ИЗВЕСТИЯ ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 208 1974

К ВОПРОСУ РАЗДЕЛЕНИЯ АДДИТИВНОЙ СМЕСИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ИМПУЛЬСОВ

Б. Н. ЕПИФАНЦЕВ

(Представлена научным семинаром НИИ ЭИ)

Как известно, в основу разделения принимаемых одновременно от нескольких радиолокационных станций сигналов положен корреляционный способ. Его применение связано с выполнением ряда последовательных процедур: получение функции автокорреляции входного сигнала, определение интервала задержки (периода максимальной частоты), при котором автокорреляционная функция имеет максимум, выделение импульсов найденной таким образом последовательности с последующим вычитанием их из смеси, проведение аналогичных операций над преобразованным сигналом до полного разделения всех компонент. Очевидные недостатки данного способа следующие.

1. Большое время разделения, увеличивающееся при наличии в суммарном сигнале случайных импульсных помех.

2. Время разделения зависит от числа периодических компонент в смеси.

3. Вероятность правильного выделения зависит от числа импульсов компоненты (времени работы передающей станции) и при малом их числе достигает практически неприемлемой величины.

4. При наличии в смеси близких или одинаковых частот происходит «пропуск цели».

5. Аппаратурные реализации способа громоздки и ненадежны.

Другому известному способу, характеризующемуся преобразованием отрезка времени между импульсами в амплитуду с последующей амплитудной селекцией, указанные недостатки присущи еще в большей степени.

Можно предложить еще один вариант решения поставленной задачи, основанный на искусственном преобразовании одномерного сигнала в двумерный. Суть этого варианта излагается ниже.

Обратимся к рис. 1, в, на котором представлено изображение двух отрезков прямых линий, обозначенных индексами I и II, в плоскости ХОУ. При построчной развертке этого изображения с периодом Tp_{px} и шагом δ_y слева направо получим сумму двух периодических последовательностей импульсов, каждая из которых полностью характеризует прямую линию в плоскости.

Действительно, при прохождении развертывающего элемента с апертурой, соизмеримой с шириной линии, в плоскости H_3K_3 (рис. 1, в) в точке 1 зафиксируется изменение плотности, которое повторится в точке 2 через отрезок времени T_α

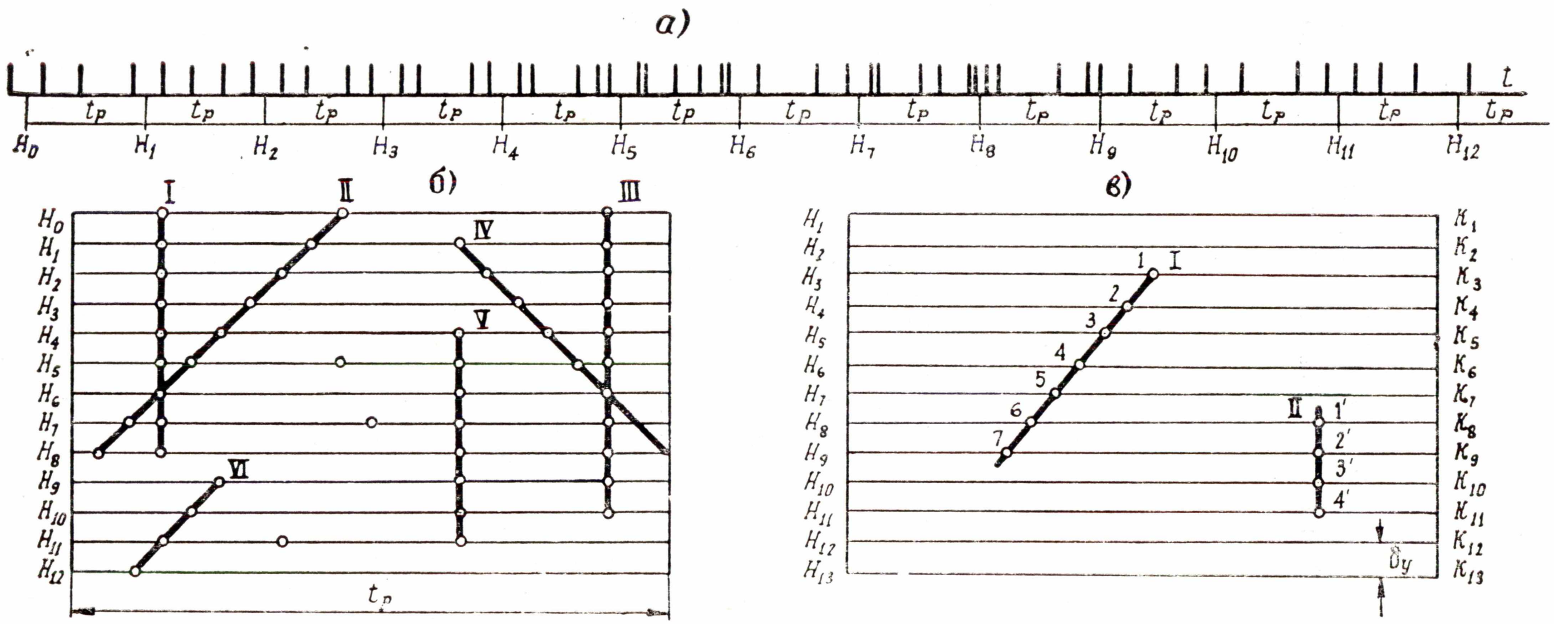

Рис. 1. Иллюстрация способа разделения периодических последовательностей импульсов.

$$T_\alpha = T_{1к_3} + T_{к_3н_3} + T_{н_4^2},$$

где $T_{1к_3}$ — время прохождения развертывающего элемента от точки 1 до точки $к_3$; $T_{к_3н_4}$ — время обратного хода луча T_{ox}, $T_{н_4^2}$ — время прохождения развертывающего элемента от начала развертки в плоскости $н_4к_4$ до точки 2.

