

Редактирование графов как метаданных электронной библиотеки

И. А. Филимонов

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 125993, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

ilafilimonov@mai.education

Аннотация

Данная работа направлена на совершенствование редакторов графов общего назначения для нужд объектного поиска и администрирования сети метаданных электронной библиотеки. Одной из тенденций развития электронных библиотек является обогащение и усложнение метаданных за счет контента хранимых в библиотеке электронных документов. Метаданные помогают лучше использовать библиотечные фонды, так как отражают соответствующие области знания в структурном виде, описывая контекст, содержание и структуру электронного документа на протяжении всего его жизненного цикла. Идея анализа структуры научного дискурса с целью отображения его в метаданные восходит к последним годам XX века, когда появилась теория структурной риторики, продолжившая своё развитие в первом десятилетии нового века. К тем же годам восходит идея моделирования научного и технического прогресса на основе сети проблем. В такой системе пользователь видит на экране компьютера комплексную сеть, состоящую из сети научно-технических проблем, сети инновационных циклов технических продуктов, связанных с показываемыми проблемами, и сети документов библиотеки. Сети проблем визуализируются представителем специального класса прикладных программных систем – редактором графов, считывающим с файла представление сети в текстовом или двоичном формате. Редактор графов строит элементы сетей в своей памяти в форме объектов и показывает их в своих окнах в двух формах: в виде размеченного раскрашенного графа и в виде таблицы, отображающей атрибуты объектов. Раскрыта актуальность проблемы выбора базового программного средства и его последующей модификации для работы с сетями метаданных электронных библиотек. Представлены основные положения модификации интерфейса редактора, позволяющие адаптировать программную систему редактора графов для работы с сетью метаданных электронной библиотеки. Предложенная концепция интерфейса редактора позволяет использовать выдвинутый экземпляр специального представителя класса подобных программных систем для нужд электронной библиотеки.

Ключевые слова: электронная библиотека, метаданные библиотеки, сеть проблем, редактор графов, интерфейс пользователя, Cytoscape, архив документов, граф, проблема, Java

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Филимонов И. А. Редактирование графов как метаданных электронной библиотеки // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, № 4. С. 809-820. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202204.809-820>

© Филимонов И. А., 2022



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Editing of Digital Library Metadata Presented as Graphs

I. A. Filimonov

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation

Address: 4 Volokolamskoe shosse, Moscow 125993, Russian Federation

ilafilimonov@mai.education

Abstract

The report is aimed at improving the software systems of general-purpose graph editors for the needs of object search and administration of the metadata network of the electronic library. One of the trends in the development of electronic libraries is the enrichment and complication of metadata due to the content of electronic documents stored in the library. Metadata helps to make better use of library collections, as it reflects the relevant areas of knowledge in a structural form, describing the context, content and structure of an electronic document throughout its life cycle. The idea of analyzing the structure of scientific discourse in order to display it in metadata dates back to the last years of the twentieth century, when the theory of structural rhetoric appeared, which continued its development in the first decade of the new century. The idea of modeling scientific and technological progress based on a network of problems dates back to the same years. In such a system, the user sees on the computer screen a complex network consisting of a network of scientific and technical problems, a network of innovative cycles of technical products related to the problems shown, and a network of library documents. Problem networks are visualized by a representative of a special class of applied software systems – a graph editor that reads a network representation in text or binary format from a file. The graph editor builds network elements in its memory in the form of objects and shows them in its windows in two forms: in the form of a marked-up colored graph and in the form of a table displaying the attributes of objects. The urgency of the problem of choosing a basic software tool and its subsequent modification for working with metadata networks of electronic libraries is revealed. The main provisions of the modification of the editor interface are presented, which allow adapting the graph editor software system to work with the metadata network of the electronic library. The proposed concept of the editor interface allows you to use an extended instance of a special representative of a class of similar software systems for the needs of an electronic library.

Keywords: digital library, library metadata, problem web, graph editor, user interface, Cytoscape, document archive, graph, problem, Java

Conflict of interests: The author declares no conflict of interest.

For citation: Filimonov I.A. Editing of Digital Library Metadata Presented as Graphs. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2022;18(4):809-820. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202204.809-820>



Введение

Теория и практика электронных библиотек как разновидности информационных систем имеет продолжительную и богатую историю. Одной из первых теоретических моделей известность получила Модель S5 [1], постулирующая, что каждой электронной библиотеке присущи пять компонентов: потоки, структуры, пространства, сценарии и сообщества. Модель NESTOR [2] концептуально позиционирует архив как частный случай электронной библиотеки, указывая, что для архива характерно ограниченное распространение и возможная невозпроизводимость объектов хранения.

В личной практике работника-исследователя архивы становятся средой накопления знаний. К программным системам архивного типа относятся решения от *OpenSemanticSearch*, *Microsoft Academic Knowledge Graph* [3], *Google Knowledge Graph* и другие.

Примером программной системы такого типа может служить и разработанная автором специализированная электронная библиотека «ПоискУМ» – индивидуализированный архив научно-технической документации, в котором читателю предоставляется визуальная сеть научно-технических проблем [4], дополненная сетью инновационных циклов технических продуктов, связанных с показываемыми проблемами, и сетью документов архива.

В этой системе предпринята попытка программной реализации электронной библиотеки, предназначенной для персонального использования и обеспечивающей функции объектного поиска. В отличие от классического, словарного поиска [5], который воспринимается пользователем как неделимая операция, требующая от него задания точного поискового признака и возвращающая искомым документ либо уведомление об отсутствии искомого, система с объектным поиском¹ [6-8] предоставляет читателю возможности полного или частичного перебора элементов библиотечного фонда и опознания среди них искомым объектов на основе поисковых признаков, находящихся в когнитивной памяти [9], не обязательно предъявленных библиотеке заранее, перед началом поиска, и не обязательно вербализируемых.

Сеть проблем визуализируется представителем *специального класса прикладных программных систем – редактором графов*, считывающим с файла представление сети в текстовом или двоичном формате. Редактор графов строит элементы сетей в своей памяти в форме объектов и показывает их в своих окнах в двух формах:

- в виде размеченного раскрашенного графа;
- в виде таблицы, отображающей атрибуты объектов.

Основной кодовой базой, на которой построен «ПоискУМ», является программная система с открытым исходным кодом – редактор графов *Cytoscape* [10].

Для современных электронных библиотек характерно усложнение метаданных [11, 12], которое влечёт за собой развитие

способов доступа к ним, включая информативно богатую и комфортную визуализацию. Так, при использовании редактора *Cytoscape* в контексте электронной библиотеки обнаруживаются проблемы, которые анализируются и решаются в дальнейшей части работы.

