

УДК 004.932.2

**А. В. Мезенцев¹, А. Н. Буточнов¹,
В. В. Юзефович¹, С. В. Миронюк²**

¹Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

²ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля»
ул. Криворожская, 3, 49008 Днепропетровск, Украина

Модель процесса функционирования корреляционно-экстремальной системы навигации летательных аппаратов с учетом факторов, влияющих на точность и оперативность обработки изображений

Предложена обобщенная модель процесса функционирования корреляционно-экстремальных систем навигации с учетом основных факторов неопределенности условий функционирования этих систем вследствие влияния различного рода мешающих воздействий.

***Ключевые слова:** модель, эталонное изображение, корреляционно-экстремальная система навигации, анализ, обработка изображений, помеха, шум.*

Введение

Функционирование бортовых корреляционно-экстремальных систем навигации (КЭСН) летательных аппаратов (ЛА) неразрывно связано с обработкой двумерных (трехмерных) текущих (ТИ) и эталонных изображений (ЭИ) наземных объектов — ориентиров навигации в условиях наличия различного рода мешающих факторов.

Создание модели функционирования КЭСН ЛА является необходимым условием решения таких задач как синтез ЭИ, отработка и испытание алгоритмов сопоставления ТИ и ЭИ, оценка их устойчивости к искажениям ТИ, обоснование требований к точности юстировки антенны и точности навигации ЛА.

Постановка задачи и анализ литературы

К мешающим факторам, усложняющим работу КЭСН, относятся [1]:

— шумовые эффекты (несовершенство сенсоров приемо-передающей аппаратуры, аппаратуры оцифровки изображений, трудные условия съемки, недостаток освещения и др.);

© А. В. Мезенцев, А. Н. Буточнов, В. В. Юзефович, С. В. Миронюк

- сложный текстурированный фон, на котором происходит обнаружение объектов;
- эффекты загораживания (заслонения) одних объектов другими;
- искажающие эффекты типа различных расфокусировок и дисторсий, ракурсные искажения и др.;
- эффекты резкой смены освещения, блики, тени, особенно в динамически меняющихся сценах;
- разнообразие или изменчивость самих объектов обнаружения, дефекты, временные изменения формы, вегетационные циклы растительности и т.п.;
- эффекты изменения среды между сенсорами и объектами наблюдения – задымления, атмосферные осадки, пыль, искусственные помехи и т.д.;
- несинхронная запись и обработка данных в динамических задачах обнаружения;
- влияние неравномерного нагрева обтекателя.

Нестабильность информативных признаков наземных объектов и окружающих фонов в зависимости от приведенных внешних факторов приводит к частичной либо полной потере информации об объекте навигации. В этом случае решение задачи навигации возможно благодаря выбору диапазона волн, в котором характеристики визируемых наземных объектов являются наиболее устойчивыми, а также (в случае искусственной маскировки объектов навигации) привязка к соседним объектам с устойчивыми характеристиками излучения (отражения). Всепогодность КЭСН также обеспечивается соответствующим выбором диапазона длин волн.

В настоящее время вопросы помехозащищенности и борьбы с внутренними шумами приемников широко освещены в литературе [2, 3]. Также известны методы расчета шумовых характеристик антенного обтекателя [4, 5].

Высокое быстродействие КЭСН обеспечивается использованием помехоустойчивых быстродействующих алгоритмов обработки изображений, так называемых многоканальных (матричных) КЭСН [6, 7].

Создание модели процесса функционирования КЭСН с учетом влияния внешних и внутренних факторов является необходимым условием решения таких задач как синтез ЭИ, разработка алгоритмов сопоставления ТИ и ЭИ и оценивание их устойчивости к искажениям ТИ, обоснование требований к инерциальной навигационной системе (ИНС) (в частности, к точности юстировки антенны, точности определения углов крена, тангажа, рысканья ЛА).

В работе [8] обоснованы принципы построения и алгоритм функционирования высокоточной системы управления, в которой комплексно используется ИНС и матричная радиометрическая КЭСН миллиметрового диапазона (ММД). В работе [9] представлена модель навигации высокоскоростных ЛА по площадным наземным объектам сложной конфигурации матричными радиометрическими КЭСН ММД. Аналогично, в [10] приведена модель КЭСН ММД при обнаружении и идентификации малоразмерных объектов, составляющих групповой объект при их подсветке широкополосным шумовым и узкополосным детерминированным сигналом с одной и с двух позиций.

