

УДК 621.383.93

DOI: 10.22213/2410-9304-2026-3-77-82

Исследование дифференциального варианта включения мультискана на основе его пространственно-структурной модели

А. А. Метелева, Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия

И. О. Архипов, кандидат технических наук, доцент,

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Ю. К. Шелковников, доктор технических наук, профессор,

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия

В работе решается задача повышения точности, быстродействия и эффективности контроля геометрических параметров объектов информационно-измерительными системами (ИИС) на основе телевизионного мультискана с дифференциальным вариантом его включения. Получена формула для выходного двуполярного разностного сигнала при построении огибающей дискретного распределения величин изменений параметров в различных точках протяженных контролируемых объектов. Показано, что дифференциальный вариант включения не позволяет обеспечить высокую точность измерений геометрических параметров объектов по размытому разностному сигналу из-за ограниченной крутизны переходного участка вольт-амперной характеристики фотодиодных ячеек мультискана. Предложено для повышения точности определения характеристик выходного разностного сигнала использовать пространственно-структурную модель, в которой ширина профиля световой зоны соответствует экстенду, освещенность зоны – яркости, а ее координата – центроиду. Разработана ИИС с модуляцией яркости светового потока и дискретным амплитудным вариантом включения мультискана. Рассмотрен процесс фотоэлектрического преобразования информации на основе импульсной характеристики мультискана, которая определена как элементарный видеосигнал от его одной дискретной фотодиодной ячейки. Установлено, что свертка входного воздействия прямоугольного профиля световой зоны и импульсной характеристики объясняет размытие фронтов видеосигнала его вольтовой апертурой. Учет величины размытия видеосигнала при оценке параметров световой зоны обеспечивается вычитанием диссипации импульсной характеристики из диссипации видеосигнала. Исследована пространственно-структурная модель разностного видеосигнала для восстановления прямоугольной формы эталонной и контролируемой световых зон. Показано, что увеличение линейности выходной характеристики (точности контроля) ИИС при использовании пространственно-структурной модели достигается вычитанием прямоугольных эталонного и контролируемого экстендов.

Ключевые слова: мультискан, дифференциальный вариант включения, разностный видеосигнал, световая зона, пространственно-структурная модель

Введение

Разработка и внедрение высокоточных координатных телевизионных ИИС для решения широкого круга проблем в робототехнике, дистанционном зондировании, навигации, ракетно-космической и авиационной технике является актуальной задачей [1–5]. Телевизионный фотопреобразователь мультискан (МС) предназначен для преобразования освещенности на его фоточувствительной поверхности в электрический видеосигнал (ВС), используемый для бесконтактного контроля и измерения координат, размеров и перемещений различных объектов. Широкое применение ИИС на основе мультискана в производстве, технике и научных исследованиях объясняется надежностью их работы, помехозащищенностью, простотой схем выделения и обработки измерительной информации, компактностью, высокими метеорологическими и эксплуатационными характеристиками [6–11]. Из-за ограниченной крутизны переходного участка вольт-амперной характеристики фотодиодных ячеек мультискана, выходной ВС от прямоугольного профиля узких световых зон (СЗ) размывается и приобретает колоколообразную форму, используемую в дифференциальном варианте включения (ДВВ) МС для формирования амплитуды разностного информационного сигнала от эталонной и контролируемой СЗ [12].

Актуальность работы заключается в следующем. ДВВ позволяет за время одного периода пилообразного напряжения опроса МС построить огибающую дискретного распределения величин параметров в n точках контролируемых протяженных объектов (например, при исследовании деформации протяженных изделий, для измерения распределения коэффициента преломления вдоль реакционной

камеры, для изучения динамики быстропротекающих процессов и т. д.).

В данной статье для решения задач определения размеров и координат узких световых зон по размытому колоколообразному видеосигналу с мультискана предложено использовать пространственно-структурную модель (ПСМ), дающую возможность учитывать при анализе величину размытия ВС [13–15]. Целью статьи является описание исследования ДВВ мультискана для повышения точности контроля (линейности выходной характеристики разработанной ИИС) за счет вычитания прямоугольных эталонного и контролируемого экстендов.

Анализ работы мультискана

с дифференциальным вариантом его включения

Структурная схема созданной ИИС на основе мультискана представлена на рис. 1 (где МС – мультискан; СЗ – система зеркал; ИС1, ИС2 – источники модулированного по яркости излучения; ИНС – источник напряжения смещения; ГПН – генератор пилообразного напряжения; ГТИ – генератор тактовых импульсов; СПТН1, СПТН2 – селективные преобразователи ток-напряжения; СД1, СД2 – синхронные детекторы; ФНЧ1, ФНЧ2 – фильтры нижних частот; ДУ1, ДУ2 – дифференцирующие усилители; ВУ – вычитающее устройство; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МП – микропроцессор). ИИС работает следующим образом. В исходном состоянии источники излучения ИС1, ИС2 попеременно проецируют эталонный $\Phi_{\text{эт}}$ и контролируемый $\Phi_{\text{кон}}$ дискретные световые потоки в одни и те же точки (и их окрестности в диапазоне световой зоны) фоточувствительной поверхности МС. Последовательности, дискретных эталонных и контролируемых видеосигна-

лов на выходе ДУ1, ДУ2 суммируются в противофазе вычитающим устройством ВУ; сформированный разностный сигнал $V_{\text{раз}} = V_{\text{кон}} - V_{\text{эт}}$ (рис. 2, з) подается в МП для выделения огибающей (рис. 2, д) дискретного распределения контролируемого $\Phi_{\text{кон}}$ светового потока.

