

7. Vorobey, R.I. Photoelectric semiconductor converters with a large dynamic range / R.I. Vorobey, O.K. Gusev, A.K. Tyavlovsky, K.L. Tyavlovsky, A.I. Svistun,

L.I. Shadurskaya, N.V. Yarzhebbitskaya, K. Kierczynski // Przegląd elektrotechniczny, – Nr 5. 2014, – Pp. 5-78.

УДК 004.942

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИ МАЛЫХ ОТНОШЕНИЯХ СИГНАЛА К ШУМАМ

Артемяев В.М., Наумов А.О.

Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Введение. Обработка радиотехнических измерений с целью обнаружения сигналов объектов и измерения их координат осуществляется на основе теории статистических решений [1]. Одним из способов решения задачи при малых значениях отношения сигнала к шумам (ОСШ) является использование способа сопровождения перед обнаружением (track before detect), когда текущие измерения координат способствует обнаружению за счет накопления необходимой информации вдоль траектории сопровождения [2]. В имеющихся публикациях по решению таких задач рассматриваются случаи обработки лишь непрерывных сигналов. При этом в основе метода решения лежит теория фильтра частиц [3] на основе апостериорного статистического подхода. Случай обработки бинарных сигналов в имеющихся публикациях не рассматривается, в то время как он играет определенную роль в практике радиотехнических измерений. Содержание данной работы касается рассмотрения возможностей решения задачи при бинарных сигналах в условиях малых значений ОСШ и отсутствии априорной статистической информации.

Формулировка задачи. Измерения в радиолокации осуществляются путем сканирования пространства по координатам дальности, радиальной скорости и угловым координатам. Первоначально сканирование проводится в пределах априорно выбранного диапазона измеряемого параметра с интервалом τ_0 . Сканирование повторяется периодически с периодом $T_0 \gg \tau_0$ и за это время значения параметров могут изменяться. Выходной сигнал приемника в пределах интервала τ_0 обрабатывается пороговым устройством, преобразующим непрерывный сигнал в бинарный. При малых ОСШ появляются шумовые сигналы, которые при бинарном представлении будут неотличимы от полезного. Выходом из этой ситуации может быть использование принципа эвристической самоорганизации процесса решения путем одновременной обработки всех имеющихся сигналов, и последующей селекции результата, максимально удовлетворяющего признакам объекта [4].

При интервале разрешения сигналов значительно меньшем интервала сканирования би-

нарные сигналы можно рассматривать как последовательность случайных точек на оси координат (рис. 1).

На этом рисунке горизонтальная ось является осью относительного непрерывного времени t . Дискретные моменты времени $k=0, 1, 2, \dots$ являются началом интервалов сканирования τ_0 . Значения координат x статистически независимых случайных точек откладываются на вертикальной оси в диапазоне от x_{\min} до x_{\max} . Изменение координат объекта показано штриховой линией. В местах ее пересечения вертикальными линиями отмечено положение точек объекта x_{ok} . Поскольку вероятность превышения порога бинаризации сигналом объекта меньше 1, то имеют место пропуски точек объекта, которые определяются как замирания полезного сигнала.

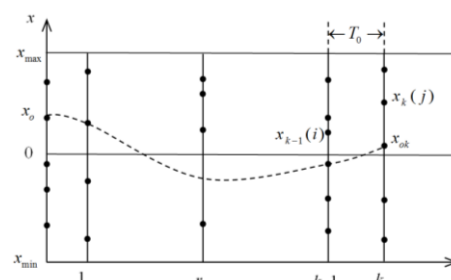


Рисунок 1 – Положения случайных точечных сигналов

Сущность метода обнаружения состоит в формировании всех возможных траекторий, проходящих через точки. По мере роста числа измерений осуществляется последовательный отбор траекторий, максимально соответствующих траектории объекта вплоть до единственной, появление которой является фактом обнаружения. В качестве признака отличия точек полезного сигнала от шумовых используется свойство коррелированности положений точек объекта по сравнению со статистической независимостью положений точек шумов. Решение задачи основано на нахождении весов каждой из траекторий на основе которых принимается решение об обнаружении.

Уравнения весов траекторий. Каждая случайная точка j определяется посредством координат в q -мерном пространстве и задается в виде вектора

$$\mathbf{x}_k(j) = [x_{1k}(j); x_{2k}(j); \dots; x_{qk}(j)]^T, \quad (1)$$

где j есть номер точки в момент k в пространстве с числом случайных точек n_k ($j = \overline{1, n_k}$).

