

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**

**УДК 621.396.96**

**Нгуен Хоанг Нгуен**

**СТРУКТУРНО - ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ РЕШАЮЩЕГО  
ПРАВИЛА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ – ИЗМЕРЕНИЯ**

**Специальность 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства  
радионавигации, радиолокации и телевидения**

**Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Минск 2003**

Работа выполнена в Учреждении образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Гейстер С.Р.,  
Учреждение образования "Военная академия Республики Беларусь", кафедра радиолокации и радионавигации

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Чсрдынцев В.А.,  
Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники",  
кафедра радиотехнических устройств;

кандидат технических наук, доцент Нефедов С.Н.,  
Учреждение образования "Военная академия Республики Беларусь", научно-исследовательская часть

Оппонирующая организация: Научно-исследовательский институт  
Вооруженных сил Республики Беларусь

Защита состоится 1 июля в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15. 02 при Учреждении образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" по адресу: 220013, г. Минск, ул. П.Бровки, 6, БГУИР, 1-й корпус, ауд. 232, тел. 239-89-89.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники".

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Проблема качества распознавания существует на протяжении всей истории развития теории и практики распознавания. Особую остроту эта проблема принимает в области *радиолокационного распознавания* (РЛР). Это обусловлено следующими причинами:

- сравнительно низкими информационными возможностями радиолокационных систем (РЛС) при распознавании широкого перечня классов объектов по их *радиолокационным портретам* (РЛП) в условиях ограниченного времени наблюдения и низких отношениях *сигнал/помеха* (СЛП);
- высокой степенью априорной неопределенности относительно условий наблюдения и состояния распознаваемого объекта, которые описываются так называемыми *малоинформативными параметрами* (МИНП);
- серьезными последствиями, которые могут вызывать ошибочные решения.

Основными традиционными подходами к повышению качества радиолокационного распознавания являются повышение сложности РЛП с соответствующим увеличением объема априорной информации, используемой для описания РЛП объектов, увеличение отношения СЛП и снижение влияния флуктуаций.

*С одной стороны*, такие подходы позволяют улучшить качество РЛР в целом. *С другой*, они приводят к существенным усложнениям теоретических и экспериментальных исследований, а также технической реализации с соответствующим увеличением стоимости РЛС. В итоге эти подходы повышают качество распознавания в хороших условиях наблюдения, но не обеспечивают выполнение конкретных требований *потребителей информации распознавания* (ПИР) к качеству принимаемых решений в произвольно изменяющихся условиях наблюдения.

Следовательно, проблема обеспечения качества объективно существует на практике и требует развития теории РЛР в направлении, связанном с управлением принимаемыми решениями соответственно изменяющимся условиям наблюдения.

В данной диссертационной работе предлагается новый подход к решению проблемы качества – *структурно-параметрическая адаптация решающего правила системы радиолокационного распознавания*. Сущность подхода заключается в прогнозе качества возможных решений, которые могут быть приняты в текущем радиолокационном контакте с объектом, и соответствующем управлении процедурой принятия решения, удовлетворяющего требованиям ПИР. Платой за выполнение требований к качеству принимаемых решений может быть *снижение подробности классификации* или *затягивание процедуры распознавания*.

Адаптация решающего правила является перспективным подходом к решению проблемы качества РЛР в изменяющейся обстановке при ограничениях, накладываемых на время наблюдения и информационные способности РЛС. С одной стороны, этот подход позволяет выполнить конкретные требования ПИР с сохранением всех достоинств оригинальных систем РЛР. С другой стороны, использование *адаптивно-го решающего правила* (АРП) в плохих условиях наблюдения обеспечивает возможность эффективного управления процедурой распознавания, конечным итогом кото-

рого является принятие адекватных мер для повышения качества. Кроме того, такой подход к синтезу адаптивного решающего правила позволяет *автоматически разрешить противоречие* между степенью подробности классификации (максимальным числом распознаваемых классов или типов) и требованиями к достоверности принимаемых решений.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является синтез и анализ решающих правил распознавания – измерения длины объектов со структурно - параметрической адаптацией, которые позволяют обеспечить наиболее распространенные требования к качеству радиолокационного распознавания – измерения.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- анализ статистических характеристик системы радиолокационного распознавания с *байесовским решающим правилом* (БРП);
- определение наиболее целесообразных критериев качества работы АРП и синтез алгоритмов, реализующих структурно - параметрическую адаптацию решающего правила;
- разработка методики анализа статистических характеристик системы распознавания с адаптивным решающим правилом;
- синтез АРП для системы распознавания–измерения длины наземных объектов (НО) по *азимутальному РЛП* (АРЛП);
- анализ статистических характеристик системы распознавания – измерения длины НО с адаптивным решающим правилом аналитическим методом и методом моделирования;
- экспериментальные исследования АРП распознавания–измерения длины автомобилей по азимутальным РЛП, полученным в *радиолокационном датчике* (РЛД) с *фокусированной синтезированной апертурой антенны* (ФСАА).

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является система радиолокационного распознавания с многоканальной обработкой нормально распределенных портретов на гауссовом фоне. Предметом исследования являются алгоритмы, обеспечивающие структурно-параметрическую адаптацию решающих правил распознавания и измерения длины наземных объектов.

**Методология и методы проведенного исследования.** Для решения задач диссертационной работы применялись методы математической статистики, элементы теории статистической радиотехники, теории принятия решений и статистического моделирования, а также теории радиолокационного распознавания.

**Научная новизна и значимость полученных результатов**

1. Разработаны методики статистического синтеза алгоритмов структурно-параметрической адаптации решающих правил распознавания и измерения длины наземных объектов.

2. Синтезированы алгоритмы структурно-параметрической адаптации решающих правил распознавания и измерения длины наземных объектов, обеспечивающие выполнение соответствующих критериев качества.

3. Разработаны методики анализа статистических характеристик систем распознавания и измерения длины НО с адаптивными решающими правилами.

### **Практическая значимость полученных результатов**

1. Разработанные алгоритмы структурно-параметрической адаптации решающего правила могут быть внедрены в системы РЛР без существенного изменения их конструкции. В таких системах обеспечивается возможность гарантировать достоверность принимаемых решений.

2. Разработанные адаптивные решающие правила распознавания и измерения длины НО могут быть использованы в РЛД контроля дорожного движения.

3. Полученные простые выражения для *условных вероятностей срабатывания* (УВС) каналов обработки РЛП, имеющие приемлемую точность, могут быть использованы при структурно-параметрической адаптации решающего правила системы распознавания-измерения длины НО.

Практическое применение полученных результатов. Результаты диссертационной работы:

- методики синтеза и анализа статистических характеристик алгоритмов адаптации решающего правила системы РЛР;
  - адаптивное решающее правило распознавания объектов,
- использованы НПРУП “СКБ Камертон” при разработке и изготовлении на предприятии автоматической системы радиолокационного распознавания СР-1, прошедшей натурные испытания. Применение предложенного в работе АРП позволило стабилизировать на заданном уровне вероятность правильного решения и обеспечивать устойчивую работу системы РЛР в динамично изменяющейся помеховой обстановке.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту**

1. Адаптивное решающее правило системы распознавания и алгоритмы адаптации, обеспечивающие выполнение критерия качества *условные вероятности правильного распознавания не ниже требуемых значений.*

2. Адаптивное решающее правило системы распознавания и алгоритмы адаптации, обеспечивающие выполнение критерия качества *апостериорная вероятность принятия правильных решений не ниже требуемого значения.*

3. Адаптивное решающее правило распознавания-измерения длины наземных объектов и алгоритмы адаптации.

4. Результаты анализа статистических характеристик системы распознавания-измерения длины наземного объекта с адаптивным решающим правилом.

**Личный вклад соискателя.** Подход к адаптации решающего правила, цель и задачи диссертационной работой определены научным руководителем канд. техн. наук, доц. С.Р. Гейстером. Экспериментальные исследования наземных объектов проводились совместно с научным руководителем и аспирантом А.Е. Виноградовым. Личным вкладом соискателя являются разработанные методики статистического синтеза и синтезированные алгоритмы адаптации решающих правил распознавания и измерения длины наземных объектов, а также соответствующие методики анализа статистических характеристик.

*Апробация результатов диссертации.* Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на VIII международной научно-технической конференции “Радиолокация, навигация, связь” в г.Воронеже 15-18 ап-

реля 2002 г., V международной летней школе-семинаре “Современные информационные технологии” в г.Браславе 29 июня – 5 июля 2002 г. и военно-научной конференции в Военной академии Республики Беларусь 26-27 марта 2002г.

*Опубликованность результатов.* Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 6 печатных работах общим объемом 24 страницы, в том числе - 3 статьи в научных журналах, 2 статьи в сборниках материалов конференции и один тезисы доклада в сборнике тезисов докладов.

*Структура и объем диссертации.* Диссертационная работа состоит из общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Она включает в себя 150 страниц, в том числе 107 страниц машинописного текста, 36 рисунков на 27 страницах, 3 таблицы на 3 страницах, библиографию из 108 наименований на 7 страницах и 4 приложения на 16 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В общей характеристике работы** определено основное направление исследований и обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, изложены положения, выносимые на защиту, охарактеризована научная новизна и практическая значимость результатов, полученных в работе.

**Первая глава** посвящена классификации и рассмотрению основных подходов к решению проблемы повышения качества РЛР с учетом специфики его реализации в существующих и перспективных РЛС, а также обоснованию необходимости использования АРП, обеспечивающего требуемое качество распознавания.

Эффективность РЛР определяется двумя основными факторами – *информационными возможностями РЛС и условиями наблюдения* объекта. Взаимосвязь информационных возможностей системы РЛР и условий наблюдения объекта осуществляется посредством МИНП. Высокая степень неопределенности в характере изменений МИНП является основным ограничением в обеспечении стабильно высокого качества распознавания за ограниченный интервал времени наблюдения.

Показано, что в условиях низких отношений С/П и ограниченного времени наблюдения существующие методы повышения качества РЛР, основанные на повышении информационных возможностей РЛС, не позволяют обеспечить гарантированное качество распознавания в изменяющихся условиях наблюдения или приводят к существенным осложнениям технической реализации.

С учетом этого выбран целесообразный путь решения проблемы повышения качества РЛР – структурно - параметрическая адаптация решающего правила, и определены основные задачи, которые необходимо решить. Этими задачами являются:

- рассмотрение методик определения условных вероятностей срабатывания каналов обработки портрета в многоканальной байесовской системе;
- определение критериев качества, необходимых для синтеза АРП;
- синтез АРП и алгоритмов адаптации, соответствующих выбранным критериям качества принимаемых решений в изменяющихся условиях распознавания;
- разработка методики анализа статистических характеристик системы РЛР с АРП.

Для доведения адаптивных решающих правил до практической реализации полученные результаты интерпретировались применительно к задаче измерения длины наземных объектов в многоканальной системе обработки азимутального РЛП, формируемого при обращенном синтезе апертуры антенны с фокусировкой.

Вторая глава посвящена методике анализа статистических характеристик для многоканальной системы распознавания с байесовским решающим правилом, в которой число каналов обработки (КО) равно количеству  $M$  распознаваемых классов (рис. 1). Рассмотрение этой методики обеспечивает синтез АРП, в основе которого лежит анализ оценок УВС каналов обработки портрета.

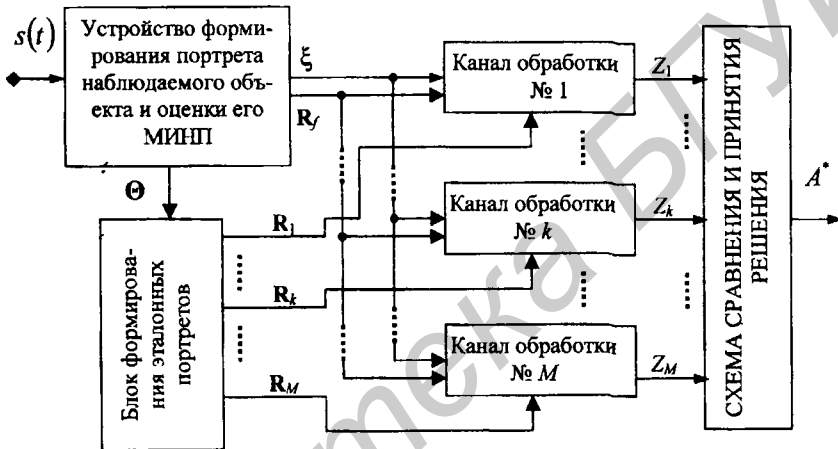


Рис. 1. Обобщенная схема системы распознавания с многоканальной обработкой портретов ( $S(t)$  - принятый сигнал;  $\xi = [\xi_n; n = \overline{1, N}]$  - вектор комплексных амплитуд РЛП;  $\Theta$  - матрица МИНП портрета;  $R_f$  - ковариационная матрица фоновой составляющей РЛП;  $R_k; k = \overline{1, M}$  - ковариационная матрица сигнальной составляющей РЛП объекта  $k$ -го класса;  $Z_k; k = \overline{1, M}$  - выходные сигналы каналов обработки;  $A^*$  - общий вид байесовских решений)

Традиционно используемое *байесовское решающее правило* (БРП), реализуемое в схеме сравнения и принятия решения (см. рис. 1), имеет вид:

$$\text{если } Z_{k,l} = Z_k - Z_l \geq 0 \text{ для всех } l \neq k = \overline{1, M} (Z_k^{\max}), \text{ то } A^* = A_k^*, \quad (1)$$

где  $A_k^*; k = \overline{1, M}$  - решение о принадлежности объекта к  $k$ -му классу.

Наиболее широко распространены два основных подхода к определению УВС КО  $P_{k/g} = P(Z_k^{\max}/A_g); k, g = \overline{1, M} (A_g; g = \overline{1, M}$  - условие наличия объектов  $g$ -го класса в пространстве РЛП). *Первый подход* основан на определении вида и параметров законов распределения межканальных разностей (МКР)  $Z_{k,l}; l \neq k; l, k = \overline{1, M}$  с учетом или

без учета их корреляции. *Второй поход* заключается в нахождении областей тех или иных решений и вычислении вероятностей непосредственно по статистике портретов.

Рассмотрена методика анализа статистических характеристик РЛР по портрету, имеющему нормальное распределение произвольно коррелированных комплексных амплитуд сигнала и фона, и корреляции межканальных разностей. При определении закона распределения и корреляции межканальных разностей (МКР) использован подход, основанный на декорреляции портрета и диагонализации матрицы межканальной обработки. Предложен метод точного расчета УВС КО путем решения линейных систем неравенств и вычисления многократного интеграла.

Разработана методика расчета статистических характеристик системы распознавания объектов с байесовским критерием для рассматриваемого в работе случая обработки азимутальных РЛР при прямоугольных эталонах. Основной сложностью, возникающей при строгом анализе УВС КО, является наличие взаимной корреляции решающих статистик – межканальных разностей. В разработанной методике представлены аналитические выражения для закона распределения МКР и коэффициентов корреляции МКР. Показано, что имеется возможность приближенного расчета УВС истинных КО без учета корреляции МКР. Однако погрешности вычисления УВС ложных КО при таком допущении сравнительно велики. Для уменьшения этих погрешностей предлагается использовать методику расчета условных вероятностей, основанную на поиске областей решений непосредственно по статистике портретов.

Рассмотренные в этой главе методики расчета условных вероятностей срабатывания каналов являются *основой для синтеза АРП и алгоритмов адаптации*.

**Третья глава** посвящена синтезу решающего правила со структурно-параметрической адаптацией, а также алгоритмов, реализующих эту адаптацию. Обобщенный вид АРП описывается выражением

$$\text{если } Z_k^{\max}, \text{ то } A^{**} = A_k^{**} = \{J_k^0\}, \quad (2)$$

где  $A^{**}$  - общий вид адаптивных решений;  $A_k^{**}$  - решение о том, что наблюдаемый объект принадлежит *информативной группе*  $\{J_k^0\}$ , причем  $k \in \{J_k^0\}$ .

Синтез АРП проведен для двух критериев качества. *Критерий 1* формулируется следующим образом: *условные вероятности правильного распознавания объектов каждого g-го класса из M распознаваемых классов должны быть не менее соответствующих требуемых значений*. Данный критерий имеет следующую аналитическую форму:

$$P(A_g^{MT} / A_g) \geq D_g^g \text{ для всех } g = \overline{1, M}, \quad (3)$$

где  $A_g^{MT}$  - событие принятия решения в пользу g-го класса;  $D_g^g$  - требуемое значение условной вероятности правильного распознавания для объектов g-го класса.

Такой критерий целесообразно использовать в случаях, когда распознаваемые объекты, принадлежащие к различным классам, имеют разные степени важности по функциональному назначению. Естественным образом возникает необходимость установить более высокие требования к условным вероятностям принятия правильных решений при наличии объектов, принадлежащих более важным классам.



**Критерий 2** формулируется в следующем виде: апостериорная вероятность принятия правильных решений должна быть не ниже требуемого значения  $H_r$ . Суть этого критерия состоит в том, что в случае срабатывания некоторого  $k$ -го канала апостериорная вероятность решения  $A_k^{**}$  должна удовлетворять условию

$$H_k^{**} = \sum_{g \in \{J_k^0\}} P(A_g / Z_k^{\max}) \geq H_r; \quad k, g = \overline{1, M}, \quad (4)$$

где  $\{J_k^0\}$  - некоторая информативная группа классов, решение в пользу которой вызывается событием  $Z_k^{\max}$ .

В отличие от критерия 1 этот критерий гарантирует выполнение требования по отношению к апостериорной вероятности решения, которое в общем случае представляется информативной группой классов (типов) объектов. Однако при использовании данного критерия информативная группа формируется по-другому. Как будет показано, критерий 2 удобно использовать для совместного распознавания - измерения.

В результате синтеза получены два адаптивных решающих правила, удовлетворяющие выбранным критериям качества распознавания при минимальном снижении подробности классификации. В соответствии с номерами используемых критериев качества обозначим их как АРП-1 и АРП-2. Общий вид этих правил является одинаковым, а отличия заключаются в разных алгоритмах адаптации и правилах поиска состава информативной группы  $\{J_k^0\}$  при срабатывании  $k$ -го КО. Правило определения множества объединяемых классов в различных решениях для текущих условий наблюдения в АРП-1 и правило поиска состава информативной группы в АРП-2 поясняются блок-схемами алгоритмов, представленными на рис. 2.

В АРП-1 группа классов  $\{J_k^0\}$  определяется через  $M$  множеств объединенных каналов  $\{J_g^0\}; g = \overline{1, M}$  по следующему правилу:

$$\text{для каждого класса } g = \overline{1, M}, \text{ если } k \in \{J_g^0\}, \text{ то } g \in \{J_k^0\}.$$

Причем элементы каждого множества  $\{J_g^0\}$  определены соотношением между требуемым значением условной вероятности правильного распознавания  $g$ -го класса и группой условных вероятностей  $P_{l/g}; l = \overline{1, M}$ .

В АРП-2 информативная группа по отношению к сработавшему КО непосредственно определяется на основе оценочных значений апостериорных вероятностей.

Основными данными при поиске состава информативных групп в процессе адаптации являются оценки УВС КО, которые рассчитываются на основании эталонов (ковариационных матриц сигнальной и помеховой составляющих), адаптированных к условиям наблюдения, с учетом алгоритма обработки РЛП. Для ускорения процедуры оценивания УВС КО в данной главе предлагается приближенная формула расчета, обеспечивающая приемлемую точность со значительным сокращением объема вычислений:

$$P_{k/g} = \left[ \delta_{(k-g)} + (1 - \delta_{(k-g)}) \frac{1 - P_{g,k/g}}{P_{g,k/g}} \right] \left[ 1 + \sum_{l=g}^M \left( \frac{1 - P_{g,l/g}}{P_{g,l/g}} \right) \right]^{-1}, \quad (5)$$

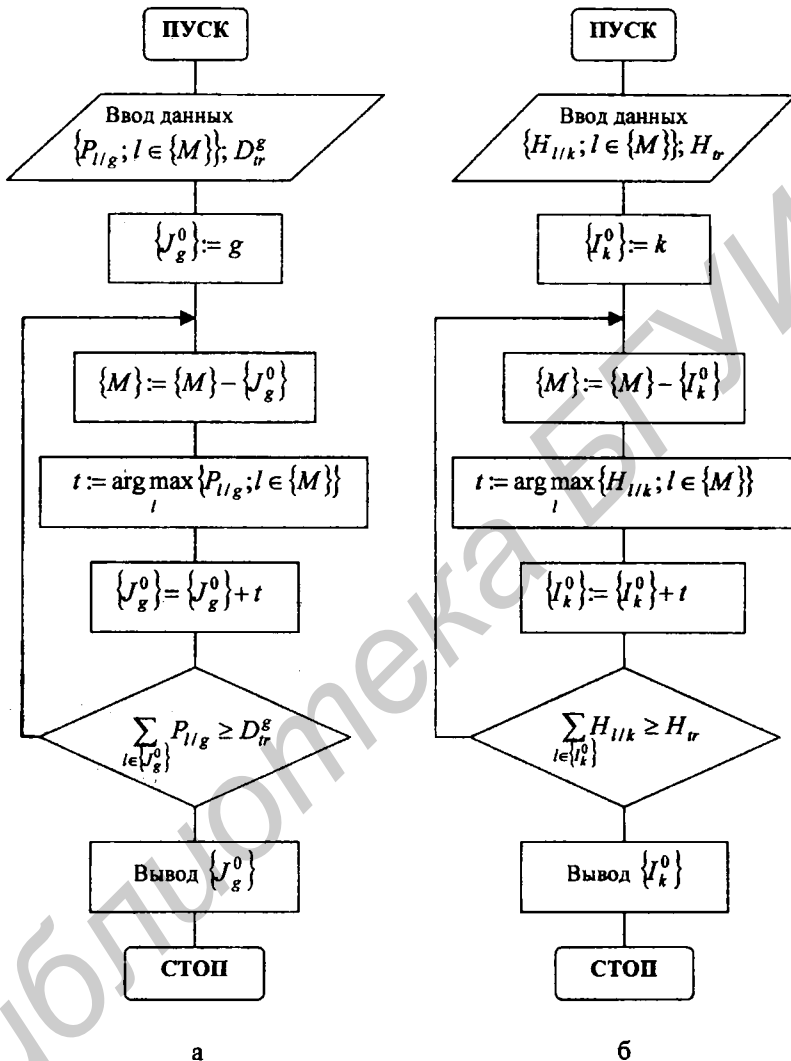


Рис. 2. Пояснения к правилу определения множества объединенных каналов в АРП-1 (а) и правилу поиска состава информативной группы в АРП-2 (б) ( $\{M\}$  - множество распознаваемых классов;  $D_{tr}^g$  - требуемое значение к условной вероятности правильного распознавания объектов  $g$ -го класса ( $g = \overline{1, M}$ );  $H_{l/k} = P(A_l / Z_k^{\max})$  - апостериорная вероятность появления объектов  $l$ -го класса в пространстве распознавания при условии  $Z_k^{\max}$  ( $l = \overline{1, M}$ );  $H_{tr}$  - требуемое значение апостериорной вероятности принятия правильных решений)

где  $P_{g,l/g} = P(Z_{g,l/g} \geq 0) = \int_0^{+\infty} p_g(Z_{k,l}) dZ_{k,l}$ ;  $Z_{g,l/g}$  и  $p_g(Z_{g,l})$ ;  $l \neq g = \overline{1, M}$  - случайная величина межканальной разности  $Z_{g,l}$  и её условная плотность вероятности при наличии объектов  $g$ -го класса;  $\delta_{(k-g)}$  - символ Кронекера.

Таким образом, в главе 3 разработан метод синтеза и синтезированы адаптивные решающие правила для двух наиболее распространенных критериев качества РЛР. Полученные АРП могут быть применены в любой системе РЛР с обработкой нормально распределенных РЛП. Кроме того, синтезированные АРП могут быть успешно использованы для обеспечения высокого качества решения задачи распознавания – измерения длины наземных объектов по азимутальным РЛП.

**Глава 4** посвящена синтезу адаптивного решающего правила совместного распознавания – измерения длины объекта. Это возможно в случаях, когда объект имеет относительно равномерное распределение удельной эффективной отражающей поверхности (ЭОП) вдоль длины. При этом возникает возможность *не только распознавания класса наблюдаемого объекта, но и измерения его длины*. Этот подход к совместному решению задачи распознавания – измерения может быть применен не только при использовании азимутального РЛП, но и при использовании по дальномерному РЛП, характеризующему распределение удельной ЭОП по радиальной протяженности объекта. При повышении разрешающей способности по соответствующей координате возникает возможность расширения перечня распознаваемых классов и измерения протяженности объекта с высокой точностью. Длина объекта может быть оценена по результатам обработки азимутального РЛП.

Предлагается вариант построения многоканальной системы распознавания-измерения (рис. 3) с обработкой азимутального РЛП, учитывающей особенности статистических моделей наземных объектов и специфику задачи измерения их азимутальной протяженности. Азимутальный РЛП формируется в радиолокационном датчике (РЛД) с обращенным синтезом апертуры при полной фокусировке. С учетом равномерного распределения удельной ЭОП вдоль длины и равномерности фона получен следующий алгоритм обработки портретов в каналах обработки:

$$Z_m^k = -N_m^k \ln(\rho + 1) + \frac{\rho}{(\rho + 1) 2\sigma_0^2} \sum_{n=1}^{N_m^k} |\xi_n|^2; \quad m = \overline{1, M_k}; \quad k = \overline{1, M}, \quad (6)$$

где  $N_m^k = N_1^k + 2(m-1)$  - количество узловых точек (элементов разрешения с отраженным сигналом) в  $m$ -м эталоне  $k$ -го канала распознавания (КР);  $N_1^k$  - количество узловых точек в первом эталоне;  $\rho = \sigma_c^2 / \sigma_0^2$  - отношение сигнал/фон;  $\sigma_c^2$  и  $\sigma_0^2$  - средняя мощность сигнальной и фоновой составляющих в элементах РЛП.

В этой системе распознавание – измерение длины осуществляется с оперативной коррекцией эталонов при изменении координат и параметров движения объекта.

Для решения задачи распознавания НО разработаны два варианта АРП с разным уровнем снижения подробности классификации. Первый вариант предполагает объединение классов в одном решении, а второй – объединение типов.

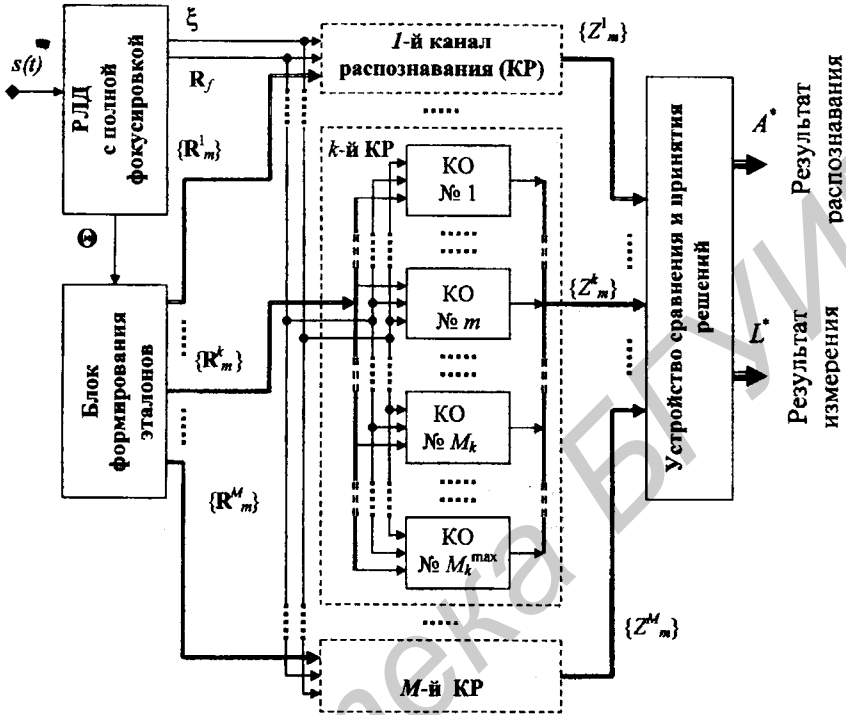


Рис. 3. Структура системы распознавания – измерения

$\{R_m^k; m = \overline{1, M_k}; k = \overline{1, M}$  - ковариационная матрица АРЛП объектов, принадлежащих  $m$ -му типу  $k$ -го класса;  $M_k$  и  $M_k^{\max}; k = \overline{1, M}$  - количество типов объектов, входящих в  $k$ -й класс в данный момент наблюдения и максимально возможное количество типов в области возможного изменения малоинформативных параметров портрета;  $Z_m^k; m = \overline{1, M_k}; k = \overline{1, M}$  - выходной сигнал  $m$ -го КО в  $k$ -м КР)

Синтез адаптивного решающего правила измерения, обеспечивающего гарантированную точность, проведен в предположении о наличии выработанного решения по классу наблюдаемого объекта. С учетом этого проще рассматривать систему распознавания – измерения в рамках одного канала распознавания-измерения, который по функциональному назначению можно назвать блоком измерения длины.

Для синтеза адаптивного решающего правила применительно к задаче измерения использован критерий 2 - апостериорная вероятность принятия правильных решений не ниже требуемого значения. Соответственно в обуженном смысле критерий синтеза адаптивного решающего правила при измерении длины формулируется следующим образом: - оценка длины объекта, получаемая на основе результатов срабатывания каналов обработки, должна формироваться с требуемой достоверностью

$P_{\text{норе}}$  при минимальном расширении доверительного интервала.

Полученное адаптивное решающее правило измерения имеет следующий вид:

$$\text{если } Z^{\max} = Z_m, \text{ то } L^* = L_m^*, \quad (7)$$

где  $Z_m$  - выходной сигнал  $m$ -го канала обработки, входящего в рассматриваемый блок измерения;  $L_m^*$  - решение о том, что длина объекта принадлежит к некоторому множеству дискретных значений  $\{I_m^0\}$  длины объектов, принадлежащих информативной группе типов  $\{I_m^0\}$  ( $m \in \{I_m^0\}$ ).

В решающем правиле (7) информативная группа  $\{I_m^0\}$  формируется таким образом, чтобы обеспечить требуемую достоверность измерения с минимальным расширением интервала длины (доверительного интервала) во множестве  $\{I_m^0\}$ .

В главе также предложен метод и соответствующий алгоритм формирования точечной оценки длины объекта в гарантируемом доверительном интервале путем взвешивания дискретных величин  $L_i$ ;  $i \in \{I_m^0\}$  на соответствующие оценочные значения апостериорных вероятностей появления этих вариантов в момент наблюдения.

Необходимо отметить, что внедрение разработанного АРП в системы распознавания – измерения длины наземных объектов позволяет гарантировать качество решения и формируемой оценки длины при контролируемом и управляемом снижении (увеличении) подробности классификации или расширении (сужении) доверительного интервала оценки. Использование такого вида адаптации обеспечивает также возможность оперативного управления параметрами фокусировки апертуры РЛД, направленного на получение требуемого качества распознавания и измерения.

Глава 5 посвящена анализу статистических показателей качества работы системы распознавания – измерения длины с АРП. Для этого разработана общая методика анализа системы распознавания с АРП, которая вместе с предлагаемой системой показателей качества может быть использована при анализе системы распознавания с любым видом алгоритма адаптации. Новая система показателей качества включает в себя вероятностные показатели и показатели потерь подробности классификации - достоверности принимаемых решений  $H_k^{**} = P(A_g \in \{I_k^0\} / Z_k^{\max}); k = \overline{1, M}$ ; условные вероятности правильного распознавания  $D_g^{**} = \sum_{i \in \{I_g^0\}} P(Z_i^{\max} / A_g); k = \overline{1, M}$  и среднее число

объединенных классов  $I_{cp}^0 = \sum_{k=1}^M I_k^0$ , где  $I_k^0$  - число классов в  $\{I_k^0\}$ .

Путем расчетов и моделирования проведен анализ эффективности системы РЛР с АРП на примере 4 классов НО при различных значениях разрешающей способности РЛД. На рис. 4 показана зависимость достоверности решений, принимаемых по байесовскому решающему правилу ( $H_k$ ;  $k = \overline{1, 4}$ ), от отношения сигнал/помеха  $\rho$ .

На рис. 5 и 6 представлены результаты исследований достоверности принимаемых решений ( $H_k^{**}$ ;  $k = \overline{1, 4}$ ) и среднего числа объединенных классов  $I_{cp}^0$  при двух значениях  $H_r$  для системы распознавания с адаптивным решающим правилом АРП-2.

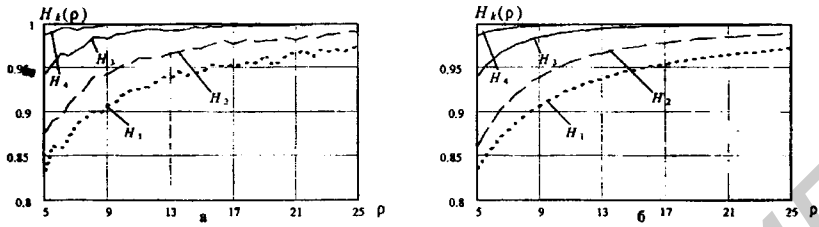


Рис. 4. Зависимость достоверности решений, принимаемых по БРП, от отношений сигнал/помеха:

а – моделирование;

б – расчет

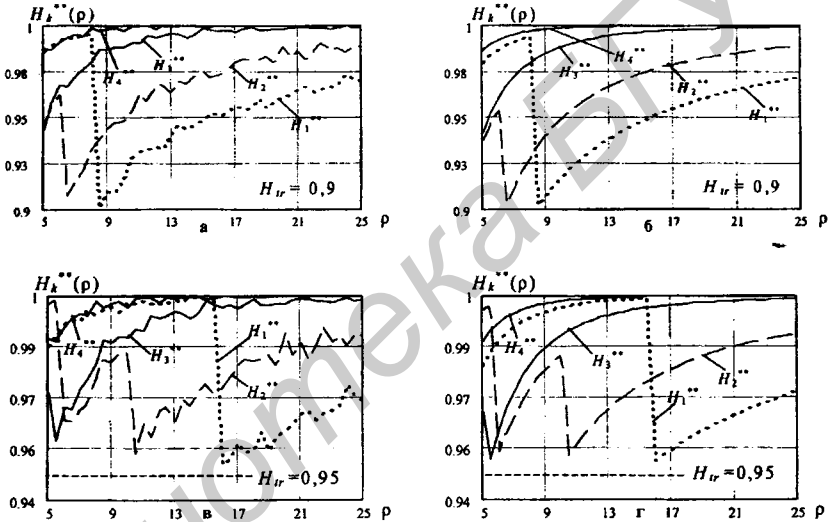


Рис. 5. Зависимость достоверности решений, принимаемых АРП от отношений сигнал/помеха:

а, в – моделирование;

б, г – расчет

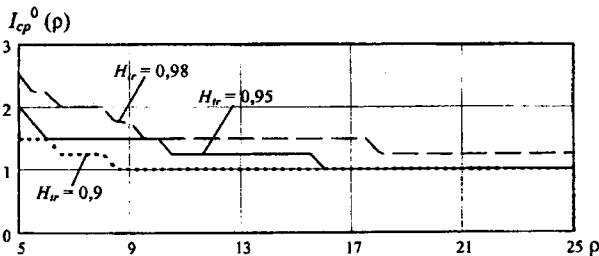


Рис. 6. Зависимость средней степени потерь подробности классификации от отношения сигнал/помеха при разных параметрах критерия качества

Результаты расчета и моделирования показывают, что по мере увеличения требуемой достоверности  $H_p$  или снижения отношения сигнал/помеха среднее число объединенных классов увеличивается, но достоверность решений, принимаемых АРП, не уменьшается ниже требуемого значения. Это является основным отличием АРП от байесовского правила. Кроме того, АРП может обеспечивать управление разрешающей способностью РЛД путем увеличения времени синтеза апертуры для повышения подробности классификации при заданной требуемой достоверности распознавания.

В этой главе рассмотрена методика и проведен анализ качества интервальных и точечных оценок длины объекта, формируемых в блоке измерения с АРП. При анализе внимание обращалось на соотношение *достоверности измерения и доверительного интервала оценки*. Кроме того, проведен сопоставительный анализ точности точечных оценок, формируемых байесовским и адаптивным правилами, с использованием отклонений *математического ожидания* (МО) оценок измеряемой величины и среднеквадратического отклонения (СКО) от истинного значения длины. Исследование проводилось на примере 9-канального блока измерения для объектов 9-ти типов одного класса. Предполагалось, что азимутальная протяженность объекта  $m$ -го типа равна  $L_m = \Delta_F N_m$ ;  $m = \overline{1,9}$ , где  $\Delta_F$  - линейная разрешающая способность на дальности объекта. Зависимость отклонений МО оценки длины от истинных значений для объектов 2-, 5-, 8-го типов ( $\Delta L_2$ ;  $\Delta L_5$  и  $\Delta L_8$ ), нормированных к значению шага фокусировки  $\Delta_F$ , показаны на рис. 7, 8.

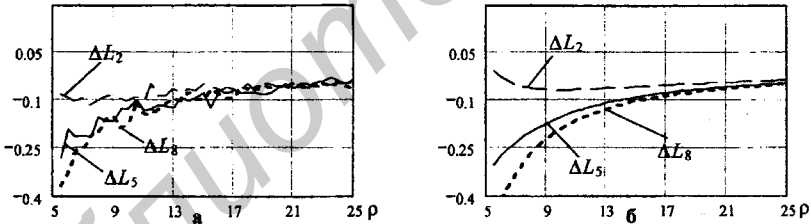


Рис. 7. Зависимость отклонения МО результатов измерения для байесовского решающего правила:

а – моделирование;

б – расчет

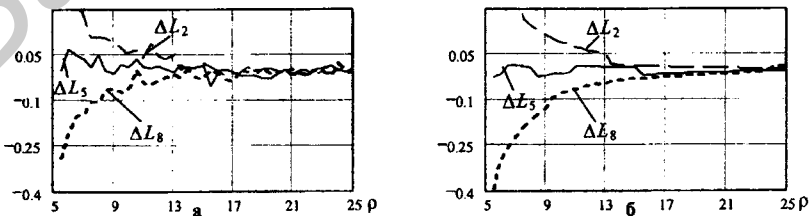


Рис. 8. Зависимость отклонения МО результатов измерения для АРП:

а – моделирование;

б – расчет

Результаты расчета и моделирования показывают, что АРП позволяет получить результаты измерения с требуемой достоверностью путем оперативной коррекции доверительного интервала. Точечные оценки, формируемые АРП, дают выигрыш в отклонение МО от измеряемой величины с сохранением СКО. Наиболее высокий выигрыш получается при измерении длины объектов в центральных каналах.

В главе 6 приведены результаты экспериментальных исследований качества работы блока измерения длины наземных объектов при обработке АРЛП. Для получения АРЛП использован экспериментальный исследовательский комплекс на базе переносной РЛС 1РЛ136. В ходе эксперимента исследованы АРЛП объектов разных классов в зависимости от ракурса наблюдения и получены результаты измерений длины объектов. На рис. 9 и 10 показаны АРЛП ( $\eta_n = |\xi_n|^2$ ;  $n = \overline{1, N}$ ) грузового автомобиля марки "Мерседес", движущегося со скоростью 19,8 м/с, и соответствующие результаты измерения при искусственном добавлении шума в портрет.

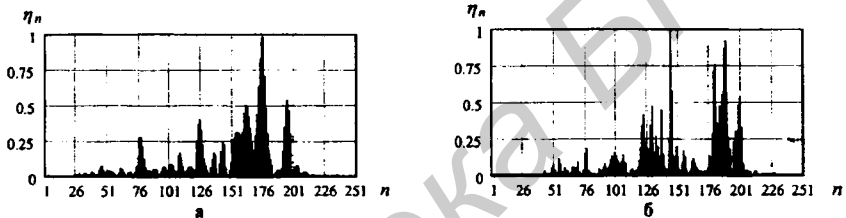


Рис. 9. АРЛП автомобиля "Мерседес":

а — при ракурсе  $\varphi = 45$  град;

б — при ракурсе  $\varphi = 55$  град

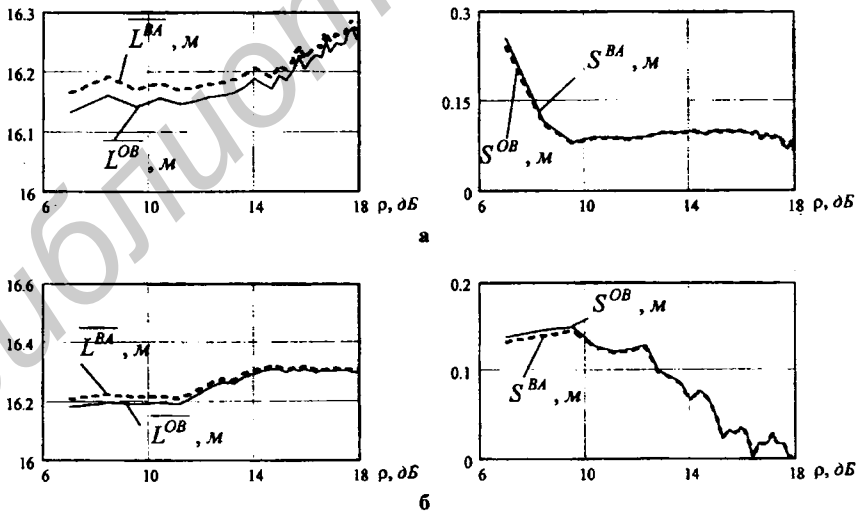


Рис. 10. Зависимости МО и СКО оценок, формируемых байесовским приемом ( $L^{OB}$  и  $S^{OB}$ ) и АРП ( $L^{BA}$  и  $S^{BA}$ ):

а — при ракурсе  $\varphi = 45$  град;

б — при ракурсе  $\varphi = 55$  град



Результаты экспериментальных исследований подтвердили, что адаптивное решающее правило измерения длины имеет более высокую эффективность по сравнению с байесовским правилом при низких отношениях сигнал/помеха. По мере увеличения отношения сигнал/помеха результаты измерений для адаптивного и байесовского решающих правил закономерно сближаются.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотрены основные подходы к решению проблемы качества с учетом специфики практических задач РЛР, и выбран перспективный путь решения этой проблемы - структурно параметрическая адаптация решающего правила [1, 2]. Приведена общая методика анализа статистических характеристик распознавания при обработке нормального распределенного портрета на коррелированном гауссовом фоне. Предложен метод вычисления условных вероятностей правильного и ложного распознавания на основе определения областей решений по статистике портретов, позволяющий получить более точные результаты с частичным устранением проблемы корреляции межканальных разностей. Его использование оправдано в случае, когда число элементов портрета и количество распознаваемых классов невелики. В других случаях такой метод также может быть применен при переходе к численному вычислению многократного интеграла. Для случая распознавания наземных объектов по азимутальным РЛП получены аналитические выражения условной плотности распределения межканальных разностей и условных вероятностей распознавания с анализом межканальной разностей. Кроме того, разработана методика расчета условных вероятностей распознавания по статистике портретов, обеспечивающая более точные результаты при небольшом объеме вычислений.

2. Рассмотрен общий подход к синтезу адаптивного решающего правила, обеспечивающего требуемое качество решений, и определены для использования наиболее распространенные требования к качеству РЛР. Разработаны алгоритмы АРП для двух критериев качества [3]:

- критерий 1 – *условные вероятности правильного распознавания должны быть не ниже требуемых значений;*
- критерий 2 – *апостериорная вероятность принятия правильных решений должна быть не ниже требуемого значения.*

В полученных алгоритмах АРП требования к качеству выполняются за счет снижения подробности классификация или затягивания процедуры распознавания. Во многих практических задачах РЛР ошибочные распознавания могут вызывать серьезные последствия. Использование таких видов решающих правил позволяет повысить эффективность РЛР за счет исключения ошибочных решений и более оперативного управления процедурой распознавания. Рассмотрен способ внедрения АРП правила в многоканальные системы РЛР с сохранением их оригинальных конструкций.

В ходе синтеза АРП получены приближенные формулы расчета условных вероятностей срабатывания каналов, значительно облегчающие задачу адаптации при теоретическом решении и практической реализации. В результате частично решается

проблема времени расчета и быстродействия вычислительных средств.

С учетом особенности статистических моделей азимутальных РЛП, полученных в РЛД с полной фокусировкой апертуры антенны, разработаны алгоритмы АРП для задач распознавания и измерения длины наземных объектов. Эти алгоритмы позволяют практически исключить ошибки распознавания объектов и получить оценку длины объекта с требуемой достоверностью. При этом эффективность АРП обеспечивается за счет оперативного управления подробностью классификации в задаче распознавания и величиной доверительного интервала оценок в задаче измерения. Кроме того, предлагается метод формирования точечных оценок, основанный на весовой обработке с использованием оценок апостериорных вероятностей вариантов измерений и позволяющий уменьшить ошибки измерения.

3. Разработана методика анализа системы РЛР с адаптивным решающим правилом [5] и предложена новая система показателей качества распознавания с учетом потерь подробности классификации за счет объединения классов в одном решении. Расчетным методом, путем статистического моделирования и экспериментально исследована работоспособность АРП в системе РЛР и блоке измерения длины наземных объектов при обработке азимутальных РЛП на равномерном гауссовом фоне. Полученные результаты подтвердили возможность обеспечения требований к качеству распознавания и измерения разработанными алгоритмами адаптации решающих правил. Результаты исследования математического ожидания и среднего квадратичного отклонения в зависимости от отношения сигнал/помеха показывают, что АРП в отличие от байесовского правила обеспечивает устойчивое гарантированное качество в сложной помеховой обстановке.

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ****Статьи и материалы конференций**

1. Гейстер С.Р., Нгуен Н.Х. Информационные показатели и структурная адаптация решающего правила радиолокационного распознавания// Радиолокация, навигация, связь: Докл. VIII Междуна. науч. конф., Воронеж, 15-18 апр. 2002 г./ Воронеж, 2002. – С. 1862-1868.

2. Гейстер С.Р., Нгуен Н.Х. Решающее правило радиолокационного распознавания со структурно параметрической адаптацией// Электромагнитные волны и электронные системы. – 2002. – Т. 7, № 6. – С. 75-79.

3. Нгуен Н.Х., Гейстер С.Р. Синтез адаптивного решающего правила системы распознавания, обеспечивающего требуемое качество решений// Докл. БГУИР. – 2003. – Т. 1, № 1. – С. 43-46.

4. Нгуен Н.Х., Гейстер С.Р., Чугай К.Н. Исследование статистических мешающих отражений от объемно распределенных отражателей// Изв. Белорус. Инж. Акад. – Мн., 2002. – Спец. вып. 1(13)/2. – С. 252 – 254.

5. Нгуен Н.Х., Чугай Н.К. Методика анализа системы распознавания с адаптивным решающим правилом// Докл. БГУИР. – 2003. – Т. 1, № 1. – С. 47-50.

**Тезисы докладов**

6. Чугай К.Н., Гейстер С.Р., Н.Х. Нгуен. Анализ влияния и учет параметров мешающих отражений в алгоритмах обработки радиолокационных портретов// Тез. докл. воен.-науч. конф. ВА РБ. 26-27 март. 2002 г. – Мн.: ВА РБ, 2002. – С. 14.



**РЭЗЬЮМЭ**  
**Нгуэн Хоанг Нгуэн**

**СТРУКТУРНА-ПАРАМЕТРЫЧНАЯ АДАПТАЦЫЯ РАШАЮЧАГА ПРА-  
ВІЛА СІСТЭМЫ РАСПАЗНАВАННЯ – ВЫМЯРЭННЯ**

*Ключавыя словы:* радыёлакацыйнае распазнаванне, радыёлакацыйнае вымярэнне, рашаючае правіла, структурна - параметрычная адаптацыя, малаінфарматыўныя параметры радыёлакацыйнага партрэта.

*Аб'ектам даследавання* з'яўляецца сістэма радыёлакацыйнага распазнавання з многаканальнай апрацоўкай нармальна размеркаваных партрэтаў на гаусавым фоне. Прадметам даследавання з'яўляюцца алгарытмы, якія забяспечваюць структурна-параметрычную адаптацыю рашаючых правілаў распазнавання і вымярэння даўжыні наземных аб'ектаў.

*Метадологія і метады правядзення даследаванняў.* Для рашэння задач дысертацыйнай работы прымяняліся метады матэматычнай статыстыкі, элементы тэорыі статыстычнай радыётэхнікі, тэорыі прыняцця рашэнняў і статыстычнага мадэлявання, а таксама тэорыі радыёлакацыйнага распазнавання.

*Мэтай работы* з'яўляецца сінтэз і аналіз рашаючых правілаў распазнавання-вымярэння даўжыні аб'ектаў са структурна-параметрычнай адаптацыяй, якія дазваляюць забяспечыць найбольш распаўсюджаныя патрабаванні да якасці радыёлакацыйнага распазнавання – вымярэння.

*Атрыманыя вынікі.* У ходзе рашэння задачы дысертацыйнай работы былі атрыманы наступныя вынікі:

- распрацаваны метадыкі статыстычнага сінтэзу алгарытмаў структурна-параметрычнай адаптацыі рашаючых правілаў распазнавання і вымярэння даўжыні наземных аб'ектаў;
- распрацавана адаптыўнае рашаючае правіла сістэмы распазнавання і алгарытмы адаптацыі, якія забяспечваюць выкананне крытэрыя якасці: *умоўныя імавернасці правільнага распазнавання не ніжэй патрэбных значэнняў*;
- распрацавана адаптыўнае рашаючае правіла сістэмы распазнавання і алгарытмы адаптацыі, якія забяспечваюць выкананне крытэрыя якасці: *верагоднасць прымаемых рашэнняў не ніжэй патрэбнага значэння (апастэрыорная імавернасць прыняцця правільных рашэнняў не ніжэй патрэбных значэнняў)*;
- распрацавана адаптыўнае рашаючае правіла распазнавання – вымярэння даўжыні наземных аб'ектаў і алгарытмы адаптацыі;
- праведзены аналіз статыстычных характарыстык сістэмы распазнавання-вымярэння даўжыні наземнага аб'екта з адаптыўным рашаючым правілам;
- праведзены эксперыментальныя даследаванні распрацаваных алгарытмаў распазнавання – вымярэння даўжыні наземнага аб'екта з адаптыўным рашаючым правілам і атрыманы ацэнкі паказчыкаў якасці работы.

**РЕЗЮМЕ**  
**Нгуен Хоанг Нгуен**

**СТРУКТУРНО – ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ РЕШАЮЩЕГО  
ПРАВИЛА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ – ИЗМЕРЕНИЯ**

**Ключевые слова:** радиолокационное распознавание, радиолокационное измерение, решающее правило, структурно - параметрическая адаптация, малоинформативные параметры радиолокационного портрета.

**Объектом исследования** является система радиолокационного распознавания с многоканальной обработкой нормально распределенных портретов на гауссовом фоне. Предметом исследования являются алгоритмы, обеспечивающие структурно - параметрическую адаптацию решающих правил распознавания и измерения длины наземных объектов.

**Методология и методы проведения исследований.** Для решения задач диссертационной работы применялись методы математической статистики, элементы теории статистической радиотехники, теории принятия решений и статистического моделирования, а также теории радиолокационного распознавания.

**Целью работы** является синтез и анализ решающих правил распознавания-измерения длины объектов со структурно параметрической адаптацией, которые позволяют обеспечить наиболее распространенные требования к качеству радиолокационного распознавания – измерения.

**Полученные результаты.** В ходе решения задачи диссертационной работы были получены следующие результаты:

- разработаны методики статистического синтеза алгоритмов структурно-параметрической адаптации решающих правил распознавания и измерения длины наземных объектов;
- разработано адаптивное решающее правило системы распознавания и алгоритмы адаптации, обеспечивающие выполнение критерия качества: *условные вероятности правильного распознавания не ниже требуемых значений*;
- разработано адаптивное решающее правило системы распознавания и алгоритмы адаптации, обеспечивающие выполнение критерия качества: *достоверность принимаемых решений не ниже требуемого значения (апостериорная вероятность принятия правильных решений не ниже требуемого значения)*;
- разработано адаптивное решающее правило распознавания – измерения длины наземных объектов и алгоритмы адаптации;
- проведен анализ статистических характеристик системы распознавания - измерения длины наземного объекта с адаптивным решающим правилом;
- проведены экспериментальные исследования разработанных алгоритмов распознавания – измерения длины наземного объекта с адаптивным решающим правилом исследования и получены оценки показателей качества работы.

**THE SUMMARY**  
**Nguyen Hoang Nguyen**

**STRUCTURAL PARAMETRICAL ADAPTATION OF A DECISIVE RULE OF  
 RECOGNITION MEASUREMENT SYSTEM**

**Key words:** radar recognition, radar measurement, radar portrait, decisive rule, structural parametrical adaptation; low-informative parameters of a radar portrait.

**The object of the research (investigation)** is the radar recognition system using multichannel processing of normally distributed portraits at a Gaussian background.

**The subject of the research** are the algorithms ensuring structural parametrical adaptation of decisive rules of ground objects recognition and length measurement.

**The methodology and methods of realization of researches** To solve the problems of the thesis, mathematical statistics methods, elements of statistical radioengineering theory, elements of resolution and statistic modeling theory as well as elements of radar recognition theory were used.

**The purpose of the work** is the synthesis and analysis of decisive rules of recognition and measurement of objects length using structural parametrical adaptation that enable providing most widely spread requirements to radar recognition measurement quality.

**The obtained results.** In the course of solving the problem of the thesis the following results were obtained:

- methods of statistical synthesis of algorithms of structural parametrical adaptation of decisive rules of ground objects recognition and length measurement were developed;
- an adaptive decisive rule of a recognition system and algorithms of adaptations providing carrying out quality criterion – “*conditional probabilities of correct recognition not lower than the required values*” were developed;
- an adaptive decisive rule of a recognition system and algorithms of adaptations providing carrying out quality criterion – “*authenticity of accepted decisions not lower than the required values (aposteriori probability of talking correct decisions not lower than the required values)*” were developed;
- an adaptive decisive rule of ground objects recognition and length measurement and adaptation algorithms were developed;
- the analysis of the statistical characteristics of system of ground objects recognition and length measurement using an adaptive decisive rule were made;
- experimental tests of developed algorithms ground objects recognition and length measurement using adaptive resolution rule of research were conducted and ratings of work quality were got.

**Нгуен Хоанг Нгуен**

**СТРУКТУРНО - ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ РЕШАЮЩЕГО  
ПРАВИЛА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ – ИЗМЕРЕНИЯ**

**Специальность 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства  
радионавигации, радиолокации и телевидения**

**Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

---

Подписано в печать 23.05.2003.	Формат 60×84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,4.
Уч.- изд. л. 1,2.	Тираж 80 экз.	Заказ 282.

---

Полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
“Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”  
Лицензия ЛП №156 от 30.12.2002.  
220013, Минск, ул. П. Бровки, 6