

Таким образом, рассмотренный алгоритм экстремально-модульного метода (1,2) обладает достаточной простотой и устойчивостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. БЕЛОГЛАЗОВ И.Н., ТАРАСЕНКО В.П.. Корреляционно-экстремальные системы. М., "Советское радио", 1974, с. 392.
2. КОВЗУБОВСКИЙ С.Ф. Корреляционные экстремальные системы. Киев, "Наукова думка", 1973, с. 223.
3. КРАСОВСКИЙ А.А. Оптимальная фильтрация в теории корреляционно-экстремальных систем. Техническая кибернетика, 1976, № 3, с. 155-160.
4. КОЛМОГОРОВ А.Н. Основные понятия теории вероятности. М., "Наука", 1974, с. 119.
5. МУДРОВ В.И., КУШКО В.Л., Методы обработки измерений. М., "Советское радио", 1976, с. 192.
6. РЕЗНИКОВ Б.А. К теории многомерной последовательной фильтрации. В кн.: Анализ и синтез систем автоматического управления. М., "Наука", 1968, с. 159.
7. РАСТРИГИН Л.А. Системы экстремального управления. М., "Наука", 1974, с. 630.
8. УАЙЛД Д.Дж. Методы поиска экстремума. М., "Наука", 1967, с. 267.

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ НА ЦВМ

В.В. Трофимов

Введение. Отличительными особенностями современных мобильных средств является расширение диапазонов изменения параметров движения, увеличения скорости и высоты, и как следствие этого — неуклонное повышение требований к точности решения навигационных задач. Удовлетворение этим требованиям может осуществляться путем широкой автоматизации процессов обработки навигационной информации и разработки новых быстродействующих алгоритмов, отличающихся большой точностью местоопределения и высокой помехоустойчивостью.

В настоящее время широкое распространение стали получать экстремальные системы навигации (ЭСН), совмещающие реализацию случайных функций и служащие для определения координат движения. С другой стороны, моделирование на цифровых вычислительных машинах стало мощным, универсальным и сравнительно недорогим средством исследования. Поэтому целью данной работы является: разработка метода моделирования на ЦВМ и его иллюстрация на конкретных примерах.

Классификация. Структура ЭСН представлена на рис. 1, а ее

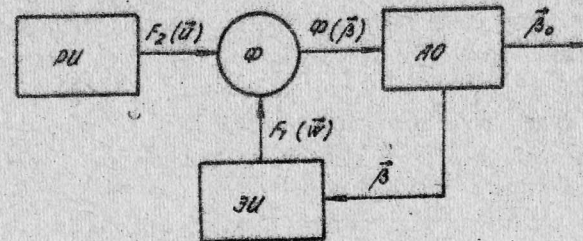


Рис. 1

функционирование подробно описано в [1 - 3]. Здесь использованы следующие обозначения: РИ, ЭИ - реальные и эталонное изображения соответственно, описываемые своими функциями $F_1(\vec{u})$ и $F_2(\vec{w})$; Ф - устройство, формирующее функционал $\Phi(\vec{\beta})$; АО - автоматический оптимизатор, который ищет экстремум этого функционала путем деформации ЭИ с помощью параметров $\vec{\beta}$.

Отличительной особенностью рассматриваемой системы является наличие двух сравниваемых изображений, которые получают независимо друг от друга. Поэтому при моделировании ЭСН необходимо отдельно рассматривать построение РИ и ЭИ. Характеристики исследуемой ЭСН будут в конечном счете зависеть от выбранного ЭИ, являющегося моделью РИ.

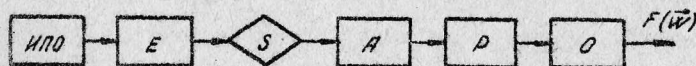


Рис. 2

Рассмотрим блок-схему построения модели ЭИ, приведенную на рис. 2, и проведем классификацию входящих в нее элементов.

ИПО (исходное поле ориентиров) обозначает совокупность объектов, местоположение которых измеряется с помощью датчиков и описывается вектором координат \vec{x} . ИПО можно классифицировать: по происхождению (естественное, искусственное); поведению во времени его характеристик (статическое, динамическое); по способу описания (случайное, детерминированное).

