

ՀՀ ԳԱԱ ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱՅԻ ԵՎ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՊՐՈԲԼԵՄՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ՌՈՒԲԵՆ ՀՐԱՆՏԻ ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԻՆՏԵՐԱԿՏԻՎ ՄՈԻԼԷՏԻՄԵՆԻԱ ՀՐԱՏԱՐԱԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ՎԵՐԱՐՏԱԴՐՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՄԱՆ ԱԴԱՊՏԻՎ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ե.13.04 - «Հաշվողական մեքենաների, համալիրների, համակարգերի և ցանցերի մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ 2013

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ НАН РА

РУБЕН ГРАНТОВИЧ ВАРДАНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ ЭФФЕКТИВНОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНТЕРАКТИВНЫХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.04 - «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов, систем и сетей»

ЕРЕВАН 2013

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի Պետական Համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝	Ֆիզ.մաթ.գիտ. դոկտոր	Ս.Կ.Շուքուրյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	տեխ.գիտ. դոկտոր	Ա.Ս.Նանասյան
	Ֆիզ.մաթ.գիտ. թեկնածու	Ա.Մ.Վասիլյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայաստանի պետական
ճարտարագիտական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2013թ. հունիսի 12-ին, ժ. 15:00-ին ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտում գործող 037 «Ինֆորմատիկա և հաշվողական համակարգեր» մասնագիտական խորհրդի նիստում հետևյալ հասցեով՝ Երևան, 0014, Պ. Սևակի 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԻԱՊԻ գրադարանում:
Սեղմագիրը առաքված է 2013թ. մայիսի 12-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, ֆ.մ.գ.դ.



Հ. Գ. Սարգսյանյան

Тема диссертации утверждена в Государственном Университете Армении

Научный руководитель:	доктор физ.-мат. наук	С.К. Шукурян
Официальные оппоненты:	доктор тех. наук	А.С.Нанасян
	кандидат физ.-мат. наук	А.М.Василян

Ведущая организация: Государственный инженерный университет
Армении

Защита состоится 12-ого июня 2013г. в 15:00 на заседании специализированного совета 037 «Информатика и вычислительные системы» Института проблем информатики и автоматизации НАН РА по адресу: 0014, г. Ереван, ул. П. Севака 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПИА НАН РА.

Автореферат разослан 12-ого мая 2013г.

Ученый секретарь специализированного
совета, д.ф.м.н.



А. Г. Сарухянян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В последние годы интенсивный рост сетевых мощностей в совокупности со стремительным развитием веб технологий позволили создателям печатной продукции (университетам, издательским домам, частным издателям и т.д.) начать переход от существующих традиционных печатных издательских технологий к функционирующим в режиме онлайн и основанным на возможностях веб технологиям. Эти технологии позволяют создавать интерактивные мультимедийные публикации ИМП (Interactive Multimedia Publications) с большими выразительными средствами, чем традиционные печатные. Кроме того, они дают возможность сократить время подготовки и дистрибуции публикации и стоимость ее создания.

Чтобы способствовать быстрому освоению современных технологий публикации читателями и авторами, необходимо иметь развитые интерактивные и мультимедийные веб сервисы, поддерживающие традиционный страничный формат на клиентских устройствах и тесно взаимодействующие с сопутствующими сервисами (например, сервисом "печати по требованию"). Эти веб сервисы далее будем называть инфраструктурой ИМП. Она должна поддерживать широкий диапазон пользовательских устройств, включая персональные компьютеры, планшеты и смартфоны, и предоставлять развитые средства для встраивания интерактивных и мультимедийных элементов в публикацию. Особенно важными здесь являются: быстрая реакция системы на действия пользователя (читателя), удобство представления контента на экране пользовательского устройства, а также соответствие этого контента возможностям и пожеланиям пользователя.

