

Комплексирование бортовых радиоэлектронных локационных систем в интересах косвенной идентификации целей

Иванов С.Л. *, Аврамов А.В. **, Ткаченко С.С. ***

Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, Воронеж, 394064, Россия

**e-mail: st.iv.84@mail.ru*

***e-mail: andry_a@inbox.ru*

****e-mail: tkachenss@mail.ru*

Аннотация

Предложен алгоритм косвенной идентификации целей по данным бортовых радиолокационной станции и станции непосредственной радиотехнической разведки. В алгоритме в качестве исходных наблюдений используются решения о типах радиоконтрастных и радиоизлучающих целей. Кроме того, учитываются сведения о статистических взаимосвязях и динамике изменения параметров состояния целей. Проведенная сравнительная оценка эффективности предлагаемого алгоритма подтверждает целесообразность его использования.

Ключевые слова: идентификация целей, комплексная обработка информации, радиолокационная станция, станция радиотехнической разведки.

Введение

Идентификация воздушных и наземных (надводных) целей, обнаруживаемых бортовыми радиолокационными станциями, является важным этапом оценки окру-

жающей тактической обстановки. В настоящее время для автоматического решения указанной задачи используются средства радиолокационной системы с активным ответом (РСАО), реализующей радиолокационно-связной метод идентификации [1, 2].

Анализ опыта применения РСАО свидетельствует о ее недостаточной эффективности, особенно в условиях многоцелевой и сложной сигнально-помеховой обстановке, что обусловлено недостатками радиолокационно-связного метода идентификации [2-4]. На сегодняшний день известно несколько путей совершенствования РСАО, к основным из которых относятся подходы, обеспечивающие улучшение помехозащищенности, увеличение пропускной и разрешающей способности системы. Однако в ближайшее время ввиду объективно существующих технологических проблем и конструкторских трудностей добиться существенных успехов в развитии указанных направлений достаточно затруднительно [2]. Поэтому на настоящем этапе наряду с традиционными подходами, направленными на дальнейшее развитие РСАО, уделяется повышенное внимание новым нетрадиционным подходам, некоторые из которых описаны в [5-11].

Перспективным нетрадиционным направлением развития систем идентификации является использование метода двухальтернативной селекции целей за счет задействования информационных ресурсов ряда локационных систем уже интегрированных в состав аппаратуры объекта, идентифицирующего цели, но извлекающих и использующих информацию в интересах других задач [4, 12]. Такой метод в англоязычной литературе получил название «indirect identification» [13], а в русскоязычной литературе – метод косвенной (непрямой, беззапросной) идентификации [5, 14]. Его суть сводится к сравнению информации о типах (классах) наблюдаемых целей, фор-

мируемой локационными системами, с априорными сведениями о типаже объектов, находящихся на вооружении конфликтующих сторон. На борту современного истребителя примерами указанных радиоэлектронных локационных систем являются станция непосредственной радиотехнической разведки (СРТР) и радиолокационная станция (РЛС), обеспечивающие распознавание типов (классов) наблюдаемых целей.

В работах [4, 5, 12, 13] рассмотрены общие вопросы построения систем косвенной идентификации целей, а вопросам алгоритмизации процесса их функционирования уделено недостаточное внимание.

Цель настоящей работы заключается в разработке и исследовании эффективности алгоритма косвенной идентификации целей с использованием информации бортовых РЛС и СРТР.

Постановка задачи

Представим структуру динамической системы «идентифицируемый объект - бортовая система косвенной идентификации» в виде, изображенном на рисунке 1.

