

УДК 681.192.4

В.О. Хорошко, доктор технических наук, профессор,
профессор Национального авиационного университета, г. Киев,
Ю.Е. Хохлачева, кандидат технических наук, доцент,
доцент Национального авиационного университета, г. Киев,
А.С. Деньчук, студент Национального авиационного университета, г. Киев,
И.В. Финчук, студент Национального авиационного университета, г. Киев

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОСТУПАЮЩИХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В данной статье рассмотрена весьма актуальная и важная в настоящее время тема, а именно разработка методов восстановления видеоизображений с беспилотных летательных аппаратов. Представлена комплексная имитационная модель, созданная для исследования процесса восстановления дискретных изображений и позволяющая с максимально возможной точностью воссоздавать процессы функционирования исследуемой системы адаптивного инверсного восстановления дискретных изображений с внутренним шумом в условиях случайных и неслучайных помех.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, восстановление видеоизображений, методы восстановления видеоизображений, дискретные изображения.

У цій статті розглянуто досить актуальну й важливу наразі тему, а саме розробку методів відновлення відеозображень, що надходять з безпілотних літальних апаратів. Представлено комплексну імітаційну модель, яка створена для дослідження процесу відновлення дискретних зображень і дозволяє якомога точніше відтворювати процеси функціонування досліджуваної системи адаптивного інверсного відновлення дискретних зображень із внутрішнім шумом в умовах випадкових і не випадкових перешкод.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, відновлення відеозображень, методи відновлення відеозображень, дискретні зображення.

In this paper, we consider a very relevant and important topic at the present time, namely the development of methods for restoring video images from unmanned aerial vehicles. A complex simulation of model designed to study the process of reconstruction of discrete images is presented and allows to reconstruct with the greatest possible accuracy the processes of functioning of the system of adaptive inverse reconstruction of discrete images with internal noise under conditions of random and nonrandom interference.

Keywords: unmanned aerial vehicles, video image restoration, video image recovery methods, discrete images.

Введение

Широкое применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в военных конфликтах XXI века поставило целый ряд вопросов относящихся к эффективному

их применению. Первым из которых, является получение, насколько это возможно, идеального изображения контролируемых объектов [1].

При этом следует учитывать широкое применение средств радиоэлектронной борьбы, которые значительно влияют на внешнюю электромагнитную обстановку, а так как к полученной видеоинформации предъявляются жесткие требования, которые заключаются в оперативности, точности и достоверности их получении. Поэтому необходимо учитывать, что противник будет осуществлять интенсивное противодействие путем постановки различных помех (неслучайные воздействия) и то, что на данной территории существуют случайные радиоэлектронные воздействия на видеоинформацию. Они возникают от различного рода систем связи, радиолокационных станций и другой электронной техники. Все эти виды помех (возмущений) необходимо учитывать при обработке и восстановлении получаемых изображений [2; 3].

Поэтому разработка методов восстановления видеоизображений, поступающих с БПЛА представляется весьма актуальной и важной в настоящее время.

Основная часть

Основу любой имитационной модели составляет воспроизведение процессов, происходящих в исследуемой системе путем искусственной генерации случайных величин, формирующих данные процессы [4]. Алгоритм моделирования в этом случае представляет комбинацию детерминированных и стохастических зависимостей. Такая имитационная модель с максимально возможной точностью воссоздает процессы функционирования исследуемой системы адаптивного инверсного восстановления дискретных изображений с внутренним шумом в условиях случайных и неслучайных помех и позволяет судить о правильности разработанных теоретических положений [5, 6].

Для исследования процесса восстановления дискретных изображений необходимо создать комплексную модель, основу которой должны составлять следующие модели [7]:

- модель наблюдаемого изображения, как результат дискретной свертки входного изображения и оценочной матрицы импульсного отклика системы, сформированной методом прямого или обратного моделирования;
- модель инверсного оператора восстановления;
- модель случайных и неслучайных возмущений (помех) оператора восстановления;
- модель внутреннего шума системы.

В общем случае процесс восстановления изображения методом инверсной фильтрации имеет вид:

$$\hat{X}(x, y) = W(x, y) * Y(x, y) \quad (1)$$

$$Y(x, y) = G(x, y) * X(x, y) + \theta(x, y), \quad (2)$$

где $Y(x, y)$ – изображение, которое наблюдается; $X(x, y)$ – восстановление; $X(x, y)$ – идеальное изображение; $\theta(x, y)$ – шум системы; $G(x, y)$ – оператор воздействия возмущения (помехи); $W(x, y)$ – оператор восстановления; $*$ – символ свертки. Представление процесса инверсного восстановления дискретных изображений в

приемлемо для имитационного моделювання на ЕВМ виде предусматривается формування масивов початкових даних и вичислення дискретної свертки матриці оператора впливу шуму (возмущення) или искаження G и оператора відновлення $W = \hat{G}^{-1} = (G + \Delta G)^{-1}$ и на фоні стохастических процесов и в вираженні (2) и ΔG в вираженні (1).

