

УДК 551.508.85 (551.576 +551.577)

Корбан Д.В.
НУ "ОМА"

ОБНАРУЖЕНИЕ И РАЗЛИЧИЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ СИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ НАЛИЧИИ НОРМАЛЬНЫХ ЧАСТИЧНО ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ПОМЕХ

Постановка проблемы в общем виде. При радиолокационном обнаружении и распознавании навигационных объектов судовыми РЛС особая роль отводится применению поляризационных объектов радиоволн в целях повышения их потенциальных информационных возможностей. Однако, эхо-сигналы метеорологических объектов на фоне которых производится радиолокационное обнаружение и распознавание объектов, являются частично поляризованными и поэтому возникает необходимость использовать статистические методы исследования.

В настоящее время рассмотрению и применению частично поляризованных радиоволн в задачах радиолокационного обнаружения, распознавания и классификации сигналов на фоне помех посвящены работы [1-3], в которых дается физическая интерпретация, теория и практика поляриметрии. Поляризационная селекция облаков и осадков рассмотрена в работе [4]. Сведения о статистической теории поляризации радиоволн помещены в работе [5].

Однако, в реальных условиях радиолокационного наблюдения навигационных объектов в условиях гидрометеорологических помех, поляризация эхо-сигналов зависит от природы источника ее излучения (рассеяния, отражения) и в большинстве случаев не совпадает с поляризацией принимаемой антенны судовой РЛС. Поляризация гидрометеорологических помех также не совпадает с поляризацией эхо-сигнала навигационного объекта и с поляризацией приемной антенны. Поэтому обработка суммарного эхо-сигнала, без учета его поляризационных характеристик, не является оптимальной и возникает проблема рационального построения функциональной схемы судового поляриметра, реализующего поляризационные эффекты.

Цель статьи. Целью данной статьи является рассмотрение вопросов статистического синтеза алгоритмов обнаружения и различения поляризованных сигналов при наличии частично поляризованных гидрометеорологических помех.

Изложение основного материала. При радиолокационном наблюдении навигационных объектов на фоне флуктуирующих мешающих отражений от частиц облаков и осадков водной и земной поверхности, эхо-сигнал будет представлять совокупность детерминированной и флуктуирующей составляющих. Детерминированная составляющая обусловлена отражениями от навигационных объектов с практически неизменными поляризационными свойствами, а флуктуирующая составляющая обусловлена отражениями от мешающего гидрометеорологического фона, поляризационные свойства которого изменяются во времени.

В составе такого сложного объекта, поляризационные свойства навигационного объекта не зависят от поляризационных параметров отдельных отражателей облаков и осадков, образующих флуктуирующий объект и остаются постоянными в любой момент времени радиолокационного наблюдения. С учетом этого, общие поляризационные свойства совокупности стабильного навигационного объекта и флуктуирующего мешающего объекта можно описать с помощью статистической матрицы рассеяния.

Сформируем радиолокационную модель сложного объекта, на входе которого действует зондирующий сигнал, представленный четырьмя параметрами Стокса $I(t)$, $Q(t)$, $U(t)$, $V(t)$:

$$E^{u3l}(t) = [E_1^{u3l}(t), E_2^{u3l}(t), E_3^{u3l}(t), E_4^{u3l}(t)]. \quad (1)$$

Здесь:

$$E_1^{u3l}(t) = \begin{bmatrix} I_1^{u3l}(t) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \text{где} \quad I_1^{u3l}(t) = E_{x_1}^{2u3l}(t) + E_{y_1}^{2u3l}(t); \quad (2)$$

$$E_2^{u3l}(t) = \begin{bmatrix} I_2^{u3l}(t) \\ Q_2^{u3l}(t) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \text{где} \quad I_2^{u3l}(t) = Q_2^{u3l}(t) = E_{x_2}^{2u3l}(t) + E_{y_2}^{2u3l}(t); \quad (3)$$

$$E_3^{uzl}(t) = \begin{bmatrix} I_3^{uzl}(t) \\ 0 \\ U_3^{uzl}(t) \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ где } I_3^{uzl}(t) = U_3^{uzl}(t) = E_{x_3}^{2uzl}(t) + E_{y_3}^{2uzl}(t); \quad (4)$$

$$E_4^{uzl}(t) = \begin{bmatrix} I_4^{uzl}(t) \\ 0 \\ 0 \\ V_4^{uzl}(t) \end{bmatrix}, \text{ где } I_4^{uzl}(t) = V_4^{uzl}(t) = E_{x_4}^{2uzl}(t) + E_{y_4}^{2uzl}(t); \quad (5)$$

