

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ НАКОПЛЕНИЯ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ФОТОПРИЕМНИКАХ

© 2012 г. А. А. Умбиталиев*, доктор техн. наук; А. К. Цыцулин*, доктор техн. наук;
А. А. Манцветов**, канд. техн. наук; В. В. Козлов***, А. Е. Рычажников**,
П. С. Баранов**, аспирант; А. В. Иванова**, аспирант.

* ОАО “Научно-исследовательский институт телевидения”, Санкт-Петербург

** Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ”
им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

*** ОАО Ракетно-космическая корпорация “Энергия”, г. Королев

E-mail: tsytsulin@niitv.ru

Классифицированы методы управления режимом накопления заряда в матричных фотоприемниках. Рассмотрены отличия в методах управления накоплением в приборах с зарядовой связью и в комплиментарных структурах металл-оксид-полупроводник. Предложены метод адаптации накопления к динамике сюжета и метод управления длительностью и фазой накопления при измерении дальности в твердотельной матричной системе с активной импульсной подсветкой.

Ключевые слова: накопление видеoinформации, разрешающая способность, динамический смаз, стробирование светового потока.

Коды OCIS: 040.1490, 040.1520, 150.6044

Поступила в редакцию 18.06.2012

Введение

Важнейшим принципом видеoinформатики является принцип накопления. Он реализуется в видеoinформационных системах в несколько этапов: на пиксельном, несемантическом уровне – в телекамере и на более высоком, семантическом – в компьютере при обработке изображений и принятии решений. При этом формирование видеосигнала в телекамере происходит благодаря реализации принципов накопления и развертки. Электронное телевидение началось с создания В.К. Зворыкиным передающей телевизионной трубки – иконоскопа [1]. Современные твердотельные фотоприемники, выполненные на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) и комплементарных структур метал-оксид-полупроводник (КМОП) не просто реализуют накопление сигналов в зарядовой форме, но и обеспечивая реализацию принципа слитности изображений как пространственно-временных процессов [2], знаменуют твердотельную революцию в телевидении [3–5].

Фотоприемники, выполненные по ПЗС и КМОП технологии, имеют как общие черты, так и существенные отличия. В настоящее время по фотоэлектрическим характеристикам, таким как чувствительность, уровень геометрического шума, ПЗС-фотоприемники превосходят фотоприемники, выполненный по КМОП-технологии [3, 6]. По эксплуатационным характеристикам, таким как массогабаритные показатели, напряжение питания, потребляемая мощность, несомненными лидерами являются фотоприемники по технологии КМОП. К тому же КМОП-фотоприемники имеют ряд новых функциональных свойств, таких как выбор окна на изображении, обработка видеoinформации непосредственно в процессе ее формирования и т. д., что недостижимо при использовании технологии ПЗС. Возникающие в процессе формирования видеoinформации артефакты для этих двух классов фотоприемников имеют ряд отличий, что сказывается на областях их применения. Ниже рассмотрены особенности управления характеристиками накопления обоих типов фотоприемников.

Методы согласования накопления с априорной информацией о сюжете

Выражение для числа накопленных фотоэлектронов имеет вид [7]

$$n_e = \frac{1}{hc} AT_{\text{нак}} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \lambda \Phi(\lambda) \Theta(\lambda) d\lambda,$$

где $T_{\text{нак}}$ – время накопления, $\Phi(\lambda)$ – спектральная плотность мощности излучения, h – постоянная Планка, c – скорость света в вакууме, λ_{\min} – λ_{\max} – диапазон спектральной чувствительности фотоприемника, A_p – площадь светочувствительно элемента, $\Theta(\lambda)$ – квантовая эффективность с учетом коэффициента использования площади пиксела. Из этого следует, что выходной сигнал и чувствительность зависят от времени накопления. Как в телекамерах на ПЗС, так и на КМОП-фотоприемниках, при высокой освещенности используется режим автоматической регулировки времени накопления (АРВН) для управления чувствительностью. В этом режиме время накопления уменьшается путем применения электронного затвора. В фотоприемниках на ПЗС он реализуется сбросом накопленных зарядов в подложку, в КМОП-фотоприемниках – привязкой потенциала фотодиода к потенциалу питания.

С другой стороны, в малокадровых системах для достижения потенциальной чувствительности время накопления увеличивается до секунд, минут и даже часов. Время накопления в реальных системах ограничивается темновым током, методы борьбы с которым широко известны. Наибольшая реализованная экспозиция, включающая накопление на матрице и внешнее цифровое накопление, составила одиннадцать суток при получении заатмосферным телескопом “Хаббл” изображения *Ultra High Deep Field* (сверхглубокое поле проникновения), соответствующего картине Вселенной 13,5 миллиардов лет назад [8].

