УДК 004.55

Д. С. Негурица

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С WEB-ИНТЕРФЕЙСОМ

В статье проанализирована четырехуровневая структура адаптивных интерфейсов WEB-ориентированных систем, рассмотрены известные принципы, методы и технологии построения адаптивных интерфейсов WEB-ориентированных систем, описана обобщенная диаграмма последовательности взаимодействия пользователя и системы с адаптивным интерфейсом. Построены взаимозависимые модели предметной области и пользователя WEB-ориентированной системы с выделенным модулем адаптации. Определена задача нечеткого поиска и разработана процедура построения эталонных ситуаций для нечеткой ситуационной сети поиска документов.

Ключевые слова: *адаптивность, адаптируемость, интерфейс пользователя, модель пользователя, нечеткое множество, Web-ориентированная система.*

Введение

Технология, окружающая среда, и пользовательские требования в области разработки программного обеспечения резко изменились. Способность к адаптации стала важным фактором для выживания и успеха программных систем, и это привлекает внимание исследователей и промышленности. Необходим интегрированный подход, обеспечивающий создание более сложной системы, чем все ее составляющие. Тем не менее, в настоящее время основной посылкой методологии построения таких систем остается последовательность действий:

- выполнить описание процессов «как есть», затем – «как надо»;
- на некоторый период заморозить изменения и выполнить модификацию системы.

В итоге результат такой работы к моменту ее завершения - морально устаревшая система [1].

В связи с требованиями постоянных изменений и учетом сложности WEB-ориентированной системы возникает задача построения системы, позволяеющей вносить изменения в сроки, ограниченные требованием эксплуатации [2].

Процесс сопровождения WEB-ориентированной системы наиболее длительный и дорогостоящий в ее жизненном цикле. Как показывает анализ проектов внедрения и дальнейшего жизненного цикла около 80% проектов либо не внедряются, либо перестают функционировать в первый же год после того, как команда внедрения покинула предприятие. Причина лежит в отсутствии понимания проблем эксплуатации и сопровождения, отсутствии механизмов их решения.

Согласно «законам» Лемана [3] работающее ПО находится в одной из двух стадий: либо подвергается постоянным изменениям, либо деградирует. В процессе изменений менее 20% времени тратится на исправление ошибок, незамеченных при разработке и тестировании. Более 80% временных затрат связаны с изменением системы в связи либо с изменениями процессов реального мира, либо с расширением функциональности.

Несмотря на важность сопровождения WEB-ориентированных систем большинство исследований ограничены вопросом сопровождения однородных приложений. По-прежнему актуальна задача обеспечения эффективной работы WEB-ориентированной системы автоматически, без привлечения персонала. Целостная методология проектирования адаптивных WEB-ориентированных систем отсутствует, прежде всего, из-за отсутствия методов динамической классификации пользователей в адаптивных интерфейсах.

Целью работы является повышение качества интерфейса пользователя WEB-ориентированных систем на основе динамической классификации пользователей в адаптивных интерфейсах программного обеспечения.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать структуру адаптивных интерфейсов WEB-ориентированных систем;
- выполнить анализ известных методов динамической классификации пользователей в адаптивных интерфейсах программного обеспечения;
- разработать модель взаимодействия пользователя с WEB-интерфейсом.

1. Структура Web-интерфейса

Дизайн пользовательских Web-интерфейсов зависит от нескольких взаимосвязанных факторов, таких как: природа и область применения, содержание предметной (проблемной) области, ментальная модель пользователя и т.д. (табл. 1) [4].

