

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С НЕОГРАНИЧЕННЫМ ЧИСЛОМ ПРИБОРОВ В УЗЛАХ И ПРЕРЫВАНИЯМИ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Салимзянов Р. Р.¹, Моисеев А. Н.², Сущенко С. П.³
(Томский государственный университет, Томск)

Представлено исследование сети массового обслуживания с неограниченным числом обслуживающих приборов в узлах сети и возможностью прерывания обслуживания. Такая модель может быть использована для описания функционирования абонентских сетей доступа, где заявка (подключённый абонент) в процессе обслуживания может перемещаться от одного узла сети к другому или покидать сеть, завершив или не завершив своё обслуживание. Предполагается, что переходы происходят независимо от состояния узлов. Исследование проводится с использованием метода асимптотического анализа при условии высокой интенсивности входящего потока. В рамках проведённого анализа установлено, что при стремлении интенсивности потока к бесконечности совместное стационарное распределение числа заявок в узлах сети приближается к многомерному нормальному распределению. Получены аналитические выражения для параметров этого распределения, таких как математические ожидания и элементы ковариационной матрицы. Проведены численные эксперименты, подтверждающие точность асимптотической аппроксимации. Определена область применимости полученных результатов в зависимости от параметров модели. Кроме того, в работе приведён пример решения задачи оптимизации функционирования исследуемой сети массового обслуживания, иллюстрирующий возможности практического применения разработанного подхода при анализе и управлении телекоммуникационными системами.

Ключевые слова: сеть массового обслуживания, неограниченное число приборов, прерывание обслуживания, асимптотический анализ.

1. Введение

Прогресс технологий и увеличение числа и размеров абонентских сетей связи вызывает необходимость моделирования, исследования и оценки эффективности работы таких сетей.

¹ Радмир Ренатович Салимзянов, аспирант (rsalimzyanov@yahoo.com).

² Александр Николаевич Моисеев, д.ф.-м.н., зав. каф. (moiseev.tsu@gmail.com).

³ Сергей Петрович Сущенко, д.т.н., зав. каф. (ssp.inf.tsu@gmail.com).

Для данных задач активно используют аппарат теории массового обслуживания и имитационное моделирование. С повышением уровня требований к сетям связи нового поколения и изменением сценариев поведения пользователей изменяются и математические модели. Например, в работе [8] рассматривается модель одного узла сети, работающего по технологии интегрированного доступа и транзита [12, 14, 18, 19] в виде системы поллинга [1]. В работах [3, 10, 17] рассматриваются ресурсные системы массового обслуживания, которые позволяют оценить необходимое число радиоресурсов для приема/передачи трафика.

В приведенных работах авторы рассматривают один узел связи, что позволяет оценить время задержки пакетов, число необходимых радио-ресурсов, распределение числа заявок в системе для одной базовой станции. Масштабирование подобных систем для моделирования сетей связи с возможными потерями сигнала и перемещениями пользователя внутри сети является трудоемкой задачей из-за необходимости высокой детализации модели.

В данной работе предложена и исследована модель абонентской сети связи, учитывающая случайный характер перемещения пользователей и возможность прерывания обслуживания вследствие различных факторов.

2. Постановка задачи

Рассмотрим абонентскую сеть, которая состоит из K базовых станций (БС). Абоненты сети перемещаются от одной БС к другой во время обслуживания. Пользователь может выйти за пределы действия БС и не подключиться к другой БС; это может произойти ввиду отсутствия базовой станции в достаточной близости к абоненту для подключения, блокировки сигнала [16] и т.д.

Данную системную модель можно описать в виде системы массового обслуживания (СМО). Рассмотрим простейший случай рассматриваемой модели с двумя базовыми станциями (рис. 1).