В работе представлена концепция модификации интерфейса редактора графов, позволяющая использовать его для нужд электронной библиотеки.

Проблема выбора программных средств администрирования сети метаданных электронной библиотеки

На сегодняшний день в общедоступном пользовании не представлен такой программный продукт в классе графических редакторов, который мог бы без дополнительной адаптации и модификации удовлетворительно использоваться в качестве инструмента обозревания сетей проблем и администрирования метаданных² электронных библиотек. Возникает потребность в программном продукте, удовлетворяющем представленной и обстоятельно описанной в [11] спецификации метаданных электронной библиотеки.

В настоящий момент видится два способа удовлетворения этой потребности:

1. Проектирование и разработка такого программного продукта «с нуля»;
2. Доработка уже существующего программного продукта.

Первый способ является наиболее трудоёмким и сложным. Более того, научным и инженерным сообществом до сих пор не принято единого стандарта и спецификации формата визуализации графовых моделей, а значит проектирование и разработка продукта «с нуля» внесёт ещё большую путаницу в вопросе принятия такого стандарта. Если для гипертекста и разметки консорциумом всемирной паутины были приняты стандарты HTML и XML соответственно, то общепринятого формата представления графовых данных нет. Претендентами на этот статус являются спецификации GgraphML [13] и GML. Второй способ является предпочтительным и был выбран автором. На сегодняшний день существует несколько программных продуктов, позволяющих работать с графовыми моделями. Наиболее известными из них являются *Gephi*, *Cytoscape* и *GraphViz* [14, 15]. Особенно стоит отметить тот факт, что все эти программные продукты распространяются в виде открытого исходного кода, что позволяет дорабатывать их возможности, внося изменения в кодовую базу.

В [4] автором представлена реализация концептуальной модели сети проблем на основе редактора графов *Gephi*. В ходе развития модели и обогащения объектной структуры её метаданных [11] выяснилось, что возможностей, представленных в редакторе *Gephi*, недостаточно. В частности, редактор *Gephi* не

¹ Ruggero A. Entity search: How to build virtual documents leveraging on graph embeddings : Online Theses and Dissertations. Department of Information Engineering, University of Padova, Italy, 2019. 103 p. URL: https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/24598?1/anna_ruggero_tesi.pdf (дата обращения: 10.08.2022).

² ГОСТ Р ИСО 23081-1-2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Процессы управления документами. метаданные для документов. Часть 1. Принципы: национальный стандарт РФ: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 ноября 2008 г. № 310-ст: введен впервые: дата введения 2009-07-01 / подготовлен ВНИИДАД. М. : Стандартинформ, 2009.



обладает модульной структурой кода, сверх того, он не обладает возможностями установления произвольных геометрических форм узлов и рёбер.

Продолжение работы над созданием персональной электронной библиотеки с использованием редактора *Cytoscape* показало состоятельность выбора данного программного решения в качестве основной кодовой базы для последующей его модификации и доработки. Далее в табл. 1 приведено сравнение описанных программных систем, наглядно показывающее обоснованность выбора данного редактора в качестве кодовой базы.

Таблица 1. Сравнение программных систем редакторов графов
Table 1. Comparison of graph editor software systems

	Gephi	Cytoscape	GraphViz
Задание формы узлов	Нет	Да	Да
Задание формы рёбер	Нет	Да	Нет
Модульная архитектура	Нет	Да	Нет
Задание цветов узлов	Да	Да	Да
Встроенный браузер	Нет	Да	Нет
Совместимость со стандартами XML/JSON	Да/Нет	Да/Да	Да/Нет
Многооконный режим	Нет	Да	Нет
Автоматизация администрирования метаданных	Нет	Да	Нет

Далее в работе описание редактора *Cytoscape* представлено более подробно.

Редактор графов Cytoscape

Одной из программных систем визуализации и администрирования сетей различных типов является редактор графов *Cytoscape*. *Cytoscape* — это программная платформа с открытым исходным кодом для визуализации сетей в графовой форме и администрирования метаданных, представленных в табличной форме в виде таблицы атрибутов элементов сети. Изначально созданный для биологических исследований, *Cytoscape* развился до статуса общей платформы комплексного сетевого анализа и визуализации метаданных. Начальная сборка *Cytoscape* предоставляет собой базовый набор функций для интеграции, анализа и визуализации данных. Дополнительные функции доступны в виде подключаемых модулей, называемых «приложениями». Для разработки модулей используется открытый API *Cytoscape* на основе технологии Java. На рис. 1 представлено окно редактора [16].

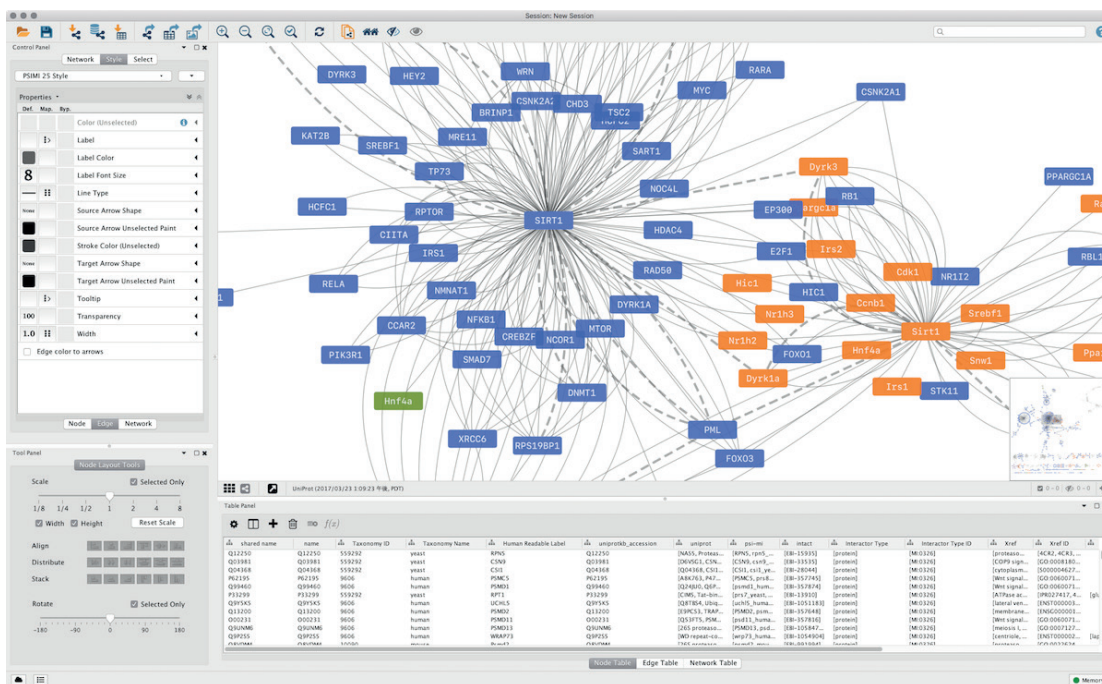


Рис. 1. Окно редактора *Cytoscape*

Fig. 1. *Cytoscape* editor window

Для применения в области электронных библиотек редактор *Cytoscape* хорош тем, что позволяет интегрировать метаданные³ документов, записанные в табличной форме, с графовым представлением [17, 18] сети. Узлы и рёбра графа в представлении *Cytoscape* имеют геометрическую и цветовую вариативность.

