

Фазовая альтиметрия уровня моря по сигналам радиомаяков глобальных навигационных спутниковых систем: компьютерное моделирование на высокопроизводительных вычислительных системах * †

Я.А. Илюшин^{1,2}, А.М. Падохин¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ²Институт радиотехники и электроники В.А. Котельникова РАН

По мере роста антропогенной нагрузки на окружающую среду глобальные изменения в природе и климате, связанные с хозяйственной деятельностью человечества, становятся всё более и более заметными на фоне естественных природных процессов. Систематический мониторинг этих изменений критически важен для обнаружения длиннопериодных вариаций климата и долгосрочных климатических трендов, таких как глобальное потепление, таяние полярных льдов, подъем уровня океана и т.д. Интенсивное развитие технологий оперативного мониторинга Земли из космоса к настоящему времени обеспечило широкие возможности для непрерывного регулярного наблюдения ключевых физических параметров атмосферы, океана и поверхности земной суши в глобальном масштабе. Интерференционная рефлектометрия сигналов спутников глобальных навигационных систем [1] представляет собой относительно дешевый метод для местных измерений уровня морской поверхности, пригодный для применения как на береговых станциях сетей наземного геодезического обеспечения (СНГО), так и в специально организованных обсерваториях глобального мониторинга окружающей среды. Метод основан на наблюдении интерференции падающей и отраженной волны и оценке высоты точки наблюдения над уровнем отражающей поверхности по разности фаз падающей и отраженной волн (рис. 1). При известных с высокой точностью координатах радиоприемного устройства это позволяет определять уровень моря в моменты заходов или восходов спутников над горизонтом. Этот метод, однако, подвержен влиянию ошибок, связанных с мелкомасштабными возмущениями уровня моря, в т.ч. ветровым волнением. Эти возмущения могут вносить в результаты измерений не только случайные, но и систематические ошибки.

В настоящем исследовании проводится компьютерное моделирование отражения от возмущенной морской поверхности сигналов спутниковых навигационных радиомаяков, в первую очередь спутников глобальной навигационной системы GPS на основной рабочей частоте L1 (1575.42 МГц). Исследуется влияние поверхностных волн на оценку среднего уровня моря, в том числе случайных и систематических ошибок, в первую очередь вызванных частичным затенением профиля взволнованной морской поверхности при малых углах скольжения падающей волны. Прорабатываются подходы к учету и компенсации ошибок наблюдения на основе ассимиляции данных вспомогательных измерений, включая записи спектров местного ветрового волнения, контекстной фото/видеосъемки окружающей акватории, местных погодных условий (скорости ветра и др.) и так далее.

Численный расчет электромагнитного поля ведется методом конечных разностей во временной области (FDTD) [2] для различных моделей спектров поверхностного морского волнения. В данном исследовании используется алгоритм FDTD в двумерной области (рис. 1), ранее примененный для решения задач оптической микроскопии [3, 4] с распараллели-

*Исследование поддержано грантом Российского Научного Фонда 17-77-20087

†Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова [5]

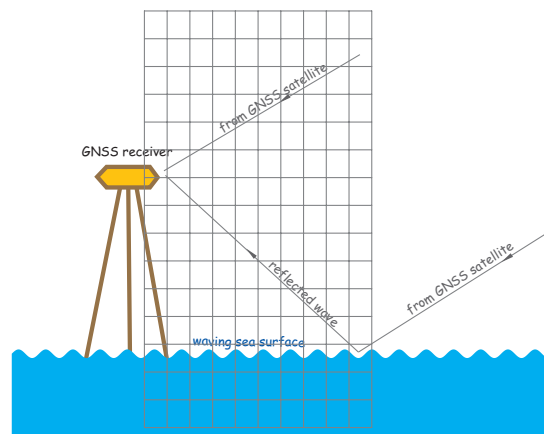


Рис. 1. Схематическое изображение эксперимента по интерференционной рефлектометрии уровня морской поверхности. Область численного расчета поля методом FDTD условно показана сеткой.

ванием итерационных циклов метода FDTD средствами открытого стандарта OpenMP на языке программирования C++ в рамках процедурного стиля программирования. Применение средств объектно-ориентированного программирования ограничено классом комплексных чисел. В связи с независимостью уравнений для итерационного обновления решения в каждом узле разностной схемы FDTD распараллеливание алгоритма требует минимальных затрат и реализуется с высокой эффективностью, с ускорением счета, практически пропорциональным числу выделенных для расчета процессорных ядер. Каждый запуск программы проводился на отдельном узле параллельного кластера с 8 или 12 процессорными ядрами, т.е., с учетом реализованной на процессорах технологии гипертрединга с 16 или 24 нитями. Исследование зависимости интерференционной картины от угла падения электромагнитной волны требует многократного повторения расчета с различными значениями угла падения, в связи с чем целесообразно применение высокопроизводительной вычислительной техники.

Литература

1. Liu, W., Beckheinrich J., Semmling M., Ramatschi M., Vey S., Wickert J., Hobiger Th., and Haas R.: Coastal Sea-Level Measurements Based on GNSS-R Phase Altimetry: A Case Study at the Onsala. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 55, NO. 10, OCTOBER 2017 P.5625
2. Taflove, A., Hagness S.C.: Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, 3rd ed. Artech House Publishers, 2005.
3. Levin, G.G., Vishnyakov, G.N., Ilyushin, Ya.A.: Synthesis of three-dimensional phase images of nanoobjects: Numerical simulation. Optics and Spectroscopy, 2013, 115 (6), pp. 938-946.
4. Levin G. G., Moiseev N. N., Ilyushin Ya. A., Minaev V. L.: The effect of focusing on the lateral resolution of an interference microscope. Measurement Techniques, 2014. V.57. N.1. PP.69-73.
5. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Соболев С.И., Антонов А.С., Брызгалов П.А., Никитенко Д.А., Стефанов К.С., Воеводин Вад.В.: Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы. - Москва: Издательский дом "Открытые системы", N 7, 2012. С. 36-39.