На вход системы (рис. 1) поступает простейший поток за-

явок с интенсивностью λ (подключаемые абоненты). Входящая заявка занимает любой свободный прибор (соответствует подключению одного абонента), внутри которого с вероятностью v_1 переходит в состояние 1 (подключается к БС 1) или с вероятностью v_2 – в состояние 2 (подключается к БС 2). Заявка может перейти из состояния 1 в состояние 2 за время Δt с вероятностью $\alpha_{12}\Delta t$ и из состояния 2 в состояние 1 – с вероятностью $\alpha_{21}\Delta t$. Заявка может досрочно покинуть систему (выйти из зоны действия БС) за время Δt с вероятностью $\alpha_{10}\Delta t$ для состояния 1 и с вероятностью $\alpha_{20}\Delta t$ – для состояния 2. По завершении времени обслуживания с произвольным законом распределения $B(x)$ заявка покидает систему независимо от своего текущего состояния (успешное завершение сеанса). Распределение времени пребывания заявки в одном состоянии обозначено как $F_n(x)$, где n – номер состояния.

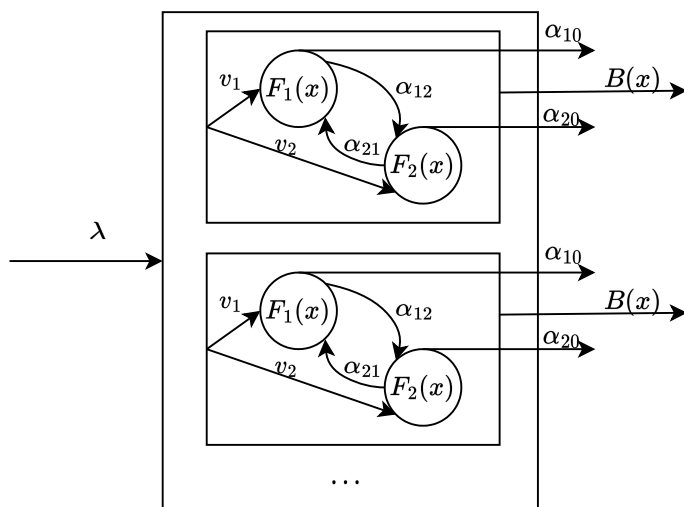


Рис. 1. Базовая модель

Очевидно, что с увеличением числа базовых станций размерность рассматриваемой модели увеличивается и усложняется ее запись. Обозначим число БС в данной сети через K , тогда в модели представление только одного прибора (заявки) будет выглядеть как показано на рис. 2.

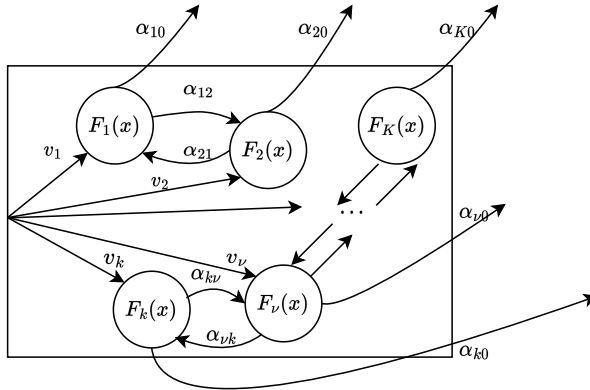


Рис. 2. Один блок обслуживания для СМО с K состояниями

Мы предлагаем представить рассматриваемую СМО в виде сети массового обслуживания (СеМО) с неограниченным числом приборов в узлах (рис. 3).

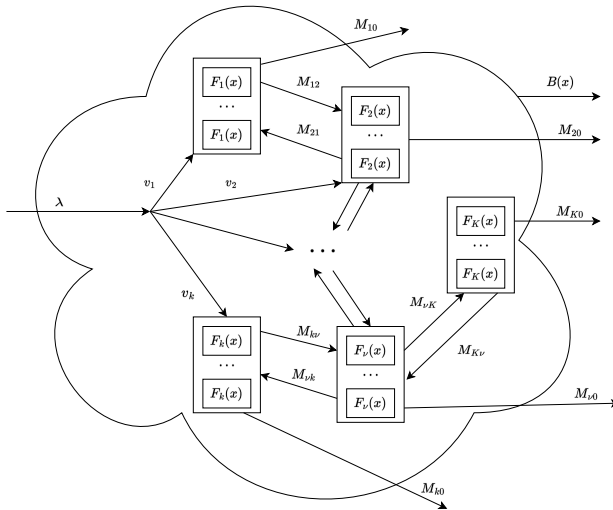


Рис. 3. Схема СеМО с прерыванием обслуживания

Состояние обслуживаемых заявок будем моделировать в виде узлов СеМО. Таким образом, один узел сети будет соответ-

ствовать одной БС.

