрацией компьютерным устройством обработки телевизионных изображений «Direcon-A02» [6].

Анализируя приведенные на рис. 2 изображения, отметим следующие их свойства: изображение объекта наблюдения (пятна лазерного излучения) имеет случайно заданные, протяженные, размытые границы; его размеры сопоставимы с размерами активной области сенсора. Методы выделения границ для такого типа изображений не являются эффективными, так как требуют применения фильтров для усиления границ перепада яркости. Кроме того, учитывая сложную форму и протяженность границ, выполнение таких методов требует значительных затрат времени. Методы извлечения областей более эффективны, но поскольку площадь изображения объекта наблюдения сравнима с

площадью всей активной области сенсора, анализ всех пикселей изображения объекта наблюдения также требует значительных затрат времени и вычислительных ресурсов. Кроме того, из-за большой неоднородности объекта наблюдения затрудняется выбор порога однородности областей для сращивания [7].

Для обработки подобных оптических сигналов наиболее простыми в реализации и эффективными являются методы пороговой обработки и кластеризации. В описанном выше технологическом процессе фоновая засветка от расплава принимается квазиоднородной по полю изображения и может изменяться во времени.

Кластеризация изображения стохастического оптического сигнала (рис. 2) осуществляется за счет совмещения активного окна сенсора изображения и пятна лазерного излучения, либо за счет механической юстировки оптической системы, либо за счет электронного управления координатами активного окна на сенсоре изображения.

Разрабатываемый метод сегментации изображений основан на методе пороговой обработки и кластеризации, адаптированном для работы с стохастическими оптическими изображениями с широким использованием встроенных в КМОП-сенсор функций.

Применение в качестве фотоприемника именно КМОП-сенсора изображения для практической реализации метода сегментации изображения позволяет эффективно использовать его архитектуру и встроенные функции [5]. На рис. 3 представлена структурная схема КМОП-сенсора. Кроме массива фоточувствительных элементов, она включает в себя блок аналого-вой обработки (блок усиления и компенсации постоянной составляющей оптического сигнала), блок управляющих регистров, блок тактирования и управления, АЦП.

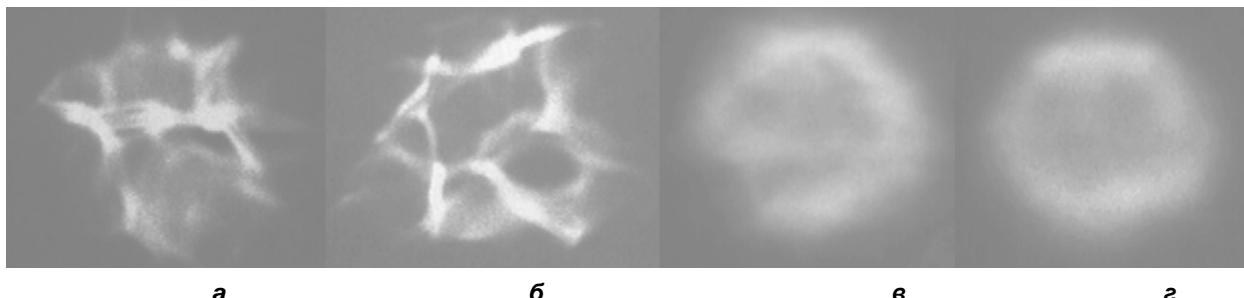


Рис. 2. Изображение пятна отраженного лазерного луча: а, б – запись одного кадра; в, г – запись с накоплением по 200 кадрам (при кадровой частоте 50 Гц)

