

Конференции «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре  
в эпоху цифровой трансформации» 5 лет

УДК 004.021

## Моделирование информационных процессов в инфокоммуникационных системах

Иванов Н. А., Киселёв Д. И., Сотников А. Д. ✉

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Разработка сложных прикладных инфокоммуникационных систем требует эффективного использования таких ресурсов, как вычислительная мощность, пропускная способность, функциональность. **Постановка задачи:** адаптировать доменную модель инфокоммуникаций для адекватного представления информационных процессов в инфокоммуникационных системах. Конкретная **цель работы:** предложить формализованный способ количественного описания информационных процессов. **Метод** решения основан на использовании графовой модели информационных потоков в системе. **Элементы новизны** заключаются в использовании доменной модели, позволяющей формулировать количественные оценки процессов для постановки и последующего решения задач оптимизации инфокоммуникационных систем. В **результате** разработан и апробирован алгоритм и программная реализация, а также использована нейронная сеть для формирования в составе инфокоммуникационной системы информационных потоков с заданными свойствами.*

***Ключевые слова:** инфокоммуникации, информационные системы, информационные потоки, доменная модель инфокоммуникаций, граф, матрица смежности, нейросеть*

### Введение

Проектирование современных инфокоммуникационных систем (ИКС) связано с распределением ресурсов между компонентами системы. Такими ресурсами могут быть логические элементы микросхемы или функциональные узлы специализированного устройства, вычислительные ресурсы или пропускная способность узла ИКС. Подобные задачи встречаются как на аппаратном, так и на программно-алгоритмическом уровне ИКС. Еще более комплексной подобная задача становится при разработке сложных систем, включающих в себя относительно автономные подсистемы. Примером подобной задачи является поиск предпочтительной локализации узлов при организации «облачных» или «туманных» сервисов. В каждом из упомянутых случаев предлагаются конкретные решения в большей или меньшей степени удовлетворяющие разработчика.

При всем разнообразии формулировок и итоговых решений задачи проектирования ИКС обладают принципиальным общим свойством. Они связаны с информационными процессами, а точнее, с множественной реализацией совокупности элементарных актов информационного взаимодействия [1, 2], включающего как минимум двух участников, осуществляющих функции генерации и утилизации данных конкретного информационного потока. В реальных системах между источником и приемником

#### Библиографическая ссылка на статью:

Иванов Н. А., Киселёв Д. И., Сотников А. Д. Моделирование информационных процессов в инфокоммуникационных системах // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 4. С. 3. EDN: ZZAEYN

#### Reference for citation:

Ivanov N., Kiselyov D., Sotnikov A. Modeling of Information Processes in Infocommunication Systems // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 4. P. 3. EDN: ZZAEYN

располагается собственно ИКС (в узком понимании термина), реализующая традиционные функции – обработку, хранение, транспортировку, представление данных. Теоретическое описание информационного процесса дает доменная модель инфокоммуникаций (ДМИ) [3] – дескриптивная модель, описывающая три домена – физический, информационный и когнитивный, в которых реализуется информационное взаимодействие участников. Формально ДМИ может быть представлена выражением, описывающим элементарный акт информационного взаимодействия:

$$\langle\langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \rangle^{\xi_{C_m}} \xrightarrow{Q_{22}^{C_m C_k}} \langle\langle A_n \rangle^{\xi_{A_n}} \rangle^{\xi_{C_k}}, \quad (1)$$

где:  $A_n$  – объект когнитивного или физического домена;  $C_m$  – объект информационного домена;  $\xi_{A_n}$  – тезаурус (множество возможных состояний объекта);  $Q$  – операции преобразования тезаурусов при перемещении элементов информационного потока между доменами или подсистемами.

Графическая иллюстрация информационного взаимодействия в ДМИ представлена на рисунке 1. Расширение выражения (1) для большего количества элементарных взаимодействий и формирование их последовательностей представляет высокоуровневое описание информационных процессов в произвольной информационной системе (ИС) независимо от ее области применения и целевого назначения, функционального состава и архитектуры.

