

## АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТРАССОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТМЕТОК

Рассматриваются алгоритмы интеллектуальной системы трассовой фильтрации для выделения радиолокационных отметок воздушных объектов на фоне мешающих отражений типа «ангел-эхо» на основе анализа пространственной картины и интенсивности трассового следа отметки сигналов отражений от подвижного объекта. Приведены возможные варианты алгоритмов формирования и анализа пространственной картины трассового следа путем введения системы предикатных функций и уравнений, позволяющей формализовать и отслеживать динамику изменения картины в течение ряда обзоров РЛС.

### Введение

Из анализа особенностей мешающих отражений типа «ангел-эхо» и отраженных сигналов от воздушных объектов следует, что основой для выделения отметок радиолокационных целей (РЛЦ) могут служить различия между пространственно-временными и амплитудными характеристиками сигналов. Эти различия могут выявляться на интервалах анализа, как при межпериодной, так и при межобзорной обработке [1, 3, 4, 5].

Вопросы межпериодной обработки в настоящее время достаточно хорошо исследованы. В то же самое время из-за широкой полосы доплеровского спектра дискретных мешающих отражений (ДМО) типа «ангел-эхо» классические методы межпериодной обработки оказываются недостаточно эффективными [1, 4].

В данной работе основное внимание уделено вопросам улучшения многообзорной обработки сигналов в видеотракте РЛС в интересах автоматизации и повышения эффективности выделения радиолокационных отметок воздушных объектов на фоне мешающих отражений типа «ангел-эхо».

Выделение (отождествление) радиолокационных отметок возможно, если имеются признаки, характеризующие отметку, как некоторый образ, и отличающие ее от отметок другого класса. Признаками, которыми пользуется оператор при отождествлении РЛ-отметок, являются размер, форма, характер изменения размера и формы (картинного образа) отметки от обзора к обзору.

В системах обработки радиолокационной информации [1, 3, 4] существовали операции, основанные на анализе совокупной информации, обеспечивающие завязку трасс летательных аппаратов и их сопровождение. Эти алгоритмы не использовали преимущества оператора, связанные с возможностью параллельного восприятия информации как картины при сравнительном анализе и принятии решения по анализу квалификационных признаков, что особенно эффективно при выделении слабых сигналов малозаметных объектов.

Целью данной работы является то, что для выявления и использования подобных признаков в интеллектуальной системе, реализующей алгоритмы человека оператора квазивизуальной селекции отметок подвижных объектов на фоне множественных отражений типа «ангел-эхо», предлагается использовать средства математического аппарата алгебры конечных предикатов.

### Постановка задачи

Пространство радиолокационных отметок, сформированное в динамической памяти с искусственным послесвечением при предлагаемом способе обработки, обладает определенным распределением их расположения и амплитуд  $q_{ij}(r, \beta, t, T_o, \Delta)$ . Это распределение зависит от координат  $r, \beta$  расстояния и азимута до объекта локации, времени  $t$ , периода обзора РЛС  $T_o$  и параметра  $\Delta$  искусственного послесвечения (рис. 1). Такое распределение отметок (картина) полностью характеризует данное пространство как источник информации.

Изображение удаленных объектов на экране индикатора РЛС или на его эквиваленте в матричной памяти формируется в пределах одного обзора РЛС в виде отметок, а в пределах нескольких обзоров в зависимости от скорости перемещения лоцируемых объектов может сформироваться трассовый след. Размер отметки определяется импульсным объемом, то есть по дальности – длительностью импульса, а по азимуту – шириной диаграммы направленности (ДН) антенны. При этом существуют две отличительные особенности поведения отметок в пространстве и времени. Первая – существенные пространственные перемещения для создания трассового следа, присущие отметкам от подвижных объектов и в меньшей степени от дискретных мешающих отражений (ДМО) типа «ангел-эхо». Вторая – флуктуации амплитуды, в большей степени присущие отметкам ДМО и в меньшей степени – отметкам подвижных объектов [1, 5].