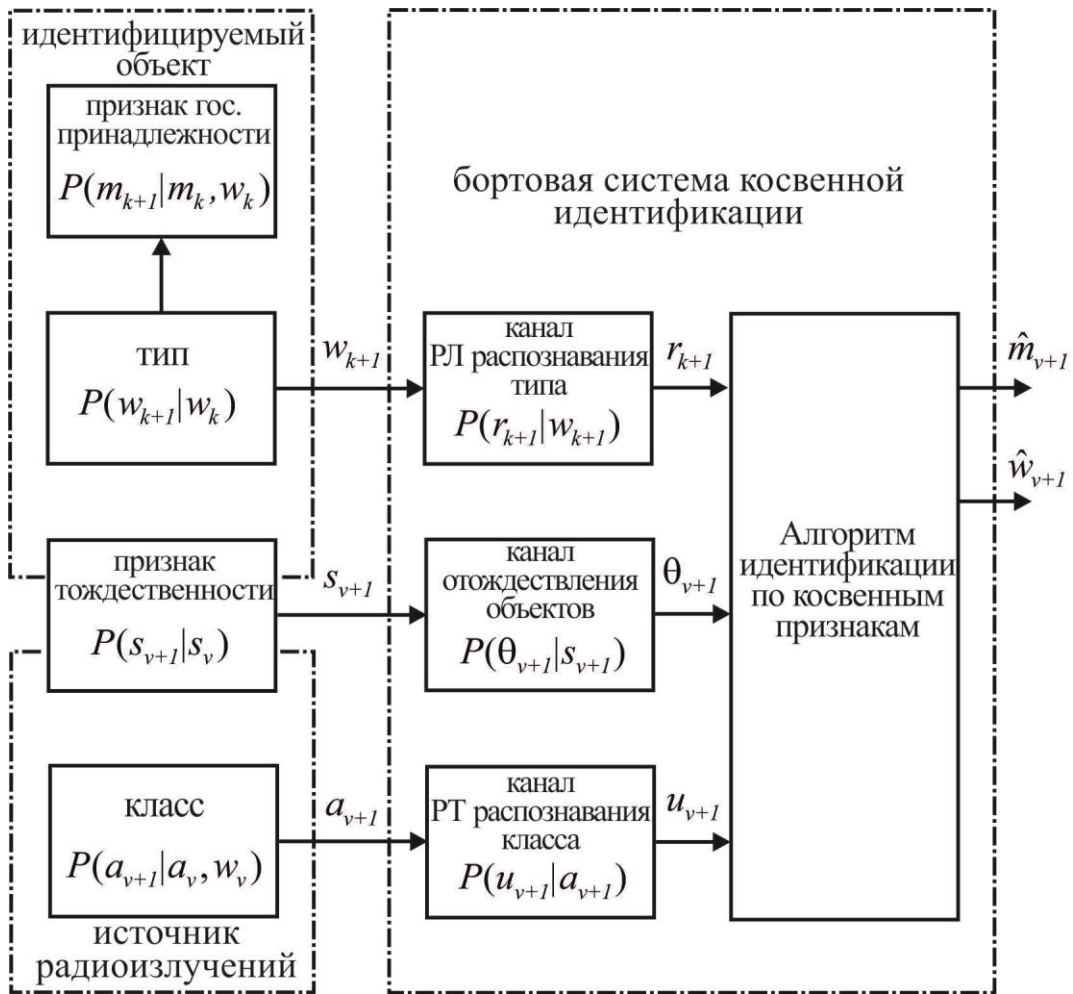


Рисунок 1 – Структура динамической системы «идентифицируемый объект – бортовая система косвенной идентификации»

Пусть в процессе наблюдения целей бортовые РЛС и СРТР обеспечивают их многократное распознавание. Формирование в бортовой РЛС решений о типе наблюдаемого радиоконтрастного объекта осуществляется в моменты времени t_1, \dots, t_k, t_{k+1} , а формирование в СРТР решений о классе наблюдаемого источника радиоизлучений – в моменты времени $\tau_1, \dots, \tau_v, \tau_{v+1}$, причем

$$t_{k+1} - t_k \geq \tau_{v+1} - \tau_v. \quad (1)$$

Состояние идентифицируемого объекта, наблюдаемого бортовой РЛС, в момент времени τ_{v+1} характеризуется вектором $\mathbf{b}_{v+1} = [m_{v+1} \quad w_{v+1} \quad a_{v+1} \quad s_{v+1}]^T$, где m_{v+1} , w_{v+1} , a_{v+1} - признак государственной принадлежности, тип и класс объекта, s_{v+1} - признак его тождественности с источником радиоизлучений, наблюдаемым СРТР. Признак $m_{v+1} = 1$, если объект относится к «своим» вооруженным силам, $m_{v+1} = 0$ - иначе. Тип $w_{v+1} \in \{1, \dots, W\}$ и класс $a_{v+1} \in \{1, \dots, A\}$, где $\{1, \dots, W\}$ и $\{1, \dots, A\}$ - алфавиты типов и классов радиоконтрастных и радиоизлучающих объектов соответственно. Признак $s_{v+1} = 1$, если сигналы источника радиоизлучений, расположенного на борту идентифицируемого объекта, наблюдаются СРТР, $s_{v+1} = 0$ - иначе.

