

УДК 621.396.969: 681.884

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОРСКИХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО ВЕРОЯТНОСТНЫМ КРИТЕРИЯМ КАЧЕСТВА

К. т. н. В. В. Орлов, В. Е. Лысенко

Одесская национальная морская академия
Украина, г. Одесса
orlov-vv@yandex.ru

Рассмотрен подход к проектированию адаптивных цифровых локационных систем с оценкой риска принимаемых решений. Исследуются зависимости вероятностей ошибок от параметров систем обнаружения и распознавания: числа каналов, объема обучающей выборки и разрядности.

Ключевые слова: обнаружение, распознавание, риск, адаптация, разрядность.

Необходимость повышения безопасности и эффективности водного транспорта требует постоянного развития навигационного обеспечения. В связи с этим, на последних сессиях Комитета Международной морской Организации по безопасности на море принято решение о необходимости продолжения разработки стандартов, основанных на уровнях безопасности, использующих вероятностный подход с оценкой рисков [1]. Кроме того, вступление в силу Кодекса по охране судов и портовых средств и по обеспечению безопасности мореплавания (ISPS) и Кодекса по управлению безопасной эксплуатацией судов сделало оценку рисков неотъемлемой частью мероприятий по обеспечению безопасности [2].

Особенностью процессов в судовых автоматизированных системах является функционирование в условиях неопределенности в виду стохастического характера возмущений внешней среды, ошибок операторов, отказов и поломок механизмов. При этом свойства технических средств конкретизируются на основе международных и национальных документов в виде числовых значений или в виде интервалов допустимых значений параметров [2]. На этапах разработки судовых компьютеризированных систем радиолокации, гидроакустики и звуколокации применяются методы имитационного моделирования, позволяющие определить вероятности ошибок для типовых сигнально-помеховых обстановок. Однако не решены вопросы аналитического расчета вероятности ошибок по измеряемым параметрам входного процесса для расчета риска в процессе принимаемых решений.

Целью настоящей работы является разработка подхода к построению компьютеризированных систем с контролируемой достоверностью принятия решений и методов анализа вероятностных характеристик, синтеза и оптимизации адаптивных систем обнаружения и распознавания (АСО и АСР) для различных моделей сигналов.

Схема процесса обработки информации в компьютеризированной локационной системе для решения задач мониторинга контролируемой зоны показана на рис. 1. Здесь применяется распределенная сеть датчиков для приема сигналов в условиях помех, порождающих ошибки. Дополнительные ошибки возникают в блоке адаптивной цифровой обработки сигналов (ЦОС) из-за конечной разрядности B данных и погрешностей оценок неизвестных параметров помех, полученных по ограниченному объему K обучающей выборки. Отсутствие информации о влиянии этих факторов приводит к непредсказуемому изменению достоверности решений АСО и АСР, определяемой вероятностями ошибок. Операторное решение осуществляется на основе информации, поступившей из АСО и АСР, в которых принято одно (i -е) из $0, \dots, M$ решений об отсутствии удаленного объекта ($i=0$) или о его наличии и отнесении к одному из классов ($i > 1$). Достоверность принимаемых решений контролируется оценками вероятности ошибок p_{ij} , которые вычисляются на основе параметров АСО и АСР (порог обнаружения, отношение сигнал/помеха и др.) по разрабатываемым расчетным соотношениям.

Из ансамбля возможных решений и соответствующих им вероятностей ошибок определяется решение, доставляющее минимальный риск оператора