Таблица 1

4-х уровневая структура Web-интерфейса

Уровень	**Слой**	**Абстрактность**	**Влияние на эргономичность**	**Модифицируемость**
структуры	концептуальная модель	высокая	высокая	низкая
	поток задач			
	организационная модель			
поведения	просмотра и навигации			
	редактирования и манипуляции			
	помощи пользователю			
представления	абстрактная модель			
	конкретная модель			
внешнего вида	макет			
	стиль			
	текст	низкая	низкая	высокая

Уровень структуры представляет собой наиболее абстрактный уровень и обеспечивает основу Web-интерфейса [5]. Пользователи не могут воспринимать этот уровень непосредственно, хотя хорошая структура составляет основу остальной части интерфейса. На этом уровне реализуются модели:

- концептуальная, описывающая отношения между пользовательским интерфейсом и предметной областью Web-приложения. Она состоит из набора экземпляров объектов и классов, представляющих концепты из приложения или модели предметной области;

- поток задач описывает, как пользователи выполняют определенные операции с приложением. Задача определяется как последовательность шагов, необходимых для достижения определенной цели, пред- и пост-условия состояния объекта;

- организационная, отвечающая за упорядочение и классификацию содержания и функциональности, включает схему классификации, системы маркировки и поиска, тезаурус словарей и метаданных.

Уровень поведения связан с интерактивными аспектами и включает в себя слои:

- просмотра и навигации;

- редактирования и манипуляции, в котором часто требуется явно или неявно проверять и сохранять входные данные;

- помощи пользователю, включающий поддержку сообщений об ошибках и предупреждениях, интерактивную справку и т.д.

Уровень представления определяет, как будут представлены пользователю содержимое (контент) и структура. Контент может быть представлен статическим текст или данными, полученными в результате обработки запросов пользователя. Навигационная структура сайта представляет собой, по сути, иерархию меню. Этот уровень определяет структуру или содержание пользовательского интерфейса без уточнения способа его реализации, то есть дает концептуальное описание визуальных частей пользовательского интерфейса. Он состоит из моделей:

- абстрактной, абстрагирующейся от конкретного визуального представления;

- конкретной, превращающей элементы абстрактного представления в визуальные компоненты пользовательского интерфейса.

Уровень внешнего вида состоит из трех слоев: макет, стиль и текст. Хотя все три понятия определяют внешний вид, но они самостоятельны:

- макет отвечает за расположение элементов на странице с учетом возможных различий в размерах и разрешениями экранов. Позиционирование элементов может быть выполнено как в абсолютной, так и в относительной привязке;

- стиль определяет внешний вид элементов интерфейса пользователя: цвет фона, границ или выбор определенного шрифт. Важными задачами любого Web-приложения являются: соблюдение единого стиля по большой коллекции документов;

обеспечение возможности показать документ или страницу, требуемую конечному пользователю, без изменения самого документа;

- текстовый слой представляет все письменные основы элементов пользовательского интерфейса: маркировки, имена входа, навигационные элементы управления, элементы поддержки пользователей и т.д. В этом слое также решается задача интернационализации, то есть возможности представить веб-сайт для пользователей разных национальностей.

2. Принципы, методы и технологии адаптивных интерфейсов WEB-ориентированных систем

Применение адаптивной WEB-ориентированной системы целесообразно, если она предназначена для обслуживания большой группы пользователей с различными целями, знаниями и опытом, когда лежащее в основе гиперпространство достаточно большое. В интерфейсах используется три вида адаптации [6]:

1. Фиксированная, при которой пользователь явно выбирает уровень диалоговой поддержки. Сформулировано правило двух уровней, согласно которому система обеспечивает два вида диалога:

- подробный, обеспечивающий временную поддержку начинающих;

- краткий, предназначенный для экспертов и обеспечивающий небольшую поддержку либо совсем лишенный ее.

2. Полная, подразумевающая стремление построить модель пользователя изменяемую по мере работы последнего с системой и определяющую стиль диалога, адаптируя его в зависимости от изменений.

3. Косметическая, обеспечивающая гибкость интерфейса без учета поведения пользователя и без однозначного выбора им конкретного стиля взаимодействия, что достигается путем применения сокращенных вводов ответов; ответов по умолчанию и макросов; многоуровневой помощи.

Примером одного из методов косметической адаптации интерфейса пользователя является идентификация полного вводимого слова по его части и упреждающая подсказка пользователю (или автоматическое восстановление полного слова) [7]. Реализация подобной функции содержится, например, в Интернет-браузерах при наборе пользователем ранее использовавшегося адреса, сохраненного в специальном справочнике.

