

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 519.222 : 527.63

В. К. БРАНДИН
(Москва)

**АНАЛИЗ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
В КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
НАВИГАЦИИ, НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ**

В [1, 2] приведены результаты анализа влияния яркостного шума на ошибки совмещения изображений. Существующие теоретические и экспериментальные результаты, полученные при введенных ограничениях, не позволяют производить сравнение критериальных функций, реализуемых в устройствах совмещения изображений корреляционно-экстремальных систем навигации при ограничении количества градаций яркости изображений.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальной оценки критериальных функций на помехоустойчивость, анализ зависимости помехоустойчивости от количества градаций яркости и элементов разрешения в изображениях при наличии яркостного шума на входе устройства формирования текущего изображения местности.

Рассмотрим корреляционно-экстремальную систему навигации, в которой производится совмещение эталонного дискретного изображения $F_c(j, k)$ размером $M \times N$ элементов с текущим $F_{c+m}(j, k)$, отличающимся от эталонного, в пределах окна наблюдения размером $J \times K$, наличием яркостного шума $N(j, k)$:

$$F_{c+m}(j, k) = F_c(j, k) + N(j, k), \quad j = \overline{1, J}; \quad k = \overline{1, K}. \quad (*)$$

Изображения могут иметь различное количество градаций яркости $p + 1$. Например, при бинарном представлении ($p = 1$) каждый элемент изображения принимает значение, равное либо нулю, либо единице. На рис. 1 представлена реализация бинарного эталонного изображения, темным элементам соответствует нулевой уровень яркости. Изображение формируется датчиком случайных чисел, и появление каждого из уровней градаций яркости в изображении равновероятно. Яркостный шум $N(j, k)$ подчиняется равномерному закону распределения в пределах от 0 до pa градаций яркости. Формирование текущего изображения в пределах окна наблюдения происходит посредством прохождения аддитивной смеси через ограничитель с верхним порогом, равным p .

Результатом совмещения изображений является некоторая вычисленная критериальная функция, по экстремуму которой определяется местоположение текущего изображения на эталонном. На помехоустойчивость исследовались следующие критериальные функции [3].

Парные критериальные функции:

$$\begin{aligned} K_1(x, y) &= \frac{a}{a + b + c + e}, & K_2(x, y) &= \frac{a}{a + b + c}, \\ K_3(x, y) &= \frac{2a}{2a + b + c}, & K_4(x, y) &= \frac{a}{a + 2(b + c)}, \\ K_5(x, y) &= \frac{a}{b + c}, & K_6(x, y) &= \frac{a}{d_c + d_{c+m} - a}, \\ K_7(x, y) &= \frac{a + e}{a + e + 2(b + c)}, & K_8(x, y) &= \frac{a + e}{a + b + c + e}, \\ K_9(x, y) &= \frac{ae - bc}{ae + bc}, & K_{10}(x, y) &= \frac{a + e - b - c}{a + b + c + e}, \end{aligned}$$

где для бинарных изображений a равно количеству ситуаций для всех j, k в окне наблюдения, когда при сдвиге на x, y текущего изображения относительно эталонного $F_c(j, k) = F_{c+m}(j-x, k-y) = 1$; b — количеству ситуаций: $F_c(j, k) = 0, F_{c+m}(j-x, k-y) = 1$; c — количеству ситуаций: $F_c(j, k) = 1, F_{c+m}(j-x, k-y) = 0$; e — количеству ситуаций: $F_c(j, k) = F_{c+m}(j-x, k-y) = 0$.

Для многоуровневого изображения: a равно количеству ситуаций: $F_c(j, k) = F_{c+m}(j-x, k-y)$ и $F_c(j, k) \neq 0, F_{c+m}(j-x, k-y) = 0$; b — количеству ситуаций: $F_c(j, k) > F_{c+m}(j-x, k-y)$; c — количеству ситуаций: $F_c(j, k) < F_{c+m}(j-x, k-y)$; e — количеству ситуаций: $F_c(j, k) = F_{c+m}(j-x, k-y) = 0$; d_c и d_{c+m} — числа элементов в эталонном и текущем изображениях, отличных от нуля.

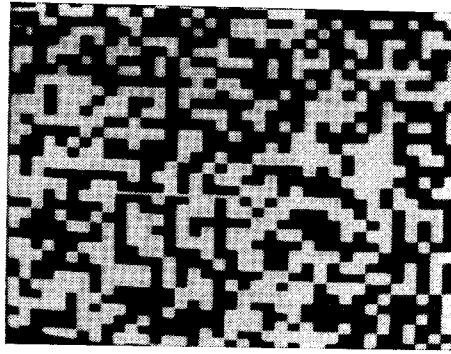


Рис. 1

Корреляционные критериальные функции:

$$K_{11}(x, y) = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K [F_c(j, k) - AM] [F_{c+m}(j-x, k-y) - BM]}{AGBG},$$