Отраженный объект сигнал запишется в виде:

$$E^{omp}(t) = [E_1^{omp}(t), E_2^{omp}(t), E_3^{omp}(t), E_4^{omp}(t)] \quad (6)$$

или с учетом его задания параметрами Стокса сигнал представим следующим образом:

$$E_1^{omp}(t) = \begin{bmatrix} I_1^{omp}(t) \\ Q_1^{omp}(t) \\ U_1^{omp}(t) \\ V_1^{omp}(t) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\text{где } I_1^{omp}(t) = E_{1x}^{2omp}(t) + E_{1y}^{2omp}(t);$$

$$Q_1^{omp}(t) = E_{1x}^{2omp}(t) - E_{1y}^{2omp}(t);$$

$$U_1^{omp}(t) = 2E_{1x}^{omp}(t)E_{1y}^{omp}(t)\cos\Phi_{x_1y_1}(t);$$

$$V_1^{omp}(t) = 2E_{1x}^{omp}(t)E_{1y}^{omp}(t)\sin\Phi_{x_1y_1}(t);$$

$\Phi(t)$ – разность фаз между ортогональными составляющими волны E_x и E_y .

$$E_2^{omp}(t) = \begin{bmatrix} I_2^{omp}(t) \\ Q_2^{omp}(t) \\ U_2^{omp}(t) \\ V_2^{omp}(t) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где

$$I_2^{omp}(t) = E_{2x}^{2omp}(t) + E_{2y}^{2omp}(t);$$

$$Q_2^{omp}(t) = E_{2x}^{2omp}(t) - E_{2y}^{2omp}(t);$$

$$U_2^{omp}(t) = 2E_{2x}^{omp}(t)E_{2y}^{omp}(t)\cos\Phi_{x_2y_2}(t);$$

$$V_2^{omp}(t) = 2E_{2x}^{omp}(t)E_{2y}^{omp}(t)\sin\Phi_{x_2y_2}(t);$$

$\Phi(t)$ – разность фаз между ортогональными составляющими волны E_x и E_y .

$$E_3^{omp}(t) = \begin{bmatrix} I_3^{omp}(t) \\ Q_3^{omp}(t) \\ U_3^{omp}(t) \\ V_3^{omp}(t) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где

$$I_3^{omp}(t) = E_{3x}^{2omp}(t) + E_{3y}^{2omp}(t);$$

$$Q_3^{omp}(t) = E_{3x}^{2omp}(t) - E_{3y}^{2omp}(t);$$

$$U_3^{omp}(t) = 2E_{3x}^{omp}(t)E_{3y}^{omp}(t)\cos\Phi_{x_3y_3}(t);$$

$$V_3^{omp}(t) = 2E_{3x}^{omp}(t)E_{3y}^{omp}(t)\sin\Phi_{x_3y_3}(t);$$

$\Phi(t)$ – разность фаз между ортогональными составляющими волны E_x и E_y .

$$E_4^{omp}(t) = \begin{bmatrix} I_4^{omp}(t) \\ Q_4^{omp}(t) \\ U_4^{omp}(t) \\ V_4^{omp}(t) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где

$$I_4^{omp}(t) = E_{4x}^{2omp}(t) + E_{4y}^{2omp}(t);$$

$$Q_4^{omp}(t) = E_{4x}^{2omp}(t) - E_{4y}^{2omp}(t);$$

$$U_4^{omp}(t) = 2E_{4x}^{omp}(t)E_{4y}^{omp}(t)\cos\Phi_{x_4y_4}(t);$$

$$V_4^{omp}(t) = 2E_{4x}^{omp}(t)E_{4y}^{omp}(t)\sin\Phi_{x_4y_4}(t);$$

$\Phi(t)$ – разность фаз между ортогональными составляющими волны E_x и E_y .