Это решение позволяет различать типы узлов метаданных при их визуализации и повысить узнаваемость конфигураций узлов при объектном поиске. Узлы различаются как формой, так и размером. Формы выбраны простейшие: круг, овал, прямоугольник, треугольник — чтобы обеспечить узнаваемость при уменьшении. Цвет используется как дополнительный

³ Там же.



признак различия ввиду его недоступности для лиц с ограниченным восприятием цвета.

Отношения ассоциации, следования и эквивалентности, могут быть отображены в редакторе прямыми или пунктирными линиями или дугами обычной толщины, двойной толщины и спиральной линией соответственно.

Редактор позволяет осуществлять навигацию сдвигами графа в окне манипуляциями курсора мыши и изменением масштаба при помощи колёсика мыши. Пользователь как бы «планирует», снижаясь, над плоскостью графа. Пока масштаб крупный, пользователь ориентируется по конфигурациям узлов и рёбер. При большем увеличении пользователь получает возможность различать и учитывать метки при узлах.

При масштабе, достаточно крупном, чтобы без труда селективировать узлы и рёбра манипулятором (мышью), *Cytoscape* предоставляет возможность использовать метки (lables) – строки с рекомендуемой длиной не более 10 литер, возможно, с пробелами. То есть, метка – это аббревиатура или от одного до трёх коротких слов, желательна, воспринимаемых как мнемоника, понятная конкретному пользователю.

Однако, при всём своём широком спектре возможностей, редактор пока не позволяет удовлетворить потребности пользователя в работе с электронной библиотекой в полной мере. В процессе апробации работы с электронной библиотекой стала понятна необходимость удобного редактирования значения ячеек в таблице атрибутов, необходимость модульности, локализации обработки. Далее в работе предложено совершенствование интерфейса редактора.

Основные положения модификации интерфейса редактора

Предлагается доработать интерфейс редактора так, чтобы он

удовлетворял основным потребностям пользователя, описанным в [11]:

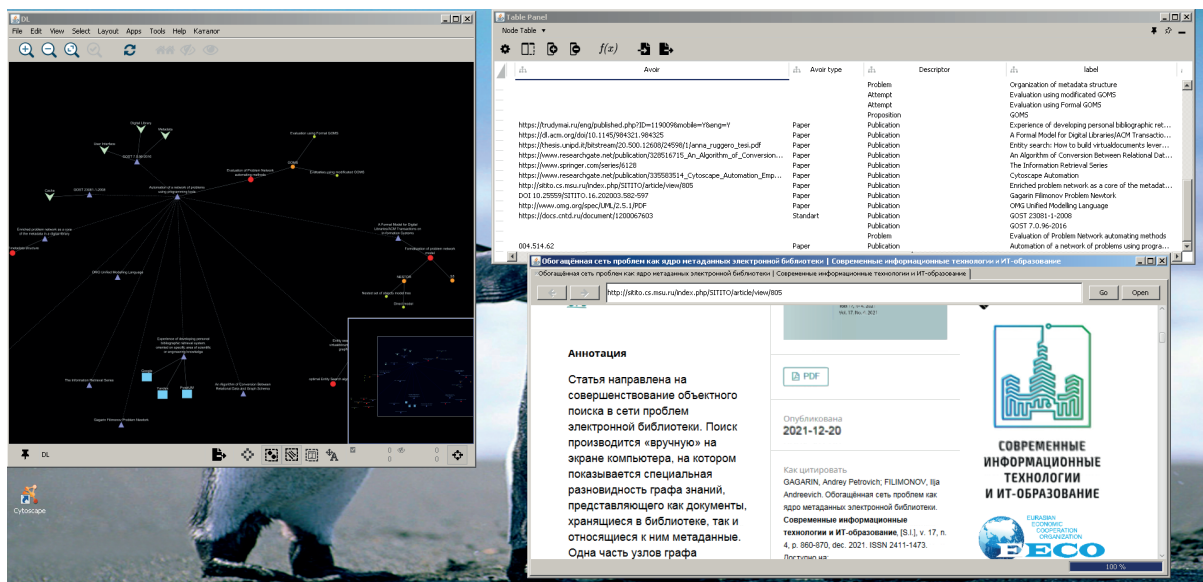
1. Представление оконного интерфейса в виде отдельных окон с возможностью их отображения на отдельных дисплеях или в аппаратной системе виртуальной реальности (VR) [19];
2. Совершенствование таблицы атрибутов в части автоматической адаптации текста под ширину ячейки таблицы;
3. Унификация представлений форм и цветов элементов сети проблем с возможностью применения стилей для любой другой подобной сети;
4. Организация временной среды в представлении редактора;
5. Представление возможности механизма вложенных ссылок-указателей (pointers) для перехода между разными сетями

Предлагаемая концепция интерфейса редактора сети проблем

Интерфейс редактора разлагается на три окна:

1. Окно графовой модели (на рис. 2 слева);
2. Окно таблицы атрибутов узлов (на рис. 2 справа сверху);
3. Окно браузера с содержимым публикации (на рис. 2 справа внизу).

Интерфейс представлен в виде трёх разных окон. Окна могут быть «передвинуты» в любую желаемую пользователем область рабочего стола. Размер окон может изменяться пользователем посредством наведения курсора мыши на угол окна и дальнейшим нажатием левой кнопки мыши, удерживанием её и перемещением курсора мыши до достижения пользователем желаемого размера окна. Вариант показан на рисунках ниже.