В интерфейсах WEB-систем возможности адаптации весьма ограничены, изменяться могут:

- содержание обычных страниц – адаптация на уровне содержания (adaptive presentation);

- ссылки с обычных страниц, страниц индексов и карт – адаптация на уровне ссылок, адаптивная навигационная поддержка (adaptive navigation support).

3. Модель процессов взаимодействия пользователя и WEB-ориентированной системы с адаптивным интерфейсом

В самом общем виде взаимодействие пользователя и WEB-ориентированной системы с адаптивным интерфейсом можно описать диаграммой последовательностей (рис. 1). При этом будем полагать, что пользователь выполняет всего два основных действия: поиск с последующим просмотром документа.

Реализация собственно адаптивности достигается во взаимодействии [8] моделей предметной области и пользователя.

3.1. Модель предметной области

Модель *предметной области* состоит из множеств рубрик – S, документов – D, понятий – T и отношений между ними (1). Основное назначение модели – хранить информацию об общем информационном поле предметной области:

$$DM = \langle S, D, T, V, W \rangle, \qquad (1)$$

где

$W = D \times T = \{w_{i,j} \} / 0 < i \le \|D\|, 0 < j \le \|T\|$ - множество весов, характеризующих частоту использования понятий в документе;

$V = D \times S = \{v_{k,l} \} / 0 < k \le \|D\|, 0 < l \le \|S\|$ - мно жество уверенностей, характеризующих субъективную оценку принадлежности документа d_k рубрике S_1.

Каждый документ принадлежит одному из элементов множества рубрик S, то есть:

$$\forall k \cup \forall l, 0 < k \le \|D\|, 0 < l \le \|S\| : d_k \in s_l, \qquad (2)$$

с определенной степенью уверенности, поскольку в общем случае нет однозначного ответа относительно свойства документа.

Функция принадлежности указывает степень (или уровень) принадлежности документа определенной рубрике. В рассмотрение вводится нечеткое множество $D \subset S$ [9], отличающееся от обычного тем, что определяется как множество упорядоченных пар: $DS = \{\mu DS(u)/u\}$, где $\mu D(u)$ – функция принадлежности, принимающая значение в интервале M = [0,1].

Помимо нечеткой принадлежности к рубрикам для любого документа характерна возможность четкого определения множества атрибутов A, таких как формат файла, язык, страна происхождения, используемых в модели пользователя. В целом

документ – это его информационное содержание (контент) - C и атрибуты:

$$D = \langle C, A \rangle. \qquad (3)$$

Будем полагать, что множество рубрик S представляет собой направленный ациклический нечеткий граф $\tilde{G} = (S, \tilde{F})$, в котором определены множество вершин графа – S и нечеткое множество направленных ребер графа:

$$F = \left\{ \mu_F \langle s_i, s_j \rangle / \langle s_i, s_j \rangle \right\}, \ \langle s_i, s_j \rangle \in S^2, \qquad (4)$$

где $\mu_F \langle s_i, s_j \rangle$ – значение функции принадлежности для ребра $\langle s_i, s_j \rangle$ [10], при этом вершины являются инцидентными в том и только в том случае, если $\mu_F \langle s_i, s_j \rangle > 0$.

Ребро направленного нечеткого графа в рассматриваемом контексте описывает принадлежность одной рубрики (темы) рубрике (теме) более высокого уровня.

