

Математическое моделирование распределенного реестра в сфере аренды недвижимости как сети массового обслуживания

В.А. Евсин, С.Н. Широбокова, В.А. Евсина, Е.А. Продан

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, Новочеркасск

Аннотация: в данной статье представлена математическая модель распределенного реестра как сети массового обслуживания. Рассмотрены основные компоненты данной сети, а также их формальное представление. Визуализирована модель *peer-to-peer* сети, определен вектор состояния сети, а также определены ограничения пространства состояний. После чего были представлены законы распределения отдельных потоков и времени обслуживания. Кроме того, были определены элементы конструирования инфинитезимальной матрицы. На основании полученных данных была произведена имитационная модель данного процесса. Результаты проведения имитационного моделирования были проанализированы и выбраны наиболее оптимальные параметры.

Ключевые слова: распределенный реестр, *blockchain*, Марковские процессы, системы массового обслуживания, математическое моделирование, имитационное моделирование, теория вероятностей, теория случайных процессов.

Развитие информационных процессов в вычислительных системах в настоящее время привело к созданию сетей распределенного реестра: систем, решающих задачу о византийских генералах. В данной работе представлено математическое моделирование *peer-to-peer* сети, основанной на принципах платформы для формирования распределенного реестра *Corda* [1]. Одним из вариантов использования технологии распределенных реестров является сфера аренды недвижимости [2,3]. Актуальность данной работы обусловлена все возрастающей популярностью систем распределенного реестра, в связи с чем необходимо провести оценку количественных параметров данной сети и определить наиболее оптимальные параметры.

Общая модель сети представляет собой *peer-to-peer* сеть, в которой каждый участник имеет m_s клиентских приложений ($s = \overline{1, R}$, где R – количество серверов в сети), сервер приложения S_s , ноду N_s (сервер для общения с другими узлами сети). Данная модель представлена на рис. 1.

