

Компьютерные методы обработки информации

DOI 10.24412/2221-2574-2023-2-73-79

УДК 621.396

АЛГОРИТМ ТРАНСПОРТА ДАННЫХ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ ЭКВАДОРА

Горшков Кирилл Андреевич

кандидат технических наук, доцент департамента анализа данных и машинного обучения
Финансового университета при Правительстве РФ.
E-mail: godograf@list.ru

Велос Льяно Хуан Габриель

аспирант кафедры радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский Государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».
E-mail: j.gabrielveloz@gmail.com

Никитин Олег Рафаилович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский Государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».
E-mail: olnikitin@mail.ru

Адрес: 600000, Российская Федерация, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Аннотация: В работе рассматривается автоматизация транспорта данных в инфокоммуникационной системе телемедицины Эквадора, базирующаяся на математической теории представлений. Предлагается кластеризация территории республики в соответствии с административным делением на провинции. На сформированных кластерах может быть задан ориентированный граф соседства по критерию наличия общей границы. Орграф показывает направление следования данных от периферийных территорий к узлу, находящемуся в столице республики. Нумерация узлов графа, дуального разбиению, позволяет записать для него подстановку в виде двустрочной матрицы, в которой первая строка указывает на исходящие узлы, а вторая — на входящие. Операция умножения подстановок позволяет сгенерировать замкнутое множество всевозможных подстановок, соответствующих графу транспорта данных. Таким образом, положенная в основу алгоритма процедура умножения подстановок задаёт направление транспорта данных и может быть использована для автоматизации работы сети телемедицины.

Ключевые слова: системы телемедицины, кластеризация, ориентированный граф, группы нарушенной симметрии.

Введение

Развитие и усовершенствование информационных систем, позволяющих автоматизировать процессы генерации, сбора и обработки данных, влечёт за собой расширение спектра сфер человеческой деятельности, где такие системы используются. Активное внедрение ERP-систем (enterprise resource planning) в государственный сектор, а также разработка всевозможных CRM-систем (customer relationship management) для бизнес-среды свидетельствуют о возрастающей роли ин-

фокоммуникационных технологий в решении различных задач [1]. В частности, подобного рода решения оказываются весьма эффективными при создании систем оказания медицинской помощи гражданам. Телемедицинские системы, в зависимости от специфики региона, где такие системы создаются, развиваются в нескольких направлениях. Часть разработок связана с аппаратными решениями, выбором средств телекоммуникации (беспроводные сети, телефония, видеоконференции) или специфики инфра-

структуры (серверы, сетевые системы хранения данных) [2]. Ведутся работы по автоматизации взаимодействия с пациентами, предлагаются различные HelpDesk и ServiceDesk инструменты, создаются чат-бот программы, заменяющие реального собеседника виртуальным, способным выдавать справки на типовые запросы без непосредственного участия специалиста [3]. Отдельные разработки связаны с улучшением алгоритмов по работе с данными. В части, например, обработки данных создаются алгоритмы на основе нейронных сетей, это, в первую очередь, задачи кластеризации при соотнесении конкретных клинических случаев с категорией специалиста, а также задачи бинарной классификации при выставлении диагноза с привлечением автоматизированных систем [4]. Немаловажную роль играют исследования, направленные на автоматизацию транспорта данных и их агрегирование в едином центре [5, 6], для регионов, где нет единой сети телекоммуникации, покрывающей всю территорию. В данной работе будут рассмотрены алгоритмы автоматизации сбора медицинских данных в центр сбора на примере республики Эквадор. Алгоритмы основаны на использовании математической теории представлений групп [7] и роста периодического графа [8].

