

В. К. ВОЛОСЮК, С. С. ЖИЛА, Э. А. ЦЕРНЭ, А. И. СТОРОЖЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР ПОСТРОЕНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИРОДНЫХ СРЕД В ЗОНЕ ФРАУНГОФЕРА МНОГОКАНАЛЬНЫМИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

На основе феноменологического подхода рассмотрена структура рассеянного электромагнитного поля в области его регистрации в случае решения задач дистанционного зондирования подстилающих поверхностей. Выбранный подход основан на теории лучевой оптики и принципе Гюйгенса-Френеля и позволяет определять излучаемые и рассеянные поля на сложных типах поверхностей. Из анализа структуры электромагнитного поля следует, что его можно рассматривать как некое математическое преобразование истинного изображения поверхности. В таком случае основные процедуры восстановления когерентных изображений в дальней зоне Фраунгофера заключаются в технической реализации обратных преобразований в многоканальных радиотехнических системах. При неполном восстановлении истинного изображения, когда не учитывается полный набег фаз и затухание, основной операцией является обратное преобразование Фурье по угловым координатам. Качество полученного изображения будет определяться функцией неопределённости, которая в простейшем случае приёма рассеянного поля прямоугольной плоскостью имеет вид двух функций sinc. Ширина такой функции неопределённости пропорциональна длине волны, высоте зондирования и линейными размерами области регистрации. Если расстояние до каждой точки поверхности известно, то можно выполнить более точное восстановление когерентного изображения. В таком случае основной процедурой обработки является скользящее короткомасштабное преобразование Фурье. Такой результат соответствует классической теории резонансного рассеяния. При постоянном значении функции неопределённости и фиксированном значении угла визирования восстановлению подлежит только одна спектральная составляющая (пространственная гармоника). Сужая функцию неопределённости можно выделить все более широкий диапазон пространственных частот. В пределе, когда функция неоднозначности является дельта-функцией, то возможно восстановить полный спектр частот желаемого изображения. Если невозможно создать систему с узкой функцией неопределённости, то более качественное когерентное изображение может быть получено одной и той же областью регистрации путём сканирования или перемещения в пространстве.

Ключевые слова: когерентное изображение, дальняя зона Фраунгофера, кратко масштабное преобразование Фурье, многоканальные радиотехнические системы

Введение

При решении большинства задач радиолокации, дистанционного зондирования Земли [1], медицины и радионавигации формируют радиолокационные [2, 3] или оптические [4-6] изображения исследуемой поверхности. При этом различают когерентные и некогерентные изображения. Под некогерентным понимают пространственное распределение суммарной (усреднённой) интенсивности электромагнитных полей. При построении когерентного изображения используют информацию о фазах волн, отражённых от исследуемого объекта. Когерентные оптические изображения получают путём восстановления голограмм с использованием лазеров, а радиолокационные формируют в многоканальных радиотехнических системах (РТС) с синтезированной

апертурой. Наличие фазовой структуры в изображении усложняет обработку, но при этом позволяет решать более широкий круг задач, к примеру, построение карт рельефа местности, измерение скорости объектов, электрофизических свойств поверхностей и др. Кроме информационной составляющей, когерентное изображение содержит мультипликативный шум, называемый спеклами, который появляется в результате когерентной обработки принятого поля. Повысить качество восстановления столь сложных изображений возможно в результате точных теоретических исследований принятых электромагнитных полей и алгоритмов их обработки. В таком случае **целью работы** является строгое математическое описание структуры когерентного изображения природных сред в зоне Фраунгофера на всех этапах его формирования.

**Феноменологическое описание
электромагнитного поля
в многоканальных РТС**

Рассмотрим геометрию дистанционных исследований поверхности и построения когерентного изображения в многоканальных РТС, показанную на рис. 1. Такое взаимное расположение излучающей или переизлучающей поверхности D и области регистрации D' характерно как для описания оптических изображений, так и изображений радиодиапазона.