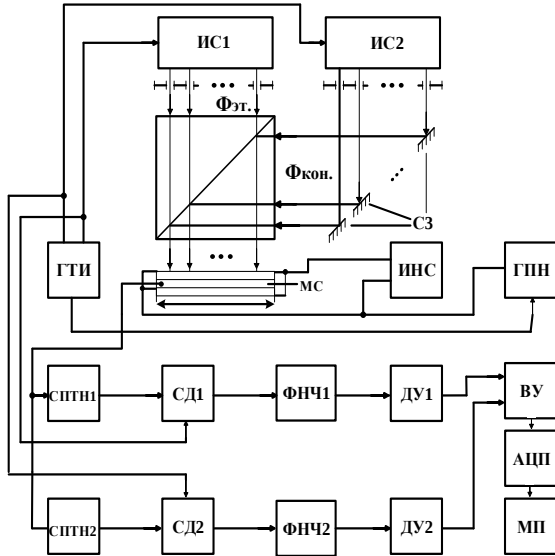


Рис. 1. Структурная схема ИИС с модуляцией светового потока и дифференциальным вариантом включения мультискана

Fig. 1. Block diagram of an information-measuring system with light flux modulation and differential switching mode of the multiscan

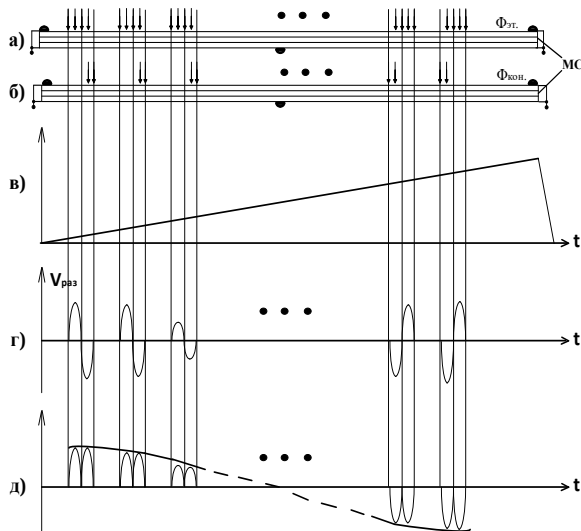


Рис. 2. Выделение огибающей дискретного распределения величин перемещений для различных точек по длине протяженного объекта

Fig. 2. Allocation of the envelope of a discrete distribution of displacement values for various points along the length of an extended object

Выражение для разностного видеосигнала $V_{\text{раз}}$ от модулированных на разной частоте модуляции $f_{\text{кон}}$ и $f_{\text{эт}}$ контролируемого $\Phi_{\text{кон}}$ и эталонного $\Phi_{\text{эт}}$ световых потоков можно получить из анализа эквивалентной схемы для элементарной ячейки МС (рис. 3).

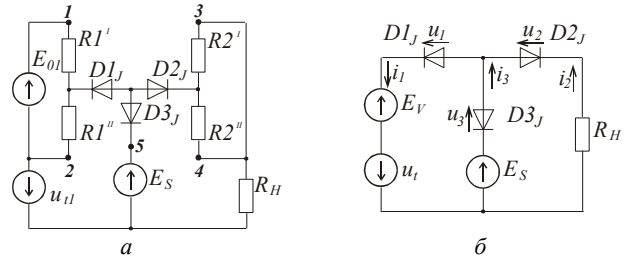


Рис. 3. Эквивалентные схемы j-й элементарной ячейки мультискана при дифференциальном варианте его включения: а – полная; б – упрощенная

Fig. 3. Equivalent schemes of the jth unit cell of the multiscan with a differential version of switch: а – complete; б – simplified

Токи через фотодиоды и напряжения на элементах элементарной ячейки описываются уравнениями (1), (2):

$$\begin{aligned} i_1 - i_s \cdot (e^{\lambda u_1} - 1) + i_{f1} &= 0; \\ i_2 - i_s \cdot (e^{-\lambda u_2} - 1) - i_{f2} &= 0; \\ i_3 - i_s \cdot (e^{-\lambda u_3} - 1) - i_{f3} &= 0; \\ -i_1 + i_2 + i_3 &= 0, \\ -E_v - u_1 - u_3 + E_s + u_t &= 0; \\ -E_s - u_2 + u_3 &= 0; \\ -E_v - u_1 - u_2 + u_t &= 0, \end{aligned}$$