Построение всех возможных траекторий числом $n_{k-1} \times n_k$ производится следующим образом. От некоторой точки $x_{k-1}(i)$, $i = \overline{1, n_{k-1}}$ возможны n_k участков траекторий в любую точку $x_k(j)$, $j = \overline{1, n_k}$. Через неё будут проходить все n_{k-1} траекторий от других предшествующих точек. Вес этих траекторий (вес точки j в момент k) обозначим через $p_k(j)$. Вес каждого перехода из точки i в точку j задаётся весовой функцией $f_k(j|i)$, равной единице, если координаты точек в моменты $(k-1)$ и k равны, и убывающей с увеличением расстояния между точками. Траектория объекта коррелирована во времени и в среднем её точки, по сравнению с шумовыми, будут расположены ближе к предыдущим. Вследствие этого вес точек, через которые проходит траектория объекта будет в среднем выше, чем остальных, что и является признаком для решения задачи обнаружения.

Введем в рассмотрение матрицу весовых функций $F_k(n_k | n_{k-1})$ случайной размерности $n_k \times n_{k-1}$

$$F_k(n_k | n_{k-1}) = \begin{pmatrix} f_k(1|1) & \dots & f_k(1|n_{k-1}) \\ f_k(2|1) & & f_k(2|n_{k-1}) \\ \vdots & & \vdots \\ f_k(n_k|1) & \dots & f_k(n_k|n_{k-1}) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Значения весов случайных точек в момент $(k-1)$ объединим в вектор:

$$\mathbf{P}_{k-1}(n_{k-1}) = [p_{k-1}(1), p_{k-1}(2), \dots, p_{k-1}(n_{k-1})]^T. \quad (3)$$

Вес каждой точки в момент k складывается из весов всех предыдущих точек с учётом весовых функций $f_k(j|i)$. Поэтому для вектора весов точек в этот момент можно записать следующее рекуррентное уравнение:

$$\mathbf{P}_k(n_k) = a_k F_k(n_k | n_{k-1}) \mathbf{P}_{k-1}(n_{k-1}), \quad (4)$$

где a_k – коэффициент, обеспечивающий нормировку к единице весов $p_k(j)$:

$$a_k = \left[(\mathbf{1})^T \cdot F_k(n_k | n_{k-1}) \cdot \mathbf{P}_{k-1}(n_{k-1}) \right]^{-1}. \quad (5)$$

В начальный момент времени $k=0$ веса всех точек можно полагать одинаковыми и равными $p_0(i) = 1/n_0$.

Критерии селекции траекторий и обнаружения объекта. В теории эмпирической самоорганизации [4] вид весовых функций и их параметры задаются исходя из имеющихся эмпирических представлений о характере изменения траектории объекта. Обычно оно основано на предположении о диапазоне изменения координат $x_{rk}(j)$, $r = \overline{1, q}$ за интервал от $k-1$ до k , что определяет ширину весовых функций. Этот диапазон находится в пределах

$$d_{rk} - e_r \leq u_{rk} \leq d_{rk} + e_r, \quad (6)$$

где d_{rk} – ожидаемое регулярное смещение, а e_r – максимальное значение относительных смещений соответствующей координаты.

Полагаем, что весовая функция $f_k(j|i)$ представляется в виде произведения локальных весовых функций $\varphi_{rk}(j|i)$ по каждой из координат

$$x_{rk}(j), \quad r = \overline{1, q}: f_k(j|i) = \prod_{r=1}^q \varphi_{rk}(j|i).$$

При разностях координат равных нулю ($x_{rk}(j) = x_{rk-1}(i)$) величина каждой локальной весовой функции должна быть равна единице в пределах диапазона u_{rk} , а на остальных интервалах равна нулю.

В силу коррелированности траектории объекта, факт его обнаружения связан с моментом начала устойчивого формирования траектории. Первоначально осуществляется построение всех возможных траекторий с последовательной селекцией той, что возможно принадлежит объекту. В качестве критерия селекции используется превышение ее веса над остальными, т.е. условие $\max_j p_k(j)$. Чтобы обнаружить наличие объекта используется критерий завязки траектории, в качестве которого целесообразно использовать критерий типа n из m (n/m) [5]. Для рассматриваемой задачи он соответствует критерию решения об обнаружении, если из числа n последовательно найденных точек максимальной траектории $m \leq n$ точек удовлетворяют условию нахождения их координат в пределах диапазона (6). Определение характеристик обнаружения, например среднего времени появления этого события, аналитически затруднено в силу того, что матрица (2) является случайной.

