



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-54-63>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.514, 004.822.2

ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

М. Е. САДОВСКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 25.07.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

Аннотация. Предложен подход к индивидуализации пользовательских интерфейсов на основе интеграции существующих онтологий в виде единой семантической модели. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности и удобства применения пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем. Рассмотрены руководства по использованию индивидуализации программного обеспечения для достижения максимально возможного уровня пригодности применения на основе стандарта ISO 9241-129:2010 и существующие онтологии для реализации индивидуализации. Разработана семантическая модель для обеспечения индивидуализации пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем. Модель применена в рамках интеллектуального диалогового ассистента Nika и является многократно используемым компонентом, применение которого позволяет снизить затраты на разработку интеллектуальных систем, требующих возможности индивидуализации пользовательского интерфейса.

Ключевые слова: пользовательский интерфейс, интеллектуальная система, индивидуализация, адаптивность, адаптация, онтология, база знаний, семантическая модель.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Садовский, М. Е. Индивидуализация пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем на основе семантической модели / М. Е. Садовский // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 3. С. 54–63. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-54-63>.

INDIVIDUALIZATION OF USER INTERFACES OF INTELLIGENT SYSTEMS BASED ON SEMANTIC MODEL

MIKHAIL E. SADOUSKI

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 25.07.2023

Abstract. The paper proposes an approach to the individualization of user interfaces based on the integration of existing ontologies in the form of a single semantic model. The relevance of the work is due to the need to improve the efficiency and usability of user interfaces of intelligent systems. Guidelines for applying software individualization to achieve the highest possible level of usability based on ISO 9241-129:2010 and existing ontologies for implementing individualization are reviewed. A semantic model is developed to provide individualization of user interfaces of ostis-systems. The model is implemented within the framework of the Nika intelligent dialog assistant and is a reusable component, the use of which allows to reduce the cost of development of intelligent systems that require user interface individualization possibility.

Keywords: user interface, intelligent system, individualization, adaptability, adaptation, ontology, knowledge base, semantic model.

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

For citation. Sadowski M. E. (2023) Individualization of User Interfaces of Intelligent Systems Based on Semantic Model. *Digital Transformation*. 29 (3), 54–63. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-54-63> (in Russian).

Введение

Современная цифровизация человеческой деятельности требует создания коллективов интеллектуальных систем, взаимодействующих как между собой, так и с людьми. Одним из ключевых требований, предъявляемых к интеллектуальным системам сегодня, является обеспечение высокого уровня интероперабельности [1]. Без эффективного взаимодействия невозможно создать такие проекты, как умная школа, умная больница, умный город и др. [2]. Повышение уровня интероперабельности подобных систем зависит, в том числе, от их способности к изменению в соответствии с индивидуальными возможностями и потребностями пользователей (индивидуализации). Индивидуализация может быть инициированной как пользователем (адаптируемость), так и системой (адаптивность).

Документы ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014¹ и ISO 9241-129:2010² содержат руководства по применению индивидуализации программного обеспечения для достижения максимально возможного уровня пригодности использования. Некоторые из этих принципов активно применяются при проектировании и разработке различных систем, например операционных, однако затруднено широкое применение всех принципов вместе в силу отсутствия единой технологической основы. В интеллектуальной системе индивидуализацию предпочтительно осуществлять на основе понимания знаний и навыков самой системы, других систем и пользователей, с которыми она взаимодействует. Понимание предполагает не только перевод поступающих в систему сообщений на внутренний язык, но и погружение новых знаний в семантическую модель интеллектуальной системы.

Цель исследований автора – построение семантической модели, позволяющей гарантировать совместимость интеллектуальных систем в аспекте индивидуализации пользовательских интерфейсов.

Уровни индивидуализации

В рамках указанных выше стандартов выделяют следующие уровни индивидуализации:

1) простая – на этом уровне выполняется фиксированное изменение в выводе, основанное и инициированное посредством ввода и/или любых изменений в параметрах системы, обусловленных вводом. Результирующее изменение всегда предсказуемо. Простая индивидуализация, инициированная системой, возможна без хранения системой любой информации об условиях;

2) саморегулирующаяся – на этом уровне выполняется изменение в выводе, зависящее от анализа хранимой информации об условиях и/или истории взаимодействия, после ее инициирования путем ввода и/или любых изменений в параметрах системы или контексте, вызванных вводом. Саморегулирующаяся индивидуализация означает, что система со временем «узнает», какие изменения, вероятнее всего, будут наиболее успешными. Саморегулирующаяся индивидуализация обычно использует хранимую задачу, систему, данные и динамическую информацию об условиях;

3) самопосредничающая – на этом уровне используются модель пользователя и/или среды для оценки альтернативных возможных изменений до или после осуществления запуска путем ввода и/или любых изменений в параметрах настройки системы или условиях, вызванных вводом. Самопосредничающая индивидуализация обычно использует сохраненную информацию о пользователе, окружающей среде, задаче, системе, данных и динамических условиях;

4) самомодифицирующаяся – этот уровень включает в себя рассуждение системы об условиях ее использования и проактивное изменение своих внутренних правил соответствующим образом.

