

УДК 004.932.2

Р. А. БАДАМШИН, Р. Р. ХАСАНОВ, В. Р. ТАГИРОВ**РЕГИСТРАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ
В БАЗИСЕ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
ДЛЯ ЗАДАЧ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Рассмотрена возможность использования специальных поликристаллических сенсоров, чувствительных к рентгеновскому излучению и фотоприемных линеек для регистрации и последующей бинарной (цифровой) обработки регистрируемых сигналов без применения аналого-цифрового преобразователя. Приведен метод предварительной обработки рентгеновских изображений в базисе бинарных изображений, позволяющий добиться расширения динамического диапазона введением неравномерно распределенных пороговых уровней, уменьшающихся в начале и в конце динамического диапазона и позволяющих при той же разрядности цифровой информации, что и АЦП, обеспечить больший динамический диапазон. *Бинарные изображения; сцинтиллятор; фотоприемная линейка*

ВВЕДЕНИЕ

Современная эволюция методов регистрации и обработки рентгеновских изображений в области неразрушающего контроля и диагностики на протяжении последних десятилетий в значительной мере связана с внедрением цифровых методов обработки получаемой информации при помощи ЦВМ. Однако в большинстве случаев диагностические исследования, проводимые в различных областях промышленности и медицины, по-прежнему базируются на традиционных методах получения проекционных изображений. Существующие технологии и методики визуализации с использованием рентгеновских лучей основаны на том факте, что внутреннее строение материала и разные ткани ослабляют рентгеновские лучи в различной степени. При использовании традиционных методов получения проекционных рентгеновских изображений могут наблюдаться наложение или размытие внутренних структур исследуемого объекта, связанное с тем, что при проведении исследования на окончательный результат оказывает влияние вся структура материала или ткани [1].

В отличие от аналоговых, цифровые рентгенографические системы позволяют получать диагностические изображения без промежуточных носителей, при любом необходимом уровне дозы, причем это изображение

можно обрабатывать и отображать самыми различными способами.

При использовании рентгеновских систем, осуществляющих формирование и отображение информации цифровым способом, рентгеновское излучение формируется в преобразователе-сенсоре в излучение видимого света, которое в дальнейшем регистрируется с помощью ПЗС-матрицы, линейки фотодиодов (в случае сканирующих систем). В качестве преобразователя используется флюоресцирующий экран или поликристаллическая рентгеночувствительная пластина [2].

В частности, для сканирующего метода, сформированное с помощью рентгеночувствительного преобразователя (поликристаллическая сцинтилирующая пластина) изображение необходимо перевести в форму, пригодную для цифровой обработки. Если изображения регистрируется фотоэлектронным способом, то это обычно не составляет трудности, так как сканирующий фотоэлемент формирует аналоговый сигнал пригодный для формирования в цифровую форму посредством использования аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Разрядность АЦП определяет динамический диапазон преобразования аналогового сигнала и ограничивается с одной стороны шумовым порогом, с другой шагом квантования и максимальным значением аналогового сигнала. Линейный характер преобразования суще-

ственно ограничивает динамический диапазон регистрируемой информации. Кроме того, использование АЦП в процессе преобразования аналогового сигнала вносит временные задержки, как при формировании цифрового сигнала, так и при передаче информации в ЦВМ для дальнейшей обработки в силу большой размерности массива изображений.

Таким образом, для получения цифрового изображения необходимы два основных элемента. Первый из них — чувствительный элемент (например, фотодиод), обладающий чувствительностью к тому виду излучаемой сенсором энергии, который необходимо отобразить. Второй элемент — цифровой преобразователь, представляющее собой устройство, преобразующее аналоговый выходной сигнал фотодиода (линейки фотодиодов) в цифровую форму (АЦП). Эти элементы обычно выполняются отдельно друг от друга и представляют собой два различных устройства реализованных в одном оптоэлектронном устройстве конструктивно размещенных на одной печатной плате (рис. 1).

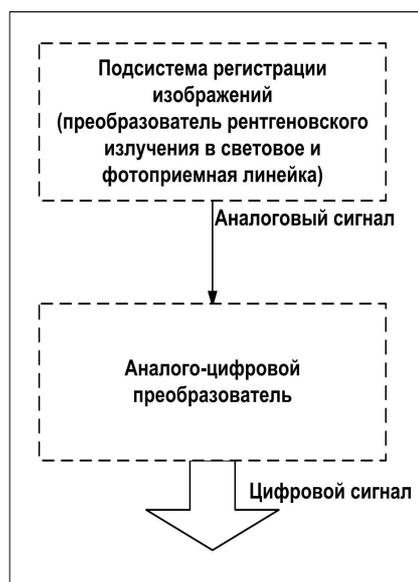


Рис. 1. Система регистрации и преобразования аналогового изображения в цифровой вид

Интеграция системы регистрации и преобразования аналогового изображения в цифровой вид на одной микросхеме, для получения лучшей производительности и уменьшения размеров всей системы является привлекательной альтернативой существующим рентгенографическим устройствам. Интеграция получения и обработки изображений на одном кристалле имеет потенциальные преимущества в низкой стоимости изготовления,

малой потребляемой мощности, малого размера и быстрого времени обработки.

