УДК 621.396

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОГО СЛИЧЕНИЯ СИГНАЛОВ

ФИЛАТОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ,
кандидат технических наук, доцент
БОРУКАЕВА АЛЕКСАНДРА ОЛЕГОВНА,
БЕРДИКОВ ПАВЕЛ ГЕННАДЬЕВИЧ
Студенты
факультет «Информатика и системы управления»,
кафедра «Защита информации»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аннотация: В данной статье рассмотрен способ распознавания сложных сигналов в условиях мешающих воздействий. Используемый математический аппарат основан на методе оптимального поиска Эгервари («венгерский метод»). В статье подробно расписана реализация отождествления нескольких сигналов по имеющимся параметрам, получаемым на входе приемного тракта.
Ключевые слова: сигнал, сличение, матрица, алгоритм, строб.

MATHEMATICAL APPARATUS OF MULTIALTERNATIVE COMPARISONS SIGNALS

Filatov Vladimir Ivanovich,
Borukaeva Alexandra Olegovna,
Berdikov Pavel Gennadevich

Abstract: This article describes a method for recognizing complex signals in terms of disturbing influences. As used mathematical apparatus based on the method of optimal search Egervary ("Hungarian method"). The article describes in detail the implementation painted identification of several signals over existing parameters received at the input of the receiving path.
Key words: signal, comparison, matrix, algorithm, strobe.

В практически реализуемых алгоритмах сличения радиосигналов в процессе отождествления и идентификации рассчитываются стробы возможных отклонений параметров сигнала, таких как частота, ожидаемая мощность, форма спектра и т.д., которые в последствии могут перекрывать друг друга. Для определения принадлежности данных наборов параметров к тому или иному сигналу необходимо рассчитать объединенную область (объединенный строб), включающую исходные стробы. Считается, что координатные точки, находящиеся в выделенной области, могут принадлежать к любому из попавших в полосу пропускания принятых сигналов. При наличии двух сигналов и двух наборов параметров возможны две комбинации сличения; при трех наборах число комбинаций увеличивается до шести; в общем случае при N сигналов и N наборов возможно N-факториал (Ni) комбинаций сличения [1, с. 190]. В реальной обстановке объединенный строб может включать порядка 10 и даже более пар принятых сигналов (ПС) и экстраполяционных сигналов (ЭС). В таком случае, необходимо проанализировать более трех миллионов (10!=3628800) комбинаций сличения ПСi и ЭСi. При этом для каждой комбинации следует рассчитать сумму квадратов расстояния между сличаемыми ПС и ЭС, а далее выбрать комбинацию сличения, для которой указанная сумма является минимальной.

Очевидно, что операция сличения в предложенном варианте ее выполнения связана с существенными затратами вычислительных средств. В этой связи представляют интерес методы математического программирования, которые позволяют находить минимум линейных функций конечного числа переменных [2, с. 352]. Использование методов линейного программирования применительно к многоальтернативному сличению предусматривает следующие предварительные операции:

1. Определение исходных данных, в качестве которых используются параметры ПС и ЭС, находящихся в области объединенного строба.

2. Составление матрицы L, элементами которой являются квадраты расстояний между анализируемыми ПС и ЭС:

$$L = \left\|l_{ij}^2\right\| = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \text{ЭС}_1 & \text{ЭС}_2 & \cdots & \text{ЭС}_n \end{array} \\ \left|\begin{array}{cccc} l_{11}^2 & l_{12}^2 & \cdots & l_{1n}^2 \\ l_{21}^2 & l_{22}^2 & \cdots & l_{2n}^2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ l_{n1}^2 & l_{n2}^2 & \cdots & l_{nn}^2 \end{array}\right| \end{array} \begin{array}{l} \text{ПС}_1 \\ \text{ПС}_2 \\ \cdots \\ \text{ПС}_n \end{array}$$

Выделим систему *n* независимых элементов l_{ij}^2, сумма которых является минимальной. Т.о. индексы *ij* найденных элементов l_{ij}^2 представляют наилучший, согласно критерию наименьших квадратов, вариант сличения совокупности ПС и ЭС.

