

# Способ Защиты Обзорных РЛС от Имитационных Помех

Владимир Жирнов  
НИЦ интегрированных  
радиоэлектронных систем и  
технологий  
Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники  
Харьков, Украина  
nauka123@ukr.net

Светлана Солонская  
Кафедра естественных и  
гуманитарных дисциплин  
Харьковский национальный  
автомобильно-дорожный  
университет  
Харьков, Украина  
solonskaya@ukr.net

Валерий Зарицкий  
НИЛ Радиолокационных систем  
наблюдения  
Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники  
Харьков, Украина  
valerii.zarytskyi@nure.ua

## Method for Surveillance Radar Protection Against Simulation Interference

Volodymyr Zhyrnov  
Scientific Research Centre of integrated  
electronic systems and technologies  
Kharkiv National University of  
Radio Electronics  
Kharkiv, Ukraine  
nauka123@ukr.net

Svitlana Solonska  
Natural and Humanity Disciplines  
Department  
Kharkiv National Automobile and  
Highway University  
Kharkiv, Ukraine  
solonskaya@ukr.net

Valeryi Zarytskyi  
Research Laboratory Radar surveillance  
systems  
Kharkiv National University of  
Radio Electronics  
Kharkiv, Ukraine  
valerii.zarytskyi@nure.ua

**Аннотация**—Предлагается способ защиты обзорных радиолокационных станций от имитирующей помехи на основе семантического анализа изображения пачки. Разработаны универсальные алгоритмы автоматизации операций обработки информации, обеспечивается эффективная идентификация ложных отметок за счет семантических признаков флуктуаций радиолокационной пачки. Показано, как этот подход может использоваться для автоматического обнаружения и распознавания ложных отметок воздушных и надводных объектов. В разработанную технологию входят процедуры формализации и анализа символической модели наблюдаемых объектов для принятия решений, основанных на прецедентах.

**Abstract**—A method for protecting surveillance radar stations from imitating interference based on semantic analysis of the packet image is proposed. Universal algorithms for the automation of information processing operations have been developed, effective identification of false marks is provided due to the semantic features of fluctuations in the radar pack. It is shown how this approach can be used for automatic detection and recognition of false marks of air and surface objects. The developed technology includes procedures for formalizing and analyzing the symbolic model of observable objects for making decisions based on precedents.

**Ключевые слова**—защита РЛС; имитирующая помеха, обнаружение; распознавание; интеллектуальный анализ; символическая модель.

**Keywords**—radar protection; simulating interference, detection; recognition; intellectual analysis; symbolic model.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что радиолокационные станции (РЛС), использующие как сложные сигналы с внутриимпульсной модуляцией, так и локаторы обычного типа подвержены воздействию преднамеренных имитирующих помех. Для создания ложных отметок противник использует внесение амплитудной модуляции в ретранслируемый зондирующий сигнал РЛС [1]. В результате анализа удалось выяснить, что в имитирующих помехах, полученных путем размножения амплитудной модуляцией, появляются так называемые «интеллектуальные» флуктуации пачечной структуры ложных отметок, которые отличаются от флуктуаций пачек реальных отметок и могут быть легко обнаружены человеком-оператором [2, 3].

Анализ состояния проблемы показывает [3-5], что интеллектуальными считают системы, которые могут решать весь комплекс задач, выполняемых человеком-оператором, или осуществляют поддержку принятия решений. В информационных системах мониторинга подвижных объектов на воздушном и надводном транспорте используют методы обнаружения и распознавания сигналов [6-8]. Основной недостаток в известных методах состоит в низкой автоматизации процедур обработки данных, в том числе, при



Інформаційні системи та технології ICT-2020  
Секція 4.  
Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів.

обнаружении, распознавании и принятия решений о наблюдаемых объектах мониторинга.

## II. СЕМАНТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАЧКИ СИГНАЛОВ ОТ ЛОЖНЫХ И ОТ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ.

Семантическая модель процессных знаний формирования и анализа амплитудой картины пачки импульсных сигналов – это математическое описание процедур и отношений при восприятии и анализе сигналов человеком-оператором в виде различительных признаков (или свойств) для определения типов объектов. Такое математическое описание процессов деятельности эксперта называется идентификацией. Процессы действий эксперта можно идентифицировать прямо и косвенно. При прямой или логической идентификации действий оператора рассматриваем, что для определенного действия оператора поступают сигналы (виды амплитудных флуктуаций пачки), выбираемые из некоторого множества амплитудных составляющих пачки, и регистрируются ответные сигналы. Всевозможные ответные сигналы деятельности оператора образуют множество.

В ходе исследований типов флуктуаций пачки использовались реальные экспериментальные данные (рис.1), полученные на обзорной РЛС сантиметрового диапазона (длительность импульса 1 мкс, частота зондирования 365 Гц, период обзора 10 с).

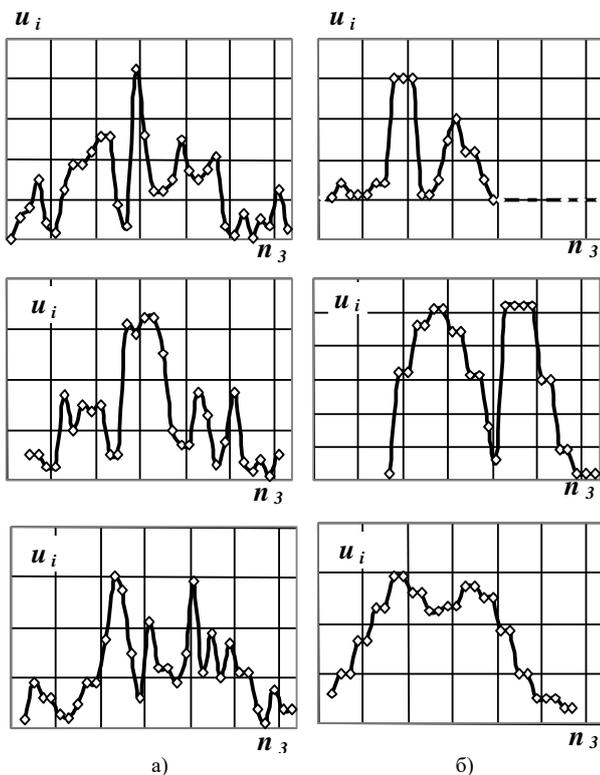


Рис.1. Пачка сигналов от ложных (а) и от реальных (б) объектов.

В результате анализа виды типов картин флуктуаций радиолокационной пачки в амплитудной области для мешающих отражений типа «ангел-эхо» и воздушных

объектов классифицированы на некоторое количество типов (см. рис. 2).

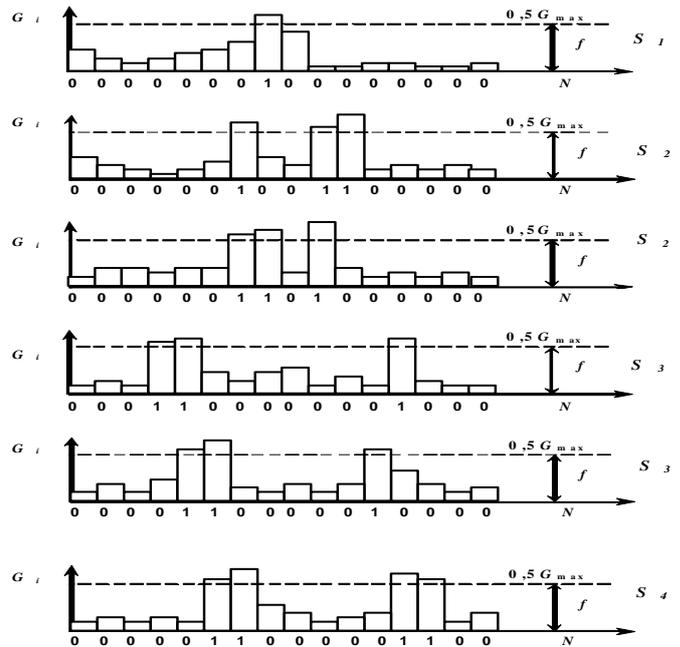


Рис. 2. Типы амплитудных картин флуктуаций пачек сигналов

В разработанную модель входят процедуры формализации и анализа геометрического сигнального образа пачки от наблюдаемых объектов на основе алгебры предикатов [9-11] и операций создания предикатной модели процессных знаний для получения решений о наблюдаемых объектах локации на основе методов интеллектуального анализа реальных процессов.

Пусть  $M = \{q_{11}, q_{12}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{mn}\}$  – множество, представляющее собой матрицу  $\|A\|$  размерностью  $M \times N$ , состоящее из элементов  $k = m \times n$  – значений амплитуд сигналов в элементах обработки зоны обзора РЛС, а  $B$  – некоторое из его подмножеств  $B \subseteq M$ , амплитуды сигналов которого  $q_{ij}$  превышают пороговые значения  $V_{ij}$ . Составляем набор логических элементов  $t_{ij}$  по следующему принципу: если  $q_{ij} \in B$ , то  $t_{ij} = 1$ ; если  $q_{ij} \notin B$ , то  $t_{ij} = 0$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

Предикат  $A(x)$  на множестве  $M$ , соответствующий множеству  $B$  элементов обработки, превысивших порог, с характеристикой  $(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{ij}, \dots, t_{mn})$ , запишется формулой:

$$A(x) = t_{11}x^{q_{11}} \vee \dots \vee t_{mn}x^{q_{mn}} = \bigvee_{i=1, j=1}^{mn} t_{ij}x^{q_{ij}} \quad (1)$$

Здесь выражение  $x^{q_{ij}}$  – форма узнавания события. Когда  $x = q_{ij}$ , то  $x^{q_{ij}} = 1$ .



Предикатная модель процессных знаний о наблюдаемых объектах в общем виде – это система  $n$  унарных и бинарных предикатов  $Z_j$ .

$$M = \{Z_j, j = 1..n\}. \quad (2)$$

Такая система предикатов позволяет описать ситуацию вокруг анализируемой в данный момент информационной ячейки и позволяет формализовать процесс формирования символического изображения отметки из  $A(x)$  в течение ряда циклов зондирования РЛС. Их еще называют атрибутами или предикатными признаками процесса. Например, для радиолокационных систем обзора пространства это могут быть:

– унарный предикат  $Z_{p_{ij}}$  присутствия (англ.–presence) или наличия сигнала в  $a_{ij}$  информационной ячейке;  $i, j$  – номера элементов зоны обзора РЛС;

– бинарный предикат  $Z_{d_{ij}}$  ухода (англ. - departure) сигнала  $a_{ij}$  в соседнюю по дальности информационную ячейку;

– бинарный предикат  $Z_{a_{ij}}$  перехода сигнала в смежную по азимуту (англ. – adjacent) или соседнюю информационную ячейку, прилегающую к рассматриваемой ячейке.

При таких исходных условиях эти предикатные признаки формируются по следующим правилам:

$$Z_{p_{ij}} = 1, \text{ при } A_{ij} > 0 \quad (3)$$

$$Z_{d_{ij}} = 1, \text{ при } A_{i-1j} > 0 \wedge Z_{p_{ij}} = 1 \quad (4)$$

$$Z_{a_{ij}} = 1, \text{ при } Z_{p_{ij}} = 1 \wedge A_{ij-1} > 0, \quad (5)$$

где  $A_{ij}$  – предикат события наличия-отсутствия сигнала в соответствующем элементе анализа.

Для радиолокационных станций обзора пространства амплитудная картина флуктуаций огибающей пачки описывается двумя составляющими [4, 5]:

1. Предикатным признаком символической модели пачки сигналов (отметок) воздушных объектов, определяемым как решение уравнения:

$$I_{m1} = Z_{mij} = \bigwedge_{l_1}^{l_n} Z_{ai, j+l_n} = 1. \quad (6)$$

2. Предикатной моделью амплитудных флуктуаций радиолокационной пачки, определяемой как совокупность произведений каждого элемента символической пачки на их амплитудные значения:

$$I_{m2} = \bigvee_{l_1}^{l_n} a_{i, j+l_n} Z_{ai, j+l_n}, \quad (7)$$

где  $l_1, l_n$  – номера элементов начала и конца пачки.

Каждый тип амплитудной картины  $S_j$ , приведенный на рис. 2, имеет соответствующие нули и единицы согласно предикатной функции  $A(x)$ . Тип  $S_1$  имеет одиночные группы единиц среди всех остальных нулей. Тип  $S_2$  имеет две группы единиц, а количество нулей между ними меньше или равно двум.

Для идентификации с амплитудными типами была сформирована система предикатов-признаков  $L_i$  [1, 3, 7], «чувствительных» к количеству и разрывности нулей, единиц и групп сомкнутых единиц (амплитудных пиков) в предикате  $A(x)$ .

Был введен еще один вид предиката –  $F(y)$ , построенный на множестве  $F$ , элементы  $f_1, f_2, \dots, f_{k-1}$  которого определены путем суммирования по модулю два каждого элемента  $t_i$  со смежным элементом. Для определения количества амплитудных пиков использована арифметическая сумма  $\Phi$  предиката  $F(t)$

$$\Phi = \sum_i^{k-1} f_i = \sum_{i=1}^{k-1} [t_i + t_{i+1}] \Big|_{M_2},$$

где индекс  $\Big|_{M_2}$  означает суммирование по модулю два.

Анализ возможных значений  $\Phi$  для различных типов амплитудных картин показывает, что для одиночной группы сомкнутых единиц в множестве  $F$  результат суммирования всегда равен двум, независимо от ширины пика, т.е. от количества сомкнутых единиц. Для двух групп сомкнутых единиц результат такой операции равен четырем, для трех пиков – шести и т.д. В признаке  $L_1^{j_i}$ , верхний индекс  $j_i$  указывает на наличие в предикате  $f(x)$  на количество амплитудных пиков и определяется по следующему правилу: если  $\Phi \geq 2$ , то  $j_i = \Phi/2$ , иначе  $j_i = 0$ . В модели  $j_i = P_i$ .

Введен признак  $L_2^{l_i}$ , верхний индекс которого или номер предиката  $l_i$  указывает на количество нулей между группами единиц в предикате  $A(x)$ . В модели  $l_i = L_i$ . Для учета отличий амплитудных картин по энергетике принятого сигнала введен признак  $L_3^{s_i}$ , верхний индекс которого указывает на количество единиц в предикате  $A(x)$ . В модели  $s_i = E_i$ .



Алгоритм идентификации типов  $S_j$  для амплитудных картин, представленных на рис.2, описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= L_1^1 \wedge L_2^0 \wedge (L_3^1 \vee L_3^2); \\
 S_2 &= L_1^2 \wedge (L_2^0 \vee L_2^1 \vee L_2^2 \vee L_2^3) \wedge (L_3^2 \vee L_3^3 \vee L_3^4); \\
 S_3 &= L_1^2 \wedge (L_2^5 \vee L_2^6 \vee L_2^7 \vee L_2^8) \wedge L_3^3; \\
 S_4 &= L_1^2 \wedge (L_2^4 \vee L_2^5 \vee L_2^6) \wedge (L_3^4 \vee L_3^5 \vee L_3^6)
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

$$S_j = (L_1^0 \vee L_1^1 \vee \dots \vee L_1^j) \wedge (L_2^0 \vee L_2^1 \vee \dots \vee L_2^l) \wedge (L_3^1 \vee L_3^2 \vee \dots \vee L_3^s)$$

В общем виде (8) можно представить в виде

$$S_j = \left( \bigvee_{j_1}^j L_1^{j_1} \right) \wedge \left( \bigvee_{l_1}^{l_2} L_2^{l_1} \right) \wedge \left( \bigvee_{s_1}^{s_2} L_3^{s_1} \right).$$

На основе полученных уравнений разработана функциональная схема алгоритма автоматического определения типов амплитудных флуктуаций пачки приведена на рис. 3.

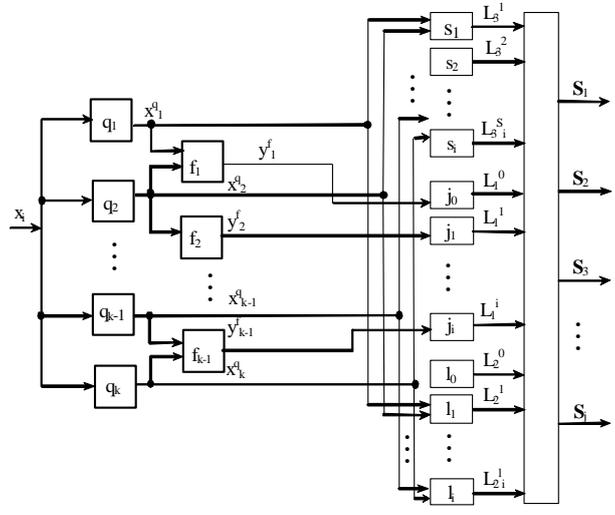


Рис. 3. Схема алгоритма определения типов флуктуации пачки

Таким образом, все операции по классификации и распознаванию воздушных объектов выполняются автоматически и в реальном масштабе времени.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан способ защиты обзорных РЛС от имитирующей помехи на основе семантического анализа изображения пачки. Получены универсальные алгоритмы обработки информации, обеспечивающие эффективную идентификацию ложных отметок за счет семантических признаков флуктуаций радиолокационной пачки. Показано, как этот подход может использоваться для автоматического обнаружения и распознавания ложных отметок. В разработанную технологию входят процедуры формализации и анализа символьной модели наблюдаемых объектов для принятия решений, основанных на прецедентах

LITERATURE REFERENCES

- [1] Карманов Ю.Т., Непомнящий Г.А. Способ защиты РЛС со сложным сигналом от имитирующей помехи // Вестник ЮУрГУ. 2009. №26. С. 41–46.
- [2] Russel S. Artificial intelligence. A modern approach, Second Edition / S. Russel, P. Norvig. – Williams, 2006. – 1410 p.
- [3] Бондаренко, М.Ф. Теория интеллекта: учебник / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. – Харьков: изд-во СМИТ, 2007. – 576 с.
- [4] Журавлев, Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации / Ю.И. Журавлев // Проблемы кибернетики. – 2005. – Вып. 33. – С. 5–68.
- [5] Жирнов В.В., Солонская С.В. Предикатная модель процессных знаний о наблюдаемых объектах в многоканальных интеллектуальных системах мониторинга // Радиотехника: Всеукр. междувед. науч.-техн. сб. - 2019. - Вып. 199. - С. 67 - 74.
- [6] Solonskaya S.V., Zhirnov, V.V. Intelligent analysis of radar data based on fuzzy transforms / Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radio-tekhnika)/ - 2018. 77 (15), pp. 1321-1329.
- [7] Solonskaya, S.V., Zhirnov, V.V. Signal processing in the intelligence systems of detecting low-observable and low-doppler aerial targets/ Telecommunications and Radio Engineering – 2018. Volume 77, Issue 20, pp. 1827-1835.
- [8] Solonska S., Zhirnov V., Holovin O. Semantic Processing of Radar Spectral Information for Air Object Recognition. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 – Proceedings.

