

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СОНИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ

### SOFTWARE SOLUTION FOR COMPLEX NETWORKS SONIFICATION

*G. Rohozynsky  
A. Egorova  
E. Ershov  
I. Osipenko*

#### Annotation

The paper presents the software for complex networks sonification with dynamic behavior. The parameters of randomly created network can be analyzed and controlled in a real-time. The sonification server provides an auditory display for the given network.

**Keywords:** sonification, complex networks, computer music.

*Рогозинский Глеб Гендрихович*

*К.т.н., Рук. направления  
аудиотехнологий НОЦ "Медиацентр"  
Санкт-Петербургского государственного  
университета телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича  
Егорова Анна Николаевна  
Ст. инженер лаборатории  
сертификации средств защиты  
информации ЛО ЦНИИС  
Ершов Евгений Германович  
Инженер лаборатории разработки ПО  
и безопасности сетей связи ЛО ЦНИИС  
Осипенко Иван Николаевич  
Ст. инженер  
звукового дизайна Saber Int.*

#### Аннотация

В статье представлен программный комплекс для экспериментальной сонификации модели сложной сети. Сеть создается на основе случайного графа, параметры которого задаются, изменяются и анализируются в реальном времени, затем отправляются на сервер сонификации для представления в звуковой форме.

#### Ключевые слова:

Сонификация, сложные сети, компьютерная музыка.

С увеличением объема информации, окружающей человека в современном информационном обществе, всё более остро встаёт вопрос поиска алгоритмов и инструментов для оперативного приёма и анализа данных.

Слуховое восприятие может служить отдельным каналом приёма внешней информации, наряду с визуальным, тактильным и другими способами представления. В пространственной, временной и частотных областях слуховое восприятие имеет ряд преимуществ, что делает целесообразным использование неречевого аудио для передачи информации, т.е. сонификации [1], [2].

За счет использования слухового анализатора методы сонификации расширяют возможности обработки больших массивов данных и сложных систем и сетей. Это позволяет уменьшить время на поиски закономерностей и выявление характерных особенностей.

Научно-технический прогресс имеет тенденцию затрагивать все области человеческой деятельности: на сегодняшний день, для того чтобы играть на рынке цен-

ных бумаг или узнать температуру воздуха, скорость ветра и температуру воды, достаточно иметь любое устройство с доступом в Интернет. Однако объем данных, который необходимо с высокой степенью точности анализировать человеку, значительно увеличивается с поступлением новой информации. Современные возможности в области звукового дизайна и вычислительной техники позволяют сонифицировать практически любой информационный поток или систему. В этой связи представляют особый интерес задачи, связанные с сонификацией различных сетей и трафика в них.

#### Моделирование сложных сетей

Сложные сети удобно формализовать с помощью инструмента теории графов. Авторы для исследования выбрали за основу вероятностную модель случайного графа Эрдеша-Реньи [3], входные параметры которой гибко управляются в процессе эксперимента.

Исходная модель графа представляет собой случайно сгенерированную матрицу смежности. Максимальный

размер матрицы смежности (1000 узлов) выбран так, чтобы она находилась в оперативной памяти одного приложения.

Активностью сети назовём изменение составляющих её элементов (узлов или ребер) во времени, а также изменение какого-либо параметра, описывающего их (например, интенсивности трафика на некотором участке).

*Выделим следующие параметры, составляющие те-заурус активности сети:*

1. Чёткие параметры модели, предоставленные оператору для изменения (в терминологии абстрактной модели динамических графов):

**1.1 Только при генерации:**

- ◆ исходное количество узлов

**1.2 При генерации и на этапе существования сети:**

- ◆ вероятность возникновения связи для каждой пары узлов
- ◆ параметры времени – частота "кадров" обновления состояния
- ◆ вероятность появления/исчезновения случайно выбранного узла
- ◆ вероятность появления/исчезновения случайно выбранной связи
- ◆ появление/исчезновение заданного оператором узла
- ◆ появление/исчезновение заданной оператором связи
- ◆ выбор двух узлов для поиска между ними кратчайшего пути.

2. Нечёткие параметры модели, являющиеся следствием динамических свойств графа и требующие применения алгоритмов анализа графов для своего выявления:

- ◆ относительный размер сети
- ◆ наличие / отсутствие / возникновение / исчезновение свойства связности (граф может оказаться "разделённым" на части, не имеющие между собой ни одной связи)
- ◆ наличие / отсутствие / возникновение / исчезновение скоплений
- ◆ наличие / отсутствие / возникновение / исчезновение цикличности
- ◆ общее удельное количество связей (плотность)
- ◆ изменение расположения кратчайшего пути между заданными точками.

### Звуковой дизайн для комплекса сонификации

Основная задача сонификации представляет собой отображение события  $A$ , являющегося следствием активности сети, из информационного пространства  $\Theta$  в область  $n$ -мерного тембрального пространства  $\Psi$  (в частном случае в точку  $\Psi^A \in \Psi$ , что соответствует определённому звуку в указанном тембральном пространстве).