Темновой ток возникает не только при накоплении, но и при переносе зарядовых пакетов, причем его уровень может оказаться значительным. Так, для матричного ПЗС KAI-0150 фирмы *Kodak* скорость генерации темнового тока в фотодиоде составляет 7 электронов/с, а в вертикальном ПЗС-регистре 70 электронов/с [9]. Темновой ток, образованный в процессе считывания, усредняется вдоль ПЗС-регистра и проявляется в виде вертикальных полос на изображении.

При больших временах накопления помимо темнового тока возникают проблемы, вызванные генерацией паразитных носителей, обусловленных свечением полевых транзисторов, находящихся в активном режиме. Это свечение вызвано излучением Вавилова–Черенкова. Особенно остро эта проблема стоит в КМОП-фотоприемниках, у которых в каждом пикселе может быть несколько транзисторов, находящихся в активном режиме и расположенных в непосредственной близости от фотодиода. Методом борьбы с эффектами свечения является отключение питания транзисторов на время накопления.

Отключение транзисторов выходного устройства в матричном ПЗС, работающем с временами накопления в десятки секунд, позволило устранить засветку левого верхнего угла изображения, вызванную свечением транзисторов выходного устройства матричного ПЗС [10]. Известны методы снижения темнового тока, основанные на управлении режимом накопления. Известен режим накопления с линейно увеличивающимся потенциалом на фазном электроде [5], в матричных ПЗС с кадровым переносом широко используется режим *MPP (Multi Pinned Phase)*, заключающийся в инверсии потенциала накопления [11].

В матричных ПЗС накопление во всех светочувствительных пикселах происходит одновременно, и поэтому движение изображения вызывает только динамический смаз. В КМОП-фотоприемниках движение изображения может привести к геометрическим искажениям изображения [12]. Это обусловлено тем, что при использовании обычного активного пиксела, рис. 1а, время накопления в соседних строках оказывается одинаковым, но смещенными друг относительно друга на длительность строки. При считывании строк сверху вниз, объект,двигающийся по вертикали, окажется растянутым в вертикальном направлении при движении по направлению считывания и сжатым в вертикальном направлении при движении против направления считывания. При движении по горизонтали вертикальные линии объекта наклоняются в ту или иную сторону в зависимости от направления движения. Такое считывание называется “бегущим” или “катящимся” считыванием.

Для того чтобы накопление во всех пикселах проходило одновременно, в структуру пиксела должен быть введен элемент памяти. В простейшем случае запоминание значения

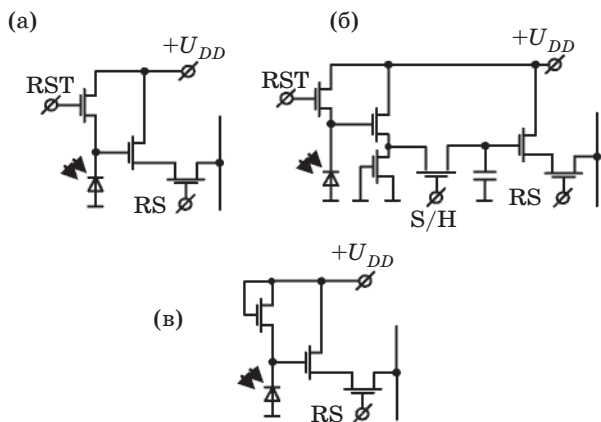


Рис. 1. Структуры пикселей КМОП-фотоприемников. а – активный пиксел с “бегущим считыванием”, б – активный пиксел с “глобальным считыванием”, в – логарифмический пиксел.

видеосигнала с фотодиода осуществляется на емкости, рис. 1б, в более сложных структурах, использующих совместные технологии ПЗС и КМОП, запоминание осуществляется в обедненной области МОП-емкости [6]. Данный режим считывания называют “глобальным”.

В КМОП-фотоприемнике может быть реализована нелинейная зависимость видеосигнала от освещенности в процессе накопления, для чего в качестве нагрузки для тока фотодиода используется нелинейный элемент, рис. 1в. Реализуемая при этом логарифмическая характеристика накопления позволяет расширить динамический диапазон до 120–130 дБ [3, 6].

В сложных структурах пикселей КМОП-фотоприемников возможна реализация индивидуального времени накопления для каждого пикселя, адаптирующегося под освещенность в данной точке [13]. На рис. 2 приведена структура пикселя, реализующего потенциальную контрастную чувствительность [14]. Процесс накопления состоит из малых интервалов, соответствующих нарастанию видеосигнала до некоторого порога, задаваемого источником опорного напряжения. По достижении порога компаратор срабатывает и сбрасывает видеосигнал, накопленный в фотодиоде. Двоичный счетчик подсчитывает число срабатываний компаратора. Таким образом, при идеальных элементах схемы потенциальная контрастная чувствительность определяется числом разрядов двоичного счетчика.