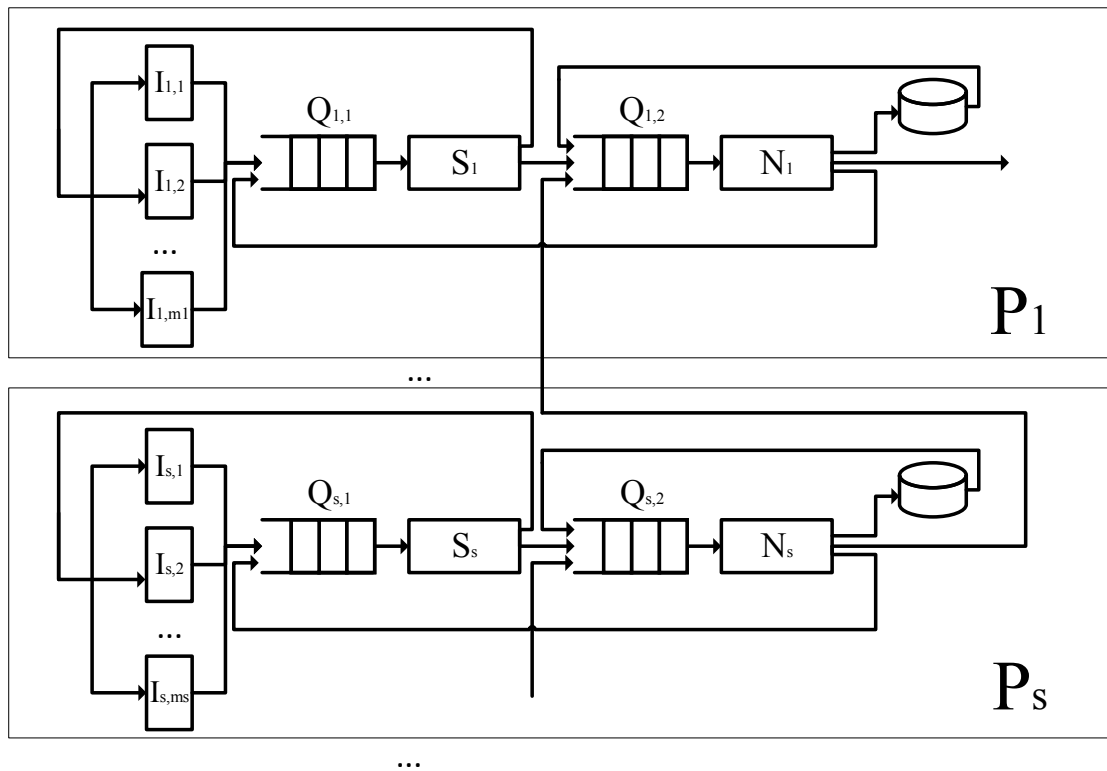


Рис. 1. – Модель взаимодействия узлов в закрытом распределенном реестре

Состояние сети задается вектором $(i_{11}, \dots, i_{1R}, i_{21}, \dots, i_{2R})$, где i_{1s} – количество заявок, находящихся в очереди и на обработке сервером s -го участника сети, i_{2s} – количество заявок, находящихся в очереди и на обработке нодой s -го участника сети. Полное пространство состояний для данной модели сети имеет вид: $i_{1s} = \overline{0, m_s}$; $i_{2s} = \overline{0, \sum_i m_i}; i = \overline{1, R}$. Ограничением данной модели является условие, что общее число заявок от s -го узла сети на сервере и ноде не может быть больше, чем общее число клиентских устройств данного узла сети, т.е. $i_{1s} + i_{2s} \leq \overline{\sum_i m_i}$. Элементы инфинитезимальной матрицы $Q = \|q_{i11, \dots, i1R, \dots, j21, \dots, j2R}\|$ представляют собой интенсивности перехода из состояния $(i_{11}, \dots, i_{1R}, i_{21}, \dots, i_{2R})$ в состояние $(j_{11}, \dots, j_{1R}, j_{21}, \dots, j_{2R})$ за бесконечно малый промежуток времени Δt . Диагональные элементы матрицы Q равны сумме элементов строки, взятых со знаком «минус». Предполагается, что длительность активного состояния

пользователей данного узла сети распределена по закону $f_s(t) = \lambda_s * e^{-\lambda_s t}$, время обработки сервером приложений $\phi_{1s}(t) = \mu_{1s} * e^{-\mu_{1s} t}$, время обработки нодой $\phi_{1s}(t) = \mu_{2s} * e^{-\mu_{2s} t}$, время обработки на базе данных $\phi_s(t) = \eta_s * e^{-\eta_s t}$, где $\lambda_s^{-1}, \mu_{1s}^{-1}, \mu_{2s}^{-1}, \eta_s^{-1}$ – средние значения соответственно активного состояния s -го пользователя, времени обслуживания заявок s -м сервером, времени обслуживания заявок нодой для s -го узла сети, а также время обработки заявки в базе данных s -го узла сети. Таким образом, согласно обозначению Кендалла, данная система имеет обозначение $M/M/2^*R$. Формальные условия конструирования инфинитезимальной матрицы представлены в таблице №1.

Таблица № 1

Элементы конструирования инфинитезимальной матрицы

| Событие и качественное описание условия | Формальное представление условия | Интенсивность переходов |
|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Формирование заявки на s -м узле сети | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} + 1 ; \dots ;$ $j_{21} = i_{21} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} ; \dots$ | $(m_s - i_{1s} - i_{2s1}) * \lambda_s$ |
| Окончание обработки заявки на сервере s -го узла сети, после чего заявка отправляется клиентскому устройству | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} - 1 ; \dots ;$ $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} ; \dots$ | $p_{11s} * \mu_{1s}$ |
| Окончание обработки заявки на сервере s -го узла сети, после чего заявка отправляется на ноду | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} ; \dots ;$ $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} + 1 ; \dots$ | $p_{12s} * \mu_{1s}$ |
| Получение заявки s -м узлом сети от l -го узла сети | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} + 1 ; \dots ;$ $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} - 1 ; \dots$ | λ_l |
| Окончание обработки заявки на ноде, после чего заявка отправляется на сервер | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} + 1 ; \dots ;$ $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} - 1 ; \dots$ | $p_{22s} * \mu_{2s}$ |
| Окончание обработки заявки на ноде, после чего заявка обращается к базе данных | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} ; \dots ;$ $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} - 1 ; \dots$ | $p_{23s} * \mu_{2s}$ |

Продолжение таблицы № 2

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|---|
| Окончание обработки заявки в базе данных | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} ; \dots ;$ $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} + 1 ; \dots$ | η_s |
| Окончание обработки заявки на ноде, после чего заявка отправляется к l -му узлу сети | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} ; \dots ;$ $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} - 1 ; \dots$ | $p_{21sl} * \mu_{2s}$ |
| Пребывание сети в текущем состоянии | $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{1s} = i_{1s} ; \dots ;$ $j_{11} = i_{11} ; \dots ; j_{2s} = i_{2s} ; \dots$ | $-\sum_{i1, \dots, iR, \dots, j21, \dots, j2R} q_{i1, \dots, iR, \dots, j21, \dots, j2R}$ |
| Прочие условия | | 0 |

Подробнее о математических моделях распределенных систем в [4-9].