Входящая заявка с вероятностью v_n поступает в узел n и пребывает в нем в течение случайного времени с функцией распределения вероятностей $F_n(x)$ без учета условия завершения пребывания в сети по окончании случайного времени с распределением $B(x)$:

$$(1) \quad F_n(x) = 1 - \exp \left\{ -x \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq n}}^K \alpha_{ni} \right\}.$$

По окончании пребывания в узле заявка переходит в другой узел или осуществляет досрочный выход из сети согласно матрице маршрутизации M с элементами

$$(2) \quad M_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{k=0}^K \alpha_{ik}} \text{ для } i \neq n, i = 1, \dots, K, j = 1, \dots, K;$$

$$M_{i0} = 1 - \sum_{k=1}^K M_{ik}; \quad M_{ii} = 0.$$

Кроме того, в любой момент заявка может покинуть сеть, успешно завершив обслуживание по истечении общего времени пребывания в сети, которое имеет функцию распределения вероятностей $B(x)$. Для предметной области это событие является успешным завершением обслуживания, однако для рассматриваемой модели сети это выглядит как прерывание обслуживания, так как в момент этого прерывания заявка находилась на обслуживании в каком-то из узлов.

В такой постановке задачи нас интересует совместное распределение вероятностей числа заявок в узлах сети. Для ее решения воспользуемся подходом [6].

3. Метод динамического просеивания и асимптотический анализ

Метод динамического просеивания вместе с методом асимптотического анализа [4, 6, 7] позволяет проводить исследования многофазных СМО и СеМО.

Изложим кратко суть метода динамического просеивания. Если в некоторый момент времени $t_0 \leq T$ система пустая, то распределение вероятностей числа событий $\mathbf{n}(t)$, наступивших в просеянном потоке до момента времени T , совпадает с многомерным распределением вероятностей процесса $\mathbf{i}(t)$ (числа заявок в узлах сети) в момент времени $t = T$, т.е. имеют место равенства [5]

$$(3) \quad P\{\mathbf{i}(T) = \mathbf{m}\} = P\{\mathbf{n}(T) = \mathbf{m}\}$$

для любых неотрицательных значений вектора $\mathbf{m}$.

В нашем случае искомые вероятности просеивания имеют вид

$$(4) \quad S_n(t) = [1 - B(T - t)]W_n(T - t),$$

где $W_n(T - t)$ – условная вероятность того, что заявка поступившая в сеть в момент времени t , к моменту времени T будет находиться в узле n при условии, что к этому моменту времени ее пребывание в сети не будет прервано [9, 15], сомножитель $[1 - B(T - t)]$ есть вероятность выполнения этого условия.

Условные вероятности $W_n(T - t)$ могут быть вычислены по известным формулам [6], которые в матричной форме имеют вид

$$(5) \quad \mathbf{W}(t) = \frac{1}{2\pi} \mathbf{v} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j\alpha t} [\mathbf{I} - \mathbf{F}^*(\alpha)\mathbf{M}]^{-1} [\mathbf{F}^*(\alpha) - \mathbf{I}] \frac{1}{j\alpha} d\alpha.$$

Здесь $\mathbf{v}$ – вектор-строка вероятностей попадания заявки в соответствующий узел при её поступлении в сеть; $\mathbf{I}$ – единичная матрица; $\mathbf{F}^*(\alpha)$ – диагональная матрица, составленная из преобразований Фурье – Стильеса для функций $F_n(x)$ из (1), $j = \sqrt{-1}$.

