

С О О Б Щ Е Н И Я

Д.С. Жуков, С.К. Лямин

D.S. Zhukov, S.K. Lyamin

Генераторы розового шума как инструмент имитационного моделирования

Pink noise generator as a simulation tool

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-06-00093а «Приложение теории самоорганизованной критичности к изучению исторических процессов»

Аннотация, abstract: В сообщении представлены некоторые типы генераторов розового шума. Авторы обсуждают возможности использования этих генераторов для имитационного моделирования.

The report presents some types of pink noise generators. The authors discuss the possibility of using these generators for simulation.

Ключевые слова, keywords: самоорганизованная критичность, генератор розового шума, имитационное моделирование, self-organized criticality, pink noise generator, simulation.

Авторы, authors: Жуков Дмитрий Сергеевич – Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, кандидат исторических наук, доцент кафедры международных отношений и политологии, in-eternatum@mail.ru

Лямин Сергей Константинович – Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, кандидат исторических наук, доцент кафедры Российской истории, laomin@mail.ru

Zhukov, Dmitry S. – Tambov State University, Tambov, Russian Federation, PhD in History, Associate Professor of the International Relations and Political Science Department, in-eternatum@mail.ru

Lyamin, Sergey K. – Tambov State University, Tambov, Russian Federation, PhD in History, Associate Professor of the Russian History Department, laomin@mail.ru

УДК 303.094

Статья поступила в редакцию: 07.05.2014

Статья принята к печати: 07.05.2014

© Д.С. Жуков, С.К. Лямин, 2014

Генераторы розового шума представляются весьма продуктивной виртуальной платформой для создания моделей различных процессов/систем, которые являются/развиваются в режиме розового шума. Поскольку, как оказалось, таких процессов/систем в физическом и социальном мире огромное множество, то, соответственно, эта стратегия имитационного моделирования имеет серьёзные перспективы. На объяснение всех подобных явлений претендует теория самоорганизованной критичности (СОК), которая сформулировала целый ряд эвристически ёмких объяснительных схем. Моделирование в духе СОК позволяет в ряде случаев значительно расширить исследовательские возможности. Однако до сих пор существенной проблемой является создание такого генератора розового шума, который мог бы использоваться в качестве инструмента моделирования.

Для генерирования «хорошего» искусственного розового шума, строго говоря, можно обойтись источником случайных чисел и «подгонкой» сигнала под заданные параметры. Например, в наших исследованиях¹ для получения тестовых образцов розового шума мы использовали свободно распространяемый код `powernoise`², реали-

1 Жуков Д.С., Канищев В.В., Лямин С.К., Мовчко Ю.И. Центр фрактального моделирования: развитие инструментария для исследования социальных феноменов // Вестник Пермского университета. Серия: История. 2014. № 3. С. 13-26; Жуков Д.С., Лямин С.К. Теория самоорганизованной критичности в исследованиях социо-политических процессов: инструментарий идентификации 1/f-шума // *Fractal simulation*. 2014. №1.

2 Little M.A., McSharry P.E., Roberts S.J., Costello D.A.E., Moroz I.M. Exploiting Nonlinear Recurrence and Fractal Scaling Properties for Voice Disorder Detection, *BioMedical Engineering OnLine*. 2007. Vol. 6. P. 23.

зуемый в *Matlab*. Вот описание этого генератора шума: «Программное обеспечение для *Matlab* для генерации шума (временного ряда), спектр мощности которого соотносится по степенному закону с некоторой частотой... Особые случаи включают 1/f-шум ($\alpha=1$) и белый шум ($\alpha=0$). Используется обратное БПФ (быстрое преобразование Фурье). Алгоритм генерирует в соответствии со степенными законами рандомизированные данные мощности в каждом диапазоне частот...». Обратим внимание: этот алгоритм основан на источнике случайных чисел. То есть он создаёт, в частности, искусственный розовый шум, который невозможно ни интерпретировать, ни связать с физическими и социальными смыслами. Это нечто противоположенное тому, что пытаемся создать мы, но весьма полезное для получения «хорошего» образца.

Любая модель должна иметь некоторые связи с прототипом, то есть быть быть в определённой мере интерпретабельной.

Самое первое объяснение, возникающее при анализе фрактального процесса, заключается в том, что этот процесс порождается фрактальной структурой, генерируется как проявление развития или функционирования фрактальной структуры. Вот пример такой структуры «камертонов», издающих розовый шум, из известного в Сети «Опуса 1/f» Романа Уфимцева – рисунок 1.³

Но, очевидно, фрактальность структуры это лишь частное объяснение причин возникновения розового шума. Следовательно, и генераторы розового шума могут представлять собой весьма разные вирту-

3 Уфимцев Р. Опус 1/f // Сайт Ателье ER <http://www.metaphor.ru/er/misc/1f_fractal.xml> (дата доступа: 21.10.2014 г.)

альные структуры и процедуры. А самая известная среди них – модель Бака-Снеппена – рисунок 2.