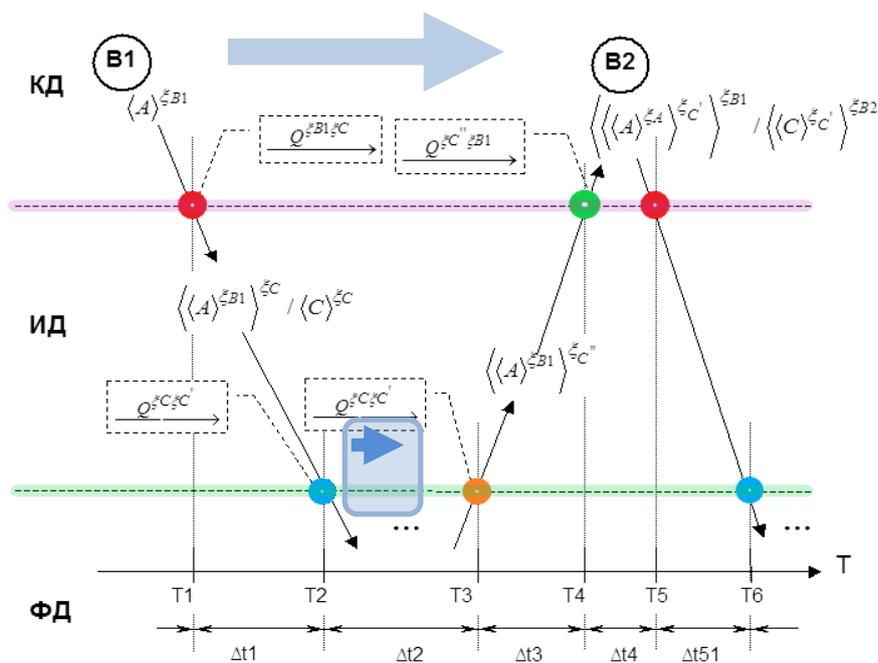


Рис. 1. Элементарный акт информационного взаимодействия

### Постановка задачи

ИКС произвольного назначения, структуры и функционального состава может быть адекватно представлена совокупностью своих информационных потоков (ИП), генерируемых на ее входах и утилизируемых на ее выходах. В этом случае ее формальным представлением выступает неориентированный граф  $G(V, E)$ ,  $V \neq 0$ , вершины которого соответствуют точкам генерации, преобразования и утилизации ИП. В случае важности направлений ИП может использоваться ориентированный граф. Двоичный граф  $v_i = \{0, 1\}$  будет представлять ИС, если значимым для анализа является только наличие ИП между ее входами и выходами. Если представляют интерес различные характеристики системы, соответствующие элементам графа, то вершинам или дугам могут быть поставлены в соответствие веса, например, нормированные для удобства обработки значения производительности (пропускной способности и т. п.) модуля, соответствующего вершине графа. Таким образом, для ИС граф выступает ее математической

моделью, а матрица смежности – вычислительной моделью для анализа характеристик с целью оптимального размещения ресурсов ИС и повышения эффективности обработки ИП.

### Метод решения

Эквивалентные преобразования матрицы смежности графа заключаются в перестановке строк и столбцов, позволяющей сгруппировать ненулевые элементы и генерирующей новые варианты «структур» ИС, в которых реализуются иные варианты размещения ресурсов, обладающие иными характеристиками (рисунок 2). Сформированная в результате перестановок компактная группа единичных элементов соответствует группе функций ИС, которые могут быть реализованы в рамках одного модуля.

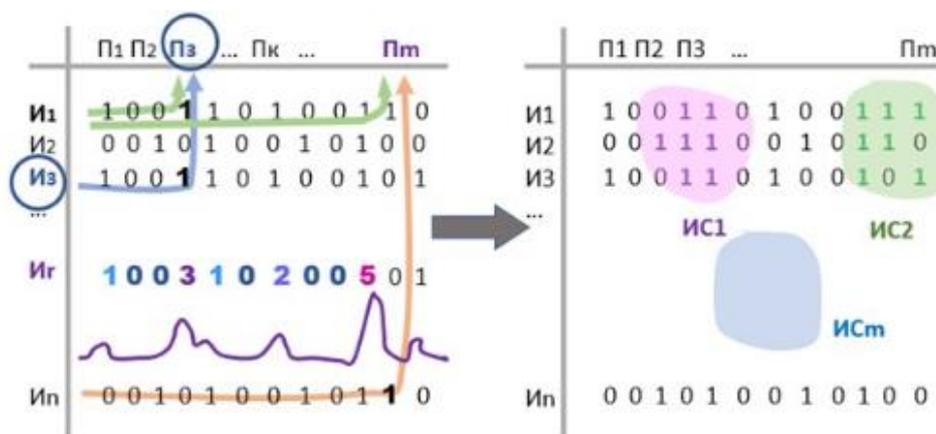


Рис. 2. Принцип генерации новых «структур» ИС

Компоновка потоков путем перестановки строк/столбцов матрицы с целью более «плотной» группировки единичных значений, отображающих потоки, и «концентрация» их в определенных областях матрицы, сопоставленных с компонентами ИС, обрабатывающими эти потоки, позволяет выделить связанные элементы (или целые подсистемы) и улучшить «архитектурные» характеристики системы [1]. При такой формализации возможна корректная формулировка задач оптимизации, при которой выполняется максимизация плотности единичных элементов, что соответствует концентрации информационных потоков в отдельных подсистемах и оценке, например, суммарного объема данных, передаваемого в подсистеме в единицу времени (строка с выделенными цветом элементами на рисунке 2) [3], что в свою очередь позволяет оценивать распределение потребности в ресурсах для различных информационных потоков в рамках ИС. Кроме того, становится возможным определение «узких мест» в структуре ИС.