Теперь найдем стационарное распределение числа заявок в узлах рассматриваемой сети. Решение этой задачи будем искать в асимптотическом условии растущей интенсивности входящего потока. Воспользовавшись результатами [5], применяя полученное выше выражение для вероятностей просеивания $S_n(t)$ (4) и выражение (5) для условных вероятностей $W_n(T - t)$, получим характеристическую функцию $\mathbf{h}(u)$ многомерного стационарного распределения числа заявок в узлах сети в условии высокой интенсивности входящего потока:

$$(6) \quad h(\mathbf{u}) = \exp \left\{ N\lambda j \mathbf{u}^T \mathbf{Y} \mathbf{e} + \frac{1}{2} N j \mathbf{u}^T [\lambda \mathbf{Y} + \kappa \mathbf{V}] j \mathbf{u} \right\},$$

где N – параметр высокой интенсивности входящего потока (сама интенсивность равна $N\lambda$),

$$\mathbf{Y} = \text{diag} \left\{ \int_0^{\infty} [1 - B(\tau)] W_k(\tau) d\tau \right\},$$

$$\mathbf{V} = \int_0^{\infty} [1 - B(\tau)]^2 \mathbf{W}(\tau) \mathbf{W}^T(\tau) d\tau.$$

Значение κ для простейшего входящего потока равно 0. В результате получаем

$$h(\mathbf{u}) = \exp \left\{ N\lambda j \mathbf{u}^T \mathbf{Y} \mathbf{e} + \frac{1}{2} N\lambda j \mathbf{u}^T \mathbf{Y} j \mathbf{u} \right\}.$$

Таким образом, асимптотическое стационарное распределение вероятностей числа заявок в узлах рассматриваемой сети при условии высокой интенсивности входящего потока является многомерным гауссовским с вектором средних значений $N\lambda \mathbf{Y} \mathbf{e}$ и ковариационной матрицей $N\lambda \mathbf{Y}$.

Полученный результат (6), вообще говоря, справедлив и для других типов входящих потоков [6]. Так, в случае рекуррентного входящего потока значение κ вычисляется по формуле

$$\kappa = \lambda^3 (\sigma^2 - a^2),$$

где a – математическое ожидание; σ^2 – дисперсия длин интервалов между последовательными событиями рекуррентного входящего потока, в этом случае $\lambda = \frac{1}{a}$. Выражения для κ для других типов входящих потоков можно найти в [6]. Таким образом, асимптотическое стационарное распределение вероятностей числа заявок в узлах сети в условии высокой интенсивности входящего непуассоновского потока является многомерным гауссовским с вектором средних значений $N\lambda \mathbf{Y} \mathbf{e}$ и матрицей ковариаций $N[\lambda \mathbf{Y} + \kappa \mathbf{V}]$.

4. Численные результаты

Теоретический результат, полученный в данной работе, является аппроксимацией искомого многомерного распределения числа заявок в узлах сети, которая справедлива при достаточно больших значениях интенсивности входящего потока. Возникает

необходимость оценки погрешности данной аппроксимации и области ее применимости. Поскольку аналитическая оценка в данном случае представляется невозможной, предлагается воспользоваться методом имитационного моделирования для получения эмпирического распределения вероятностей числа заявок в сети и сравнения полученной аппроксимации с этим распределением.

Для оценки точности теоретических результатов будем использовать расстояние Колмогорова

$$\Delta = \max_i |F_{\text{sim}}(i) - F_{\text{approx}}(i)|,$$

где $F_{\text{sim}}(i)$ – эмпирическая функция распределения вероятностей, построенная на основе результатов имитационного моделирования; $F_{\text{approx}}(i)$ – функция распределения вероятностей дискретизированной гауссовской аппроксимации, которую будем вычислять по формуле

$$F_{\text{approx}}(i) = \frac{G(i + 0,5) - G(i - 0,5)}{1 - G(-0,5)}$$

для $i = 0, 1, 2, \dots$. Здесь $G(i)$ – функция распределения вероятностей гауссовского распределения с соответствующими параметрами.

Представляем результаты численного эксперимента для СЕМО с тремя узлами, параметры которой представлены в таблице 1. Время обслуживания заявок имеет гамма-распределение с параметрами α и β .

В таблице 2 приведены значения расстояния Колмогорова Δ_1, Δ_2 и Δ_3 для распределений вероятностей числа заявок в первом, втором и третьем узлах сети соответственно для разных параметров интенсивности входящего потока $N\lambda$. Из таблицы видно, что при увеличении интенсивности входящего потока, расстояние Колмогорова уменьшается. Если в качестве допустимой погрешности принять $\Delta \leq 0,03$, то предлагаемая аппроксимация может быть применена при $\lambda \geq 20$.