Размер отметки за счет лучеобразного характера ДН антенны зависит от дальности до объекта. Поэтому введена модель «точечной» отметки с координатами, определяемыми центром пачки импульсов, и с амплитудой, определяемой для сигналов слабой интенсивности суммарной за время накопления пачки энергией, а для остальных сигналов – средней эффективной величиной энергии [1]. Поэтому воспользуемся математическим представлением пространственного импульса, имеющего бесконечно малую площадь основания, стягивающуюся в точку и бесконечно большую амплитуду. Такая модель описывается двумерной дельта-функцией:

$$q_s(\vec{r}) = Q_s \delta(\vec{r} - \vec{r}_0), \quad \delta(\vec{r}) = \begin{cases} \infty & \text{при } \vec{r} = \vec{r}_0 \\ 0 & \text{при } \vec{r} \neq \vec{r}_0 \end{cases},$$

где  $Q_s$  – амплитуда отметки, интегральная по площади;  $\vec{r}$  – текущее значение радиус-вектора;  $\vec{r}_0$  – радиус – вектор центра отметки.

Рассмотрим возможные модели картины из совокупности отметок подвижного полезного объекта и дискретного мешающего отражателя. Как было отмечено ранее, пространство радиолокационных отметок будем формировать в динамической памяти с искусственным послесвечением с возможностью создания трассового следа из отметок подвижного объекта.

Полагаем, что формируемый в памяти массив данных представляет собой прямоугольную матрицу амплитуд радиолокационного сигнала  $\|A\|$  размером  $M \times N$ .

Каждый элемент матрицы  $a_{ij}$  жестко связан с соответствующим участком лоцируемой зоны соответственно, где  $i, j$  – номера дискрет матрицы по дальности ( $D$ ) и азимуту ( $\beta$ ).

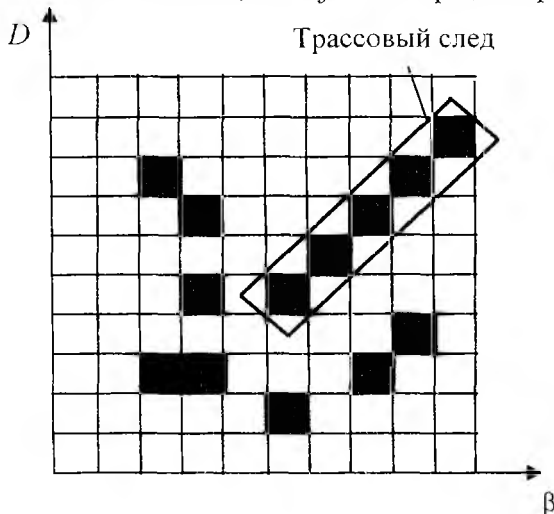


Рис. 1

Режим искусственного послесвечения в массиве амплитуд  $\|A_{ij}\|$  осуществляется уменьшением величины амплитуды  $q_{ij}^{k-1}$  предыдущего  $(k-1)$ -го обзора на определенную величину  $\Delta$  в случае поступления сигнала в текущем  $k$ -м обзоре.

$$q_{ij}^k = q_{ij}^{k-1} - \Delta, \quad \text{при } q_{ij}^k = 0 \cap q_{ij}^{k-1} > 0. \quad (1)$$

Для таких условий модель трассового следа отметок подвижного объекта будет определяться как совокупность отметок вдоль радиуса-вектора с дискретностью, определяемой скоростью объекта  $V_o$  и временем обзора РЛС  $T_s$  (рис. 1).

$$q_s(r, \varphi) = \begin{cases} \sum_{k=1}^k [Q_s(t - (k-1) \cdot T_s) - (k-1) \cdot \Delta] \cdot \delta[(r - V_o \cdot T_s \cdot k)(\varphi - \varphi_0)] & \text{при } \varphi = \varphi_0 \\ 0 & \text{при } \varphi \neq \varphi_0 \end{cases}, \quad (2)$$

где  $k$  – количество обзоров, соответствующих количеству отметок в трассовом следе;  $\varphi, \varphi_0$  – фазовый угол, текущий и определяемый вектором скорости подвижного объекта.