Динамика изменения параметров состояния идентифицируемого объекта в дискретном времени описывается марковскими и условно-марковскими цепями вида

$$P(w_{*+1}/w_*) = \begin{cases} P_{\text{НП}*}, \text{ при } w_{*+1} = w_*, \\ (1 - P_{\text{НП}*}) / (W - 1), \text{ при } w_{*+1} \neq w_*, \end{cases} P(w_0), \quad (2)$$

$$P(m_{*+1}/m_*, w_*) = \begin{cases} b_m P(m_{*+1}/w_*) + 1 - b_m, \text{ при } m_{*+1} = m_*, \\ b_m P(m_{*+1}/w_*), \text{ при } m_{*+1} \neq m_*, \end{cases} P(m_0), \quad (3)$$

$$P(a_{*+1}/a_*, w_*) = \begin{cases} b_a P(a_{*+1}/w_*) + 1 - b_a, \text{ при } a_{*+1} = a_*, \\ b_a P(a_{*+1}/w_*), \text{ при } a_{*+1} \neq a_*, \end{cases} P(a_0), \quad (4)$$

$$P(s_{*+1}/s_*) = \begin{cases} \alpha_*, & \text{при } s_{*+1} = s_*, \\ 1 - \alpha_*, & \text{при } s_{*+1} \neq s_*, \end{cases} P(s_0), \quad (5)$$

где t_* - рассматриваемый момент времени; $P_{\text{НП}*}$ - вероятность отсутствия перепутываний в бортовой РЛС наблюдаемых целей; $P(m_{*+1}/w_*)$, $P(a_{*+1}/w_*)$ - известные условные вероятности, характеризующие статистические взаимосвязи между типами и государственной принадлежностью объектов, а также между типами радиоконтрастных и классами радиоизлучающих объектов; $b_m \in [0;1]$, $b_a \in [0;1]$ - коэффициенты учета статистических взаимосвязей между типами и государственной принадлежностью, а также между типами и классами объектов; $\alpha_* \in [0;1]$ - коэффициент тождественности объектов; $P(w_0)$, $P(m_0)$, $P(a_0)$, $P(s_0)$ - известные априорные вероятности соответствующих параметров состояния идентифицируемого объекта.

В момент времени t_{k+1} в бортовой РЛС формируется решение $r_{k+1} \in \{1, \dots, W\}$ о типе идентифицируемого объекта, достоверность которого характеризуется известными вероятностями $P(r_{k+1}/w_{k+1})$, где $w_{k+1} = \overline{1, W}$. В момент времени τ_{v+1} в СРТР формируется решение $u_{v+1} \in \{1, \dots, A\}$ о классе наблюдаемого источника радиоизлучений, достоверность которого характеризуется известными вероятностями $P(u_{v+1}/a_{v+1})$, где $a_{v+1} = \overline{1, A}$. Кроме того, в результате анализа измеренных бортовыми РЛС и СРТР координат наблюдаемых объектов, формируется решение $\theta_{v+1} = 1$ об их отождествлении,

либо $\theta_{v+1} = 0$ о не отождествлении. Достоверность решения θ_{v+1} характеризуется известными вероятностями $P(\theta_{v+1}/s_{v+1})$, где $s_{v+1} = \overline{0,1}$.

Требуется разработать алгоритм обработки наблюдений $r_1, \dots, r_k, r_{k+1}, u_1, \dots, u_v, u_{v+1}$ и $\theta_1, \dots, \theta_v, \theta_{v+1}$, обеспечивающий формирование решения о государственной принадлежности \hat{m}_{v+1} и уточненного решения о типе \hat{w}_{v+1} идентифицируемого объекта, наилучший по критерию максимума апостериорной вероятности.

Следует отметить, что приведенная постановка задачи позволяет учесть ряд особенностей процесса косвенной идентификации целей. Так учтено, что алфавиты классов объектов, используемые в радиолокационном (РЛ) и радиотехническом (РТ) каналах распознавания, как правило, не совпадают. Кроме того не совпадают моменты времени формирования этими каналами решений.

Учет статистических взаимосвязей между типами и государственной принадлежностью объектов, формализованных в виде условных вероятностей $P(m_{*+1}/w_*)$, позволяет реализовать метод их косвенной идентификации. Расчет указанных вероятностей основывается на анализе разведывательных данных о типах и количественном составе объектов, принимающих участие в боевых действиях.

Используемый в выражении (5) коэффициент тождественности объектов α_* зависит от множества факторов и во времени изменяется случайным образом. Оценка статистических характеристик рассматриваемого процесса может оказаться затруднительной. В этих условиях целесообразно принять $\alpha_* = 1/2$, что соответствует ситуации отсутствия уточняющих априорных сведений относительно динамики признака s_* . Тем не менее, такой подход является весьма продуктивным при разработке

рекуррентного алгоритма оценки параметров состояния объекта, наблюдаемого двумя информационными каналами, учитывающего результаты и достоверность процедуры отождествления наблюдений этих каналов.

