

УДК 621.396.967.2

И.И. Обод, А.Э. Заволодько

*Национальный технический университет «ХПИ», Харьков*

### **СИНТЕЗ КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ТРАСС ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗАПРОСНЫМИ СИСТЕМАМИ НАБЛЮДЕНИЯ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ**

*Приводится синтез квазиоптимального обнаружителя трасс воздушных объектов по данным запросных систем наблюдения единой информационной сети в последовательной постановке вопроса обнаружения в рассматриваемых информационных системах: обнаружитель ответных сигналов, обнаружитель воздушного объекта и собственно обнаружитель траекторий. В результате структура синтезированного квазиоптимального обнаружителя трасс воздушных объектов запросными системами наблюдения более унифицирована в схемотехническом построении.*

*Ключевые слова:* обнаружитель траекторий, воздушный объект, запросные системы наблюдения, информационная система, ответный сигнал.

#### **Введение**

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Создание единого радиолокационного поля, которое предусматривается Государственной научно-технической программой создания государственной интегрированной информационной системы [1], немислимо без реализации единой информационной сети (ЕИС), на базе существующих и перспективных систем наблюдения (СН).

В существующих ИС сопровождение воздушных объектов (ВО), как правило, осуществляется по дан-

ным первичных СН [2, 3], а вторичные СН используются в качестве источников дополнительной информации [4]. В то же время переход на автоматическое зависимое наблюдение предполагает обязательное наличие только вторичных СН. В связи с этим актуальными являются вопросы разработки методов и алгоритмов сопровождения ВО по данным вторичных СН, специфика построения и функционирования которых существенно отличается от первичных СН.

Эта специфика обусловлена:

– реализацией ответчика по принципу открытой системы массового обслуживания с отказами;

- одноканального принципа обслуживания сигналов запроса;
- использование специфических сигналов (интервально-временных кодов) в качестве запросных и ответных сигналов (ОС);
- несинхронного принципа построения сети запросных СН.

Эти особенности реализации запросных СН и наличие преднамеренных и непреднамеренных (внутрисистемных) помех обусловили конечность значения коэффициента готовности ответчиков ( $P_0$ ) запросных СН, что в конечном итоге, должно учитываться при реализации устройств сопровождения ВО по данным запросных СН. В [5] рассмотрен синтез оптимального обнаружителя трасс ВО в единой постановке вопроса обнаружения в информационных системах: обнаружитель ответных импульсов, обнаружитель ответных сигналов, обнаружитель воздушного объекта и собственно обнаружитель траекторий.

Однако последовательность выполняемых процедур обнаружения позволяет реализовать обнаружитель трасс ВО, с промежуточными принятиями решений об обнаружении сигнала, обнаружении ВО и обнаружении трассы ВО.

Синтезируем структуру обнаружителя ВО по данным запросных СН единой информационной сети с промежуточными принятиями решений об обнаружении.

**Цель работы** – синтез квазиоптимального обнаружителя трасс ВО по данным запросных СН, учитывающих последовательность выполнения процедур обнаружения.

### Основной раздел

В работе [5] синтезирован обнаружитель, в котором решение об обнаружении трассы ВО принимается на основе превышения суммы единичных решений об обнаружении импульсов ответных сигналов запросных СН  $x_{ijk}$ , где  $i = \overline{1...n}$ ,  $j = \overline{1...N}$  и  $k = \overline{1...K}$ ,  $n$  – значность интервально-временного кода ОС,  $N$  – число ответных сигналов в пачке принимаемых сигналов,  $K$  – число отметок ВО по которым принимается решение об обнаружении трассы с весами, определяемыми показателями качества обнаруженного импульса, порогового уровня, вычисленного на основе определенного критерия. Наличие единственного порогового устройства принятия решения об обнаружении трассы ВО несколько усложняет реализацию синтезированной структуры.

Вышеизложенная процедура обнаружения трассы ВО состоит из трех процедур обнаружения, каждая из которых идентична по подходу к синтезу. Рассмотрим ее.