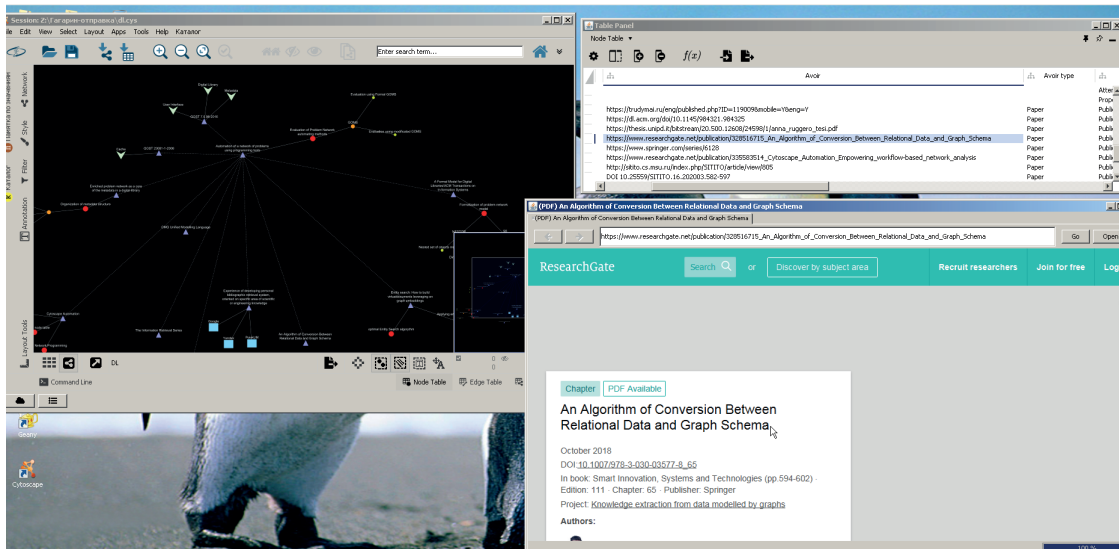
Р и с. 2. Вариант интерфейса редактора сети проблем с тремя отдельными окнами

Fig. 2. Variant of the problem network editor interface with three separate windows



Любое из окон может быть свёрнуто для удобства пользователя, если пользователь, например, намерен уделить внимание навигации по полю графа. Окно сворачивается нажатием кнопки «Свернуть». Свёрнутое окно, таким образом, остаётся доступным для вызова из панели задач (нижний левый угол экрана)

Вызов окна браузера (окна содержимого публикации) осуществляется из таблицы атрибутов, посредством нажатия ПКМ на ячейку-авуар, содержащую в себе URL-ссылку на публикацию, с последующим выбором пункта меню «Open in web browser». Результат открытия публикации показан на рис. 3.



Р и с. 3. Результат открытия публикации

Fig. 3. Post opening result

label	Ref	Specification	Title
Automation of a network of problems using programming tools		This article discusses proposals for automating the replenishment of structural elements of the network of problems in relation to the metadata of an electronic library that supports object search.	Digital library
Evaluation of Problem Network automating methods GOST 7.0.96-2016 GOST 23081-1-2008 OMG Unified Modelling Language Gagarin Filimonov Problem Network		DOCUMENT MANAGEMENT PROCESSES. METADATA FOR DOCUMENTS OMG Unified Modelling Language (OMG UML). Version 2.5.1. The report is aimed at developing technologies for accessing special-type document storages, the so-called "personalized archives".	National standart
Enriched problem network as a core of the metadata in a digital library		The article is aimed at improving the object search in the network of digital library problems. The search is performed "manually" on a computer screen, which shows a special kind of knowledge graph representing both the documents stored in the library and the metadata related to them.	
Cytoscape Automation The Information Retrieval Series		Empowering workflow-based network analysis Information Retrieval (IR) deals with access to and search in mostly unstructured information, in text, audio, and/or video, either from one large file or spread over separate and diverse sources, in static storage devices as well as on streaming data	
An Algorithm of Conversion Between Relational Data and Graph Schema		This paper presents an approach of modeling a relational data by graphs using a specific open source format named Graph Exchange XML Format	
Entity search: How to build virtualdocuments leveraging on graph embeddings		A new approach is proposed that exploits graph embedding techniques and clustering in order to create the documents necessary for the retrieval	
A Formal Model for Digital Libraries/ACM Transactions on Information Systems		This article is a study of the themes and issues concerning the annotation of digital contents, such as textual documents, images, and multimedia documents	
Experience of developing personal bibliographic retrieval system, oriented on specific area of GOMS		The article considers the experience of creating and examples of using a personal search bibliographic system based on a bank of scientific publications	
Evaluation using Formal GOMS		Make count of operations and calculating time	
Evaluation using modified GOMS		Formaliation of GOMS method using math language	
Organization of metadata structure		Modification of GOMS using subprograms Metadata organization over GOST	

Р и с. 4. Автоматизация подведения текста под ширину столбца

Fig. 4. Automation of text matching to column width



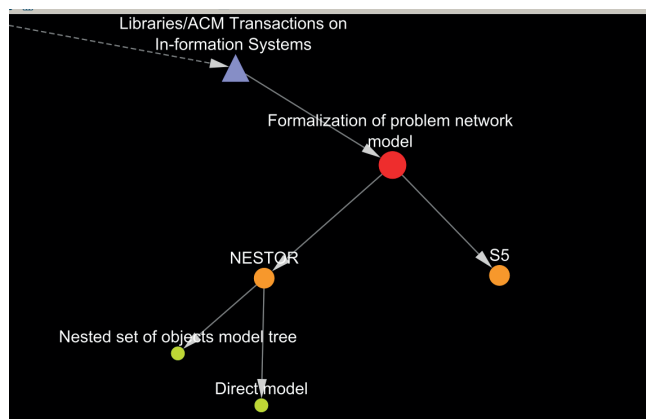
Таким образом, для работы с сетью проблем пользователю предоставляется возможность работать с тремя окнами. Аппаратные требования:

1. Монитор с диагональю экрана от 30" (76,2 см) разрешением экрана от 1920x1080 (минимум). Рекомендуется монитор с разрешением 3840x2160 пикселей (4k), диагональю экрана 31,5" (80 см), размером видимой области экрана 697.34 x 392.25 мм. На экране с меньшими размерами окна могут «накладываться» друг на друга.

2. Внешний видеоадаптер (PCI-express).