Решение задачи

Так как темп обновления информации в РЛ и РТ каналах распознавания неодинаков, то существует необходимость выбора единой временной сетки функционирования рассматриваемой системы косвенной идентификации. С учетом неравенства (1) является целесообразной синхронизация моментов времени формирования системой решений \hat{m}_* и \hat{w}_* с моментами времени обновления информации в СРТР. Это позволит более полно использовать информацию СРТР в процессе идентификации объекта, наблюдаемого бортовой РЛС.

Для синхронизации функционирования РЛ канала распознавания можно воспользоваться следующим правилом доопределения «недостающих» решений

$$r_{v+1} = \begin{cases} r_{k+1}, & \text{при } 0 < \tau_{v+1} - t_{k+1} < \tau_{v+1} - \tau_v, \\ \text{rnd}\{1, W\}, & \text{при } \tau_{v+1} - t_{k+1} > \tau_{v+1} - \tau_v > 0, \end{cases} \quad (6)$$

$$P(r_{v+1}/w_{v+1}) = \begin{cases} P(r_{k+1}/w_{k+1}), & \text{при } 0 < \tau_{v+1} - t_{k+1} < \tau_{v+1} - \tau_v, \\ 1/W, & \text{при } \tau_{v+1} - t_{k+1} > \tau_{v+1} - \tau_v > 0, \end{cases} \quad (7)$$

где $\text{rnd}\{1, W\}$ - оператор рандомизированного выбора одного элемента из множества $\{1, \dots, W\}$.

Важно отметить, что если наблюдаемый СРТР источник радиоизлучений не установлен на борту идентифицируемого объекта, то использование решений о его классе для идентификации объекта, наблюдаемого бортовой РЛС, может приводить к дополнительным ошибкам. Для учета данного обстоятельства решения РТ канала распознавания можно доопределить по правилу

$$u_{v+1} = \begin{cases} u_{v+1}, & \text{при } \theta_{v+1} = 1, \\ \text{rnd}\{1, A\}, & \text{при } \theta_{v+1} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

$$P(u_{v+1}/a_{v+1}, \theta_{v+1}) = \begin{cases} P(u_{v+1}/a_{v+1}), & \text{при } \theta_{v+1} = 1, \\ 1/A, & \text{при } \theta_{v+1} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Таким образом, использование при описании РЛ и РТ каналов распознавания выражений (6), (7) и (8), (9) позволяет разработать единую структуру алгоритма косвенной идентификации целей. При этом обеспечивается возможность «отключения» того, или иного информационного канала в моменты времени, когда его использование является нецелесообразным.

В соответствии с выбранным критерием оптимальности правила формирования системой косвенной идентификации решений имеют вид

$$\hat{m}_{v+1} = \arg \max_{m_{v+1}=0,1} \left\{ P(m_{v+1}/\gamma_1^{v+1}) \right\}, \quad (10)$$

$$\hat{w}_{v+1} = \arg \max_{w_{v+1} \in \overline{1, \bar{W}}} \{P(w_{v+1} | \gamma_1^{v+1})\}, \quad (11)$$

где $\gamma_1^{v+1} = [\gamma_1 \ \dots \ \gamma_v \ \gamma_{v+1}]^T$ - совокупность векторов наблюдений, причем $\gamma_{v+1} = [r_{v+1} \ u_{v+1} \ \theta_{v+1}]^T$; $P(m_{v+1} | \gamma_1^{v+1})$, $P(w_{v+1} | \gamma_1^{v+1})$ - апостериорные вероятности, определяемые по формуле Байеса

$$P(m_{v+1} | \gamma_1^{v+1}) = \frac{\sum_{w_{v+1}} \sum_{a_{v+1}} \sum_{s_{v+1}} P(\beta_{v+1} | \gamma_1^{v+1})}{\sum_{m_{v+1}} \sum_{w_{v+1}} \sum_{a_{v+1}} \sum_{s_{v+1}} P(\beta_{v+1} | \gamma_1^{v+1})}, \quad (12)$$

$$P(w_{v+1} | \gamma_1^{v+1}) = \frac{\sum_{m_{v+1}} \sum_{a_{v+1}} \sum_{s_{v+1}} P(\beta_{v+1} | \gamma_1^{v+1})}{\sum_{m_{v+1}} \sum_{w_{v+1}} \sum_{a_{v+1}} \sum_{s_{v+1}} P(\beta_{v+1} | \gamma_1^{v+1})}. \quad (13)$$

