УДК 621.396.96.095.4:528.8.04-047.27

В.К. Волосюк[1], Е.Н. Тимощук[2]

[1] *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*
[2] *Киевская государственная академия водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Украина*

ОПТИМИЗАЦИЯ ОЦЕНОК ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТЯЖЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПАССИВНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Синтезированы алгоритмы оптимальных оценок электрофизических параметров как функций угловых координат излучающих элементов пространственно-протяженных исследуемых объектов. Алгоритмы получены в результате решения вариационных уравнений правдоподобия. Состоятельность оценок обеспечивается за счет усреднения V_F-периодограмм и периодограмм Фурье по временным частотам или их спектральных преобразований по времени. Разработанные алгоритмы могут быть применены как для узкополосных, так и для сверхширокополосных полей.

Ключевые слова: *V_F-преобразования, сверхширокополосные поля, пространственно-временная обработка сигналов.*

Введение

С развитием многоантенных пассивных радиотехнических комплексов в радиоастрономии, дистанционном зондировании, дистанционной радиоспектрометрии [1 – 3], актуальными становятся задачи построения не только изображений протяженных объектов радиоизлучения, но и построения изображений электрофизических параметров и статистических характеристик $\vec{\lambda}\left(\vec{\vartheta}\right)=\left\|\lambda_j\left(\vec{\vartheta}\right)\right\|$ в виде соответствующих их зависимостей от пространственных координат в областях расположения излучающих источников. Этот класс задач следует отнести к задачам нелинейной фильтрации или оценок процессов [4]. Параметрами, подлежащими оценке, могут быть плотность вещества, его диэлектрическая проницаемость, влажность, коэффициент поглощения и др. Для достижения наилучших показателей искомых оценок эти задачи необходимо решать в оптимизационной постановке.

Целью работы является статистический синтез алгоритмов оценок параметров протяженных объектов как функций пространственных координат.

1. Исходные соотношения и постановка задачи синтеза оптимального алгоритма

Модель уравнения наблюдения электромагнитного поля собственного радиотеплового излучения исследуемого протяженного объекта запишем в виде

$$\begin{gathered}\vec{u}_{\Sigma}(t,\vec{r}\,')=\left\|u_{k\Sigma}(t,\vec{r}\,')\right\|,\\ u_{k\Sigma}(t,\vec{r}\,')=u_{ks}(t,\vec{r}\,',\vec{\lambda})+u_{kn}(t,\vec{r}\,')+n_{kp}(t,\vec{r}\,'),\\ u_{ks}(t,\vec{r}\,',\vec{\lambda})=u_{kD}(t,\vec{r}\,',\vec{\lambda})+u_{k\phi}(t,\vec{r}\,'),\\ \vec{r}\,'=(x',y')\in D',\quad t\in(0,T),\quad k=\overline{1,K},\end{gathered}\tag{1}$$

где $u_{kD}(t,\vec{r}\,',\vec{\lambda})$ – излучение исследуемого объекта, $u_{k\phi}(t,\vec{r}\,')$ – фоновое излучение и излучение подсветки атмосферой, $u_{kn}(t,\vec{r}\,')$ − внутренние шумы пространственно-распределенной антенной системы, $n_{kp}(t,\vec{r}\,')$ – небольшой шум, добавляемый к уравнению наблюдения, который необходим для статистической регуляризации решения обратной задачи синтеза оптимальных алгоритмов обработки наблюдаемого излучения. Индекс k соответствует различным видам поляризации, направлениям наблюдения за объектом и т.п. Общее число K должно соответствовать числу независимых нелинейных уравнений, необходимых для оценок $\vec{\lambda}=\vec{\lambda}\left(\vec{\vartheta}\right)$. Здесь координаты элементов излучающего объекта – это направляющие косинусы. Все процессы полагаем гауссовыми с корреляционными функциями