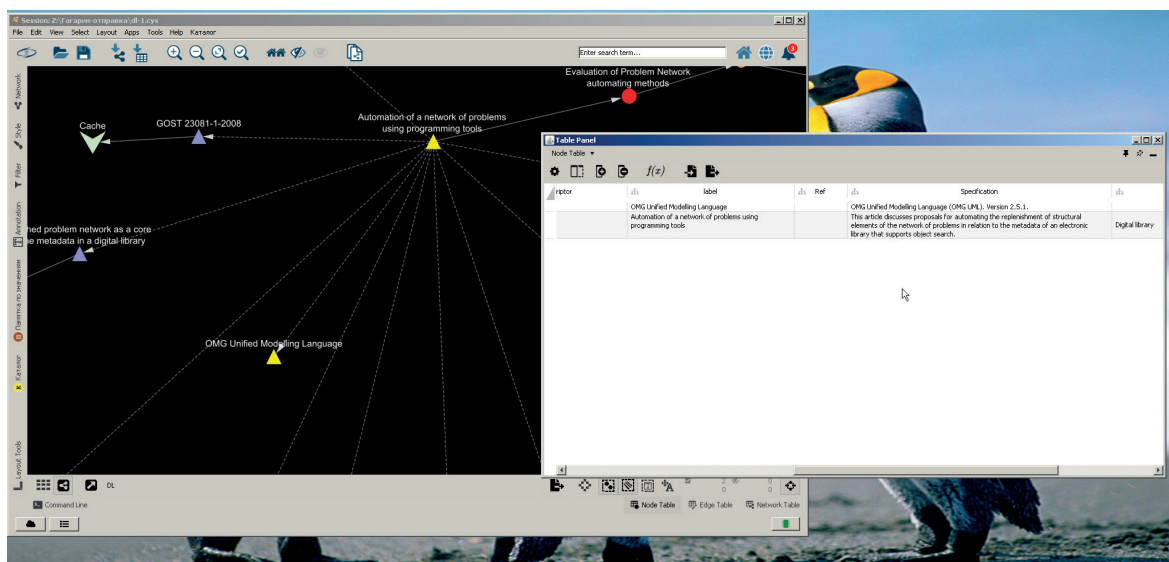
Автоматизация подведения текста под ширину столбца для удобства пользования таблицей атрибутов в редакторе графов. На рис. 4 показан сценарий автоматического подведения текста под ширину столбца. Данный подход позволяет обозревать содержимое таблицы атрибутов, не прибегая к наведению курсора мыши на ячейку в таблице и открытию всплывающей подсказки, что занимает дополнительное время при таком сценарии пользования библиотекой. Благодаря данному предложению возможно визуализировать текст произвольной длины в ячейке таблицы.

Автоматизация применения стилей узлов и рёбер в модели. Ориентация рёбер в графовой модели редактора. На языке разметки XML были запрограммированы формы и цвета узлов, а также ориентация рёбер в пространстве модели (рис. 5). Обстоятельная номенклатура и графическое представление объектов метаданных описано в [11]. В рамках концепции модели проблем автоматизация, созданная для одной сети, применима и для любой другой подобной сети.



Р и с. 5. Пример ориентации рёбер в окне графовой модели редактора
F i g. 5. Example of edge orientation in the graph model window of the editor

Временная среда. Нажатием и удерживанием клавиши «левый Ctrl» и нажатием вместе с этим ЛКМ по узлам, выбранные узлы селективируются и подсвечиваются жёлтым цветом (признак селективирования). Одновременно с этим, в таблице атрибутов «затемняются» строки невыбранных узлов и остаются только строки выбранных узлов. Таким образом, формируется временная среда, позволяющая сравнить ячейки выделенных узлов наглядно, без отвлечения внимания на общую громоздкую таблицу узлов. Формирование временной среды показано на рис. 6

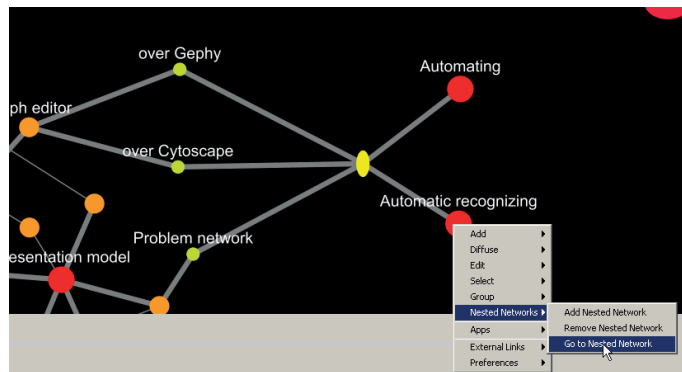


Р и с. 6. Временная среда
F i g. 6. Temporary environment

Принцип вложенных сетей. Вложенная сеть – это другая, внешняя сеть, на которую можно сделать указатель в качестве атрибута узла любой внутренней сети. Эта возможность позволяет создавать сетевые иерархии, а также круговые отношения. С помощью механизма можно создавать сколько угодно

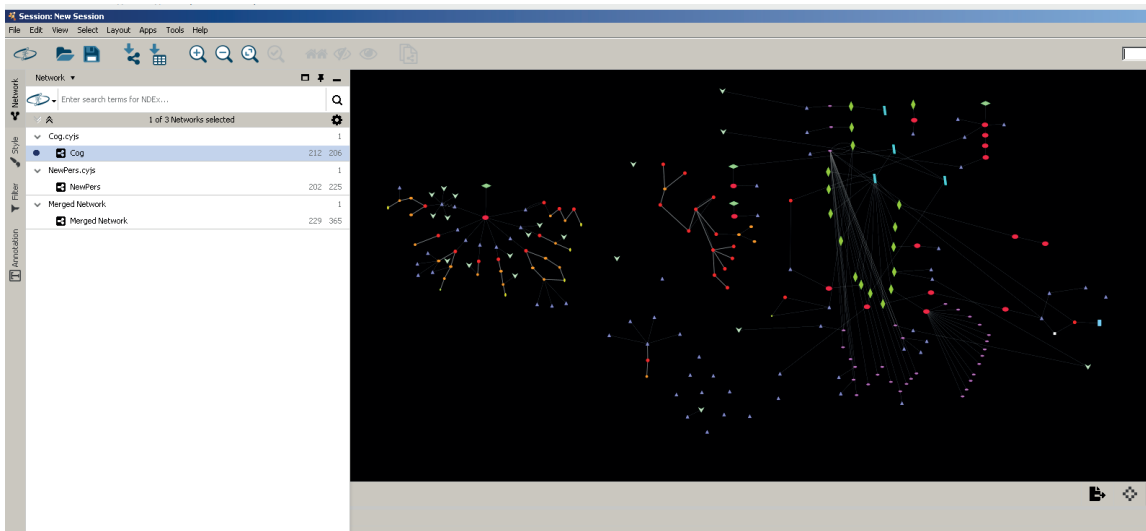
«мини-сетей» в рамках одной сессии, декомпозируя сеть на множество более простых сетей. И каждый узел «привязать» к любой внешней сети. На рис. 7 представлен сценарий перехода по указателю узла на внешнюю сеть.