Литература

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982, 624 с.
2. Hadzagic M., Michalska H., Lefebvre E. Track-before detect methods in tracking low-observable targets: A survey // Sensors Trans Mag 54 (1), 2005, pp. 374–380.
3. Blackman S.S. Multiple-target tracking with radar applications. MA: Artech House, 1986, 464 p.

4. Принципы самоорганизации / Сборник докладов. Редакторы: Хайнц фон Ферстер, Джордж У. Цопф. М.: Мир, 1966, 624 с.

5. Blackman S., Popoli R. Design and Analysis of Modern Tracking Systems. Artech House, Norwood, 1999, 1230 p.

УДК 53.08: 004

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ И ИЗНОСА МЕТОДОМ «ДИСК НА ПЛОСКОСТИ»

Кулешов В.Н.¹, Пилько В.В.², Пилько В.В.²

¹Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

²Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время весьма актуальной задачей точного машиностроения является экономия энергии и ресурсов [1]. Одним из перспективных направлений решения задачи зарекомендовало себя использование новых материалов с модифицированным поверхностным слоем, либо с нанесенным на поверхность покрытием. Вследствие многофакторности процессов обработки и нанесения неизбежно возникает задача их оптимизации. В большинстве случаев задача сводится к поиску экстремумов износостойкости и коэффициента трения. Экспрессное определение этих важных величин позволяет интенсифицировать процессы оптимизации. Намечившиеся в последнее время тенденции перехода к наноразмерным структурам и тонким слоям [2] вынуждают повышать локальность методов измерения по поверхности и глубине материала. Унифицированные стандарты методов измерения износостойкости и коэффициента трения в настоящее время отсутствуют. Перспективным способом решения проблемы представляется унификация требований к испытываемым образцам и контртелу. Основным источником новой научной информации при исследованиях служит величина коэффициента трения, и диапазон ее изменения в зависимости от времени испытания.

Среди используемых в настоящее время установок для трибологических исследований аналогами разработки могут послужить устройства для измерения коэффициента трения методом «индентор на диске» [3]. Величина силы трения, при этом, как правило, определяется путем регистрации величины изгиба упругой консоли, прижимающей индентор к поверхности вращающегося испытываемого диска. Измерение величины изгиба консоли производится, в основном, тензочувствительными датчиками. Главным недостатком этих машин трения при тестировании плоских образцов является проблема непостоянства коэффициента трения и скорости износа поверхностного слоя на различных испытываемых участках круговой траектории, вызывающая осцилляции полученных значений. Дополнительным недос-

татком метода является цикличность процесса, сопровождающаяся воздействием среды на сформированную ювенильную поверхность трека износа в промежутках между проходами индентора. Сопутствующим конструктивным недостатком является отклонение формы трека от геометрической окружности при изгибе консоли. При использовании «пальчиковых» образцов возникают проблемы постоянства траектории, изготовления образцов сложной формы и точности ее воспроизведения.

Наиболее близким по конструкции и принципу действия к разработанному прибору является модифицированный трибометр Шкоды–Савина [4], реализующий механизм трения и износа «диск – плоский образец», при котором сила трения определяется путем регистрации величины деформации упругой стойки, удерживающей образец. Основным недостатком данного устройства является смещение пятна контакта контртела с образцом при изгибе стойки.

При разработке измерительного комплекса основное внимание было уделено устранению перечисленных выше недостатков. Установлено, что для решения поставленных задач наиболее эффективным методом исследования коэффициента трения и износостойкости является контакт вращающегося диска (контртела) и неподвижной плоскости (образец) при сохранении неизменными основных параметров испытаний и положения пятна контакта.

Схематично конструкция испытательного блока прибора представлена на рисунке 1.

Измерение коэффициента трения реализуется с повышенной точностью и локальностью за счет жесткого фиксирования пятна контакта на образце О при любых изменениях коэффициента трения в процессе испытаний. При этом узел нагружения Н и крепления образца выполнен жестким, а диск Д вместе с двигателем привода СД смонтированы в виде единого узла привода, вращающегося на оси и застопоренного упругой тензометрической пластиной Т.