Оператор E описывает работу устройства, которое осуществляет преобразование информации о положении ориентиров в пространственно-временную функцию-поле, способное распространяться в физической среде. Тогда все поля сигналов можно разделить по способу излучения (активное, пассивное) и по типу излучения (электромагнитное, гравитационное, акустическое, радиационное, магнитное и др.). Вид оператора E зависит от способа излучения ИПО поля сигналов. Так, в случае, когда ИПО переизлучает падающую на него энергию, оператор E представляется совокупностью нескольких операторов A', S', B (рис. 3). Оператор A' характеризует формирование поля, облучающего ИПО. Оператор S' описы-

вает влияние среды на распространяющее в ней поле. Оператор B

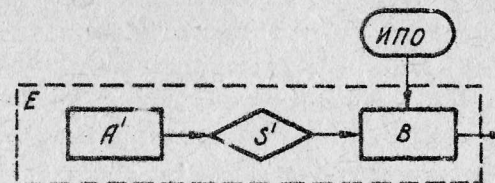


Рис. 3

описывает изменение в структуре облучаемого поля сигналов при его отражении от ИПО.

Оператор S' описывает свойства физической среды, в которой распространяются сигналы, и может быть охарактеризован как оператор, искажающий полезный сигнал. Конкретный вид оператора S' зависит от физической природы среды (воздух, вода, космос и т.п.) и от типа используемого излучения. Этот оператор можно охарактеризовать: а) коэффициентом затухания поля; б) скоростью его распространения; в) видом присутствующих помех.

Оператор A описывает работу датчика (антенны, микрофона и т.п.), осуществляющего преобразование поля в сигнал, который зависит также и от ориентации датчика в пространстве.

Оператор P описывает работу приемника, выделяющего навигационные параметры (НП) из сигналов, поступающих на его вход, и может быть классифицирован как по способу измерения НП во времени (последовательное, параллельное, последовательно-параллельное), так и по типу измеряемого НП (расстояние, скорость изменения расстояния - \dot{r} , разность расстояний - Δr , ее скорость изменения - $\dot{\Delta r}$, пеленг θ и т.д.).

Оператор O предполагает проведение известных преобразований над входными сигналами с целью упрощения или в некотором смысле улучшения последующего сравнения изображений. Сюда можно отнести такие операции, как фильтрация, квантование, оцифровка и т.д.

С помощью рассмотренных выше операторов результирующее изображение запишется в следующем виде:

$$F(\vec{w}) = OPASE(\vec{x}). \quad (I)$$

Если к перечисленным операторам добавить еще один Φ , характеризующий вычисление меры близости двух изображений $F_1(\vec{w})$ и $F_2(\vec{u})$, то нахождение координат объекта в пространстве с помощью ЭСН $(\vec{\beta}_0)$ можно выразить уравнением

$$\Phi(\vec{\beta}_0) = \frac{extz}{\beta} \Phi[F_1(\vec{w}, \vec{\beta}), F_2(\vec{u})], \quad (2)$$

где $\vec{\beta}$ - параметры, характеризующие деформацию одного изображения относительно другого (сдвиг, поворот, изменение масштаба и т.д.).

Описание операторов. Конкретизируем вид операторов, приведенных в (I) для ЭСН, использующих датчики электромагнитных волн. Тогда комплексный сигнал можно записать в виде

$$\dot{c}(t) = a(t) + j\delta(t) = c(t)e^{j\psi(t)}, \quad (3)$$

где $c(t) = \sqrt{a^2(t) + \delta^2(t)}$ - огибающая; $\psi(t) = \arctg\{\delta(t)/a(t)\}$ - полная фаза; $a(t), \delta(t)$ - действительная и мнимая часть сигнала, причем $a(t)$ совпадает с заданным колебанием мнимая определяется преобразованием Гильберта

$$\delta(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{a(\tau)}{t-\tau} d\tau. \quad (4)$$

ИПО описывается вектором координат \vec{x} , который в общем случае может зависеть от времени и меняться по известному или неизвестному закону

$$\vec{x}(t) = X(\vec{x}_0, t) = \vec{x}_0 + \int_0^t \vec{v}(\tau) d\tau, \quad (5)$$

где \vec{x}_0 - вектор координат ориентиров в начальный момент времени; t - текущее время; $\vec{v}(t)$ - вектор скорости.

По целому ряду причин описание величин, в том числе и вектора координат ИПО, удобно задавать в одной системе координат, а

именно, в связанной с объектом. Если систему координат, связанную с ИПО, задать базисом \vec{e} , а подвижную относительно нее систему координат, связанную с объектом, - базисом \vec{m} , то соотношения, показывающие зависимости между этими базисами, можно записать в следующем виде:

$$\vec{m} = A(\vec{e} - \vec{e}_0) - \vec{s}(t), \quad (6)$$

где \vec{e}_0 - вектор начальных расоогласований; A - матрица, осуществляющая центраффинное преобразование; $\vec{s}(t)$ - вектор, характеризующий пройденный объектом путь на момент времени t .