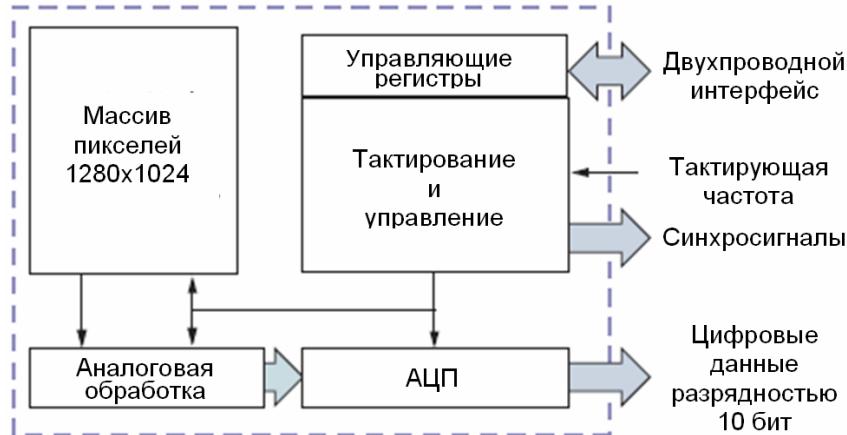


Рис. 3. Структурная схема КМОП-сенсора изображения

Пороговая обработка изображений в КМОП-сенсоре

В системе технического зрения лазерного уровнемера [5] пороговая обработка, реализуемая на основе встроенных блоков КМОП-сенсора, является предварительным этапом в общем методе обработки стохастического оптического сигнала. Используя возможности встроенного в КМОП-сенсор блока управления и тактирования (рис. 3), реализуется процесс кластеризации исходного изображения. Для этого задается размер и положение активной области из массива пикселей сенсора, и эта область совмещается с объектом наблюдения. Параметры активной области можно задать, записывая определенные значения в управляющие регистры сенсора, посредством двухпроводного интерфейса (рис. 3). Выбор размера активной области обусловлен характером изображения пятна лазерного излучения (см. рис. 2), и для лазерного уровнемера на основе системы технического зрения [5] составляет 512x1024 пикселей. Наиболее важным этапом в процессе пороговой обработки является определение порогового уровня. Этот уровень определяется с помощью статистической обработки и нахождения оценки значения яркости фона изображения.

Для определения координаты пятна лазерного излучения на изображении (см. рис. 2) в системе лазерного уровнемера [5] используется выражение

$$\bar{m}_y = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_k z_{km}}{\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M z_{km}}, \quad (1)$$

где \bar{m}_y – определяемая координата пятна лазерного излучения; y_k , z_{km} – соответственно

координата и значение яркости k -го и m -го пикселей изображения. В данном случае в выражении (1) яркость каждого пикселя z_{km} состоит из яркости полезного сигнала z'_{km} и яркости фона $C(k, m)$:

$$z_{km} = z'_{km} + C(k, m). \quad (2)$$

В общем случае яркость фона $C(k, m)$ может быть неоднородной по полю изображения, т.е. зависеть от координат пикселей k, m изображения. Для выделения яркости полезного сигнала z'_{km} необходимо из выражения (2) вычесть величину фона $C(k, m)$. Для этого требуется найти удовлетворительную оценку величины яркости фона $C(k, m)$ изображения. Здесь можно использовать несколько подходов: от выбора порогового уровня по одному пикслю, предполагая, что фон однородный, до запоминания всей структуры фона в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) с последующим попиксельным вычитанием из исходного изображения. Эти решения не оптимальны, так как первое не обеспечивает достаточной точности оценки фона, а второе намного усложняет метод обработки, который требует применения быстродействующих цифровых сигнальных процессоров. Для упрощения практической реализации метода вычитания фона изображения, можно использовать встроенные блоки в КМОП-сенсор изображения. Однако, встроенные возможности КМОП-сенсора изображения позволяют вычитать лишь постоянную по области кадра величину фоновой засветки, поэтому необходимо определить усредненную величину яркости фона по всей области изображения. Кроме того, для компенсации фона изображения в реальном времени необходимо производить вычисления усредненного значе-

ния яркости фона по каждому кадру, полученному от КМОП-сенсора.

