

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика-математикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Физико-математическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3536

№ 1 (2021)
Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ

Физико-математическая серия

выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ95VPY00029553

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76135

<https://doi.org/10.48081/EOJL7907>

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукенов С. К.

доктор ф.-м.н., профессор

Заместитель главного редактора

Кумеков С. Е., *к.ф.-м.н., доцент*

Ответственный секретарь

Талипов О. М., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Оспанов К. Н., *д.ф.-м.н., профессор*

Кутербекоев К. А., *д.ф.-м.н., профессор*

Ибраев Н. Х., *д.ф.-м.н.*

Ткаченко И. М., *д.ф.-м.н., профессор (Испания)*

Демкин В. П., *д.ф.-м.н., профессор (Россия)*

Qadir Abdul *доктор PhD, профессор (Пакистан)*

Lobiya D. K. *доктор PhD, профессор (Индия)*

Лапчик М. П. *д.пед.н., профессор (Россия)*

Шокубаева З. Ж., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

Б. У. Жамантаев, А. В. Олейникова, М. Б. Исаков

Карагандинский технический университет,
Республика Казахстан, г. Караганда

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Имитационное моделирование – полезный инструмент для оценки производительности компьютерных сетей как на этапе развертывания, так и на этапе разработки. Этот инструмент широко используется исследователями, практиками и студентами для анализа поведения компьютерных сетей, поскольку позволяет избежать сбоев или снижения производительности услуг, предоставляемых сетью. В этой статье представлен анализ парадигмы модели и моделирования, применяемой для оценки производительности компьютерных сетей. В начале вводятся теоретические основы имитационного моделирования, обсуждаются преимущества и недостатки данного вида моделирования. Затем рассматриваются известные методы моделирования производительности сетей и вводится абстракция понятия симулятора сети. Также подробно рассматривается моделирование дискретных событий, поскольку этот подход является наиболее распространенным в области моделирования сетей.

Ключевые слова: цепи Маркова, сети Петри, сети массового обслуживания, симулятор, дискретно-событийное моделирование.

Введение

Компьютерные сети являются неотъемлемой составляющей для многих повседневных задач, таких как бизнес, электронная коммерция, электронное правительство, образование или отдых. Сложность компьютерных сетей и их развертывание продолжают расти, поскольку постоянно появляются новые протоколы, архитектуры и приложения, а компьютерные сети находятся в непрерывном процессе адаптации. Кроме того, периодически появляются новые сетевые системы и приложения, предназначенные для обслуживания массовых потребностей пользователей в реальном времени. Существование с прежними архитектурами и системами может затруднить оценку этих новых

разработок. Таким образом, изучение и тестирование производительности сети может оказаться сложной задачей по нескольким причинам. Во-первых, изучение сети может быть чрезмерно дорогостоящим. Во-вторых, изучение некоторых функций может ухудшить или даже прервать работу сети, и это может повлиять на качество обслуживания, воспринимаемое пользователями, что недопустимо. В-третьих, непосредственное взаимодействие с сетью может быть физически невозможно либо из-за ее размера, либо из-за ее состояния (сеть может находиться в стадии разработки, но все еще не работает). Следовательно, имитационное моделирование (ИМ) может быть единственной альтернативой для изучения поведения и производительности сети при различных сценариях, например, при ее развертывании.

Материалы и методы

Моделирование системы включает в себя абстракцию ее функций и свойств с упором исключительно на те, которые представляют интерес для исследования. В результате модель можно понимать как логическое представление системы с разными уровнями сложности (обычно менее сложной, чем реальная система). Моделирование – это имитация реальной системы посредством вычислительного представления ее поведения в соответствии с правилами, описанными ранее в модели. При моделировании системы обязательно нужно учитывать ограниченное количество представляющих интерес характеристик, свойств или поведения, чтобы сделать модель управляемой, которая, в противном случае, может стать бесконечно более сложной и подробной.