1. Построение ориентированного графа

При разработке системы телемедицины для Эквадора авторами принимались во внимание особенности территориально-административного устройства республики, характеризующегося высокой неоднородностью инфраструктуры, отсутствие в стране единой телекоммуникационной системы, что требовало интеграции в систему различных средств связи, включая телефонию, спутниковую связь и линии передачи радиосигналов [9]. Применение столь различных средств привело к необходимости разработки алгоритма транспорта данных, который бы не зависел от физического носителя и способа передачи данных. В качестве такого

решения был рассмотрен алгоритм, который авторы использовали для расчёта этапов и скорости передачи данных в модели системы телемедицины для Владимирской области [10]. Математическая модель представляла собой ориентированный граф, заданный на множестве узлов различного уровня, а алгоритм транспорта данных реализовывался через подстановки по графу либо через алгоритм роста периодического графа.

Сам рост периодического графа может быть описан последовательностью формирования эквидистантного множества $eq(a, n)$. Рост этого множества может быть задан добавлением вектора $v(a_i, a)$, указывающего на связь между вершинами a_i и a :

$$eq(a, n) = eq(a_i, n) + v(a_i, a).$$

В результате чего появляются своеобразные координационные окружности $eq(a, n)$ с центрами в вершинах a_1, a_2, a_n . Цепь, описываемую как:

$$p: a_i \rightarrow b_1 \rightarrow \dots \rightarrow b_{s-1} \rightarrow a'_i,$$

можно принимать за луч для случая наименьшего расстояния между двумя вершинами $d(a_i, a'_i) = s$. Все b_i являются обозначениями промежуточных узлов цепи p от a_i до a'_i .

Для того чтобы задать граф, необходимо выполнить объединение лучей с длинами s , исходящих из вершин $a_i - p(a_i, s)$:

$$P_G = \bigcup_{1 \leq i \leq f} \bigcup_{1 \leq s \leq f} p(a_i, s).$$

Когерентные цепи этого графа могут быть записаны следующим образом:

$$p = p_s \rightarrow \dots \rightarrow p_s'(k - \text{раз}).$$

А для работы алгоритма с подстановками на первом этапе необходимо произвести разбиение области, на которой разворачивается процесс передачи данных, на отдельные кластеры с последующим присвоением порядкового номера, заданием дуального разбиения ориентированного графа и подстановки по нему (рис. 1).

Для кластеризации Эквадора был принят принцип территориально-административного деления республики на провинции, включая

входящие в состав Галапагосские острова. На рис. 2 видно наличие двух явных центров (Кито и Гуаякиль), представляющих собой крупнейшие города с развитой инфраструктурой и достаточным наличием медицинского оборудования и узкопрофильных специалистов. Применение алгоритма в дальнейшем позволяет перенаправить данные в столицу (нулевой узел графа) республики — город Кито. На сформированных кластерах задавался граф соседства по критерию наличия общей границы.

Сам процесс может быть описан следующей схемой: на уровне провинции формируется запрос от пациента, который сперва обрабатывается на уровне муниципалитета, а затем, если ответ не может быть сформирован на этом уровне, перенаправляется сначала в соседнюю провинцию, а затем в ближайший город-миллионник. Важным фактором здесь выступает территориальная удалённость, поскольку медицинские услуги зачастую носят экстренный характер, поэтому для своевременного оказания помощи в первую очередь исследуются возможности близлежащих муниципалитетов и только затем запрос перенаправляется в крупный центр.