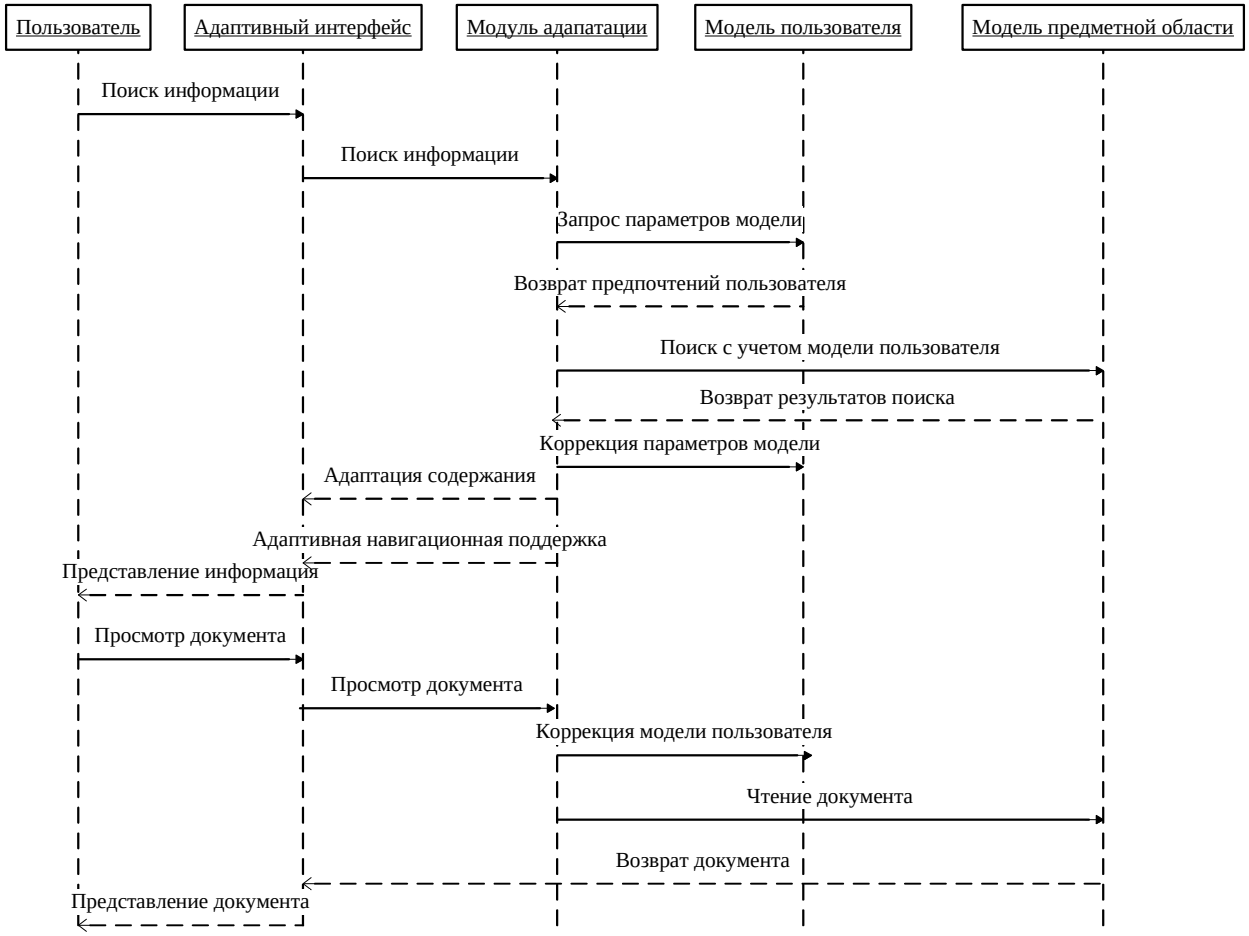

Рис. 1. Диаграмма последовательностей взаимодействия пользователя и адаптивной WEB-ориентированной системы

3.2. Модель пользователя

Для адаптации интерфейса необходима модель пользователя, с помощью которой система может определить что, когда и как должно быть адаптировано. Модель пользователя (МП) предполагает явное представление знаний, предпочтений, целей, интересов, истории навигации и других характеристик пользователя и служит для адаптации к пользователю различных аспектов адаптивных гипермедиа систем.

В МП помимо текущих интересов пользователя учитываются интересы, которые были у пользователя в прошлом. Текущие интересы пользователя определяются по соответствию запроса ключевым фразам документа. Прошлые интересы - в соответствии с историей поисковых запросов или историей посещенных сайтов.

МП – это отображение модели предметной области в пространство интересов пользователя. Она представлена поисковым профилем пользователя, содержащим последовательность последних k поисковых запросов: $SP = \langle sp_1, sp_2, K, sp_k \rangle$.