Очевидно также, что

$$T_\alpha = T_{px} + T_{ox} - \Delta t. \tag{1}$$

Третье изменение плотности повторится в точке 3 через время, определяемое формулой (1) и т. д.

Таким образом, налицо периодическое изменение плотности, период есть функция времени строчной развертки и угла наклона линии α. При $\alpha = 90°$ (случай расположения II прямой).

$$T_\alpha = T_{px} + T_{ox},$$

При $\alpha > 90°$

$$T_\alpha = T_{px} + T_{ox} + \Delta t. \tag{2}$$

И в общем виде

$$T_\alpha = T_{px} + T_{ox} - \frac{\delta_y}{\operatorname{tg}\alpha}. \tag{3}$$

Приведенные простые рассуждения позволяют сделать первое обобщение.

Сумма отрезков периодических последовательностей импульсов с неизвестными периодами и случайными начальными фазами эквивалентна изображению совокупности по-разному ориентированных в плоскости XOY отрезков прямых линий, причем период любого слагаемого этой суммы однозначно определяет угол наклона соответствующего отрезка прямой, количество импульсов — ее длину, а начальная фаза — местоположение этой линии. Следовательно, решая задачу разделения аддитивной смеси периодических последовательностей импульсов и определения их параметров, следует отметить местоположение импульсов на оси аргумента, разбить эту ось на равные отрезки, подставить каждый последующий отрезок под предыдущий и определить совокупности отметок, лежащих на прямых. Затем провести измерение параметров прямых.

Что касается величины отрезка разбиения аргумента, она может быть найдена из следующего положения.

Рассматриваемая задача предполагает известными максимально и минимально возможные периоды в смеси. Тогда из (1) и (2) следует

$$\begin{aligned} T_{\min} &= t_p - \Delta t, \\ T_{\max} &= t_p + \Delta t, \end{aligned} \tag{4}$$

где

$$t_p = T_{px} + T_{ox}.$$

Решая (4) относительно t_p, получим

$$t_p = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}. \tag{5}$$

Это и есть требуемая величина периода развертки, при которой для диапазона периодов $T_{\min} < T_\alpha < T_{\max}$ отрезок прямой будет формироваться по совокупности отметок, лежащих на каждом соседнем отрезке (но не через один). Данное условие исключает возможность проведения ложных прямых отрезков и позволяет найти диапазон значений периодов $T_{\max}$ и $T_{\min}$, для которого предлагаемый способ справедлив при однократном применении.

Действительно, при

$$\kappa\pi < \alpha \leqslant \frac{2\kappa + 1}{2} \qquad (\kappa = 0, 1, 2, \dots),$$

$$0 < T_\alpha \leqslant t_p,$$

при

$$\frac{(2\kappa + 1)\pi}{2} < \alpha < \kappa\pi \qquad (\kappa = 1, 2, 3, \dots),$$

$$t_p \leqslant T_\alpha < 2t_p,$$

т. е.

$$0 < T_\alpha < 2t_p. \tag{6}$$

Практически условие (6) следует сделать более жестким, а именно, ограничить рассмотрение совокупностей отметок углами $45^\circ \leqslant \alpha \leqslant \leqslant 135^\circ$, т. е., принимая во внимание (3) и (4),

$$(t_p - \delta_y) \leqslant T_\alpha \leqslant (t_p + \delta_y). \tag{7}$$

Проиллюстрируем применение способа на примере. На рис. 1, а изображена пронормированная по амплитуде и длительности аддитивная смесь шести отрезков периодических последовательностей импульсов с тремя импульсами помех, начиная от произвольно выбраной точки H_0. Ось аргумента разбита на отрезки t_p, которые затем подставлены друг под друга с отметкой точек местоположения импульсов (рис. 1, б). Нетрудно, взглянув на такую картину, сказать, что исходная смесь содержит 6 компонент и три импульса помех. Причем три компоненты имеют период, равный t_p, две меньший, нежели t_p, а одна больший период, чем t_p. С помощью транспортира, к примеру, можно достаточно точно определить значения всех периодов. Если угол можно замерить с точностью до полградуса, то описанный способ позволяет разделить с учетом (7) 180 различных по периоду компонент, т. е. имеет разрешающую способность немного больше полпроцента. Измеряя длину и местоположение отрезков линий, получаем исчерпывающую информацию о последовательности на рис. 1, а.

При многократном применении способа (выделении периодичности в диапазоне $(t_{p_1} - \delta_y) \leqslant T_\alpha \leqslant (t_{p_1} + \delta_y)$, вычитании их из исходной последовательности, последующем выделении компонент с периодами $(t_{p_2} - \delta_y) \leqslant T_\alpha \leqslant (t_{p_2} + \delta_y)$ и т. д.), что характерно для прототипов, можно получить исчерпывающую информацию о компонентах смеси с любыми возможными периодами.