Выбор критериев оптимальности получаемых результатов существенным образом зависит от «природы» моделируемой ИС и целевых характеристик рассматриваемой системы. На данном этапе рассматривается упрощенный критерий, учитывающий относительную плотность единичных элементов матрицы смежности графа ИС в локальной области заданного размера:

$$(N_1/N) > M, \quad N_1 = \sum_{v=1} (v),$$

где  $N_1$  – количество единичных элементов матрицы смежности;  $N$  – общее количество элементов;  $M$  – заданная величина «плотности единичных элементов» в заданной области.

В качестве метода нахождения лучшей конфигурации компонентов ИС предлагается следующая процедура, состоящая из четырех этапов.

*Этап 1.* Построение графа эквивалентного ИС, включающее определение входов и выходов информационных потоков. Выполняется на основе структурно функциональных схем, диаграмм потоков

данных, бизнес-процессов, UML-диаграмм (аббр. от англ. Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования) или иных доступных описаний ИС.

Этап 2. Нумерация входов и выходов ИП, построение матрицы смежности модельного графа. Проверка ацикличности графа.

Этап 3. Последовательные преобразования матрицы смежности путем перестановки строк и столбцов с проверкой выполнения требований критерия «плотности единичных элементов». На данном этапе могут быть использованы различные программные инструменты, включая нейронные сети (инструменты искусственного интеллекта). Учитывая ограниченность задачи, целочисленный тип данных и доступные вычислительные ресурсы, эффективным может оказаться решение на основе полного перебора вариантов.

Этап 4. Формирование выходных отчетов, включающее улучшенные варианты конфигураций.

### Эксперимент

Проверка предложенного подхода выполнена проведением ряда экспериментов для упрощенной графовой модели произвольной ИС, состоящей из 100 элементов. Для упрощения расчетов и сопоставимости результатов выбрана квадратная матрица (10×10), что соответствует 10 входам и 10 выходам с максимальным возможным числом нециклических информационных процессов  $R = C n m$ , которое является очевидно завышенным. Рассматривались варианты со случайным распределением единичных элементов и тестовые с типовыми заполнениями.

Разработаны алгоритмы и программы на языке Python и в среде Wolfram Mathematica (WM), а также с использованием нейронной сети DeepSeek. Ниже приведен фрагмент программы WM, позволяющий находить группы единиц вокруг каждого единичного узла в блоках размером 3×3 элемента:

```

=====
maxgr{A ?MatrixQ} := Block{{f, spisok, pos, group, max, number},
max = Length[A];
group{{i_Integer, j_Integer}} := Count{Flatten{
  A{{Max{i - 1, 1} ;; Min{i + 1, max},
    Max{j - 1, 1} ;; Min{j + 1, max}}}}, 1};
f = If{#1 == 1, #2, Nothing} &;
spisok = Flatten{MapIndexed{f, A, {2}}, 1};
number = group /@ spisok;
pos = PositionLargest{number};
{Max{number}, spisok{{pos}}} }
=====

```

Примеры результатов преобразований матрицы смежности (10×10) для тестового графа приведены на рисунке 3.

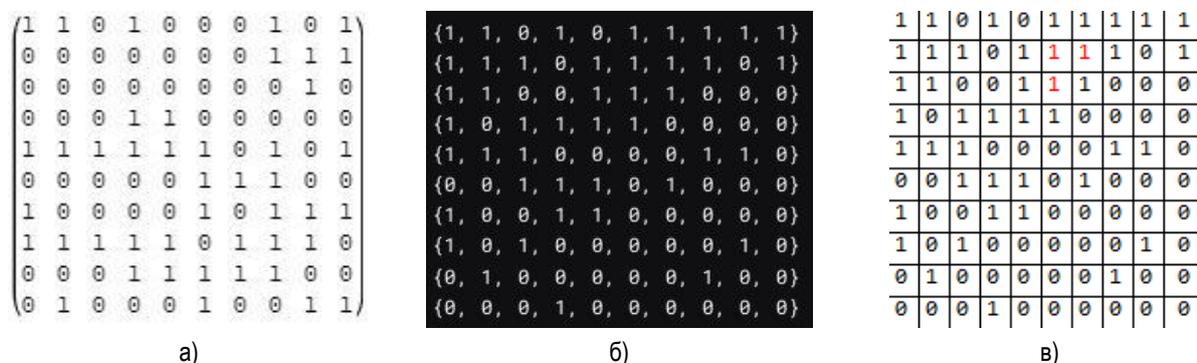


Рис. 3 Примеры результатов преобразований матрицы смежности: а) исходная; б) итоговая (DeepSeek); в) итоговая (WM)

В экспериментах с нейросетью DeepSeek был выбран метод решения «жадный алгоритм» (Greedy Algorithm), который на каждом шаге делает локально наилучший выбор в надежде, что итоговое решение

будет оптимальным. В таблице 1 представлены плотности исходной и итоговой преобразованной матриц. В новой матрице, в каждой из ее четвертей, появились две группы с плотностью более 0,5 по сравнению с исходной, в которой была только одна.

