

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРА КАЛМАНА НА ДАННЫХ ОТ РЕГИСТРАТОРА ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

А.Ю. Ивченко, И.А. Ботыгин
Томский политехнический университет
ayu11@tpu.ru

Введение

Цифровая обработка сигналов, стала важным инструментом во многих областях науки и техники [1]. Одной из проблем данной сферы является недостоверность данных из-за шумов и сбоев регистраторов сигналов. Одним из подходов повышения достоверности измерений является фильтрация [2].

В настоящей работе для сглаживания сигнала исследовался фильтр Калмана. Фильтр Калмана (Kalman filter) – рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, использующий ряд измерений, который может быть неполным или зашумленным, и алгоритмы прогнозирования и корректировки [3].

В работе представлена программная реализация применения фильтра Калмана к данным от многоканального геофизического регистратора МГР-1, предназначенного для регистрации электромагнитных процессов в земной коре, геофизической разведки, поиска структурных и литологических неоднородностей, мониторинга геодинамического движения земной коры, экспресс-оценки сейсмической опасности [4].

Описание приложения

Алгоритм Калмана включает две повторяющиеся операции: фазу предсказания и фазу корректировки. На фазе предсказания оценивается состояние измеряемой величины в следующий момент времени с учетом погрешности ее измерения. На фазе корректировки новое поступившее измерение с датчика уточняет предсказанное значение (уменьшает неточность и зашумленность значения) [5].

Функциональная структура разработанного программного комплекса включает: блок подготовки данных,

Для проведения программных экспериментов с сайта <http://mgr.imces.ru/stdpub/kavkaz/vladikavkaz/> были взяты показания регистратора №26727EE0BF9F15BA от 7.06.2017 12:00 часов. Интервал между измерениями составляет 30 секунд, количество измерений равно 6201.

Для оценки эффективности алгоритма фильтрации исходный временной ряд значений регистратора был зашумлен различными сигналами, полученными из произведения константы U , равной различным частям от среднего значения ряда, и значения функции распределения Гаусса с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

Для проведения экспериментов по исследова-

нию фильтра Калмана было разработано приложение в среде NetBeans на языке Java. В приложении была использована реализация фильтра Калмана, входящая в пакет Apache Commons Math 3. Для визуализации результатов экспериментов использовался фреймворк с открытым исходным кодом JFreeChart.

На рисунке 1 представлен результат эксперимента с зашумлением $U = 0.25$ для первых 30 измерений. При данном уровне зашумления восстановленные значения близки к оригинальным. Вместе с тем, эксперименты показали ожидаемое ухудшение восстановления значений с ростом коэффициента U . На графике квадратными маркерами обозначены исходные данные, круглыми маркерами – зашумленные данные, треугольными маркерами – зашумленные данные после применения фильтра Калмана. Ось X отражает время в секундах от начала исследуемого временного ряда (12:00 07.06.2017). Ось Y отражает интенсивность естественного импульсного электромагнитного поля Земли в условных единицах.

Сравнительный анализ алгоритмов восстановления

Было проведено сравнение результатов работ алгоритма Калмана (при $U = 0.25$) и единичного применения вейвлета Хаара (Рис. 2).

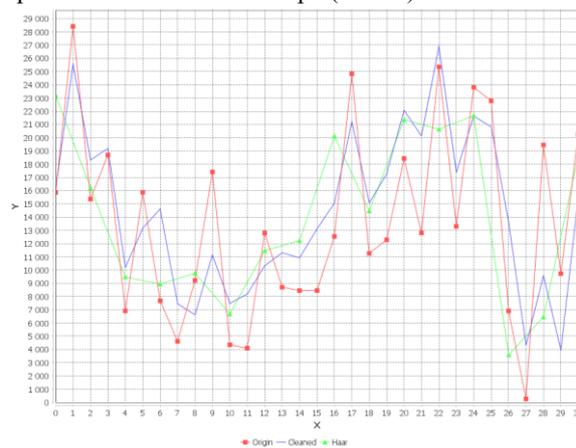


Рис. 2. Графики восстановления фильтром Калмана и вейвлетом Хаара

Квадратным маркером обозначен исходный сигнал, без маркера – зашумленный сигнал, после прохождения фильтра Калмана, треугольным маркером – зашумленный сигнал после применения вейвлета. Координатные оси аналогичны осям графика на рисунке 1.

