

Л. А. ИВАНОВА, А. В. МЕЛЕШКО, В. В. ПЯТКОВ, В. А. РЕСОВСКИЙ
**МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ВИБРАЦИЙ
 В ТЕНЕВОМ ПРИБОРЕ
 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ДИСКРИМИНАТОРА**

Приводится статистическая модель структуры теневого прибора, позволяющая компенсировать паразитные вибрационные составляющие на основе применения замкнутой системы с отрицательной обратной связью.

Ключевые слова: теневой прибор, функция правдоподобия, оптимальная оценка, опорный сигнал, вибрация, ПЗС-матрица.

Одним из способов компенсации вибраций в теневых приборах является анализ изменения интегральной интенсивности освещенности фотоприемного устройства (ПЗС-матрицы), расположенного в фокальной плоскости или в плоскости пятна рассеяния оптического изображения. Размер рабочей площади приемника в общем случае равен рабочей поверхности фотодиодного массива. При вибрациях, обусловленных физическими явлениями различной природы, происходит отклонение линии визирования от оси источника излучения на величину β , которую и следует скомпенсировать для обеспечения заданных режимов работы теневого прибора. Для построения компенсационной схемы теневого прибора сформируем структуру канала оценивания величины отклонения β .

Статистическая модель канала. В общем случае статистическую модель системы передачи сигнала можно представить в виде, приведенном на рис. 1.

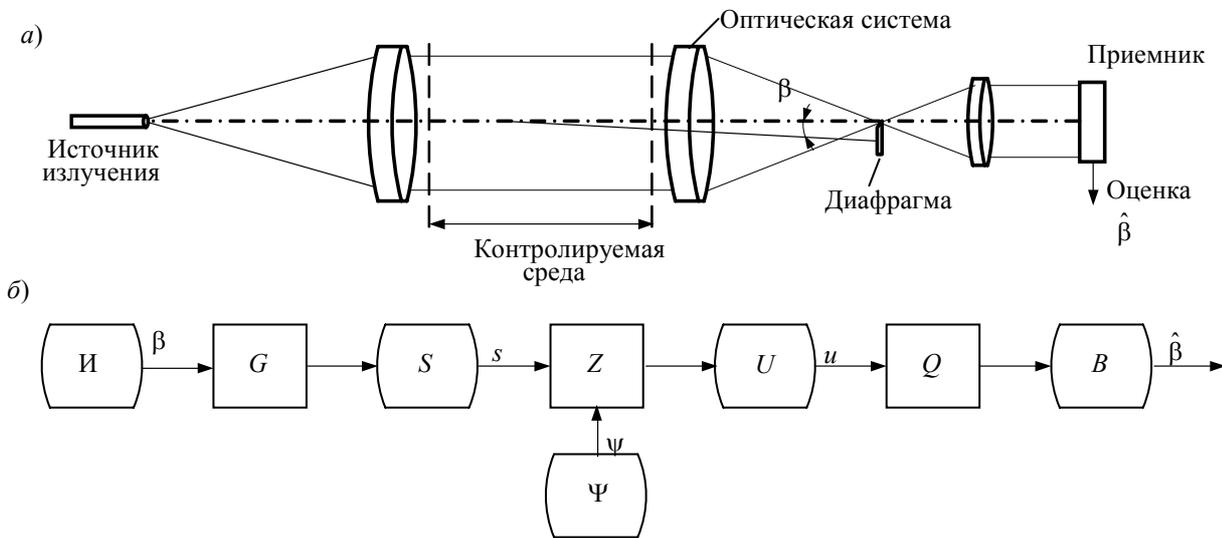


Рис. 1

На основе физической модели (рис. 1, а) передачи и приема сигнала разработана статистическая модель (рис. 1, б), которая включает в себя следующие основные элементы. Сигнал $s = G(\beta)$ источника излучения И зависит от угла β . Оператор G определяет способ формирования сигнала. Оператор S описывает пространство, которое составляет множество всех сигналов s . Далее сигнал проходит через контролируемую среду распространения, в которой на него воздействуют помехи ψ , образующие пространство Ψ . Сигнал, поступающий на вход приемника, можно представить в виде некоторого оператора Z :

$$u = Z(s, \psi). \quad (1)$$

Статистика помех и оператор U , определяющий преобразование оптической системы при предварительном синтезе оцениваемых систем, считаются известными, т.е. известна плотность распределения принимаемого сигнала u при каждом переданном сигнале s . Приемник производит над принимаемым сигналом u операцию Q , такую что на его выходе формируется оценка $\hat{\beta}$ параметра β , принадлежащая множеству B :

$$\hat{\beta} = Q\{Z[G(\beta); \Psi]\}. \quad (2)$$

Синтез структуры канала. Оценка $\hat{\beta}$ является случайной величиной, и качество оценивания может быть задано посредством некоторой статистической характеристики. Общее выражение для показателя качества системы можно записать в следующем виде [1]:

$$\Delta = \int_B \int_{\hat{B}} h(\hat{\beta}; \beta) \omega(\beta) \omega(\hat{\beta} / \beta) d\beta d\hat{\beta}. \quad (3)$$

Функция $h(\hat{\beta}; \beta)$, имеющая значение функции потерь, определяет относительную значимость (или ценность) расхождения оценки $\hat{\beta}$ и заданного угла β . Соответственно $\omega(\hat{\beta} / \beta)$ — условная плотность вероятности распределения $\hat{\beta}$ при фиксированном значении β , $\omega(\beta)$ — априорная плотность вероятности распределения параметра β . Величина Δ характеризуется как средний риск: качество системы тем выше, чем меньше средний риск. Оптимизация системы соответственно сводится к минимизации среднего риска, т.е. к решению уравнения $\Delta = \min$.

В большинстве прикладных задач функцию потерь задают таким образом, чтобы, во-первых, она отражала функциональную задачу оптимизируемой системы, а во-вторых, была монотонной, удобной при проведении над ней математических операций. Выберем получившую наибольшее распространение на практике квадратичную функцию потерь вида

$$h(\hat{\beta}; \beta) = (\hat{\beta} - \beta)^2. \quad (4)$$

Следует заметить, что при вибрационном смещении пятна рассеяния оптического изображения в двух плоскостях на фотоприемном устройстве аналогом скалярной квадратичной функции потерь (см. формулу (3)) будет квадратичная форма:

$$h(\hat{\beta}; \beta) = \sum_{i,j}^2 \alpha_{i,j} (\hat{\beta}_i - \beta_i) (\hat{\beta}_j - \beta_j), \quad (5)$$

где $\|\alpha_{ij}\|$ — некоторая симметричная неособенная матрица.

Выбранная функция потерь (4), а также показатель качества (3) сводят оптимизацию системы к решению задачи оценивания параметра β .

При квадратичной функции потерь (4) или (5) качество системы будет оцениваться параметром [1]

$$\Delta = \int_B \int_{\hat{B}} (\hat{\beta} - \beta)^2 \omega(\beta) \omega(\hat{\beta} / \beta) d\beta d\hat{\beta} = \int_U du \int_B (\hat{\beta} - \beta)^2 \omega(\beta) \omega(u / \beta) d\beta, \quad (6)$$

где $\omega(u / \beta)$ — функция правдоподобия.

Оптимальную оценку $\hat{\beta}_{\text{опт}}$ можно определить из решения системы уравнений

$$\frac{\partial}{\partial \beta_i} \Delta = 0, \quad i = 1, 2. \quad (7)$$

Прямой метод получения оценки $\hat{\beta}_{\text{опт}}$ является формирование на множестве B возможных значений измеряемого параметра β функции правдоподобия $\omega(u / \beta)$ или связанной с параметром β другой оптимальной функции $F(\beta)$, представляющей собой произвольную монотонную функцию от $\omega(u / \beta)$, а также нахождение точки, в которой эта функция достигает

наибольшей величины [2]. В качестве функции $F(\beta)$ может служить интегральная освещенность фотодиодного массива приемника, величина которой зависит от взаимной ориентации источника излучения и диафрагмы (см. рис. 1).

В общем случае решение (7) приводит к построению многоканальной системы оценивания, в каждом канале которой формируется функция $F(\beta)$ при фиксированном значении измеряемого параметра β [1]. В состав многоканальной системы также должно входить решающее устройство, формирующее оценку максимального правдоподобия. Число m независимых каналов приема должно быть таким, чтобы набор дискретных значений $F(\beta_k)$, $k = 1 \dots m$, с достаточной для практики точностью воспроизводил функцию $F(\beta)$ на множестве B . Однако структура такой оценивающей системы получается сложной. К тому же оценки $\hat{\beta}$ будут принимать дискретные значения, что не всегда удобно на практике.

С учетом того, что для корректной работы системы отклонение β необходимо компенсировать, наиболее эффективным средством является использование следящей системы [3].

Положим, что задано опорное направление излучения, определяемое углом β_0 . Так как следящая система должна с высокой точностью обрабатывать вибрационные искажения ($\beta - \hat{\beta}$), будем считать, что оценка $\hat{\beta}$ должна находиться в окрестности точки максимума (β_m) функции правдоподобия $\omega(u/\beta)$. Тогда, полагая функцию $\omega(u/\beta)$ распределенной по нормальному закону и представляя эту функцию в окрестности точки β_m в виде параболической кривой, можем записать разложение функции $\ln \omega(u/\beta)$ в следующем виде:

$$\ln \omega(u/\beta) \approx \ln \omega(u/\beta_0) + (\beta - \beta_0) \frac{\partial}{\partial \beta} \ln \omega(u/\beta_0) + \frac{1}{2} (\beta - \beta_0)^2 \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \ln \omega(u/\beta_0). \quad (8)$$

Составляя уравнение правдоподобия

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \ln \omega(u/\beta_m) = \frac{\partial}{\partial \beta} \ln \omega(u/\beta_0) + (\beta_m - \beta_0) \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \ln \omega(u/\beta_0) = 0$$

и решая его относительно β_m , имеем

$$\beta_m = \beta_0 - \frac{\partial}{\partial \beta} \ln \omega(u/\beta_0) \bigg/ \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \ln \omega(u/\beta_0). \quad (9)$$

Для практической схемной реализации, как упоминалось выше, вместо логарифма функции правдоподобия можно использовать оптимальную функцию освещенности $F(\beta)$ фотодиодного массива приемника. Производя операции, аналогичные (8) и (9), получаем

$$\beta_m = \beta_0 - \frac{\partial}{\partial \beta} \ln F(\beta_0) \bigg/ \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \ln F(\beta_0). \quad (10)$$

Таким образом, при нахождении оценки максимального правдоподобия следует определить две первые производные функции $F(\beta)$ при $\beta = \beta_0$. В этом случае следует использовать следящую систему с отрицательной обратной связью. Вторые слагаемые в формулах (9) и (10) представляют собой выражения для оптимальных дискриминаторов [3].

Функциональная схема теневого прибора с компенсацией вибраций. В соответствии с проведенным синтезом структуры разработана компенсационная схема теневого прибора (рис. 2). На рисунке представлены теневой прибор, состоящий из источника излучения, управляемой светоделительной пластины, оптической системы, коллимирующего зеркала, диафрагмы и фотоприемной матрицы. Информационный сигнал формируется в просмотровом объеме, расположенном между коллимирующим зеркалом и оптической системой. Вибрационное воздействие без нарушения общности можно считать приложенным к коллимирующему зеркалу. Фотоприемная матрица формирует массив, представляющий собой совокупность информационного сигнала и сигнала, обусловленного вибрационным воздействием. В соответствии с вы-

ражением (10) в электронном блоке определяется управляющий сигнал, под воздействием которого осуществляется поворот светоделительной пластины. Результатом управления является компенсация вибрационных влияний на оптический блок теневого прибора.

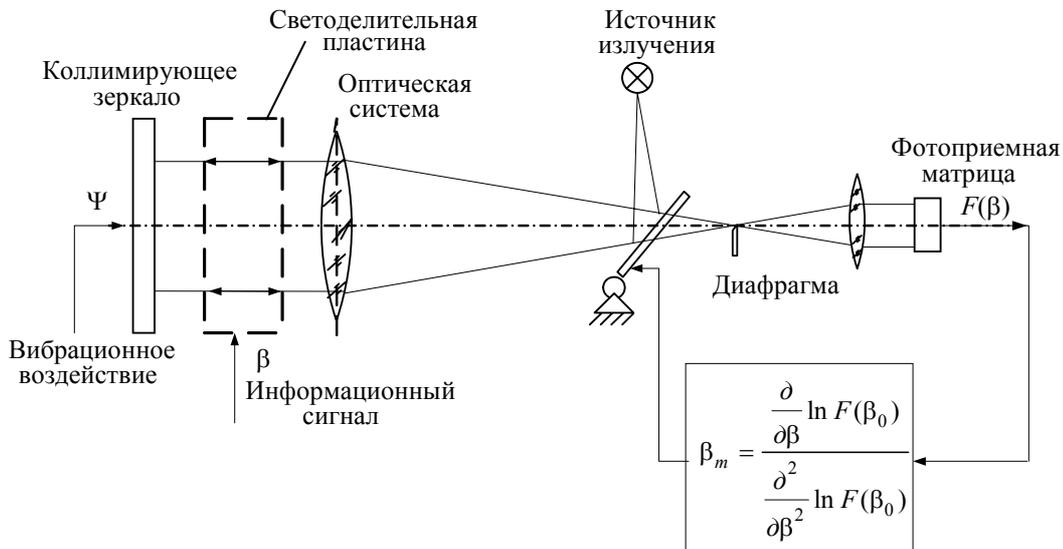


Рис. 2

Выводы. Таким образом, произведен синтез алгоритма получения оптимальной оценки отклонения параллельного пучка лучей в теновом приборе, обусловленного вибрационным воздействием на элементы конструкции прибора.

Структура теневого прибора, построенная в соответствии с синтезированным алгоритмом, предполагает наличие опорного сигнала и разностного сигнала с выхода дискриминатора. В качестве опорного сигнала следует использовать заданную интегральную освещенность на матричном фотоприемнике, а компенсационный канал следует строить на основе замкнутой следящей системы с отрицательной обратной связью.

Работа выполнена в рамках целевой программы „Мехатроника и создание микросистемной техники“, мероприятие 1.2.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фалькович С. Е. Оценка параметров сигнала. М.: Сов. радио, 1970. 336 с.
2. Бачевский С. В., Иванова Л. А., Пятков В. В., Ресовский В. А. Влияние вибрационных помех на работу теневого прибора и возможные методы их снижения // Материалы междунар. науч.-техн. конф. „Системы и процессы управления и обработки информации“, 22—27 мая 2010 г. СПб: СЗТУ, 2010. Т. 2. С. 499—505.
3. Мелешко А. В., Пятков В. В. Методика анализа динамических ошибок в комбинированных телевизионных следящих системах // Вопросы радиоэлектроники. Техника телевидения. 2010. Вып. 1. С. 84—89.

Сведения об авторах

- Любовь Александровна Иванова** — НИИ телевидения, Санкт-Петербург; ведущий инженер;
E-mail: vlaluba@yandex.ru
- Алла Вячеславовна Мелешко** — канд. техн. наук; ВНИИ радиоаппаратуры, Санкт-Петербург;
E-mail: allaluna@list.ru
- Вячеслав Викторович Пятков** — д-р техн. наук, профессор; НИИ телевидения, Санкт-Петербург;
E-mail: pyatkov1955@mail.ru
- Владимир Алексеевич Ресовский** — канд. техн. наук, доцент; НИИ телевидения, Санкт-Петербург;
E-mail: vlares@yandex.ru

Рекомендована кафедрой радиотехники Института интеллектуальных электронных систем СЗТУ

Поступила в редакцию 23.08.11 г.