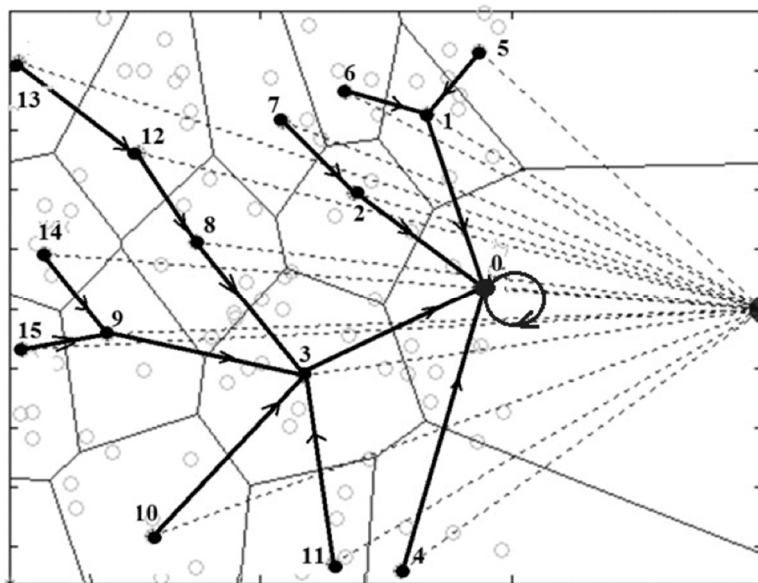


Рис. 1. Кластеризация и ориентированный граф, соответствующая графу подстановка $g[i] = (0000011233\ 3\ 3\ 8\ 12\ 9\ 9)$.

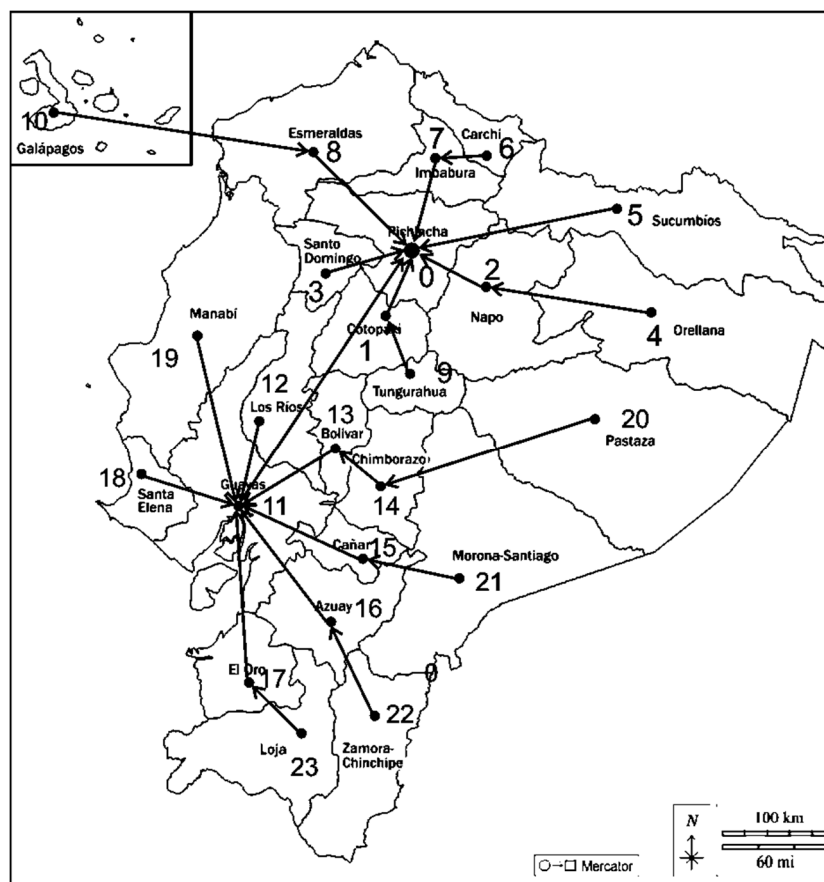


Рис. 2. Территориальное разделение на провинции-кластеры и ориентированный граф для республики Эквадор.

Таблица 1. Таблица умножения, порожденная подстановкой g[1].

Примеры подстановок	Таблица умножения подстановок
g[0]=(0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23);	g[0] g[1] g[2] g[3] g[4]
g[1]=(0 0 0 0 2 0 7 0 0 1 8 0 11 11 13 11 11 11 11 11 14 15 16 17);	g[1] g[2] g[3] g[4] g[4]
g[2]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 0 0 0 0 13 11 11 11);	g[2] g[3] g[4] g[4] g[4]
g[3]=(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 11 0 0 0);	g[3] g[4] g[4] g[4] g[4]
g[4]=(0);	g[4] g[4] g[4] g[4] g[4]