Наиболее распространенными методами моделирования производительности дискретных динамических систем в целом и, в частности, компьютерных сетей являются цепи Маркова, сети массового обслуживания и сети Петри. Цепи Маркова обеспечивают общую основу для моделирования динамических систем с дискретными событиями, в то время как сети массового обслуживания и сети Петри позволяют создавать высокоуровневые модели, которые также можно преобразовать в цепи Маркова. Эти высокоуровневые модели ближе к структуре реальных систем, поэтому их легко сопоставить с компонентами системы и модели, тогда как в цепях Маркова упор делается на описание поведения системы на уровне пространства состояний. Все эти методы используют стохастические процессы для представления времени как способа правильного анализа производительности смоделированных систем.

Цепи Маркова – это стохастические модели, описываемые графами, где узлы соответствуют состояниям системы, а переходы между состояниями представлены ссылками. Вероятность, связанная с каждым переходом, также отмечена на графах. На рисунке 1 показан пример модели цепи Маркова

только с двумя состояниями и соответствующими вероятностями изменения состояния или сохранения в том же состоянии. Важным свойством цепей Маркова является то, что будущие состояния зависят только от текущего состояния, но не от предыдущих состояний, то есть они не имеют памяти. Благодаря этому свойству цепи Маркова обладают большим преимуществом в виде менее сложного анализа. Марковские цепи с непрерывным временем – это цепи Маркова, обычно используемые для моделирования динамических систем с дискретными событиями.

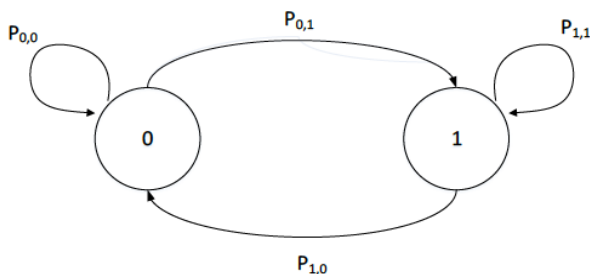


Рисунок 1 – Пример модели цепи Маркова

Когда системы являются сложными, количество возможных состояний велико, и их моделирование напрямую с помощью Марковских цепей с непрерывным временем становится затруднительным. В этих случаях более абстрактные или высокоуровневые модели, такие как сети массового обслуживания и сети Петри, являются лучшей альтернативой.

Сети массового обслуживания (СМО) – это модели, в которых клиенты (запросы на обслуживание) прибывают на станции обслуживания (серверы) для обслуживания. Когда клиенты прибывают на загруженную станцию обслуживания, они выстраиваются в очередь на время ожидания, пока станция обслуживания не освободится. И время прибытия, и время обслуживания описываются как случайные процессы. Важными параметрами сетей массового обслуживания являются количество клиентов и серверов, размер очередей ожидания и дисциплина организации очередей (приоритеты, приоритетное прерывание, FIFO и т. д.). На рисунке 2 показана модель, состоящая из трех очередей с вероятностями поступления заявок в альтернативную вторую очередь после обслуживания в первой.

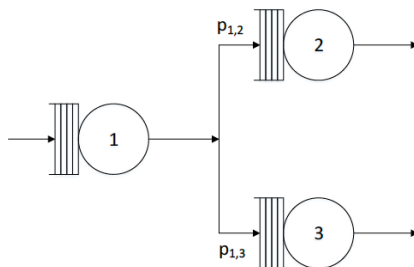


Рисунок 2 – Пример модели СМО

Сети очередей очень подходят для обнаружения заторов в производительности из-за общих ресурсов в распределенных системах. Сети массового обслуживания не моделируют должным образом общие механизмы синхронизации распределенных систем. Поэтому, сети Петри поддерживают более мощные модели.