где $E_v = E_0 \cdot Rl^l / (Rl^l + Rl^l) = E_0 \cdot x/l$ – напряжение на коммутационном диоде; $u_t = E_0 \cdot (t/T)$ – пилообразное напряжение развертки; E_0 – напряжение на резистивном делителе; L, T – длина мультискана и длительность пилообразного напряжения; x – координата j-й ячейки от начала линейки; E_s – напряжение смещения фотодиодов $D3_j$; i_1, i_2 и i_3 – токи через коммутационные диоды и фотодиод; i_{f1}, i_{f2}, i_{f3} и i_{s1}, i_{s2}, i_{s3} – фототоки и темновые токи через них; u_1, u_2 и u_3 – напряжения на них; $\lambda = u_0^{-1}$, $u_0 = 0,025 \text{ В}$ – «температурный потенциал»; R_n – сопротивление нагрузки. Поскольку в качестве нагрузки обычно используется малое входное сопротивление операционного усилителя преобразователя ток-напряжение, принято $R_n = 0$.

При работе с амплитудно-модулированными оптическими сигналами выходной ток элементарных фотодиодных ячеек мультискана описывается формулой (3):

$$\begin{aligned} i_f^{\text{кон}}(t) &= k_{ft} \cdot i_s [1 + k_m \sin(2\pi f_m^{\text{кон}} \cdot t)]; \\ i_f^{\text{эт}}(t) &= k_{ft} \cdot i_s [1 + k_m \sin(2\pi f_m^{\text{эт}} \cdot t)], \end{aligned} \quad (3)$$

где k_{ft} – кратность фототока относительно темнового тока i_s ; k_m – коэффициент модуляции светового потока; $f_m^{\text{кон}}, f_m^{\text{эт}}$ – соответственно частота модуляции контролируемого и эталонного световых потоков.

Выходной интегральный ток, протекающий через выходную шину фотодиодов и сопротивление нагрузки R_n при освещении мультискана контролируемой и эталонной световой зоной с граничными координатами x_1, x_2 , определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} I_n^{\text{кон}}(t) &= b \int_0^l i_{\text{нс}}(x, t) dx + b \int_{x_1}^{x_2} i_{\text{нф}}(x, t) dx; \\ I_n^{\text{эт}}(t) &= b \int_0^l i_{\text{нс}}(x, t) dx + b \int_{x_3}^{x_4} i_{\text{нф}}(x, t) dx, \end{aligned} \quad (4)$$

где b, l – соответственно ширина и длина мультискана.

Разностный видеосигнал $V_{\text{раз}}$ с мультискана образуется при решении уравнений (1)–(4) и дифференцировании разностного интегрального тока $I_{\text{раз}} = I_n^{\text{кон}}(t) - I_n^{\text{эт}}(t)$:

$$V_{\text{раз}}(t) = L \frac{dI_{\text{раз}}(t)}{dt} = L \frac{d}{dt} [I_{\text{н}}^{\text{кон}}(t) - I_{\text{н}}^{\text{эт}}(t)] = \frac{4Lb_l}{T} \cdot j_s \left[\frac{1}{\exp \alpha (E_3 - E_k) + 1} \right]_0^L + \frac{2Lb_l}{T} \cdot (j_{6k}^f + j_{63}^f) \left[\frac{1}{\exp \alpha (E_3 - E_k) + 1} \right]_{x_1}^{x_2} - \left[\frac{1}{\exp \alpha (E_3 - E_k) + 1} \right]_{x_3}^{x_4}, \quad (5)$$

где $E_3 = E_0 \cdot x/L$ – напряжение на делительной шине МС; $E_k = E_0 \cdot t/T$ – выходное напряжение ГПН; $\alpha = \frac{q}{kT}$; q – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; T – температура по Кельвину.

Разностный видеосигнал $V_{\text{раз}}$ при дифференциальном амплитудном варианте включения мультискана равен разности видеосигналов от неподвижного эталонного и перемещаемого контролируемого световых потоков. Он представляет собой двуполярный сигнал, амплитуда которого пропорциональна расстоянию между соответствующими световыми зонами (x_1, x_2) и (x_3, x_4) и описывается выражением (5).