¹ Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 129. Руководство по индивидуализации программного обеспечения: ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014. М.: Стандартинформ, 2015. 40 с.

² Ergonomics of Human-System Interaction – Part 129: Guidance on Software Individualization: ISO 9241-129:2010. 51 p.

Таким образом, для поддержки всех уровней индивидуализации интеллектуальная система должна хранить:

- модель пользователя;
- модель задач пользователя;
- модель окружающей среды;
- модель системы;
- модель динамических характеристик использования.

Модель пользователя должна включать знания, навыки, стили обучения и способности пользователя; его интересы, предпочтения, мотивации; гибкость и способность адаптироваться и изучать. В модель задач пользователя должны входить предусловия и постусловия задач; взаимоотношения между задачами и пользователями; задача должна выполняться индивидуально или коллективно. Модель окружающей среды должна содержать знания о физической, социальной и технической средах, взаимоотношения между средами и пользователями. Модель системы должна состоять из структуры системы, функций системы, компонентов интерфейса пользователя, параметров конфигурации. Модель динамических характеристик использования должна включать:

- текущее местоположение в системе и/или в информационном пространстве;
- историю перемещений по системе и действий в системе;
- частоту, временные характеристики и формы взаимодействия с компонентами системы;
- частоту, временные характеристики и формы использования ошибок;
- взаимоотношения между использованием и пользователями.

Онтологический подход

Для обеспечения индивидуализации приведенные выше модели должны храниться в интеллектуальной системе в едином унифицированном виде. Сегодня одним из наиболее эффективных подходов к созданию такой общей модели является онтологический подход, который предполагает разработку модели в виде онтологии [3]. Применение онтологического подхода позволяет:

- создать подробное и полное описание всех аспектов индивидуализации;
- упростить процесс расширения и уточнения модели в последующем;
- упростить возможность повторного использования модели в любых интеллектуальных системах.

Среди уже существующих онтологий модели пользователя можно выделить онтологии GUMO [4], LUMO³ и онтологию, предложенную в [5]. Эти онтологии содержат понятия и отношения, позволяющие описывать интересы, предпочтения, навыки пользователя, а также его физиологическое, психическое, эмоциональное состояние и личностные качества. Онтология пользовательских задач и действий представлена в [6], онтология модели окружающей среды – в [7], и она позволяет представлять устройства пользователя. Онтология компонентов пользовательского интерфейса рассмотрена в [8–10]. ГОСТ Р ИСО 9241-161–2016⁴ также описывает элементы управления пользовательских интерфейсов. Онтология модели динамических характеристик использования приведена в [11, 12].

Онтологии физической и социальной среды, структуры и функций системы найти в открытых научных источниках не удалось. Однако все перечисленные онтологии предлагается использовать в качестве основы для построения единой семантической модели для индивидуализации пользовательских интерфейсов.

Предлагаемый подход

Для обеспечения семантической совместимости интеллектуальных систем в аспекте индивидуализации пользовательских интерфейсов все рассмотренные онтологии предлагается формализовать в интеллектуальных системах с помощью унифицированного языка представления знаний в виде семантической сети. Такой язык обеспечивает единый вариант кодирования информации любого рода с базовой теоретико-множественной интерпретацией [13] и предполагает

³ The Linked User Model Ontology (LUMO). Available: <https://github.com/linkedusermodelontology/lumo> (Accessed 11 July 2023).

⁴ Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 161. Элементы графического пользовательского интерфейса: ГОСТ Р ИСО 9241-161–2016. М.: Стандартинформ, 2016.

отсутствие омонимических знаков, которые в разных контекстах обозначают различные сущности, а также отсутствие синонимии, т. е. пар синонимичных знаков, обозначающих одну и ту же сущность [6].

Интероперабельная интеллектуальная система должна состоять из трех ключевых компонентов: базы знаний, решателя задач и интерфейса. Семантическая модель каждого из них основана на онтологическом подходе. Принципы построения семантических моделей баз знаний, решателей задач и пользовательских интерфейсов таких систем подробно рассмотрены в [3, 11, 14]. Пользовательский интерфейс представляет собой встраиваемую интеллектуальную систему, ориентированную на решение интерфейсных задач пользователя, которая состоит из базы знаний и решателя задач.