Розробка імітаційних моделей стохастических процесов θ и ΔG , которые представляють собою внутрішній шум θ и випадкові или несучайніе возмущення шуми ΔG системи відновлення дискретних зображень, передполагає звернення к незалежним генераторам випадкових чисел.

Імітаційне моделювання процесу інверсного відновлення дискретного спостережуваного зображення було проведено на фоні N -мерної шумової вибірки. При цьому якість інверсного відновлення дискретного зображення X , описаного моделлю (1), може оцінюватися вираженням:

$$\hat{M}(\hat{X}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{X}(i),$$

где $\hat{X}(i)$ – відновлене дискретне зображення; N – розмірність вибірки; $\hat{M}$ – символ усереднення; i – номер вибірки, $i=1, 2, 3, \dots, N$.

В класической постановке задачі інверсного відновлення дискретних зображень в умовах випадкових и несучайних шумів (возмущеній) с адаптивним вибором регуляризуючої міри, которая обмежена необхідністю визначення текстових входних процесов [8, 9]. Як відомо из [9], необхідніе статическіе закони розподілення випадкових процесов формуються в результаті спотвєтствующого преобразовання випадкової послєдоватєльности $A(i)$, розподілення которой $p\{A(i)\}$ рівномєрно на інтервалє $[0 \div 1]$:

$$p^*\{A(i)\} = \begin{cases} 1; A(i) \in [0, 1]; \\ 0; A(i) \notin [0, 1]. \end{cases}$$

В данном случає функція глотности розподілення випадкових или несучайних шумів (возмущеній) $\Delta G = [\Delta g_{ij}]$ в інверсном операторє відновлення $\hat{G}^{-1} = (G + \Delta G)^{-1}$ має вид:

$$p(\Delta g_{ij}) = \begin{cases} (2a)^{-1} \text{ нпу } |\Delta g_{ij}| \leq a; \\ 0 \text{ нпу } |\Delta g_{ij}| > a. \end{cases}$$

Аппроксимация розподілення випадкових или несучайних шумів (возмущеній) ΔG в інверсном операторє відновлення $\hat{G}^{-1} = (G + \Delta G)^{-1}$ рівномєрним законом розподілення випадкових дискретних величин являється найбільє коррєктним их представлєнням. Тогда поиск рєшення задачі інверсного відновлення задачі зображень происхєдит в умовах априорної неопределєнности. Поєтому для імітаційного моделювання стохастических процесов с заданными

дисперсиями σ_q^2 и σ_g^2 в системе восстановления (1) необходимо сформировать две случайные последовательности $\theta(i)$ и $\Delta G(i)$ с равномерным распределением значений случайных величин в этих последовательностях, генерирование номерных производится независимым генератором. Внутренний шум $\theta(i)$, равномерные на интервале $\{-a \dots a\}$ случайные и неслучайные помехи (возмущения) оператора восстановления $\Delta G(i)$ формируется путем обращения к независимым генераторам случайных чисел с равномерным законом распределения на интервале $[0,1]$ по следующим алгоритмам:

$$\theta(i) = S_1 [2A(i) - 1], \quad (3)$$

$$\Delta G(i) = [\Delta g_{mn}(i)] = S_2 [2B(i) - 1], \quad (4)$$

где $\{A(i)\} \in [0,1]$ и $\{B(i)\} \in [0,1]$ – результаты обращения к независимым генераторам случайных чисел.

Обозначим случайные или неслучайные помехи (возмущения) ΔG и через неперемennую $X(i) \in [0,1]$. В этом случае формирование случайной последовательности $X(i) \in [0,1]$ в заданном диапазоне производится согласно выражения:

$$X[i] = b(2C(i) - 1), \quad (5)$$

здесь $C(i) \in [0,1]$. Случайный процесс, описываемый выражением (5), имеет нулевое математическое ожидание, а его дисперсия равна

$$\sigma_x^2 = \int_0^1 b^2 [2C(i) - 1]^2 p(C) dC = \frac{b^2}{3}. \quad (6)$$

Для случая формирования равно вероятного закона распределения случайной величины на заданном интервале с нулевым математическим ожиданием плотность распределения $p(C)$ преобразуется в $p(X)$.