Выделение отметок подвижных объектов на фоне ДМО предполагает выполнение операций накопления, как энергии полезного сигнала, так и информации о его трассовом следе в виде предикатных признаков и функций, сформированных за ряд обзоров РЛС. Для выполнения этих операций выделяется подвижная подматрица  $\|B\|$  размером  $k \times l$ , где  $k$  и  $l$  намного меньше  $m$  и  $n$ . Центр подматрицы или скользящего окна совпадает с текущими координатами локации. Размер скользящего окна выбирается исходя из потребного для анализа количества затухающих отметок в трассовом следе. Эффективности выделения отметок целей на фоне ДМО в основном определяется отношением сигнал/помеха, определяемом как [1, 4]:

$$g = \frac{[Q_s(i - (k-1) \cdot T_s) - (k-1) \cdot \Delta]^2}{Q_{nr}^2}, \quad (3)$$

где  $Q_{nr}^2$  – дисперсия отметок мешающих отражений типа «ангел-эхо».

Анализ (3) показывает, что отношение сигнал/помеха  $g$  может достигать сколь угодно больших значений при уменьшении параметра затухания  $\Delta$ . Однако при этом повышается вероятность ложной тревоги за счет долго затухающих отметок ДМО, появившихся в предыдущих обзорах РЛС. Предварительная оценка накопленной энергии сигнала и информации о формировании трассового следа за ряд обзоров РЛС показывает, что при размерах скользящего окна порядка 9 на 9 эффективность выделения отметок воздушных объектов при средних скоростях их движения на фоне ДМО наилучшая.

### Принцип формирования предикатного признака трассового следа радиолокационной отметки

Пусть  $M = \{q_{11}, q_{12}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{mn}\}$  – фиксированное множество, представляющее собой прямоугольную матрицу  $\|A\|$  размерностью  $M \times N$ , состоящее из  $k = m \times n$  элементов – значений амплитуд сигналов в элементах обработки зоны обзора РЛС,  $B$  – некоторое из его подмножеств  $B \subseteq M$ , амплитуды сигналов  $q_{ij}$  которого превышают некие пороговые значения  $V_{ij}$ . Составляем набор логических элементов  $t_{ij}$  по следующему принципу: если  $q_{ij} \in B$ , то  $t_{ij} = 1$ ; если  $q_{ij} \notin B$ , то  $t_{ij} = 0$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

Предикат  $A(x)$  на множестве  $M$ , соответствующий множеству  $B$  элементов обработки, превысивших порог, с характеристикой  $(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{ij}, \dots, t_{mn})$ , запишем формулой:

$$A(x) = t_{11}x^{q_{11}} \vee t_{12}x^{q_{12}} \vee \dots \vee t_{ij}x^{q_{ij}} \vee \dots \vee t_{mn}x^{q_{mn}} = \bigvee_{i=1, j=1}^{mn} t_{ij}x^{q_{ij}}. \quad (4)$$

Здесь выражение  $x^{q_{ij}}$  – форма узнавания события. При  $x = q_{ij}$   $x^{q_{ij}} = 1$ .

Для формирования интеллектуальной картины трассового следа вокруг анализируемого в данный момент элемента зоны обзора РЛС вводится система предикатных признаков (функций), позволяющая формализовать происходящие изменения в  $A(x)$  в течение ряда обзоров РЛС:

- предикатный признак  $Z_{nij}^k$  повтора сигналов в  $a_{ij}$  элементе обработки ( $i, j$  – номера элементов (дискрет) по дальности и азимуту;  $k$  – номер обзора, начиная с текущего обзора). Определяется как повтор сигналов в текущем и предыдущем обзорах;

- предикатный признак  $Z_{yij}$  ухода отметки в элементах обработки, прилегающих к рассматриваемому элементу;

С учетом этих определений первоначальное формирование предикатных признаков  $Z_{nij}$  и  $Z_{yij}$  осуществляется по следующему алгоритму:

$$Z_{nij} = 1 \text{ при } A_{ij}^k > 0 \wedge A_{ij}^{k-1} > 0 \quad (5)$$

$$Z_{yij} = 1 \text{ при } A_{ij}^{k-1} > 0 \wedge A_{ij}^k = 0 \wedge Z_{nij} = 0, \quad (6)$$

где  $A$  – предикат события наличия-отсутствия сигнала в соответствующем ячейке обработки.

