

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕСАМПЛИНГА  
ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ  
МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Рассматривается возможность применения ресамплинга для имитационного моделирования систем массового обслуживания. Анализируется качество подобных механизмов моделирования — имитаторов.

*Ключевые слова:* имитационное моделирование; системы массового обслуживания; ресамплинг; модель скользящего упорядочения.

D.S. Matusevich

**USING RESAMPLING TO SIMULATE QUEUING SYSTEMS**

The author considers using resampling to simulate queuing, and analyzes the quality of resampling-based simulation mechanisms.

*Keywords:* simulation; queuing system; resampling; moving regulation model.

Большое количество социально-экономических, технических, военных систем можно описать как системы массового обслуживания (СМО). Особенностью данных систем является обслуживание путем однотипных действий требований, поступающих в случайные моменты времени. Стимулом к изучению СМО является стремление человека научиться предсказывать случайно изменяющиеся потребности по результатам наблюдений и на основе этого организовывать обслуживание с приемлемым временем ожидания.

Стремительное совершенствование ЭВМ способствует не только ускорению прямых численных расчетов, но и коренным образом изменяет стиль и подходы исследования. За последние пять десятилетий имитационное моделирование с использованием ЭВМ позволило существенно расширить классы исследуемых СМО.

В имитационной модели важную роль играет имитатор среды — программный блок(и), копирующий существенные черты экзогенных и эндогенных переменных моделируемого объекта (системы) [2; 4]. Для систем массового обслуживания имитатор среды может описывать потоки событий, протекающие в системе, поведение обслуживающих устройств и т.п.

В литературе описано большое количество способов получения реализаций потоков событий (или других переменных моделируемого объекта) в имитационных моделях [2–4]. Основными способами являются:

1. Использование исходной выборочной совокупности без каких-либо трансформаций.
2. Вычисление эмпирического закона распределения вероятностей.
3. Подбор закона распределения вероятностей или фитинг.
4. Использование авторегрессионных моделей.
5. Применение урновых схем скользящего упорядочения<sup>1</sup> или ресамплинг (калька с англ. resampling).

<sup>1</sup> Также данная группа методов называется «моделью скользящего упорядочения» [5].

Решая практические задачи с применением вероятностных моделей, исследователь часто сталкивается с такой проблемой, как нехватка статистических данных, на основе которых необходимо оценивать неизвестные параметры вероятностных моделей. В такой ситуации использование традиционных параметрических методов оценивания весьма затруднено. Однако ресамплинг позволяет решить эту проблему. Он предполагает многократное использование одних и тех же данных в различных комбинациях, что обеспечивает более полное использование статистической информации. Также важной особенностью этого подхода является то, что он является непараметрическим, что позволяет избежать ошибок, свойственных традиционным методам и связанных с проверкой гипотез о виде распределения случайных величин.

Основная идея ресамплинга заключается в том, что случайные величины не генерируются специальными генераторами, а берутся непосредственно из исходных выборок. Ресамплинг позволяет оценивать вероятностные характеристики сложных систем, основываясь на сравнительно малых объемах статистических данных [1].

Качество механизмов моделирования (имитаторов), используемых в имитационных моделях СМО характеризуется тремя основными показателями: степенью адекватности моделирования; быстродействием; наличием возможности управлять процессом генерации и набором второстепенных характеристик, позволяющих учесть или ослабить влияние различных ситуаций, возникающих при проведении имитационных экспериментов [3].

В данной работе рассматривается статистическая адекватность моделирования, полученного с помощью ресамплинга. Так как значения генерируемого показателя получены путем «перемешивания в урне» значений его реального прототипа, очевидно, что их одномерные законы распределения совпадают. Процедура изменения порядка размещения элементов исходной последовательности приводит только к изменению таких ее динамических свойств, как автокорреляционная функция, спектральная функция и др. Статические характеристики — моменты (математическое ожидание, дисперсия и др.) — остаются неизменными [3; 5].

Поскольку в имитационной модели сложной системы количество разнообразных видов случайных явлений и их реализаций, используемых для получения отклика модели, как правило, велико, то быстродействие имитаторов определяет быстродействие всей модели. Создание же имитационной модели приемлемой вычислительной сложности является одной из центральных проблем имитационного моделирования [4].

С точки зрения быстродействия имитаторы на базе урновых схем представляют собой алгоритмы линейной сложности с зависимостью параметров алгоритма [5]. Таким образом, алгоритмы ресамплинга имеют меньшее быстродействие по сравнению с другими алгоритмами имитации, однако, в условиях постоянного снижения стоимости процессорного времени их применение технически и экономически целесообразно.

Возможность управления процессом генерации включает в себя оценку степени управляемости характеристик генерируемого потока событий и возможность повторного воспроизведения эксперимента.