Можно предположить [3], что при взаимодействии электромагнитной волны с объектом будут выполняться следующие условия:

а) Линейность, если зондирующему объект сигналу $E_1^{u3l}(t)$, $E_2^{u3l}(t)$, $E_3^{u3l}(t)$, $E_4^{u3l}(t)$ отвечают соответственно отклики (отраженные сигналы) $E_1^{omp}(t)$, $E_2^{omp}(t)$, $E_3^{omp}(t)$, $E_4^{omp}(t)$, то линейным комбинациям возмущений:

$$n_1 E_{1x}^{u3l}(t) + n_1 E_{1y}^{u3l}(t), \quad (11)$$

$$n_2 E_{2x}^{u3l}(t) + n_2 E_{2y}^{u3l}(t), \quad (12)$$

$$n_3 E_{3x}^{u3l}(t) + n_3 E_{3y}^{u3l}(t), \quad (13)$$

$$n_4 E_{4x}^{u3l}(t) + n_4 E_{4y}^{u3l}(t) \quad (14)$$

отвечают соответственно отклики:

$$n_1 E_{1x}^{omp}(t) + n_1 E_{1y}^{omp}(t), \quad (15)$$

$$n_2 E_{2x}^{omp}(t) + n_2 E_{2y}^{omp}(t), \quad (16)$$

$$n_3 E_{3x}^{omp}(t) + n_3 E_{3y}^{omp}(t), \quad (17)$$

$$n_4 E_{4x}^{omp}(t) + n_4 E_{4y}^{omp}(t). \quad (18)$$

б) Вещественность, когда все компоненты облучаемой волны $E_1^{u3l}(t)$, $E_2^{u3l}(t)$, $E_3^{u3l}(t)$, $E_4^{u3l}(t)$ соответствуют обобщенным функциям $E_1^{u3l}(t) \in D'$, $E_2^{u3l}(t) \in D'$, $E_3^{u3l}(t) \in D'$, $E_4^{u3l}(t) \in D'$ и стремятся к нулю в D' , тогда и все компоненты отклика $E_1^{omp}(t)$, $E_2^{omp}(t)$, $E_3^{omp}(t)$, $E_4^{omp}(t)$ как обобщенные функции $E_1^{omp}(t) \in D'$, $E_2^{omp}(t) \in D'$, $E_3^{omp}(t) \in D'$, $E_4^{omp}(t) \in D'$ также стремятся к нулю в D' .

в) Трансляционная инвариантность, если исходным возмущениям $E_n^{u3l}(t)$ отвечает отклик $E_n^{omp}(t)$, то для любого временного сдвига τ справедливы следующие соответствия:

$$E_1^{u3l}(t - \tau) \rightarrow E_1^{omp}(t - \tau); \quad (19)$$

$$E_2^{u3l}(t - \tau) \rightarrow E_2^{omp}(t - \tau); \quad (20)$$

$$E_3^{u3l}(t - \tau) \rightarrow E_3^{omp}(t - \tau); \quad (21)$$

$$E_4^{u3l}(t - \tau) \rightarrow E_4^{omp}(t - \tau). \quad (22)$$

В соответствии с [3], эти условия эквивалентны существованию единственной $n \times n$ матрицы $S(t)$, элементы которой также являются обобщенными функциями $S_{ij}(t) \in D^{ij}$ и связывают облучение и отражение (возмущение и отклик) операций свертки, т.е.

$$SE^{u3l}(t) = E^{omp}(t). \quad (23)$$

В (23) линейный преобразователь $S(t)$ описывается матричной обобщенной функцией $S(t) \in D'$, независимой от зондирующего сигнала $E^{u3l}(t) \in D'$. С помощью матрицы S в (23) можно определить отраженный сигнал (отклик) на любой зондирующий сигнал (входной) $E^{u3l}(t) \in D'$.