$$\begin{gathered}\left\langle u_{ks}(\vec{r}_1',t_1)u_{ks}(\vec{r}_2',t_2)\right\rangle=R_{ku_s}(\Delta\vec{r}\,',\tau,\vec{\lambda})=\\ =V_F^{-1}\left\{B_{ks}\left[\vec{\vartheta},f,\vec{\lambda}\left(\vec{\vartheta}\right)\right]\right\}=\int\limits_{-\infty}^{\infty}\int\limits_{-\infty}^{\infty}B_{ks}\left[\vec{\vartheta},f,\vec{\lambda}\left(\vec{\vartheta}\right)\right]\times\\ \times\exp\left\{j2\pi f\left(\tau+c^{-1}\vec{\vartheta}\Delta\vec{r}\,'\right)\right\}df\,d\vec{\vartheta},\end{gathered}\tag{2}$$

$$\begin{gathered}\left\langle u_{kn}\left(t_1,\vec{r}_1\right)u_{kn}\left(t_2,\vec{r}_2\right)\right\rangle=\\ =\frac{N_{0k}}{2}H_k\left(t_1-t_2\right)\delta(\vec{r}_1'-\vec{r}_2')=R_{ku_n}\left(\tau,\Delta\vec{r}\,'\right),\\ R_{kp}\left(t_1-t_2,\vec{r}_1'-\vec{r}\,'\right)=\left(N_{0kp}/2\right)\delta\left(t_1-t_2\right)\delta(\vec{r}_1'-\vec{r}_2'),\end{gathered}\tag{3}$$

где
$$\begin{gathered}H_k\left(t_1-t_2\right)=\int\limits_{-\infty}^{\infty}h_k\left(t_1-\tau\right)h_k\left(t_2-\tau\right)d\tau=\\ =F^{-1}\left[\left|K_k\left(j2\pi f\right)\right|^2\right],\end{gathered}\tag{4}$$

$h_k(t_1-\tau)$ – импульсная характеристика,

$$B_{ks}[\vartheta, f, \vec{\lambda}(\vartheta)] = \\ = \left|\dot{K}_k(j2\pi f)\right|^2 \left|\dot{F}_A(\vartheta, f)\right|^2 B_{ok}[\vartheta, f, \vec{\lambda}(\vartheta)]; \quad (5)$$

$$B_{ok}(\vec{\vartheta}, f, \vec{\lambda}) = B_{kD}(\vec{\vartheta}, f, \vec{\lambda}) + B_{k\Phi}(\vec{\vartheta}, f) \text{ –} \quad (6)$$

спектрально-угловые плотности мощности излучения, связанные с корреляционными функциями $R_{ku_s}(\Delta\vec{r}', \tau, \vec{\lambda})$ преобразованиями V_F [5].

Полагается, что процессы $u_{ks}(\vec{r}_1', t_1)$ ограничены коэффициентами передачи входных устройств или линейных частей радиометров (ЛЧП). $\dot{K}_k(j2\pi f) = \dot{K}(j2\pi f)$ и диаграммами направленности (ДН) элементарных антенн в составе антенной решетки (АР) $\dot{F}_A(\vec{\vartheta}, f)$. Для упрощения математических преобразований также будем полагать, что фазовые центры элементарных антенн континуально заполняют область наблюдения D'. В математических преобразованиях это приведет к появлению интегралов, а не сумм. К суммам можно будет перейти на заключительном этапе при дискретизации синтезированных алгоритмов и учете реальных расстояний между фазовыми центрами элементарных антенн.