Отсюда коэффициенты S_1 и S_2 в выражениях (3) и (4) определяют необходимые дисперсии моделируемых процессов и равняются:

$$S_1 = \sqrt{3}\sigma_\theta, \quad (7)$$

$$S_2 = \frac{1}{N} \sqrt{3}\sigma_\theta G. \quad (8)$$

Условия, описанные выражениями (7) и (8), позволяют сформировать равновероятные законы распределения случайных величин θ и ΔG с заданной дисперсией, равной (6), и нулевым математическим ожиданием. С увеличением числа наблюдений (i) случайной величины $X(i)$, сформированный согласно выражению (5) процесс, имеет корреляционную матрицу диагонального вида (рис. 1).

$$M\{\Delta G \Delta G^T\} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta G(i) \Delta G^T(i).$$

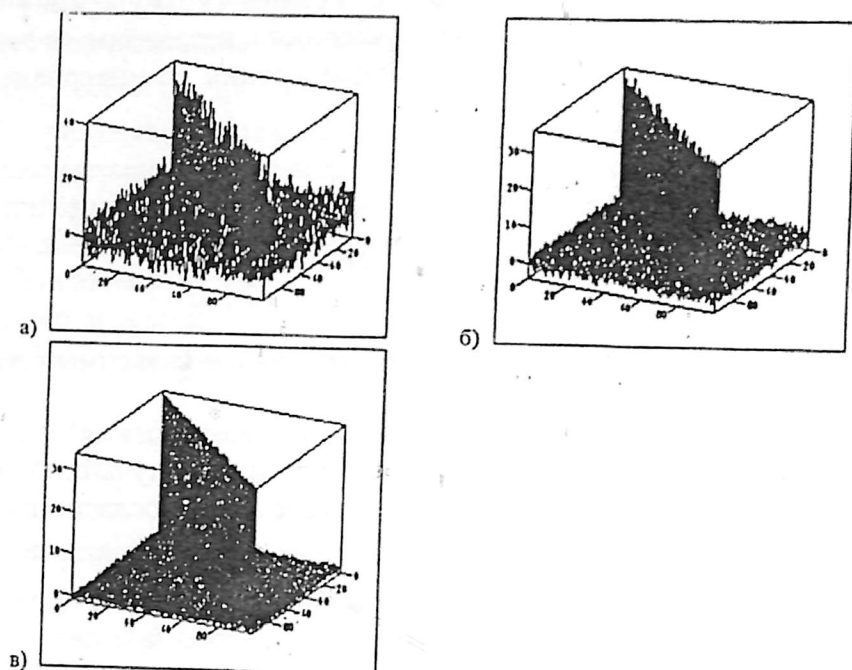


Рис. 1. Корреляционная матрица $M\{\Delta G \Delta G^T\}$ случайных или неслучайных помех (возмущений) $\Delta G: M\{\Delta g_{ij}\}$ а) $i=10$, б) $i=50$, в) $i=100$.

При $S_2=1$ в выражении (4) значения диагональных элементов матрицы $M\{\Delta G \Delta G^T\}$ размерности $N=100$ приближаются к заданной дисперсии случайного процесса $\Delta G: M\{\Delta G \Delta G^T\} = N \sigma_G^2 * 1 = 33$, где $\sigma_G^2 = S_2^2 / 3$.

На рис. 2, 3, 4 приведены корреляционные матрицы $M\{\Delta G \Delta G^T\}$ для $\sigma_G^2 = 10^{-6}$ при рис. 2 $i=10$; рис. 3 $i=50$ и рис. 4 $i=100$.

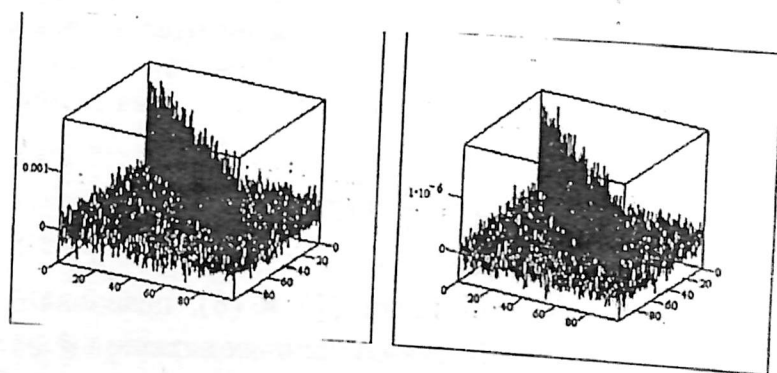


Рис. 2 Корреляционная матрица $M\{\Delta G \Delta G^T\}$ случайных или неслучайных помех (возмущений) ΔG равновероятного закона с заданной дисперсией и числом усреднений $i=10$.