Таким образом, анализ моделей, приведенных в вышеизложенной литературе, показывает необходимость разработки обобщенной модели процесса функ-

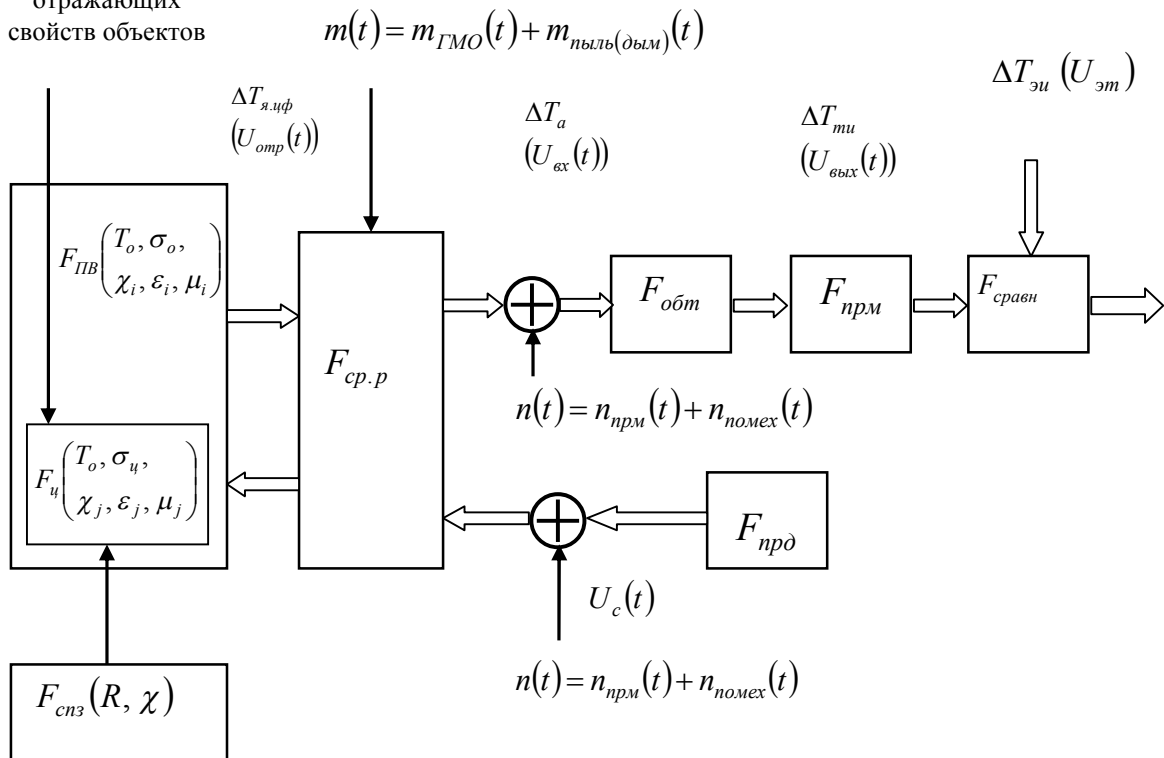
ционирования КЭСН с учетом и возможностью комплексного оценивания влияния большого количества внешних и внутренних факторов, влияющих на работу системы в целом.

Целью работы является разработка модели процесса функционирования КЭСН с учетом влияния внешних и внутренних факторов.

Модель процесса функционирования КЭСН и формирования команд управления

Обобщенная модель процесса функционирования КЭСН может быть представлена в следующем виде.

Уменьшение
отражающих
свойств объектов



Обобщенная модель процесса функционирования КЭСН

В представленной на рисунке модели приняты следующие обозначения: $F_{ПВ}, F_{ц}, F_{ср.р}, F_{обт}, F_{нрм}$ — операторы поверхности визирования, цели, среды пространства, обтекателя, радиоприемного устройства; $F_{снз}$ — оператор средств пассивной защиты цели; $F_{сравн}$ — обобщенный оператор, характеризующий алгоритм процесса сравнения ТИ и ЭИ КЭСН; T_0 — термодинамическая температура цели и поверхности визирования; $\Delta T_{я.цф}$ — радиояркостной или тепловой контраст между целью и фоном; ΔT_a — антенная температура; $\Delta T_{ми}$ — сигнал на вы-

ходе соответствующего датчика информационного поля, характеризующий ТИ; $\Delta T_{\text{эи}}$ — сигнал, характеризующий ЭИ в системе вторичной обработки (СВО); χ_j — излучающие способности цели; $\varepsilon_j, \mu_j, \varepsilon_i, \mu_i$ — диэлектрическая и магнитная проницаемости цели и типовых фонов соответственно; $m(t) = m_{\text{ГМО}}(t) + m_{\text{пыль(дым)}}(t)$ — мультипликативные помехи, обусловленные влиянием гидрометеобразований, а также влиянием пыли (дыма); $n(t) = n_{\text{прм}}(t) + n_{\text{помех}}(t)$ — аддитивные помехи с учетом собственных шумов приемника; $U_{\text{отп}}(t)$ — сигнал, характеризующий отражающие свойства цели; $U_c(t)$ — сигнал передатчика; $U_{\text{вх}}(t)$ — сигнал на входе приемника; $U_{\text{вых}}(t)$ — сигнал на выходе приемника; $U_{\text{эм}}(t)$ — сигнал, характеризующий ЭИ; $R(t, \vec{r})$ — решающая функция (РФ), представляющая собой результат сравнения ЭИ и ТИ, используемых для коррекции траектории ЛА на конечном участке.

Наземный объект (цель) определяется собственной радиояркой температурой T_0 , зависящей от диэлектрической (ε_j) и магнитной (μ_j) проницаемостей, а также эффективной поверхности рассеяния (σ_0) в случае его активной подсветки. Объект имеет собственную излучательную способность χ_j . Таким образом, визируемый наземный объект (цель) может быть представлен оператором $F_{\text{Ц}}[T_0, \sigma_{\text{Ц}}, \chi_j, \xi_j, \mu_j]$. Кроме того, цель может характеризоваться оператором средств пассивной защиты цели $F_{\text{СПЗ}}[R, \chi]$.

Фоновно-целевая обстановка в момент времени t_0 будет характеризоваться набором векторов значений параметров, описывающих, соответственно, информационные характеристики объекта и фона \vec{x}_i , погоднo-климатические (гидрометео) условия \vec{y}_i и помеховую обстановку в районе цели \vec{z}_i с координатами $\vec{r}(r_1, r_2, r_3)$. Неоднородная поверхность фона земной поверхности также характеризуется собственной радиояркой температурой в различных погодных условиях, что влечет за собой изменение диэлектрической (ε_i) и магнитной (μ_i) проницаемостей. Таким образом, фон может быть представлен оператором $F_{\text{ПВ}}[T_0, \sigma_0, \chi_i, \xi_i, \mu_i]$.

Сочетание излучательной способности объекта и фона образует радиояркой контраст «объект-фон» $\Delta T_{\text{я.цф}}$.

Среда распространения представлена оператором $F_{\text{СР.Р.}}[I_{\text{д}}, W_{\text{ОБ}}, D_{\text{МИН}}]$. Она ослабляет контраст и разность ЭПР до значений $\Delta T', \Delta \sigma'$ вследствие влияния дождя с интенсивностью $I_{\text{д}}$, облачности с водностью $W_{\text{ОБ}}$ и тумана, ограничивающего прямую оптическую видимость до дальности $D_{\text{МИН}}$. Кроме того, контраст и яркость цели существенно может ослаблять пыль (дым), т.е. $m(t) = m_{\text{ГМО}}(t) + m_{\text{пыль(дым)}}(t)$.

К полезному сигналу на входе приемника добавляются (аддитивно) шумы различной физической природы: шумы обтекателя антенны $F_{ОБТ}$, преднамеренные помехи $n_{ПОМЕХ}(t)$, шумы приемника $n_{ПРМ}(t)$ (см. рисунок).

В КЭСН системой первичной обработки формируется ТИ объекта, а в системе вторичной обработки осуществляется процесс сравнения ТИ с ЭИ [11, 12].

На качество текущих изображений и, в конечном счете, на качество корреляционно-экстремальной обработки в сильной степени влияют междискретные (межпиксельные) и геометрические искажения ТИ, что выражается в дополнительном снижении полезного контраста и разности ЭПР $\Delta T_{ТИ}$.

ЭИ характеризуется оператором с неискаженным контрастом «объект-фон» и/или неискаженной разностью ЭПР $\Delta T_{ЭИ}$.

В результате корреляционной обработки осуществляется двумерное совмещение текущего и эталонного изображений, вычисляется решающая функция алгоритма совмещения изображений $R(t, \vec{r}) = F_{СРАВН}(F_{ТИ} * F_{ЭИ})$, координаты экстремума РФ и ошибки определения координат объекта, которые поступают в систему управления движением ЛА (см. рисунок).