$$\Delta_i = \min_{i=1, \dots, M} \sum_{j=0}^M \Pi_{ij} p_{ij} \quad (1)$$

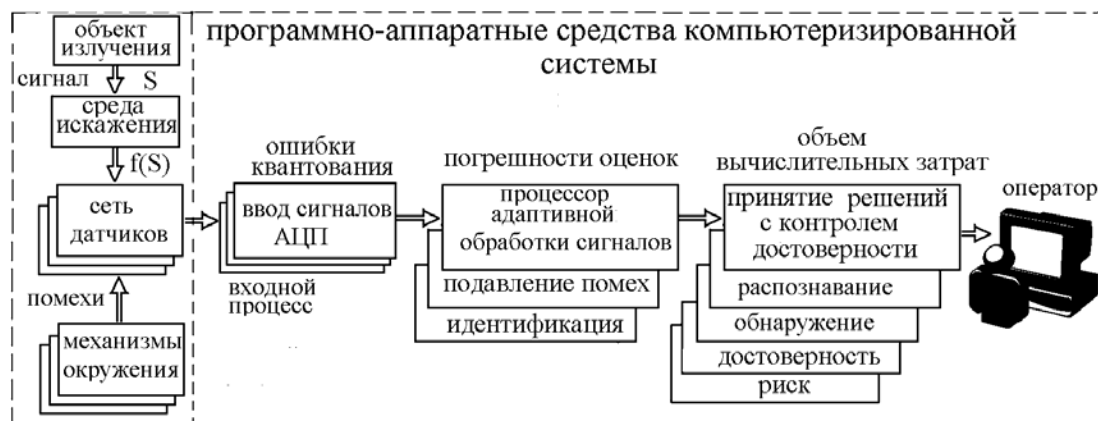


Рис. 1. Схема процесса обработки информации в системе обнаружения и распознавания сигналов

по байесовому критерию [3]. Платы Π_{ij} за ошибки принятия i -го решения при j -м состоянии объекта опосредствованы в виде должностных инструкций и уставных рекомендаций оператору, выработанных на основе экономического мониторинга по результатам аварий и убытков от неверных решений, полученных за период эксплуатации судов в аналогичных ситуациях.

При полностью известных параметрах сигнально-помеховой обстановки возможен синтез оптимальной системы, для которой достигается потенциальная эффективность (в отсутствии ошибок адаптации и квантования). При этом потенциально достижимая вероятность ошибки $p_{ij}(N, M)$ зависит от количества проверяемых гипотез M (определяющих многоканальную структуру системы) и размера системы N (число датчиков при пространственной обработке или размер фильтра при временной обработке), совокупность которых определяет также объем вычислительных затрат $f(N, M)$ или сложность компьютеризированной системы. На рис. 2, а и б представлены зависимости вероятности ошибки обнаружения $p_{ij}(N, M)$ (вероятности ложной тревоги при фиксированном пороге обнаружения) и объема вычислительных затрат $f(N, M)$ системы многоканального обнаружения, основанной на линейной оптимальной фильтрации (пример обнаружения известного сигнала на фоне известной помехи с гауссовой формой корреляционной функции и отношением помеха/шум 30 дБ).

В отсутствии информации о параметрах сигнально-помеховой обстановки проводится адаптация системы на конечном интервале K путем оценивания неизвестных параметров помех, что приводит к увеличению вероятности ошибки до величины $p_{ij}(N, M, K)$. При цифровой реализации адаптивной системы возникают дополнительные погрешности и возрастание вероятностей ошибок до $p_{ij}(N, M, K, B)$, что связано с конечной разрядностью вычислительных средств. На рис. 2, в и г представлены зависимости вероятностей ошибки соответственно с учетом адаптации и разрядности адаптивных систем, применяемых при оценивании параметров помех, где δp_{ij} — парциальное приращение вероятности по параметрам K или B , определяющим погрешности, соответственно, оценивания или квантования. Из анализа зависимостей, представленных на рис. 2, следует, что увеличение сложности системы N, M приводит к уменьшению потенциально достижимой вероятности ошибки $p_{ij}(N, M)$ оптимальной системы, но при этом могут возрастать вероятности ошибок $p_{ij}(N, M, K)$ адаптивной системы и $p_{ij}(N, M, K, B)$ цифровой адаптивной системы (при фиксированных K и B), а также стоимость вычислительных ресурсов.