Алгоритм оптимальных оценок параметров $\lambda_j(\vec{\vartheta})$ находим из решения вариационного уравнения правдоподобия

$$\sum_{k=1}^{K} \int_T \int_T \int_{D'} \int_{D'} \frac{\delta R_{k\Sigma}[t_1, t_2, \vec{r}_1', \vec{r}_2', \vec{\lambda}(\vec{\vartheta})]}{\delta\lambda_j(\vec{\vartheta})} \times \\ \times W_{k\Sigma}[t_2, t_1, \vec{r}_2', \vec{r}_1', \vec{\lambda}(\vec{\vartheta})] dt_1 dt_2 d\vec{r}_1' d\vec{r}_2' = \\ = \sum_{k=1}^{K} \int_T \int_T \int_{D'} \int_{D'} \frac{\delta W_{k\Sigma}[t_1, t_2, \vec{r}_1', \vec{r}_2', \vec{\lambda}(\vec{\vartheta})]}{\delta\lambda_j(\vec{\vartheta})} \times \\ \times u_{k\Sigma}(t_1, \vec{r}_1') u_{k\Sigma}(t_2, \vec{r}_2') dt_1 dt_2 d\vec{r}_1' d\vec{r}_2', \quad (7)$$

где $\delta R_{k\Sigma}/\delta\lambda_j$, $\delta W_{k\Sigma}/\delta\lambda_j$ – вариационные (функциональные) производные [5] от корреляционной и обратной корреляционной функций.

2. Решение оптимизационной задачи

Обратную корреляционную функцию находим и интегрального уравнения обращения

$$\int_T \int_{D'} \begin{pmatrix} R_{k\Sigma}[t_1, t_2, \vec{r}_1', \vec{r}_2', \vec{\lambda}(\vec{\vartheta})] \times \\ \times W_{k\Sigma}[t_2, t_3, \vec{r}_2', \vec{r}_3', \vec{\lambda}(\vec{\vartheta})] \end{pmatrix} dt_2 d\vec{r}_2' = \\ = \delta(t_1 - t_3)\delta(\vec{r}_1' - \vec{r}_3'). \quad (8)$$

Полагая, что интервалы корреляции наблюдаемых случайных процессов по времени и пространственным координатам значительно меньше соответствующих интервалов наблюдения находим решение этого уравнения методом преобразований Фурье в бесконечных пределах интегрирования [4]. Тогда

$$W_{k\Sigma}[\tau, \Delta\vec{r}', \vec{\lambda}(\vec{\vartheta})] = \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} B_{W\Sigma}[f, \vec{\vartheta}, \vec{\lambda}(\vec{\vartheta})] \exp\left[j2\pi f\left(\tau + \frac{\vec{\vartheta}\Delta\vec{r}'}{c}\right)\right] df d\vec{\vartheta},$$

где $\qquad B_{W\Sigma}[\cdot] = \dfrac{f^4}{c^4} B_{k\Sigma}^{-1}[\cdot]$.

Вариационные производные найдем в виде

$$\frac{\delta R_{k\Sigma}}{\delta\lambda(\vec{\vartheta})} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial B_{k\Sigma}[f, \vec{\vartheta}, \hat{\vec{\lambda}}(\vec{\vartheta})]}{\partial\lambda_j} \exp\left\{j2\pi f(\tau + \frac{\vec{\vartheta}\Delta\vec{r}'}{c})\right\} df,$$

$$\frac{\delta W_{k\Sigma}}{\delta\lambda(\vec{\vartheta})} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f^4}{c^4} \frac{\partial B_{k\Sigma}[f, \vec{\vartheta}, \hat{\vec{\lambda}}(\vec{\vartheta})] / \partial\lambda_j(\vartheta)}{B_{k\Sigma}^2[f, \vec{\vartheta}, \vec{\lambda}(\vec{\vartheta})]} \times \\ \times \exp\left\{j2\pi f(\tau + \frac{\vec{\vartheta}\Delta\vec{r}'}{c})\right\} df.$$

Подставив эти производные в уравнение правдоподобия (7), находим его решение в виде

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \left|\dot{L}_k[j2\pi f, \vec{\vartheta}_1, \vec{\lambda}_0]\right|^2 \times \\ \times \int_{-\infty}^{+\infty} \left|\dot{\Psi}_{D'}[f(\vec{\vartheta}_1 - \vec{\vartheta}_2)]\right|^2 B_{k\Sigma}[f, \vec{\vartheta}_2, \vec{\lambda}(\vec{\vartheta}_2)] d\vec{\vartheta}_2 df = \\ = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} \left|\dot{L}_k[j2\pi f, \vec{\vartheta}_1, \vec{\lambda}]\right|^2 \left|\dot{S}_{kTD'}(j2\pi f, \vec{\vartheta}_1)\right|^2 df, \quad (9)$$

где $\left|\dot{L}_k[j2\pi f, \vec{\vartheta}, \lambda(\vec{\vartheta}]\right|^2 = \dfrac{f_1^4}{c^4} \dfrac{\left|\dot{K}(j2\pi f)\dot{F}_A(\vec{\vartheta}, f)\right|^2}{B_{k\Sigma}^2(f, \vec{\vartheta}, \lambda(\vec{\vartheta}))}$ – (10)

квадрат модуля передаточной характеристики декоррелирующего фильтра, знаменатель которой определяет структуру инверсного фильтра, а числитель – согласованного,

$$\dot{\Psi}_{D'}[f(\vec{\vartheta}_1 - \vec{\vartheta}_2)] = \int_{D'} \exp\left\{j2\pi f \frac{(\vec{\vartheta}_1 - \vec{\vartheta}_2)\vec{r}'}{c}\right\} d\vec{r}' \text{ –} \quad (11)$$

функция неопределенности (аппаратная функция), определяющая пространственную разрешающую способность по угловым координатам на каждой конкретной частоте f и зависящая от структуры раскрыва (области интегрирования),

$$\left|\dot{S}_{kTD'}(j2\pi f\vec{\vartheta})\right|^2 = \\ = \left|\int_T \int_{D'} u_{k\Sigma}(t, \vec{r}') \exp\left[\pm j2\pi f\left(t + \frac{\vec{\vartheta}\vec{r}'}{c}\right)\right] dt d\vec{r}'\right|^2 \text{ –} \quad (12)$$

V_F-периодограмма, являющаяся обобщением периодограммы Фурье. Функцию $\dot{S}_{kTD'}(j2\pi f\vec{\vartheta})$ получаем применением V_F-преобразование к наблюдаемому процессу $u_{k\Sigma}(t, \vec{r}')$ на ограниченных интервалах наблюдения T и D'.

Таким образом, оптимальные оценки параметров находим в результате решения системы нелинейных интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода (9). Для получения этих уравнений необходимо сформировать их правые части в соответствующих системах прима и обработки сигналов радиотеплового излучения протяженных объектов. Основной алгоритмическими операциями являются операциями формирования периодограммы (12) и ее усреднения в диапазоне частот, заданном АЧХ $\left|\dot{L}_k[j2\pi f,\vec{\vartheta},\lambda(\vec{\vartheta})]\right|$. Можно показать, что левая часть уравнения (9) является математическим ожиданием правой. Поскольку они не равны друг другу, то знак равенства между ними следует рассматривать как знак приравнивания. Левая часть раскрывает физическую сущность алгоритмических операций, представленных правой частью. Левая часть показывает, что результатом обработки является оценка суммарной яркости $B_{k\sum}[f,\vec{\vartheta},\vec{\lambda}(\vec{\vartheta})]$, сглаженная функцией неопределенности $\left|\dot{\Psi}_{D'}[f(\vec{\vartheta}_1-\vec{\vartheta}_2)]\right|^2$ на каждой частоте f и затем проинтегрированная по всем частотам в полосе АЧХ $\left|\dot{L}_k[j2\pi f,\vec{\vartheta},\lambda(\vec{\vartheta})]\right|$. Функциональные связи оцениваемых параметров с яркостями $B_{k\sum}$ должны быть известными. Их определяют либо электродинамическими моделями излучения радиоволн поверхностями исследуемых объектов, либо регрессионными (эмпирическими, регрессионными).

При дискретизации в спектральной области алгоритмическая и соответствующая техническая реализация формирования спектра $\dot{S}_{kTD'}(j2\pi f\vec{\vartheta})$ как V_F-преобразования усеченной функции $u_{k\Sigma}(t,\vec{r}')$ интервалом наблюдения T и D' в периодограмме (12) соответствует фильтрации наблюдаемого процесса на выбранной сетке частот, задержке по фазе каждой спектральной составляющей на величину $2\pi f\vec{\vartheta}\vec{r}'/c$ и когерентного синфазного суммирования задержанных сигналов, принятых элементами раскрыва (элементами антенной решетки). При этом все спектральные составляющие принятого излучения будут сфокусированы на каждое из заданных направлений $\vec{\vartheta}$, что эквивалентно созданию множества лучей, покрывающих сектор обзора, в котором находится исследуемый объект. В результате такой фокусировки и приема сигналов из каждого направления в отдельности формируется изображение излучающего объекта. Эквивалентными операциями, формирования оценок функций когерентности с последующим их преобразованием в соответствии с обобщенной теоремой Ван Циттерта-Цернике [5].

Периодограмма (12) является несостоятельной оценкой яркости $B_{k\sum}$, т.е. не стремится к истинному значению при стремлении к бесконечности временного T и пространственного D' интервалов наблюдения. Усреднение периодограммы повышает степень состоятельности оценок и яркости $B_{k\sum}$ и параметров $\vec{\lambda}(\vec{\vartheta})$ тем больше, чем в более широкой полосе частот происходит ее интегрирование по частотам f. Без такого усреднения полученные изображения будут искажены пятнистой структурой (спекл-структурой). Характерные размеры спеклов на изображении равны пространственному радиусу корреляции периодограммы. Полоса частот занимаемых АЧХ $\left|\dot{L}_k[j2\pi f,\vec{\vartheta},\vec{\lambda}(\vec{\vartheta})]\right|$ декоррелирующего фильтра шире полосы частот, занимаемых АЧХ ЛПЧ $\dot{K}(j2\pi f)$. Это означает, что интервалы корреляции излучения на выходе такого фильтра меньше, чем на его входе, и число некоррелированных отсчетов выходного случайного процесса на единицу времени и на единицу частоты будет большим. Поэтому усреднение во времени и связанное с ним на основе теоремы Парсеваля-Лапласа усреднение по частотам более эффективно сглаживает помеховую спекл-структуру изображения, повышая его качество. Заметим, что декоррелиорующий фильтр является адаптивным, так как его АЧХ зависит от $\vec{\lambda}(\vec{\vartheta})$. Его полоса также зависит от спектральной плотности мощности помех. В уравнениях (9) можно считать, что в пределах АЧХ устройств радиометрической системы:

$$B_{ok}\left[\vec{\vartheta},f,\vec{\lambda}\left(\vec{\vartheta}\right)\right]\approx B_{ok}\left[\vec{\vartheta},f_0,\vec{\lambda}\left(\vec{\vartheta}\right)\right];\ \dot{F}_A(\vec{\vartheta},f)\approx\dot{F}_A(\vec{\vartheta},f_0).$$

Тогда эти уравнения можно упростить:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} B_{0k}[f_0,\vec{\vartheta}_2,\vec{\lambda}(\vec{\vartheta}_2)]\Phi_k(\vec{\vartheta}_1,\vec{\vartheta}_2)d\vec{\vartheta}_2 = \\ =\frac{1}{T}\int_{-\infty}^{+\infty}\left|\dot{L}_k[j2\pi f,\vec{\vartheta},\vec{\lambda}]\right|^2\left|\dot{S}_{kTD'}(j2\pi f,\vec{\vartheta})\right|^2 df - C_1 - C_2, \tag{13}$$

где

$$\Phi_k(\vec{\vartheta}_1,\vec{\vartheta}_2)=\int_{-\infty}^{+\infty}\left|\dot{L}_k[j2\pi f,\vec{\vartheta}_1,\vec{\lambda}]\right|^2\times \\ \times\left|\dot{K}(j2\pi f)\dot{F}_A(\vec{\vartheta}_1,f)\right|^2\left|\dot{\Psi}_{D'}[f(\vec{\vartheta}_1-\vec{\vartheta}_2)]\right|^2 df - \tag{14}$$

функция неопределенности системы, определяющая ее разрешающую способность и учитывающая полосу пропускаемых частот (справедлива для систем любой степени широкополосности, т.е. как для узкополосных, так и для сверхширокополосных систем)

$$C_1=\frac{N_{0k}}{2}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{f^2}{c^2}\left|\dot{L}_k[j2\pi f,\vec{\vartheta}_1,\vec{\lambda}]\right|^2\left|\dot{K}\left(j2\pi f\right)\right|^2\times \\ \times\int_{-\infty}^{+\infty}\left|\dot{\Psi}_{D'}[f(\vec{\vartheta}_1-\vec{\vartheta}_2)]\right|^2 d\vec{\vartheta}_2 df,$$

$$C_2=\frac{N_{0kp}}{2}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{f^2}{c^2}\left|\dot{L}_k[j2\pi f,\vec{\vartheta}_1,\vec{\lambda}]\right|^2\times \\ \times\int_{-\infty}^{+\infty}\left|\dot{\Psi}_{D'}[f(\vec{\vartheta}_1-\vec{\vartheta}_2)]\right|^2 d\vec{\vartheta}_2 df.$$

На основе теоремы Парсеваля-Лапласа уравнение (13), которое также следует считать алгоритмом обработки принимаемого излучения, можно записать в таком виде:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} B_{0k}[f_0,\vec{\vartheta}_2,\vec{\lambda}(\vec{\vartheta}_2)]\Phi_k(\vec{\vartheta}_1,\vec{\vartheta}_2)d\vec{\vartheta}_2 =$$

$$= \frac{1}{T}\int_{0}^{T}\left|u_{kD'_w}(t,\vec{\vartheta})\right|^2 dt - C_1 - C_2, \qquad (15)$$

где $u_{kD'_w}(t,\vec{\vartheta}) = \int_T h_{kw}(t-\tau)u_{kD'}\left(\tau,\vec{\vartheta}\right)d\tau$;

$$u_{kD'}\left(\tau,\vec{\vartheta}\right) = \int_{D'} u_{k\Sigma}\left(\tau - \frac{\vec{\vartheta}\vec{r}'}{c}, \vec{r}'\right)d\vec{r}' \; -$$

результат фокусировки антенной системы на направление $\vec{\vartheta}$, полученный после задержек сигналов во времени на элементах раскрыва на величины $\vec{\vartheta}\vec{r}'c^{-1}$ в соответствии с их запаздыванием по наклонному фронту волны и интегрирования по всем его элементам, а импульсная характеристика декоррелирующего фильтра равна

$$h_{kw}(t-\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{L}_k[j2\pi f, \vec{\vartheta}_1, \vec{\lambda}_0]\exp\left(j2\pi f\tau\right)df. \quad (16)$$

В алгоритмические действия, которые необходимо выполнить, входят операции: 1) задержек сигналов в каждом элементе антенной системы в соответствии с их запаздыванием $\vec{\vartheta}\vec{r}'c^{-1}$ по наклонному фронту падающего излучения; 2) синфазного (с одинаковой задержкой по фронту волны) сложения сигналов, обеспечивающего фокусировку системы на заданное направление из всего множества направлений, покрывающих протяженный объект излучения; 3) декорреляции сигналов в фильтре с импульсной характеристикой (16); 4) оценке средней мощности декоррелированных колебаний путем возведения их в квадрат и интегрирования с нормировкой на коэффициент T^{-1}; 5) вычитания смещений C_1 и C_2 в соответствии с принципом работы компенсационного радиометра.