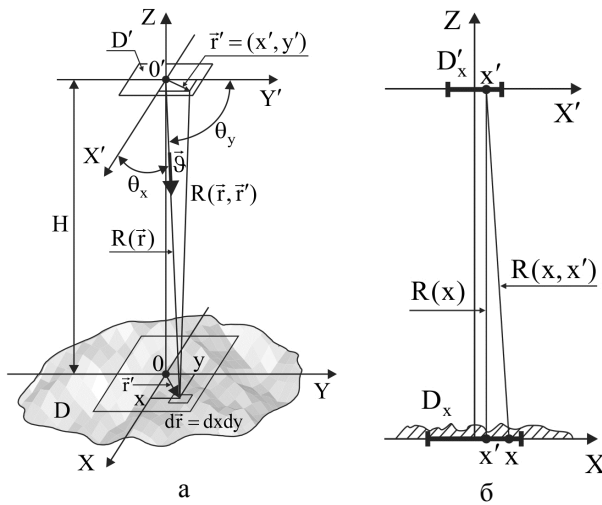


Рис. 1. Геометрия задачи дистанционного зондирования различных поверхностей:
а – объёмный вид, б – плоский вид

Будем полагать, что на поверхности D заданы граничные условия в виде коэффициента рассеяния $\dot{F}(\vec{r})$. Коэффициент рассеяния $\dot{F}(\vec{r})$ будем считать идеальным когерентным изображением $\dot{F}(\vec{r})$, которое учитывает в своей амплитудно-фазовой структуре влияние неоднородностей химического состава, градиента показателя преломления, а также неровностей рельефа подстилающей поверхности. При решении задачи определения поля в области D' пользуются строгими теоремами [7-9] Кирхгофа, Релея-Зоммерфельда, формулами Стреттона-Чу и другими фундаментальными основами теории дифракции. Однако даже в самых простых случаях применения скалярной формулы Кирхгофа, расчёты поля достаточно сложные, а их результаты громоздки и не всегда однозначны. В связи с этим предлагается использовать феноменологический подход, основанный на теории лучевой оптики и принципе Гюйгенса-Френеля, и записать поле в области наблюдения в следующем виде [1]

$$\dot{E}(t, \vec{r}') = \int_D \dot{F}(\vec{r}) \frac{\exp\{j\omega[t - t_R(\vec{r}, \vec{r}')]\}}{R(\vec{r}, \vec{r}')} d\vec{r} = \dot{E}(\vec{r}') e^{j\omega t}, \quad (1)$$

где $t_R(\vec{r}, \vec{r}') = R(\vec{r}, \vec{r}')/c$ – время запаздывания поля при его распространении от точки \vec{r} до точки \vec{r}' , $R(\vec{r}, \vec{r}')$ – расстояние между этими точками, c – скорость распространения волн,

$$\dot{E}(\vec{r}') = \int_D \dot{F}(\vec{r}) \frac{\exp[-jkR(\vec{r}, \vec{r}')] }{R(\vec{r}, \vec{r}')} d\vec{r} \quad (2)$$

– комплексная амплитуда поля в области наблюдения $\vec{r}' \in D'$, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, ω – круговая частота, λ – длина волны.

В качестве области регистрации D' в радиодиапазоне выступают антенны или антенные решётки, а в оптике – транспаранты, фотоплёнки.

Определим алгоритм восстановления когерентного изображения поверхности по данным приёма $\dot{E}(\vec{r}')$ в области D' .

**Основные операции построения
когерентного изображения
в зоне Фраунгофера**

Для восстановления когерентного изображения $\dot{F}(\vec{r})$ из $\dot{E}(\vec{r}')$ необходимо выполнить интегрирование принятого поля (2) с весом $\dot{I}(\vec{r}', \vec{r}_1)$. Фактически эта операция соответствует фокусировке оптической или антенной системы на каждую точку поверхности $\vec{r}_1 \in D$. Синфазное сложение колебаний, принятых каждой точкой приёмной плоскости D' представим следующим образом

$$\hat{F}(\vec{r}_1) = \int_{D'} \dot{I}(\vec{r}', \vec{r}_1) \int_D \dot{F}(\vec{r}) \frac{\exp[-jkR(\vec{r}, \vec{r}')] }{R(\vec{r}, \vec{r}')} d\vec{r} d\vec{r}'. \quad (3)$$

Здесь $\dot{I}(\vec{r}', \vec{r}_1)$ – амплитудно-фазовое распределение (АФР) приёмной чувствительности области D' , характеризующее способность регистрирующих элементов изменять амплитуду и фазу падающего поля.