Входящая в (12) и (13) многомерная апостериорная вероятность $P(\beta_{v+1} | \gamma_1^{v+1})$ параметров состояния идентифицируемого объекта, с учетом (2)-(9), описывается выражением

$$P(\beta_{v+1} | \gamma_1^{v+1}) = P(r_{v+1} | w_{v+1})P(u_{v+1} | a_{v+1}, \theta_{v+1})P(\theta_{v+1} | s_{v+1}) \times \\ \times \sum_{s_v} P(s_{v+1} | s_v) \sum_{w_v} P(w_{v+1} | w_v) \sum_{m_v} P(m_{v+1} | m_v, w_v) \sum_{a_v} P(a_{v+1} | a_v, w_v) P(\beta_v | \gamma_1^v), \quad (14)$$

$$P(\beta_0 | \gamma_1^0) = P(\beta_0) = P(w_0)P(m_0)P(a_0)P(s_0), \quad (15)$$

где $P(\beta_v | \gamma_1^v)$ - апостериорная вероятность параметров состояния идентифицируемого объекта, рассчитанная на предыдущем шаге.

Таким образом, выражения (10)-(15) определяют основные вычислительно-логические операции оптимального алгоритма косвенной идентификации целей. Его особенностью является возможность рекуррентного формирования решений о государственной принадлежности и типе идентифицируемого объекта с использованием наблюдений бортовых РЛС и СРТР с учетом априорных сведений о динамике изменения параметров состояния объекта. Алгоритм позволяет учесть различие темпов обновления соответствующих наблюдений, а также возможное снижение достоверности сведений о классе наблюдаемого бортовой РЛС объекта, содержащихся в информации о классе наблюдаемого СРТР источника радиоизлучений в случае их несоответствия.

Важно отметить, что в представленном алгоритме уточненные решения о государственной принадлежности и типе идентифицируемого объекта формируются в результате весового объединения решений РЛ и РТ каналов распознавания, а также решения об отождествлении (не отождествлении) объектов, наблюдаемых бортовой РЛС и СРТР. При этом в качестве весовых коэффициентов используются показатели достоверности (вероятности) этих решений. В этой связи является важным определение степени влияния достоверности процедур распознавания и отождествления объектов на эффективность их косвенной идентификации.

Исследование эффективности разработанного алгоритма

В интересах исследования эффективности разработанного алгоритма был проведен вычислительный эксперимент. В качестве показателей эффективности выбирались показатели выигрыша в достоверности косвенной идентификации целей от использования разработанного алгоритма, определяемые выражениями

$$\delta P_{\text{гп}} = \frac{P'_{\text{гп}} - P_{\text{гп}}}{P_{\text{гп}}} \cdot 100\%, \quad \delta P_{\text{т}} = \frac{P'_{\text{т}} - P_{\text{т}}}{P_{\text{т}}} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где $P'_{\text{гп}}$, $P'_{\text{т}}$ и $P_{\text{гп}}$, $P_{\text{т}}$ -полные вероятности правильного определения государственной принадлежности и типа идентифицируемого объекта при использовании разработанного алгоритма косвенной идентификации целей и его упрощенного варианта, в котором соответствующие решения формируются по правилам

$$\hat{w}_{v+1} = r_{v+1}, \quad \hat{m}_{v+1} = \arg \max_{m_{v+1}=0,1} \{P(m_{v+1}/w_{v+1} = r_{v+1})\}. \quad (17)$$

Используемые в (16) полные вероятности правильного определения государственной принадлежности и типа воздушного судна в соответствии с [1] рассчитывались по формулам

$$P_{\text{гп}} = [P(\hat{m}_{v+1} = 0 | m_{v+1} = 0) + P(\hat{m}_{v+1} = 1 | m_{v+1} = 1)] / 2, \quad (18)$$

$$P_T = \text{tr} \left\{ \left\| P(\hat{w}_{v+1} | w_{v+1}) \right\| \right\} / W, \quad (19)$$

где $\text{tr} \{ \dots \}$ - след матрицы; $\left\| P(\hat{w}_{k+1} | w_{k+1}) \right\|$ - матрица, составленная из вероятностей $P(\hat{w}_{k+1} | w_{k+1})$ при $\hat{w}_{k+1}, w_{k+1} = \overline{1, W}$.

В качестве варьируемых параметров использовались вероятности P_r , P_u правильного распознавания типа и класса идентифицируемого объекта, вероятность P_θ правильного не отождествления объектов, наблюдаемых бортовыми РЛС и СРТР, а также число n накопленных решений каналов распознавания.