Предлагается вариант преобразования исходного аналогового сигнала в цифровую форму, пригодную для обработки и передачи в ЦВМ простейшими устройствами, позволяющими получить характеристики, недостижимые даже для быстродействующих многоуровневых АЦП. Для процесса регистрации и дискретизации предлагается использовать фототриггер (ФТ) с регулируемым порогом срабатывания, позволяющий преобразовывать регистрируемый аналоговый сигнал в бинарную (двоичную) форму, пригодную для дальнейшей обработки в цифровой форме, несколько отличающейся от традиционных цифровых методов обработки изображения.

1. ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Представляется возможным устранить вышеуказанные недостатки при преобразовании регистрируемого оптического сигнала из аналоговой формы в цифровую, в основу преобразования заложив метод, использующий формирование базиса бинарных (двоичных) изображений, т. е. таких изображений, которые имеют два уровня яркости. Бинарные (двоичные) изображения легче хранить и обрабатывать, чем полутоновые и цветные изображения, имеющие уровни яркости, число которых определяется чувствительностью, динамическим диапазоном и оттенками (в случае цветного изображения). Для успешного использования методов обработки бинарных изображений необходимо сформулировать определенные условия для их формирования [3].

Бинарное преобразование, при котором формируется массив, элементы которого принимают значения 0 или 1 (двоичный массив), осуществляется в первую очередь для того, чтобы сократить информационную избыточность изображения, оставить в нем только ту информацию, которая нужна для решения конкретной задачи. В бинарном изображении должны быть сохранены все интересные нас детали (например, контуры регистрируемых объектов в пределах заданных градаций яркости задаваемых пороговыми элементами) и исключены несущественные признаки (фон). Пороговая обработка бинарного изображения заключается в разделении всех элементов изображения на два класса по признаку яркости, т. е. в выполнении поэлемент-

ного преобразования вида

$$g = \begin{cases} g_{\min}, & \text{при } f < f_0, \\ g_{\max}, & \text{при } f \geq f_0, \end{cases} \quad (1)$$

где f_0 — некоторое «пороговое» значение яркости.

При выполнении пороговой обработки основным наиболее важным моментом является выбор порога f_0 . Пусть полутоновое изображение содержит интересные нас объекты одной яркости на фоне другой яркости. Тогда в идеале плотность распределения яркостей $W(t)$ должна выглядеть как две дельта-функции (рис. 2,а). В данном случае задача установки порога тривиальна: в качестве f_0 можно взять любое значение между «пиками». Однако при практическом применении встречаются определенные трудности, связанные, во-первых, с тем, что исходное регистрируемое изображение искажено шумом и, во-вторых, для фона и объекта изучения характерен некоторый разброс яркостей. В результате пики функции плотности распределения теряют четкие очертания («расплываются»), но ее бимодальность сохраняется (рис. 2,б). В этой ситуации порог f_0 можно выбрать как значение, соответствующее положению минимума между модами, то есть использовать функцию поэлементного преобразования, показанную на рис. 2,в.

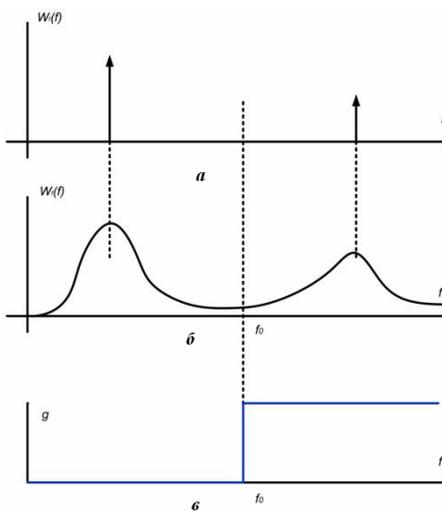


Рис. 2. Совместное распределение яркости двух объектов

Операция порогового разделения заключается в том, что характеристическая функция полагается равной нулю в точках, где яркость больше некоторого порогового значения f_0 , и единице, где она не превосходит его (или наоборот) [4].