При определении фона изображения пятна лазерного излучения учитывается форма пространственного распределения яркости пятна лазерного излучения (см. рис. 2), статистический анализ множества различных реализаций которого показал, что распределения яркости в нем центростремительное при правильно юстированной системе, и область наибольшей яркости ограничена определенным радиусом относительно центра. Таким образом, вероятность попадания квантов лазерного излучения в активную область КМОП-сенсора изображения убывает с расстоянием от центра. Кроме того, фон изображения (см. рис. 2), обусловленный излучением расплавленной массы в печи, имеет практически постоянный уровень яркости. Очевидно, что если исходное изображение имеет прямоугольную форму, то наиболее удаленными от центра областями, вероятность попадания в которые будет минимальна, являются области a , b , c , d (рис. 4). Усредненная значения яркости пикселей по этим областям изображения, а затем, усредненная полученные значения по всем четырем областям, определяется уровень яркости фона изображения, регистрируемого КМОП-сенсором:

$$C = \frac{\bar{C}_a + \bar{C}_b + \bar{C}_c + \bar{C}_d}{4}, \quad (3)$$

где \bar{C}_a , \bar{C}_b , \bar{C}_c , \bar{C}_d – усредненные значения яркости по соответствующим областям a , b , c , d .

Эта процедура реализуется микроконтроллером (МК), который управляет работой КМОП-сенсора. Микроконтроллер определяет параметры активного окна КМОП-сенсора, временные интервалы считывания и накопления оптического изображения на фоточувствительной матрице КМОП-сенсора, обрабатывает в цифровой форме сигнал, поступающий с блока предварительной обработки (рис. 5), с целью формирования целевого параметра управления технологическим процессом.

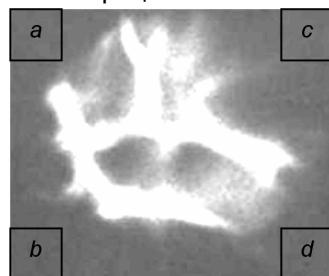


Рис. 4. Исходное изображение

После определения усредненного значения уровня яркости фона изображения, необходимо

в аналоговом виде до АЦП вычесть эту величину из уровня сигнала в каждом пикселе изображения. Эта операция выполняется с использованием встроенных в КМОП-сенсор цепей компенсации уровня черного (блок аналоговой обработки, рис. 3). Вычитание яркости фона изображения перед аналого-цифровым преобразованием видеосигнала изображения существенно повышает динамический диапазон обработки оптического изображения КМОП-сенсором, так как исключает из аналого-цифрового преобразования постоянный фоновый неинформационный сигнал.

Блок аналоговой обработки оптического изображения (рис. 3) КМОП-сенсора включает в себя программируемый предусилитель и схему вычитания (компенсации) постоянной составляющей видеосигнала (рис. 5).

В блоке компенсации постоянной составляющей КМОП-сенсора вычитается значение уровня фоновой засветки (усредненное значение фона изображения), заданное в цифровом виде. Для передачи этого значения в управляющие регистры КМОП-сенсора используется двухпроводной последовательный интерфейс I²C (рис. 5). Блок компенсации постоянной составляющей включает ЦАП, с собственным шагом квантования и динамическим диапазоном, которые могут, в общем случае, не совпадать с аналогичными параметрами АЦП КМОП-сенсора изображения.

Поэтому значение уровня фона, найденное в цифровом виде из исходного изображения по формуле (3), не может напрямую использоваться для вычитания фоновой составляющей из входного аналогового видеосигнала обрабатываемого изображения, а используется в цифровой схеме компенсации фона с последовательным приближением.

Схема последовательного приближения в общем виде реализуется на микроконтроллере (МК рис. 5) по алгоритму, представленному на рис. 6. Оптическое изображение покадрово преобразуется КМОП-сенсором в цифровую форму и по формуле (3) в выделенных зонах кадра изображения с помощью блока предварительной обработки (рис. 5) вычисляется усредненное значение фона изображения. Найденное значение записывается в управляющие регистры цепей компенсации постоянной составляющей КМОП-сенсора с помощью микроконтроллера. По приходу следующего кадра повторяется вычисление значения уровня фона изображения (3) и, если он превышает заранее заданный уровень C_{min} , производится инкремент значения регистра компенсации фона КМОП-сенсора.