Радиолокационный эхо-сигнал медленно флуктуирующей точечной цели (навигационного объекта с изменяющимся ракурсом) с матрицей рассеяния S при наличии фона пространственно распределенных рассеивателей (частиц облаков и осадков) согласно [1], запишется в виде:

$$E^{omp}(t) = SE_d^{uzl}(t) + E^{cl}(t) + N(t), \quad (24)$$

где в излучаемой волне $E_d^{uzl}(t)$ нижний индекс d указывает на появление возможного доплеровского сдвига в зондирующем сигнале при его рассеянии на движущемся навигационном объекте;

$E^{cl}(t)$ - отражение от метеообразований;

$N(t)$ - совокупность аддитивных гаусовских шумов во всех каналах приемного устройства судового поляриметра.

Выделяя в сигнале $E^{omp}(t)$ его составляющих $E_d^{uzl}(t)$, $E^{cl}(t)$, $N(t)$ вектор комплексных огибающих и заменяя все сигналы на их комплексные огибающие, матрица рассеяния $S(t)$ становится в (23) комплексной и поэтому только в этом случае взаимодействие электромагнитной волны с рассеивателем можно представить в виде произведений.

Реальная среда, в которой распространяются радиолокационные сигналы, имеет электродинамические параметры, соответствующие вещественной симметричной и положительно определенной поляризационной матрице. Матрица рассеяния является имманентной характеристикой объекта радиолокационного наблюдения и поэтому необходимо, по определенным соображениям, производить выбор наиболее рационального ее представления. При этом определение характеристик состояния объекта (радиолокационной цели) производится как некоторых функционалов от матрицы рассеяния для выбранного ее представления.

По системе собственных функций можно представить электромагнитную волну на излучение и прием поляризационными параметрами Стокса, после чего по определенной для функционального анализа методике осуществляется представление матрицы рассеяния объекта, которая является полной характеристикой рассеивающих свойств объекта, поскольку с помощью ее определяется поляризационная структура рассеянного сигнала при любом спектральном со-

ставе поляризованной облучающей волны и любых фиксированных условий радиолокационного наблюдения.

Навигационные объекты, находящиеся в зоне выпадающих осадков, являются радиолокационными объектами, эхо-сигналы которых имеют детерминированную и флуктуирующую составляющие, а поляризационные свойства имеют различные сочетания стабильный и флуктуирующий компонент эхо-сигнала.

Флуктуирующая составляющая является мешающим фоном, затрудняющим радиолокационное распознавание навигационного объекта и обработки его эхо-сигналов. Учет степени воздействия флуктуирующей составляющей (помехи) на эхо-сигнал навигационного объекта можно осуществить методами статистического анализа [6]. Подбор оптимальной поляризации антенны судовой РЛС на передачу и прием для каждого конкретного образца сочетания поляризационных свойств эхо-сигнала объект + помеха должен уменьшить в суммарном эхо-сигнале интенсивности от помехи и оптимально использовать поляризационные свойства антенны при приеме эхо-сигнала объекта. В идеальном случае эффект достигается, когда поляризация антенны ортогональна эллипсу поляризации помехи и полностью согласована с поляризацией эхо-сигнала навигационного объекта.

Будем рассматривать радиолокационное обнаружение детерминированного сигнала по поляризационной матрице рассеяния объекта, при наличии частично поляризованной помехи.

Пусть радиолокационный сигнал $S(t)$ в произвольном поляризационном базисе характеризуется матрицей, элементы которой S_{ik} ($i, k = 1 \dots 16$) являются детерминированными функциями времени:

$$\begin{bmatrix} \dot{S}_{11}(t) & \dot{S}_{12}(t) & \dot{S}_{13}(t) & \dot{S}_{14}(t) \\ \dot{S}_{21}(t) & \dot{S}_{22}(t) & \dot{S}_{23}(t) & \dot{S}_{24}(t) \\ \dot{S}_{31}(t) & \dot{S}_{32}(t) & \dot{S}_{33}(t) & \dot{S}_{34}(t) \\ \dot{S}_{41}(t) & \dot{S}_{42}(t) & \dot{S}_{43}(t) & \dot{S}_{44}(t) \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Матрица (25) определяется с помощью судового радиолокатора, имеющего два ортогональных приемных канала. По аналогии с (25)