В проведенном исследовании семантическая модель пользовательского интерфейса была расширена для обеспечения всех уровней индивидуализации в соответствии с рассмотренными онтологиями при помощи средств редактирования Knowledge Base source Editor⁵ и онлайн-редактора базы знаний⁶. Также использовали средство поддержки проектирования интеллектуальных систем – метасистему OSTIS⁷.

Применение предложенного подхода

Применение полученной модели рассмотрим в рамках персонального диалогового ассистента Nika⁸. Возможность индивидуализации пользовательского интерфейса является важным свойством для данной системы и может быть инициирована как самим пользователем, так и системой на основе полученных в ходе диалога с пользователем знаний.

Разберем пример индивидуализации, инициированной пользователем. Пользователь будет изменять свойство «цвет» компонента «Основной блок» путем отправки сообщения «Измени цвет компонента основная часть на светло-фиолетовый» системе. Для применения такой индивидуализации семантическая модель системы должна содержать:

- классификацию компонентов пользовательского интерфейса;
- экземпляры компонентов пользовательского интерфейса с их свойствами. Для данного примера необходим компонент «Основной блок» со свойством «цвет» и компонент «Кнопка отправки сообщения»;
- классификацию интерфейсных действий пользователя. В рассматриваемом примере пользователь будет выполнять действие «одиночное нажатие» для компонента «Кнопка отправки сообщения»;
- классификацию сообщений пользователя («Сообщение об изменении цвета компонента»);
- классификацию информационных действий системы («действие ответа на сообщение», «действие классификации сообщения по теме»).

Рассмотрим фрагмент семантической модели с классификацией компонентов пользовательского интерфейса, визуальное представление которого приведено на рис. 1. Модель имеет теоретико-множественную интерпретацию, все узлы представляют множества, между которыми в рамках фрагмента задано отношение включения. Так, множество кнопок включается во множество компонентов пользовательского интерфейса. В рамках модели для именования множеств принято использовать единственное число, а также начинать название множеств со строчной буквы. Приведенная классификация используется системой для сопоставления сущности, заданной пользователем в диалоге, с компонентом пользовательского интерфейса.

Для пользовательского интерфейса каждой конкретной интеллектуальной системы указанные множества в модели расширяются конкретными экземплярами (элементами). На рис. 2 изображено визуальное представление семантической модели основных компонентов интерфейса системы Nika. Пользовательский интерфейс состоит из компонентов «Панель навигации» (расположена в верхней части страницы), «Панель отображения информации об авторских правах» (расположена в нижней части страницы) и «Основной блок» (расположен в центральной части страницы).

⁵ Knowledge Base source Editor. Available: <https://github.com/ostis-ai/kbe> (Accessed 20 June 2023).

⁶ SC-Web user interface. Available: <https://github.com/ostis-ai/sc-web> (Accessed 20 June 2023).

⁷ Intelligent MetaSystem. Available: <https://ims.ostis.net> (Accessed 20 June 2023).

⁸ Nika. Available: <https://github.com/ostis-apps/nika> (Accessed 11 July 2023).