В таблице №1 представлены следующие вероятности:

- p_{11s} – вероятность того, что заявка из сервера попадет к клиентским устройствам;
- p_{12s} – вероятность того, что заявка из сервера попадет на ноду;
- p_{21ls} – вероятность того, что заявка из s -й ноды попадет на l -ю ноду;
- p_{22s} – вероятность того, что заявка из s -й ноды попадет на сервер;
- p_{23s} – вероятность того, что заявка из s -й ноды попадет в базу данных.

Условие нормировки для данных вероятностей имеет вид: $p_{11s} + p_{12s} = \sum_h p_{12hs} + p_{22s} + p_{23s} = 1$. Ввиду большой размерности Риманова фазового пространства количество вариаций состояний сети нецелесообразно определять математически, поэтому используется имитационная модель.

Постановка задачи имитационного моделирования: определить вероятность нахождения в фазе пиковой нагрузки очередь перед сервером и перед нодой для участника сети. Определить минимальный размер очереди перед сервером и перед нодой, при которой вероятность загрузки соответствующей очереди будет менее 50%. В качестве дисциплины обслуживания *FIFO*. Условия эксперимента приведены в таблице №2. Для проведения имитационного моделирования используется среда *AnyLogic* [10].

Таблица № 2

Условия эксперимента

| Название условия | Количественная характеристика |
|---|-------------------------------|
| Количество участников сети | 3 |
| Количество клиентских устройств рассматриваемой СМО | 4 |
| Максимальный размер очереди перед сервером | 11 |
| Средняя длительность активного состояния пользователей | 3 |
| Вероятность отправления заявки на клиентское устройство из сервера | 0,25 |
| Вероятность отправления заявки на сервер из ноды | 0,43 |
| Вероятность отправления заявки на $s+1$ – ю ноду из текущей s -й ноды | 0,27 |
| Размер очереди на ноде | 7 |
| Время обработки заявки на сервере | 5 |
| Время обработки заявки на ноде | 7 |
| Время выполнения эксперимента | 500 |

Графики изменения загруженности очередей в ходе проведения эксперимента представлены на рис. 1. На основании проведенного эксперимента были получены результаты по оптимальному количеству очередей, представленные в таблице №3.

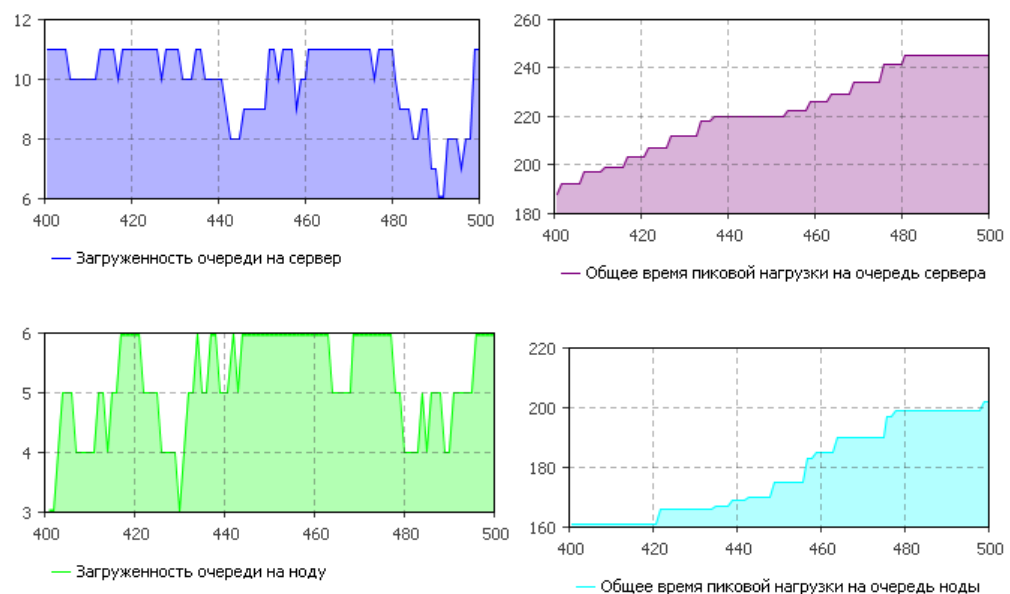


Рис. 1. – Графики изменения параметров загруженности очередей

Таблица № 3

Результаты эксперимента

| Название условия | Количественная характеристика |
|--|-------------------------------|
| Средняя загруженность очереди перед сервером | 9.179 |
| Общее время макс. загруженности очереди перед сервером | 245 |
| Вероятность нахождения очереди перед сервером в состоянии максимальной загруженности | 0.49 |
| Средняя загруженность перед нодой | 4.151 |
| Общее время макс. загруженности очереди перед нодой | 202 |
| Вероятность нахождения очереди перед нодой в состоянии максимальной загруженности | 0.404 |

Дальнейшие исследования будут направлены на уточнение разработанной модели для более качественного соответствия ее реальной работе сети распределенного реестра.