Наиболее эффективным, позволяющим выделить минимизирующий выбор из матрицы является «венгерский» метод, предложенный математиком Эгервари. Путем эквивалентных логических преобразований матрицы L данный метод позволяет быстро определить элементы матрицы, которым соответствует оптимальный вариант сличения.

Имеется выборка сигнала точек портрета и точек, полученных при сканировании объекта (рис.1).

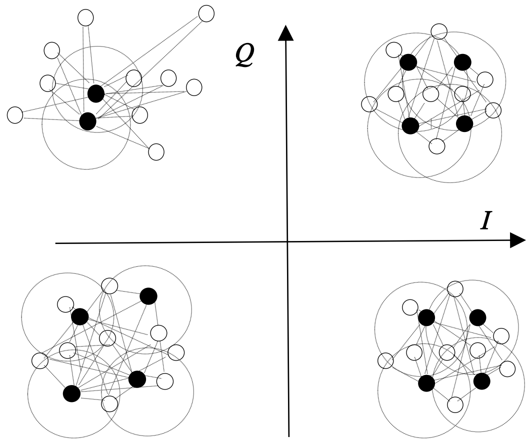

Рис.1. Сличение точек сигнала

Составим матрицу, элементами которой являются квадраты расстояний между ПС_1 и ЭС_j:

$$L = \left\|l_{ij}^2\right\| = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \text{эс}_1 & \text{эс}_2 & \text{эс}_3 & \text{эс}_{n4} \end{array} \\ \left|\begin{array}{cccc} 6 & 38 & 122 & 348 \\ 22 & 96 & 144 & 325 \\ 62 & 119 & 32 & 84 \\ 360 & 336 & 109 & 29 \end{array}\right| \end{array} \begin{array}{l} \text{ПС}_1 \\ \text{ПС}_2 \\ \text{ПС}_3 \\ \text{ПС}_4 \end{array}$$

Вычтем из элементов каждого столбца его наименьший элемент (наименьшие элементы столбцов - 6; 38; 32; 29) и заменим все элементы матрицы полученными разностями:

$$L_1 = \begin{array}{cccc|l} эс_1 & эс_2 & эс_3 & эс_4 & \\ \hline 0 & 0 & 90 & 319 & ПС_1 \\ 16 & 58 & 112 & 296 & ПС_2 \\ 62 & 81 & 0 & 55 & ПС_3 \\ 360 & 298 & 77 & 0 & ПС_4 \end{array}$$

Вычтем наименьший элемент каждой строки из всех элементов данной строки. В примере наименьшими элементами строк являются 0, 16, 0, 0, а значит матрица L_1 заменяется на L_2.

$$L_2 = \begin{array}{cccc|l} ЭС_1 & ЭС_2 & ЭС_3 & ЭС_4 & \\ \hline 0 & 0 & 90 & 319 & ПС_1 \\ 0 & 42 & 96 & 280 & ПС_2 \\ 56 & 81 & 0 & 55 & ПС_3 \\ 354 & 298 & 77 & 0 & ПС_4 \end{array}$$

Определим систему независимых нулей, т.е. выделим звездочкой какой-либо нуль первого столбца, затем независимый от первого нуль второго столбца (т.е. нуль не в строке с выделенным ранее):

$$L_2 = \begin{array}{cccc|l} ЭС_1 & ЭС_2 & ЭС_3 & ЭС_4 & \\ \hline 0^* & 0 & 90 & 319 & ПС_1 \\ 0 & 42 & 112 & 280 & ПС_2 \\ 56 & 81 & 0^* & 55 & ПС_3 \\ 354 & 298 & 77 & 0^* & ПС_4 \end{array}$$