Существующие коммерческие сервисы покрывают лишь некоторую часть вышеперечисленных требований, а исследовательские работы сфокусированы, в основном, на специфических областях, относящихся к повторному использованию мультимедийных ресурсов, планированию синхронизации мультимедийных элементов, построению семантической модели мультимедийных документов и их модальной и масштабной адаптации. Результаты отмеченных работ по адаптации достаточно далеки в настоящее время от практического применения. В то же время в доступной нам литературе отсутствуют работы, учитывающие настоятельные требования к интерактивности для ИМП, а также адаптации ИМП со страничной организацией к характеристикам различных пользовательских устройств и пользовательских групп ^{*)}, что приводит к необходимости разработки адаптивных методов воспроизведения объектов контента. Поэтому разработка решений, отвечающих вышеуказанным требованиям, представляется важной и актуальной задачей.

*) Lorraine Phillips, "Publish Your First Digital Magazine", March 20, 2013, 360 Books, ISBN: 978-0988953505

Цель диссертационной работы - обоснование и разработка в рамках веб сервисов методов и программных средств поддержки ИМП, позволяющих:

- обеспечить возможность задания нужного уровня интерактивности;
- обеспечить адаптацию контента публикации для представления на различных клиентских устройствах;
- обеспечить эффективное использование платформ веб сервисов, включая сетевые и временные ресурсы;
- обеспечить измерение эффективности выбранных в рамках системы решений.

Объект исследования.

В данной работе исследуются вероятностные модели воспроизведения мультимедийных объектов, элементы и объекты интерактивных мультимедийных публикаций.

Методы исследования.

Исследования, проводимые в работе, основаны на объектно-ориентированном программировании, вероятностной модели поведения пользователей в ИМП и методах имитационного моделирования.

Научная новизна.

- модель процесса предварительной загрузки мультимедийных объектов для ИМП и критерий эффективности процесса предварительной загрузки мультимедийных объектов.
- метод предварительной загрузки мультимедийных объектов для ИМП с учетом характеристик пользователей.
- модель процесса адаптации контента ИМП и критерий качества адаптации контента ИМП.
- метод адаптации контента ИМП к различным клиентским устройствам с учетом характеристик пользователей.
- новые уровни многоуровневой архитектуры инфраструктуры ИМП и протокол ХИМТР передачи интерактивных мультимедийных данных для этих уровней.

Практическая ценность и внедрение.

На основе разработанных решений спроектировано специальное программное обеспечение для использования в системах ИМП. Разработанное программное обеспечение является важной составной частью системы IMPS, на основе которой построен веб сервис Joomag (www.joomag.com). Joomag имеет свыше 30.000 постоянных пользователей (авторов публикаций) и, в том числе, студенты и преподаватели более 130 образовательных учреждений в Европе, США, Израиле и Австралии, использующие Joomag для создания и публикации курсовых работ, учебных материалов и других трудов. В настоящее время проводится опытная

эксплуатация системы IMPS в компаниях Joomla и MagicSoft, что подтверждено соответствующими актами и документами.

На защиту выносятся следующие основные положения.

- Метод и программное обеспечение предварительной загрузки данных мультимедийных объектов для систем ИМП со страничной организацией, учитывающие характеристики поведения пользователей, время реакции системы на действия пользователя и эффективность использования сетевых ресурсов.
- Метод и программное обеспечение адаптации контента для систем ИМП со страничной организацией, учитывающие характеристики конечных пользователей и связанных с ними устройств, и критерий качества адаптированного контента.
- Новые уровни многоуровневой архитектуры инфраструктуры ИМП, протокол и программное обеспечение передачи интерактивных мультимедийных данных для этих уровней.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на международной конференции CSIT 2011, обсуждались на научных семинарах и общем семинаре Образовательного и исследовательского центра информационных технологий Ереванского государственного университета и на общем семинаре Института проблем информатики и автоматизации Национальной академии наук РА.