Выбранные для проведения эксперимента исходные данные задавались следующими равенствами:

$$W = 8; A = 5; t_{k+1} - t_k = \tau_{v+1} - \tau_v; P_{\text{ПП}} = 1; b_m = b_a = 1; P(w_0) = 1/W, w_0 = \overline{1, W};$$

$$P(m_0) = 1/2, m_0 = \overline{0, 1}; P(a_0) = 1/A, a_0 = \overline{1, A}; P(s_0) = 1/2, s_0 = \overline{0, 1};$$

$$P(r_{k+1}/w_{k+1}) = \begin{cases} P_r, & \text{при } r_{k+1} = w_{k+1}, \\ (1 - P_r) / (W - 1), & \text{при } r_{k+1} \neq w_{k+1}, \end{cases} \quad r_{k+1}, w_{k+1} = \overline{1, W};$$

$$P(u_{v+1}/a_{v+1}) = \begin{cases} P_u, & \text{при } u_{v+1} = a_{v+1}, \\ (1 - P_u) / (A - 1), & \text{при } u_{v+1} \neq a_{v+1}, \end{cases} \quad u_{v+1}, a_{v+1} = \overline{1, A};$$

$$\|P(\theta_{v+1}/s_{v+1})\| = \begin{bmatrix} P_\theta & 0,1 \\ 1-P_\theta & 0,9 \end{bmatrix}.$$

Показатели эффективности оценивались в результате анализа 10^4 испытаний, в каждом из которых статистические связи между типами и государственной принадлежностью, а также между типами и классами объектов задавались случайным равновероятным образом. При этом элементы матриц $\|P(m_{*+1} | w_*)\|$ и $\|P(a_{*+1}/w_*)\|$ оставались постоянными во времени, принимали значения либо «0», либо «1», а их сумма по столбцам матриц была равна 1. Кроме того, в каждом испытании истинные значения параметров состояния идентифицируемого объекта задавались по правилам

$$w_0 = rnd\{1, W\} \text{ и } w_{v+1} = w_0; m_0 = \arg \max_{m=0,1} \{P(m | w_0)\} \text{ и } m_{v+1} = m_0;$$

$$a_0 = \arg \max_{a=0,A} \{P(a | w_0)\} \text{ и } a_{v+1} = a_0; s_{v+1} = 1.$$

Результаты вычислительного эксперимента в виде зависимостей $\delta P_{\text{гп}}(P_r)$, $\delta P_{\text{т}}(P_r)$ и $\delta P_{\text{гп}}(n)$, $\delta P_{\text{т}}(n)$ представлены на рисунках 2 и 3. На рисунке 2 кривые, обозначенные цифрами 1, соответствуют $P_u = 0,6$, $P_\theta = 0,5$ и $n = 1$; кривые 2 – $P_u = 0,8$, $P_\theta = 0,5$ и $n = 1$; кривые 3 – $P_u = 0,6$, $P_\theta = 0,5$ и $n = 4$; кривые 4 – $P_u = 0,8$, $P_\theta = 0,8$ и $n = 4$.

На рисунке 3 кривые 1 соответствуют $P_r = 0,9$, $P_u = 0,8$ и $P_\theta = 0,8$; кривые 2 – $P_r = 0,5$, $P_u = 0,8$ и $P_\theta = 0,5$; кривые 3 – $P_r = 0,5$, $P_u = 0,8$ и $P_\theta = 0,8$; кривые 4 – $P_r = 0,4$, $P_u = 0,8$ и $P_\theta = 0,8$.