Поскольку для формирования предикатного признака трассового следа используется признак  $Z_{yij}$ , то осуществляется операция обновления (экстраполяции) данного предикатного признака с учетом его предыстории путем перезаписи в ту же ячейку памяти, в которой был записан. Основой для сохранения путем перезаписи значения признака является либо его повторное формирование при выполнении соответствующих условий (5), либо наличие ненулевого уровня амплитуды сигнала в рассматриваемой ячейке, либо в случае, когда два первых условия выполняются одновременно.

Алгоритм экстраполяции признака имеет вид

$$Z_{yij} = 1 \text{ при } Z_{yij}^k = 1 \vee (Z_{yij}^{k-1} = 1 \wedge A_{ij}^{k-1} > 0 \wedge A_{ij}^k = 0). \quad (7)$$

С учетом сформированного  $Z_{yij}$  приступим к формированию предикатного признака трассового следа  $Z_{yij}$ , позволяющего получить дополнительную отличительную информацию о поведении отметок радиолокационных целей в сравнении с отметками ДМО путем анализа трассового следа, образующегося как совокупность предикатных признаков ухода отметок  $Z_{yij}$ .

Запишем операции (отображения) получения предикатного признака  $Z_{yij}$  формирования трассового следа отметки, т.е. осуществим переход от реляционного или декларативного описания (внешних свойств и связей) к процедурному описанию (внутреннего строения и связей).

На первом шаге составляем предикатное уравнение и с помощью его находим номера  $k = k_1$  и  $l = l_1$  рядом расположенного элемента обработки с предикатным признаком  $Z_{yij}$  ухода отметки из элемента обработки. Для этого составляем набор возможных операций суждения человека – оператора (ЧО) – сравнение предиката наличия сигнала  $B_{ij}$  в центральном элементе подматрицы или скользящего окна анализа с соседними всею семью элементами попарно на возможное наличие в них предикатного признака  $Z_y$ .

$$\begin{aligned} & (Z_{yi+1,j} \wedge B_{yij}) \vee (Z_{yi-1,j} \wedge B_{yij}) \vee (Z_{yi,j+1} \wedge B_{yij}) \vee (Z_{yi,j-1} \wedge B_{yij}) \vee (Z_{vi+1,j+1} \wedge B_{yij}) \vee \\ & \vee (Z_{yi+1,j-1} \wedge B_{yij}) \vee (Z_{yi-1,j+1} \wedge B_{yij}) \vee (Z_{yi-1,j-1} \wedge B_{yij}) = \bigvee_{k=-1, l=-1}^{k=+1, l=+1} (Z_{vi+k, j+l} \wedge B_{yij}) = 1 \end{aligned} \quad (8)$$

На втором шаге, при составлении второго предикатного уравнения для нахождения следующего номера  $k = k_2$  и  $l = l_2$  элемента обработки с подобным предикатным  $Z_y$ , учитываем обозначившееся на первом шаге направление  $(a_{ij}, a_{i+k_1, j-l_1})$  трассового следа (направление движения воздушного объекта). Направление определяется путем анализа изменения номеров  $k_1, l_1$ . При изменении номера по одной координате (или  $k_1$ , или  $l_1$ ) направление поиска трассового следа совпадает с направлением вдоль осей координат  $i$  или  $j$  (вверх, вниз или вправо, влево). При изменении номера элемента по обеим координатам направление поиска трассового следа совпадает с направлением диагоналей матрицы. С учетом определенного направления проверяется наличие предикатного признака  $Z_y$  ухода отметки в трех соседних элементах.

При перемещении отметки в вертикальном ( $k_1 = \mp 1, l_1 = 0$ ) или горизонтальном ( $k_1 = 0, l_1 = \pm 1$ ) направлениях выбираем элементы обработки для проверки того же направления ( $i+k_1 \pm 1$  или  $j+l_1 \pm 1$ ). По второй координате номера элементов последовательно меняются от 0 до  $\pm 1$ . При этом добавки в виде  $\pm 1$  формируются с учетом знаков  $k_1, l_1$ .