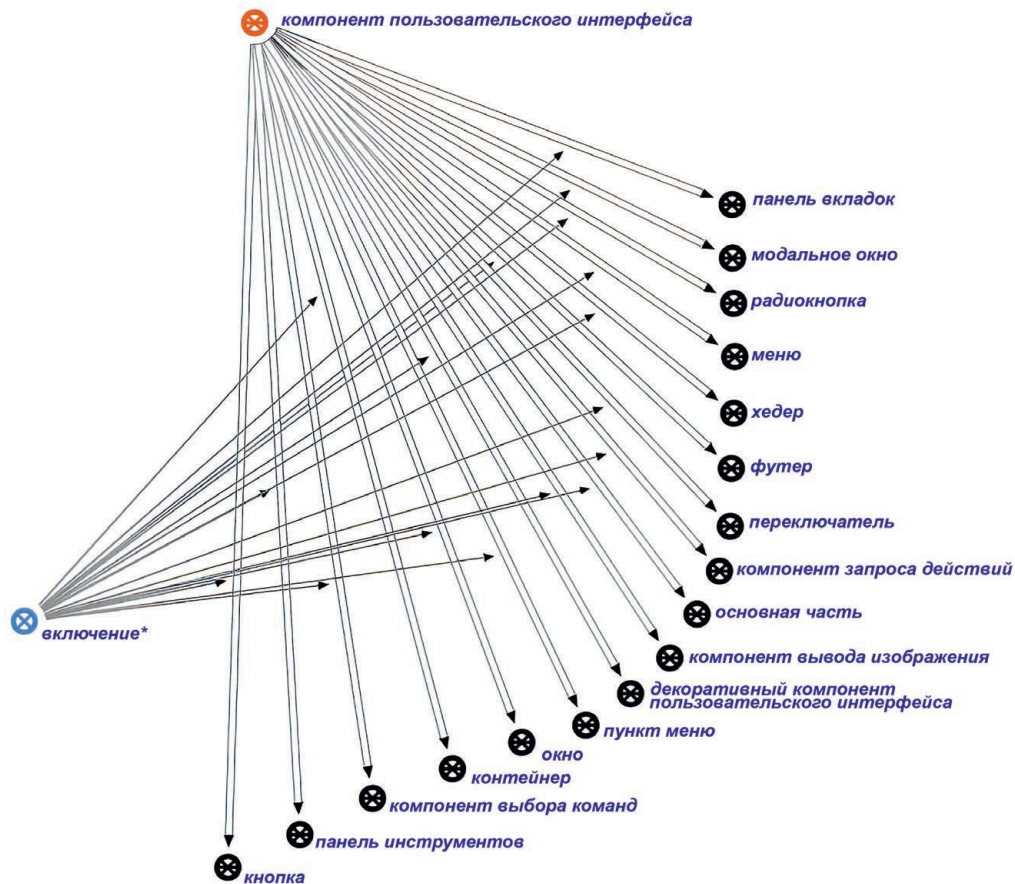


Рис. 1. Визуальное представление фрагмента семантической модели с классификацией компонентов пользовательского интерфейса

Fig. 1. Visual representation of a fragment of semantic model with classification of user interface components

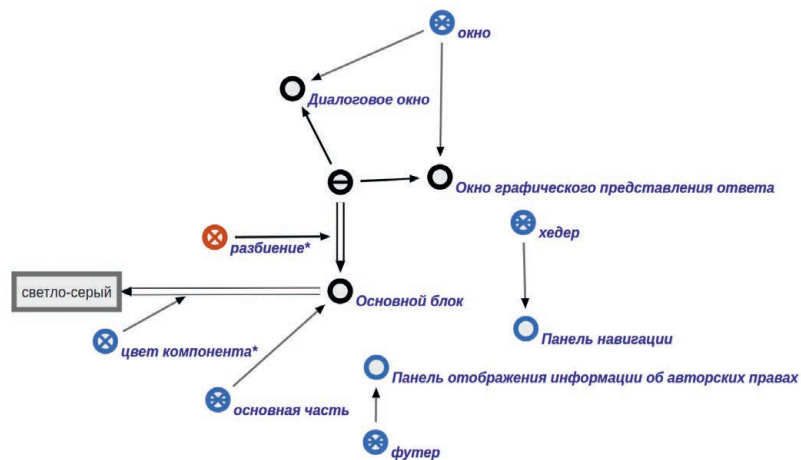


Рис. 2. Визуальное представление семантической модели основных компонентов пользовательского интерфейса системы Nika

Fig. 2. Visual representation of the semantic model of the main components of the Nika system user interface

«Основной блок», в свою очередь, состоит из компонента «Диалоговое окно» (слева) и «Окно графического представления ответа» (справа). Экземпляры компонентов пользовательского интерфейса в семантической модели именуются с заглавной буквы. Для каждого экземпляра компонента пользовательского интерфейса указывается его принадлежность множеству из классификации компонентов, которая была представлена на рис. 1. Так, «Панель навигации» принадлежит множеству «хедер», «Панель отображения информации об авторских правах» – множеству «фу-

тер», «Основной блок» – множеству «основная часть», «Диалоговое окно» и «Окно графического представления ответа» – множеству «окно». Бинарное отношение «цвет компонента» задает значение свойства «цвет» для компонента «Основной блок». На основе данной модели в сообщении пользователя «Измени цвет компонента основная часть на светло-фиолетовый» система определит «основная часть» в качестве класса компонента, цвет которого нужно изменить, а компонент «Основной блок» – как единственный экземпляр множества, свойство «цвет» которого необходимо изменить.

Классификация интерфейсных действий пользователя позволяет фиксировать историю пользовательских действий в интеллектуальной системе. Визуальное представление фрагмента семантической модели классов интерфейсных действий изображено на рис. 3. Множества действий связаны отношением включения. Экземпляры множеств указанных действий создаются системой в процессе взаимодействия с пользователем, для них также может указываться компонент пользовательского интерфейса, для которого действие было применено.