Формирование бинарного изображения по слоям яркости осуществляется последовательным чередованием установленных f_0 в процессе регистрации на каждом шаге квантования и регистрируемое изображение представляется в виде массива логических «0» и «1». Логическая «1» определяется как пороговое значение f_0 (см. (2)). Полученные битовые последовательности (цифровой код для последовательных уровней «порога») передается в ЦВМ, исключая необходимый в таких случаях АЦП. Несомненно, этот способ более предпочтителен, чем формирование полутонового изображения, так как формирование полутонового изображения ведет к утрате части информации вследствие малого динамического диапазона используемых АЦП. Динамический диапазон, при формировании бинарных изображений, можно расширить введением неравномерно распределенных пороговых уровней (см. рис. 3) [5].

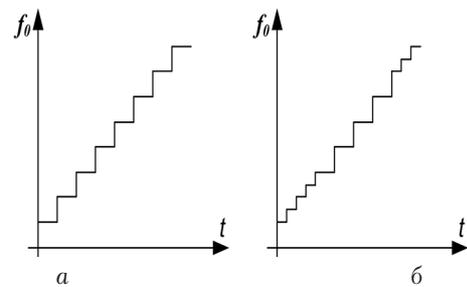


Рис. 3. Различное распределение пороговых уровней для расширения динамического диапазона регистрируемого излучения: а — равномерное распределение; б — неравномерное распределение

Обработка бинарных изображений достаточно хорошо изучена, и ее нетрудно приспособить под быструю программную реализацию, но при этом необходимо помнить об ограничениях, связанных с необходимостью различаемой степени контраста между объектом и фоном. Требуемая контрастность достигается оптимизацией устанавливаемых величин f_0 и использованием различных приемов известных в теории обработки изображений [1].

2. ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Принципиальная схема ФТ с регулируемым порогом срабатывания на дискретных компонентах (МОП-транзисторах) показана на рис. 4.

ФТ состоит из следующих элементов:

- транзисторы Т1, Т2, образующие триггер;

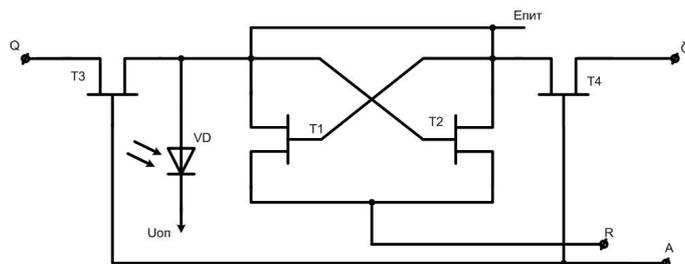


Рис. 4. Принципиальная схема ФТ с регулируемым порогом срабатывания

- транзисторы Т3, Т4 — адресные ключи;
- фотодиод VD.

По шине А осуществляется управление транзисторами Т3, Т4 открывающими доступ к триггеру.

Цикл работы ФТ состоит из четырех этапов. В исходном состоянии на фотодиоде установлен высокий уровень напряжения, на противоположном плече триггера — низкий, $U_{оп} = 0$. На втором этапе фотодиод отключается от источника питания и работает в режиме накопления. Если энергия потока превысит пороговое значение, триггер изменит свое состояние на противоположное. В дальнейшем фотодиод подключается к цепи питания и его чувствительность к оптическому потоку понижается на несколько порядков. На последнем этапе по шине R считывается информация о состоянии триггера. Следующим шагом устанавливается следующее значение напряжения $U_{оп}$ и цикл повторяется. Таким образом, регулируя напряжение $U_{оп}$ от $U_{оп\ min}$ до $U_{оп\ max}$ осуществляется регистрация изображения в бинарном коде по слоям яркости.

При выполнении бинарной обработки в фотоприемной линейке (ФПЛ), реализуемой либо на интегральной КМОП-структуре, либо на СБИС с программируемыми логическими структурами (ПЛИС), регистрируемое изображение представляется в виде последовательности логических «0» и «1», соответствующей различным установленным уровням яркости. Полученная битовая последовательность (цифровой код) передается в ЦВМ, исключая необходимый в таких случаях АЦП. Если использовать для передачи бинарного изображения в ЦВМ параллельный интерфейс, то временные задержки в этом случае будут минимальны. К тому же, для минимизации объема передаваемой информации и в целях уменьшения аппаратных затрат на пересылку и хранение данных, использование бинарных изображений обеспечивает желаемый результат. Для этого существует несколько способов кодирования информации. Одним из широко распространен-

ных способов является кодирование с переменной длиной кодовой последовательности. Этот метод основан на том, что вдоль любой просматриваемой в данный момент строки сканирования выявляются непрерывные цепочки нулей и (или) единиц. Поэтому вместо передачи отдельных битов информации пересылаются длины подобных цепочек [6].