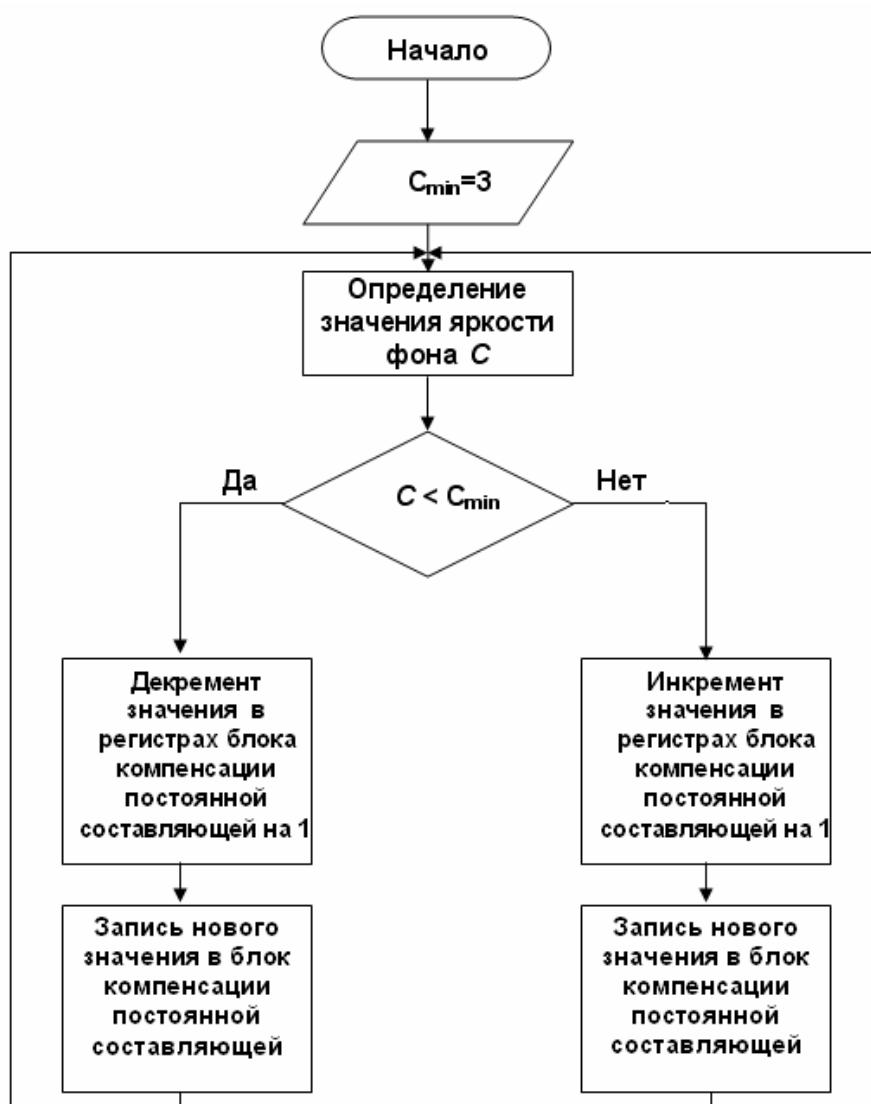
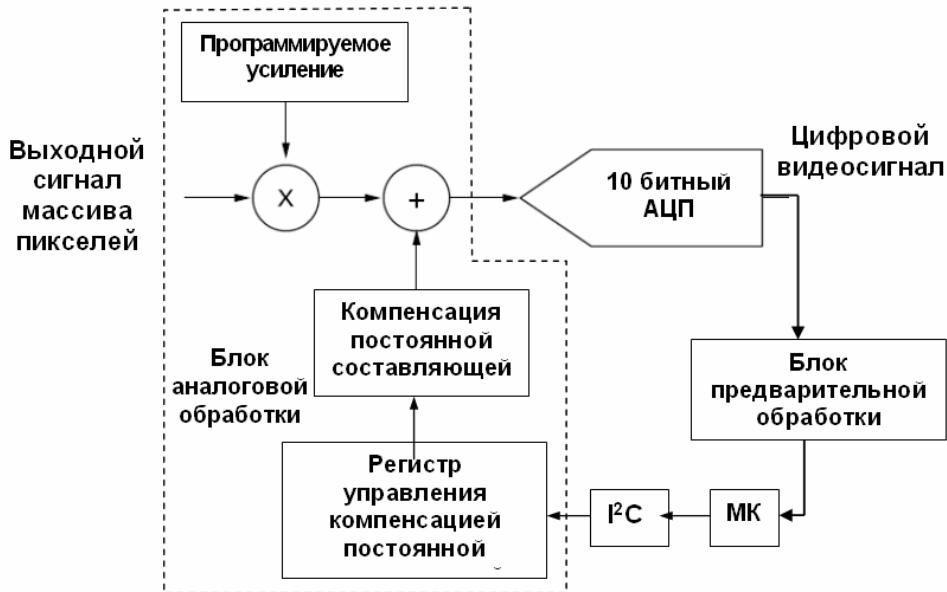