При перемещении РЛ отметки в диагональных направлениях, когда  $(k_1 = \mp 1, l_1 = \mp 1)$ , проверяются элементы обработки, где номера формируются с учетом знаков  $k_1, l_1$  и равны  $(i + k_1 + (0 \mp 1), j + l_1 + (0 \mp 1))$ .

Таким образом, на втором шаге для определения значений координат (номера)  $k = k_2$  и  $l = l_2$  элемента обработки с предикатным признаком  $Z_y$  составляем следующие предикатные уравнения:

При  $(k_1 = +1, l_1 = +1)$

$$(Z_{yi+k_1, j+l_1} \wedge Z_{yi+k_1+1, j+l_1+1}) \vee (Z_{yi+k_1, j+l_1} \wedge Z_{yi+k_1+1, j+l_1}) \vee (Z_{yi+k_1, j+l_1} \wedge Z_{yi+k_1, j+l_1+1}) = 1, \quad (9)$$

При  $(k_1 = -1, l_1 = 0)$

$$(Z_{yi+k_1, j} \wedge Z_{yi+k_1-1, j}) \vee (Z_{yi+k_1, j} \wedge Z_{yi+k_1-1, j+1}) \vee (Z_{yi+k_1, j} \wedge Z_{yi+k_1-1, j-1}) = 1,$$

и так далее.

Решая уравнение (9) находим значения  $k_2, l_2$ .

Для выполнения следующего и последующих шагов (операций) определения номеров элементов трассового уточняем направление следа путем вычисления градиентов номеров по осям  $i, j$ , т. е.  $\Delta k_2 = k_2 - k_1, \Delta l_2 = l_2 - l_1$ .

При  $\Delta k_2 = +1, \Delta l_2 = +1$  предикатное уравнение имеет вид

$$(Z_{yi+k_2, j+l_2} \wedge Z_{yi+k_2+1, j+l_2+1}) \vee (Z_{yi+k_2, j+l_2} \wedge Z_{yi+k_2+1, j+l_2}) \vee (Z_{yi+k_2, j+l_2} \wedge Z_{yi+k_2, j+l_2+1}) = 1, \quad (10)$$

$$\vdots$$

На  $n$ -м шаге определяем  $\Delta k_n = k_n - k_{n-1}, \Delta l_n = l_n - l_{n-1}$ . Для этого шага при  $\Delta k_n = +1, \Delta l_n = +1$  предикатное уравнение имеет вид

$$(Z_{yi+k_n, j+l_n} \wedge Z_{yi+k_n+1, j+l_n+1}) \vee (Z_{yi+k_n, j+l_n} \wedge Z_{yi+k_n+1, j+l_n}) \vee (Z_{yi+k_n, j+l_n} \wedge Z_{yi+k_n, j+l_n+1}) = 1, \quad (11)$$

В результате решения системы  $n$  предикатных (8)–(11) уравнений находим все значения  $k_1, l_1 \dots k_n, l_n$  и запишем форму (вид) трассового следа в виде предикатного уравнения:

$$Z_{yij} = \bigwedge_{k_1, l_1}^{k_n, l_n} Z_{yi+k_n, j+l_n} = Z_{yi+k_1, j+l_1} \wedge Z_{yi+k_2, j+l_2} \wedge \dots \wedge Z_{yi+(k_{n-1}), j+(l_{n-1})} \wedge Z_{yi+k_n, j+l_n} = 1 \quad (12)$$

### Выделение отметок подвижных объектов на основе пространственно-спектрального анализа трассового следа

Совокупность операций получения предикатного признака трассового следа  $Z_{yij}$  и выделения отметок воздушных объектов на фоне ДМО путем пространственно-спектрального анализа трассового следа и составляют алгоритм интеллектуальной системы трассовой фильтрации.

Пространственно-спектральный анализ предполагает выполнение операций накопления информации о пространственной картине и интенсивности трассового следа в интересах выделения отметок подвижных объектов на фоне ДМО здесь за ряд обзоров РЛС. Для выполнения этих операций выделяется подвижная подматрица  $\|\mathbf{B}\|$  размером  $k \times l$ , где  $k$  и  $l$  намного меньше  $m$  и  $n$ . Центр подматрицы или скользящего окна совпадает с текущими координатами локации.