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в 3-х научных трудах, перечисленных в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и двух приложений. Общий объем работы – 117 страниц, включая 32 рисунка, 3 таблицы, 10 листингов, 89 наименований в списке использованной литературы и 8 страниц приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации рассмотрены существующие методы описания ИМП, методы повышения степени их интерактивности, а также методы их адаптации к клиентским устройствам и пользовательским профилям разных типов.

Отмечается, что интерактивные мультимедийные документы могут включать различные типы мультимедийных объектов, синхронно или асинхронно воспроизводимых на клиентском устройстве. Эти объекты (растровые и векторные графические изображения, анимации, видео, аудио и т.д.) хранятся, как правило, на одном или нескольких серверных системах в виде отдельных файлов или элементов

баз данных. Некоторые из них, такие как потоковые видео или аудио объекты, не имеют специального хранилища и генерируются на устройствах-источниках (например, видео камера и микрофон) в процессе обращения к ним.

Читатели документов хотят видеть на экране своего устройства отображение документа, адаптированного к характеристикам их устройства и их пользовательскому профилю (интересам, возможностям, привилегиям доступа и т.п.). Авторы публикаций хотят иметь возможность независимой модификации отдельных фрагментов документа, хранящегося на сервере. Все эти требования и пожелания не могут быть выполнены, если используются традиционные способы описания документов (например, PDF и PostScript).

Веб сервисы, построенные на базе современных способов описания мультимедийных документов, таких как SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language) и SVG (Scalable Vector Graphics), отвечают части этих требований. Они обеспечивают независимость отдельных фрагментов мультимедийных документов и упрощают их обработку, хранение и отображение на различных устройствах, упрощают их модификацию авторами и позволяют управлять процессом воспроизведения мультимедийных объектов.

SMIL и SVG построены на базе XML и являются стандартами, открытыми для публичного пользования. Они имеют развитые средства описания ИМП, включающие средства временной синхронизации мультимедийных объектов и представления элементов векторной графики. Вместе с тем ни один из этих языков, несмотря на свою универсальность, не имеет подходящих средств выражения структуры публикаций со страничной организацией. В то же время, вследствие своей универсальности, оба они являются очень сложными для реализации. Учитывая эти недостатки, при создании системы IMPS, автором диссертационной работы была сделана попытка построения более эффективного формата описания ИМП, использующего концепцию вышеотмеченных языков в части синхронизации объектов и элементов векторной графики.

Как было отмечено выше, одним из основных требований к системам интерактивных мультимедийных публикаций является быстрая реакция системы на действия пользователей. Время реакции зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- скорость интернет соединения между клиентским устройством и сервером;
- производительность сервера и его текущая загрузка;
- производительность клиентского устройства;

В условиях ограниченности вышеперечисленных ресурсов и возрастающей доле мобильных устройств от общего числа клиентских устройств, наиболее действенным способом сокращения времени реакции является предварительная загрузка мультимедийных данных. Изучению и разработке методов предварительной загрузки посвящен ряд работ, некоторые из которых рассмотрены в первой главе. Общей чертой предложенных в этих работах моделей и методов предварительной загрузки является наличие двух фаз: прогнозирования следующего действия пользователя и предварительная загрузка соответствующих данных. При прогнозировании используются данные, извлеченные из регистрационного журнала сервера, анкорного текста URL или данные о текущем состоянии ресурсов

клиентского устройства. Согласно свидетельству авторов этих работ, предлагаемые ими методы позволяют существенно сократить время реакции системы при работе с определенными типами документов, например, новостными веб сайтами и презентациями. Однако, как показывает анализ предложенных методов, ни один из них не рассчитан на публикации со страничной организацией и жесткими требованиями к интерактивности. Они не имеют средств адаптации контента к клиентским устройствам разных типов, средств количественной оценки фактической эффективности метода в реальном времени и возможности адаптации буфера предварительной загрузки в процессе работы с документом.