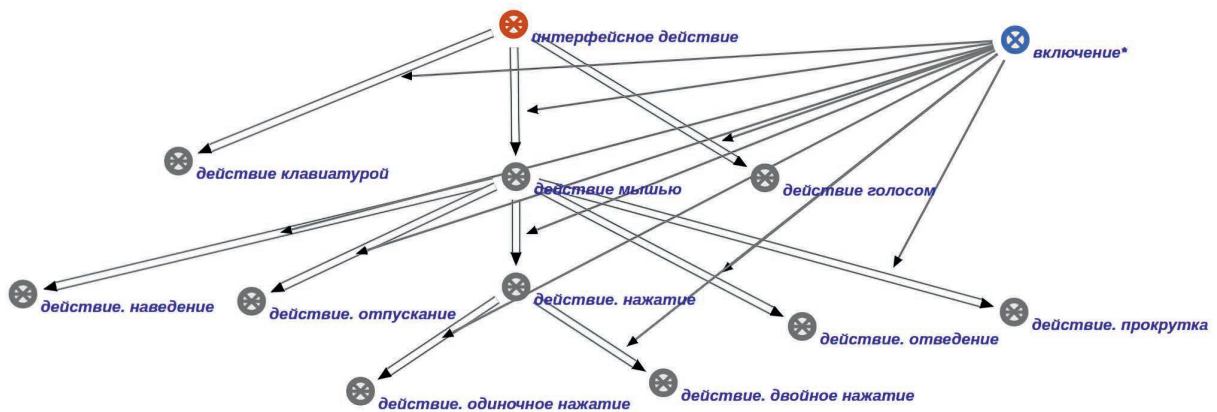


Рис. 3. Визуальное представление фрагмента семантической модели с классификацией интерфейсных действий пользователя

Fig. 3. Visual representation of a fragment of the semantic model with classification of user interface actions

Классификация сообщений пользователя обеспечивает возможность хранения истории диалога с пользователем. Экземпляр сообщения содержит текст сообщения, информацию об авторе и о выделенных из сообщения сущностях. Визуальное представление фрагмента семантической модели для сообщения «Измени цвет компонента основная часть на светло-фиолетовый» изображено на рис. 4.

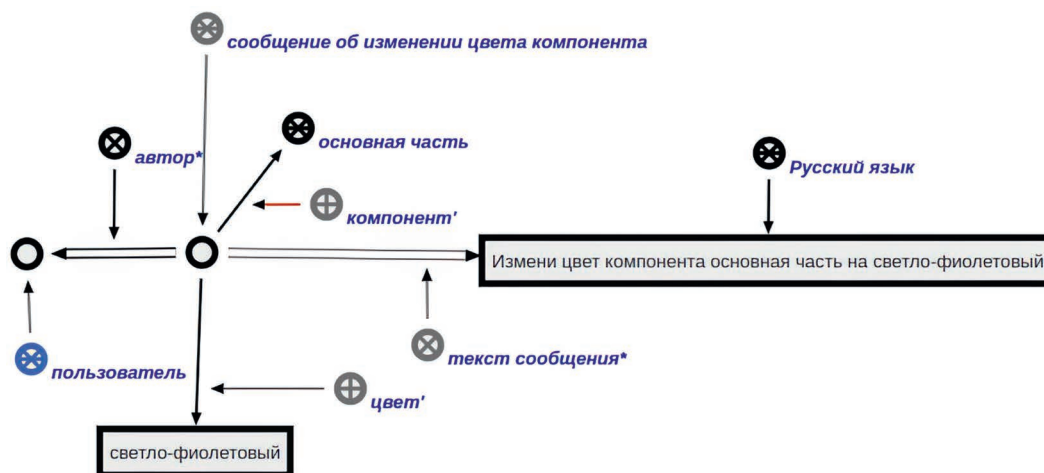


Рис. 4. Визуальное представление фрагмента семантической модели для сообщения «Измени цвет компонента основная часть на светло-фиолетовый»

Fig. 4. Visual representation of a fragment of the semantic model for the message “Change the color of the component main part to light purple”

Экземпляр сообщения принадлежит множеству сообщений об изменении цвета компонента. В качестве компонента и цвета для сообщения выделены компонент пользовательского интерфейса «основная часть» и цвет «светло-фиолетовый» соответственно.

Решатель задач интеллектуальной системы использует агентно-ориентированную модель обработки информации, агенты осуществляют обработку семантической модели системы и управляются ее текущим состоянием. Инициирование агентов происходит, в частности, при появлении в модели экземпляров информационных действий системы. Визуальное представление фрагмента семантической модели классов информационных действий изображено на рис. 5, а пример визуального представления экземпляра информационного действия показан на рис. 6. Экземпляр действия принадлежит множеству действий, инициированных действий, действий ответа на сообщение, успешно выполненных и выполненных действий, для него указаны текст сообщения и автор.