2. Умножение и визуализация подстановок

Рассматриваемый алгоритм транспорта данных, позволяющий автоматически перенаправлять данные из узла в узел и прогнозировать количество этапов передачи данных, базируется на операции умножения подстановок [11]. Ориентированный граф, заданный на множестве вершин, определяет вид подстановки. Подстановкой будем считать двустрочную матрицу, первая строка которой представляет собой нумерацию узлов графа (начиная с нулевого), а вторая — набор вершин, в которые осуществляется переход, согласно рёбрам орграфа (рис. 3, а)

Для удобства записи, поскольку первая строка всегда одинаковая, результаты умножения подстановок будем записывать в однострочном формате, приводя содержание только второй строки. Сгенерируем таблицу умножения подстановок по заданному графу аналогично таблице Кэли и перечислим всевозможные подстановки, порождаемые операцией умножения (рис. 3, б; таблица 1).

Бинарная операция умножения для подстановок выделяет замкнутое множество всех подстановок, которые могут являться результатом произведения. Выполнение аксиом ассоциативности и наличия нейтрального элемента указывает на сходство множества с матема-

тической группой, однако отсутствие обратного элемента позволяет классифицировать такое множество как монаду. Стоит отметить, что подстановки составляют так называемую группу нарушенной симметрии, подробно рассмотренную авторами в публикациях [12–14].

Каждая из полученных подстановок, входящих в замкнутое подмножество из таблицы 1, может быть визуализирована (рис. 4). На основе такой визуализации несложно заметить, что полная передача данных из всех периферийных узлов рассматриваемой сети осуществляется уже на четвёртом этапе маршрутизации. Это может быть использовано для автоматизации процесса сбора данных в сервер, а также оценки числа шагов, за которые система способна аккумулировать данные в общий центр для дальнейшей обработки и принятия решений.

При визуализации подстановок учитывались конвергентные свойства графа, поскольку он отвечал задачи сбора данных от периферийных узлов к центральному (от территории

$$\begin{aligned}
 g[1] &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 7 & 0 & 0 & 1 & 8 & 0 & 11 & 11 & 13 & 11 & 11 & 11 & 11 & 11 & 11 & 14 & 15 & 16 & 17 \end{pmatrix} \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{а)} \\
 & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 7 & 0 & 0 & 1 & 8 & 0 & 11 & 11 & 13 & 11 & 11 & 11 & 11 & 11 & 14 & 15 & 16 & 17 \end{pmatrix} \times \\
 & \times \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 7 & 0 & 0 & 1 & 8 & 0 & 11 & 11 & 13 & 11 & 11 & 11 & 11 & 11 & 14 & 15 & 16 & 17 \end{pmatrix} = \\
 & = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & 11 & 11 & 11 \end{pmatrix} \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{б)}
 \end{aligned}$$

Рис. 3.