Выводы

Решение задача статистической оптимизации оценок параметров и статистических характеристик протяженных объектов собственного радиотеплового излучения, являющихся функциями связанных с ними координат, т.е. также рассматриваемых в виде соответствующих изображений. Полученные алгоритмы являются алгоритмами оптимального апертурного синтеза и сводятся к фокусировке антенной системы на множество направлений, покрывающих сектор обзора, в котором находится исследуемый объект, оценке средней мощности декоррелированных колебаний, приятых с заданного множества направлений и последующего решения системы нелинейных интегральных уравнений 1-го рода. За счет декорреляции повышается число независимых отсчетов случайных процессов, что повышает эффективность их усреднения (после возведения в квадрат) уменьшает интенсивность спекл-помех на изображении и в конечном итоге повышает качество формируемых изображений. Получено выражение для функции неопределенности системы, характеризующей ее разрешающую способность с учетом операций декоррелирующей фильтрации и полосы пропускаемых радиометрической системой частот. Особенностью полученных алгоритмов является применение в них V_F-преобразований, не требующих выполнения условия пространственно- временной узкополосности, т.е. применимых для обработки сверхширокополосных процессов.

Список литературы

1. *Фалькович С.Е. Оптимальный прием пространственно-временных сигналов в радиоканалах с рассеянием / С.Е. Фалькович, В.И. Пономарев, Ю.В. Шкварко. − М.: Радио и связь, 1989. – 344 с.*
2. *Томпсон Р. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии / Р. Томпсон, Дж. Моран, Дж. Свенсон. − М.: Мир, 1989. – 668 с.*
3. *Построение изображений в астрономии по функциям когерентности / Под ред- К. ван Схонвелда. − М.: Мир, 1982. – 320 с.*
4. *Фалькович С.Е. Оценка параметров сигнала / С.Е. Фалькович. – М.: Сов. радио, 1970. – 330 с.*
5. *Кляцкин В.И. Статистическое описание динамических систем с флуктуирующими параметрами / В.И. Кляцкин. – М.: Наука, 1975. – 240 с.*

Надійшла до редколегії 28.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. В.В. Павліков, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

ОПТИМІЗАЦІЯ ОЦІНОК ПРОСТОРОВО-РОЗПОДІЛЕНИХ ПАРАМЕТРІВ І СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТЯЖНИХ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ В ПАСИВНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

В.К. Волосюк, О.М. Тимощук

Синтезовано алгоритми оптимальних оцінок електрофізичних параметрів як функцій кутових координат випромінюючих елементів просторово-протяжних об'єктів, що досліджуються. Алгоритми отримані в результаті рішення варіаційних рівнянь правдоподібності. Спроможність оцінок забезпечується за рахунок усереднення V_F-періодограмм і періодограмм Фур'є по часовим частотам, або їх спектральних перетворень за часом. Розроблені алгоритми можуть бути застосовані як для вузькосмугових, так і для надширокосмугових полів.

Ключові слова: *V_F-перетворення, надширокосмугові поля, просторово-часова обробка сигналів.*

OPTIMIZATION OF SPATIALLY DISTRIBUTED PARAMETERS ESTIMATES AND STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE EXTENDED SOURCE RADIATION IN THE PASSIVE RADIO COMPLEXES

V.K. Volosyuk, O.M. Tymoshchuk

Algorithms of optimal electrophysical parameters estimates as functions of the angular coordinates of the radiating spatially extended objects elements are synthesized. Algorithms are obtained by solving the variational equations likelihood. Consistency of estimates provided by averaging V_F-periodogramm and Fourier щт temporal frequency or spectral changes over time. The algorithms may be applied for narrowband and for ultrawideband fields processing.

Keywords: *V_F-transformation, ultra-wideband fields, space-temporal signal processing.*