Внутренний интеграл (3) можно рассматривать как некоторое математическое преобразование $\dot{F}(\vec{r})/R(\vec{r}, \vec{r}')$. Для обращения этого преобразования логично в качестве $\dot{I}(\vec{r}', \vec{r}_1)$ выбрать функцию $\exp[jkR(\vec{r}, \vec{r}')]$. Эта функция характеризует когерентное устройство формирования изображения. В радиолокации $\dot{I}(\vec{r}', \vec{r}_1)$ соответствует амплитудно-

фазовому распределению приёмной антенны, а в оптике – степени прозрачности транспаранта и геометрической форме линз.

Выполним конкретизацию формул (2) и (3) для геометрии, показанной на рис. 1, где область наблюдения D и регистрации D' находятся в зоне Фраунгофера по отношению к точкам $\vec{r} \in D$. Эта зона удовлетворяет двум условиям: линейные размеры D и D' значительно меньше высоты H , размер D' значительно меньше D .

При описании поля в дальней зоне Фраунгофера расстояние $R(\vec{r}, \vec{r}')$ в (2) определяется таким выражением

$$R(x, x', y, y') = R(x, y) - \vec{r}'\vec{\vartheta}(x, y), \quad (4)$$

где $R(x, y) = \sqrt{H^2 + x^2 + y^2} \approx H + x^2 / 2H + y^2 / 2H$, $\vec{r}'\vec{\vartheta}(x, y) = x'\vartheta_x + y'\vartheta_y$, $\vec{\vartheta}(x, y)$ – вектор направляющих косинусов $\vartheta_x = \cos\theta_x$ и $\vartheta_y = \cos\theta_y$. Тогда (2) примет вид

$$\dot{E}(\vec{r}') \approx \int_{-X/2}^{X/2} \int_{-Y/2}^{Y/2} \dot{F}_1(x, y) e^{-jk\vec{r}'\vec{\vartheta}(x, y)} dx dy \quad (5)$$

или при переходе к угловым координатам

$$\dot{E}(\vec{r}') \approx \int_{\Theta} \dot{F}_1(\vec{\vartheta}) e^{-jk\vec{r}'\vec{\vartheta}} d\vec{\vartheta}, \quad (6)$$

где $\dot{F}_1(x, y) = \dot{F}(x, y)R^{-1}(x, y)\exp(-jkR(x, y))$, $\dot{F}_1(\vec{\vartheta}) = \dot{F}(\vec{\vartheta})R^{-1}(x, y)\exp(-jkR(x, y))$, X, Y – линейные размеры области наблюдения. Полученный интеграл (6) – преобразование Фурье функции $\dot{F}_1(\vec{\vartheta})$.

Приближенную оценку функции $\dot{F}_1(\vec{\vartheta})$ согласно (3) находим, выполнив обратное преобразование Фурье в конечных пределах области D' с АФР $\dot{I}(\vec{r}', \vec{\vartheta}_1) = \exp(jk\vec{r}'\vec{\vartheta}_1)$

$$\begin{aligned} \hat{F}_1(\vec{\vartheta}_1) &= \int_{D'} e^{jk\vec{r}'\vec{\vartheta}_1} \int_{\Theta} \dot{F}_1(\vec{\vartheta}) e^{-jk\vec{r}'\vec{\vartheta}} d\vec{\vartheta} d\vec{r}' = \\ &= \int_{\Theta} \dot{F}_1(\vec{\vartheta}) \Psi(\vec{\vartheta}_1 - \vec{\vartheta}) d\vec{\vartheta}, \end{aligned} \quad (7)$$

где

$$\Psi(\vec{\vartheta}_1 - \vec{\vartheta}) = \int_{D'} e^{jk\vec{r}'(\vec{\vartheta}_1 - \vec{\vartheta})} d\vec{r}' \quad (8)$$

– функция неопределённости системы формирования оценки $\hat{F}(\vec{r}_1)$.