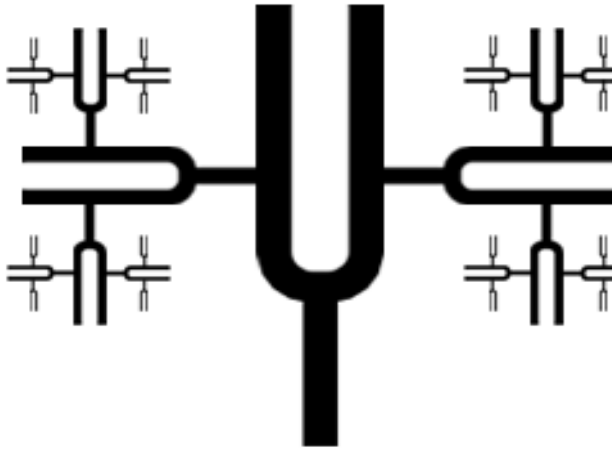


Рисунок 1. Фрактал из камертонов – иллюстрация представления о фрактальном генераторе розового шума. Источник изображения: «Опус 1/f».

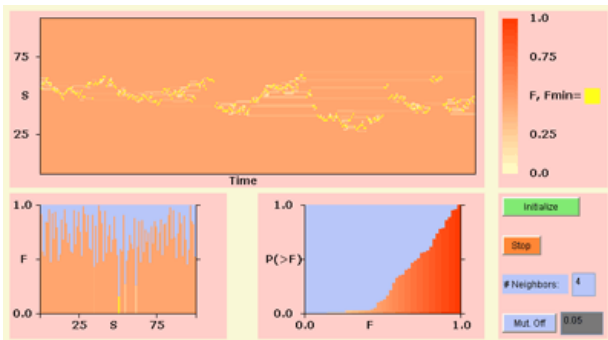


Рисунок 2. Облачный сервис, реализующий модель Бака-Снеппена, доступен на сайте Центра моделирования живых систем в Институте Нильса Бора Копенгагенского университета (глава Центра – К. Снеппен).⁴

Имитационные компьютерные модели играют особую – и значительную – роль в теории СОК, насыщая её универсальными объяснительными схемами. Ключевой моделью теории является генератор розового

⁴ <http://cmol.nbi.dk/>

шума, известный как модель эволюции⁵, которую создали совместно Пер Баг и Ким Снеппен.

Вот описание этой модели, данное Пером Баком: «[Для симуляции эволюции, динамики приспособляемости, видов] мы решили разместить виды по кругу. Каждый вид взаимодействует с двумя своими ближайшими соседями. Так можно выстроить что-то вроде пищевой цепочки [или симбиотических отношений]... В начале вычислительного эксперимента мы связывали с каждым видом случайное число от 0 до 1, [которое является значением приспособленности]... Затем вид с наименьшей приспособленностью заменялся другим видом. Какой приспособленностью обладает новый вид?... Мы в конце концов остановились на версии с совершенно случайной приспособленностью... Критический для запуска эволюционного механизма шаг – это адаптация отдельного вида к своему внешнему окружению... Другие виды, взаимодействующие с данным, образуют часть его окружения... Мы остановились на варианте, в котором приспособо-

⁵ Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M. H. Evolution as a self-organized critical phenomenon // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1995. Vol. 92. № 11. Pp. 5209–5213.

бленность соседей [«ликвидированного» вида] просто заменялась новым случайным числом между нулём и единицей. В конечном итоге наша модель оказалась проще, чем любая модель, придуманная кем-либо для чего-либо: случайные числа выстроены по кругу, на каждом шаге наименьшее число и два его соседа заменяются новыми случайными числами. И это всё! Такая процедура повторяется снова и снова ... Эта простая схема ведёт к гораздо более разнообразному поведению, чем мы можем вообразить. Сложность её поведения резко контрастирует с простотой её устройства».⁶ Если проследить динамику приспособленности, то можно обнаружить что она является розовым шумом и демонстрирует, в частности, т.н. прерывистое равновесие или прерывистую стабильность – периоды частых мелких изменений чередуются с нечастыми глобальными трансформациями во всех масштабах.

Модель Бака-Снеппена оказалась удачным генератором розового шума и распространилась на объяснение многих иных, кроме эволюции, процессов. Несмотря на использование в ней источника случайных чисел, сама виртуальная структура и правила, по которым внутри неё возникают и распространяются события/изменения, являются вполне интерпретабельными, то есть могут быть сопоставлены с вполне реальными прототипами (реальными событиями и из-

⁶ Бак П. Как работает природа: Теория самоорганизованной критичности. М: УРСС, 2013. С. 182-184.

вестными принципами взаимодействия элементов моделируемой системы).

Использование источника случайных чисел позволяет относительно легко получать имитации процессов «в грубом приближении», то есть описанных на высоком абстрактном уровне. Это весьма ценно в теоретическом плане, поскольку задаёт вектор моделирования и поддерживает классические объяснительные схемы. Однако использование случайных чисел затрудняет интерпретацию входящих и исходящих данных. То есть подобные модели трудно настроить на изучение конкретных, а не обобщенных объектов/процессов.

Коллектив Центра фрактального моделирования, занимается, среди прочего, решением этой задачи. В 2013 году была создана программа-прототип, а затем – несколько её модификаций. Это было сделано для того, чтобы установить, как те или иные изменения правил работы генератора и самой структуры генератора влияют на тип генерируемого сигнала. Наш генератор является существенно усложнённым развитием идей, заложенных в модель эволюции Бака-Снеппена.

Однако в отличие от этой модели, а также от иных генераторов типа *powernoise*, мы изначально стремились отказаться от использования источника случайных чисел. Мы исходили из того, что в нашей модели входные данные должны быть интерпретабельными (соответствовать реальным), а правила работы – так или иначе имитировать функционирование реальных систем.