Так как в основе урновых схем лежит «перемешивание» исходной выборочной совокупности, то статические характеристики генерируемого явления остаются неизменными. Отсюда, с точки зрения управления характеристиками имитируемой переменной, данная группа алго-

ритмов практически не обладает возможностью управления. Частично этот недостаток решает ввод поправочных коэффициентов, например, коэффициента сдвига и коэффициента масштаба. Применение различных правил выбора значения из урны позволяет менять или наоборот сохранить динамические характеристики генерируемого явления.

Замена реального потока его моделью на базе ресамплинга дает возможность исследователю перезапускать имитационную модель с целью повторного воспроизведения эксперимента.

К дополнительным показателям качества механизмов имитации можно отнести следующие:

- ограничение на характер моделируемых явлений (например, независимость);
- требование предварительной обработки и (или) идентификации данных перед проведением экспериментов (предваряющее вероятностно-статистическое моделирование);
- степень автоматизации настройки имитатора под наблюдаемые свойства реальных потоков событий (экзогенных переменных) [2; 4].

Универсальность применения ресамплинга в имитационном моделировании СМО объясняется его промежуточным положением среди методов имитации.

Во-первых, модель скользящего упорядочения ближе к методам имитации, использующим исходную выборочную совокупность (использование исходной выборочной совокупности без каких-либо трансформаций, вычисление эмпирического закона распределения вероятностей). Это повышает степень статистической адекватности моделирования, снимает ограничения на характер генерируемого явления, не требует предварительной идентификации данных и автоматически подстраивается под изменения, происходящие в его реальном аналоге.

Во-вторых, за счет производимого перехода от объекта исследования к его математической модели (т.е. к методам модельной имитации), становится возможным повторное воспроизведение экспериментов и повышается степень управляемости характеристиками генерируемого процесса.

К недостаткам способа следует отнести более низкое быстродействие имитаторов на базе ресамплинга по сравнению с модельными имитаторами (имитаторами на базе законов распределений вероятностей и авторегрессионными моделями) [3].

### Список использованной литературы

1. Афанасьева Е. Оценивание моделей логистических процессов транспорта на базе интенсивных компьютерных методов статистики: автореф. промоциональной работы / Е. Афанасьева. — Рига: Ин-т транспорта и связи, 2006. — 52 с.
2. Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика CS / В. Кельтон, А. Лоу. — СПб.: Питер; Киев: Изд. группа BHV, 2004. — 847 с.
3. Матусевич Д.С. Моделирование социально-экономической системы как системы массового обслуживания в автоматизированном режиме / Д.С. Матусевич // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2007. — № 6. — С. 171–175.
4. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II / А. Прицкер. — М.: Мир, 1987. — 644 с.
5. Хамитов Г.П. Метод стохастического моделирования временных рядов, основанный на принципах упорядочения и деупорядочения исходной реализации / Г.П. Хамитов, И.Н. Савкин // Применение математических методов и информационных технологий в экономике: сб. науч. тр. — Иркутск: Изд-во ИГЭА, 2001. — С. 7–15.

## References

1. Afanas'eva E. Otsenivanie modelei logisticheskikh protsessov transporta na baze intensivnykh komp'yuternykh metodov statistiki: avtoref. promotсионной raboty / E. Afanas'eva. — Riga: In-t transporta i svyazi, 2006. — 52 s.
2. Kel'ton V. Imitatsionnoe modelirovanie. Klassika CS / V. Kel'ton, A. Lou. — SPb.: Piter; Kiev: Izd. gruppya BHV, 2004. — 847 s.
3. Matusevich D.S. Modelirovanie sotsial'no-ekonomicheskoi sistemy kak sistemy massovogo obsluzhivaniya v avtomatizirovannom rezhime / D.S. Matusevich // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. — 2007. — № 6. — S. 171–175.
4. Pritsker A. Vvedenie v imitatsionnoe modelirovanie i yazyk SLAM II / A. Pritsker. — M.: Mir, 1987. — 644 s.
5. Khamitov G.P. Metod stokhasticheskogo modelirovaniya vremennykh ryadov, osnovannyi na printsipakh uporyadocheniya i deuporyadocheniya iskhodnoi realizatsii / G.P. Khamitov, I.N. Savkin // Primenenie matematicheskikh metodov i informatsionnykh tekhnologii v ekonomike: sb. nauch. tr. — Irkutsk: Izd-vo IGEA, 2001. — S. 7–15.

## Информация об авторе

*Матусевич Дмитрий Сергеевич* — старший преподаватель, кафедра информатики и кибернетики, Байкальский государственный университет экономики и права, г. Иркутск, e-mail: mds@isea.ru.

## Author

*Matusevich Dmitriy Sergeevich* — Senior Instructor, Chair of Computer Science and Cybernetics, Baikal State University of Economics and Law, Irkutsk, e-mail: mds@isea.ru.