После принятия решения об обнаружении на дальнейшую обработку поступает реализация  $x_l = 1$ , если в элементе временного разрешения ( $l = \overline{1, L}$ ),  $L = n(N)(K)$ , соответствующем анализируемому пространственному разрешению, произошло превышение порога; если же не произошло – то  $x_l = 0$ . Для принятия решения о наличии или отсутствии сигнала при совместной обработке подвергается совокупность нулей и единиц  $x_l$ . Очевидно, что  $x_l$  – случайная величина, в общем случае подчиняющаяся распределению Бернулли:

$$P(x_l) = P_l^{x_l} (1 - P_l)^{1 - x_l}, \quad (1)$$

где  $P_l$  – вероятность превышения порога в  $l$ -м канале обработки. В отсутствие сигнала  $P_l = F_l$  – вероятность ложной тревоги, а при воздействии сигнала  $P_l = P_0 D_l$  – вероятность обнаружения. В дальнейшем будем считать, что коэффициент готовности входит в вероятность обнаружения  $D$ .

Задачу обработки сигналов можно рассматривать в различных постановках. Действительно в рассматриваемом обнаружителе возможно управление напряжением порога срабатывания выходного ПУ, а также напряжением порога входного ПУ. Рассмотрим характеристики обнаружителя при управлении величиной порога только на выходном ПУ, т.е. в более узкой постановке вопроса.

Предположим, что на вход устройства совместной обработки принимаемых сигналов поступает совокупность случайных величин  $x_l$ . Совместные распределения вероятностей всех возможных комбинаций  $x_l$  как в отсутствие, так и при наличии сигнала (гипотезы  $H_0$  и  $H_1$ ), т.е.  $P(x_{ij}|H_0)$  и  $P(x_{ij}|H_1)$  произвольны, но известны. Для каждой конкретной совокупности  $x_l$  сформируем отношение правдоподобия

$$\Lambda = P(x_l|H_1) / P(x_l|H_0). \quad (2)$$

Сравнение  $\Lambda$  с порогом, определенным по допустимой вероятности ложной тревоги, обеспечивает оптимальное по критерию Неймана-Пирсона решение о наличии или отсутствии сигнала. Из-за независимости шумов в каналах обработки можно записать

$$P(x_1, \dots, x_L | H_0) = \prod_{l=1}^L P(x_l | H_0) = \prod_{l=1}^L F_l^{x_l} (1 - F_l)^{1 - x_l}. \quad (3)$$

При воздействии сигнала превышение порогов в каналах обработки – независимые события. Тогда можно записать

$$P(x_1, \dots, x_L | H_1) = \prod_{l=1}^L P(x_l | H_1) = \prod_{l=1}^L D_l^{x_l} (1 - D_l)^{1 - x_l}. \quad (4)$$

С учетом (3) и (4) выражение (2) можно запи-

сать как

$$\Lambda = \prod_{l=1}^L D_l^{x_l} (1-D_l)^{1-x_l} / \prod_{l=1}^L F_l^{x_l} (1-F_l)^{1-x_l} \quad (5)$$

Прологарифмировав (5), получаем

$$\ln \Lambda = \sum_{l=1}^L x_l (\ln D_l - \ln F_l) + (1-x_l) \times [\ln(1-D_l) - \ln(1-F_l)] \quad (6)$$

Если обозначить множители при  $x_l$

$$Q_l = \ln D_l - \ln F_l - \ln(1-D_l) + \ln(1-F_l) = \ln(D_l(1-F_l)/(1-D_l)F_l) \quad (7)$$

и отбросить слагаемые, не зависящие от  $x_l$ , получаем оптимальный по критерию Неймана-Пирсона алгоритм обнаружения при объединении предварительных решений всех каналов обработки

$$\ln \Lambda = \sum_{l=1}^L Q_l x_l \stackrel{>}{<} z_0, \quad (8)$$

где  $z_0$  – порог, определяемый вероятностью F.

Следовательно, совместная обработка сигналов сводится к весовому суммированию единиц и нулей  $x_l$ , отражающих принятые в пассивном и активном каналах обработки предварительные решения. Весовые коэффициенты (7) повышают роль того канала обработки, где выше вероятность  $D_l$  и ниже вероятность F.

