

Материал, в научно-популярной форме иллюстрирующий основные результаты проекта №19-07-00259 «Исследование методов восстановления радиоголограмм в различных приложениях технологии радиовидения», полученные в 2019 году

Радиовидение — метод интроскопии, позволяющий с помощью радиоволн визуально изучать внутреннее строение объектов, непрозрачных в оптическом диапазоне волн и наблюдать объекты, находящиеся в оптически непрозрачной среде. Результатом исследования с использованием технологии радиовидения является видимое изображение объекта, скрытого за непрозрачной в оптическом диапазоне преградой (либо изображение внутренней структуры объекта). Данное изображение строится путем восстановления рассеянного объектом электромагнитного поля (называемого радиоголограммой), зарегистрированного с помощью некоторой радиосистемы. Для решения этой обратной задачи существует целый ряд методов, но в большинстве случаев каждый исследователь (коллектив исследователей) использует для решения конкретной задачи только один метод, выбранный либо по совету коллег, либо по результатам анализа литературы.

Данное теоретическое и экспериментальное исследование посвящено систематизации, оптимизации, определению областей применения и выбору оптимальных параметров методов восстановления радиоголограмм в различных задачах радиовидения. Оно поможет новым исследователям, планирующим использовать технологию радиовидения для решения своих задач, сориентироваться в огромном многообразии существующих методов и подходов.

Основная задача данного этапа проекта — сравнение трех методов восстановления радиоголограмм применительно к подповерхностной радиолокации: №1 — обратных проекций, №2 — Гаусса–Ньютона, №3 — обратного распространения. Сравнение выполнялось путем применения каждого из методов к одним и тем же радиоголограммам, полученным как методом численного моделирования, так и экспериментально.

Для возможности сравнения восстановленных радиоизображений не только визуально, но и численно, предложен критерий, в соответствии с которым чем меньше значение интеграла от модуля восстановленного радиоизображения, нормированного на максимальное значение, тем выше качество радиоизображения.

При проведении вычислительных экспериментов объектом обследования выступала модель креста с длиной перекладины 12 см, повернутого относительно оси Z на 45° , составленного из расположенных с шагом 1 мм точечных отражателей. Частота сигнала составляла 26 ГГц. Область регистрации имела размер 30×30 см, объект располагался в ее центре, расстояние от плоскости регистрации до объекта было равно 20 см. Диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon_E = 1$. На рис. 1 приведена радиоголограмма и результат ее восстановления методом №1 (радиоизображения, полученные двумя другими методами, визуально неотличимы).

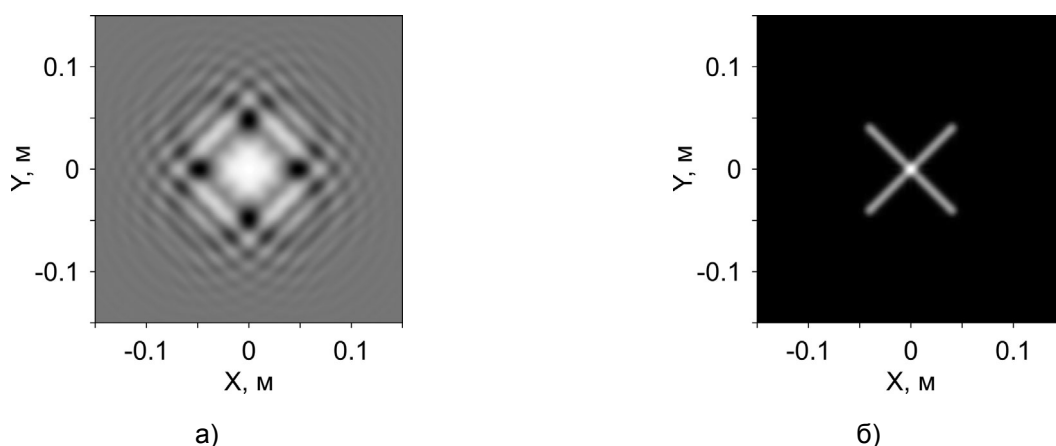


Рис. 1. Радиоголограмма (а) и результат ее восстановления (б) при нулевом уровне шума

При наличии шума метод №2 показывает лучшие результаты, причем, чем уровень шума больше, тем разница существеннее. На рис. 2 приведены радиоголограмма при $\text{SNR} = 10$ дБ и результаты ее восстановления двумя методами.