Координатная адресация, используемая в КМОП-фотоприемниках, позволяет реали-

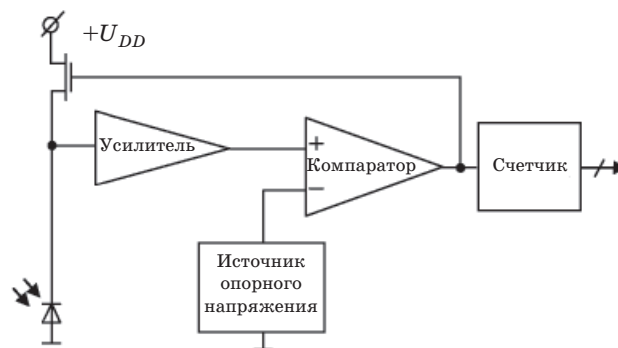


Рис. 2. Структура цифрового пикселя, реализующего потенциальную контрастную чувствительность.

зовать режим считывания заданной области на изображении и при этом реализуется обмен частоты кадров на разрешающую способность и поле зрения. В [14] предложена структура КМОП-фотоприемника, в котором может быть реализовано до четырех независимых окон, время накопления в каждом из которых может выбираться независимо.

При известном векторе скорости движения объекта возможно применение режима временной задержки и накопления (ВЗН) для повышения чувствительности и компенсации динамического смаза. Режим ВЗН может быть реализован, если движение объекта является прямолинейным и параметры вектора скорости точно известны. В этом режиме столбцы односекционного матричного ПЗС с кадровым переносом ориентируются строго вдоль вектора движения. При неподвижных областях накопления зарядовый пакет от движущегося изображения окажется размазанным вдоль столбца. В режиме ВЗН обедненные области в полупроводнике сдвигаются под фазными электродами синхронно с движением изображения. В таком случае размывания изображения не происходит. Матричные ПЗС для режима ВЗН, как правило, имеют от 1000 до 8000 пикселей в строке при числе строк, не более 128 и выпускаются такими фирмами как *E2V, Dalsa, Hamamatsu* [11, 15, 16]. Последнее объясняется тем, что синхронизация движения изображения и обедненных областей с погрешностью не более 1% затруднительна. Режим ВЗН используется при наблюдении Земли из космоса, контроле технологических процессов, например, при наблюдении движущегося конвейера, в системах фотофиниша.

Компенсация только прямолинейного движения является существенным ограничением применения режима ВЗН. В [17] была предложена структура секции накопления четырехфазного матричного ПЗС с кадровым переносом, обеспечивающая произвольное направление переноса зарядовых пакетов. Использование произвольного направления переноса зарядовых пакетов позволяет компенсировать динамический смаз изображения, образующийся в условиях сильной вибрации, устранить размытия в системах адаптивной оптики без применения сложных оптико-механических систем и т. д. Позже был изготовлен матричный ПЗС с произвольным переносом по существенно более сложной технологии [18]. Он получил название OTCCD (*Orthogonal Transfer Charge Coupled Device*) и используется на телескопе с диаметром зеркала 3,5 метра в обсерватории *WIYN Observatory* [19].

Метод адаптации накопления к динамике сюжета

Адаптация пространственно-временных интервалов накопления сигнала (управление кадровой частотой и зоной накопления с помощью сложения сигналов пикселей, [4] – так называемого “бининга”) может осуществляться не только порознь, но и взаимосвязанно. Эта взаимосвязь определяется тем, что все изображения являются пространственно-временными процессами, дискретизируемыми фотоприемником на N^2 пикселей и на временные кадровые интервалы T_k . С учетом принятой оценки скорости считывания изображения по полосе частот видеосигнала в соответствии с теоремой отсчетов В.А. Котельникова $C = N^2/2T_k$ критерий качества изображения может быть записан в виде

$$\varepsilon = \min_{N, T} \text{ при } C = N^2/2T_k \leq C_0.$$

Формализация взаимосвязи накопления по полю и по времени возможна при моделировании сигналов как случайными полями, так и неслучайными движущимися объектами с неизвестными пространственно-временными параметрами. При моделировании изображений случайными процессами традиционно считают известными (оцененными) нормированные к единичной освещенности автокорреляционные функции по полю

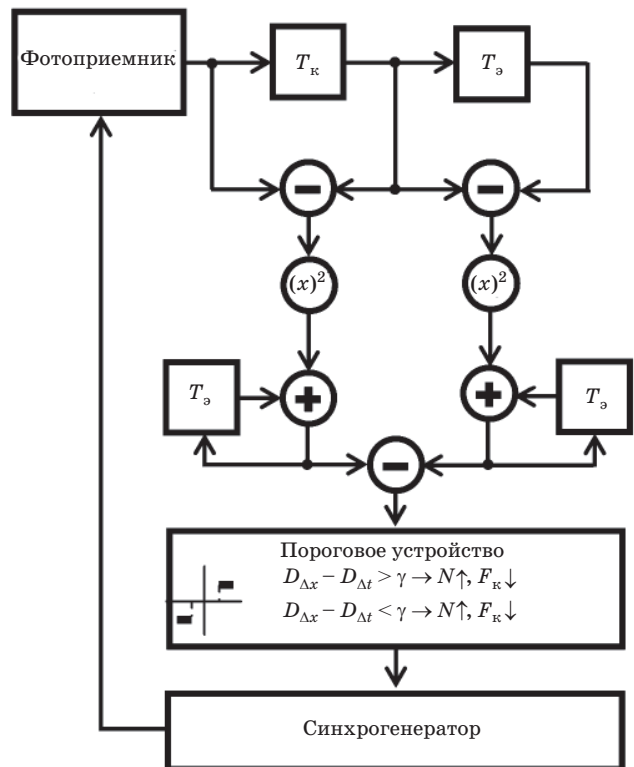


Рис. 3. Функциональная схема телекамеры, адаптивной к динамике сюжета и осуществляющей обмен четкости на кадровую частоту по анализу соотношения межэлементной и межкадровой разности.

$K_x(x) = K_y(y)$ (изотропное изображение) и по времени $K_t(t)$. Дисперсии приращений сигнала на интервалах пикселя и кадра составляют [20]:

$$D_{\Delta x} = 2K_x(0)[1 - K_x(\Delta x)/K_x(0)]$$

$$\text{и } D_{\Delta t} = 2K_t(0)[1 - K_t(T_k)/K_t(0)].$$

Примем для конкретности модель сигнала с экспоненциальными автокорреляционными функциями $K(x) = K_x(0)\exp(-|x|/\tau_x)$ с интервалом корреляции τ_x и $K(t) = K_t(0)\exp(-|t|/\tau_t)$ с интервалом корреляции τ_t . Тогда при независимости случайных процессов по разным аргументам и не слишком больших интервалах дискретизации полная ошибка передачи составит: $\varepsilon = 2D_{\Delta x} + D_{\Delta t} = 4K_x(0)\Delta x/\tau_x + 2K_t(0)T_k/\tau_t$. Будем считать растр квадратным с числом N пикселей по вертикали и горизонтали. Тогда линейный размер пикселя будет определяться линейным размером фотоприемной матрицы l : $\Delta x = l/N$. Критерий качества изображения примет вид: $\varepsilon = 4K_x(0)l/N\tau_x + 2K_t(0)N^2/C_0\tau_t$. Взяв производную от суммар-

ной ошибки по числу N пикселей в строке и приравняв ее нулю, найдем оптимальные значения полного числа пикселей N^2 и времени кадра

$$N_{\text{опт}}^2 = \left(2lC_0 \frac{K_x(0)\tau_t}{K_t(0)\tau_x} \right)^{2/3},$$

$$T_{\text{к.опт}} = \frac{1}{(2C_0)^{1/3}} \left(l \frac{K_x(0)\tau_t}{K_t(0)\tau_x} \right)^{2/3}.$$

Отсюда следует $N_{\text{опт}}^2/2T_{\text{к.опт}} = C_0 D_{\Delta x}/D_{\Delta t}$, что предписывает *правило адаптации*, требующее обеспечения равенства дисперсий межэлементной и межкадровой разностей.

Аналогичное решение для оптимального взаимобмена четкости и кадровой частоты при ограниченной скорости считывания C_0 можно получить при решении задачи измерения пространственно-временных параметров движущегося объекта. В этой модели полная ошибка также содержит две компоненты – статическую с дисперсией $\varepsilon_{\text{ст}} = 2l^2/N^2$ и динамическую $\varepsilon_{\text{дин}}$, (которая определяется дальностью L до объекта, фокусным расстоянием f объектива и модулем вектора скорости v объекта) с дисперсией $\varepsilon_{\text{дин}} = \sqrt{2}T_k^2 f^2/L^2$. Принятый критерий минимума суммы ошибок по трем аргументам приводит к аналогичным по структуре формулам:

$$N_{\text{опт}}^2 = \left(\frac{2C_0 lL}{vf} \right)^{2/3},$$

$$T_{\text{к.опт}} = \frac{1}{(2C_0)^{1/3}} \left(\frac{lL}{vf} \right)^{2/3}.$$

Полученные формулы предписывают адаптацию параметров накопления к дальности до объекта и распространяют итерационный принцип контроля сближения космических аппаратов (КА), выдвинутый С.П. Королевым, на проектирование телекамер [21].

Адаптивная телевизионная система должна в зависимости от пространственно-временных статистик сюжета перестраивать четкость и кадровую частоту телекамеры так, чтобы частота передачи пикселей была по возможности постоянной и при достаточной освещенности $E \geq E_0$ (при работе АРВН) близкой к максимально возможному значению C_0 . При малой освещенности фотоприемника $E < E_0$ критерий качества усложняется и включает не только ошибки пространственной и временной дискретизации, но и шумовую ошибку, обуслов-

ленную дискретной структурой света. Приняв для определенности равномерную плотность вероятности освещенности, будем считать, что в силу распределения потока фотонов по закону Пуассона нормированная по освещенности дисперсия шумовой ошибки оценивания случайного поля изображения определится с учетом квантовой эффективности η фотоприемника и количества n фотонов в единице освещенности ($1,3 \times 10^{12}$ фотонов/см² с [1]) выражением вида

$$\varepsilon = 4K_x(0)l/N\tau_x + 2K_t(0)T_{\text{к}}/\tau_t + N^2/2n\eta ET_{\text{к}}l^2.$$

Взяв производные от суммарной ошибки по числу N пикселей в строке и по времени кадра $T_{\text{к}}$, и приравняв их нулю, найдем оптимальные значения полного числа пикселей N^2 и времени кадра:

$$N_{\text{опт}}^2 = \frac{2l^2 K_x(0)}{\tau_x} \sqrt{\frac{n\eta E \tau_t}{K_t(0)}},$$

$$T_{\text{к.опт}} = \left(\frac{\tau_t}{K_t(0)} \right)^{3/4} \left(\frac{K_x(0)}{2\tau_x} \right)^{1/2} \frac{1}{(n\eta E)^{1/4}}.$$

Отсюда следует, во-первых, критическое значение освещенности

$$E_0 = (C_0/n\eta l^2)^{3/4} [\tau_x/2K_x(0)]^{2/3} [\tau_t/K_t(0)]^{1/3}.$$

Во-вторых, также как и при ограничении скорости считывания, следует *правило равенства дисперсий межэлементной и межкадровой разности*:

$$D_{\Delta x} = D_{\Delta t} = [K_x(0)/2\tau_x]^{1/2} [K_t(0)/\tau_t n\eta E]^{1/4}.$$

Это правило реализуется с помощью простой схемы адаптивной телекамеры (рис. 3). Когда модуль разности $D_{\Delta x} - D_{\Delta t}$ превышает порог γ , то подается команда на изменение параметров разложения. При $D_{\Delta x} > D_{\Delta t}$ время кадра уменьшается, а число элементов увеличивается. При $D_{\Delta x} < D_{\Delta t}$ время кадра увеличивается, а число элементов уменьшается.

Для проверки эффективности предложенного метода управления накоплением был проведен эксперимент с подвижными объектами (в том числе с подвижной тест-таблицей 0249-10), с использованием телекамеры на матричном КМОП фотоприемнике, позволяющей с помощью “бининга” реализовать три сочетания четкости и кадровой частоты: 5 Мегапикселей при кадровой частоте 7 Гц, 1,25 Мегапикселя при кадровой частоте 16 Гц и 0,3 Мегапикселя при кадровой частоте 22 Гц. Эти сочетания не являются предельными, но для

Метод управления накоплением в матричном ПЗС в составе активной телевизионно-лазерной импульсной системы

В активных телевизионно-лазерных системах используются телевизионные камеры с временами накопления, составляющими доли микросекунды. Для реализации столь малых времен накопления использовались стробируемые электронно-оптические преобразователи (ЭОП). Времена включения/выключения ЭОП могут составлять единицы наносекунд [16]. В то же время, использование ЭОП имеет ряд недостатков: невысокий квантовый выход фотокатода, проблемы сочленения с твердотельным фотоприемником, в том числе потеря преимуществ жесткого раstra, большая масса и габариты, высокая стоимость и малый ресурс.

Поэтому представляет интерес реализация малых времен накопления непосредственно на матричном ПЗС. В стандартном режиме работы матричного ПЗС со строчным переносом время накопления определяется интервалом от момента окончания импульса сброса зарядовых пакетов в подложку SUB, рис. 5а, до окончания импульса считывания накопленных зарядовых пакетов из фотодиода в вертикальный ПЗС-регистр U_H . Уровень U_M соответствует потенциальной яме в регистре, уровень U_L – потенциальному барьеру. Подача высокого потенциала U_H формирует глубокую потенциальную яму под электродом, достаточную для переноса зарядовых пакетов из фотодиодов. Необходимо отметить, что накопление пакетов во время действия импульса U_H продолжается.

В предлагаемом методе импульс SUB формируется таким образом, что он уничтожает все заряды, образовавшиеся до и после интер-

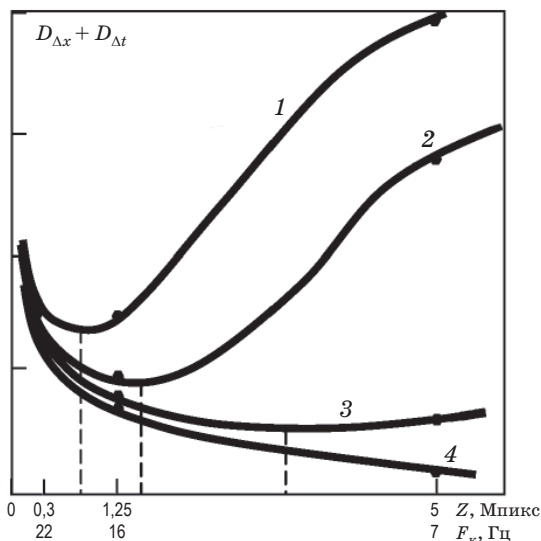


Рис. 4. Экспериментальная зависимость суммы дисперсий межэлементной разности $D_{\Delta x}$ и межкадровой разности $D_{\Delta t}$ от эффективного числа элементов фотоприемной матрицы для различных скоростей объекта. 1 – 200 мкм/с, 2 – 100 мкм/с, 3 – 50 мкм/с, 4 – 0 мкм/с.

доступных фотоприемных матриц в режиме постоянной чувствительности они близки к предельным. Эксперимент (рис. 4) подтвердил существование оптимального сочетания четкости и кадровой частоты, зависящего от скорости изменения сюжета во времени. Измерения разрешающей способности по подвижной тест-таблице подтвердили наличие максимума качества изображения, достигаемого при разных параметрах накопления, определяемых скоростью движения. Показанный на рис. 4 максимум качества изображения отражает важный эффект влияния твердотельной технологии на изменение методов системного проектирования в видеоинформатике.

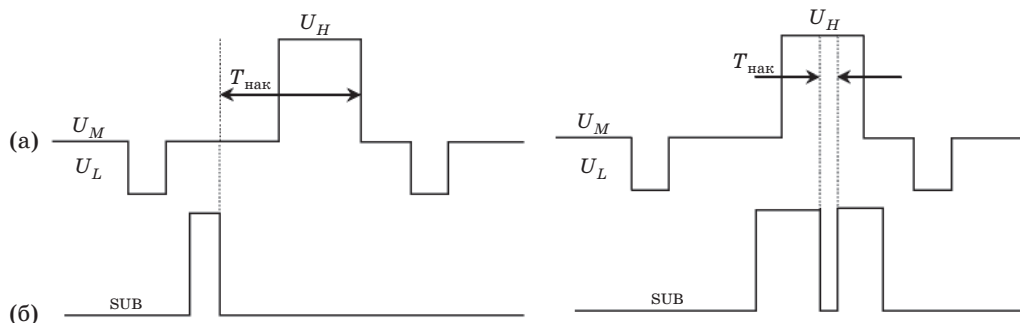


Рис. 5. Временные диаграммы импульсов управления накоплением и считыванием в режиме электронного затвора: общепринятый режим для длительного накопления (а), режим стробирования (б).

вала накопления, рис. 5б. В таком случае минимальная длительность интервала накопления зарядов будет определяться длительностью фронтов импульса SUB.

На рис. 6 представлены результаты эксперимента по реализации времени накопления 40 нс в матричном ПЗС ICX659AL фирмы Sony. В процессе эксперимента импульс малоомощного лазера сдвигался по времени относительно интервала накопления. На рис. 6 представлены различные случаи временного положения импульса лазера относительно интервала накопления: с перекрытием по времени, до интервала накопления и после него. Рядом с различными случаями приведены изображения пучка лазера, полученные на экране видеомонитора.

Экспериментально подтвержденное время накопления 40 нс позволяет измерять дальность до объекта с точностью 6 м. При длительности импульса лазера более времени накопления, взвешивание сигналов соседних кадров

позволяет на порядок повысить точность – до долей метра. Проведенный энергетический расчет показал, что для уверенного измерения дальности при размере катафота 0,1 м, поверхностная плотность энергии должна составлять 0,1 Дж/км². Такую плотность энергии может обеспечить твердотельный лазер на алюмо-иттриевом гранате.

Указанный метод стробирования накопления может быть использован для повышения контраста изображений в активных телевизионно-лазерных импульсных системах, работающих в рассеивающих средах, например, в воде. Стробирование матричного ПЗС может отсеять нежелательные отражения от дальностей больших и меньших интересующей. Стробирование матричного ПЗС может оказаться полезным при наблюдении различных экспериментов, например, при наблюдении взрывов, пролетов заряженных элементарных частиц в искровых камерах и т. д.

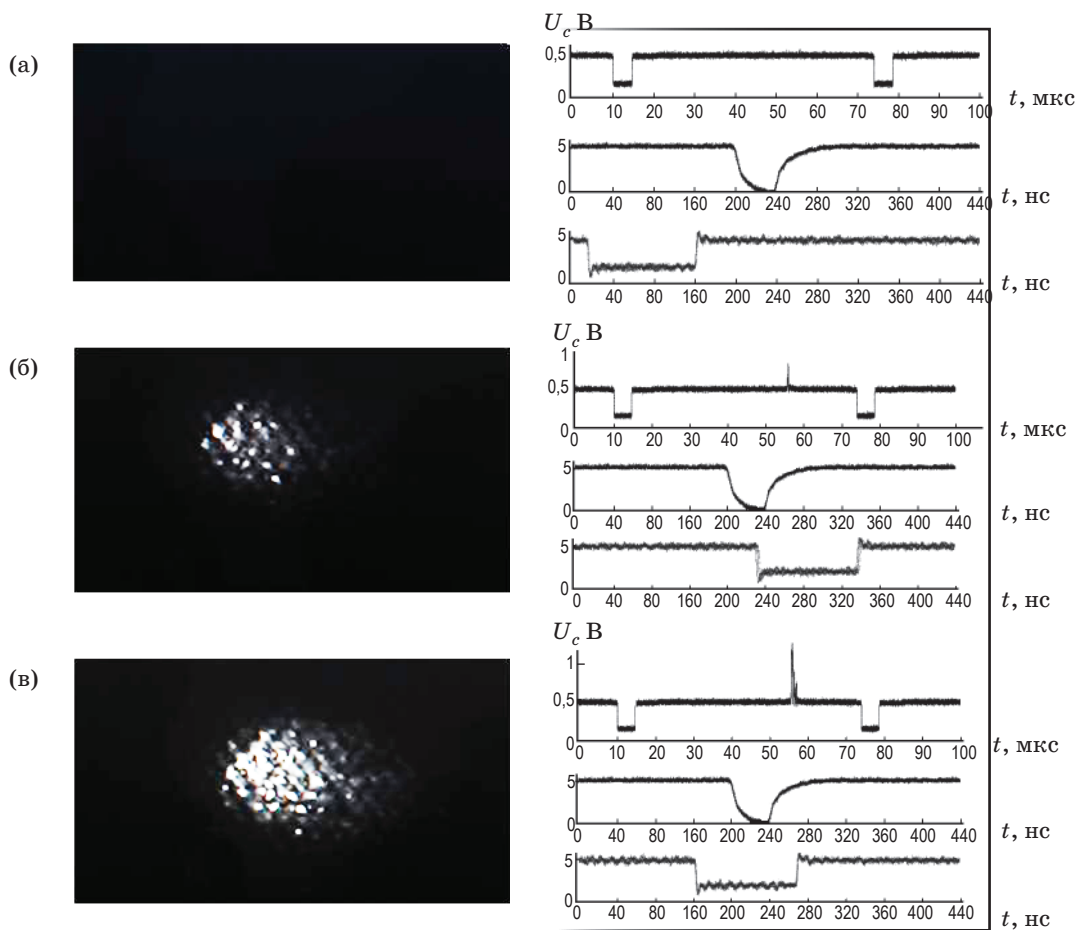


Рис. 6. Результаты экспериментального исследования макета активной телевизионно-импульсной системы. Изображения катафота, получены при: а – несовпадении по времени отраженного светового импульса с интервалом накопления, б – при частичном совпадении, в – при полном совпадении. Справа (сверху вниз) приведены осциллограммы видеосигнала, интервала накопления и лазерного импульса.

Особый интерес представляет возможность создания телевизионного импульсного дальномера, позволяющего определять не только расстояние до объекта, но и углы по направлению на него. Наиболее актуально применение такого дальномера в системах сближения и стыковки КА.

Активный КА содержит на борту импульсный лазер с оптической системой, а также телевизионную камеру, работающую как в режиме телевизионного просмотра, так и в стробируемом режиме. Углы поля зрения камеры и оптической системы лазера согласованы. На пассивном КА установлена специальная мишень (катафот). Измерение расстояния осуществляется выбором такой задержки интервала накопления относительно момента излучения импульса, чтобы фотоприемник воспринял отраженный от мишени свет. Для минимизации начального определения расстояния до пассивного КА используется изменение длительности и положения интервала накопления по принципу дихотомии, широко используемого в АЦП поразрядного уравнивания.

Полученные с активной телевизионно-лазерной импульсной системой результаты говорят о существенно большей эффективности твердотельного решения по сравнению с использовавшимися ранее системами с ЭОП.

Заключение

Рассмотренные известные и предложенные нами методы управления накоплением видеoinформации, обеспечивающие максимально

возможную слитность воспроизведения изображения как пространственно-временного процесса по его дискретным отсчетам, и как следствие, максимальное качество изображения, отражает эффект влияния твердотельной технологии на изменение методов системного проектирования в видеоинформатике. В эпоху электронно-лучевого телевидения, господствовала парадигма пассивного учета ухудшения разрешающей способности из-за движения изображения. Твердотельная технология способствовала выдвигению на первый план максимизации количества и качества видеoinформации путем адаптации параметров разложения изображения, что и позволяет сделать следующие выводы:

1. Многообразие сюжетов и целей прикладных видеoinформационных систем порождает многообразие методов управления накоплением, которые опираются на общий для них принцип слитности изображений.

2. Предложен метод управления накоплением, реализующий адаптацию параметров разложения к пространственно-временным характеристикам сюжета путем обмена четкости на кадровую частоту по измеряемым межэлементным и межкадровым приращениям сигнала.

3. Предложен метод управления накоплением в матричном ПЗС в составе активной телевизионно-лазерной импульсной системы, позволяющий благодаря управлению длительностью и фазой времени накопления в дополнение к определению направления на объект реализовать быстрый алгоритм высокоточного измерения дальности до объекта.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Зворыкин В.К., Мортон Д.А. Телевидение. Изд-во иностранной литературы, 1956. 780 с.
2. Манцетов А.А., Умбиталиев А.А., Цыцулин А.К. // Принцип слитности в прикладном телевидении. Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения. 2012. В. 1. С. 3–15.
3. Березин В.В., Умбиталиев А.А., Фахми Ш.С., Цыцулин А.К., Шипилов Н.Н. Твердотельная революция в телевидении. М., Радио и связь, 2006. 312 с.
4. Хромов Л.И., Лебедев Н.В., Цыцулин А.К., Куликов А.Н. Твердотельное телевидение. М.: Радио и связь, 1986. 184 с.
5. Хромов Л.И., Цыцулин А.К., Куликов А.Н. Видеоинформатика. М.: Радио и связь, 1991. 192 с.
6. Манцетов А.А., Цыцулин А.К. Телекамеры на КМОП фотоприемниках // Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения. 2006. В. 2. С. 70–89.

7. *Вахромеева О.С., Манцетов А.А., Шиманская К.А.* Характеристики чувствительности телевизионных камер на матричных приборах с зарядовой связью // Изв. вузов России. Радиоэлектроника, 2004. В. 4. С. 25–35.
 8. Официальный сайт телескопа “Хаббл” www.hubblesite.org
 9. Официальный сайт фирмы TrueSense Imaging (Kodak Imaging) www.truesenseimaging.com
 10. *Дмитриева А.Ю., Манцетов А.А., Плохих Д.П.* Высокочувствительные телевизионные камеры на охлаждаемых матричных ПЗС. Материалы 56-й научн.-техн. конф., посвященная Дню радио, Санкт-Петербург, апрель 2001, СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2001. С. 97–98.
 11. Официальный сайт фирмы E2V www.e2v.com
 12. *Рычажников А.Е.* Компенсация геометрических искажений изображений движущихся объектов при использовании фотоэлектрических преобразователей КМОП // Изв. вузов Росси. Радиоэлектроника, 2008. В. 4. С. 47–54.
 13. Официальный сайт фирмы Pixim www.pixim.com
 14. *Пятков В.В., Умбиталиев А.А.* КМОП фотосенсор с многоканальной схемой опроса // Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения. 2011. В. 2. С. 34–42.
 15. Официальный сайт фирмы TeledyneDalsa www.teledynedalsa.com
 16. Официальный сайт фирмы Hamamatsu www.hamamatsu.com
 17. *Манцетов А.А.* Передача динамических изображений матричными приборами с зарядовой связью // Изв. ГЭТУ. В. 478. СПб., 1995. С. 105–112.
 18. *Burke В.Е., Tonry J.L., Cooper M.J.* Orthogonal Transfer Arrays for the Pan-STARRS Gigapixel Camera // Proceedings of SPIE. 2007. V. 6501. P. 1–9.
 19. Официальный сайт обсерватории WIYN www.noao.edu
 20. *Фрэнкс Л.* Теория сигналов. М.: Мир, 1974. 344 с.
 21. *Манцетов А.А., Зубакин И.А., Козлов В.В., Цыцулин А.К.* Адаптация космической телевизионной системы к этапам наблюдения объектов // Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения. 2012. В. 1. С. 29–43.
-