Сети Петри – это модели параллельных систем, также описываемые графами. На графике есть два типа узлов: места (кружки) и переходы (столбцы). Места представляют состояния системы, а переходы – эволюцию системы. Наконец, линии связи могут соединять места только с переходами, и наоборот. График дает только статическое представление о системе. Для изучения динамики системы необходимо запустить сеть Петри. Это возможно благодаря специальным отметкам (жетонам), которые присваиваются местам и обычно связаны с ресурсами. Нет ограничений на количество жетонов на одно место. Сети Петри разворачиваются, выполняя (запуская) разрешенные переходы, то есть переходы, где все входные места имеют хотя бы один жетон. Запуск – это атомарная операция, которая подразумевает взятие одного токена из каждого места ввода и размещение одного токена на каждом месте вывода. Наконец, если разрешено более одного перехода, они запускаются недетерминированным образом. На рисунке 3 показаны начальные состояния простой сети Петри с включенным переходом и конечные состояния после срабатывания перехода [1].

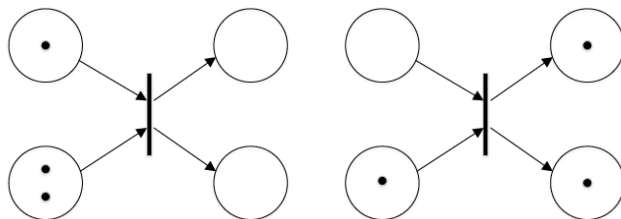


Рисунок 3 – Пример модели сети Петри до и после срабатывания перехода

Сетевые симуляторы широко используются не только исследователями, но и студентами для улучшения своего понимания компьютерных сетей. Вообще говоря, симулятор сети можно понимать как черный ящик, как показано на рисунке 4.

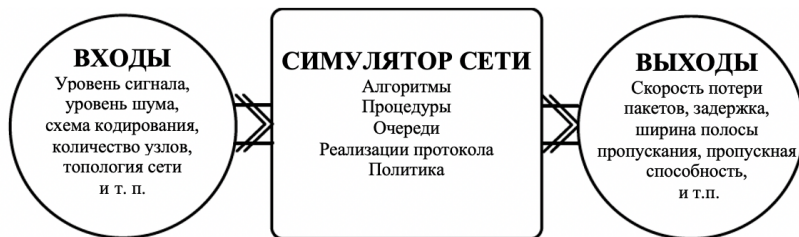


Рисунок 4 – Абстракция понятия симулятора сети

Симулятор сети реализует модель компьютерной сети с помощью алгоритмов, процедур и структур в соответствии с заданным языком программирования. Реализованная сетевая модель получает набор параметров в качестве входных данных, которые накладывают правила и ограничения моделирования. Другими словами, эти параметры определяют ход моделирования. Когда процесс моделирования заканчивается, имитатор сети возвращает набор результатов в качестве выходных данных, которые могут использоваться с двойной целью: валидация и проверка правильности реализованной модели для конкретной области состояний системы и анализ поведения моделируемой сети. Компьютерные сети чаще всего моделируются с помощью моделирования дискретных событий [2].

Моделирование дискретных событий имеет дело с моделями систем, в которых изменения происходят в дискретные моменты времени (события), а не непрерывно, и переменные состояния не изменяются в интервалах между этими дискретными моментами.

Компьютерные сети чаще всего моделируются с помощью моделей дискретных событий, и существует два основных типа моделирования дискретных событий: моделирование на основе трассировки и стохастическое моделирование. При моделировании на основе трассировки входные данные моделирования поступают из данных, полученных в реальной системе (трассы), поэтому точность максимальна, но не применима ко всем типам систем. В стохастическом моделировании рабочая нагрузка системы характеризуется распределениями вероятностей с использованием случайных значений в качестве входных данных для имитационной модели.

Для правильной разработки моделей необходимо генерировать случайные значения с заранее определенными статистическими распределениями.

Обычно это выполняется в два этапа:

- этап, называемый генерацией случайных чисел, на котором генерируется последовательность случайных значений от 0 до 1 с равномерным распределением.

- этап, называемый генерацией случайных значений, на котором предыдущая последовательность используется для генерации новой последовательности с желаемым распределением.