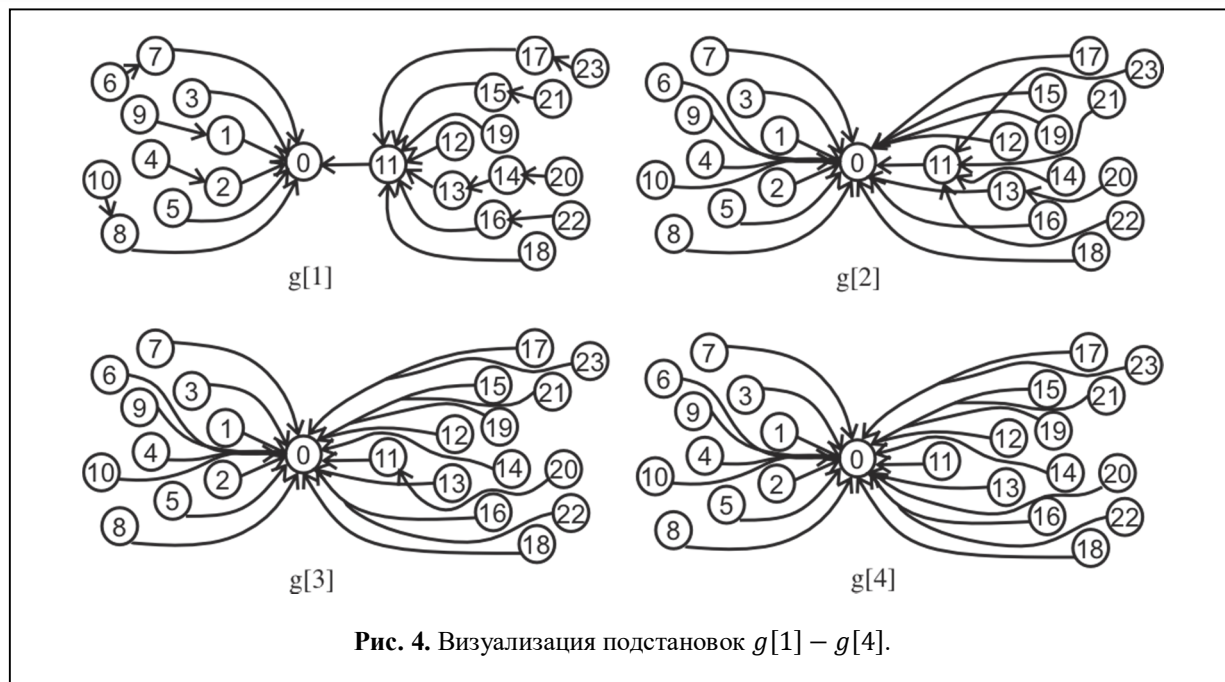


Рис. 4. Визуализация подстановок $g[1] - g[4]$.

$$g^{-1}[1] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 7 & 0 & 0 & 1 & 8 & 0 & 11 & 11 & 13 & 11 & 11 & 11 & 11 & 11 & 14 & 15 & 16 & 17 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \end{pmatrix};$$

$$g^{-1}[4] = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \end{pmatrix}$$

Рис. 5.

ально удалённых провинций к столице). Однако может быть поставлена и обратная задача, связанная с транспортом данных из центрального узла к периферийным, например, результаты диагностики или обследования, которые могут быть сделаны только на соответствующем оборудовании, направляются по месту запроса. В таком случае граф будет обладать дивергентными свойствами, а трансформировать алгоритм можно простой заменой строк в подстановках. Таким образом, обратные подстановки, удовлетворяющие свойству $g[i] \times g^{-1}[i] = g[0]$, могут быть записаны в виде матриц, представленных на рис. 5.

Визуализировать дивергентный граф, соответствующий процедуре транспорта данных из условного центрального узла (г. Кито) в периферийные (провинции республики) можно путём изменения направленности ребер в орграфе (рис. 6).

Заключение

Для решения задач, связанных с автоматизацией процесса передачи данных по инфокоммуникационной системе Эквадора, может быть использован территориально-административный принцип деления республики на кластеры с последующим заданием ориентированного графа соседства на этом разбиении. Сам алгоритм, позволяющий осуществлять чёткую маршрутизацию по сети телемедицины, предлагается строить на основе умножения

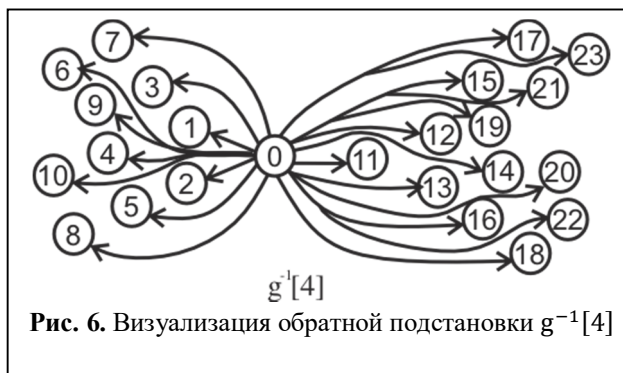


Рис. 6. Визуализация обратной подстановки $g^{-1}[4]$

подстановок по графу, для чего уже разработаны соответствующие программные решения. Визуализация подстановок позволяет выявить конвергентные или дивергентные свойства графа и менять эти свойства в соответствии с требованиями заменой строк в подстановках.