5. Решение задачи оптимизации

Для того чтобы продемонстрировать применение полученного результата, предлагаем рассмотреть задачу оптимизации абонентской сети.

Таблица 1. Параметры СеМО

Вероятность поступления входящей заявки в узел 1, v_1	0,3
Вероятность поступления входящей заявки в узел 2, v_2	0,3
Вероятность поступления входящей заявки в узел 3, v_3	0,4
Интенсивность выхода из состояния 1, α_{10}	0,1
Интенсивность выхода из состояния 2, α_{20}	0,1
Интенсивность выхода из состояния 3, α_{30}	0,1
Интенсивность перехода из состояния 1 в состояние 2, α_{12}	1
Интенсивность перехода из состояния 1 в состояние 3, α_{13}	1
Интенсивность перехода из состояния 2 в состояние 1, α_{21}	0,15
Интенсивность перехода из состояния 2 в состояние 3, α_{23}	1
Интенсивность перехода из состояния 3 в состояние 1, α_{31}	12
Интенсивность перехода из состояния 3 в состояние 2, α_{32}	0,5
Параметр формы гамма-распределения времени обслуживания, α	0,5
Параметр масштаба гамма-распределения времени обслуживания, β	0,1

Таблица 2. Расстояние Колмогорова для разных значений интенсивности входящего потока $N\lambda$

$N\lambda$	1	10	20	50	100
Δ_1	0,0637	0,0590	0,0271	0,0086	0,0030
Δ_2	0,0706	0,0448	0,0230	0,0087	0,0033
Δ_3	0,0616	0,0594	0,0267	0,0097	0,0033

Переходы пользователя от одного узла сети к другому являются случайными, и на перемещение пользователя повлиять невозможно, но можно повлиять на то, как долго пользователь будет находиться в пределах диапазона работы одной БС. Это можно сделать путем изменения радиуса распространения сигнала базовой станции, который зависит от излучаемой мощности антенны [11]. При увеличении мощности антенн БС увеличивается зона покрытия, что позволяет пользователю дольше находиться в пределах радиуса действия БС и не переключаться к другим БС.

Пусть в исследуемой системе все оборудование в узлах сети является однотипным и работает с одинаковой эффективностью.

Тогда можем рассмотреть следующий показатель эффективности сети:

$$(7) \quad \Theta(a) = C_1 \sum_{k=1}^K E\{i_k(a)\} - C_2 \cdot K \cdot a.$$

Здесь a – некоторый коэффициент эффективности работы (мощности) одной БС, который прямо пропорционален стоимости покупки и содержания ее оборудования; $i_k(a)$ – число абонентов, подключенных к k -й БС; C_1 – доход, получаемый за одного подключенного абонента в единицу времени; C_2 – расходы на содержание одной БС сети в единицу времени; K – число БС.

Будем считать, что радиус действия БС увеличивается линейно от мощности ее оборудования a . Тогда матрицу маршрутизации $\mathbf{M}$ можно представить в виде

$$\mathbf{M} := \frac{1}{a} \cdot \mathbf{M}.$$

Значения элементов этой матрицы влияют на число заявок в узлах сети (абонентов, подключенных к базовым станциям) $i_k(a)$.

Ставится задача поиска наибольшего значения показателя (7) при разных значениях мощности оборудования a . Для сети с параметрами, представленными в таблице 1 и значениями стоимостных коэффициентов $C_1 = 4$, $C_2 = 100$ решение найдено численно при $N\lambda = 100$. На рис. 4 показана зависимость показателя $\Theta(a)$ от параметра a . Максимум достигается при $a_{\text{opt}} = 1,3$, при этом показатель эффективности сети составляет $\Theta(a_{\text{opt}}) = 877,8$.

6. Заключение

В работе предложена и исследована сеть массового обслуживания с прерыванием обслуживания для моделирования абонентской сети связи миграцией абонентов. Получена аппроксимация многомерного распределения вероятностей числа заявок в сети и проведены численные эксперименты, которые показывают адекватность полученных теоретических результатов. Установлена область применимости полученной аппроксимации. Приведен пример решения оптимизационной задачи, в котром найдено значение параметра, характеризующего мощность установленного

оборудования, обеспечивающее максимальное значение критерия эффективности сети.