Размер скользящего окна выбирается исходя из потребного для анализа количества затухающих отметок в трассовом следе. Анализ модельных экспериментов по оценке эффективности выделения отметок целей на фоне ДМО по признакам накопленной энергии сигнала и информации о формировании трассового следа за ряд обзоров РЛС показывает, что при размерах окна порядка 9 на 9 вероятность правильного обнаружения малозаметных целей при одинаковых исходных данных повышается с 0.2 до 0.8.

При анализе трассового следа введено понятие пространственного спектра [2, 3] как распределение амплитуд отметок трассового следа в направлении, определяемом вектором  $(k_n, l_n)$  согласно предикатному уравнению (12). Вид распределения амплитуд отметок трассового следа формируется согласно алгоритму (1) путем постепенного уменьшения (затухания) поступившего сигнала при условии отсутствия его обновления в последующих обзорах. Априори известно, какое должно быть распределение амплитуд (пространственный спектр) отметок трассового следа. Поэтому есть возможность введения и использования дополнительного признака трассовости следа по виду картины затухающей амплитуды (пространственного спектра) в пределах вектора следа.

Используя данные о форме и пространственном спектре трассового следа, можно определить его направление (вектор скорости воздушного объекта) и суммарную амплитуду в виде

$$W_{ij} = \sum_{k_i, l_i}^{k_n, l_n} q_{i+k_n, j+l_n} \quad (13)$$

Полученная сумма амплитуд отметок, попавших в пределы пространственного спектра вектора трассового следа, сравнивается с порогом. Порог выбирается из известной величины  $\sigma$ , среднеквадратического отклонения шума. Сигнал, прошедший пороговую обработку, используется в качестве признака.

### Заключение

По виду предикатного признака (функции) трассового следа, найденного по результатам решения системы  $n$  предикатных уравнений (8)–(11), и по признаку накопленной амплитуды отметок трассового следа (13) осуществляется процедура выделения за ряд обзоров РЛС.

Разработанные алгоритмы интеллектуальной системы трассовой фильтрации частично были реализованы в унифицированном модуле многообзорной обработки сигналов и информации [4]. Массив данных представлял собой прямоугольную матрицу  $\|A\|$  размерностью  $2048 \times 4096$ , каждый элемент которой является 12-разрядным двоичным числом. Причем восемь разрядов двоичного числа каждого из элементов  $a_{ij}$  (ячеек ОЗУ) отведены для квантования интенсивностей сигналов, три разряда – для хранения информации о предикатах, а один разряд – для хранения информации о принятии решения об обнаружении отметки. Каждый элемент  $a_{ij}$  «жестко» связан с соответствующим участком лоцируемой зоны (элементом обработки). Размеры элементов обработки выбраны таким образом, чтобы РЛ объект, движущиеся со скоростями из диапазона наиболее вероятных скоростей движения целей, за период обзора не выходили за его пределы. Проведена оценка эффективности предлагаемого метода по реальным экспериментальным данным.

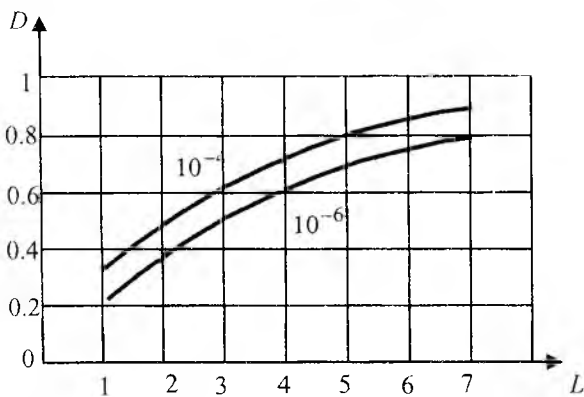


Рис. 2

При расчетах по обоснованию эффективности предлагаемого алгоритма и устройства пространственно-спектральной фильтрации с использованием многообзорной обработки была использована для сравнения классическая модель внутриобзорной обработки радиолокационного сигнала. На рис. 2 приведены графики зависимости вероятности правильного обнаружения малозаметных целей  $D$  от длины трассового следа  $L$  и вероятности ложной тревоги  $F$ . Анализ рисунка показывает, что использование информации об отметках цели за ряд последующих обзоров повышает вероятность правильного обнаружения.