Другим очень важным требованием к системам интерактивных мультимедийных публикаций является возможность адаптации контента ИМП к характеристикам конкретных клиентских устройств и пользовательских профилей. Изучению различных аспектов адаптации контента и разработке новых методов адаптации посвящено много работ. Модели и методы адаптации, рассмотренные в первой главе диссертационной работы, позволяют адаптировать документы и веб страницы, основанные на видео, где адаптация сводится к изменению масштаба и прочих характеристик видео контента. Некоторые работы посвящены модальной адаптации, при которой адаптация сводится к замене модальности, например видео на аудио или аудио на текст. Однако ни одна из этих работ не ориентирована на интерактивные публикации со страничным форматом, не предусматривает средств количественной оценки качества адаптации и средств обратной связи с автором документа, которые позволили бы авторам улучшить качество конечного адаптированного документа.

Учитывая вышеизложенные недостатки существующих методов предварительной загрузки мультимедийных объектов и адаптации контента, а также актуальность проблемы эффективности этих методов при построении систем интерактивных мультимедийных публикаций со страничным форматом, автором диссертационной работы сделана попытка разработки новых усовершенствованных методов, отвечающих всем вышеперечисленным требованиям, и их интеграции в единую систему.

Во второй главе предложены новые усовершенствованные методы предварительной загрузки мультимедийных объектов и адаптации контента публикаций.

С целью изучения процесса предварительной загрузки построена модель этого процесса, в которой ИМП представляется в виде кортежа $D = (C, G, T, I, V, A, B_G, B_T, B_V, B_I, B_A)$, где: C - это множество страниц; G, T, I, V, A - это множества всех объектов векторной графики, текстов, растровых изображений, видео и аудио объектов, использованных в ИМП соответственно; B_G, B_T, B_V, B_I, B_A - это отношения принадлежности объектов векторной графики, текстов, растровых изображений, видео и аудио объектов, страницам ИМП соответственно. Объекты множеств V, A, I хранятся на одном или нескольких серверах и пересылаются по мере необходимости на клиентское устройство пользователя для воспроизведения.

В рамках рассматриваемой модели считается, что только одна версия каждого графического (G) и текстового (T) объекта хранится в базе данных публикаций.

Однако объекты типа видео (V), аудио (A) и растровых изображений (I), могут храниться в одной или нескольких версиях. Версии одного и того же объекта могут различаться характеристиками, влияющими на качество воспроизведения объекта на клиентском устройстве, а также требованиями к необходимому системным ресурсам (пропускной способности сети между клиентским устройством и сервером, объему памяти и производительности процессора клиентского устройства и т.п.). Например, версии видео объекта, хранимые на сервере в виде файлов, могут отличаться друг от друга методом сжатия (компрессии) видеoinформации, размерами видео кадров, а также форматом контейнера, описывающего элементы данных и взаимосвязи между ними.

Состояние публикации в некоторый момент времени t представляется в виде кортежа $w=(c, R_V, R_A, R_I)$, где:

- c - это номер страницы ИМП, отображенной на экране клиентского устройства;
- R_V - это множество кортежей вида (i, j, s) , где i - это номер видео объекта; j - номер версии этого видео объекта; s - номер состояния этого видео объекта в данный момент времени;
- R_A, R_I - это множества кортежей вида (i, j, s) для аудио и растровых объектов соответственно, построенные способом аналогичным предыдущему.

Множество всех состояний публикации обозначается через $W=\{w_i | i \in N\}$, где N - множество всех номеров состояний. Исходным состоянием публикации (когда на экране открыта титульная страница) является w_0 . С каждым состоянием публикации w связано множество допустимых действий пользователя, которое обозначается через $A_w \subseteq A$, где A - это множество всех возможных действий. Переход публикации из одного состояния в другое является случайным процессом, зависящим от действий пользователя на каждом переходе состояния.