Разрешающая способность когерентных изображений

Качество формирования изображения в зоне Фраунгофера согласно выражению (7) определяется функцией неопределённости (8), а точнее её шириной. Перепишем (8) в следующем виде

$$\begin{aligned} \Psi(\vec{\vartheta}_1 - \vec{\vartheta}) &= \int_{-X'/2}^{X'/2} \int_{-Y'/2}^{Y'/2} e^{jk[x'(\vartheta_{1x} - \vartheta_x) + y'(\vartheta_{1y} - \vartheta_y)]} dx' dy' = \\ &= X'Y' \text{sinc}[k(\vartheta_{1x} - \vartheta_x)X'/2] \text{sinc}[k(\vartheta_{1y} - \vartheta_y)Y'/2], \end{aligned} \quad (9)$$

где X', Y' – линейные размеры области регистрации.

В радиодиапазоне (9) – диаграмма направленности антенной системы, являющаяся преобразованием Фурье выбранного АФР. В оптике такая функция близка к аппаратной функции линзы.

Определим разрешающую способность формируемого когерентного изображения шириной Δx и Δy функции $\Psi(x, x_1, y, y_1)$ на нулевом уровне, тогда

$$\Delta x = \lambda H / X', \quad \Delta y = \lambda H / Y'. \quad (10)$$

Полное восстановление когерентного изображения

Предложенное восстановление изображения с АФР $\dot{I}(\vec{r}', \vec{\vartheta}_1) = \exp(jk\vec{r}'\vec{\vartheta}_1)$ является достаточным, но не полным, так как позволяет получить $\hat{F}(\vec{r})$ с точностью до фазового множителя $\exp(-jkR(x, y))$ и ослабления $R^{-1}(x, y)$. Для компенсации $\exp[-jkR(x, y)]$ и оценки непосредственно коэффициента $\dot{F}(\vec{\vartheta})$ можно выбрать более полную базисную опорную функцию

$$\dot{I}(\vec{r}', \vec{\vartheta}_1) = \exp[-jkR(\vec{r}_1)] \exp(jk\vec{r}'\vec{\vartheta}_1). \quad (11)$$

Однако заметим, что физическая реализация первого множителя не является простой, так как в расстоянии $R(x, y)$, которое не является точно известным, обычно укладывается очень большое количество (неизвестное) длин волн.

Подставляя (11) в (3), получим

$$\hat{F}(\vec{r}_1) = \int_D \dot{F}(\vec{r}) \phi(\vec{r}_1, \vec{r}) \Psi(\vec{r}_1 - \vec{r}) d\vec{r}, \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} \phi(\vec{r}_1, \vec{r}) &= \exp\{-jk[R(\vec{r}_1) - R(\vec{r})]\} = \\ &= \exp\{-jk[x_1^2 - x^2 + y_1^2 - y^2] / 2H\}. \end{aligned} \quad (13)$$

Выражение (13) свидетельствует об избирательном рассеянии волн на неоднородностях поверхности, представленных коэффициентом $\dot{F}(\vec{r})$. Пусть $x = x_1 + \Delta x$, $y = y_1 + \Delta y$. Тогда

$$\begin{aligned} \phi(\vec{r}_1, \Delta\vec{r}) &= \exp\{jk[x_1\Delta x + y_1\Delta y] / H\} = \\ &= \exp\{jk[\cos\theta_{x_1}\Delta x + \cos\theta_{y_1}\Delta y]\} = \\ &= \exp\{jk\bar{\Theta}_1(\vec{r} - \vec{r}_1)\} = \exp\{-jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}_1 - \vec{r})\}. \end{aligned} \quad (14)$$