На отображение  $\Theta \rightarrow \Psi$ , как правило, могут быть наложены дополнительные условия, например требование максимальной дистанции между двумя отображениями  $\Psi^A$  и  $\Psi^B$  для достижения их наибольшего тембрального отличия.

Возможно существование нескольких тембральных пространств  $\{\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_K\}$ .

Как правило, размерность каждого тембрального пространства связана с длиной вектора параметров выбранного алгоритма синтеза звука. Выбор параметров алгоритма синтеза звука, соответствующих координатам  $\Psi_i$ , относится к задачам звукового дизайна и не имеет одиночного решения.

*Остановимся ниже на основных проблемах сонификации сложных сетей.*

#### Объем сети.

С ростом объема сети увеличивается вероятность возникновения событий, указанных выше. Удовлетворительная (в плане различимости) сонификация всех событий становится невозможной, поэтому требуется установка приоритета событий, ограничение количества сонифицируемых сегментов сети или выбор окна анализа, в пределах которого вычисляется общий усредненный показатель активности сети.

#### Отделимость звуков.

Сходные по своему тембру звуки затрудняют правильную интерпретацию соответствующих им событий или требуют наличия определенных специальных навыков.

Для увеличения фактора отделимости сходных тембров используются регуляция громкости, стереопанорамирование, эквалазация, искусственная реверберация и линии задержки.

#### Различные задачи анализа.

Существование различных задач при наблюдении за сложной сетью обуславливает необходимость создания различных отображений, что, в свою очередь, приводит к использованию нескольких возможных профилей.

Например:

#### ПРОФИЛЬ 1.

*Общая структурность сети.* Выявление неоднородностей в структуре сети или в плотности трафика.

#### ПРОФИЛЬ 2.

*Отслеживание бифуркаций.* Выявление узлов и ребер с определенными девиациями относительно общей совокупности, а также узлов и ребер соответствующих определенным критериям.

#### ПРОФИЛЬ 3.

*Комбинированный анализ.* Удовлетворительное (компромиссное) отображение всех профилей.

В настоящей версии на профиле 1 используются техники гранулярного синтеза [4], реализация которых нацелена на создание в спектре звука центроидов с характерными особенностями, соответствующими неоднородностям в сети. В качестве основных параметров используются средняя громкость центроида, спектральная протяженность центроида, средняя длительность гранул, плотность облака гранул. Общие характеристики тембра – протяженный, стохастический, шумоподобный, гранулярный. Фрагмент спектрограммы, соответствующей такому тембру приведен на рисунке 1.

На профиле 2 используются техники FM-синтеза [5], предоставляющие большой диапазон различных тембров при минимуме параметров.

Общие характеристики – акцентированный, яркий, преимущественно тональный.

Оба звуковых пласта могут быть соединены для образования смешанного профиля.

#### Программный комплекс сонификации динамических графов

Рассматриваемый комплекс сонификации состоит из источника информации о состоянии сети (клиента) и приёмника этой информации, способного осуществить звуковой рендеринг (сервер).

По сети передаётся информация об изменениях, происходящих с моделью. Источник информации состоит из управляемого генератора модели и системы преобразования и отправки данных в требуемом формате. Для коммуникации приложений используется открытый пакетный протокол OSC (Open Sound Control), разработанный специально для сетевого взаимодействия мультимедийных устройств в реальном времени [6]. Приемник информации представляет собой специализированное звуковое приложение.

#### Интерфейс

Программный комплекс моделирования динамических процессов сложной сети предоставляет оператору возможность в реальном времени управлять всеми имеющимися числовыми параметрами (рис.2).

#### Язык

Для создания рассматриваемой модели пригоден практически любой высокоуровневый язык программирования, поддерживающий прикладную работу с массивами данных (необязательно работать с памятью на низ-