При моделировании, управляемом событиями, изменения состояния системы вызываются событиями и считаются мгновенными. Для развития симуляции необходимы два факта: когда происходят события и как они меняют состояние системы. В основе моделирования, управляемого событиями, лежит так называемый список событий, отсортированный по времени список текущих запланированных событий для системы. Первое событие в списке – самое ближайшее в будущем. Каждая запись в списке состоит из четырех полей: идентификация события, время события, тип события и информация о событии. Моделирование также поддерживает таймер с временем, соответствующим обрабатываемому в данный момент событию. Поле типа используется для выбора выполняемой процедуры обслуживания событий, которая также использует информационное поле во время выполнения. В результате выполнения переменные состояния системы изменяются, и возможные новые события добавляются в список событий [3].

Моделирование дискретных событий является управляемым событием, но процессно-ориентированное моделирование – это высокоуровневый подход, упрощающий реализацию и отладку имитационной модели. Этот подход объединяет связанные события в процессах, которые активны в течение временных интервалов и взаимодействуют друг с другом.

Процессы состоят из кода, ресурсов (в основном, памяти) и состояния (текущая точка выполнения и значения переменных). Список событий здесь представляет собой список процессов с идентификаторами и временем активации. Процесс может быть активным или приостановленным (ожидающий истечения времени задержки). Дескриптор процесса позволяет найти и восстановить контекст выполнения процесса.

Дискретно-событийное моделирование компьютерных сетей ограничено как объемом доступной памяти, который уменьшается с количеством узлов в сети, по крайней мере, линейно, так и временем выполнения, которое увеличивается с пакетным трафиком в сети, и сложностью модели [4].

В параллельном дискретно-событийном моделировании моделирование выполняется параллельно на нескольких процессорах. Это подразумевает наличие большого количества вычислительных ресурсов и ресурсов памяти, а значит, возможность повысить производительность моделирования (скорость выполнения) и масштабируемость моделирования (размер сетей, которые можно моделировать). В результате можно моделировать более сложные сети с более высоким пакетным трафиком за разумное время выполнения.

Параллельное моделирование по времени позволяет повысить только производительность, тогда как моделирование с использованием пространственного параллельного моделирования может улучшить как производительность, так и масштабируемость.

Параллельное моделирование по времени, как показано на рисунке 5, представляет собой параллельную стратегию, которая разделяет ось времени моделирования на интервалы равного размера и назначает их разным процессорам. Требование к полезности метода состоит в том, чтобы моделирование каждого интервала можно было считать независимым от других, и, следовательно, начальное состояние моделирования для каждого интервала должно быть известно заранее. Это строгое требование, потому что состояние моделирования в начале интервала должно быть известно без завершения моделирования всех предыдущих интервалов.

Параллельное моделирование по времени имеет потенциал для массовой параллельной обработки и значительно сокращает время моделирования. Однако это зависит от характеристик модели и применимо только к конкретным сетям, например, к сетям массового обслуживания или сети Петри с относительно простым поведением.

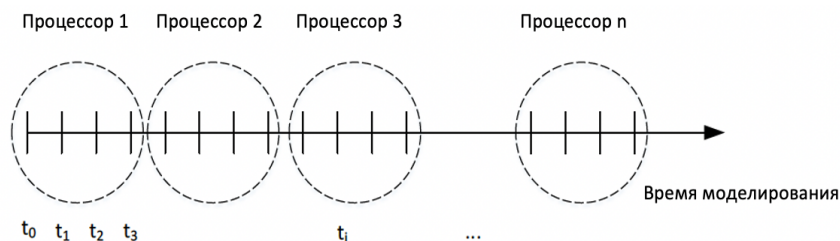


Рисунок 5 – Параллельное моделирование по времени

Пространственно-параллельное моделирование – это более гибкая и широко применяемая стратегия сокращения времени и увеличения масштабируемости моделирования. Он разделяет сеть для моделирования на подсети и назначает логические процессы тем, которые могут выполняться одновременно на

разных процессорах. Каждый логический процесс поддерживает переменные состояния, список событий с отметками времени и локальные таймеры, а также взаимодействует с другими процессами во время параллельного моделирования с помощью механизмов передачи сообщений. На рисунке 6 показана схема, представляющая назначение 4 подсетей разным процессорам.