Множество поисковых профилей всех пользователей SP_i образует общее пространство запросов S, которое разбито на объединение непересекающихся множеств – кластеров UM_j:

$$S = \bigcup_{n=1}^{N} SP_n = \bigcup_{j=1}^{J} UM_j, \text{ при условии:}$$

$$\forall i, j \in 1K\ J\ /UM_i \cap UM_j = \varnothing .$$

Каждый кластер UM_j описывается следующими характеристиками:

$$UM_j\ Z\left\langle \bigcup_{nZ1}^{N} SP_{nj}, US_j\ \grave{o}\ UA_j \right\rangle, \qquad (5)$$

где YSP_{nj} – объединение поисковых профилей пользователей, отнесенных к j-тому кластеру;

US_j – множество нечетких предпочтений пользователей, отнесенных к j-тому кластеру, к определенным рубрикам документов;

UA_j – множество нечетких предпочтений пользователей, отнесенных к j-тому кластеру, в пространстве атрибутов документов.

Нечеткое множество, определенное на носителе $UM_k \times US_j \times UA_j$, характеризует распределение интересов k-того пользователя по отдельным кластерам:

$$FUM = \left\{ x, \mu_{UM_{k\,j}}\left(UM_{k,\,j}\right) \middle| x \in UM_k \times US_j \times UA_j \right\},$$

где функции принадлежности $\mu_{UM_{k\,j}}\left(UM_{k,\,j}\right)$ указывает насколько j-тый кластер соответствует истории просмотров документов k-того пользователя. При этом значение функции принадлежности $\mu_{UM_{k\,j}}\left(UM_{k,\,j}\right)$, близкое к 0, свидетельствует об отсутствии интереса, а близкое к 1 – об актуальности для k-того пользователя j-того кластера запросов.

3.3. Модуль адаптации

К основным функциям модуля адаптации относятся (см. рис. 1): поиск документов с учетом модели пользователя; чтение документа; коррекция МП.

Для рассмотрения первой функции нечеткого поиска дадим несколько определений.

Определение 1. *Запрос* – это множество слов для поиска, задающих информационную потребность пользователя:

$$x = \left\langle T, W_T \right\rangle, \qquad (6)$$

где T – множество ключевых слов (см. 1), W_T – вес понятия (концепта) в модели конкретного пользователя.

Вес понятия (концепта) при первом появлении в запросах минимален и получает приращение с каждым обращением. Наличие косвенной связи между понятиями через рубрики документов позволяет автоматически корректировать вес понятия (концепта) в модели конкретного пользователя.

Определение 2. Пусть X – *множество запросов*, D – *множество документов*. Тогда отношение нечеткого поиска – отображение

$$\mu(x, d) : X \times D \to [0, 1] \qquad (7)$$

представляет собой расчетную нечеткую оценку соответствия множества документов множеству запросов.

Определение 3. Пусть D' – некоторое конечное подмножество множества D, тогда кортеж

$$S = \left\langle X, D', \mu \right\rangle, \qquad (8)$$

является *задачей нечеткого поиска* (ЗНП) [11], решение которой содержательно состоит в том, чтобы для произвольного числа $\varepsilon \in [0, 1]$ и произвольного запроса $x \in X$ перечислить все те и только те записи $d \in D$, такие что $\mu(x, d) \geq \varepsilon$.

Определение 4. *Нечеткий информационный граф* (НИГ) – ациклический ориентированный граф, имеющий два типа вершин: документы D и рубрики S, определенные в модели предметной области (см. 1). Документы D не имеют входящих ребер, одна из вершин S не имеет исходящих ребер и называется корнем.

Ребрам НИГ приписываются функции из базового множества нечетких функций Ξ на X:

$$\Xi = \left\{ \xi_a \middle| \xi_a : X \to [0, 1], a \in A \right\}, \qquad (9)$$

где A – некоторое множество индексов.

Определение 5. Проводимость ребра НИГ – это функция, равная функции, приписанной этому ребру; проводимость ориентированной цепочки ребер НИГ - это функция, равная минимуму проводимостей ребер цепочки.

Определение 6. Функция фильтра вершины β НИГ $\mu_\beta(x)$ определяется как максимум функций проводимости ориентированных цепочек, ведущих из корня НИГ в вершину β.