Оценку (12) теперь можно приближённо представить таким выражением

$$\hat{F}(\vec{\Theta}, \vec{r}_1) = \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi(\vec{r}_1 - \vec{r}) \exp\{-jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}_1 - \vec{r})\} d\vec{r}. \quad (15)$$

Такое преобразование назовём скользящим кратко масштабным преобразованием Фурье, свидетельствующим о том, что в ограниченных пределах интегрирования, заданных шириной функции $\Psi(\vec{r}_1 - \vec{r})$, выделяется спектр пространственных частот функции $\dot{F}(\vec{r})$ в окрестности частоты

$$\vec{\omega} = \left\| \omega_x = 2\pi \cos\theta_x / \lambda, \omega_y = 2\pi \cos\theta_y / \lambda \right\|. \quad (16)$$

Теоретически в бесконечных пределах интегрирования при $\Psi(\vec{r}_1 - \vec{r}) = 1$ и при конкретном фиксированном значении направления $\vec{\Theta}_1$ выделяется только одна спектральная составляющая (пространственная гармоника) функции $\dot{F}(\vec{r})$. По мере сужения функции неопределённости выделяется все более широкий спектр пространственных частот в окрестности частоты (16). В пределе, когда $\Psi(\vec{r}_1 - \vec{r})$ является дельта-функцией выделяется полный спектр частот функции $\dot{F}(\vec{r})$, т.е. эта функция восстанавливается полностью.

Заключение

Предложено феноменологическое описание электромагнитного поля в области его регистрации. Для конкретного случая дистанционного зондиро-

вания в дальней зоне Фраунгофера определены расстояния от каждой точки исследуемой среды до приёмной области. Определены основные операции при восстановлении когерентного изображения подстилающей поверхности с использованием достаточных и полных обратных базисных функций. Получены аналитические выражения функции неопределённости, определяющей разрешающую способность формируемых изображений.

Дальнейшие исследования будут посвящены исследованию возможностей формировать синтезированные изображения путём сканирования или перемещения области регистрации в пространстве.

Литература

1. Волосюк, В. К. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации [Текст] / В. К. Волосюк, В. Ф. Кравченко ; под общ. ред. В. Ф. Кравченко. – М. : Физматлит, 2008. – 740 с.
2. Optimal acquisition mode and signal processing algorithm in synthetic aperture radar [Text] / V. K. Volosyuk, S. S. Zhyla, M. O. Antonov, O. A. Khaleev // 2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) : Materials of the intern. conf., 18-20 April 2017. – Kiev, 2017. – P. 511-516.
3. Noise waveform SAR for 2D and 3D imaging [Text] / K. A. Lukin, P. L. Vyplavin, V. Kudryashev, V. Palamarchuk, S. Yarovoy // EUSAR 2012. 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar : Materials of the intern. conf., 23-26 April 2012. – Nuremberg, Germany, 2012. – P. 111-114.
4. Optical Coherence Tomography imaging with a planar broadband light beam [Text] / P. Hunziker, O. V. Morozov, O. V. Volosyuk, V. K. Volosyuk, S. S. Zhyla // 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW) : Materials of the intern. symp., 20-24 June 2016. – Kharkiv, 2016. – P. 1-4.
5. Simulation-Based Interpretation and Alignment of High-Resolution Optical and SAR Images [Text] / S. Auer, I. Hornig, M. Schmitt, P. Reinartz, // Jour. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2017. – vol. 10, № 11. – P. 4779-4793.
6. Wuest, M. A model-based synthetic aperture focusing technique for acoustic microscopy [Text] / M. Wuest, M. Nierla, S. J. Rupitsch // 2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS) : Materials of the intern. symp., 18-21 September 2016. – Tours, 2016. – P. 1-5.
7. Гудмен, Дж. Введение в фурье-оптику [Текст] / Дж. Гудмен. – М. : Мир, 1970. – 364 с.
8. Борн, М. Основы оптики [Текст] / М. Борн, Э. Вольф. – М. : Наука, 1973. – 720 с.
9. Зубкович, С. Г. Статистические характер-

истики радиосигналов, отраженных от земной поверхности [Текст] / С. Г. Зубкович. – М. : Советское радио, 1968. – 224 с.