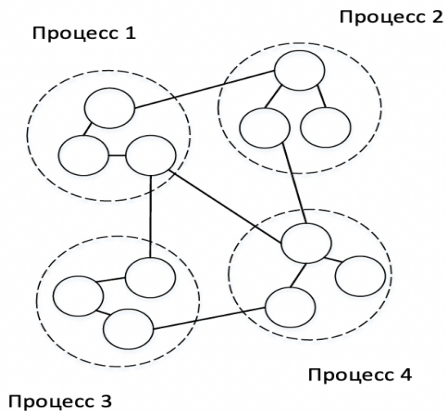


Рисунок 6 – Пространственно-параллельное моделирование

Важными проблемами, которые возникают при пространственном параллельном моделировании, являются разделение сети на подсети, балансировка нагрузки (отображение процессов на доступных процессорах, попытка уравновесить нагрузку процессоров и минимизировать обмен данными между ними) и синхронизация (обеспечение того, чтобы события обрабатываются в правильном порядке, как при последовательном моделировании) [5].

Результаты и обсуждение

В этой статье кратко излагается вся тема производительности имитационного моделирования применительно к компьютерным сетям. После введения были представлены основные методы моделирования и показатели производительности, используемые в компьютерных сетях. Компьютерные сети – это системы с дискретными событиями, поэтому дискретное моделирование было выделено как наиболее распространенный метод моделирования для выполнения моделей компьютерных сетей. Генерация случайных чисел, моделирование на основе событий или процессов и параллельное моделирование дискретных событий – важные методы, связанные с моделированием дискретных событий, рассматриваемых в данной статье.

Выводы

Имитационное моделирование – привлекательный и широко используемый метод исследования производительности компьютерных сетей. В настоящее время моделирование компьютерных сетей является фундаментальным элементом исследования, разработки и обучения сетей. Он позволяет получить подробные результаты, не нарушая работу сети или даже не требуя доступности сети. Сетевое моделирование может быть чрезвычайно полезным при применении к таким задачам, как анализ протокола, сложное развертывание сети, оценка новых услуг, прототипов или архитектур и т.п.

Список использованных источников

1 Болч, Г., Грейнер, С., де Меер, Х., Триведи, К. С., Сети массового обслуживания и цепи Маркова - моделирование и оценка производительности с помощью приложений информатики. – Wiley, 2011. – 169 с.

2 Бербанк, Дж., Каш, В., Уорд, Дж., Введение в сетевое моделирование и моделирование для практикующего инженера. Руководства ComSoc по коммуникационным технологиям. – Wiley, 2013. – 131 с.

3 Фудзимото, Р. М., Перумалла, К. С., Райли, Г. Ф. Сетевое моделирование. Сводные лекции по коммуникационным сетям. – Morgan & Claypool, 2009. – 230 с.

4 Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование. Авторская имитация систем и сетей с очередями: Учебное пособие Ю.И. Рыжиков. – СПб. : Лань, 2019. - 112 с.

5 Гарсия Р. Ф., Гарсия М. Р. (ред.) Сетевое моделирование, имитация и анализ. Электротехника и вычислительная техника. – Тейлор и Фрэнсис, Taylor & Francis, 2010. – 178 с.

References

1 Bolch, G., Greiner, S., de Meer, H., Trivedi, K. S. Seti massovogo obsluzhivaniya i cepi Markova - modelirovanie i ochenka proizvoditel'nosti s pomoshh'yu prilozhenij informatiki [Queueing networks and Markov chains - modeling and performance evaluation with computer science applications] [Text]. – Wiley, 2011. – 169 p.