Определение 7. Решением ЗНП $S = \left\langle X, D', \mu \right\rangle$ является множество документов $D\grave{a}$, для которых $\mu_{d'}(x) \geq \mu$.

Потребности пользователя разделяются на постоянные (сеансо-независимые) и текущие (сеансо-зависимые). Тогда множество рекомендуемых ссылок D' будет представлять из себя объединение множеств ссылок на страницы, удовлетворяющие постоянным и текущим потребностям:

$$D' = D'_S \; Y \, D'_C,$$

где D'_S – множество ссылок на страницы, удовлетворяющее постоянным потребностям;

D'_C - множество ссылок на страницы, удовлетворяющее текущим потребностям.

Множество ссылок D'_S в общем случае состоит как из ранее просмотренных D'_v, так и непросмотренных страниц D'_u.

Выявление ранее непросмотренных конечным пользователем страниц, но удовлетворяющих его постоянным потребностям, осуществляется с учетом поискового профиля, основанного на истории поисковых запросов. Группа пользователей с похожими потребностями характеризуется близостью поисковых профилей, поэтому наиболее весомые документы, просмотренные пользователями с похожими поисковыми профилями, могут относиться к сфере их общих постоянных интересов.

Тогда поиск документов с учетом МП может быть построен на основе ситуационного подхода, а модель функционирования системы поиска документов может быть представлена в виде нечеткой ситуационной сети. В нечеткой ситуационной сети время принятия управляющих решений существенно зависит от количества ее узлов, поэтому затраты времени на поиск документов будут зависеть от размерности пространств МП и предметной области. Одним из путей уменьшения времени поиска документа является сокращение числа анализируемых ситуаций путем уменьшения числа анализируемых признаков и введения типизации ситуаций.

Определение 8. Ситуация определяется как набор значимых признаков множества $X \times D$, то есть множество пар: $S_{XD_0} = \left\{ \left\langle \mu_{S_{XD_0}}(y) / y \right\rangle \right\}$. Тогда текущая ситуация S_0 считается нечетко включенной в типовую ситуацию S_t, если степень включения $\nu(S_0, S_t)$ не меньше порога включения t_{inc}, то есть:

$$\nu(S_0, S_t) = \underset{y \in Y}{\wedge} \nu\left(\mu_{S_0}(y), \mu_{S_t}(y)\right), \qquad (10)$$

Текущая ситуация S_0 считается нечетко равной типовой ситуации S_t, если степень нечеткого равенства $\nu(S_0, S_t)$ не меньше порога t_{eq}. Признаком нечеткого равенства двух ситуаций является взаимное нечеткое включение ситуаций друг в друга, то есть ситуации S_0 и S_t считаются нечетко равными тогда, когда $S_0 \underset{\sim}{\subset} S_t$ и $S_t \underset{\sim}{\subset} S_0$.

Множество типовых ситуаций, в котором ситуации попарно нечетко не равны, называются множеством эталонных ситуаций S_E.

Тогда процедура построения эталонных ситуаций для нечеткой ситуационной сети поиска документов с учетом МП имеет следующий вид.

1. На основе статистических данных построить множество типовых ситуаций.

2. Проверить попарно нечеткое равенство ситуаций в множестве типовых ситуаций. При обнаружении нечеткого равенства в какой-либо паре, множество типовых ситуаций переопределить и перейти к п. 1.

3. Определить типовые ситуации как эталонные.

4. Провести кластеризацию множества состояний пространства $X \times D$ по эталонным ситуациям на основе нечеткого включения.

Выводы

Взаимодействие пользователя и WEB-ориентированной системы с адаптивным интерфейсом реализуется в системе, включающей модели предметной области и пользователя, а также модуль адаптации. Теоретико-множественное представление модели предметной области включает множества рубрик, документов, понятий и отношений между ними.

При разработке МП в качестве исходных допущений принято, что информация для модели собирается неявно, модель – индивидуальная, динамическая, долгосрочная, дескриптивная и представляет собой расширение стереотипной классификации. Модель представлена поисковым профилем пользователя, которое образуется общим пространством запросов, разбитых на объединение непересекающихся множеств – кластеров.

