Список литературы

Precision attitude determination and control using gyros and earth sensor. Raja-ram S., Selby V.H., Fowler R.Z. - AIAA Pap. - 1986. - N: 249.

УДК 629.7.05: 621.391

Ю.Н.Тарасов, Ю.А.Усачев

СИНТЕЗ ЭФФЕКТИВНОГО КОМБИНИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Задача обнаружения сигналов почти всегда решается при отсутствии информации об их интенсивности и может быть сформулирована во многих случаях как задача обнаружения квазидетерминированных сигналов $A_{m1}S_0(t)$ неизвестной амплитуды A_{m1} на фоне случайной помехи $n(t)$. Среди множества способов преодоления параметрической априорной неопределенности наиболее радикальными являются классические методы, основанные на принципах несмещенности, инвариантности и подобия, и адаптивный подход. Качественный анализ соответствующих этим направлениям критериев оптимальности Неймана-Пирсона (Н-П) и байесовского критерия миминимума полной вероятности ошибки (БК) показывает, что стратегия Н-П δ_γ^N, наиболее часто используемая в приложениях, слишком консервативна в силу независимости ее решения от изменения амплитуд A_{m1} обнаруживаемых сигналов. Поэтому полная вероятность ошибки $P_e(\delta_\gamma^{N*};A_{m1})$ несмещенного правила δ_γ^{N*}, оптимального согласно обобщенного критерия Н-П /1/, не может быть меньше вероятности ошибки $P_e(\delta_\gamma^{B*};A_{m1})$ БК, оптимального в смысле минимума P_e для полностью известного сигнала, для каждого значения A_{m1} так, что

$$P_e(\delta_\gamma^{B*};A_{m1}) = \inf_{\gamma\in(\delta_\gamma^N)} P_e(\delta_\gamma^{N*};A_{m1}),$$

где (δ_γ^N) - множество решающих правил, для которых вероятность ошибки $P_F \leq P_F^1 = const$.

Кроме того, оценка адекватности критерия Н-П условиям обстановки в различных приложениях свидетельствует о том, что в сложных системах, использующих вторичную и последующую обработку информации, соответствующее этому критерию традиционное соотношение ($C_\alpha \ll C_\beta$) между стоимостью ошибок первого C_α и второго C_β рода может оказаться неправомерным даже в случае обнаружения сигналов с малой априорной вероятностью появления ($P_s \ll 1$). При системном проектировании более корректный выбор стоимостей C_α, C_β может обеспечить гибкая байесовская стратегия /2/, которая в условиях априорной неопределенности принципиально реализуется с помощью адаптивного правила решения δ^{a}_{γ}. Однако известно /3/, что при организации адаптивной процедуры на неклассифицированной выборке z^n, оптимальный алгоритм обнаружения δ^{a*}_{γ} зависит от ее размера n и потому не может быть реализован.

В рассматриваемой ситуации в качестве стратегии обнаружения, обладающей эффективностью решения, близкой к оптимальной в смысле минимума вероятности P_e, целесообразно использовать неоднородную стратегию. Она должна базироваться на альтернативном применении обоих правил решения: Н-П δ^{N*}_{γ} и адаптивного БК δ^{a}_{γ}. Граница применимости каждого из этих правил ищется на интервале возможных значений параметра обнаружения d. При этом очевидно, что правило δ^{N*}_{γ} будет гарантировать меньший риск обнаружения при малых, а правило δ^{a}_{γ} - при относительно больших значениях d. Тогда комбинированное решающее правило, представляющее выбранную стратегию, можно записать в виде

$$\delta^{C}_{\gamma} \triangleq \delta^{C}_{\gamma}[z(t)] = \begin{cases} \delta^{N*}_{\gamma}, & P_e(\delta^{a}_{\gamma};A_{m1}) \geq P_e(\delta^{N*}_{\gamma};A_{m1}), \\ \delta^{a}_{\gamma}, & P_e(\delta^{a}_{\gamma};A_{m1}) < P_e(\delta^{N*}_{\gamma};A_{m1}). \end{cases} \qquad (1)$$

Для нахождения структурной схемы алгоритма (1) необходимо конкретизировать его адаптивную составляющую δ^{a}_{γ}. Анализ известных практических методов самообучения /3/ приводит к квазиоптимальному алгоритму обнаружения с решающей обратной связью и правилом, использующим точечную оценку $\hat{A}_{m1}$ неизвестной амплитуды A_{m1} вместо ее истинного значения. В этом случае структурная схема алгоритма δ^{C}_{γ} обнаружения сигналов $A_{m1}S_0(t)$ на фоне белого гауссовского шума $n(t)$ со спектральной плотностью мощности N_0 принимает вид (рис.1).