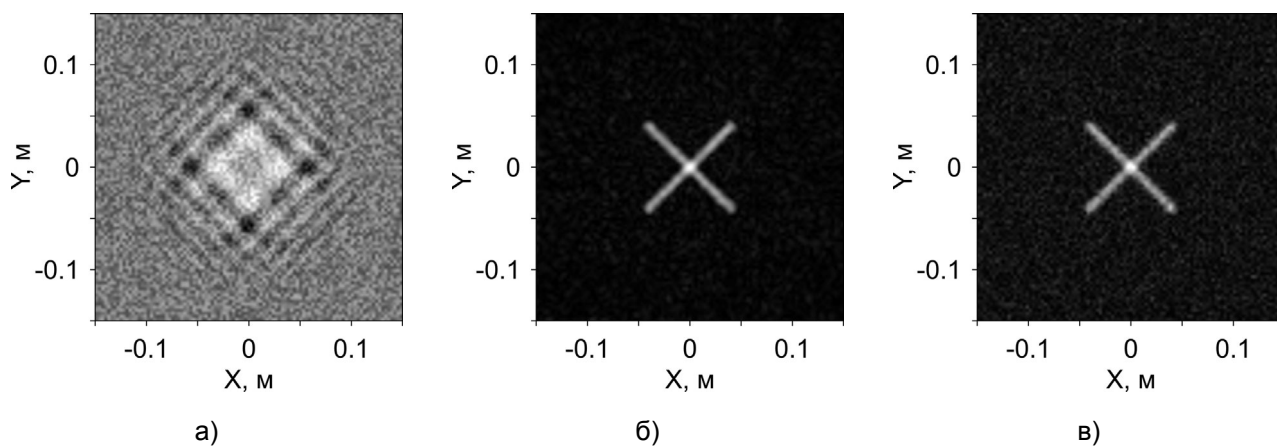


Рис. 2. Радиоголограмма при SNR = 10 дБ (а) и результаты ее восстановления: б) методом №2 (лучший результат), в) методом №3 (худший результат)

Эксперименты проводились с помощью радиолокационной системы, работающей по инверсной схеме синтезирования апертуры: антенна остается неподвижной, а двумерный электро-механический сканер перемещает мимо нее обследуемый объект. Объект обследования представлял собой проволочный крест с длиной перекладины 120 мм (рис. 3). Область сканирования имела размер 30×30 см, пространственный шаг между выборками по обоим направлениям равнялся 3 мм. Объект располагался в центре области сканирования, расстояние от плоскости регистрации до объекта было равным 50 мм. Объект располагался на листе пенополиуретана (рис. 4), под которым находилось радиопоглощающее покрытие. Частота зондирования составляла 26 ГГц.

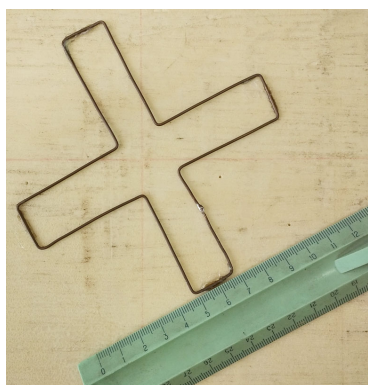


Рис. 3. Объект

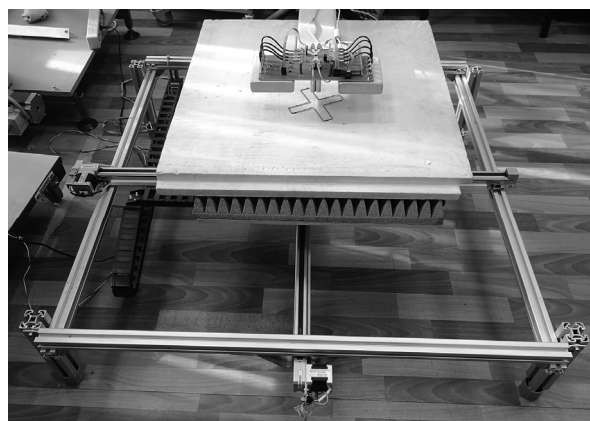


Рис. 4. Экспериментальная установка

Зарегистрированная радиоголограмма и результат ее восстановления методом №1 приведены на рис. 5.

