

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ФРАГМЕНТОВ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ ПО
БЕЗФАЗОВЫМ ДАННЫМ

С.Е. Фалькович, С.Ю. Олейников, П.Ю. Костенко, Ю.В. Булка

В последние годы ведутся активные исследования по дистанционному зондированию земной и морской поверхности радиолокационными системами. Анализ рассеянных волн позволяет извлекать информацию об электрофизических свойствах и геометрических параметрах исследуемых поверхностей. Имеется широкий круг инженерных и научных задач для решения которых необходимо знание удельного коэффициента рассеяния $G(\xi, \eta)$ поверхности, которое называют комплексным радиолокационным изображением (РЛИ) и глубокое понимание характеристик рассеяния волн шероховатыми поверхностями. Примером может служить радиокартографирование рельефа поверхности в целях корреляционно-экстремальной навигации.

Ниже приведем некоторые результаты, полученные в рамках развития работ по совершенствованию корреляционно-экстремальной навигации по радиокартам (изображениям), полученным в условиях дефицита или значительных искажениях фазовой информации в регистрируемых данных [].

Следует подчеркнуть, что задачи формирования РЛИ и картографирования рельефа поверхности изучаются независимо. Решая одну из них полезную информацию, относящуюся к решению второй задачи, устраняют. Например, при получении РЛИ предполагается, что поверхность гладкая (плоская). Реально рассеивающая поверхность шероховатая с флуктуациями высот $\zeta(\xi, \eta)$, которые приводят к неизвестной начальной фазе отраженного сигнала. В этом случае, в традиционных измерительных системах, фазу поля не измеряют (разрушают), а используют информацию о поверхности рассеяния, содержащуюся в мощности поля.

Однако не всегда, когда выполняется физическое устранение фазы поля (сигнала), происходит потеря фазовой информации. Известно [2], что фазовая информация сохраняется в модуле сигнала с финитным спектром и проблема состоит в однозначном ее выделении.

Современные исследования по этому кругу вопросов (фазовой проблеме) показывают, что для некоторых классов сигналов информация о фазе сохраняется в его модуле и может быть однозначно восстановлена. Например, установлено, что для сигналов двух и более переменных (полей) фазовая проблема имеет решение почти всегда [6]. Поэтому можно надеяться на успешное восстановление рельефа поверхности или всего подинтегрального выражения в фигурных скобках по двумерному набору данных реализации $|F|^2$. Сказанное будет справедливо и при сужении двумерной области определения модуля поля до дискретного множества по одной из переменных, т.е. при задании модулей сечений поля $|F(\alpha_i)|^2$ на дискретном множестве параметров $\{\alpha_i\}$ ($i \geq 2$).

Таким образом, измеряя реализацию мощности рассеянного поля мы имеем возможность устранить влияние мешающего параметра R и сохранить необходимую фазовую информацию в поле F .

Для дальнейшего исследования без потери общности сделаем ряд упрощающих предположений, часто оправданных в практических приложениях. Будем считать, что зондирование поверхности ведется квазиплоской волной $U = Ae^{jk\varphi}$, амплитуда которой A и локальный волновой вектор $k = k\sqrt{\varphi}$ практически постоянны в масштабе радиуса корреляции неровностей l_ξ , а коэффициенты Френеля $G(\xi, \eta)$ в пределах значительных углов падения представляют медленно

меняющиеся функции угла падения и можно допустить что $G(\xi, \eta)|_{\varphi} = \text{const.}$ Тогда

$$F = - \frac{jk}{2\pi} \cdot \frac{e^{jkR}}{R} GA \int_{\varphi} e^{j[q_1 \xi + q_2 \eta + q_3 \zeta(\xi, \eta)]} d\xi d\eta.$$

Главная особенность записанного представления состоит в том, что оно может оказаться информационно достаточно для решения фазовой проблемы, которая в данном случае может быть сформулирована как определение рельефа $\zeta(\xi, \eta)$ по измерению $|F|^2$.

Действительно априорно известно (смотри упрощенное выражение для F), что модуль спектра $e^{jq_3 \zeta(\xi, \eta)}$ рассеянного поля F равен единице. Это нетривиальная информация и ее достаточно для решения фазовой проблемы в одномерном случае (для сечений поверхности) [3]. В тоже время многие авторы отмечают, что выполненные ими эксперименты обладают высокой чувствительностью к неизбежным погрешностям, сопутствующим этапам получения данных и их обработке на ЭВМ. Практически все существующие методы решения являются нелинейными или итерационными, что, вообще говоря, может приводить к неединственности решения, а часто и к неустойчивости ввиду некорректности присущей фазовой проблеме.

Поэтому и в данном случае можно надеяться на восстановления фазы поля F , а следовательно и возбуждающего его поля $e^{jq_3 \zeta(\xi, \eta)}$ на интересующей нас поверхности $\zeta(\xi, \eta)$. Но при этом необходимо позаботиться об обеспечении устойчивости алгоритма восстановления фазы поля.

В настоящее время известны различные алгоритмы восстановления сигнала, в основу которых положено использование упомянутой информации. Некоторые из этих алгоритмов развивают и

обобщают алгоритм Гершберга-Сакстона [6] и применяются не только к решению оптических задач. Отметим, что, к сожалению, в общем случае не известна ни степень его неоднозначности, ни условия, при которых он дает единственное решение в одномерном случае. Хотя вопрос об однозначности решения, когда поле на поверхности финитного рассеивателя является гладкой функцией, известной в окрестности его границы решен положительно [3].