2 Burbank, J., Kasch, W., Ward, J. Vvedenie v setevoe modelirovanie i modelirovanie dlya praktikuyushchego inzhenera. Rukovodstva ComSoc po kommunikacionnym tekhnologiyam [An Introduction to Network Modeling and

Торайғыров университетінің Хабаршысы, ISSN 2710-3536. Физика-математикалық сериясы. № 1. 2021
Simulation for the Practicing Engineer. The ComSoc Guides to Communications Technologies [Text] – Wiley, 2013. – 131 p.

3 **Fujimoto, R. M., Perumalla, K. S., Riley, G. F.** Setevoe modelirovanie. Svodnye lektsii po kommunikatsionnym setyam [Network Simulation. Synthesis Lectures on Communication Networks] [Text] – Morgan & Claypool Publishers, 2009. – 230 p.

4 **Ryzhikov, Yu.I.** Imitatsionnoe modelirovanie. Avtorskaya imitatsiya sistem i setej s ocheredyami: Uchebnoe posobie Yu. I. Ryzhikov [Simulation modeling. Author's imitation of systems and networks with queues: Textbook by Yu.I. Ryzhikov] [Text] – SPb.: Lan, 2019. – 112 p.

5 **Garzia R. F, Garzia M. R.** (red.), Setevoe modelirovanie, imitatsiya i analiz. Ehlektrotehnika i vychislitel'naya tekhnika [Network Modeling, Simulation, and Analysis. Electrical and Computer Engineering] [Text] – Taylor & Francis, 2010. – 178 p.

Материал поступил редакцию 19.03.21.

Б. У. Жамантаев, А. В. Олейникова, М. Б. Исаков

Компьютерлік желілердің өнімділігін симуляциялау

Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.
Материал баспаға 19.03.21 түсті.

B. U. Zhamantayev, A. V. Oleinikova, M. B. Isakov

Simulation of computer network performance

Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.
Material received on 9.03.21.

Симуляция – қолдану және дамыту кезінде компьютерлік желілердің жұмысын бағалаудың пайдалы құралы. Бұл құралды зерттеушілер, практиктер мен студенттер компьютерлік желілердің әрекеттерін талдау үшін кеңінен қолданады, өйткені желі ұсынатын қызметтердің бұзылуын немесе нашарлауын болдырмайды. Бұл мақалада компьютерлік желілердің жұмысын бағалау үшін қолданылатын модель мен модельдеу парадигмасын талдау қарастырылған. Басында модельдеудің теориялық негіздері енгізіледі, модельдеудің осы түрінің артықшылықтары мен кемшіліктері талқыланады. Содан кейін желінің өнімділігін модельдеудің белгілі әдістері қарастырылып, желілік тренажер

ұғымының абстракциясы енгізіледі. Дискретті оқиғаларды модельдеу де егжей-тегжейлі талқыланады, өйткені бұл тәсіл желіні модельдеу саласында ең көп таралған.

Кілтті сөздер: Марков тізбектері, Петри торлары, кезек желілері, тренажер, оқиғаларды дискретті модельдеу.

Simulation is a useful tool for assessing the performance of computer networks during both deployment and development. This tool is widely used by researchers, practitioners and students to analyze the behavior of computer networks, as it avoids disruptions or performance degradation of the services provided by the network. This article provides an analysis of the model and modeling paradigm used to assess the performance of computer networks. At the beginning, the theoretical foundations of simulation are introduced, the advantages and disadvantages of this type of modeling are discussed. Then the known methods of modeling network performance are considered and an abstraction of the concept of a network simulator is introduced. Modeling discrete events is also discussed in detail, as this approach is the most common in the field of network modeling.

Keywords: Markov chains, Petri nets, queuing networks, simulator, discrete-event modeling.

Теруге 19.03.2021 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

7,04 Mb RAM

Шартты баспа табағы 8,0. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3743

Сдано в набор 19.03.2021 г. Подписано в печать 29.03.2021 г.

Электронное издание

7,04 Mb RAM

Усл. печ. л. 8,0. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3743

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» ҚеАҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» ҚеАҚ

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz