

УДК 621.391

МОДЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

¹Уланов Е.А., ²Горшков К.А., ¹Никитин О.Р.¹ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniyulnv@rambler.ru;²ФГАОУ ВО НИУ «Высшая школа экономики», Москва, e-mail: godograf@list.ru

Процессы, затрагивающие всевозрастающую роль цифровых технологий в оказании социально значимых услуг населению, требуют разработки технических средств и программ для их успешной реализации. Важным аспектом является сетевая организация систем по передаче данных, наличие которой приводит к необходимости решения проблем, связанных с защищенностью информации средствами программно-аппаратных модулей; с выбором физической среды транспорта данных; а также с правильно построенной структурной организацией. Технические решения в преодолении таких затруднений являются эффективными для задач оказания своевременной медицинской помощи в рамках создания телемедицинской сети. В работе рассматривается математическая модель структурной организации региональной иерархической инфокоммуникационной сети телемедицины, в качестве которой предлагается использовать ориентированный граф на множестве узлов различных структурных уровней. Орграф системы позволяет представить логическую топологию сети телемедицины. Математическая формализация процесса задания такого графа представлена объединением когерентных цепей для элементов эквидистантного множества и матрицей инцидентности. С помощью перестановок по графу, а также операции их бинарного умножения продемонстрирована возможность алгоритмизации процесса сбора данных в узел регионального назначения на примере 17 и 113 вершин. Выявлено наличие конвергентных свойств перестановок по ориентированному графу инфокоммуникационной сети.

Ключевые слова: инфокоммуникационная сеть телемедицины, ориентированный граф сети, конвергентные графы структуры

MODEL OF THE REGIONAL INFOCOMMUNICATION NETWORK OF TELE-MEDICINE

¹Ulanov E.A., ²Gorshkov K.A., ¹Nikitin O.R.¹Vladimir State University n.a. A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: evgeniyulnv@rambler.ru;²National Research University Higher School of Economics, Moscow, e-mail: godograf@list.ru

The processes that affect the ever-increasing role of digital technologies in providing socially important services to the population require the development of technical tools and programs for their successful implementation. An important aspect is the network organization of data transmission systems, the presence of which leads to the need to solve problems related to the protection of information by software and hardware modules; with the choice of the physical environment for data transport; as well as with a correctly constructed structural organization. Technical solutions to overcome such difficulties are effective for the task of providing timely medical assistance in the creation of a telemedicine network. The mathematical model of the structural organization of the regional hierarchical infocommunication network of telemedicine is considered in the work. It is suggested to use the oriented graph on the set of nodes of different structural levels. The system's digraph allows us to represent the logical topology of the telemedicine network. The mathematical formalization of the process of specifying such a graph is represented by the combination of coherent chains for elements of an equidistant set and an incidence matrix. With the help of permutations along the graph, as well as the operations of their binary multiplication, the possibility of algorithmizing the process of data collection to a regional node is demonstrated using the example of 17 and 113 vertices. The presence of convergent properties in permutations along the oriented graph of the infocommunication network has been revealed.

Keywords: info-communication network of telemedicine, oriented graph of network, convergent graphs of structure

В связи с активным переходом различных социальных сфер в формат среды данных, а также развитием средств по оказанию своевременной медицинской помощи независимо от территориальной локации актуальным становится ряд задач по созданию высокоэффективной системы телемедицины [1]. Создание регионального сегмента сети телемедицины, как и общей федеральной системы, требует рассмотрения важных аспектов, связанных в первую очередь со структурой (логической или физической

топологией), выбором физической среды передачи данных, вопросами кибербезопасности и функционального назначения [2, 3]. В работе будет рассмотрен аспект, затрагивающий структурную организацию инфокоммуникационной сети телемедицины на примере Владимирской области. Цель работы – разработка математической модели инфокоммуникационной сети телемедицины для автоматизации процессов передачи данных и повышения эффективности её функционирования.

*Организационная структура
инфокоммуникационной сети телемедицины*

Структурная организация, то есть непосредственная модель, описывающая и регламентирующая взаимодействие участников сеанса оказания медицинской услуги в удаленном режиме (врач – врач или врач – пациент), может быть реализована как одноранговая сеть, в которой все узлы функционально равноправны и каждый узел может связываться с любым другим непосредственно, и как иерархическая сеть [4], в которой сбор данных осуществляется в определенных узлах, данные дифференцируются по специфике обращения и перераспределяются на узлы другого структурного уровня. Одноранговая сеть (или точнее подсеть) телемедицины уже реализована во Владимирском регионе посредством телефонных линий связи для задач консалтинга в профессиональной среде врачей, однако для подключения нескольких специалистов (для решения, к примеру, неординарных случаев или при фронтальном обучении специалистов муниципального уровня) требуется централизация, и сеть перестает быть пиринговой. Регламентируется этот процесс положением, в котором прописан порядок обращения медицинских работников в случае необходимости консультирования. Взаимодействие врач – пациент наиболее эффективно реализуется в иерархической структуре взаимодействия. Представим данную сеть в виде графа связности узлов различного уровня (рис. 1), несложно заметить наличие самоподобия сети и фрактальный характер топологии [5]. Данные о состоянии человека начинают формироваться на уровне индивидуальной диагностики (рентгенологические снимки, УЗИ, магнитно-резонансные исследования – ранее сформированные данные, а также информация, полученная, например, в результате работы кардиостимуляторов – мгновенные данные) – это так называемый биометрический уровень. Далее, при необходимости либо в экстренном порядке, данные передаются в медицинское учреждение муниципального уровня, в котором перераспределяются: часть данных направляется к специалистам в пределах муниципального округа, часть – в региональный центр телемедицинской сети. На каждом уровне (биометрическом, муниципальном, региональном) требуется принимать решение об отправлении пакета данных на узел следующей иерархической ступени, что может осуществляться либо вручную, либо автоматически. Второй вариант предпочтительнее, поскольку уменьшает время на буферизацию и исключает человеческий фактор ошибки. Программы, осуществляю-

щие автоматическое перераспределение информации, могут базироваться на способах индикации по ключевым словам, квалитетрическим оценкам по результатам диагностики, специальным маркерам, указанным на узле нижнего структурного уровня.

*Математическая модель
структурной организации сети*

В качестве модели, отражающей такое устройство сети, может быть предложен ориентированный граф на множестве узлов биометрического, муниципального и регионального уровней (рис. 1). Для удобства дальнейшего представления присвоим каждой вершине графа числовое значение, а ребрам – соответствующее значение x_j . Ориентированный граф (на карте региона уже определена своеобразная кластеризация по критерию муниципального деления) может быть задан процедурой роста некоторого эквидистантного множества $eq(a, n)$, уровня n ($n = 3$), указывающего на структурный уровень сети [6]. Вектор $v(a_i, a)$ демонстрирует наличие связи между вершинами a_i и a :

$$eq(a, n) = eq(a_i, n) + v(a_i, a). \quad (1)$$

Формируются координационные окружности $eq(a, n)$, центры которых находятся в соответствующих вершинах a_1, a_2, a_3 . Цепь, заданную следующим образом [6]:

$$p: a_i \rightarrow b_1 \rightarrow \dots \rightarrow b_{s-1} \rightarrow a'_i, \quad (2)$$

следует считать лучом, если выполняется условие, что расстояние между двумя вершинами $d(a_i, a'_i) = s$ является геодезическим. Выражения b_i обозначают промежуточные узлы цепи от a_i до a'_i .