Таблица 1. Сравнение «плотности» матриц

| Исходная матрица | Итоговая матрица |
|------------------|------------------|
| $10/25 = 0,4$    | $17/25 = 0,68$   |
| $9/25 = 0,36$    | $14/25 = 0,56$   |
| $9/25 = 0,36$    | $10/25 = 0,4$    |
| $16/25 = 0,64$   | $3/25 = 0,12$    |

Эксперимент продемонстрировал положительный результат, состоящий в формировании групп единичных элементов с большей плотностью по сравнению с исходной матрицей, что соответствует формированию новых вариантов ИС с лучшими реализационными параметрами – в данном случае с группировкой информационных потоков, их «уплотнением» и, в итоге, большей производительностью. Эксперимент не выявил преимуществ разработанных алгоритмов преобразования или использования нейронной сети ввиду сравнительно малого размера матриц (10×10). При анализе реальных прикладных ИС, возможно, будут выявлены преимущества одного или другого варианта преобразования. Есть вероятность, что приемлемым с точки зрения использования вычислительных ресурсов окажется и алгоритм полного перебора, который обеспечит гарантировано оптимальный вариант.

### Выводы

Доменная модель инфокоммуникаций позволяет описывать информационные процессы и строить количественные модели, обеспечивающие улучшение характеристик прикладных информационных систем. Рассмотренный метод представления и преобразования информационных потоков на основе графовых и матричных моделей является независимым от специфических свойств и характеристик прикладных ИС, что делает его универсальным и эффективным инструментом анализа и проектирования. Предложенные программные решения и использование нейронных сетей делают метод пригодным для разнообразных ИС различного назначения и масштаба.

### Литература

1. Сотников А. Д. Инфокоммуникации. Информационное взаимодействие и модели телемедицинских систем. М.: Судостроение, 2008. 172 с. EDN: SDXAFP
2. Sotnikov A. D. Applied Infocommunication Systems and their Models for Healthcare // Proceedings of IEEE EUROCON 2009 (St. Petersburg, Russia, 18–23 May 2009). St. Petersburg, 2009. PP. 1668–1675. DOI: 10.1109/EURCON.2009.5167867. EDN: RHNCJV
3. Соломко Ю. С., Сотников А. Д. Использование методологии описания информационных процессов в магистерской подготовке // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. EDN: XZCVJM

Статья поступила 7 ноября 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 6 декабря 2024 г.  
Принята к публикации 27 декабря 2024 г.

Материалы статьи были представлены на V Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре в эпоху цифровой трансформации» (ПКМ-2024).

### Информация об авторах

*Иванов Никита Андреевич* – студент 2-го курса магистратуры (группа БИ-31м) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Киселёв Данил Ильич* – студент 2-го курса магистратуры (группа БИ-31м) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Сотников Александр Дмитриевич* – доктор технических наук, профессор, доцент кафедры экономики данных факультета социальных технологий и экономики данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: adsotnikov@sut.ru

## Modeling of Information Processes in Infocommunication Systems

N. Ivanov, D. Kiselyov, A. Sotnikov✉

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

*The development of complex applied infocommunication systems requires the efficient use of such resources as computing power, bandwidth, and functionality. **Statement of the problem:** to adapt the domain model of infocommunications for adequate representation of information processes in infocommunication systems. **Specific objective of the work:** to propose a formalized method for quantitative description of information processes. Used **method** is based on a graph model of information flows in the system. **Elements of novelty** consist in the use of a domain model that allows formulating quantitative assessments of processes for setting and subsequent solving problems of optimization of infocommunication systems. **Result:** an algorithm and software implementation were developed and tested, and a neural network was used to form information flows with specified properties as part of the infocommunication system.*

**Key words:** infocommunications, information systems, information flows, domain model of infocommunications, graph, adjacency matrix, neuronet

### Information about Authors

*Ivanov Nikita* – 2<sup>nd</sup> Year Master's Student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications)

*Kiselev Danil* – 2<sup>nd</sup> Year Master's Student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications)

*Sotnikov Alexander* – Advanced Doctor in Technical Sciences, Professor, Associate Professor of the Department of Data Economics of the Faculty of Social Technologies and Data Economics (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: adsotnikov@sut.ru