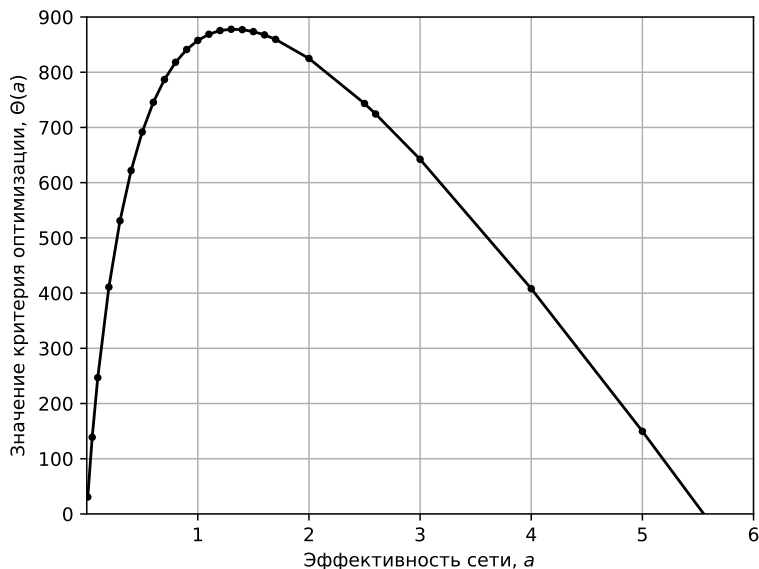


Рис. 4. Зависимость критерия оптимальности от параметра эффективности сети

Литература

1. ВИШНЕВСКИЙ В.М., СЕМЕНОВА О.В. *Обзор моделей систем поллинга и их применение в телекоммуникационных сетях* // Проблемы информатики. — 2020. — Т. 48, №3. — С. 30–59.
2. ГАЙДАМАКА Ю.В., ЗАРИПОВА Э.Р., САМУЙЛОВ К.Е. *Модели обслуживания вызовов в сети сотовой подвижной связи* — М.: Изд-во РУДН, 2008. — 72 с.
3. ГОРБУНОВА А.В., НАУМОВ А.В., ГАЙДАМАКА Ю.В. и др. *Ресурсные системы массового обслуживания с произвольным обслуживанием* // Информатика и её применения. — 2019. — Т. 13, №1. — С. 99–107.

4. ЛИСОВСКАЯ Е.Ю., МОИСЕЕВА С.П. *Асимптотический анализ немарковской бесконечнолинейной системы обслуживания требований случайного объема с входящим рекуррентным потоком* // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – №39. – С. 30–38.
5. МОИСЕЕВ А.Н. *Исследование математических моделей систем и сетей массового обслуживания с высокоинтенсивными непугассоновскими входящими потоками*: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. – 2016. – 333 с.
6. МОИСЕЕВ А.Н., НАЗАРОВ А.А. *Бесконечнолинейные системы и сети массового обслуживания*. – Томск: Изд-во НТЛ, 2015. – 240 с.
7. МОИСЕЕВА С.П., НАЗАРОВ А.А. *Метод асимптотического анализа в теории массового обслуживания*. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 109 с.
8. НИКОЛАЕВ Д.И., ГАЙДАМАКА Ю.В. *Модель узла IAB в виде поллинговой системы с двумя очередями* // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ–2023): Материалы XXII Междунар. конф. имени А.Ф. Терпугова, Томск, 4–9 декабря 2023 г. – Томск: Изд-во Томского государственного ун-та, 2023 – Ч. 1. – 2023. – С. 193–198.
9. САЛИМЗЯНОВ Р.Р., МОИСЕЕВ А.Н. *Моделирование абонентской сети, реализованной на основе IAB технологии в виде системы с двумя состояниями и произвольным временем обслуживания* // Сб. трудов научной конф. «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем», Москва, 8–12 апреля 2024 г. – Москва, 2024 – С. 77–80.
10. САЛИМЗЯНОВ Р.Р., ЛИСОВСКАЯ Е.Ю. *Модели обслуживания трафика на базовой станции в виде систем массового обслуживания* // Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ–2021): Материалы XX