Рис. 5. Визуальное представление фрагмента семантической модели классов информационных действий
Fig. 5. Visual representation of a fragment of the semantic model of information action classes

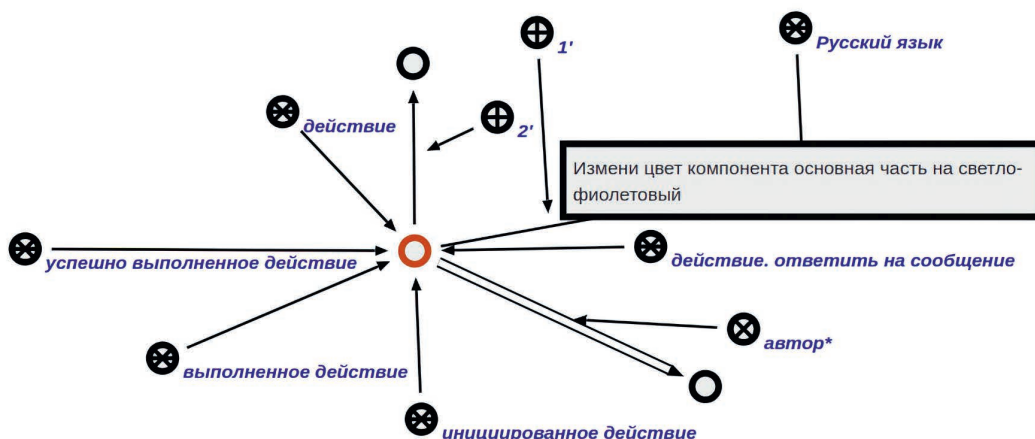


Рис. 6. Визуальное представление экземпляра информационного действия
Fig. 6. Visual representation of the information action instance

Компоненты пользовательского интерфейса, интерфейсные действия и информационные действия системы связываются отношением «иницируемое пользовательским интерфейсом действие» (рис. 7). Так, компонент пользовательского интерфейса «Кнопка отправки сообщения» принадлежит множеству кнопок, а при выполнении действия одиночного нажатия на него будет инициировано выполнение действия ответа на сообщение.

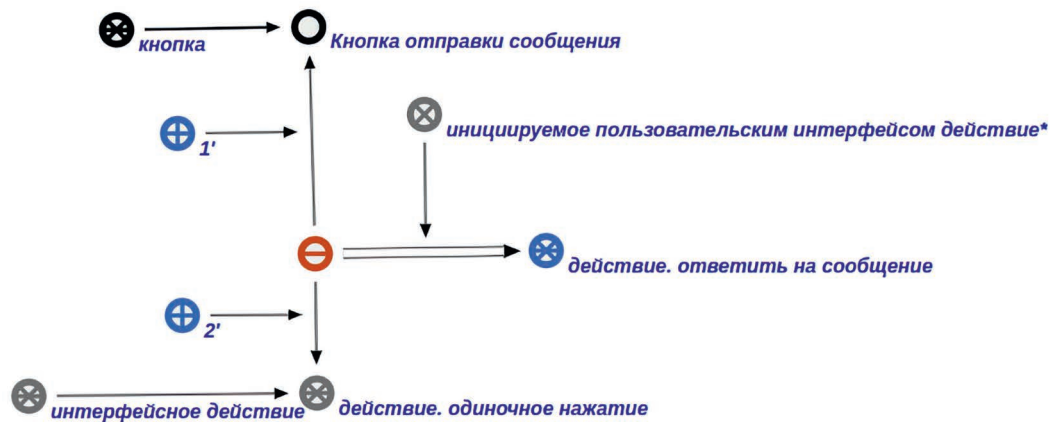


Рис. 7. Визуальное представление фрагмента семантической модели, описывающего взаимосвязь интерфейсного действия, информационного действия и компонента пользовательского интерфейса
Fig. 7. Visual representation of a fragment of the semantic model describing the relationship between an interface action, an information action and a user interface component

Всю последовательность обработки индивидуализации для заданного примера можно описать следующим образом:

- пользователь вводит текст сообщения «Измени цвет компонента основная часть на светло-фиолетовый» и выполняет одиночное нажатие мыши для компонента «Кнопка отправки сообщения»;
- в семантической модели системы создается экземпляр действия одиночного нажатия мыши для компонента «Кнопка отправки сообщения» и происходит инициирование информационного действия «действие. ответить на сообщение» (создается экземпляр указанного действия);
- в результате инициирования действия «действие. ответить на сообщение» агент ответа на сообщение инициирует действие классификации сообщения по теме в качестве первого этапа обработки;
- агент классификации сообщения по теме создает экземпляр сообщения об изменении цвета компонента с указанием компонента и цвета;
- агент ответа на сообщение инициирует действие изменения компонента интерфейса с указанным цветом в качестве второго этапа обработки;
- агент изменения компонента интерфейса модифицирует семантическую модель компонента в базе знаний системы;
- пользовательский интерфейс перестраивает отображение интерфейса для пользователя на основе модифицированной модели.