Решающая функция, формируемая КЭСН с радиолокационным датчиком, будет иметь вид

$$R(t, \vec{r}) = F_c \left\{ U_0; F_{ПРМ} \left\{ n(t); F_{обм}; F_{ср.р} \left\{ m(t); F_{ПВ} \left[\varepsilon_0, \varepsilon_\phi, \delta\varepsilon_0, \delta\varepsilon_\phi, \mu_0, \mu_\phi, \delta\mu_0, \delta\mu_\phi, \alpha, \beta, f(F_{ПРД}) \right] \right\} \right\} \right\},$$

а пассивной (радиометрической, инфракрасной или телевизионной) КЭСН —

$$R(t, \vec{r}) = F_c \left\{ \Delta T_{ЭИ}; \left\{ F_{рм} \left\{ F_{обм}; F_{ср.р} \left[F_{ПВ}(T_o + \delta T, \chi_i + \delta\chi_i) \right]; m(t) \right\}; n(t) \right\} \right\}.$$

Выводы

Представленная обобщенная модель процесса функционирования КЭСН ЛА учитывает основные факторы, определяющие данный процесс. КЭСН ЛА должна быть адаптирована к указанным в статье условиям и факторам. Учет этих факторов должен осуществляться как на аппаратном уровне (выбор типа датчиков, условий визирования объекта), так и на программно-алгоритмическом уровне (выбор оптимальных, помехоустойчивых алгоритмов восстановления и обработки изображений с высоким быстродействием бортового спецвычислителя).

1. Сотников А.М. Проблемы и перспективы развития навигационного обеспечения летательных аппаратов / А.М. Сотников, В.А. Таршин: зб. наук. пр. ХУПС. — 2013. — № 3(36). — С. 57–63.

2. Односельцев В.А. Подавление импульсных помех при радиометрическом приеме / Н.А. Односельцев // Радиоизмерительная аппаратура для решения задач. — Горький: Горьк. гос. ун-т, 1988. — С. 22–29.

3. *Иощенко А.Н.* Помехоустойчивость широкополосных систем связи при различных методах подавления сосредоточенных по спектру помех / А.Н. Иощенко: труд. учебных институтов связи — 1971. — Вып. 55. — С. 19–30.
4. *Калашников В.С.* Влияние шумов антенного обтекателя при его аэродинамическом нагреве на работу бортовой аппаратуры / В. С. Калашников, В. Ф. Михайлов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. — 1976. — Т. 19, № 5. — С. 3–8.
5. *Замятин П.И.* Антенные обтекатели / В.И. Замятин, А.С. Ключников, В.И. Швец. — Минск: БГУ, 1980. — 192 с.
6. *Passive multichannels millimeter-waves imaging system* / V.P. Gorishniak, A.G. Denisov, S.E. Kuzmin [et al.] // The Fifth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, millimeter and Submillimeter Waves. Symposium Proceedings. — Kharkov, Ukraine. — June 21–26. — 2004. — Vol. 1. — P. 202–204.
7. *Применение* принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов (монография) / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков [и др.] — М: Физматлит, 2009. — 352 с.
8. *Антюфеев В.І.* Принципи побудови високоточної системи управління високошвидкісних літальних апаратів / В.І. Антюфеев, В.М. Биков, А.М. Гричанюк / Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. — Х.: ХУПС. — 2006. — № 1 (5). — С. 7–12.
9. *Быков В.Н.* Моделирование процесса навигации высокоскоростных летательных аппаратов по площадным наземным ориентирам сложной формы / В.Н. Быков / Моделирование та інформаційні технології: зб. наук. пр. — Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова. — К.: НАНУ. — 2005. — Вип. 33. — С. 3–11.
10. *Быков В.Н.* Моделирование процесса навигации высокоскоростных летательных аппаратов по малоразмерным наземным объектам / И.П. Быков // Системи обробки інформації: зб наук. пр. — Х.: ХУПС. — 2008. — Вип. 5(72). — С. 44–47.
11. *Оценка* качества эталонных изображений, создаваемых для корреляционно-экстремальных систем навигации / Мезенцев А.В., Буточнов А.Н., Юзефович В.В., Миронюк С.В. // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2014. — Т. 16, № 4. — С. 44–53.
12. *Фрактальный* метод формирования эталонных изображений в системах технического зрения / Мезенцев А.В., Буточнов А.Н., Юзефович В.В., Миронюк С.В. // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2015. — Т. 17, № 1. — С. 28–35.

Поступила в редакцию 14.04.2016