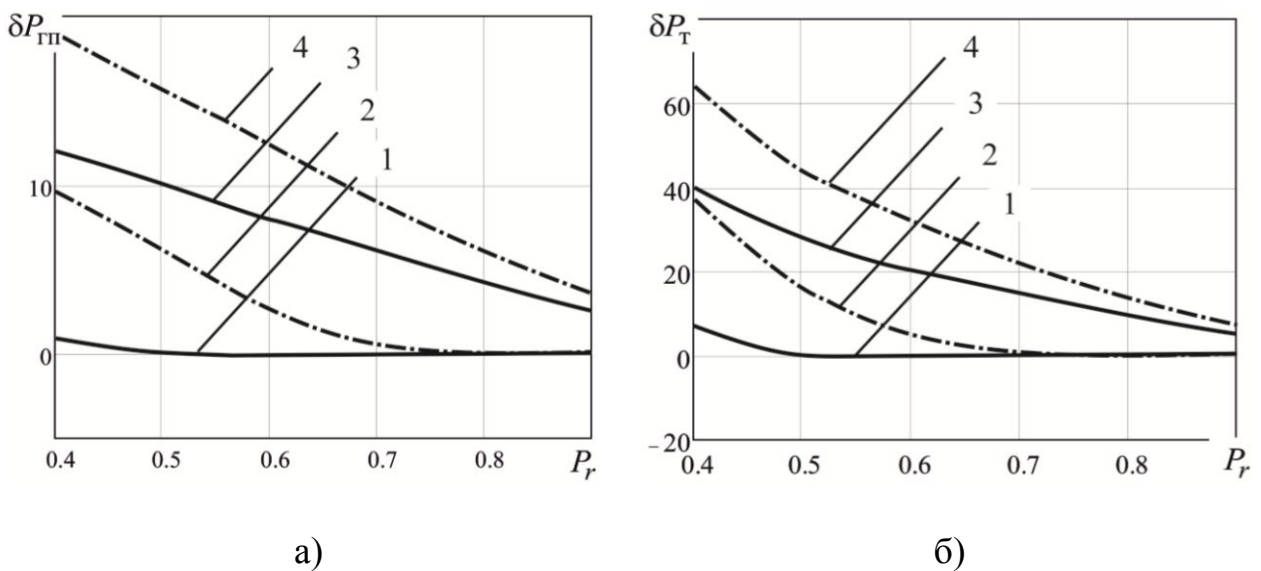


Рисунок 2 – Зависимости показателей выигрыша в достоверности косвенной идентификации цели от вероятности ее правильного радиолокационного распознавания

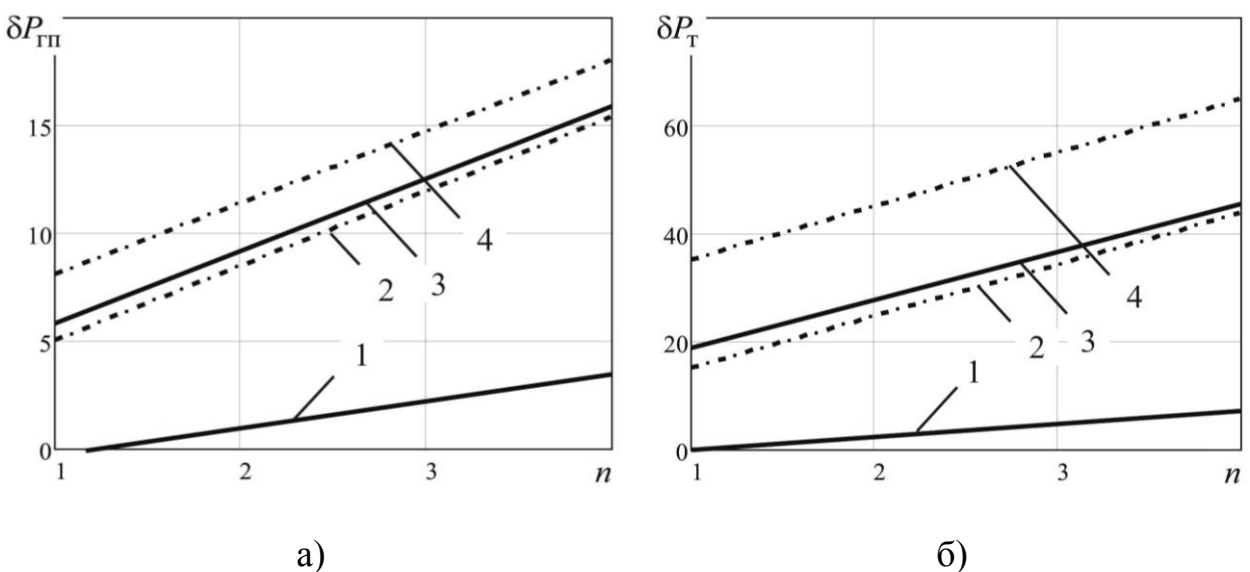


Рисунок 3 – Зависимости показателей выигрыша в достоверности косвенной идентификации цели от числа накопленных решений относительно ее типа и класса

Анализ представленных результатов позволяет сделать вывод о работоспособности разработанного алгоритма косвенной идентификации целей. Кроме того, выигрыш в эффективности идентификации от использования алгоритма тем больше, чем меньше достоверность РЛ распознавания, больше достоверность РТ распознавания и достоверность отождествления наблюдаемых бортовыми БРЛС и СРТР объектов, а также чем больше число накопленных результатов их распознавания. Так, например, при $P_r = 0,6$, $P_u = 0,8$, $P_\theta = 0,8$ и $n = 4$ выигрыш в эффективности определения государственной принадлежности целей превышает 10 %, а выигрыш в эффективности определения их типов – 30 %.