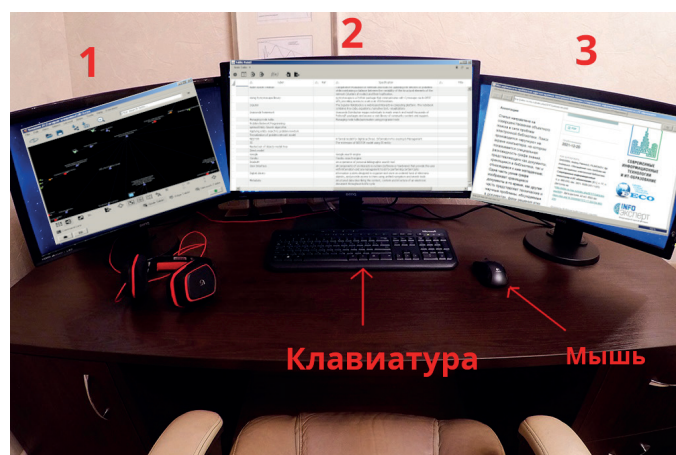


Р и с. 7. Переход по указателю во внешнюю сеть
 F i g. 7. Following the pointer to the external network

Результат перехода во внешнюю сеть представлен на рисунке 8.



Р и с. 8. результат перехода во внешнюю сеть
 F i g. 8. Result of transition to an external network



Р и с. 9. Программно-аппаратный комплекс интерфейса редактора сети проблем
 F i g. 9. Hardware-software complex of the problem network editor interface

Аппаратные предложения. Предлагается реализовать концепцию трёхколонного интерфейса:

1. Окно графовой модели (1)
2. Окно таблицы атрибутов узлов (2)
3. Окно браузера с содержимым публикации (3)

на аппаратной системе с тремя физическими мониторами разрешением экрана 3840x2160 пикселей (4k), диагональю экрана 31,5" (80 см), размером видимой области экрана 697.34 x 392.25 мм каждый. Три физических монитора подключены к одной внешней видеокарте (на примере NVIDIA GeForce GTX 1060) на стационарной ЭВМ и объединены в единый логический рабочий стол под управлением ОС Windows (или UNIX).

Предлагаемая схема изображена на рис. 9.

Такое аппаратное предложение позволит пользователю одновременно работать с тремя окнами редактора (каждое окно на каждом физическом мониторе, объединенные в один логический рабочий стол ОС), при этом не тратя время на постоянное «сворачивание-сужение-расширение» окон редактора. Так, окно (1) на первом физическом мониторе позволяет пользователю осуществлять навигацию по графовой модели, одновременно с этим глаза пользователя могут быть обращены на окно (2), где пользователь видит таблицу атрибутов (на полном экране), что удобно для навигации по таблице и её редактированию, а в окне (3) на третьем мониторе пользова-

тель видит текущую открытую им публикацию. Предлагаемое аппаратное предложение может также быть реализовано в системе виртуальной реальности с VR-шлемом.

Оценка

Для демонстрации обоснованности выдвинутых предложений по модификации пользовательского интерфейса редактора, была проведена количественная оценка временных трудозатрат для типовых сценариев работы с электронной библиотекой при работе с оригинальным интерфейсом редактора Cytoscape и предложенной модификацией. В качестве методики оценки пользовательских интерфейсов была выбрана методология GOMS [20-22], основанная на депонировании работы с интерфейсом на элементарные операции и правила селектирования [23, 24], образующие методы для достижения целей, получившая признание и применение в области оценки графических интерфейсов.

В таблице 2 приведена сравнительная оценка временных и количественных трудозатрат. Обстоятельная формализация, представление методологии в теоретико-множественном стиле и алгоритмы оценки пользовательского интерфейса на примере автоматизации работы с электронной библиотекой проведены автором в отдельном исследовании и приведены в [25].

Т а б л и ц а 2. Сравнительная оценка временных и количественных трудозатрат
Table 2. Comparative evaluation of time and quantitative labor costs

	Оригинальный интерфейс Cytoscape		Предложенная модификация	
	Кол-во операций (n)	Время (сек)	Кол-во операций (n)	Время (сек)
Обращение к таблице атрибутов узла	5	7,02 сек	3	3,65 сек
Открытие документа	7	10,76 сек	4	5,43 сек
Выбор сетевого кластера	12	8,64 сек	7	4,43 сек
Редактирование атрибута узла	10	30,54 сек	5	15,87 сек
Ввод узла в сеть	7	10,03 сек	5	6,78 сек

Из таблицы видно, что время выполнения и количество элементарных операций, требуемых для выполнения основных сценариев работы с электронной библиотекой меньше при использовании предложенной модификации интерфейса.

Заключение

Редакторы графов, хорошо зарекомендовавшие себя для отображения биологических и медицинских исследований, при условии модификации их интерфейса, пригодны для использования научно-техническими сотрудниками в сфере рефери-

рования, просмотра содержимого и администрирования сетей метаанных электронных библиотек. Предложена концепция модификации интерфейса электронной библиотеки на основе редактора Cytoscape. Представленная концепция качественно адаптирует программную среду под нужды научно-технических работников и расширяет возможности применения класса программных систем - редакторов графов на область работы с электронными библиотеками. Представленная сравнительная оценка временных и количественных трудозатрат демонстрирует оправданность модификации интерфейса.

Список использованных источников

- [1] Streams, Structures, Spaces, Scenarios, Societies (5S): A Formal Model for Digital Libraries / M. A. Gonçalves, E. A. Fox, L. T. Watson, N. A. Kipp // ACM Transactions on Information Systems. 2004. Vol. 22, no. 2. P. 270-312. doi: <https://doi.org/10.1145/984321.984325>
- [2] Ferro N., Silvello, G. NESTOR: A formal model for digital archives // Information Processing & Management. 2013. Vol. 49, issue 6. P. 1206-1240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2013.05.001>
- [3] Färber M. The Microsoft Academic Knowledge Graph: A Linked Data Source with 8 Billion Triples of Scholarly Data // The Semantic Web – ISWC 2019. ISWC 2019. Lecture Notes in Computer Science ; ed. by C. Ghidini, O. Hartig [и др.]. Vol. 11779. Cham : Springer, 2019. P. 113-129. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30796-7_8