При соответствующих размерах окна анализа (согласован с длиной трассового следа) вероятность правильного обнаружения малозаметных целей  $D$  при одинаковых исходных данных повышается с 0,2 при внутриобзорной обработке до 0,8 при использовании алгоритма трассовой фильтрации.

На рис. 3 приведены графики зависимости вероятности правильного обнаружения малозаметных целей  $D$  от отношения сигнал/помеха  $g$ , определяемого согласно (3), и от длины трассового следа  $L$ .

По мере увеличения длины трассового следа для каждого фиксированного значения  $g$  происходит нарастание вероятности правильного обнаружения  $D$ . Так, для обеспечения вероятности правильного обнаружения 0,5 при использовании информации только одного обзора ( $L=1$ ) значение  $g$  составляет 6 дБ. В случае же использования четырех обзоров ( $L=4$ ) та же вероятность может быть достигнута при  $g$  равном 2 дБ (рис. 3).

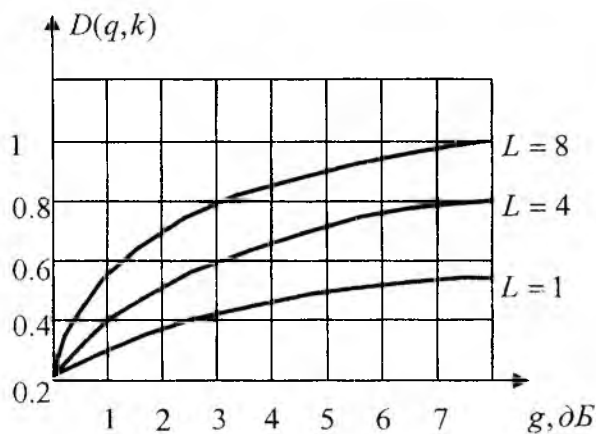


Рис. 3

Таким образом, использование предлагаемых алгоритмов интеллектуальной системы трассовой фильтрации по сравнению с классическими методами внутриобзорной обработки позволяет существенно увеличить эффективность выделения отметок воздушных объектов на фоне мешающих отражений.

Научная новизна заключается в том, что впервые в системах радиолокационного обнаружения воздушных объектов используются математические средства алгебры предикатов для интеллектуализации операций формирования и анализа картины трассового следа во времени и пространстве.

*Практическая значимость* алгоритмов интеллектуальной системы состоит в автоматизации сложных операций многообзорной обработки радиолокационной информации, подобных действию человека-оператора, в повышении эффективности обнаружения малозаметных воздушных объектов.

**Список литературы:** 1. *Справочник по радиолокации*: В 4 т. /Под ред. М.Скольника; пер. с англ.-Т.1. М.: Сов. радио, 1976. 376 с. 2. *Папулис А.* Теория систем и преобразований в оптике / Пер. с англ. под ред В.И. Алексеева. М.: Мир, 1971. 495 с. 3. *Кузьмин С.З.* Основы проектирования систем цифровой обработки РЛИ. М.: Радио и связь, 1986. 323 с. 4. *Жирнов В.В., Дохов А.И.* Картинные методы извлечения и анализа радиолокационной информации в обзорных РЛС // Прикладная радиоэлектроника. 2004. Т.3. №1. С.29-34. 5. *Жирнов В.В., Лебедев О.Г.* Радиолокационные мешающие отражения от неоднородностей приземной окружающей среды. Экспериментальные характеристики и статистическая модель // Радиотехника. 2001. Вып. 121. С. 69-73. 6. *Шабанов-Кушнарченко Ю.П.* Теория интеллекта. Математические средства. Х.: Выща шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. 144 с. 7. *Жирнов В.В., Солонская С.В.* Интеллектуальная система радиолокационного обнаружения малозаметных воздушных объектов // Радиозлектроника и информатика. 2005. Вып. 3. С.134-138.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 28.10.2007