References

1. Volosyuk, V. K., Kravchenko, V. F. *Statisticheskaya teoriya radiotekhnicheskikh sistem dstantsionnogo zondirovaniya i radiolokatsii* [Statistical theory of radio engineering systems of remote sensing and radar]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 740 p.
2. Volosyuk, V. K., Zhyla, S. S., Antonov, M. O., Khaleev, O. A. Optimal acquisition mode and signal processing algorithm in synthetic aperture radar. *2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 18-20 April 2017, Kiev, 2017, pp. 511-516.
3. Lukin, K. A., Vyplavin, P. L., Kudryashev, V., Palamarchuk, V., Yarovoy, S. Noise waveform SAR for 2D and 3D imaging. *EUSAR 2012. 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, 23-26 April 2012, Nuremberg, Germany, 2012, pp. 111-114.
4. Hunziker, P., Morozov, O. V., Volosyuk, O. V., Volosyuk, V. K., Zhyla, S. S. Optical Coherence Tomography imaging with a planar broadband light beam.

2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), 20-24 June 2016, Kharkiv, 2016, pp. 1-4.

5. Auer, S., Hornig, I., Schmitt, M., Reinartz, P. Simulation-Based Interpretation and Alignment of High-Resolution Optical and SAR Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2017, vol. 10, no. 11, pp. 4779-4793.
6. Wuest, M., Nierla, M., Rupitsch, S. J A model-based synthetic aperture focusing technique for acoustic microscopy. *2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, 18-21 September 2016, Tours, 2016, pp. 1-5.
7. Goodman, J.W. *Vvedeniye v fur'ye-optiku* [Introduction to Fourier optics]. Moscow, Mir Publ., 1970. 364 p.
8. Born, M. *Osnovy optiki* [Fundamentals of Optics]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 720 p.
9. Zubkovich, S. G. *Statisticheskiye kharakteristiki radiosignalov, otrazhennykh ot zemnoy poverkhnosti* [Statistical characteristics of radio signals reflected from the earth's surface]. Moscow, Sovetskoye radio Publ, 1968. 224 p.

Поступила в редакцию 26.06.2018, рассмотрена на редколлегии 7.08.2018

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ПРОЦЕДУР ПОБУДОВИ КОГЕРЕНТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИРОДНИХ СЕРЕДОВИЩ В ЗОНІ ФРАУНГОФЕРА БАГАТОКАНАЛЬНИМИ РАДІОТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

В. К. Волосюк, С. С. Жила, Е. О. Церне, О. І. Стороженко

На основі феноменологічного підходу розглянута структура розсіяного електромагнітного поля в області його реєстрації в разі вирішення задач дистанційного зондування природних середовищ. Обраний підхід заснований на теорії променевої оптики і принципі Гюйгенса-Френеля і дозволяє визначати поля, що випромінюються і розсіюються на складних типах поверхонь. З аналізу структури електромагнітного поля випливає, що його можна розглядати як певне математичне перетворення істинного зображення поверхні. У такому випадку основні процедури відновлення когерентних зображень в дальній зоні Фраунгофера полягають в технічній реалізації зворотних перетворень в багатоканальних радіотехнічних системах. При неповному відновленні істинного зображення, коли не враховується повний набір фаз і загасання під час розповсюдження, основною операцією є зворотне перетворення Фур'є по кутовим координатам. Якість отриманого зображення буде визначатися функцією невизначеності, яка в найпростішому випадку прийому розсіяного поля прямокутною площиною має вигляд двох функцій sinc. Ширина такої функції невизначеності за першими нулями пропорційна довжині хвилі, висоті зондування і лінійним розмірам області реєстрації. Якщо відстань до кожної точки поверхні відома, то можна виконати більш точне відновлення когерентного зображення. В такому випадку основною процедурою обробки є ковзне короткомасштабне перетворення Фур'є. Такий результат відповідає класичній теорії резонансного розсіювання. При постійному значенні функції невизначеності і фіксованому значенні кута візування відновленню підлягає тільки одна спектральна складова (просторова гармоніка). Звужуючи функцію невизначеності можна виділити більш широкий діапазон просторових частот. У окремому випадку, коли функція невизначеності є дельта-функцією, можливо відновити повний спектр частот бажаного зображення. Якщо неможливо створити систему з вузькою функцією невизначеності, то більш якісне когерентне зображення може бути отримано однієї областю реєстрації шляхом сканування або переміщення в просторі.