Процесс перехода публикации из одного состояния в другое представляется в виде ориентированного графа $G(W, A)$, названного вероятностным графом поведения пользователей UBPG (User Behavior Probability Graph). В этом графе, W - это множество всех вершин, соответствующих состояниям публикации, а A - множество всех направленных ребер, соответствующих действиям пользователя. Две вершины w_i и w_j этого графа соединяются направленным ребром, если в результате выполнения действия над публикацией в состоянии w_i она переходит в состояние w_j . С каждым ребром, исходящим из вершины w_i , связывается вероятность p_{ij} выполнения соответствующего действия над публикацией, находящейся в состоянии w_i .

Предположим, что в процессе работы с публикацией, ее состояния меняются в последовательности $\langle w_0, w_1, \dots, w_n \rangle$, где $w_i \in W$ и $0 \leq i \leq n$. Через $\langle t_1, t_2, \dots, t_n \rangle$ обозначим последовательность моментов выполнения действий над ИМП, влекущих за собой эти изменения состояний. Выполнение действия над ИМП в момент t_i , переводит ее из состояния w_{i-1} в w_i . В примере на рисунке 1а, до момента t_i публикация находится в состоянии w_{i-1} . Период времени, непосредственно предшествующий моменту t_i , соответствует периоду "пассивного чтения" ИМП, в течение которого пользователь не выполняет действий, требующих реакции системы. В момент t_i над ИМП выполняется действие a_i , которое может перевести ИМП в

состояние w_i . На переход из w_{i-1} в w_i требуется некоторое время d_i (названное временем реакции системы), необходимое для загрузки нужных мультимедийных объектов с сервера и воспроизведения их на клиентском устройстве.

Для сокращения времени реакции системы наиболее эффективным средством является предварительная загрузка, суть которой заключается в следующем. Как только переход в новое состояние завершен, прогнозируется следующее действие пользователя и загружаются данные тех объектов (полностью или частично), которые будут использованы в случае, если результаты прогнозирования верны. Из примера на рисунке 1б видно, что в момент времени $(t_{i-1} + d_{i-1})$ переход в состояние w_{i-1} завершен и, если уже известно действие, которое выполнит пользователь на следующем шаге, то можно начать предварительную загрузку необходимых данных не дожидаясь действия пользователя. Если предварительная загрузка, начатая в момент $(t_{i-1} + d_{i-1})$, будет завершена до момента t_i , то в момент выполнения действия все необходимые данные будут буферизованы во временной памяти и воспроизведение мультимедийных объектов может начаться практически мгновенно. Возможен также промежуточный вариант, пример которого представлен на рисунке 1в. Если результаты прогнозирования верны, но следующее действие пользователя наступило раньше момента окончания предварительной загрузки, то пользователю придется ждать окончания предварительной загрузки, перед тем как начнется воспроизведение мультимедийных объектов.

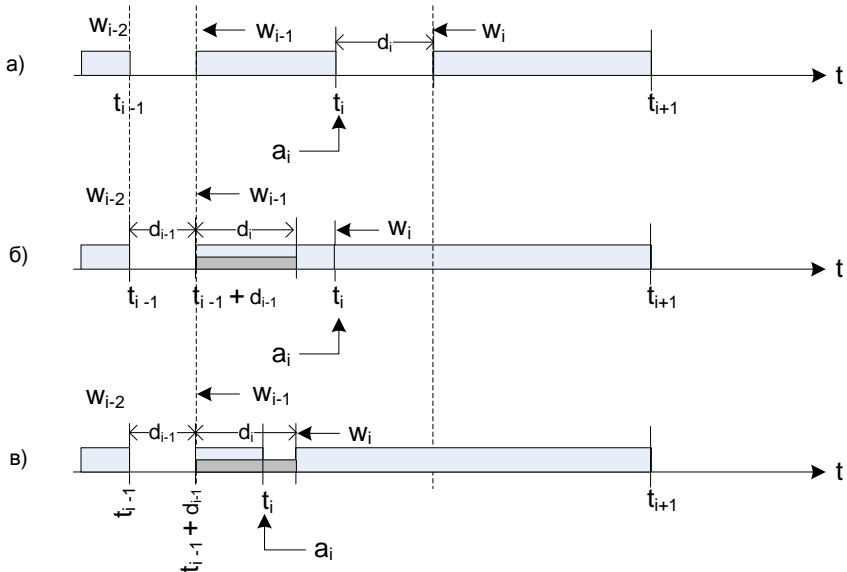


Рис.1. Процесс перехода состояний ИМП в результате действий пользователя.