Перспективными направлениями развития данной работы являются:

- выбор и обоснование метрик качества поиска, основанные на понятии пертинентности результатов поиска;

- разработка методов динамической классификации интересов пользователя в текущем сеансе.

Список литературы

1. Карр, Н. Блеск и нищета информационных технологий: Почему ИТ не являются конкурентным преимуществом [Текст] : пер. с англ. / Н. Карр. — М.: Секрет фирмы, 2005.— 176 с.

2. Software maintenance as part of the software life cycle [Text] / K. Erdil [et al]. - Tufts University. Department of Computer Science, 2003.- 49 p.

3. Metrics and laws of software evolution—the nineties view [Text] / M. M. Lehman, J. F. Ramil, P. D. Wernick, D. E. Perry, W. M. Turski. // Proceedings 4th International Software Metrics Symposium, Albuquerque, NM, USA, 5-7 Nov., 1997. - P. 20–32.

4. Baxley, B. Universal model of a user interface [Text] / B. Baxley. // Proceedings of the 2003 conference on Designing

for user experiences, San Francisco, CA, USA, 5-7 June, 2003. - P. 1-14.

5. Rosenfeld L. Information Architecture for the World Wide Web. Designing Large-scale Web Sites [Text] / L. Rosenfeld, P. Morville. - O'Reilly. - 1998. - 224 p.

6. Brusilovsky, P. The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization [Text] / Brusilovsky, P., Kobsa A., Nejdl W. – Springer. - 2007. 766 p.

7. Алгоритми і моделі автоматичної ідентифікації та корекції типових помилок користувача на основі природної надмірності [Текст] / Г. Є. Кузьменко, В. А.Литвинов, С. Я. Майстренко, В. І.Ходак // Математичні машини і системи. – 2004. - № 2. - С. 134-148.

8. Fink, J. User Modeling Servers: Requirements, Design, and Evaluation [Text] / J. Fink. - IOS Press, 2004. – 189 c.

9. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта [Текст] / А.Н. Аверкин [и др.]; под общ. ред. Д. А. Поспелова. – М. : Наука, 1986. – 312 с.

10. Мелихов, А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А. Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С. Я. Коровин. – М. : Наука, 1990. – 272 с.

11. Гасанов, Э. Э. Информационно-графовая модель хранения и поиска данных [Текст] / Э. Э. Гасанов // Интеллектуальные системы. – 1998. - № 3. – С. 163-192.

Поступила в редакцию 01.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. инженерии программного обеспечения И. Б. Туркин, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КОРИСТУВАЧА З WEB-ІНТЕРФЕЙСОМ

Д. С. Негуриця

У статті проаналізовано чотирьох-рівневу структуру адаптивних інтерфейсів WEB-орієнтовних систем, розглянуті відомі принципи, методи і технології побудови адаптивних інтерфейсів WEB-орієнтовних систем, описана узагальнена діаграма послідовності взаємодії користувача і системи з адаптивним інтерфейсом. Побудовані взаємозалежні моделі предметної області і користувача WEB-орієнтованої системи з виділеним модулем адаптації. Сформульована задача нечіткого пошуку і розроблена процедура побудови еталонних ситуацій для нечіткої ситуаційної мережі пошуку документів.

Ключові слова: *адаптивність, адаптованість, інтерфейс користувача, модель користувача, нечітка множина, WEB-орієнтована система.*

USER INTERACTION WITH WEB-INTERFACE MODEL

D. S. Nehurytsia

A four-level structure of WEB-oriented system adaptive interfaces has been analyzed in the article, familiar principles, methods and technologies of WEB-oriented system interfaces have been discerned, a generalized sequence diagram and interaction between a user and an interface system with adaptive interface has been described. Interdependent domain model and user WEB-based system with a dedicated adaptation module has been built. A problem of fuzzy search has been defined and a procedure for constructing reference situations for fuzzy situational search network documents has been developed.

Keywords: *agility, adaptability, user interface, user model, fuzzy set, Web-based system.*