Ключові слова: когерентне зображення, дальня зона Фраунгофера, коротко масштабне перетворення Фур'є, багатоканальні РТС

**MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCEDURES FOR COHERENT IMAGING
OF NATURAL ENVIRONMENTS IN THE FRAUNHOFER REGION
BY MULTICHANNEL RADIO-ENGINEERING SYSTEMS**

V. K. Volosyuk, S. S. Zhyla, E. A. Tserne, A. I. Storozhenko

The structure of the electromagnetic field in the domain of its registration is considered in the case of the solution of problems of remote sensing of the underlying surfaces on the basis of the phenomenological approach. This approach is mainly based on the theory of ray optics and the Huygens-Fresnel principle. It allows to determine the radiated and scattered fields for complex types of surfaces. Analysis of the structure of the electromagnetic field shows that it can be regarded as a mathematical transformation over the true image of the surface. In this case, the basic procedures for the coherent imaging in the far-field Fraunhofer region by multichannel radio-engineering systems should be based on the inverse transformation. For incomplete restoration of the desired image, without the phase and attenuation due to propagation, the basic operation is the inverse Fourier transform on the angular coordinates. The quality of the imaging in the Fraunhofer zone is determined by the ambiguity function. In a simple case of a rectangular receiving domain, ambiguity function has the form of two sinc functions which width is proportional to wavelength, to height of sounding and the linear sizes of receiving domain. If the distance to each point of the surface is known, then it is possible to completely reconstruct the coherent image. In this case, it is necessary to apply sliding short-scale Fourier transform to the received electromagnetic field. Obtained results correspond to the classical theory of resonance scattering. While ambiguity function is constant in the infinite limits of integration for a specific fixed value of the direction, only one spectral component (spatial harmonic) can be extracted from the desired image. It is possible to allocate an ever wider range of spatial frequencies with the narrowing of the ambiguity function. In the limit, when the ambiguity function is a delta function, the full spectrum of frequencies of the desired image can be extracted, i.e. this function can be completely restored. If it is not possible to create a system with narrow ambiguity function then the higher-quality coherent image can be obtained by the same receiving domain by scanning or movement in space.

Keywords: coherent image, far-field Fraunhofer region, short scale Fourier transformation

Волосюк Валерий Константинович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры аэрокосмических радиоэлектронных систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: valeriy_volosyuk@mail.ru.

Жила Семён Сергеевич – канд. техн. наук, докторант кафедры аэрокосмических радиоэлектронных систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: simeon.zhyla@gmail.com.

Цернэ Эдуард Алексеевич – студент кафедры аэрокосмических радиоэлектронных систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: tserne.eduard@gmail.com.

Стороженко Александр Иванович – студент кафедры аэрокосмических радиоэлектронных систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: revowka@gmail.com.

Volosyuk Valerii – Doctor of Technical Science, professor, professor at the department of aerospace radio-electronic systems, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: valeriy_volosyuk@mail.ru.

Zhyla Simeon – PhD, doctoral candidate at the department of aerospace radio-electronic systems, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: simeon.zhyla@gmail.com.

Tserne Eduard – student at the department of aerospace radio-electronic systems, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: tserne.eduard@gmail.com.

Storozhenko Aleksandr – student at the department of aerospace radio-electronic systems, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: revowka@gmail.com.