поляризованная матрица частично поляризованной помехи запишется в виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{11}(t) & \dot{i}_{12}(t) & \dot{i}_{13}(t) & \dot{i}_{14}(t) \\ \dot{i}_{21}(t) & \dot{i}_{22}(t) & \dot{i}_{23}(t) & \dot{i}_{24}(t) \\ \dot{i}_{31}(t) & \dot{i}_{32}(t) & \dot{i}_{33}(t) & \dot{i}_{34}(t) \\ \dot{i}_{41}(t) & \dot{i}_{42}(t) & \dot{i}_{43}(t) & \dot{i}_{44}(t) \end{bmatrix}. \quad (26)$$

С учетом (25) и (26) суммарный частично поляризованный эхосигнал $S(t)$, поступающий на вход приемника судовой РЛС, можно представить также в виде поляризационной матрицы, в которой $S(t)$ представлен параметрами Стокса $I(t)$, $Q(t)$, $U(t)$, $V(t)$:

$$\begin{bmatrix} I_{11}^{np}(t) & I_{12}^{np}(t) & I_{13}^{np}(t) & I_{14}^{np}(t) \\ Q_{21}^{np}(t) & Q_{22}^{np}(t) & Q_{23}^{np}(t) & Q_{24}^{np}(t) \\ U_{31}^{np}(t) & U_{32}^{np}(t) & U_{33}^{np}(t) & U_{34}^{np}(t) \\ V_{41}^{np}(t) & V_{42}^{np}(t) & V_{43}^{np}(t) & V_{44}^{np}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{S}_{11}(t) + \dot{i}_{11}(t) & \dot{S}_{12}(t) + \dot{i}_{12}(t) & \dot{S}_{13}(t) + \dot{i}_{13}(t) & \dot{S}_{14}(t) + \dot{i}_{14}(t) \\ \dot{S}_{21}(t) + \dot{i}_{21}(t) & \dot{S}_{22}(t) + \dot{i}_{22}(t) & \dot{S}_{23}(t) + \dot{i}_{23}(t) & \dot{S}_{24}(t) + \dot{i}_{24}(t) \\ \dot{S}_{31}(t) + \dot{i}_{31}(t) & \dot{S}_{32}(t) + \dot{i}_{32}(t) & \dot{S}_{33}(t) + \dot{i}_{33}(t) & \dot{S}_{34}(t) + \dot{i}_{34}(t) \\ \dot{S}_{41}(t) + \dot{i}_{41}(t) & \dot{S}_{42}(t) + \dot{i}_{42}(t) & \dot{S}_{43}(t) + \dot{i}_{43}(t) & \dot{S}_{44}(t) + \dot{i}_{44}(t) \end{bmatrix}. \quad (27)$$

Соотношение (27) записано с учетом того, что помеха является стационарной и статистически независимой от радиолокационного сигнала.

Определим оптимальную процедуру обработки поляризованного эхо-сигнала при наличии частично поляризованной коррелированной помехи. Пусть на вход антенны судовой РЛС поступает частично поляризованный эхо-сигнал от каждого облучения объекта электромагнитной волной четырех фиксированных поляризаций и содержа-

щий две ортогональные составляющие $E_1^{np}(t)$, $E_2^{np}(t)$, мощность которых $E_1^{2np}(t)$ и $E_2^{2np}(t)$, из которых поляризационное устройство (преобразователь) формирует 16 вещественных параметров Стокса при каждом облучении сложного объекта электромагнитной неполяризованной волной (H) линейной вертикальной поляризации ($ЛВ$), линейной поляризованной с наклоном электрического вектора 45° ($Л45$) и волной круговой поляризации (K):

$$\begin{matrix} I_{11}^H & I_{12}^{Л6} & I_{13}^{Л45} & I_{14}^K \\ Q_{21}^H & Q_{22}^{Л6} & Q_{23}^{Л45} & Q_{24}^K \\ U_{31}^H & U_{32}^{Л6} & U_{33}^{Л45} & U_{34}^K \\ V_{41}^H & V_{42}^{Л6} & V_{43}^{Л45} & V_{44}^K \end{matrix}, \quad (28)$$