Поскольку  $x_l$  равны 0 или 1, то левая часть (8) представляет собой сумму  $k < L \leq n < MN$  весовых коэффициентов  $Q_l$ , а значит, может принимать лишь определенные дискретные значения. Значение порога  $z_0$  в этом случае может лежать в пределах

$$0 < z_0 < \sum_{l=1}^L Q_l, \text{ чтобы, с одной стороны, не прини-}$$

малось всегда тривиальное решение об обнаружении, а с другой – тривиальное решение о необнаружении. Если все  $Q_l$  различны и сумма любой группы  $Q_l$  не совпадает с суммой любой другой их группы, то при различных комбинациях значений  $x_l$  для рассматриваемого случая возможны  $2^L - 1$  различных значений  $\ln \Lambda > 0$ . Выбирая порог обнаружения в интервалах между значениями  $Q_l$  и их различных сумм, можно сформировать  $2^L - 1$  различных правил обнаружения.

При фиксированных вероятностях предварительных решений в каналах обработки  $F_l$  и  $D_l$ , разные решающие правила дают разные значения вероятностей F и D.

Полученный алгоритм обнаружения для рассматриваемого случая синтеза повторяется при различном числе суммируемых весов три раза, т.е. осуществляется три процедуры обнаружения. В этом случае общее выражение для решающего пра-

вила обнаружения трасс ВО по данным запросных СН, можно записать как

$$R = \sum_{k=1}^K Q_k \left( x_k = \left[ \sum_{j=1}^N Q_j \left\{ x_j = \sum_{i=1}^n Q_i x_i \stackrel{>}{<} z_{01} \right\} \right] \stackrel{>}{<} z_{02} \right) \stackrel{>}{<} z_{03}, \quad (9)$$

где  $z_{0i}$  ( $i=1-3$ ) – пороги принятия решений каждой из процедур.

Если выполняется условие  $F_l = F_0, P_{oi} D_i = D_0$ , то  $Q_1 = \dots = Q_k = Q, k = n(N)(K)$ . Тогда в (9) можно Q вынести за знак суммы и разделить обе части на постоянную величину Q. При таких допущениях (9) можно записать как

$$R = \sum_{k=1}^K \left( x_k = \left[ \sum_{j=1}^N \left\{ x_j = \sum_{i=1}^n x_i \stackrel{>}{<} z_{01} \right\} \right] \stackrel{>}{<} z_{02} \right) \stackrel{>}{<} z_{03}. \quad (10)$$

Как следует из (10) при всех возможных  $x_i$ , в каждом из рассматриваемых предварительных обнаружителей, величина  $R > 0$  может принимать только m разных значения. В этом случае получаем известное правило обнаружения “k из m”, согласно которому сигнал считается обнаруженным, если предварительное обнаружение произошло хотя бы в k из m каналов временной обработки. Легко видеть, что  $2^m - 1$  решающих правил, вытекающих из (9), при незначительных различиях в весовых коэффициентах будут включать все m решающих правил типа “k из m”, получаемых из (10).

Структурная схема обнаружителя трасс ВО по данным запросных СН в соответствии с решающим правилом (9) представлена на рис.1, где приняты следующие обозначения: СФ – согласованный фильтр, Д – детектор, ПУ – пороговое устройство, ЛЗ – линия задержки на необходимый интервал времени.

Таким образом, характерной особенностью обнаружителя трасс ВО, в рассматриваемом случае, является наличие четырех порогов.

Первый порог ( $z_0$ ) устанавливается в ПУ обнаружителя сигналов ответного кода. Этот порог аналоговый и с помощью его можно изменять условную вероятность ложной тревоги на выходе обнаружителя трасс ВО, т.е. конечной цели рассматриваемого обнаружителя. Второй порог ( $z_{01}$ ) устанавливается в ПУ при обнаружении ответных сигналов, третий ( $z_{02}$ ) – при обнаружении ВО и четвертый ( $z_{03}$ ) – при обнаружении трасс ВО. Эти пороги могут быть аналоговыми, при реализации алгоритма (9) или дискретными, при реализации алгоритма (10). В первом случае удастся реализовать  $(2^n - 1)(2^N - 1)(2^K - 1)$  решающих правил, а во втором –  $nNK$ .