Рис. 6. Блок-схема алгоритма компенсации постоянной составляющей с последовательным приближением

Такой цикл происходит постоянно для того, чтобы удерживать вычисленное значение фона изображения в пределах двух младших значащих разрядов полной шкалы квантования яркости и отслеживать в процессе функционирования системы технического зрения изменения уровня фоновой засветки. Привязка значения уровня фона изображения к некоторому заданному значению исключает избыточную компенсацию уровня фона изображения, что позволяет системе технического зрения автоматически отслеживать и вычитать в режиме реального времени из входного сигнала уровень фоновой засветки оптического изображения, а также выделять полезный сигнал для его последующей обработки.

Выводы

Представленный метод сегментации повышает эффективность обработки стохастических изображений в системах технического зрения, что, в свою очередь, очевидно обеспечит повышение точности и устойчивости работы замкнутой системы авторегулирования технологическими процессами. Использование встроенных в КМОП-сенсор блоков позволяет не только упростить практическую реализацию метода, но и увеличить динамический диапазон преобразования входного оптического изображения. Применение в методе пороговой обработки для сегментации входного оптического изображения алгоритма последовательного приближения не требует сложных вычислительных средств и уменьшает необходимое количество вычисле-

ний, что позволяет выполнять обработку изображений в режиме реального времени.

Литература

1. Техническое зрение роботов / В.И. Мошкин, А.А. Петров, В.С. Титов, Ю.Г. Якушенков; Под. общ. ред. Ю.Г. Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
2. Fu K., Mui J. A survey on image segmentation // Pattern Recognition. – 1981. – № 13. – Р. 3–16.
3. Nikhil R. Pal, Sankar K. Pal. A review on image segmentation techniques // Pattern Recognition. – 1993. – Vol.26, № 9. – Р. 1277–1294.
4. Color image segmentation: advances and prospects / H.D. Cheng, X.H. Jiang, Y. Sun, Jingli Wang // Pattern Recognition. – 2001. – Vol.34, № 12. – Р. 2259–2281.
5. Кутергин Д.П., Терлецкий А.В. Определение координат объекта наблюдения в системах технического зрения на основе КМОП-сенсоров изображения // Электроника и связь. – 2008. – № 6(47). – С. 32–37.
6. Цифровое устройство «Direcon D01» для регистрации, обработки и архивирования информации детекторов рентгеновского излучения / А.В. Терлецкий, О.И. Кучеренко, А.С. Подосельник, Н.Г. Белый // 4-та національна науково-технічна конференція і виставка «Неруйнівний контроль та технічна діагностика»: Сб. трудов. – К., 2003. – С. 165–168.
7. Паслидис Т. Методы машинной графики и обработки изображений – М., Радио и связь, 1986. – 394 с.