где параметры Стокса отраженной волны связаны следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} I_{11}^H &= E_1^2 + E_2^2; \\ Q_{21}^H &= E_1^2 - E_2^2; \\ U_{31}^H &= 2E_1E_2\cos\Phi_{12}; \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} V_{41}^H &= 2E_1E_2\sin\Phi_{12}; \\ I_{12}^{Л6} &= E_1^2 + E_2^2; \\ Q_{22}^{Л6} &= E_1^2 - E_2^2; \\ U_{32}^{Л6} &= 2E_1E_2\cos\Phi_{12}; \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} V_{42}^{Л6} &= 2E_1E_2\sin\Phi_{12}; \\ I_{13}^{Л45} &= E_1^2 + E_2^2; \\ Q_{23}^{Л45} &= E_1^2 - E_2^2; \\ U_{33}^{Л45} &= 2E_1E_2\cos\Phi_{12}; \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} V_{43}^{Л45} &= 2E_1E_2\sin\Phi_{12}; \\ I_{14}^K &= E_1^2 + E_2^2; \\ Q_{24}^K &= E_1^2 - E_2^2; \\ U_{34}^K &= 2E_1E_2\cos\Phi_{12}; \end{aligned} \quad (32)$$

$$V_{44}^K = 2E_1E_2\sin\Phi_{12}.$$

С учетом (27) параметры Стокса эхо-сигналов навигационного объекта и помехи запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} I_{11(o+n)}(t) &= \dot{S}_{11}(t) + \dot{I}_{11}(t); \\ I_{12(o+n)}(t) &= \dot{S}_{12}(t) + \dot{I}_{12}(t); \\ I_{13(o+n)}(t) &= \dot{S}_{13}(t) + \dot{I}_{13}(t); \\ I_{14(o+n)}(t) &= \dot{S}_{14}(t) + \dot{I}_{14}(t); \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} Q_{21(o+n)}(t) &= \dot{S}_{21}(t) + \dot{I}_{21}(t); \\ Q_{22(o+n)}(t) &= \dot{S}_{22}(t) + \dot{I}_{22}(t); \\ Q_{23(o+n)}(t) &= \dot{S}_{23}(t) + \dot{I}_{23}(t); \\ Q_{24(o+n)}(t) &= \dot{S}_{24}(t) + \dot{I}_{24}(t); \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} U_{31(o+n)}(t) &= \dot{S}_{31}(t) + \dot{I}_{31}(t); \\ U_{32(o+n)}(t) &= \dot{S}_{32}(t) + \dot{I}_{32}(t); \\ U_{33(o+n)}(t) &= \dot{S}_{33}(t) + \dot{I}_{33}(t); \\ U_{34(o+n)}(t) &= \dot{S}_{34}(t) + \dot{I}_{34}(t); \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} V_{41(o+n)}(t) &= \dot{S}_{41}(t) + \dot{I}_{41}(t); \\ V_{42(o+n)}(t) &= \dot{S}_{42}(t) + \dot{I}_{42}(t); \\ V_{43(o+n)}(t) &= \dot{S}_{43}(t) + \dot{I}_{43}(t); \\ V_{44(o+n)}(t) &= \dot{S}_{44}(t) + \dot{I}_{44}(t), \end{aligned} \quad (36)$$