- Междунар. конф. имени А.Ф. Терпугова, Томск, 1–5 декабря 2021 г. — Томск: Изд-во Томского государственного ун-та, 2022 — С. 240–245.
11. CEMIL C., ENDER A. *Energy-Efficient Base Station Deployment in Heterogeneous Networks* // IEEE Wireless Communications Letters. – 2014. – Vol. 3(12). – P. 593–596.
 12. HUANG C., WANG X. *A Bayesian Approach to the Design of Backhauling Topology for 5G IAB Networks* // IEEE Trans. on Mobile Computing. – April 2023. – Vol. 22, No. 4. – P. 1867–1879. – DOI: 10.1109/TMC.2021.3118958.
 13. LEE W. *Mobile cellular telecommunications: analog and digital systems*. – N.Y.: McGraw-Hill, 1995. – 664 p.
 14. RANJAN S., JHA P., KARANDIKAR A. et al. *A Flexible IAB Architecture for Beyond 5G Network* // IEEE Communications Standards Magazine. – September 2023. – Vol. 7, No. 3. – P. 64–71. – DOI: 10.1109/MCOMSTD.0009.2200018.
 15. SALIMZYANOV R., MOISEEV A. *Infinite-Server Queueing System with Two States of Service and Abandonments: Information Technologies and Mathematical Modelling. Queueing Theory and Applications*. – Springer Nature Switzerland: Cham. – P. 134–145.
 16. SOPIN E., MOLTCHANOV D., MASLOV A. et al. *User Persistence in 5G/6G mmWave/Sub-THz Systems With Blockage: Does It Pay Off?* // IEEE Trans. on Wireless Communications. – October 2024. – Vol. 23, No. 10. – P. 14864–14878. – DOI: 10.1109/TWC.2024.3419918.
 17. SHI B., ZHENG F.-C., SHE C. et al. *Risk-Resistant Resource Allocation for eMBB and URLLC Coexistence Under M/G/1 Queueing Model* // IEEE Trans. on Vehicular Technology. – June 2022. – Vol. 71, No. 6. – P. 6279–6290. – DOI: 10.1109/TVT.2022.3159247.
 18. TEZERGIL B., ONUR E. *Wireless Backhaul in 5G and Beyond: Issues, Challenges and Opportunities* // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2022. – P. 1-1. – DOI: 10.1109/COMST.2022.3203578.

19. YIN H., ROY S., CAO L. *Routing and Resource Allocation for IAB Multi-Hop Network in 5G Advanced* // IEEE Trans. on Communications. – October 2022. – Vol. 70, No. 10. – P. 6704–6717. – DOI: 10.1109/TCOMM.2022.3200673.

INFINITE-SERVER QUEUEING NETWORK WITH ABANDONMENTS

Radmir Salimzyanov, Tomsk State University, Tomsk, Graduate Student (rsalimzyanov@yahoo.com).

Alexander Moiseev, Tomsk State University, Tomsk, Doctor of Science, Head of Department (moiseev.tsu@gmail.com).

Sergey Sushchenko, Tomsk State University, Tomsk, Doctor of Science, Head of Department (ssp.inf.tsu@gmail.com).

Abstract: The paper presents a study of a queueing network with an unlimited number of servers in the nodes and service abandonments. Using such a model, a subscriber access network can be described. In the considered network, a connected subscriber can move from one node of the network to another during the service process or leave the network, having completed or not completed its service. It is assumed that such transitions occur independently of the current state of the nodes. The study is carried out using the method of asymptotic analysis under the condition of high input flow intensity. It is found that in the specified asymptotic regime, the joint stationary probability distribution of the number of subscribers in the network nodes converges to a multi-dimensional Gaussian distribution. Explicit expressions for the parameters of this distribution, including the mean vector and the covariance matrix, are obtained. Numerical experiments are performed to evaluate the accuracy of the approximation, and the domain of applicability of the results is established depending on the model parameters. In addition, an example of solving an optimization problem for the studied queueing network is provided, demonstrating the potential practical application of the proposed model and analytical methods for the analysis and management of telecommunication systems.

Keywords: queueing network, unlimited number of servers, service abandonments, asymptotic analysis.

УДК 519.2

ББК 22.18

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Я.И. Квинто.*

Поступила в редакцию 03.04.2025.

Дата опубликования 31.05.2025.