В результате применения индивидуализации цвет компонента изменяется на указанный пользователем, в базе знаний системы фиксируются все выполненные действия. Приведенный пример демонстрирует унифицированное представление модели пользователя, его действий и компонентов пользовательского интерфейса в базе знаний интеллектуальной системы.

Представленный подход позволяет легко интегрировать различные модели для индивидуализации пользовательского интерфейса, обеспечивает расширяемость и модифицируемость. Разработанная семантическая модель является многократно используемым компонентом и может быть применена в любой другой системе, где будет необходима поддержка индивидуализации пользовательского интерфейса.

Заключение

1. Рассмотрены существующие онтологии, в которых описываются основные понятия и отношения для индивидуализации. На их основе разработана семантическая модель, обеспечивающая смысловое представление информации в памяти интеллектуальных систем в виде унифицированных семантических сетей. Применение полученной модели было рассмотрено в рамках интеллектуального диалогового ассистента, индивидуализация пользовательского интерфейса

которого обеспечивалась за счет смыслового представления модели интерфейсных действий пользователя, информационных действий системы и компонентов пользовательского интерфейса в базе знаний системы.

2. На современном этапе развития технологий организация эффективного взаимодействия между пользователями и интеллектуальными компьютерными системами является одним из ключевых аспектов при проектировании программного обеспечения. Повышение уровня интероперабельности интеллектуальных систем зависит, в том числе, от их способности к индивидуализации – к изменению в соответствии с индивидуальными возможностями и потребностями пользователей.

3. Индивидуализацию необходимо осуществлять на основе модели, включающей всю необходимую для индивидуализации информацию, обеспечив при этом возможность постоянной актуализации такой модели в результате взаимодействия с пользователем.

Список литературы

1. Михневич, С. Ю. Эволюция понятия интероперабельности открытых информационных систем / С. Ю. Михневич, А. А. Тежар // *Цифровая трансформация*. 2023. Т. 29, № 2. С. 60–66. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-60-66>.
2. Головенчик, Г. Г. Цифровые технологии – ключевой драйвер развития умных городов: анализ мировых рейтингов / Г. Г. Головенчик // *Цифровая трансформация*. 2022. Т. 28, № 1. С. 5–19. <https://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-5-19>.
3. Davydenko, I. Semantic Models, Methods and Tools of Knowledge Bases Coordinated Development Based on Reusable Components / I. Davydenko // *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2018)*: матер. Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 15–17 февр. 2018 г.; редкол. В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. Минск: Белор. госуд. ун-т информ. и радиоэлектр., 2018. С. 99–118.
4. GUMO – the General User Model Ontology / D. Heckmann [et al.] // *User Modeling*, 2005. 3538 p. DOI: 10.1007/11527886_58.
5. Maalej, M. Ontology-Based User Model for Personalized Search in a Social Network / M. Maalej, A. Mtibaa, F. Gargouri // *Research in Computing Science*. 2018. Vol. 147, No 10. P. 87–106. DOI: 10.13053/rcs-147-10-8.
6. Технологии комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / Под общ. ред. В. В. Голенкова. Минск: Бестпринт, 2023. 1964 с.
7. Integrated Model-Driven Development of Self-Adaptive User Interfaces / E. Yigitbas [et al.] // *Software and Systems Modeling*. 2020. No 19. P. 1057–1081. DOI: 10.1007/s10270-020-00777-7.
8. Sadowski, M. Semantic-Based Design of an Adaptive User Interface / M. Sadowski // *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2021)*. Communications in Computer and Information Science. 2022. Vol. 1625. P. 165–191. DOI: 10.1007/978-3-031-15882-7_10.
9. Грибова, В. В. Модель онтологии предметной области «Графический пользовательский интерфейс» / В. В. Грибова, А. В. Тарасов // *Информатика и системы управления*. 2005. № 1. С. 80–90.
10. Silva, T. A Formal Ontology for Describing Interactive Behaviors and Supporting Automated Testing on User Interfaces / T. Silva, J. Hak, M. Winckler // *International Journal of Semantic Computing*. 2017. No 11. P. 513–539. DOI: 10.1142/S1793351X17400219.
11. Sadowski, M. The Structure of Next-Generation Intelligent Computer System Interfaces / M. Sadowski // *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2022)*: сб. науч. тр.; редкол. В. В. Голенков [и др.]. Минск: Белор. госуд. ун-т информ. и радиоэлектр., 2022. Вып. 6. С. 199–208.
12. Сытник, А. А. Онтология предметной области «Удобство использования программного обеспечения» / А. А. Сытник, Т. Э. Шульга, Н. А. Данилов // *Труды Института системного программирования РАН*. 2018. Т. 30, № 2. С. 195–214. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2018-30\(2\)-10](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2018-30(2)-10).
13. Голенков, В. В. Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Ч. 1. Принципы создания / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина // *Онтология проектирования*. 2014. Т. 11, № 1. С. 42–64.
14. From Training Intelligent Systems to Training their Development Tools / V. V. Golenkov [et al.] // *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2018)*: матер. Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 15–17 февр. 2018 г.; редкол. В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. Минск: Белор. госуд. ун-т информ. и радиоэлектр., 2018. С. 81–98.