Литература

1. *Горохова И.Ю.* CRM- и ERP-системы в управлении информационными ресурсами предприятия // Прогрессивные технологии и процессы: Сборник научных статей 6-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 2019. С. 69–73.
2. *Потапов А. И., Потапов И. А., Махов В. Е.* Аппаратно-программные средства для телемедицины // Компоненты и технологии. 2007. № 1. С. 164–166.
3. *Антоненко Н.А., Бабаев А.Б., Екатеринбург А.Л., Наташкина Е.А.* Сравнительный анализ популярных платформ для создания чат-бота // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2020. № 3(12). С. 121–125.
4. *Ковалев Д.А.* Глубокие нейронные сети. Применение в медицине // Символ науки: международный научный журнал. 2020. № 4. С. 29–31.
5. *Gorshkov K., Nikitin O., Kuznetsova E.* Data transfer in the mathematical broken symmetry group model. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2001(1). 6 p.
6. *Nikitin O.R., Gorshkov K.A., Rau V.G., Kuznetsova E.G. and Shubin A.A.* Networks based on periodical fragmentations in broken symmetry group model // 14th International scientific technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894. Proceedings. Novosibirsk Vol. 1. Part 3. Pp. 247–250.
7. *Gorshkov K.A., Rau V.G., Filippov R.V., Arakelian S.M.* Models of abstract and real systems based on broken symmetry group // E3S Web Conf. 2020 Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2020). Vol. 224. P. 01002.
8. *Журавлев В.Г.* Самоподобный рост периодических разбиений и графов // Алгебра и анализ. 2001. № 13. С. 69–92.
9. *Хуан Габриель В.Л.* Расчёт параметров сегмента инфокоммуникационной системы телемедицины города Кито (Эквадор) // Динамика сложных систем - XXI век. 2018. № 2. С. 88–92.
10. *Уланов Е.А., Горшков К.А., Никитин О.Р.* Модель региональной инфокоммуникационной сети телемедицины // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 142–147.
11. *Рау В.Г., Ломтев Л.А., Рау Т.Ф., Горшков К.А., Никитин О.Р.* Компьютерные эксперименты в группах подстановок с нарушенной симметрией // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 3. С. 43–49.
12. *Рау В.Г. и др.* Исследование теории групп нарушенной симметрии в природных, биологических и социально-экономических системах: коллективная монография. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС. 2020. 261 с.
13. *Горшков К.А.* Визуализация конечных групп и множеств с нарушенной симметрией в дискретном периодическом пространстве // Материалы региональной научно-практической конференции по проблемам моделирования фундаментальных числовых закономерностей эволюции в социальных, физических и биологических системах. 2020. С. 15–25.
14. *Rau V.G., Togunov I.A., Rau T.F., Polyakov S.V.* Structure Transformations in Broken Symmetry Groups-Abstraction and Visualization. Symmetry. 2018. Vol. 10(10). 12 p.

Поступила 4 апреля 2023 г.

English

ALGORITHM OF DATA TRANSPORT IN THE INFOCOMMUNICATION SYSTEM OF TELEMEDICINE IN ECUADOR

Kirill Andreevich Gorshkov — PhD, Associate Professor, Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation.

E-mail: godograf@list.ru

Juan Gabriel Veloz Llano — Postgraduate Student, Department of Radio Engineering and Radio Systems “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: j.gabrielveloz@gmail.com

Oleg Rafailovich Nikitin — Grand Dr. in Engineering, Professor, Department of Radio Engineering and Radio Systems “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: olnikitin@mail.ru

Address: 600000, Russian Federation, Vladimir, Gorky St., 87.

