
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 004.942

С. В. ИВАНОВ, А. В. БУХАНОВСКИЙ

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: УСВОЕНИЕ ДАННЫХ И АНСАМБЛЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Обсуждается совокупное использование методов усвоения данных и ансамблевых технологий для анализа неопределенности предсказательного моделирования сложных систем на примере задачи предотвращения наводнений в Санкт-Петербурге.

Ключевые слова: математическая модель, неопределенность, предсказательное моделирование, сложная система.

Построение и использование математических моделей сопряжено с оценкой и анализом неопределенности предсказательного моделирования (ПМ). Понятие неопределенности (*uncertainty*) наследует основные черты метрологической интерпретации погрешности, однако его природа обусловлена абстрактностью математической модели (как инструмента косвенных измерений) и в ряде случаев не подразумевает введения исходного эталона [1]. Неопределенность ПМ является объективным свойством применяемых моделей, ее источники — входные данные, эмпирические параметры модели, а также построенные на их основе замыкания и формализации отдельных составляющих. Неопределенность входных данных может быть вызвана не только погрешностью их измерений, но и косвенными факторами, характерными для ПМ сложных систем, состоящих из большого числа взаимодействующих компонентов различной природы, такими как *прогрессирующая* неопределенность, отражающая использование результатов ПМ в качестве входных данных для других моделей. Неопределенность ПМ не может быть полностью устранена путем уточнения структуры модели или детализации входных данных, но ее можно снизить за счет управления процессом ПМ непосредственно в ходе вычислений:

— *оперативное усвоение данных в начальные и граничные условия модели*: для этого используются различные оптимизационные постановки, включая оптимальную интерполяцию и фильтрацию Калмана;

— *оперативное усвоение данных в параметры модели*: точность ПМ оптимизируется по наблюдениям на ближайшей предыстории внутри скользящего временного окна;

— *ретроспективное усвоение данных в параметры модели (калибровка параметров)*: оптимизация выполняется „в среднем“ за длительный „ретроспективный“ интервал, по которому имеются наблюдения. Это требует существенно меньших вычислительных затрат, чем при оперативном усвоении, однако остается открытым вопрос о длине ретроспективного интервала и периодичности калибровки.

Подход к усвоению данных как к задаче оптимизации позволяет детализировать структуру прогрессирующей неопределенности, устраняя эффекты, связанные с неполнотой и неточностью исходных данных для функционирования моделей, но оставляет нерешенной задачу исследования неопределенности, обусловленной внутренней структурой самих моделей. Хотя применение аналитических методов для отдельных классов моделей допустимо, анализ неопределенности ПМ сложных систем общего вида с произвольной структурой обмена данными, по-видимому, возможен только численно. Для этого применяются ансамблевые технологии, основанные на прямом моделировании различных сценариев поведения моделей и обобщении результатов статистическими методами. Принципиальным является выбор способа построения ансамбля, что определяет возможности технологии:

— формирование ансамбля внесением случайного возмущения во входные данные (включая начальные и граничные условия) и в параметры модели с помощью метода Монте-Карло. Этот прием наследует принципы анализа чувствительности моделей (*sensitivity analysis*) [2], отличаясь тем, что задается вероятностное возмущение, описывающее изменчивость процессов, определяющих входные данные;

— применение набора альтернативных моделей и вариантов их использования допустимо в предметных областях, в которых существуют альтернативные модели различных авторов, а также иерархии-поколения моделей (от простого — к сложному). Ансамбль составляется из результатов расчетов по разным моделям и вариантам их использования (например, разным формализациям в составе одной и той же модели);

— бутстреппирование (*bootstrapping*), основанное на воссоздании ансамбля комбинированием различных источников данных и вычислительных моделей, приемлемо для моделирования сложных систем с разветвленной структурой обмена данными между моделями. Ансамбль строится как путем сочетаний альтернативных моделей и источников данных (внешнее бутстреппирование), так и перебором вариантов их использования (внутреннее бутстреппирование).