где

$$AM = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K F_c(j, k) \frac{1}{JK};$$

$$BM = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K F_{c+m}(j, k) \frac{1}{JK};$$

$$AG = \left\{ \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K [F_c(j, k) - AM]^2 \right\}^{1/2} \frac{1}{JK};$$

$$BG = \left\{ \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K [F_{c+m}(j, k) - BM]^2 \right\}^{1/2} \frac{1}{JK};$$

$$K_{12}(x, y) = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K F_c(j, k) F_{c+m}(j-x, k-y).$$

Разностные критериальные функции:

$$K_{13}(x, y) = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K |F_c(j, k) - F_{c+m}(j-x, k-y)|^q, \quad q = 1, 2, \dots$$

Под помехоустойчивостью критериальных функций, используемых в корреляционно-экстремальных системах навигации, понимается способность системы с данной критериальной функцией правильно оценивать местоположение текущего изображения на эталонном с вероятностью сбоя $P_{сб}$ не ниже заданной при воздействии аддитивного яркостного шума $N(j, k)$. Под сбоем понимается любое отклонение экстремума критериальной функции от истинного положения.

Шум, прошедший через ограничитель, количественно оценивался средней энергией, приходящейся на один элемент пространственного разрешения изображения

$$PEQ = \left\{ \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K [F_c(j, k) - F_{c+m}(j, k)]^2 \right\}^{1/2} \frac{1}{JK},$$

п отношению сигнал/шум в текущем изображении или текущей карте местности — коэффициентом шума $K_{ш} = AM/PEQ$.

Помехоустойчивость оценивалась путем моделирования процесса совмещения изображений на ЭВМ при различных параметрах яркостного шума и изображений. Оценки отклонений экстремума критериальных функций от истинного положения производились по отдельным реализациям, а затем усреднялись по ансамблю. Отдельные реализации процессов совмещения изображений представлены на рис. 2—4. На рис. 2 изображены сечения нормированных парных критериальных функций $K_{ор}(1-10) = K_{1 \dots 10}(x, y)$. Бинарная текущая карта местности (ТКМ) размером



Рис. 2

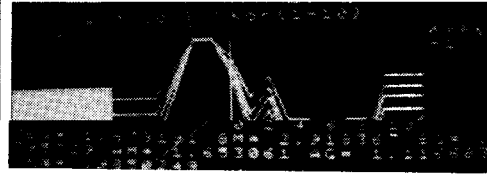


Рис. 3

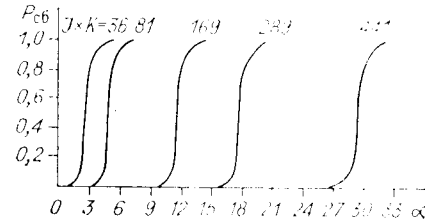
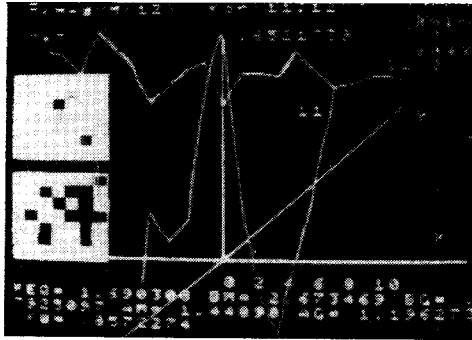


Рис. 5

Рис. 4

$J = K = 7$ элементов пространственного разрешения (на рисунке слева внизу) подвержена воздействию шума с параметром $p\alpha = 1,2$ (шум 1, 2). Результат воздействия шума приведен на рисунке слева над ТКМ. Энергия шума не превышает энергию сигнала в окне наблюдения ($K_{ш} = 2,39187$), однако сбоев в работе системы совмещения изображений не происходит.

На рис. 3 представлены реализации $K_{ор}(1-10)$ при условиях $J = K = 7$, $p = 1$, $p\alpha = 20$. В этих условиях происходит сбой на два элемента разрешения.

На рис. 4 даны сечения критериальной функции $K_{11}(x, y) = K_{ор}(11)$ в плоскости OY и $K_{12}(x, y) = K_{ор}(12)$ в плоскости OX при условиях $J = K = 7$, $p = 3$, $p\alpha = 12$. При данных условиях сбоев в работе системы совмещения изображений нет, однако уровень корреляционной функции $K_{11}(x, y)$ в максимуме уменьшается до значения $0,6521739$.

Усреднение результатов совмещения изображений позволило сделать вывод, состоящий в том, что вероятность сбоя в зависимости от параметра α носит «рейский» характер. Например,

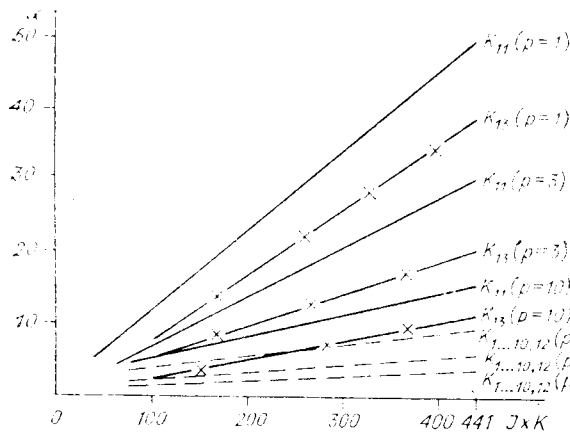


Рис. 6

на рис. 5 показана зависимость вероятности сбоя корреляционно-экстремальной системы навигации с критериальной функцией $K_{11}(x, y)$ при $p = 3$ и различных значениях $J \times K$.

Зависимость помехоустойчивости критериальной функции от интенсивности яркостного шума и параметров ТКМ представлена на рис. 6 при $P_{сб} = 0,8$. Наибольшей помехоустойчивостью к воздействию указанного класса помехи обладает критериальная функция $K_{11}(x, y)$. При увеличении количества элементов разрешения в ТКМ помехоустойчивость всех критериальных функций возрастает линейно.

Наибольшей помехоустойчивостью при прочих равных условиях обладают системы, в которых используются бинарные изображения. Линейный характер зависимости помехоустойчивости от количества элементов разрешения в ТКМ позволяет сделать заключение о том, что вероятность сбоя определяется вполне однозначным и неизменным для каждой критериальной функции количеством элементов разрешения ТКМ, не подвергающихся воздействию шума, равного $(JK)/(\alpha\rho)$. Например, для функции $K_{11}(p=1)$ помехоустойчивость достигается при любом размере ТКМ, если воздействию шума не будут подвергнуты 9 элементов разрешения. При этом необходимо иметь в виду, что последнее утверждение справедливо для указанного способа формирования эталонного изображения, а также то, что элементы ТКМ, имеющие максимальный уровень яркости, не деформируются шумом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров И. В., Южно П. М. Влияние однородного коррелированного яркостного шума на ошибки совмещения изображений // Автотметрия.— 1988.— № 1.
2. Василенко Г. И., Цибульский Л. М. Голографические распознающие устройства.— М.: Радио и связь, 1985.
3. Бакицкий В. К., Бочкарев А. М., Мусьяков М. П. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации.— М.: Радио и связь, 1986.

Поступило в редакцию 17 февраля 1989 г.

УДК 681.7.069.24

Б. В. ЛЬВОВ, О. Л. МАРУСОВ, В. Ю. ПЕТРУНЬКИН, К. Б. САМУСЕВ, В. И. ШОКАЛО
(Ленинград)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ГЕНЕРАЦИИ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В ЛАЗЕРАХ СО СВЕТОДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Лазерные генераторы со светодиодной накачкой представляют собой источники когерентного излучения с длиной волны 1,06 и 1,3 мкм, работающие в импульсно-периодическом и непрерывном режимах [1]. В настоящее время они занимают промежуточное положение между полупроводниковыми лазерами и твердотельными генераторами с ламповой накачкой. Обладая лучшей пространственной и временной когерентностью луча, большей выходной мощностью, чем полупроводниковые источники, они имеют значительно меньшую массу и габариты по сравнению с ламповыми генераторами. Рабочей средой таких лазеров являются диэлектрические кристаллы, активированные ионами неодима. Усиление в активной среде создается путем накачки излучением линейных сборок светодиодов, изготовленных на основе эпитаксиальных гетероструктур $Al_xGa_{1-x}As$ (длина волны излучения накачки $\lambda_{in} = 0,81$ мкм).

Малая инерционность светодиодов и возможность работы в широком диапазоне токов позволяют формировать импульсы возбуждения произвольной формы и с высокой степенью точности регулировать их энергию, что обеспечивает стабильность параметров генерации и возможность управления ими. В связи с этим представляют интерес исследования, направленные на получение режимов моноимпульсной генерации однопикным импульсом возбуждения при высоких скоростях накачки в свободной генерации и модуляции добротности резонатора. Реализация таких режимов с высокой эффективностью становится возможной благодаря применению сред с повышенной концентрацией активатора [2].

Экспериментальные исследования проводились в лазере с длиной резонатора 0,1 м, образованного плоским и сферическим зеркалами с радиусом кривизмы последнего 0,5 м. Коэффициент пропускания выходного зеркала в процессе измерений варьировался в пределах 0,1—8%. В качестве активного элемента генератора использовались кристаллы калий-гадолиниевого вольфрамата (КГВ), вырезанные в направлении оси 010, с концентрацией ионов неодима 3% (по пикте), сечением $1,4 \times 1,4$ и длиной 20 мм, с плоскопараллельными непросветленными торцами и полированными боковыми поверхностями. Накачка активных элементов осуществлялась двумя линейными светодиодными сборками АЛС126А5, на которые подавались прямоугольные импульсы тока, амплитуду и длительность которых можно было плавно изменять от 0,1 до 30 А и от 1500 до 0,5 мкс соответственно.

Для получения мощных коротких импульсов в режиме свободной генерации использовался тот факт, что лазер возбуждается в жестком режиме и генерация в первый момент представляет собой нерегулярные незатухающие пульсации. За счет малой инерционности светодиодов удается выбирать длительность и амплитуду