Теперь для задания полного графа требуется найти объединение всех лучей длины s , выходящих из вершин $a_i - p(a_i, s)$

$$P_G = \bigcup_{1 \leq i \leq f} \bigcup_{1 \leq s \leq f} p(a_i, s). \quad (3)$$

Когерентные цепи такого графа удобно представить как

$$p = p_s \rightarrow \dots \rightarrow p_s \quad (k - \text{раз}). \quad (4)$$

Автоматизация процесса передачи пакетов данных по такой сети может быть осуществлена на основе подхода кластеризации или заданием ориентированного графа сети, перестановки по которому образуют замкнутое множество относительно операции их бинарного умножения [7]. Продемонстрируем это на участке сети. Для простоты расчета выделим небольшой фрагмент сети, включающий взаимосвязь на уровнях Александров – Владимир. Зададим ориентированный граф графически (рис. 2).

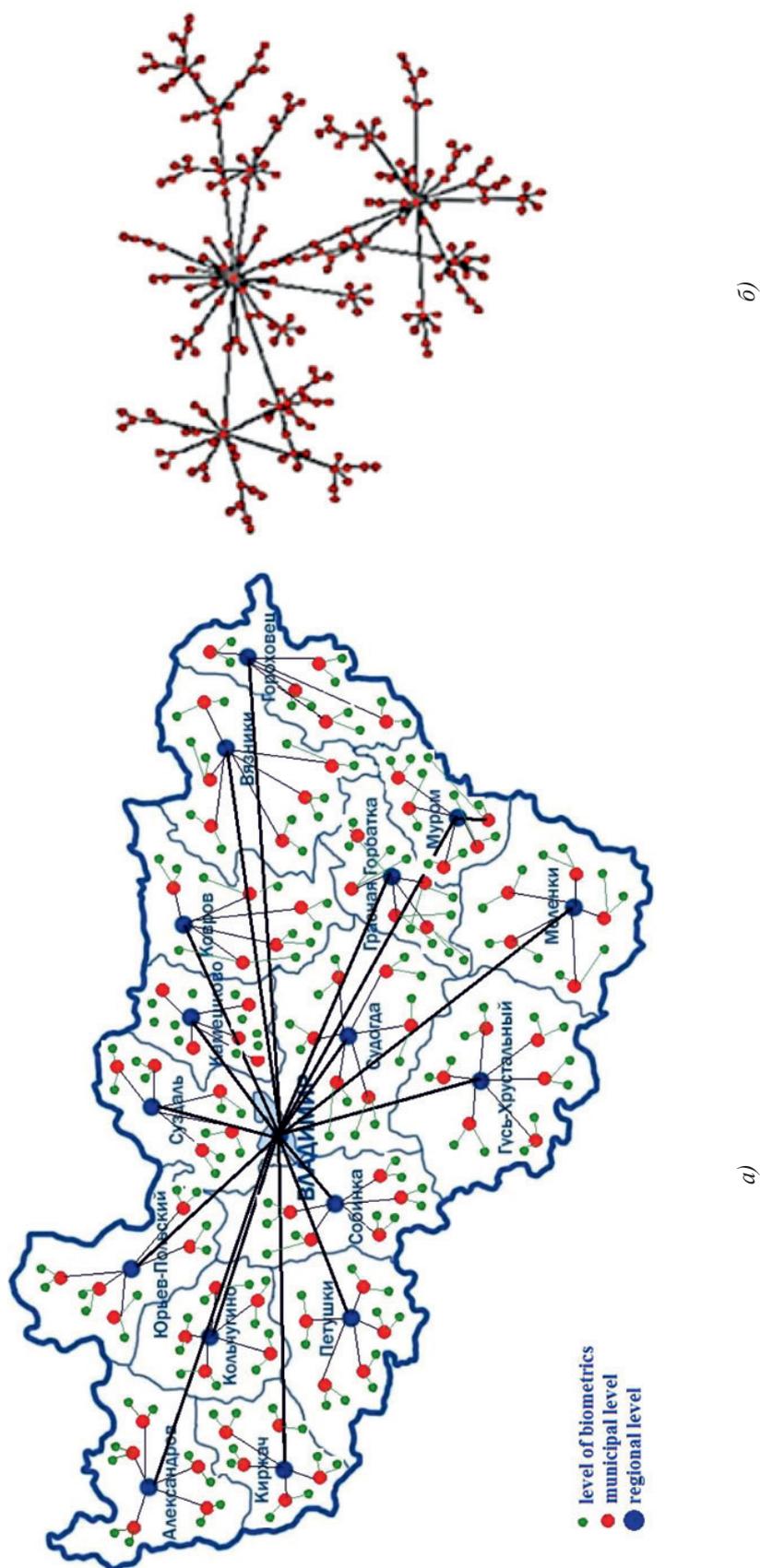


Рис. 1. Пример ориентированного графа сбора данных на примере территориального деления Владимирской области – а); топология самоподобного графа – б)