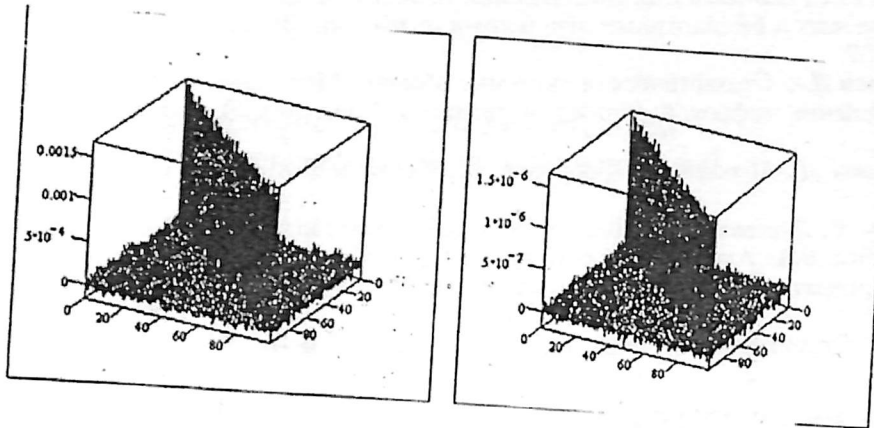


Рис. 3. Корреляционная матрица $M\{\Delta G \Delta G^T\}$ случайных или неслучайных помех (возмущений) ΔG равномерного закона с заданной дисперсией и числом усреднений $i=50$.

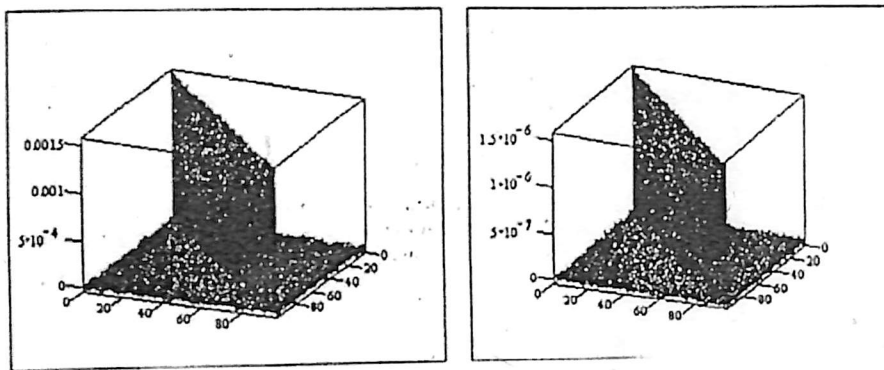


Рис. 4. Корреляционная матрица $M\{\Delta G \Delta G^T\}$ случайных или неслучайных помех (возмущений) ΔG равномерного закона с заданной дисперсией и числом усреднений $i=100$.

Выводы

Разработка методов восстановления видеоизображений, поступающих с БПЛА, является весьма актуальной и важной темой в настоящее время. Данная комплексная модель создана для исследования процесса восстановления дискретных изображений. Основу модели составляет воспроизведение процессов, происходящих в исследуемой системе путем искусственной генерации случайных величин, формирующих данные процессы. Алгоритм моделирования в этом случае представляет комбинацию детерминированных и стохастических зависимостей. Такая имитационная модель с максимально возможной точностью воссоздает процессы функционирования исследуемой системы адаптивного инверсного восстановления дискретных изображений с внутренним шумом в условиях случайных и неслучайных помех и позволяет судить о правильности разработанных теоретических положений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Василин Н.Я.* Беспилотные летательные аппараты. Минск: ООО "Попурри", 2003. 272 с.
2. *Малярчук М.В., Слюсар В.І.* Перспективні інформаційні технології зв'язку з безпілотними літальними апаратами. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2010. №1 (7). С. 47–51.

3. Даник Ю.Г., Позняков П.В. Дослідження та оптимізація процесів передавання інформації в радіолініях зв'язку з безпілотними літальними апаратами. Зб. Наук. Праць ЖВУ НАУ. 2010. Вып. 5. С. 42–52.
4. Адомнан Дж. Стохастические системы. Москва: Мир, 1987. 376 с.
5. Применение цифровой обработки сигналов / под. ред. Э. Оппенгейма. Москва: Мир, 1980. 552 с.
6. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов. Москва: Мир, 1988. 488 с.
7. Прэтт У., Дуксенко Н.А. Цифровая обработка изображений. Москва: Мир, 1982. 310 с.
8. Хорошко В.А. Алгоритм восстановления изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов. Математика та математичні методи в моделюванні. Т. 6. № 1, 2016. С. 5–11.
9. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. Изд. 2-е. Москва: Мир, 2006. 329 с.

Отримано 15.11.2017

Рецензент Єрохін В.Ф., д.т.н., проф.