Если число независимых нулей равно четырем (для общего случая - равно n), то места (ij) независимых нулей определяют оптимальный выбор: i-я ЭС сличается с j-й ПС. В рассматриваемом примере число независимых нулей равно трем, и поэтому задачу выбора следует продолжить. Выделим знаком «+» столбцы, содержащие нули со звездочкой:

$$L_2 = \begin{array}{cccc|l} + & & + & + & \\ \hline 0^* & 0 & 90 & 319 & ПС_1 \\ 0 & 42 & 112 & 280 & ПС_2 \\ 56 & 81 & 0^* & 55 & ПС_3 \\ 354 & 298 & 77 & 0^* & ПС_4 \end{array}$$

Найдем невыделенный нуль. Таковыми являются элемент, индексы которого ij=12. Пометим данный нуль штрихом, т.е.

$$L_2 = \begin{array}{cccc|l} + & & + & + & \\ \hline 0^* & 0^/ & 90 & 319 & ПС_1 \\ 0 & 42 & 112 & 280 & ПС_2 \\ 56 & 81 & 0^* & 55 & ПС_3 \\ 354 & 298 & 77 & 0^* & ПС_4 \end{array}$$

В первой строке имеется 0^* и $0^/$. Выделим данную строку знаком «+» и одновременно уничтожим знак «+» над столбцом с 0^*.

$$L_2 = \begin{array}{cccc|l} + & & + & + & \\ \hline 0^* & 0^/ & 90 & 319 & ПС_1 \\ 0 & 42 & 112 & 280 & ПС_2 \\ 56 & 81 & 0^* & 55 & ПС_3 \\ 354 & 298 & 77 & 0^* & ПС_4 \end{array}$$

Найдем следующий невыделенный нуль (ij=21) и повторим операцию:

$$L_2 = \begin{array}{cccc|l} & & + & + & \\ \hline 0^* & 0^/ & 90 & 319 & + \\ 0^/ & 42 & 112 & 280 & + \\ 56 & 81 & 0^* & 55 & \\ 354 & 298 & 77 & 0^* & \end{array}$$

Выделим цепочку от найденного $0^/$ (в одной строке, с которым нет 0^*) по столбцу к 0^*, от 0^* к $0^/$, т.е.

$$L_2 = \begin{array}{cc} \begin{array}{cccc} & & + & + \end{array} & \\ \left|\begin{array}{cccc} 0^* \to & 0' & 90 & 319 \\ \uparrow & & & \\ 0' & 42 & 112 & 280 \\ 56 & 81 & 0^* & 55 \\ 354 & 298 & 77 & 0^* \end{array}\right| & \begin{array}{c} + \\ + \\ \\ \\ \\ \end{array} \end{array}$$

Уничтожим в цепочке звездочку и поставим звездочки вместо штрихов:

$$L_2 = \begin{array}{cc} \begin{array}{cccc} & & + & + \end{array} & \\ \left|\begin{array}{cccc} 0^* \to & 0^* & 90 & 319 \\ \uparrow & & & \\ 0^* & 42 & 112 & 280 \\ 56 & 81 & 0^* & 55 \\ 354 & 298 & 77 & 0^* \end{array}\right| & \begin{array}{c} + \\ + \\ \\ \\ \\ \end{array} \end{array}$$

Поскольку число независимых нулей равно четырем (имеется четыре символа «+»), то задача оптимизации выбора считается завершенной. Результатом ее решения является выбор элементов первоначальной матрицы L на местах независимых нулей (0^*) преобразованной матрицы L_2. В рассматриваемой постановке задачи главное не выбор элементов, а выявление индексов системы независимых нулей, которые определяют пары сличенных ПС и ЭС:

$$\text{ПС}_2 - \text{ЭС}_1;\ \text{ПС}_1 - \text{ЭС}_2;\ \text{ПС}_3 - \text{ЭС}_3;\ \text{ПС}_4 - \text{ЭС}_4.$$

При проверке аналогии видно, что любой иной вариант сличения приводит к увеличению суммы квадратов расстояний между соответствующими парами ПС и ЭС.

Список литературы

1. Виноградов А.П. Основы обработки радиолокационной информации. ФВУ ПВО, СпБ., – 2002. – 190 с.

2. Фомин А.Ф. Помехоустойчивость систем передачи непрерывных сообщений. М., «Сов. Радио», – 1975. – 352 с.