а параметры Стокса с эхо-сигналами помехи связаны следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} I_{11(n)}(t) &= \dot{I}_{11}(t); \\ I_{12(n)}(t) &= \dot{I}_{12}(t); \\ I_{13(n)}(t) &= \dot{I}_{13}(t); \\ I_{14(n)}(t) &= \dot{I}_{14}(t); \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} Q_{21(n)}(t) &= \dot{i}_{21}(t); \\ Q_{22(n)}(t) &= \dot{i}_{22}(t); \\ Q_{23(n)}(t) &= \dot{i}_{23}(t); \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} Q_{24(n)}(t) &= \dot{i}_{24}(t); \\ U_{31(n)}(t) &= \dot{i}_{31}(t); \\ U_{32(n)}(t) &= \dot{i}_{32}(t); \\ U_{33(n)}(t) &= \dot{i}_{33}(t); \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} U_{34(n)}(t) &= \dot{i}_{34}(t); \\ V_{41(n)}(t) &= \dot{i}_{41}(t); \\ V_{42(n)}(t) &= \dot{i}_{42}(t); \\ V_{43(n)}(t) &= \dot{i}_{43}(t); \\ V_{44(n)}(t) &= \dot{i}_{44}(t). \end{aligned} \quad (40)$$

Особенностью решения поставленной задачи является необходимость оперировать не с одной случайной функцией, а с шестнадцатью. Оптимальной процедурой обработки такого сложного частично поляризованного сигнала является алгоритм, формирующий следующие отношения правдоподобия:

$$\begin{aligned} R(I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, Q_{21}, Q_{22}, Q_{23}, Q_{24}, U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}, V_{41}, V_{42}, V_{43}, V_{44}) = \\ = \\ \frac{W_{S+l} \left[I_{11}^1, I_{12}, I_{13}, I_{14}^N, Q_{21}^1, Q_{22}, Q_{23}, Q_{24}^N, U_{31}^1, U_{32}, U_{33}, U_{34}^N, V_{41}^1, V_{42}, V_{43}, V_{44}^N \right]}{W_l \left[I_{11}^1, I_{12}, I_{13}, I_{14}^N, Q_{21}^1, Q_{22}, Q_{23}, Q_{24}^N, U_{31}^1, U_{32}, U_{33}, U_{34}^N, V_{41}^1, V_{42}, V_{43}, V_{44}^N \right]} \end{aligned} \quad (41)$$

и принимает решение о наличии ($R \geq R_0$) или отсутствии ($R < R_0$) поляризованного сигнала $S_{ij}(t)$. Здесь R_0 – порог, определяемый критерием выбора решения задачи, а W_{S+l} и W_l – функции правдоподобия наблюдаемых координат при условии наличия либо отсутствия эхо-сигналов объекта и помехи соответственно, а элементы поляризационной матрицы помехи (2) являются нормальными случайными функциями с нулевым средним значением.

Рассмотренный алгоритм принятия решения является оптимальным для любого критерия качества выбора решения, определяемого величиной порога R_0 .

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Полученная в работе оптимальная процедура обработки сложного частично поляризованного сигнала, алгоритм которой формирует отношение правдоподобия, позволяет повысить эффективность радиолокационного распознавания судовыми поляриметрами навигационных объектов при наличии гидрометеорологического фона.

При обнаружении по поляризационной матрице детерминированного сигнала при наличии частично поляризованной коррелированной помехи дальнейшие исследования будут направлены на поиск зависимости

$P_D = f(P_F)$, где P_D - вероятность правильного обнаружения объекта, а P_F - вероятность ложной тревоги и построения функциональной схемы обнаружителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канарейкин Д.Б. Поляризация радиолокационных сигналов / Д.Б. Канарейкин, Н.Ф. Павлов, В.А. Потехин . – М.: Изд-во «Советское радио», 1966. – 440 с.
2. Канарейкин Д.Б. Морская поляриметрия / Д.Б. Канарейкин, В.А. Потехин, И.Ф. Шишкин . – Л.: Судостроение, 1968. – 328с.
3. Поляризация сигналов в сложных транспортных радиоэлектронных комплексах / [В.Б. Авишев, Ю.В. Алексеев, В.М. Бернер и др]; под ред. А.И. Козлова и В.А. Сарычева. – Санкт-Петербург: «Хронограф», 1994. – 460с.
4. Корбан В.Х. Поляризаційна селекція хмар і опадів / В.Х. Корбан . – Одеса, 2004. – 248 с.
5. Поздняк С.И. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн / С.И. Поздняк, В.А. Мелитицкий. – М.: Изд-во «Советское радио», 1974. – 480 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. – М.: Изд-во «Советское радио». – Кн. 1, 1968. – 273 с.