- [4] Гагарин А. П., Филимонов И. А. Сеть проблем как вход в архив документов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2020. Т. 16, № 3. С. 582-597. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202003.582-597>
- [5] Филимонов И. А. Опыт создания персональной поисковой библиографической системы, ориентированной на конкретную область научных или инженерных знаний // Труды МАИ. 2020. № 114. С. 15. doi: <https://doi.org/10.34759/trd-2020-114-16>
- [6] Devezas J. Graph-based entity-oriented search // ACM SIGIR Forum. 2021. Vol. 55, no. 1. Article number: 15. doi: <https://doi.org/10.1145/3476415.3476430>
- [7] CiteSeerX: AI in a Digital Library Search Engine / J. Wu [и др.] // AI Magazine. 2015. Vol. 36, issue 3. P. 35-48. doi: <https://doi.org/10.1609/aimag.v36i3.2601>
- [8] Balog K. Entity-Oriented Search. The Information Retrieval Series. Vol. 39. Cham : Springer, 2018. 351 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93935-3>
- [9] Cognitive Network Science: A Review of Research on Cognition through the Lens of Network Representations, Processes, and Dynamics / C. S. Q. Siew [и др.] // Complexity. 2019. Vol. 2019. Article number: 2108423. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/2108423>
- [10] The Cytoscape Automation app article collection / B. Demchak [и др.] // F1000 Research. 2018. Vol. 7. Article number: 800. doi: <https://doi.org/10.12688/f1000research.15355>
- [11] Гагарин А. П., Филимонов И. А. Обогащенная сеть проблем как ядро метаданных электронной библиотеки // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. Т. 17, № 4. С. 860-870. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202104.860-870>
- [12] The Document Components Ontology (Do-CO) / A. Constantin [и др.] // Semantic Web. 2016. Vol. 7, issue 2. P. 167-181. doi: <https://doi.org/10.3233/SW-150177>
- [13] Graph Markup Language (GraphML) / U. Brandes, M. Eiglsperger, J. Lerner, C. Pich // Handbook of Graph Drawing and Visualization ; ed. by R. Tamassia. 1st. ed. New York : Chapman and Hall/CRC, 2013. P. 517-541. doi: <https://doi.org/10.1201/b15385-19>
- [14] Bokhare A., Metkewar P. S. Visualization and Interpretation of Gephi and Tableau: A Comparative Study // Advances in Electrical and Computer Technologies. ICAECT 2020. Lecture Notes in Electrical Engineering ; ed. by T. Sengodan, M. Murugappan, S. Misra. Vol. 711. Singapore : Springer, 2021. P. 11-23. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9019-1_2
- [15] Cytoscape Automation: empowering workflow-based network analysis / D. Otasek [и др.] // Genome Biology. 2019. Vol. 20, no. 1. Article number: 185. doi: <https://doi.org/10.1186/s13059-019-1758-4>
- [16] Cytoscape 2.8: new features for data integration and network visualization / M. E. Smoot [и др.] // Bioinformatics. 2011. Vol. 27, issue 3. P. 431-432. doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq675>
- [17] Mouden Z. A. E., Jakimi A., Hajar M. Algorithm of Conversion Between Relational Data and Graph Schema // Information Systems and Technologies to Support Learning. EMENA-ISTL 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies ; ed. by Á. Rocha, M. Serrhini. Vol. 111. Cham : Springer, 2019. P. 594-602. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03577-8_65
- [18] Zhu G., Iglesias C. A. Sematch: Semantic Entity Search from Knowledge Graph // CEUR Workshop Proceedings. 2016. Vol. 1556. Article number: 2. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-1556/paper2.pdf> (дата обращения: 10.08.2022).
- [19] Pavanatto L. Designing Augmented Reality Virtual Displays for Productivity Work // 2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). Bari, Italy : IEEE Computer Society, 2021. P. 459-460. doi: <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00107>
- [20] Jokinen J. P. P., Oulasvirta A., Howes A. Cognitive Modelling: From GOMS to Deep Reinforcement Learning // Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '22). New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2022. Article number: 121. P. 1-3. doi: <https://doi.org/10.1145/3491101.3503771>
- [21] Khaet F., Alfimtsev A. The extended model of goals, operators, methods and selection rules (GOMS) for gesture interfaces // Proceedings of the 13th Central & Eastern European Software Engineering Conference (CEE-SECR '17). New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2017. Article number: 8. doi: <https://doi.org/10.1145/3166094.3166102>
- [22] Beckert B., Beuster G. A Method for Formalizing, Analyzing, and Verifying Secure User Interfaces // Formal Methods and Software Engineering. ICFEM 2006. Lecture Notes in Computer Science ; ed. by Z. Liu, J. He. Vol. 4260. Berlin, Heidelberg : Springer, 2006. P. 55-73. doi: https://doi.org/10.1007/11901433_4
- [23] Kalpanadevi D. Building an Optimal Model of Cognitive Using KLM and Complexity Theory in Human Computer Interface // 2021 5th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). Coimbatore, India : IEEE Computer Society, 2021. P. 896-903. doi: <https://doi.org/10.1109/ICECA52323.2021.9675914>
- [24] Mishra W., Chowdhury A., Dhar D. Optimizing Operation Research Strategy for Design Intervention: A Framework for GOMS Selection Rule // Research into Design for Communities. Vol. 1. ICORD 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies ; ed. by A. Chakrabarti, D. Chakrabarti. Vol. 65. Singapore : Springer, 2017. P. 61-70. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-3518-0_6
- [25] Филимонов И. А. Автоматизация администрирования метаданных электронных библиотек, поддерживающих объектный поиск // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2022. Т. 19, № 11. С. 52-65. doi: <https://doi.org/10.14489/vkit.2022.11.pp.052-065>

Поступила 10.08.2022; одобрена после рецензирования 16.10.2022; принята к публикации 17.11.2022.



