ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены простейшие гауссовские задачи обнаружения и различения сигналов. Эти задачи связаны с независимой конечной выборкой наблюдений. Полезный сигнал приводит к появлению сдвигов параметров гауссовской плотности вероятности. Априорная неопределенность касается значений параметров плотностей, поэтому является *параметрической*.

Неизвестный сдвиг плотности является *существенным* и *значимым* параметром, влияющим как на алгоритм обработки, так и на качество обнаружения. При неизвестном знаке сдвига алгоритм становится двупороговым. Для байесовских критериев обнаружения оптимальные пороги, минимизирующие вероятность ошибки, существенно зависят от возможных значений сдвига. Как правило, их значения нельзя сделать постоянными и универсальными для практически важного диапазона изменений сдвига, т. е. для всех интересующих значений входного отношения сигнал/шум. Характеристики байесовских обнаружителей с постоянным порогом чувствительны к значению сдвига, что является нежелательным свойством.

Повысить устойчивость алгоритма обнаружения/различения удается с использованием байесовского подхода, при котором сдвиг плотности считается случайной величиной, и может быть описан априорной плотностью вероятности. Соответствующий алгоритм будет двупороговым, при этом пороги несимметричны, и их несимметрия зависит от априорной информации. Байесовский подход позволяет установить связь между степенью априорной неопределенности в задании значения сдвига и значениями оптимальных байесовских порогов, и позволяет проследить плавный переход от структур с двусторонними порогами к однопорговым по мере роста априорной точности задания сдвига.

Байесовский подход приводит к использованию «сжимающей» оценки неизвестного сдвига, которая взвешивает априорную информацию и вновь поступающие наблюдения. При высокой априорной точности оценка «сжимается» к известному априорному среднему. Байесовский подход дает способ управления порогами для построения адаптивной структуры обнаружителя/различителя, в которой параметрами адаптации выступают априорное математическое ожидание сдвига и априорная точность задания сдвига, или коэффициент сжатия оценки. Подход также позволяет установить связь между односторонним и двусторонним порогами и упорядочить ситуации с неизвестным сдвигом распределения по степени априорной неопределенности. Крайними случаями являются полностью известное значение и случайная величина с бесконечной дисперсией.

Для критерия Неймана–Пирсона значение сдвига распределения (при известном знаке) не существенно, т. е не влияет на значение порога. Неизвестная дисперсия распределения существенна и весьма значима, ее изменения при постоянном пороге влияют как на вероятность ложной тревоги, так и на вероятность правильного обнаружения. Использование инвариантной статистики Стьюдента позволяет не только избавиться от мешающего

параметра и обеспечить *подобие* алгоритма, но и получить равномерно наиболее мощный *несмещенный* алгоритм обнаружения. При неизвестном знаке сдвига алгоритм становится двупороговым.

Алгоритм обнаружения/различения использует эффективную оценку неизвестной дисперсии, при этом потери по сравнению со случаем известного параметра невелики, если число выборок превышает 30. Структура алгоритма может быть представлена в виде обнаружителя с адаптивным порогом, когда для адаптации (оценивания неизвестной дисперсии) используется исходная (контрольная) выборка.

В более общей постановке задачи для оценивания неизвестных параметров и адаптации используются классифицированные обучающие выборки, соответствующие различным гипотезам. Адаптивный алгоритм способен самостоятельно определить знак сдвига, поэтому оказывается однопороговым. Его характеристики стремятся к характеристикам для полностью известной ситуации, если число обучающих выборок достаточно велико, обычно более 100. Адаптация возможна и в случае неклассифицированной выборки, при этом алгоритм становится самообучающимся. Однако качество обнаружения/различения при самообучении существенно ниже, чем при обучении.

В случае неизвестной вероятности появления сигнала (сдвига) возможно минимаксное решение при установке порога, рассчитанное на наименее благоприятное значение неизвестной вероятности. Для критерия максимального правдоподобия минимаксный порог будет нулевым. Однако вероятность ошибки минимаксного обнаружителя может быть уменьшена применением адаптивного порога при прямом методе самообучения. Выигрыш самообучающегося обнаружителя может быть ощутимым (в два и более раз), если истинная вероятность появления сигнала отличается от 0,5.

Как пример применения *непараметрического* подхода рассмотрен знаковый обнаружитель изменения медианы распределения. Обнаружитель обладает непараметрическим свойством, т. е. обеспечивает стабилизацию вероятности ложной тревоги при изменениях вида распределения шума. Поэтому он способен решать как гауссовские, так и негауссовские задачи. Это свойство обеспечивается за счет некоторого снижения качества обнаружения по сравнению с алгоритмом, оптимальным для гауссовской задачи. При неизвестной медиане распределения используются двухвыборочные алгоритмы, потери которых еще выше.

Рассмотренные в пособии примеры не могут охватить всего спектра известных гауссовских задач обнаружения/различения. Существенное усложнение анализа дают рассмотрение коррелированной выборки, обнаружение сигналов неизвестной формы, обнаружение случайных сигналов с неизвестными параметрами. Инвариантность и адаптация реализуются особыми методами при построении рекуррентных алгоритмов и последовательных процедур обнаружения/различения сигналов в гауссовских задачах. Указанные важные области оказались вне рамок данного учебного пособия.