Рассмотренные подходы ресурсоемки, поскольку вычислительные затраты на формирование ансамбля на несколько порядков превышают затраты на собственно ПМ. Использование современных суперкомпьютерных систем для таких задач неэффективно в силу их существенной неоднородности: вычислительные модели в составе ансамбля имеют различную ресурсоемкость, программы написаны на разных языках, используют различные технологии параллельного программирования и обладают разными требованиями к операционным системам и параллельной вычислительной архитектуре. Их интеграция может быть обеспечена в рамках облачных технологий второго поколения, поддерживающих абстракцию *композиционных приложений*, представляющих собой динамическое объединение различных сервисов, ориентированных на решение общей задачи в среде распределенных вычислений. Такая технология реализована в многопрофильной инструментально-технологической платформе CLAVIRE [3]. Она может служить основой для построения ансамблевых методов исследования неопределенности ПМ сложных систем. В частности, в задаче прогноза и предотвращения наводнений в Санкт-Петербурге на основе платформы CLAVIRE реализована среда вычислительного эксперимента, обеспечивающая возможность оценивания неопределенности прогнозов наводнений и планов маневрирования затворами комплекса защитных сооружений. Проведенные на ретроспективных данных 2010—2013 гг. расчеты показали, что введение усвоения данных позволило снизить неопределенность прогнозов на 20 %, а последующее использование ансамблевого метода на основе набора альтернативных моделей — на 25 %, что и определяет эффективность технологии.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках реализации постановления № 220 Правительства Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цветков Э.И. Основы математической метрологии. СПб: Политехника, 2005. 510 с.
2. Saltelli A., Tarantola S., Chan K. A quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output // *Technometrics*. 1999. Vol. 41, N 1. P. 39—56.
3. Knyazkov K.V. et al. CLAVIRE: e-Science Infrastructure for Data-driven Computing // *J. of Computational Science*. 2012. Vol. 3(6). P. 504—510.
4. Ivanov S.V. et al. Simulation-based collaborative decision support for surge floods prevention in St. Petersburg // *J. of Computational Sci.* 2012. Vol. 3(6). P. 450—455.

Сведения об авторах**Сергей Владимирович Иванов**

— канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Научно-исследовательский институт Научно-исследовательских компьютерных технологий; E-mail: sergei.v.ivanov@gmail.com

Александр Валерьевич Бухановский

— д-р техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Научно-исследовательский институт Научно-исследовательских компьютерных технологий; директор НИИ НКТ; E-mail: avb_mail@mail.ru

Рекомендована кафедрой
высокопроизводительных вычислений

Поступила в редакцию
07.11.13 г.

УДК: 534.08+004.312+681.787

М. Ю. ПЛОТНИКОВ, И. Г. ДЕЙНЕКА

РАЗРАБОТКА БЛОКА ГЕНЕРАЦИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СХЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИДРОФОНА

Предложен метод генерации гармонических сигналов на основе полиномов Чебышева для схемы цифровой обработки информации в волоконно-оптическом гидрофоне интерферометрического типа. Разработана и отмоделирована рабочая схема метода для программируемой логической интегральной схемы.

Ключевые слова: волоконно-оптический гидрофон, программируемые логические интегральные схемы, гармонические сигналы, полиномы Чебышева.

Введение. В волоконно-оптических датчиках интерферометрического типа существует проблема стабилизации положения рабочей точки интерферометра. С целью исключения влияния нестабильности положения рабочей точки на полезный сигнал разработано множество методов приема и демодуляции сигналов для волоконно-оптических гидрофонов [1]. Одним из распространенных методов демодуляции является пассивный гомодинный прием [2].

Согласно схеме [2], рассматриваемый метод приема сигналов предполагает использование в схеме цифровой обработки сигналов волоконно-оптического гидрофона опорного генератора гармонических сигналов.

Статья посвящена разработке стабильного высокоточного опорного генератора гармонических сигналов для цифровой схемы пассивного гомодинного приема на основе ПЛИС в волоконно-оптическом гидрофоне.