Abstract: The article discusses the possibility of automating data transmission processes in the telemedicine infocommunication system using the example of a network in the Republic of Ecuador. It is proposed to divide the entire territory of the republic into regions corresponding to the territorial and administrative division into provinces. Each such area is assigned a vertex of the graph — a node of the telemedicine network. Since the citizens' appeal occurs in the direction from the periphery to the center, the direction of the edges of the graph from the remote vertices to the central ones can be set. This type of requests is associated with the high heterogeneity of the territory of Ecuador and the presence of provinces with a low level of medical infrastructure and a shortage of narrow-profile specialists. Numbering the vertices of the graph allows you to switch to its representation in the form of substitutions, which are two-line matrices in which the first line contains outgoing nodes, and the second contains incoming ones. The operation of multiplying substitutions allows you to generate a closed set of all possible substitutions corresponding to the data transport graph. The independence of the algorithm from the physical medium of data transmission plays an important role, since in Ecuador various means of telecommunications are used to organize a telemedicine network: satellite communications, radio communication systems, fiber-optic systems for providing access to the Internet, as well as telephony. The algorithm itself, which allows for clear routing over the telemedicine network, is proposed to be built on the basis of multiplication of substitutions by graph, for which appropriate software solutions are already available. Visualization of substitutions makes it possible, among other things, to identify convergent or divergent properties of the graph and allows you to change these properties in accordance with the requirements by replacing rows in substitutions.

Keywords: telemedicine systems, clusterization, digraph, broken symmetry groups.

References

1. *Gorokhova I.Y.* CRM- and ERP-systems in the management of information resources of the enterprise. Progressive technologies and processes: Collection of scientific articles of the 6th All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation. 2019. Pp. 69–73.
2. *Potapov A.I., Potapov I.A., Makhov V.E.* Hardware and software tools for telemedicine. *Komponenty i tehnologii.* 2007. No. 1. Pp. 164–166.
3. *Antonenko N.A., Babaev A.B., Yekaterinichev A.L., Natashkina E.A.* Comparative analysis of popular platforms for creating a chatbot. *Informacionnye tehnologii. Problemy i resheniya.* 2020. No. 3(12). Pp. 121–125.
4. *Kovalev D.A.* Deep neural networks. Application in medicine. *Simvol nauki: mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal.* 2020. No. 4. Pp. 29–31.
5. *Gorshkov K., Nikitin O., Kuznetsova E.* Data transfer in the mathematical broken symmetry group model. *Journal of Physics: Conference Series.* 2021. Vol. 2001(1). 6 p.
6. *Gorshkov K.A., Rau V.G., Filippov R.V., Arakelian S.M.* Models of abstract and real systems based on broken symmetry group. *E3S Web Conf. 2020 Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2020).* Vol. 224. P. 01002.
7. *Gorshkov K.A., Rau V.G., Filippov R.V., Arakelian S.M.* Models of abstract and real systems based on broken symmetry group. *E3S Web Conf. 2020 Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2020).* Vol. 224. P. 01002.
8. *Zhuravlev V.G.* Self-similar growth of periodic partitions and graphs. *Algebra i analiz.* 2001. No. 13. Pp. 69–92.
9. *Juan Gabriel V.L.* Calculation of the parameters of the segment of the infocommunication system of telemedicine in Quito (Ecuador). *Dinamika slozhnyh sistem - XXI vek.* 2018. No. 2. Pp. 88–92.
10. *Ulanov E.A., Gorshkov K.A., Nikitin O.R.* Model of regional infocommunication network of telemedicine. *Sovremennye naukoemkie tehnologii.* 2018. No. 10. Pp. 142–147.
11. *Rau V.G., Lomtev L.A., Rau T.F., Gorshkov K.A., Nikitin O.R.* Computer experiments in permutation groups with broken symmetry. *Sovremennye naukoemkie tehnologii.* 2017. No. 3. Pp. 43–49.
12. *Rau V.G. and others.* Investigation of the theory of groups of broken symmetry in natural, biological and socio-economic systems: a collective monograph. Vladimir: Vladimir branch of RANEPА. 2020. 261 p.
13. *Gorshkov K.A.* Visualization of finite groups and sets with broken symmetry in a discrete periodic space. *Materials of the regional scientific and practical conference on the problems of modeling fundamental numerical laws of evolution in social, physical and biological systems.* 2020. Pp. 15–25.
14. *Rau V.G., Togunov I.A., Rau T.F., Polyakov S.V.* Structure Transformations in Broken Symmetry Groups-Abstraction and Visualization. *Symmetry.* 2018. Vol. 10(10). 12 p.