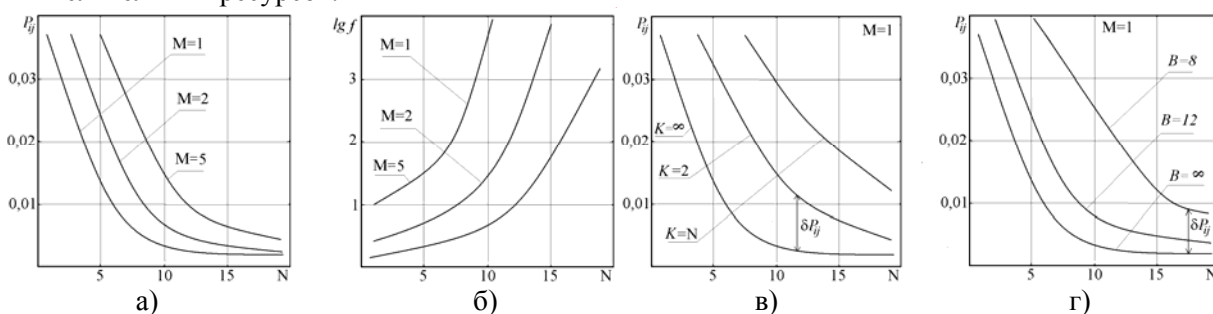


Рис. 2. Критериальные зависимости вероятности ошибки обнаружения (а); объема вычислительных затрат (б); адаптации (в); разрядности (г) от размера системы многокритериального обнаружения

В связи с этим, предлагается проводить оптимизацию адаптивных систем обнаружения и распознавания по критерию среднего риска при ограниченном объеме вычислительных затрат $f(N, M)$ на основе выбора оптимальных параметров N, K, B системы для минимизации риска

$$\Delta = \min_{N, K, B} \sum_{i=0}^M \Delta_i, \quad \text{при } f(N, M) = \text{const}, \quad (2)$$

где $\Delta_i = \sum_{j=0}^M \Pi_{ij} p_{ij}$ — риск i -го решения; $f(N, M) = a_{\times} N_{\times} + a_{+} N_{+} + a_{\Phi\Pi} N_{\Phi\Pi} + a_{O3Y} N_{O3Y}$ — объем вычислительных затрат, включающий число операций умножения N_{\times} , сложения N_{+} , функциональных преобразователей $N_{\Phi\Pi}$ и размер памяти N_{O3Y} с весами $a_{\times}, a_{+}, a_{\Phi\Pi}, a_{O3Y}$, определяющими стоимость аппаратной реализации или быстроедействие при программной реализации.

При фиксированных платах за ошибки предлагаемый подход состоит в декомпозиции риска путем минимизации каждой из вероятностей ошибок. Тогда синтез и оптимизация систем проводится для всех вероятностей ошибок p_{ij} , каждая из которых представлена суммой парциальных приращений вероятности

$$p_{ij} = \min_{N, K, B} p_{ij}(N, M) + \partial p_{ij}(N, M, K) + \partial p_{i,j}(N, M, K, B), \quad i, j = 0, \dots, M, \quad (3)$$

где $p_{ij}(N, M)$ — потенциальная вероятность ошибки оптимальной системы заданной сложности N, M , достижимая в случае известных параметров сигнально-помеховой обстановки, при отсутствии адаптации и аппаратных ошибок компьютеризированных систем;

$$\partial p_{ij}(N, M, K) = p_{ij}(N, M, K) - p_{ij}(N, M) \quad (4)$$

— приращение вероятности ошибки, обусловленное процессами адаптации по обучающей выборке объема K ;

$$\partial p_{i,j}(N, M, K, B) = p_{i,j}(N, M, K, B) - p_{i,j}(N, M, K) \quad (5)$$

— приращение вероятности ошибки, обусловленное ограниченной разрядностью B цифровой системы.

Таким образом, предложенный критерий оптимизации с ограничениями (2) и показатели достоверности в виде вероятностей ошибок (3) позволяют определить приемлемые значения приращений вероятностей (4), (5) путем выбора объема обучающей выборки и разрядности, которые обеспечивают допустимые границы достоверности принимаемых решений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 года с поправками (МППСС-72), — СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2010.
2. Международный кодекс по охране судов и портовых средств (Кодекс ОСПС), 2-е издание, исправленное и дополненное.— СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2009.
3. Репин В. Г., Тартаковский Г. П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. — Москва: Сов. радио, 1977.

V. V. Orlov, V. E. Lisenko

Design of the marine radar systems on the probabilistic quality criteria.

The paper focuses on an approach to the adaptive digital radar systems design with the estimation of decision-making risk. The authors study dependences of error probability on the parameters of the detection and recognition systems: number of channels, learning sample size and the capacity.

Keywords: *detection, recognition, risk, adaptation, bit.*