References

1. Mikhnevich S. Yu., Tsezhar A. A. (2023) Evolution of the Concept of Interoperability of Open Information Systems. *Digital Transformation*. 29 (2), 60–66. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-60-66> (in Russian).

2. Goloventchik G. G. (2022) Digital Technologies are a Key Driver of the Development of Smart Cities: Analysis of World Rankings. *Digital Transformation*. 28 (1), 5–19. <https://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-5-19> (in Russian).
3. Davydenko I. (2018) Semantic Models, Methods and Tools of Knowledge Bases Coordinated Development Based on Reusable Components. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2018)*. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Minsk, Febr. 15–17. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 99–118.
4. Heckmann D., Schwartz T., Brandherm B., Schmitz M., von Wilamowitz-Moellendorff M. (2005) GUMO – the General User Model Ontology. *User Modeling*. 3538. DOI: 10.1007/11527886_58.
5. Maalej M., Mtibaa A., Gargouri F. (2018) Ontology-Based User Model for Personalized Search in a Social Network. *Research in Computing Science*. 147 (10), 87–106. DOI: 10.13053/rcs-147-10-8.
6. Golenkov V. (2023) *Technology for Comprehensive Life Cycle Support of Semantically Compatible, Next-Generation Intelligent Computer Systems*. Minsk, Bestprint Publ. 1064 (in Russian).
7. Yigitbas E., Jovanovikj I., Biermeier K., Sauer S., Engels G. (2020) Integrated Model-Driven Development of Self-Adaptive User Interfaces. *Software and Systems Modeling*. (19), 1057–1081. DOI: 10.1007/s10270-020-00777-7.
8. Sadowski M. (2022) Semantic-Based Design of an Adaptive User Interface. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2021)*. *Communications in Computer and Information Science*. 1625, 165–191. DOI: 10.1007/978-3-031-15882-7_10.
9. Gribova V. V., Tarasov A. V. (2005) Model of Ontology of the Subject Area “Graphical User Interface”. *Informatics and Control Systems*. (1), 80–90 (in Russian).
10. Silva T., Hak J., Winckler M. (2017) A Formal Ontology for Describing Interactive Behaviors and Supporting Automated Testing on User Interfaces. *International Journal of Semantic Computing*. (11), 513–539. DOI: 10.1142/S1793351X17400219.
11. Sadowski M. (2022) The Structure of Next-Generation Intelligent Computer System Interfaces. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2022)*. *Collection of Scientific Papers*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 6, 199–208.
12. Sytnik A. A., Shulga T. E., Danilov N. A. (2018) Ontology of the “Software Usability” Domain. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS*. 30 (2), 195–214. [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2018-30\(2\)-10](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2018-30(2)-10) (in Russian).
13. Golenkov V. V., Guliakina N. A. (2014) An open Semantic Technology Project for Component-Based Design of Intelligent Systems. Part 1: Principles of creation. *Design Ontology*. 11 (1), 42–64 (in Russian).
14. Golenkov V. V. et al. (2018) From Training Intelligent Systems to Training their Development Tools. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2018)*. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Minsk, Febr. 15–17. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 81–98.

Сведения об авторе

Садовский М. Е., ст. преподаватель кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 29 721-60-63
E-mail: sadowski@bsuir.by
Садовский Михаил Ефимович

Information about the author

Sadowski M. E., Senior Lecturer at the Department of Intelligent Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 29 721-60-63
E-mail: sadowski@bsuir.by
Sadowski Mikhail Efimovich