Характерной особенностью такой реализации

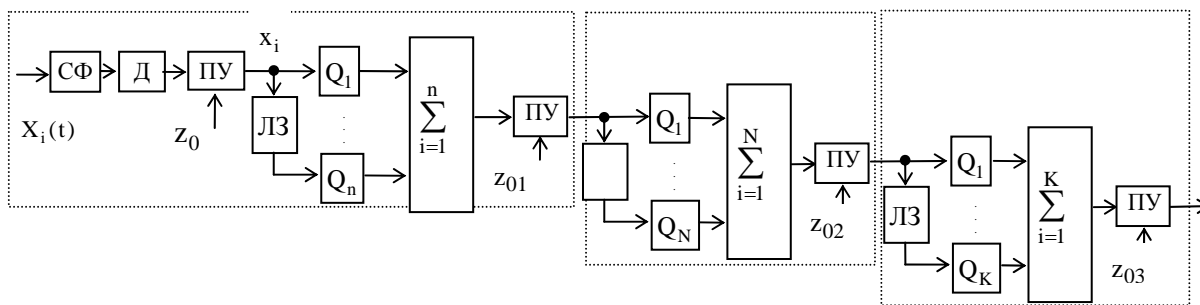


Рис. 1. Структура квазіоптимального об'єкту трас ВО запитної СН

(последовательного принятия решения об предварительном обнаружении) является то, что можно изменять последовательность процедур обнаружения. В частности можно реализовать обнаружитель трасс в такой последовательности: обнаружитель составляющих ответного сигнала; обнаружитель ответного сигнала; обнаружитель трассы; обнаружитель ВО. Решающее правило такой структуры обнаружителя трасс ВО запитными СН можно представить в следующем виде

$$R = \sum_{k=1}^N \left( x_k = \left[ \sum_{j=1}^K \left\{ x_j = \sum_{i=1}^n x_i > z_{01} \right\} \right] z_{03} \right) z_{02} \cdot (11)$$

Различие алгоритмов (10) и (11) сказывается на схематическом построении обнаружителей трасс ВО по данным запитных СН.

### Выводы

Таким образом, структура синтезированного квазиоптимального обнаружителя трасс ВО запитными СН более унифицирована в схематическом построении.

В дальнейшем представляет интерес проведение анализа синтезированного алгоритма обнаружения трасс ВО запитными СН с целью сравнения качественных показателей синтезированных структур обнаружителей [6].

### СИНТЕЗ КВАЗІОПТИМАЛЬНОГО ВИЯВЛЯЧА ТРАС ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАПИТНИМИ СИСТЕМАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

І.І. Обод, Г.Е. Заволодько

Приводиться синтез квазіоптимального виявляча трас повітряних об'єктів по даним запитних систем спостереження єдиної інформаційної мережі в послідовній постановці питання виявлення в розглянутих інформаційних системах: виявляч відповідних сигналів, виявляч повітряного об'єкта а саме виявляч траєкторій. В результаті структура синтезованого квазіоптимального виявляча трас повітряних об'єктів запитальними системами спостереження більш уніфікована в побудові схематехніки.

**Ключові слова:** виявляч траєкторій, повітряний об'єкт, запитні системи спостереження, інформаційна система, відповідний сигнал.

### SYNTHESIS QUASIOPTIMAL TRAJECTORIES DETECTOR OF AIR OBJECTS BY DATA OF ENQUIRY OF OBSERVATION OF A UNIFORM INFORMATIONAL NETWORK

I.I. Obod, A.E. Zavalodko

Synthesis of quasioptimal structure trajectories detector of air objects from data of enquiry observing system of a uniform informational network is brought in the sequential computation in the examined informative systems: response detector, air ob-

### Список литературы

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 17 вересня 2008 р. № 834
2. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: пер. с англ. / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 360 с.
3. Кузьмин С.З. Цифровая обработка радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Советское радио, 1967. – 320 с.
4. Теоретичні основи побудови заводозахисних систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.
5. Обод І.І. Синтез оптимального виявляча траєкторій повітряних об'єктів за даними запитних систем спостереження єдиної інформаційної мережі / І.І. Обод, Г.Е. Заволодько // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Х.: НТУ "ХПІ", 2008. – № 49. – С. 114-120.
6. Патент № 35887. Спосіб мережної обробки інформації спільних інформаційних систем / Обод І.І., Заволодько Г.Е. – Опубл. 23.04.08.

Поступила в редколлегию 12.01.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Ермаков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

*ject detector and actually trajectories detector. As a result the structure of synthesized quasioptimal detector of routes of air objects is more compatible the systems of queries of supervision in a schematic construction.*

**Keywords:** *trajectories detector, air object, enquiry supervision systems, information system, backward signal.*