Также следует отметить что, достоверность РТ распознавания оказывает большее влияние на выигрыш в эффективности косвенной идентификации целей, чем достоверность отождествления объектов. Это объясняется принятым в качестве исходного условием постоянства вероятности ошибки отождествления первого рода $P(\theta_{v+1} = 0/s_{v+1} = 1) = 0,1$. Вместе с тем, в случае использования единичных результатов РЛ и РТ распознавания ($n = 1$) целесообразность использования разработанного алгоритма сохраняется при выполнении неравенства $P_u > P_r$.

Заключение

В заключении следует обратить внимание на то, что для реализации разработанного алгоритма на каждом такте его работы необходимо знать численные значения показателей достоверности каналов распознавания и процедуры отождествления объектов. Однако в результате изменения условий наблюдения бортовыми РЛС и СРТР целей (например, при изменении в приемниках этих станций отношений «сигнал/помеха+шум») элементы матриц вероятностей $\|P(r_{v+1}/w_{v+1})\|$, $\|P(u_{v+1}/a_{v+1})\|$ и $\|P(\theta_{v+1}|s_{v+1})\|$ будут изменяться. В этой ситуации требуется дополнительное циклическое оценивание элементов указанных матриц, либо использование в соответствии с минимаксным подходом их значений, рассчитанных для наихудших условий наблюдения целей. В последнем случае эффективность разработанного алгоритма будет снижаться.

Таким образом, предложенный в работе алгоритм обеспечивает повышение эффективности косвенной идентификации целей. Он основан на весовом объединении наблюдений бортовых радиоэлектронных локационных систем с учетом априорных сведений о статистических взаимосвязях и динамике изменения параметров состояния наблюдаемых целей. Следует ожидать, что совместное использование решений, формируемых бортовой системой косвенной идентификации на основе разработанного алгоритма, и решений, формируемых РСАО, позволит повысить качество идентификации целей в ситуациях, когда эффективность функционирования РСАО оказывается недостаточной.

Библиографический список

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана. - М.: Радиотехника, 2007. - 512 с.
2. История развития и перспективы совершенствования системы и средств государственного опознавания. Радиоэлектронные технологии России. Альманах. - М.: Издательство НО «Ассоциация «Лига содействия оборонным предприятиям», 2012. – 408 с.
3. Ходаренок М. «Пароль» почти не слышен // Независимое военное обозрение, 2003, № 13, URL: http://nvo.ng.ru/armament/2000-12-15/6_parol.html. (дата обращения: 6.10.2015).
4. Быстров А.В. Развитие национальных систем комплексной радиотехнической идентификации объектов // Журнал радиоэлектроники, 2012, № 2, URL: <http://jre.cplire.ru/jre/feb12/9/text.html>. (дата обращения: 6.10.2015).
5. Жиронкин С.Б., Аврамов А.В., Быстраков С.Г. Построение интегрированных систем опознавания на основе координатно-связного метода // Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 5. С. 71-74.
6. Ткаченко С.С., Аврамов А.В., Иванов С.Л. Принципы дополнительной селекции запросного сигнала по угловым координатам в радиолокационной системе с активным ответом // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. № 11. Том 6. С. 104-107.
7. Ткаченко С.С., Аврамов А.В. Координатно-связное опознавание на основе теории дискретной фильтрации и статистической обработки опытных данных // Успехи современной радиоэлектроники. 2010. № 11. С. 15–20.

8. Ткаченко С.С., Иванов С.Л., Трущинский А.Ю. Алгоритм комплексной обработки информации в подсистеме навигационно-связной идентификации // Теория и техника радиосвязи. 2013. № 4. С. 26-30.

9. Ткаченко С.С. Методика аналитической оценки достоверности идентификации объектов подсистемой прямой идентификации в условиях высокой их пространственной плотности // Теория и техника радиосвязи. 2015. № 3. С. 46-50.

10. Селиверстов Д.В., Иванов С.Л. Алгоритм обработки информации активно-пассивных систем комплекса бортового радиоэлектронного оборудования самолета фронтовой авиации // Труды МАИ, 2012, №51: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29169>

11. Майоров Д.А., Перехожев В.А., Шемяков А.О. Разработка алгоритма получения и обработки спектральных признаков воздушного объекта в интересах идентификации и селекции движущихся целей // Труды МАИ, 2013, №71: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=47077>

12. Быстров А.В., Митрофанов Д.Г. Перспективные направления развития технических средств опознавания воздушных целей // Зарубежная радиоэлектроника. 1996. № 2. С. 53-57.

13. Who Goes There: Friend or Foe? U.S. Government Printing Office. Washington, U.S. Congress, Office of Technology Assessment, 1993. 84 p.

14. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / Под ред. Е.А. Федосова. - М.: Дрофа, 2001. - 816 с.