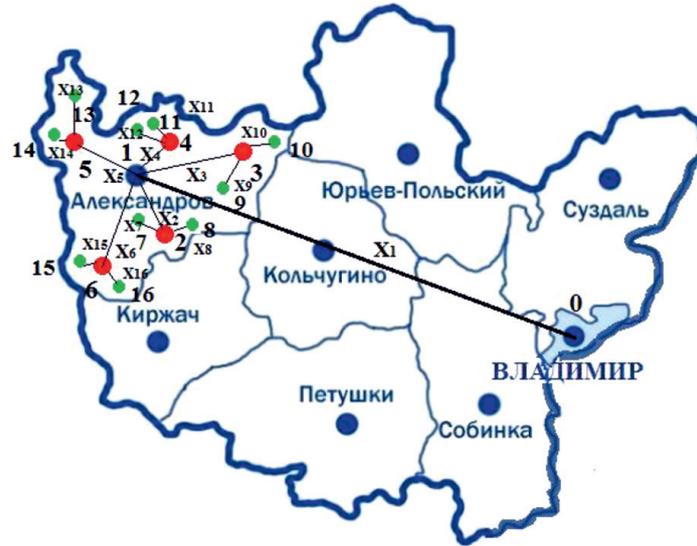


Рис. 2. Ограф на участке сети, демонтирующий связь на всех структурных уровнях

Ориентированный граф, представленный семнадцатью вершинами и шестнадцатью ребрами, можно задать также с помощью матрицы инцидентности, определяющей структуру графа:

$$\begin{pmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{pmatrix}$$

Столбцы в матрице соответствуют вершинам (с 0 по 16), а строки – ребрам. Веса элементов заданы в соответствии с правилом, по которому строится матрица инцидентности [8]:

$$M_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } V_i \text{ – конец ребра } x_j \\ -1, & \text{если } V_i \text{ – начало ребра } x_j \\ 0, & \text{если } V_i \text{ неинцидентна } x_j \end{cases}$$