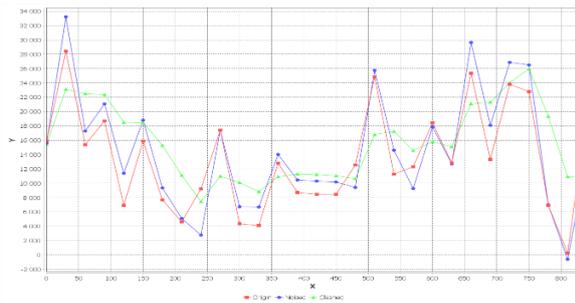


Рис 3. Фрагмент двукратного применения фильтра Калмана

Эксперименты по сравнению эффективности восстановлению зашумленных значений с использованием фильтра Калмана и вейвлета Хаара показали преимущество фильтра над вейвлетом.

Дополнительно были проведены эксперименты по итерационному применению фильтра Калмана. На рисунке 3 представлено двукратное использование фильтра с $U = 0.25$.

Обозначения эквивалентны графику на рисунке 1.

Итерационный эффект проявляется в усилении сглаживания исходных значений, что может привести к потере важной информации.

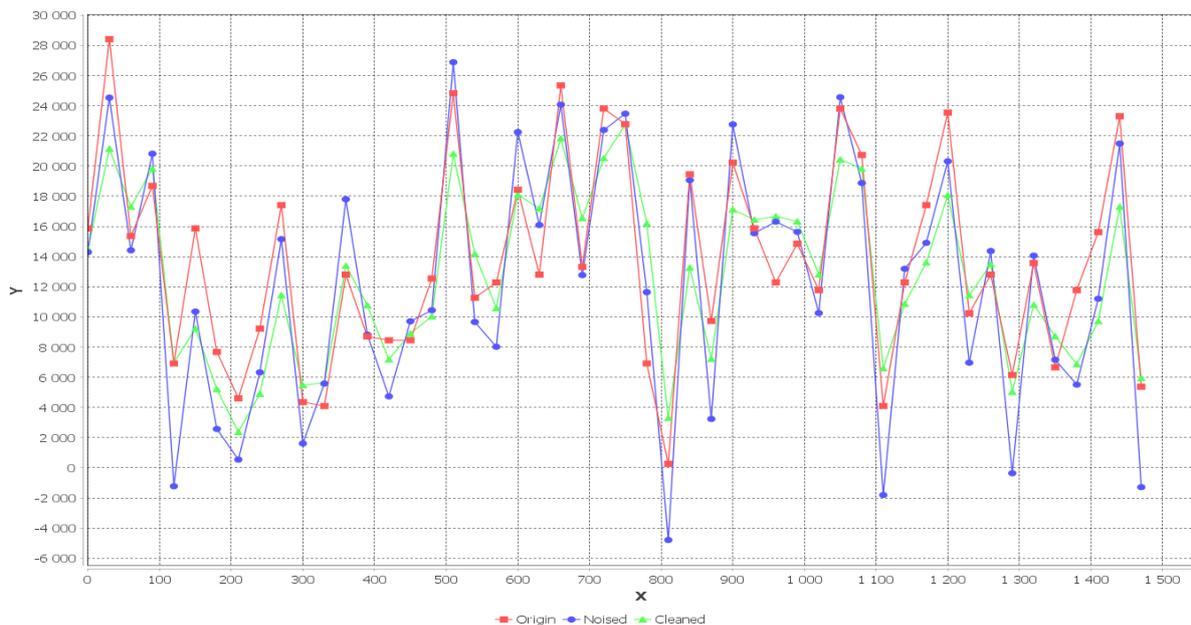


Рис. 1. Применение фильтра Калмана к зашумленному сигналу

Заключение

На основе полученных результатов сделан вывод об эффективности единичного применения фильтра Калмана к данным от датчиков естественного импульсного электромагнитного поля Земли для восстановления зашумленных значений.

Список использованных источников

1. Цифровая обработка сигналов // Лаборатория информационные технологии. URL: http://www.itlab.unn.ru/archive/lectures/DSP/DSP_Lectures.pdf (дата обращения: 19.11.2018).
2. Сглаживание цифровых сигналов // Хабрахабр. URL: <https://habr.com/post/184728/> (дата обращения: 19.11.2018).

3. Бегеза М. В. Проблемы применения фильтра Калмана в промышленной автоматизации // Научно-техническая библиотека ТПУ. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C50/013.pdf> (дата обращения: 19.11.2018).
4. Многоканальный геофизический регистратор МГР-1 // IMCES. URL: <http://www.imces.ru/index.php?rm=news&action=view&id=405> (дата обращения: 19.11.2018).
5. Фильтр Калмана – Введение. // Хабрахабр. – URL: <https://habr.com/post/140274/> (дата обращения: 19.11.2018).