Задача параметрического синтеза алгоритма δ^{C}_{γ} может быть сформулирована как задача нахождения граничного значения d_B параметра d_1, разделяющего области эффективного применения несмещенного δ^{N*}_{γ} и адаптивного δ_γ^{a} правил обнаружения. Вследствие сложности взаимодействия операций обнаружения сигналов $A_{mi}S_o(t)$ и изменения их амплитуд A_{mi} в самообучающемся алгоритме δ_γ^{a} с обратной связью, расчет действительной (условной) полной вероятности ошибки $P_e(\delta_\gamma^{a}, \hat{A}_{mi}^{dd}; A_{mi})$ возможен только в

Структурная схема комбинированного правила

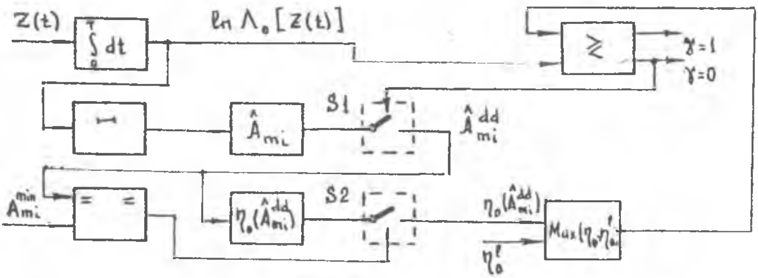

Рис.1

асимптотике численными методами на ЭВМ /3/. В частности, использование метода итерации позволяет рассчитать не только искомые характеристики эффективности адаптивного алгоритма δ_γ^{a}, но и исследовать условия его вырождения в зависимости от различных C_α, C_β, P_s, P_o и величины смещения $b(\hat{A}_{mi}^{dd})$ оценок $\hat{A}_{mi}^{dd}$, которая в конечном счете определяется значением параметра d_1.

Анализ результатов расчета характеристик эффективности адаптивного алгоритма δ_γ^{a}, проведенный в рамках решения задачи обнаружения точечных объектов ($P_s=10^{-4}$) систем астроориентации и навигации летательных аппаратов, показывает следующее. Несостоятельность "усеченных" оценок $\hat{A}_{mi}^{dd}$ и связанное с ней ухудшение качества работы алгоритма δ_γ^{a} ощутимы лишь при значениях d_1, весьма близких по величине к значениям из области неустойчивости. Поэтому использование несмещенного правила в комбинированном алгоритме δ_γ^{c} диктуется, по существу, необходимостью получения устойчивых решений в области малых d_1, где происходит вырождение адаптивной процедуры δ_γ^{a}. В рассмотренной ситуации приема редких ($P_s \ll 1$) сигналов и широкого диапазона соотношений между стоимостями ошибок C_α, C_β область значений отношения сигнал/шум d_1, которая обеспечивает эффективность адаптивного алгоритма δ_γ^{a}, практически эквивалентную эффективности алгоритма δ_γ^{B*}, оптимального для полностью известного сигнала, лежит в диапазоне величин $d_i > d_в = 6-9$, если граничное значение $d_в$ находится из условия проигрыша алгоритма δ_γ^a оптимальному $\delta_\gamma^{в*}$ менее 3%.

Установленные значения $d_в$ позволяют вычислить величину A_{m1} и пороговую константу η_o^1 комбинированного алгоритма обнаружения δ_γ^C, и таким образом, осуществить его параметрический синтез. Соответствующая этому алгоритму функция управления порогом $\eta(d)$ представлена на рис.2, где правые ветви пересечения байесовских зависимостей с горизонтальными штриховыми прямыми являются частью функции управления порогом комбинированного алгоритма, соответствующей адаптивной стратегии. Штриховые левые участки соответствуют стратегии Н-П. Важно отметить, что полученный алгоритм может применяться не только в задачах обнаружения, но и оптимального совместного правила обнаружения-измерения /3/. При этом общим условием является априорная неопределенность амплитуд сигналов и их присутствие с $P_s < 1$.

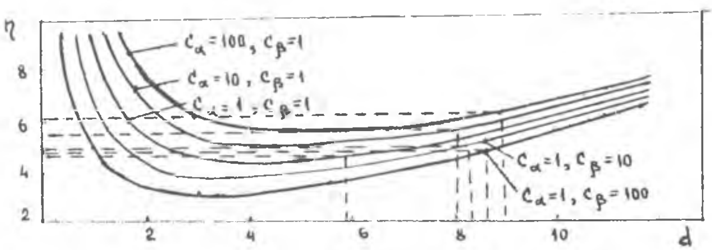

Рис.2

Список литературы

1. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи: В 2-х томах. Т. 1. Пер. с англ. - М.: Сов.радио, 1962.

2. Тарасов Ю.Н., Усачев Ю.А. Определение оптимальной процедуры обработки измерительной иоформации в ОЭС роботов в соответствии с заданным качеством идентификации //Автоматическое управление и устройства в РоТС: Тем. сб. научн. тр. -Челябинск: ЧПИ, 1986.

3. Миленький А.В. Классификация сигналов в условиях неопределенности. М.: Сов. радио, 1975. - 227 с.