Для случая, когда излучает само ИПО, оператор E будет описывать либо передающую антенну, которая осуществляет преобразование сигнала $\dot{c}(t)$ в пространственно-временную функцию, называемую полем сигнала, либо излучающую способность ИПО. Если считать антенну точечным источником излучения, то оператор E можно представить в виде комплексной функции, учитывающей ее направленные свойства:

$$E \cdot \dot{c}(\vec{r}) = Kc(\vec{r})e^{j\psi_e(\vec{r})}, \quad (7)$$

где $\psi_e(\vec{r})$ - фазовая диаграмма направленности антенны; $c(\vec{r}) = \sqrt{G(\vec{r})/G_{max}}$ - амплитудная нормированная диаграмма направленности; $G(\vec{r})$ - диаграмма направленности антенны по мощности; G_{max} - максимальный выигрыш в мощности, который можно получить в антенне по сравнению с ненаправленным излучателем; \vec{r} - угловые координаты приемника излучения в системе координат, связанной с передающей антенной. Действие оператора E эквивалентно операции умножения на комплексную функцию

$$c(\vec{r}, t) = \dot{c}(\vec{r})c(t) = Kc(\vec{r})e^{j\psi_e(\vec{r})}. \quad (8)$$

Случай, когда ИПО переизлучает падающую на него энергию, соответствует действию трех операторов

$$E_c(\vec{r}) = BSAc(t). \quad (9)$$

Для нашего случая точечных излучателей, пренебрегая иллюстра-

цей, оператор B можно представить в виде

$$B = \mathcal{B}(\vec{\alpha}, \vec{\mu}) = \mathcal{B}(\vec{\alpha}, \vec{\mu}) e^{j\psi_B(\vec{\alpha}, \vec{\mu})}, \quad (10)$$

где $\vec{\alpha}$ - углы падения и отражения фронта волны; $\vec{\mu} = \vec{\mu}(e, \epsilon_0, \mu_0, \epsilon_0, \lambda)$ - вектор физических параметров отражающей среды - размера, диэлектрической и магнитной проницаемости, поверхностной проводимости и длины волны соответственно. Таким образом $\mathcal{B}(\vec{\alpha}, \vec{\mu})$ рассматривается как амплитудная диаграмма направленности вторичного излучения, а $\psi(\vec{\alpha}, \vec{\mu})$ - как фазовая.

В случае отсутствия аддитивных помех, сигнал на выходе канала можно описать следующим выражением [4]:

$$s_c(t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi} z(t)} s(t) \cdot c(t-t_s), \quad (11)$$

где $z(t)$ - расстояние между приемником и передатчиком; $t_s = z/v$ - время распространения поля в канале; $s(t) = s(t) e^{j\psi_s(t)}$ - комплексная функция помеховой модуляции.

Если учитывать лишь свойство направленности антенны, то ее диаграмму направленности можно описать выражением

$$A = \mathcal{A}(\vec{\gamma}) e^{j\psi_A(\vec{\gamma})}, \quad (12)$$

где $\mathcal{A}(\vec{\gamma}) = \sqrt{Q(\vec{\gamma})/Q_{\max}}$ - нормированная амплитудная диаграмма направленности; $\psi_A(\vec{\gamma})$ - фазовая диаграмма направленности.

Оператор P описывает способ обработки принятого сигнала в соответствии с алгоритмами, реализуемыми в рассматриваемой системе. Здесь осуществляется преобразование сигнала с целью выделения НЦ. Системы, использующие один из способов, носят соответствующее название: угломерные (пеленгаторы), угломерно-дальномерные (РДС), доплеровские, дальномерные и др.

Оператор O выбирается исходя из требований к ЭСН, например, повышения точности или надежности работы системы и др. Примером реализации этого оператора служат устройства, осуществляющие операции дифференцирования изображения его "окультурива-

ния" или вычисления преобразования Фурье.

Оператор Φ может иметь различный вид [2,5,6] (модульный, квадратичный и т.д.), но должен удовлетворять следующему условию: глобальный экстремум сформированного им функционала должен соответствовать наилучшему совпадению изображений. С помощью вышеприведенных формул можно описывать математическую модель ЭСН с той или иной степенью точности. Но при этом необходимо помнить, что важным требованием к математической модели является требование ее адекватности изучаемому объекту относительно выбранной системы его характеристик. Под этим обычно понимается: а) правильное качественное описание объекта, б) правильное количественное описание объекта с некоторой разумной степенью точности [7].