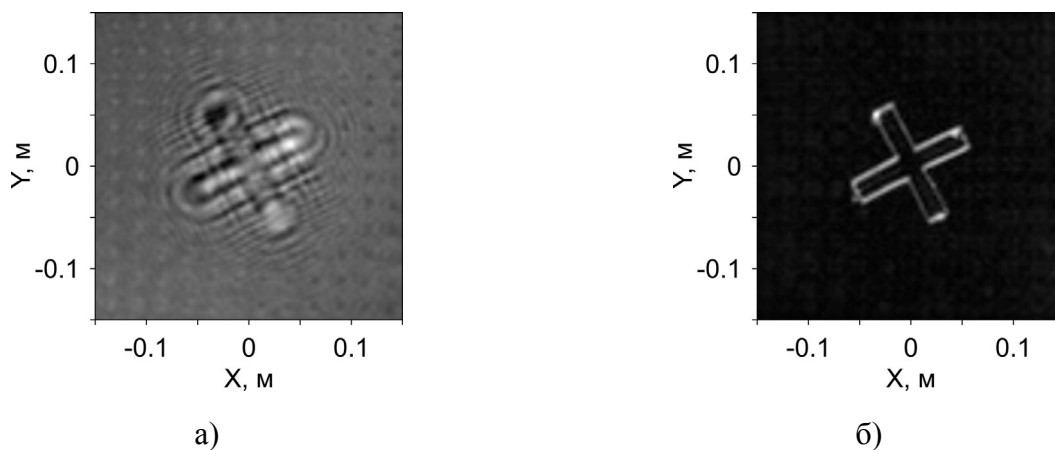


Рис. 5. Радиоголограмма объекта (а) и результат ее восстановления методом №1 (б)

Периодическая структура, присутствующая на радиоголограмме (рис. 5а), вызвана отражениями от вершин радиопоглощающего покрытия. Радиоизображения, полученные с помощью методов №2 и №3, визуально неотличимы от приведенного на рис. 5б. Яркие точки по углам креста на рис. 5б — это отражения от капель клея, которыми крест был приклеен к подложке, также на правой нижней ветви различимо место спайки концов проволоки.

По результатам численных и физических экспериментов можно сделать следующие выводы.

Если радиоголограмма зарегистрирована на регулярной сетке с шагом, не превышающем половины длины волны зондирующего сигнала, и уровень шума невелик ($SNR > \sim 20$ дБ), то все методы обеспечивают примерно одинаковое качество радиоизображений, при этом быстродействие метода №3, основанного на быстром преобразовании Фурье, на два порядка выше, чем у двух других методов.

При увеличении уровня шума лучшие результаты показывает метод №2, причем чем больше уровень шума, тем больше выигрыш. Также этот метод выигрывает при обработке радиоголограмм, зарегистрированных на регулярной сетке с шагом, большим половины длины волны, а также на нерегулярной сетке. В этих случаях метод №1 показывает промежуточные результаты, а метод №3 — худшие.

В случае разреженных выборок (как регулярных, так и нерегулярных) интерполяция исходных данных на регулярную сетку с мелким шагом позволяет существенно улучшить результаты всех методов.

Существенным недостатком метода №2 является его высокая требовательность к оперативной памяти компьютера, на котором производятся вычисления, а также низкое быстродействие. При обработке радиоголограмм с большим количеством выборок, для вычислений может потребоваться больше памяти, чем установлено в компьютере, при этом время вычислений возрастет многократно из-за непрерывного обмена данными с жестким диском, либо расчеты провести вообще невозможно. В этом случае хорошей альтернативой может быть метод №1, который предъявляет самые низкие требования к оперативной памяти, при этом показывает несколько худшие, но вполне приемлемые результаты.