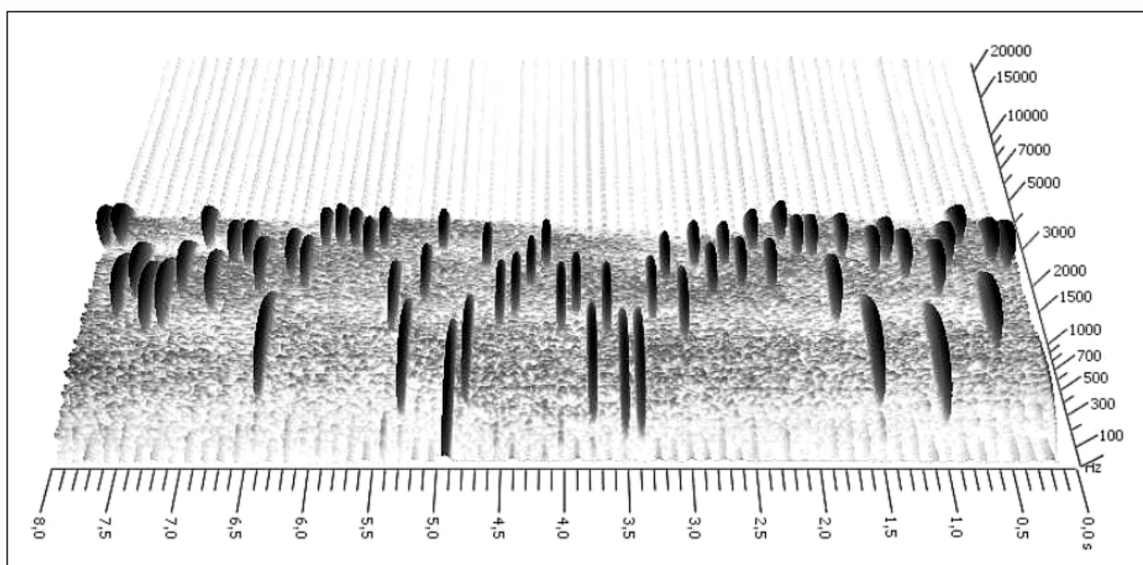


Рисунок 1. Трехмерная спектрограмма гранулярного звука.

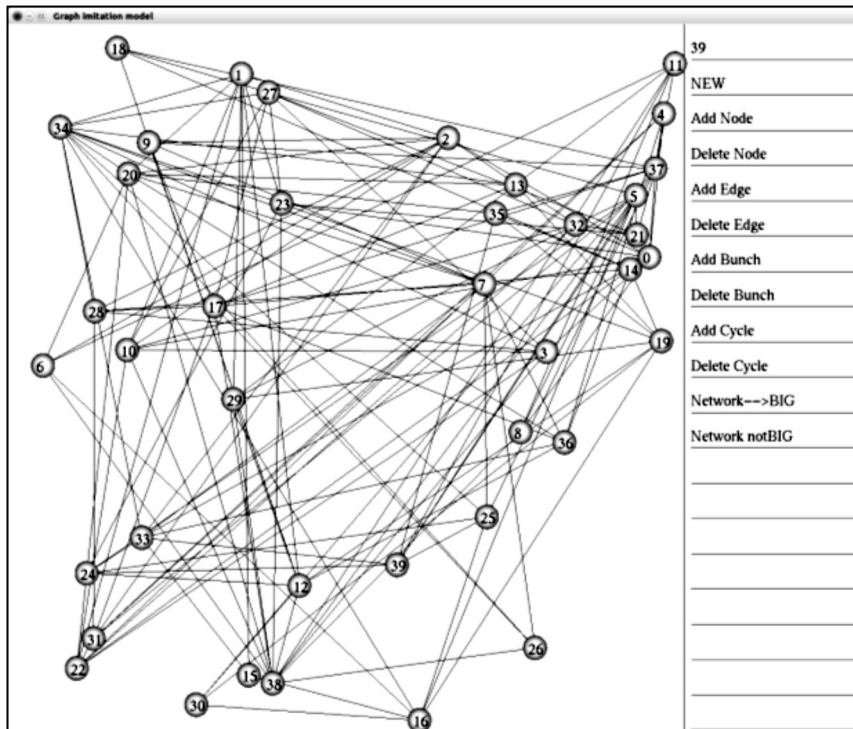


Рисунок 2. Окно визуализации графов. Количество узлов 40.

ком уровне, но наличие такой возможности не мешает). Авторы выбрали C++ с визуализацией графики на OpenGL с надстройкой GLUT как распространённые кроссплатформенные инструменты для гибкой работы с числовыми данными, системами координат и освещением.

### Заключение

Разработанный программный комплекс открывает новые возможности для анализа сложных сетей и систем,

а также осуществления экспериментальных исследований в области управления такими системами.

Следующими задачами являются, в первую очередь, расширение тезауруса активности сети, адаптация модели к профессиональным системам визуализации и анализа сетей, таким как *Gephi* [7], а также проведение исследований, направленных на совершенствование сонификационных моделей, в том числе более детальная работа с кластерами сложной сети, внесение в модель неоднородности и получение параметров реально существующих сетей на входе в модель.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Rogozinsky G., Cherny E. The Internet of Machines – Technological Synergy and Computer Music // FRUCT16, Oulu, Helsinki, 2014.
2. Рогозинский Г.Г., Чесноков М.А., Щекочихин А.В., Черный Е.В., Смирнов И.Н. Особенности представления и обработки данных в сети дополненной акустической реальности // Системы управления и информационные технологии, №3(61), 2015. – С. 89–93.
3. Райгородский А. М. Модели случайных графов и их применения // Труды МФТИ, Том 2, №4, 2010. – С. 130–140.
4. Roads C. Microsound. – MIT Press, 2004. – 424 p.
5. Chowning J. The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation // Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 21, №7, 1973. – 526–534 p.
6. Официальный сайт OSC <http://opensoundcontrol.org> (дата обращения 19.07.2016).
7. Bastian M., Heymann S., Jacomy M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. International AAAI Conference on Weblogs and Social Media, 2009.