Литература

1. Нараевский О.А., Евсин В.А. Формализованный анализ функциональной полноты платформ распределённых реестров // Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: материалы 19-ой Междунар. молодежной науч.-практ. конф., Новочеркасск, 27-28 февраля 2018 г.– Новочеркасск: Лик, 2018.– С. 396-404

2. Евсин В.А., Широбокова С.Н., Продан Е.А. Использование технологии распределенных реестров при проектировании информационной системы «Аренда недвижимости» с применением искусственных нейронных сетей // Инженерный вестник Дона. - 2018. - №1.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4655

3. Евсин В.А., Продан Е.А., Евсина В.А. Аспекты проектирования информационной системы по аренде недвижимости с использованием технологии распределенных реестров // Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: материалы 19-ой



Междунар. молодежной науч.-практ. конф., Новочеркасск, 27-28 февраля 2018 г. – Новочеркасск: Лик, 2018.– С. 318-323.

4. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: Учебное пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. - 3-е изд. перераб. и доп. - Новочеркасск: Ред.журн.-«Изв. Вузов. Электромеханика», 2005. - 448с.

5. Скоба А.Н., Состина Е.В. Математическая модель оптимального размещения распределенной базы данных по узлам ЛВС на базе файло-серверной архитектуры. // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2881

6. Gross D., Harris C. M. Fundamentals of Queueing Theory. – Fourth edition N.-Y.: Wiley, 2008. – 528p.

7. Chakka R., Harrison P.G. A Markov modulated multi-server queue with negative customers –the MM CPP/GE/c/LG-queue // Acta Informatika/-2001.-v.37. pp. 785-799.

8. Хемди А. Таха Введение в исследование операций. - 7 изд. - М.: Вильямс, 2005. - 912 с.

9. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. - М.: Юстиция, 2018. - 192 с.

10. Акопов А.С. Имитационное моделирование. - М.: Юрайт, 2015. - 389 с.

References

1. Naraevskij O.A., Evsin V.A. Fundamental'nye osnovy, teorija, metody i sredstva izmerenij, kontrolja i diagnostiki: materialy 19-oj Mezhdunar. molodezhnoj nauch.-prakt. konf., Novoчерkassk, 27-28 fevralja 2018. Novoчерkassk: Lik, 2018. P. 396-404

2. Evsin V.A., Shirobokova S.N., Prodan E.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2018. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4655



3. Evsin V.A., Prodan E.A., Evsina V.A. Fundamental'nye osnovy, teorija, metody i sredstva izmerenij, kontrolja i diagnostiki: materialy 19-oj Mezhdunar. molodezhnoj nauch.-prakt. konf. Novoчеркассk, 27-28 fevralja 2018. Novoчеркассk: Lik, 2018. P. 318-323.
4. Chernomorov G.A. Teorija prinjatija reshenij [Decision making theory]: Uchebnoe posobie Juzh.-Ros. gos. tehn. un-t. 3-e izd. pererab. i dop. Novoчеркассk: Red.zhurn. «Izv. Vuzov. Jelektromehanika», 2005. 448p.
5. Skoba A.N., Sostina E.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2015. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2881
6. Gross D., Harris C. M. Fundamentals of Queueing Theory. Fourth edition N.-Y.: Wiley, 2008. 528p.
7. Chakka R., Harrison P.G. A Markov modulated multi-server queue with negative customers Ihe MM CPP/GE/c/LG-queue Acta Informatika. 2001. v.37. pp. 785-799.
8. Hemdi A. Taha Vvedenie v issledovanie operacij. [Operations Research: An Introduction] 7 izd. M.: Vil'jams, 2005. 912 p.
9. Ventzel E. S. Issledovanie operacij. Zadachi, principy, metodologija. [Operations research: tasks, principles, methodology] M.: Justicija, 2018. 192 p.
10. Akopov A.S. Imitacionnoe modelirovanie. [Simulation modeling] M.: Jurajt, 2015. 389 p.