Структурная схема управления и функционирования ячейки предлагаемого устройства приведена на рис. 5, где приняты следующие обозначения: ФПЭ — пороговый фотоприемный элемент с регулируемым порогом переключения (представляющий собой фототриггер), ПК — персональный компьютер. Регулировка порога переключения для всех n ячеек (всех фототриггеров) одновременно дает возможность регистрировать изображение по «словам» яркости или, что то же самое осуществлять квантование изображения непосредственно во время его экспозиции в фотоприемной плоскости (регулировка порога переключения осуществляется системой управления). Благодаря этому на выходе ФПЭ обеспечивается формирование «бинарного» (двоичного изображения), которое может непосредственно передаваться в запоминающее устройство, что позволяет обходиться без применения АЦП.

Интегральное устройство представляет собой фотоприемную линейку, которая состоит из отдельных n ПФПЭ ячеек, показанных на рис. 5, представляющих собой фототриггеры с соответствующими схемами управления, осуществляющие параллельную электрическую и оптическую запись бинарных сигналов и хранение записанной информации.

Формирование бинарного изображения по слоям яркости осуществляется последовательным чередованием установленных $U_{оп}$ в процессе регистрации. Несомненно, такой способ более предпочтителен, чем формирование полутонового изображения, так как формирование полутонового изображения ведет к утрате части информации вследствие малого динамического диапазона АЦП.

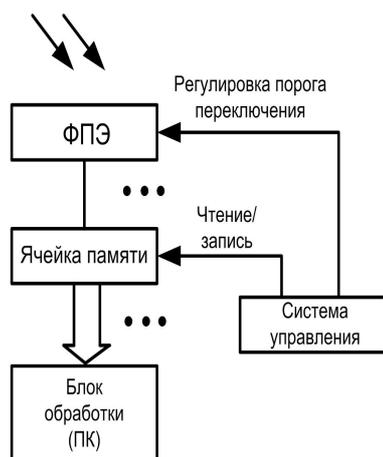


Рис. 5. Структурная схема управления и функционирования

Техническая реализация структуры устройства может осуществляться в едином технологическом цикле на одной, общей подложке с требуемым количеством ячеек ФТ.

Таким образом, при использовании ФТ с регулируемым порогом срабатывания последовательно экспонируются слои материала или ткани в зависимости от уровня порога. При этом отсутствует мешающее наложение или размывание структур, расположенных вне выбранного слоя. В результате характеристики контрастности значительно превышают характеристики традиционных проекционных рентгеновских технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предлагается метод регистрации и обработки информации, позволяющий получить оптические изображения посредством преобразования регистрируемого рентгеновского изображения в световое с помощью поликристаллических преобразующих сенсоров и сканирующего метода регистрации с использованием фотодиодных линеек в базе бинарных изображений.

Предложенный метод позволяет отказаться от применения АЦП в процессе регистрации и предварительной обработки входного сигнала. Регистрируемый аналоговый сигнал наряду с полезной информацией имеет различного рода шумы, помехи, связанные с недосветкой (пересветкой), поэтому применение АЦП так или иначе ограничивает динамический диапазон регистрируемого излучения.

Использование предложенного метода позволяет расширить динамический диапазон преобразования интегральной интенсивности оптического сигнала, регистрируемого фо-

топриемником, существенно сократить скорость передачи массивов данных в ЦВМ, уменьшить стоимость и размеры систем регистрации и обработки рентгеновских изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Катыс, Г. П.** Восприятие и распознавание образов / пер. с фр. А. В. Серединского ; под ред. Г. П. Катыса. М. : Машиностроение, 1989. 272 с.
2. **Журавель, И. М.** Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] / И. М. Журавель. (<http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php>).
3. **Сойфер, В. А.** Компьютерная обработка изображений / В. А. Сойфер. М. : Физматлит, 2003. 784 с.
4. **Очин, Е. Ф.** Вычислительные системы обработки изображений / Е. Ф. Очин. Ленинград : Энергоатомиздат, 1989. 136 с.
5. **Хорн, Б. К. П.** Зрение роботов / Б. К. П. Хорн. М. : Мир, 1989. 487 с.
6. **Ярославский, Л. П.** Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии. Введение в цифровую оптику / Л. П. Ярославский. М. : Радио и связь. 1987. 296 с.

ОБ АВТОРАХ



Бадамшин Рустем Ахмарович, проф. каф. техн. киберн., проректор по науч. и иннов. деят-ти. Дипл. инж.-электромех. (УГАТУ, 1973). Д-р техн. наук (УГАТУ, 2000). Дейст. чл. Междунар. акад. наук высш. шк.



Хасанов Ренат Ришатович, асп. той же каф. Дипл. магистр техн. и технол. по электрон. и микроэлектрон. (УГАТУ, 2005). Готовит дис. в обл. получения и обработки бинарных изображений.



Тагиров Вадим Руфович, ст. науч. сотр. НИЛ СУВП. Дипл. инж. электрон. техн. (УГАТУ, 1974). Иссл. в обл. получения и обработки бинарных изображений, систем управления волновыми полями, нечеткой логики.