Таким образом, задача картографирования рельефа поверхности, в основу которой положено решение фазовой проблемы, оказывается актуальной как для случая двумерных рассеянных полей, так и для более интересного, с практической точки зрения, одномерного варианта.

Приложениям фазовой проблемы посвящено много исследований. В то же время подходы к ее решению могут быть полезны и при решении задач зондирования (картографирования) рассеивающих поверхностей. Однако до сих пор эти приложения в отечественной и зарубежной литературе не рассматривались. Целью настоящей работы является демонстрация возможности применения методов решения фазовой проблемы к восстановлению сечения рельефа поверхности по безфазовым данным.

Для формирования исходного массива данных, описывающих рельеф рассеивающей поверхности, была использована методика имитационного моделирования фракталов, предложенная Фоссом [1].

Учитывая возможные приложения полученных результатов к задачам картографирования и необходимость ускорения сходимости процедуры восстановления сечения рельефа поверхности нами был реализован многоканальный (двухчастотный) вариант алгоритма Гершберга-Сакстона. В этом случае наблюдениями, подлежащими

обработки, являются амплитуды рассеянных полей на двух длинах волн. На рисунках приведены результаты восстановления фрагмента сечения фрактальной поверхности за 12 итераций со среднеквадратической ошибкой не превышающей одного процента. Результаты моделирования подтвердили принципиальную возможность восстановления сечения рельефа по безфазовым данным и ускорение сходимости вычислений при использовании измерений на дополнительной частоте. Однако сходимость к решению для некоторых сечений оказалась медленной. Более детальное изучение рассмотренного алгоритма, пути его совершенствования и решение ряда сопутствующих задач требуют продолжения исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федер, Е. Фракталы: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 254
2. Обратные задачи в оптике/Под ред. Г.П. Болтса: Пер. с англ. В.Н. Платонова; Под ред. А.Г. Свешникова, П.П. Пашина. М.: Машиностроение, 1984.
3. М.В. Клибанов, Дифференциальные уравнения, 1986. т. 22, № 10. с. 1790-1798.
4. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации/ В.К. Баклицкий, А.М. Бочкарев, М.П. Мусьяков; Под ред. В.К. Баклицкого-М.: Радио и связь, 1986.-216 с.
5. А. Исимару. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Пер. с англ.- М.: Мир, 1981.-320 с. т.2.
6. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений.- М.: Радио и связь, 1986.-304 с.
7. Отчет ХАИ по теме "Мальва", раздел 1-1993г.

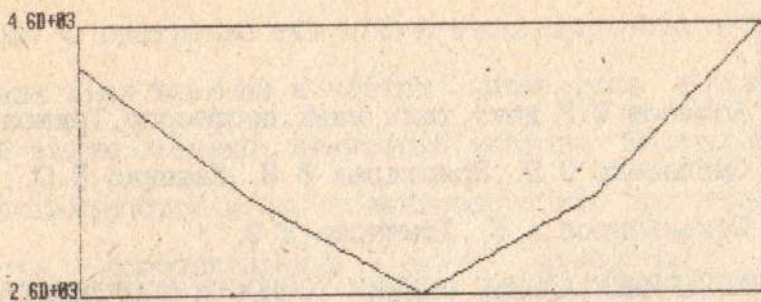


Рис. Модель участка сечения рельефа земной поверхности

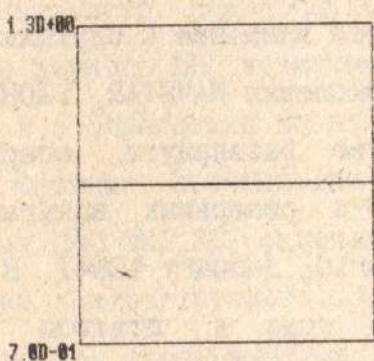


Рис. Амплитуда 2-го истинного сигнала

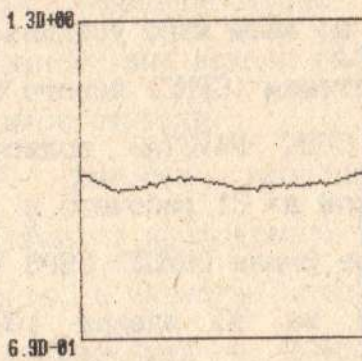


Рис. Амплитуда 2-го восстановленного сигнала

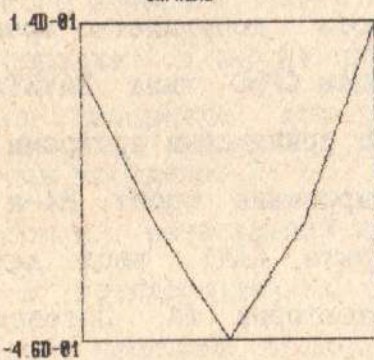


Рис. Фаза 2-го истинного сигнала

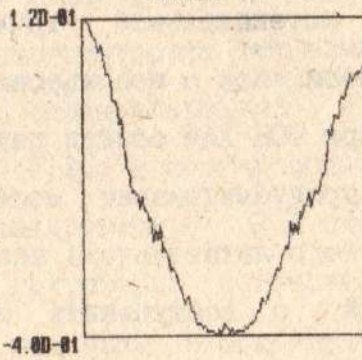


Рис. Фаза 2-го восстановленного сигнала