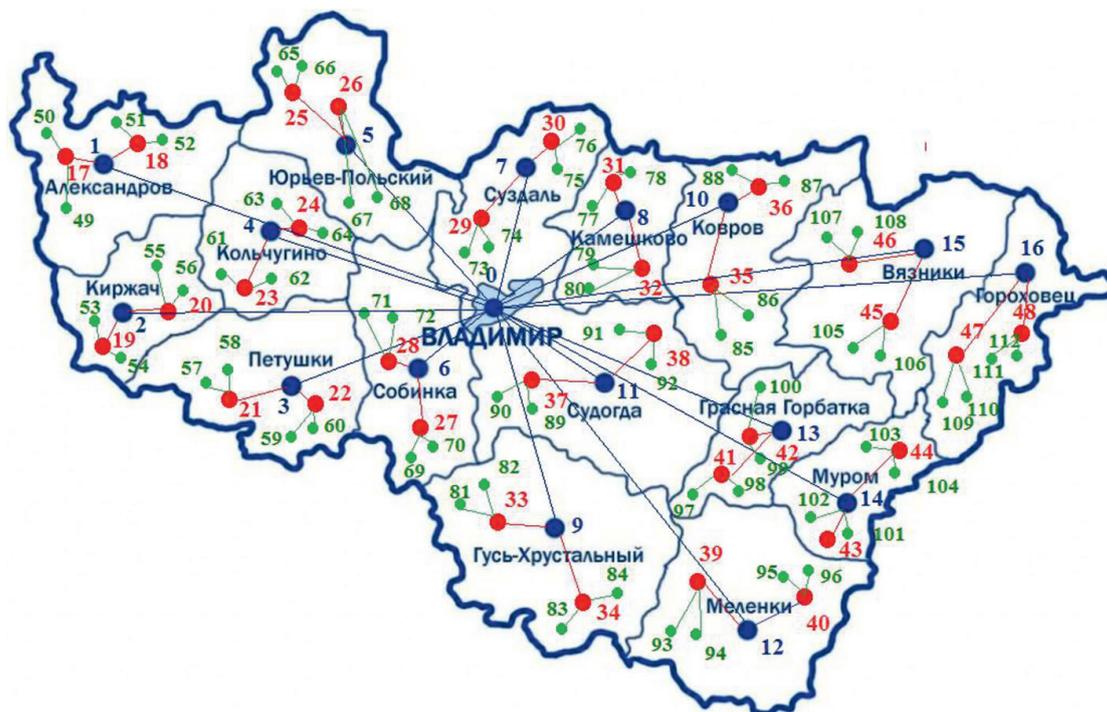


Рис. 4. Орграф региональной сети со 113 вершинами

На модельном графе, включающем 113 узлов (0–112), за три этапа (что соответствует иерархическому разделению) пакеты данных доставляются в центральный узел (центр регионального консультирования), алгоритм перераспределения данных, базирующийся на перемножении перестановок по графу, позволяет ускорить и автоматизировать процесс обработки данных на отдельных участках.

Выводы

В работе в качестве модели структурной организации региональной инфокоммуникационной сети телемедицины (на примере территориального деления во Владимирской области) предложен ориентированный граф. Показаны способы задания такого графа в виде объединения когерентных цепей, включающих в себя вершины, принадлежащие эквидистантному множеству (4), а также с помощью определения матрицы инцидентности. Перестановки на орграфе, а также операции их бинарного умножения позволяют задать алгоритм, автоматизирующий процесс сбора данных в узел регионального структурного уровня, а сами перестановки обладают конвергентными свойствами. Стоит отметить, что данный алгоритм, как и сам ориентированный граф, который он описывает, характеризуют процесс сбора данных в узел регионального уровня. Чтобы описать обратный процесс

(к примеру, сообщение результатов заключения врача пациентам), требуется либо задавать уже неориентированный граф, либо создавать отдельную структуру (непосредственное доставление информации к пациенту, минуя уровни-медиаторы).

Список литературы

1. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья: Федеральный закон от 29.07.2017 № 242-ФЗ // Российская газета – Федеральный выпуск от 4 августа 2017 г. № 172 (7338). С. 3–5.
2. Жусев А.В., Романов Ф.А., Дуданов И.П., Воронин А.В. Информационные системы в здравоохранении. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. 120 с.
3. Леванов В.М., Переведенцев О.В., Сергеев Д.В., Никольский А.В. Нормативное обеспечение телемедицины: 20 лет развития // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2017. № 3. С. 5–8.
4. Горшков К.А., Никитин О.Р., Рау Т.Ф., Рау Т.Ф. Иерархические сети в модели дискретного пространства сети // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. № 4(385). С. 141–145.
5. Базилевич Л.А. Моделирование организационных структур. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 118 с.
6. Журавлев В.Г. Самоподобный рост периодических разбиений и графов // Алгебра и анализ. 2001. № 13. С. 69–92.
7. Rau V.G., Nikitin O.R., Gorshkov K.A., Saleh H.M., Rau T.F. Cyclic partitions in nanoelectronics. Nano-cluster circular systems. Electronic and Networking Technologies (MWENT). 2018. vol. 70. № 1. P. 1–6.
8. Карпов Д.В. Теория графов. СПб.: Санкт-Петербургское отделение Мат. института им. В.А. Стеклова РАН. 2017. 482 с.
9. 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.