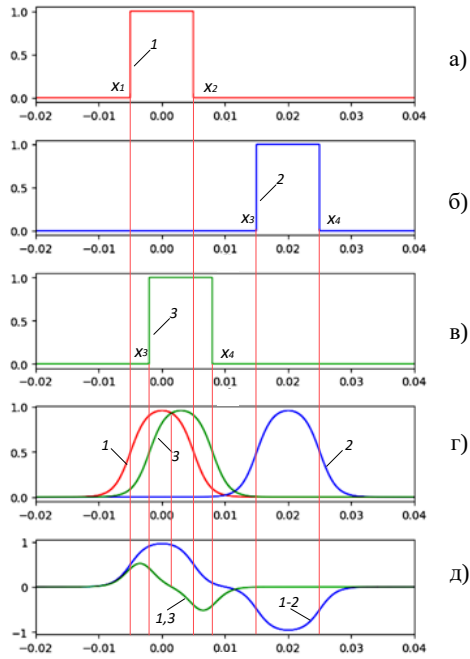


Рис. 4. Формирование разностного сигнала $V_{\text{раз}}$ при разных перемещениях $\Phi_{\text{кон}}$ относительно $\Phi_{\text{эт}}$: а – профиль 1 эталонной световой зоны; б – профиль 2 контролируемой световой зоны, расположенной на расстоянии ($x_1^1 - x_1^{\text{кон}} \geq 0,01l$) от эталонной; в – профиль 3 контролируемой световой зоны, расположенной на расстоянии ($x_1^1 - x_1^{\text{кон}} \leq 0,01l$) эталонной; г – видеоимпульсы размытых световых зон с учетом влияния импульсной характеристики мультискана; д – сигналы разностей эталонного видеоимпульса с видеоимпульсами со смещениями)

Fig. 4. The formation of the difference signal $V_{\text{раз}}$ at the time with different movements of the $\Phi_{\text{кон}}$ relative to the $\Phi_{\text{эт}}$ (where Fig.4a is the profile of the reference light zone; 4б is the profile of the controlled light zone located at a distance ($x_1^1 - x_1^{\text{кон}} \geq 0,01l$) from the reference; 4в – the profile of the controlled light zone located at a distance ($x_1^1 - x_1^{\text{кон}} \leq 0,01l$) of the reference; 4г – video pulses of blurred light zones, taking into account the influence of the pulse characteristic of the multiscan; 4д signals of the differences of the reference video pulse with offset video pulses)

На рис. 4 показаны результаты экспериментов по локализации неподвижного эталонного $\Phi_{\text{эт}}$ и перемещаемого $\Phi_{\text{кон}}$ потоков в зависимости от расстояния $x_1 - x_3$ между

соответствующими эталонной (x_1, x_2) и (x_3, x_4) контролируемой световыми зонами. Для этого в центре МС поочередно формировались неподвижная эталонная и перемещаемая контролируемая световые зоны. Длина МС была принята за 1, а измерения координат световых зон проводились в относительных единицах его длины. При рабочих перемещениях $\Phi_{\text{кон}}$ в разные стороны от $\Phi_{\text{эт}}$ на величину, большую ширины световой зоны (0,01l), видеосигнал мультискана оцифровывался и обрабатывался цифровым способом на МП (рис. 1).

Для построения огибающей (рис. 2, д) дискретного распределения величин перемещений $\Phi_{\text{кон}}$ (для ее различных точек по длине исследуемого протяженного объекта) необходимо определять по формуле (5) амплитуду разностного сигнала $V_{\text{раз}}$ для каждой дискретной точки распределения при разных перемещениях $\Phi_{\text{кон}}$ относительно $\Phi_{\text{эт}}$ (рис. 4).

Применение пространственно-структурной модели видеосигнала ИИС для повышения точности контроля объектов [13-15]

В данной работе для определения характеристик разностного сигнала $V_{\text{раз}}$ предложено использовать пространственно-структурную модель (ПСМ). В этом случае формирование сигнала $V_{\text{раз}}$ описывается импульсной характеристикой $h(\hat{t} - \hat{x})$, воздействием $f(\hat{x})$ является профиль световой зоны, а реакцией $V(\hat{x})$ – видеосигнал ИИС с дифференциальным амплитудным вариантом включения:

$$V_{\text{раз}}(\hat{t}) = \int_0^\infty f(\hat{x}) \cdot h(\hat{t} - \hat{x}) dx, \quad (6)$$

где $\hat{x} = \frac{x_0}{l}$ – нормированная координата точки опроса x_0 ; $\hat{t} = \frac{t_0}{l}$ – нормированное время опроса t_0 . Импульсной характеристикой, задающей искажения, является функция $h(\hat{t} - \hat{x})$, представляющая собой видеосигнал от одной элементарной фотодиодной ячейки мультискана.

ПСМ дает возможность оценить ширину сигнала воздействия прямоугольной формы, локализовать его в пространстве, а также определить амплитуду по размытой реакции тракта передачи сигнала. Функциональным операциям над сигналами соответствуют арифметические операции над параметрами их ПСМ. В [14, 15] определяются пять параметров ПСМ видеосигнала: масса (M), центр тяжести (C), диссипация (D), экстенция (E), и яркость (Y). Параметры вычисляются с использованием одномерных моментов W_0, W_1, W_2 по выражениям (7)–(11):

$$M = W_0; \quad (7)$$

$$C = W_1/M = W_1/W_0; \quad (8)$$

$$D = W_2/M - C^2 = W_2/W_0 - (W_1/W_0)^2 \quad (9)$$

$$E = 2\sqrt{3D} = 2\sqrt{3(W_2/W_0 - (W_1/W_0)^2)}; \quad (10)$$

$$Y = \frac{M}{E} = \frac{W_0}{2\sqrt{3(W_2/W_0 - (W_1/W_0)^2)}}. \quad (11)$$

При этом экстенция E_f и яркость Y_f световой зоны соответствуют ширине и амплитуде ее прямоугольного профиля.

Из всех параметров ПСМ наибольший интерес представляет диссипация, что обусловлено ее свойством учитывать величину размытия видеосигнала при его прохождении через тракт приема и передачи ИИС с импульсной характеристикой $h(\hat{t} - \hat{x})$. В этом случае диссипация выходного сигнала $v(\hat{t})$ равна:

$$D_v[v(\hat{t})] = D_f[f(\hat{x})] + D_h[h(\hat{t} - \hat{x})]. \quad (12)$$

Операция вычитания (12) диссипации импульсной характеристики D_h из диссипации видеосигнала D_v позволяет учитывать величину размытия $V_{\text{раз}}$ системой его приема при оценке ширины световой зоны в соответствии со свойством аддитивного накопления диссипации.

Для полного восстановления прямоугольного профиля контролируемой и эталонной световых зон с использова-

нием ПСМ [15] в разработанной ИИС (рис. 1) выделяются в ПТН1, ПТН2 и оцифровываются в АЦП два видеосигнала: $V^{\text{кон}}$ от контролируемого и $V^{\text{эт}}$ от эталонного световых потоков, которые регистрируются в МП. Диссипацию D_f для этих сигналов можно определить по значениям их трех моментов W_0 (массы), W_1 (математическое ожидание), W_2 (средний квадрат случайной величины x):

$$W_i[f(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} x^i \cdot f(x) dx, \quad (13)$$

где $f(x) = V(x) = \left[e^{\frac{E_3 - E_k}{U_0}} + 1 \right]^{-1}$ для нулевого ($i=0$), первого ($i=1$) и второго ($i=2$) порядков. (14)

Результаты и их обсуждение

По размытым видеосигналам на рис.4, z были вычислены параметры согласно [14] ПСМ (центроид – C , экстенс – E и яркость – Y). Центроид соответствует координате x центра тяжести размытого видеоимпульса и световой зоны (они совпадают), экстенс – численно равен значению ширины световой зоны, яркость – характеризует амплитуду видеоимпульса $C3$ и пропорциональна освещенности $C3$.

По найденным величинам были восстановлены формы световых зон (эталонной и двух контролируемых) (рис. 5). Видно, что рис. 4, $a-v$ и 5, $a-v$ хорошо соответствуют друг другу.

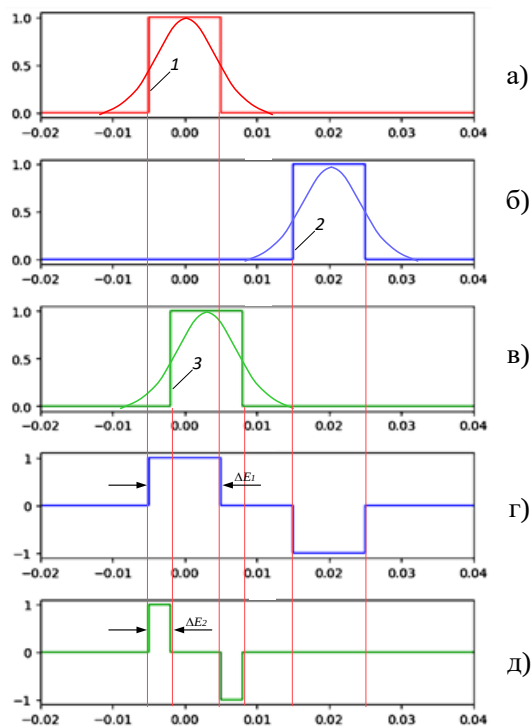


Рис. 5. Сигналы эталонного видеоимпульса и видеоимпульсов со смещениями и их разностей: $a-v$ – восстановленные профили $C3$; $z-d$ – разностные сигналы восстановленных профилей $C3$

Fig. 5. Signals of the reference video pulse and offset video pulses and their differences ($a-v$ are the restored profiles of the light zones; $g-d$ are the difference signals of the restored profiles of the light zones)

Далее смещения $\Delta E_1 = (E_1^{\text{кон}} - E_1^{\text{эт}})$ и $\Delta E_2 = (E_2^{\text{кон}} - E_2^{\text{эт}})$ (разностного экстенсита контролируемой и эталонной световых зон) измеряются в МП для определения огибающей световых зон на мультискане МС (рис. 6).

Построим выходные характеристики ИИС (с ПСМ и без нее) и сравним их по линейности. Для этого эталонную

световую зону расположим в начале координат, а контрольную будем перемещать слева направо вдоль поверхности МС. Для каждой координаты смещения контролируемой световой зоны вычисляем разностный видеосигнал, по которому находим площадь его положительной полу волны. Если контролируемая световая зона располагалась левее эталонной световой зоны, то значение площади учитывалось со знаком «минус». Если контрольная световая зона располагалась правее эталонной, то площадь учитывалась со знаком «плюс».

Так был получен график на рис. 6 (выполненный точками).

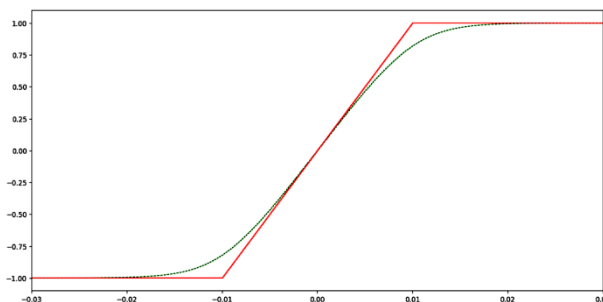


Рис. 6. Выходные характеристики разработанной ИИС с ПСМ (пунктирная линия) и без нее (сплошная линия)

Fig. 6. Output characteristics of the developed information-measuring system with spatial and structural model (dotted line) and without it (solid line)

Далее вычисляем разности профилей восстановленной эталонной $C3$ и восстановленных контролируемых $C3$. Повторяем эксперимент с последовательным смещением восстановленной контролируемой $C3$ и вычислением площади положительной полу волны и строим график (выполненный сплошной линией).

Из сравнения графиков видно, что увеличение линейности выходной характеристики при использовании ПСМ достигается вычитанием прямоугольных $E^{\text{кон}}$ и $E^{\text{эт}}$ экстенсов.

Выводы

Результаты моделирования показали, что при работе телевизионного мультискана в дифференциальном амплитудном варианте включения видеосигнал от эталонной и контролируемой световых зон имеет колоколообразную форму в области узких $C3$ (с шириной вольтовой апертуры $0 \div 4U_0$).

Показано, что дифференциальный вариант включения не позволяет обеспечить высокую точность измерений геометрических параметров объектов из-за ограниченной крутизны переходного участка вольт-амперной характеристики МС.

Рассмотрен процесс фотоэлектрического преобразования информации на основе импульсной характеристики мультискана, которая определена как элементарный видеосигнал от бесконечно узкой $C3$ – от одной дискретной фотодиодной ячейки МС.

Разработана методика восстановления прямоугольного профиля эталонной и контролируемой световых зон в ИИС на основе дифференциального амплитудного варианта включения МС. В этой методике ширина профиля $C3$ соответствует экстенсу, освещенность зоны – яркости, а ее координата – центроиду. При этом вычитание диссипации импульсной характеристики из диссипации ВС позволяет с высокой точностью учитывать величину размытия видеосигнала.

Таким образом, применение ПСМ видеосигнала позволяет расширить область применения ИИС с дифференци-

альным вариантом включения МС для задач высокоточного контроля параметров объектов. Увеличение линейности выходной характеристики (точности контроля) при использовании ПСМ достигается вычитанием прямоугольных эталонного и контролируемых экстенгов.

Библиографические ссылки

1. Оптико-электронные информационно-измерительные системы определения абсолютного положения объекта / Т. И. Мурашкина, Е. А. Бадеева, К. С. Самохина, А. В. Бадеев, А. А. Толова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 1. С. 88–100.

2. Алгоритм определения расстояния между объектами и их линейных размеров в поле зрения активно-импульсной телевизионной измерительной системы / В. В. Капустин, А. С. Захлебн, А. К. Мовчан, М. И. Курячий, С. А. Забуга, И. Д. Мусихин, А. В. Каменский // Изв. вузов. Приборостроение. 2025. Т. 68, № 4. С. 320–327.

3. Диязитдинов Р. Р., Васин Н. Н. Усовершенствование алгоритма обработки видеосигналов системы технического зрения для уменьшения погрешности измерения скорости движения протяженных объектов // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10, № 1. С. 41–48.

4. Закутаев А. А., Хетчиков Д. М., Емельянов А. В. Модель функционирования оптико-электронной системы дистанционного зондирования в условиях воздействия внешних факторов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. № 7. С. 224–226.

5. Диязитдинов Р. Р. Метод итерационного совмещения телевизионных сигналов в измерительных системах технического зрения // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18, № 1. С. 21–29.

6. Опыт создания контрольно-измерительных устройств на основе позиционно-чувствительного датчика «мультискан» / А. Г. Оболенсков, С. М. Латышев, С. С. Митрофанов, Б. Г. Подласкин // Оптический журнал. 2016. Т. 83, № 2. С. 57–61.

7. Повышение разрешающей способности позиционно-чувствительного устройства на основе датчика интегрального типа / Б. Г. Подласкин, Е. Г. Гук, А. Г. Оболенсков, А. А. Сухарев // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2017. Т. 17, № 3. С. 846–849.

8. Согласование параметров подвижной апертуры ПЧД мультискан и оптического сигнала для повышения координатной чувствительности датчика / Б. Г. Подласкин, Е. Г. Гук, А. Г. Оболенсков, А. А. Сухарев // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2018. Т. 18, № 3. С. 791–794.

9. Повышение точности позиционно-чувствительного датчика с широким полем зрения / Б. Г. Подласкин, Е. Г. Гук, А. Г. Оболенсков, А. А. Сухарев // Письма в Журнал технической физики. 2020. Т. 46, № 19. С. 47–49.

10. Пространственно-временные процессы в позиционно-чувствительном детекторе с подвижной вольт-амперной характеристикой / Б. Г. Подласкин, Е. Г. Гук, А. Г. Оболенсков, А. А. Сухарев // Письма в Журнал технической физики. 2022. Т. 48, № 13. С. 11–13.

11. Алыс М. Ю., Шелковников Ю. К., Архипов И. О., Метелева А. А. Устройство для измерения линейных и угловых перемещений, скоростей и ускорений объектов. Патент на изобретение RU 2767589 C1, 17.03.2022. Заявка № 2020137615 от 16.11.2020.

12. Шелковников Ю. К., Кизнерцев С. Р., Метелева А. А. Информационно-измерительные системы с дифференциальным вариантом включения сканистора для изучения динамики быстропотекающих процессов // Сборник материалов XIII Международной научно-технической конфе-

ренции «Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства». 2018. С. 482–488.

13. Arkhipov I. O., Shelkovnikov Y. K., Meteleva A. A. The analysis of the video signal from tvscanistor using spatial-structural parameters // Instrumentation engineering, electronics and telecommunications – 2018 : сборник статей IV Международного форума. 2018. С. 11–16.

14. Архипов И. О., Шелковников Ю. К., Метелева А. А. Применение пространственно-структурной модели видеосигнала с телевизионного сканистора в задачах контроля геометрических параметров малоразмерных объектов // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020) : сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы. В 4 т. / под ред. В. А. Соболева. 2020. С. 638–644.

15. Tlach V., Alies M. Yu., Kuric I., Sága M., Shelkovnikov Yu. K., Arkhipov I. O., Korshunov A. I., Meteleva A. A. Use of spatial-structural parameters of the multiscan video signal for improving accuracy of control over object geometric parameters / Applied Sciences (Switzerland). 2023. Т. 13. № 5. С. 2994.

References

1. Murashkina T.I., Badeeva E.A., Samokhina K.S., Badeev A.V., Tolova A.A. [Optoelectronic information-measuring systems for determining the absolute position of an object]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki*. 2022. No. 1. Pp. 88-100 (in Russ.).

2. Kapustin V.V., Zakhlebin A.S., Movchan A.K., Kuryachiy M.I., Zabuga S.A., Musikhin I.D., Kamenskiy A.V. [Algorithm for determining the distance between objects and their linear dimensions in the field of view of an active-pulse television measuring system]. *Izvestiya vuzov. Priborostroyeniye*. 2025. Vol. 68, No. 4. Pp. 320-327 (in Russ.).

3. Diyazitdinov R.R., Vasin N.N. [Improvement of the video signal processing algorithm of a technical vision system to reduce the error in measuring the speed of extended objects]. *Trudy uchebnykh zavedeniy syazi*. 2024. Vol. 10, No. 1. Pp. 41-48 (in Russ.).

4. Zakutaev A.A., Khetchikov D.M., Emelyanov A.V. [Model of functioning of an optoelectronic remote sensing system under the influence of external factors]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2024. No. 7. Pp. 224-226 (in Russ.).

5. Diyazitdinov R.R. [Method of iterative combination of television signals in technical vision measuring systems]. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*. 2024. Vol. 18, No. 1. Pp. 21-29 (in Russ.).

6. Obolenskov A.G., Latyev S.M., Mitrofanov S.S., Podlaskin B.G. [Experience in creating control and measuring devices based on the position-sensitive sensor "multiscan"]. *Opticheskiy zhurnal*. 2016. Vol. 83, No. 2. Pp. 57-61 (in Russ.).

7. Podlaskin B.G., Guk E.G., Obolenskov A.G., Sukharev A.A. [Improving the resolution of a position-sensitive device based on an integral-type sensor]. *Fundamentalnye problemy radioelektronogo priborostroyeniya*. 2017. Vol. 17, No. 3. Pp. 846-849 (in Russ.).

8. Podlaskin B.G., Guk E.G., Obolenskov A.G., Sukharev A.A. [Coordination of the parameters of the moving aperture of the multiscan PSD and the optical signal to increase the coordinate sensitivity of the sensor]. *Fundamentalnye problemy radioelektronogo priborostroyeniya*. 2018. Vol. 18, No. 3. Pp. 791-794 (in Russ.).