Об авторе:

Филимонов Илья Андреевич, аспирант кафедры вычислительных машин, систем и сетей Института № 3 «Системы управления, информатика и электроэнергетика», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (125993, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2307-0453>, ilafilimonov@mai.edu

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Gonçalves M.A., Fox E.A., Watson L.T., Kipp N.A. Streams, structures, spaces, scenarios, societies (5s): A formal model for digital libraries. *ACM Transactions on Information Systems*. 2004;22(2):270-312. doi: <https://doi.org/10.1145/984321.984325>
- [2] Ferro N., Silvello G. NESTOR: A formal model for digital archives. *Information Processing & Management*. 2013;49(6):1206-1240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2013.05.001>
- [3] Färber M. The Microsoft Academic Knowledge Graph: A Linked Data Source with 8 Billion Triples of Scholarly Data. In: Ghidini C., Hartig O., et al. (eds.) *The Semantic Web – ISWC 2019*. ISWC 2019. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 11779. Cham: Springer; 2019. p. 113-129. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30796-7_8
- [4] Gagarin A.P., Filimonov I.A. Problem Network as Access Gate into a Document Repository. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2020;16(3):582-597. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202003.582-597>
- [5] Filimonov I. Experience of developing personal bibliographic retrieval system, oriented on specific area of scientific or engineering knowledge. *Trudy MAI*. 2020;(114):15. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.34759/trd-2020-114-16>
- [6] Devezas J. Graph-based entity-oriented search. *ACM SIGIR Forum*. 2021;55(1):15. doi: <https://doi.org/10.1145/3476415.3476430>
- [7] Wu J., Williams K.M., Chen H.-H., Khabisa M., Caragea C., Tuarob S., Ororbia A.G., Jordan D., Mitra P., Giles C.L. CiteSeerX: AI in a Digital Library Search Engine. *AI Magazine*. 2015;36(3):35-48. doi: <https://doi.org/10.1609/aimag.v36i3.2601>
- [8] Balog K. Entity-Oriented Search. *The Information Retrieval Series*. Vol. 39. Cham: Springer; 2018. 351 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93935-3>
- [9] Siew C.S.Q., Wulff D.U., Beckage N.M., Kenett Y.N. Cognitive Network Science: A Review of Research on Cognition through the Lens of Network Representations, Processes, and Dynamics. *Complexity*. 2019;2019:2108423. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/2108423>
- [10] Demchak B., Otasek D., Pico A.R., Bader G.D., Ono K., Settle B., Sage E., Morris J.H., Longabaugh W., Lopes C., Kucera M., Treister A., Schwikowski B., Molenaar P., Ideker T. The Cytoscape Automation app article collection. *F1000 Research*. 2018;7:800. doi: <https://doi.org/10.12688/f1000research.15355.1>
- [11] Gagarin A.P., Filimonov I.A. Enriched Problem Network as a Core of the Metadata in a Digital Library. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021;17(4):860-870. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202104.860-870>
- [12] Constantin A., Peroni S., Pettifer S., Shotton D., Vitali F. The Document Components Ontology (Do-CO). *Semantic Web*. 2016;7(2):167-181. doi: <https://doi.org/10.3233/SW-150177>
- [13] Brandes U., Eiglsperger M., Lerner J., Pich C. Graph Markup Language (GraphML). In: Tamassia R. (ed.) *Handbook of Graph Drawing and Visualization*. 1st. ed. New York: Chapman and Hall/CRC; 2013. p. 517-541. doi: <https://doi.org/10.1201/b15385-19>
- [14] Bokhare A., Metkewar P.S. Visualization and Interpretation of Gephi and Tableau: A Comparative Study. In: Sengodan T., Murugappan M., Misra S. (eds.) *Advances in Electrical and Computer Technologies*. ICAECT 2020. Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 711. Singapore: Springer; 2021. p. 11-23. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-9019-1_2
- [15] Otasek D., Morris J.H., Bouças J., Pico A.R., Demchak B. Cytoscape Automation: empowering workflow-based network analysis. *Genome Biology*. 2019;20(1):185. doi: <https://doi.org/10.1186/s13059-019-1758-4>
- [16] Smoot M.E., Ono K., Ruscheinski J., Wang P.-L., Ideker T. Cytoscape 2.8: new features for data integration and network visualization. *Bioinformatics*. 2011;27(3):431-432. doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq675>
- [17] Mouden Z.A.E., Jakimi A., Hajar M. Algorithm of Conversion Between Relational Data and Graph Schema. In: Rocha Á., Serrhini M. (eds.) *Information Systems and Technologies to Support Learning*. EMENA-ISTL 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies. Vol. 111. Cham: Springer; 2019. p. 594-602. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03577-8_65
- [18] Zhu G., Iglesias C.A. Sematch: Semantic Entity Search from Knowledge Graph. *CEUR Workshop Proceedings*. 2016;1556:2. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-1556/paper2.pdf> (accessed 10.08.2022).
- [19] Pavanatto L. Designing Augmented Reality Virtual Displays for Productivity Work. In: 2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). Bari, Italy: IEEE Computer Society; 2021. p. 459-460. doi: <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00107>
- [20] Jokinen J.P.P., Oulasvirta A., Howes A. Cognitive Modelling: From GOMS to Deep Reinforcement Learning. In: *Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '22)*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery; 2022. Article number: 121. p. 1-3. doi: <https://doi.org/10.1145/3491101.3503771>
- [21] Khaet F., Alfimtsev A. The extended model of goals, operators, methods and selection rules (GOMS) for gesture interfaces. In: *Proceedings of the 13th Central & Eastern European Software Engineering Conference in Russia (CEE-SECR '17)*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery; 2017. Article number: 8. doi: <https://doi.org/10.1145/3166094.3166102>



- [22] Beckert B., Beuster G. A Method for Formalizing, Analyzing, and Verifying Secure User Interfaces. In: Liu Z., He J. (eds.) Formal Methods and Software Engineering. ICFEM 2006. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4260. Berlin, Heidelberg: Springer; 2006. p. 55-73. doi: https://doi.org/10.1007/11901433_4
- [23] Kalpanadevi D. Building an Optimal Model of Cognitive Using KLM and Complexity Theory in Human Computer Interface. In: 2021 5th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). Coimbatore, India: IEEE Computer Society; 2021. p. 896-903. doi: <https://doi.org/10.1109/ICECA52323.2021.9675914>
- [24] Mishra W., Chowdhury A., Dhar D. Optimizing Operation Research Strategy for Design Intervention: A Framework for GOMS Selection Rule. In: Chakrabarti A., Chakrabarti D. (eds.) Research into Design for Communities. Vol. 1. ICoRD 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies. Vol. 65. Singapore: Springer; 2017. p. 61-70. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-3518-0_6
- [25] Filimonov I.A. Automation of a Network of Problems Using Programming Tools. *Herald of Computer and Information Technologies*. 2022;19(11):52-65. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.14489/vkit.2022.11.pp.052-065>

Submitted 10.08.2022; approved after reviewing 16.10.2022; accepted for publication 17.11.2022.

About the author:

Ilya A. Filimonov, Postgraduate Student of the Chair of Computers, Systems and Networks, Institute of Control Systems and Computer Science in Engineering, Moscow Aviation Institute (National Research University) (4 Volokolamskoe shosse, Moscow 125993, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2307-0453>, ilafilimonov@mai.education

The author has read and approved the final manuscript.