Исследование модели. При моделировании ЦВМ используется для проведения рабочих расчетов по исследованию построенной модели ЭСН. Исследование даже самой простой ЭСН растягивается на долгое время из-за необходимости перебора большого числа ее параметров. Такого рода исследования должны проводиться с использованием программ, реализующих математические методы планирования и обработки результатов эксперимента, которые решают задачу, сформированную следующим образом: "сколько и каких опытов следует провести и как обработать их результаты, чтобы ответить на заранее заданный вопрос с заранее заданной точностью при минимальном возможном числе опытов" [8]. В работе рассматривается применение этих методов для исследования моделей экстремальных систем навигации.

Перечислим кратко, что необходимо сделать экспериментатору на этапе исследования модели ЭСН: а) в качестве факторов выбрать интересующие его переменные и ус зновить пределы их изменения; б) задать критерий оптимальности, уравнение, аппроксимирующее поверхность отклика, и построить (выбрать) соответствующий план проведения эксперимента; в) исходя из данных, полученных при реализации плана эксперимента, рассчитать коэффициенты уравнения, аппроксимирующего поверхность отклика; г) проверить их значимость и адекватность выбранного уравнения.

Заключение. Вышеописанный метод применялся для исследования ЭСН, использующих радиолокационные изображения местности и сигналы гиперболических станций. Предлагаемый метод позволил сравнительно быстро и просто получить зависимости точностных характеристик, рассматриваемых ЭСН, от изменения ряда параметров таких, как высота и скорость полета, наличие углов крена и тангажа, изменение диапазона относительных смещений, величины дисперсии ошибок измерения НП и др.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что достоинством рассматриваемого метода является возможность оперативного построения моделей различной сложности, что позволяет использовать методы активного эксперимента и организовать целенаправленное исследование ЭСН.

Л и т е р а т у р а

1. Трофимов В.В. Метод создания комплекса программ для автоматизации исследования и проектирования систем экстремальной радионавигации. - Тезисы доклада, IV Всесоюзное совещание по статистическим методам теории управления. Фрунзе, 1978.
2. Белоглазов И.Н., Тарасенко В.П. Корреляционно-экстремальные системы. М., "Советское радио", 1974.
3. Тарасенко В.П., Трофимов В.В. О методах повышения точности КЭС навигации, использующих радиолокационные изображения местности. - Труды СФТИ, № 66. Томск, 1976.
4. Борисов Ю.П. Математическое моделирование радиосистем. М., "Советское радио", 1976.
5. Полак Э. Численные методы оптимизации. М., "Мир", 1974.
6. Ковалевский В.А. Методы оптимальных решений в распознавании изображений. М., "Наука", 1976.
7. Флекман И.И. и др. Прикладная математика: предмет, логика, особенность подходов. Киев, "Наукова думка", 1976.
8. Кориков А.М. Математические методы планирования эксперимента. Томск, Изд-во ТГУ, 1973.

УДК 53.072:681.3

ИМИТАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ С ЗАДАНЫМИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КЭС

А.Г.Буймов, М.Т.Решетников

1. Введение. Одним из важнейших методов анализа и синтеза корреляционно-экстремальных систем (КЭС) управления подвижными объектами на основе сравнения различных полей ориентиров [1] является метод цифрового моделирования, в котором поля ориентиров генерируются с помощью ЦВМ и представляют собой случайные числовые поля с заданными свойствами. Целью данного сообщения является краткий обзор известных методов имитации случайных полей и анализ их применимости к исследованию КЭС. При составлении обзора авторы ограничились лишь тем минимальным количеством работ, которое необходимо для понимания основных идей рассматриваемых методов.

В монографиях [2, 3] описаны универсальные приемы, которые позволяют в принципе реализовать произвольные желаемые случайные процессы и поля. Наиболее общий из них заключается в том, что заданная система конечномерных распределений преобразуется в систему условных распределений, с помощью которых требуемый процесс или поле строится шаг за шагом по известным правилам преобразования случайных величин. Недостатки универсальных методов связаны с громоздкостью реализации при моделировании случайных векторов или матриц большой размерности и трудностью имитации величин со сложными распределениями. При конкретизации задач исследования появляется возможность разработки специальных методов, пригодных для имитации полей и процессов определенных классов и не предъявляющих высоких требований к параметрам ЦВМ [4].

2. Метод формирующего фильтра. Имитация случайных процессов и полей $X(t)$ (t - скаляр или вектор) методом формирующего фильтра сводится к выработке реализаций некоторого исход-