9. Podlaskin B.G., Guk E.G., Obolenskov A.G., Sukharev A.A. [Increasing the accuracy of a position-sensitive sensor with a wide field of view]. *Pisma v Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 2020. Vol. 46, No. 19. Pp. 47-49 (in Russ.).

10. Podlaskin B.G., Guk E.G., Obolenskov A.G., Sukharev A.A. [Spatiotemporal processes in a position-sensitive detector with a moving current-voltage characteristic]. *Pisma v Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 2022. Vol. 48, No. 13. Pp. 11-13 (in Russ.).

11. Alies M.Yu., Shelkovnikov Yu.K., Arkhipov I.O., Meteleva A.A. Device for measuring linear and angular displacements, velocities and accelerations of objects. Patent RU 2767589 C1, 17.03.2022. Application No. 2020137615, 16.11.2020 (in Russ.).

12. Shelkovnikov Yu.K., Kiznertsev S.R., Meteleva A.A. [Information-measuring systems with a differential version of the scanistor connection for studying the dynamics of fast processes]. *Sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Priborostroenie v XXI veke. Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva»*. 2018. Pp. 482-488 (in Russ.).

13. Arkhipov I.O., Shelkovnikov Y.K., Meteleva A.A. *The analysis of the video signal from tvscanistor using spatial-*

structural parameters. In *Instrumentation engineering, electronics and telecommunications - 2018. Sbornikstatej IV Mezhdunarodnogoforuma*. 2018, pp. 11-16.

14. Arkhipov I.O., Shelkovnikov Yu.K., Meteleva A.A. [Application of a spatial-structural model of a video signal from a television scanistor in problems of controlling the geometric parameters of small-sized objects]. *Sbornik trudov po materialam VI Mezhdunarodnoy konferentsii i molodezhnoy shkoly «Informatsionnye tekhnologii i nanotekhnologii (ITNT-2020)»*. V 4 t. / pod red. V.A. Soboleva. 2020. Pp. 638-644 (in Russ.).

15. Tlach V., Alies M.Yu., Kuric I., Sága M., Shelkovnikov Yu.K., Arkhipov I.O., Korshunov A.I., Meteleva A.A. *Use of spatio-structural parameters of the multiscan video signal for improving accuracy of control over object geometric parameters*. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023, vol.13, no.5, p.2994.

* * *

Investigation of the Differential Version of Multiscan Activation Based on Its Spatial and Structural Model

A. A. Meteleva, Research Associate, Udmurt Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

I. O. Arkhipov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

Yu .K. Shelkovnikov, DSc in Engineering, Professor, Udmurt Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

The paper solves the problem of increasing accuracy, speed, and efficiency when monitoring the geometric parameters of objects using information-measuring systems (IMS) based on a television multiscan with a differential switching option. A formula for the output bipolar difference signal when constructing the envelope of the discrete distribution of parameter changes at different points of extended monitored objects is obtained. It is shown that the differential switching option does not ensure high measurement accuracy of the geometric parameters of objects based on a blurred difference signal due to the transition region limited steepness of the current-voltage characteristic of the multiscan photodiode cells. To improve the accuracy of determining the characteristics of the output difference signal, it is proposed to use a spatial-structural model where the width of the light zone profile corresponds to the extent, the zone illumination corresponds to the luminance, and its coordinate corresponds to the centroid. An IMS with modulation of the luminance of the light flux and a discrete amplitude switching option for the multiscan has been developed. The process of photoelectric data conversion is considered based on the multiscan impulse response being defined as an elementary video signal from one of its discrete photodiode cells. It is established that the input action convolution for the rectangular profile of the light zone and the impulse response explains the video signal edge blurring by its voltage aperture. The magnitude of the video signal blurring is taken into account when estimating the parameters of the light zone by subtracting the dissipation of the impulse response from the video signal dissipation. A spatial-structural model of the difference video signal for reconstructing the rectangular shape of the reference and controlled light zones is investigated. It is shown that an increase in the linearity of the output characteristic (control accuracy) of the IMS using the spatial-structural model is achieved by subtracting the rectangular reference and controlled extents.

Keywords: multiscan, differential switch-on option, difference video signal, light zone, spatial-structural model.

Получено: 20.07.26

Образец цитирования

Метелева А. А., Архипов И. О., Шелковников Ю. К. Исследование дифференциального варианта включения мультискана на основе его пространственно-структурной модели // Интеллектуальные системы в производстве. 2026. Т. 24, № 3. С. 77–82. DOI: 10.22213/2410-9304-2026-3-77-82.

For Citation

Meteleva A.A., Arkhipov I.O., Shelkovnikov Yu.K. [Study of the differential connection variant of the multiscan based on its spatial-structural model]. *Intellektualnye sistemy v proizvodstve*. 2026. Vol. 24, no. 3. Pp. 77-82 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2026-3-77-82.