Учитывая специфику вышеописанной модели, сформулирован новый критерий эффективности предварительной загрузки мультимедийных данных, учитывающий как время реакции системы на действия пользователя, так и эффективность использования сетевых ресурсов: $E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(d_i) - k * \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i / (v_i + \tilde{v}_i))$, где n - количество переходов состояний ИМП; d_i - время реакции системы на i -ом шаге перехода; $f(d_i)$ - функция пользовательской оценки времени реакции системы; k - весовой коэффициент; v_i - объем предварительно загруженных, но не использованных данных на i -ом шаге перехода; \tilde{v}_i - объем предварительно загруженных и использованных данных на i -ом шаге перехода. Предложенный критерий использован для оценки эффективности разработанного автором метода предварительной загрузки и адаптации параметров алгоритма.

Укрупненная блок-схема предложенного метода предварительной загрузки представлена на рисунке 2. Для построения списка объектов, согласно которому клиентская программа должна загружать данные мультимедийных объектов, используется UBPG граф. В исходном состоянии, когда ИМП используется впервые, UBPG граф состоит из одной единственной вершины. В результате выполнения действий пользователя к графу добавляются новые вершины и соединяющие их ребра. С каждой вершиной и ребром связываются "счетчики переходов", которые непрерывно обновляются. Эти счетчики используются для вычисления вероятности выполнения определенных действий пользователя над публикацией в некотором состоянии. Вычисленные вероятности присваиваются ребрам UBPG графа и используются для прогнозирования следующего действия пользователя (над публикацией в текущем состоянии) и построения оптимального списка мультимедийных объектов, данные которых должны быть загружены на клиентское устройство до момента выполнения следующего действия.

Список строится каждый раз после очередного действия пользователя и представляет собой последовательность пар вида (w, ρ) , где w - некоторое состояние публикации ($w \in W$), а ρ - это вероятность перехода публикации из текущего состояния в состояние w . Максимальное количество элементов в списке ограничивается некоторым числом l . На первом шаге алгоритма к пустому списку добавляется первый элемент $(w_c, 1)$, где w_c - это текущее состояние публикации. На каждом из последующих шагов алгоритма выполняются следующие действия.

Выбирается очередной элемент (w_i, ρ_i) из текущего списка и для состояния w_i определяется переход, имеющий наибольшую вероятность, но не ведущий в состояние, уже включенное в состав текущего списка. С этой целью, для состояния w_i просматриваются все ребра, исходящие из соответствующей вершины UBPG, и выбирается ребро, с которым связано наибольшее значение вероятности перехода $p_{i,m}$. Затем $p_{i,m}$ умножается на вероятность соответствующего элемента списка (в данном случае вероятность ρ_i элемента (w_i, ρ_i)) и формируется новый элемент $(w_m, \rho_m) = (w_m, \rho_i * p_{i,m})$. Аналогичным образом строятся новые элементы для каждого из уже существующих элементов текущего списка. Из элементов, построенных таким способом, выбирается элемент, имеющий максимальное значение вероятности, который и добавляется в конец списка. Описанный выше процесс добавления новых элементов в список повторяется до тех пор, пока, либо число элементов в списке

станет равным максимально допустимому значению, либо исчерпается множество состояний, смежных состояниям, уже включенным в текущий список. Затем удаляется первый элемент списка, а оставшиеся элементы передаются на клиентское устройство для предварительной загрузки мультимедийных объектов.

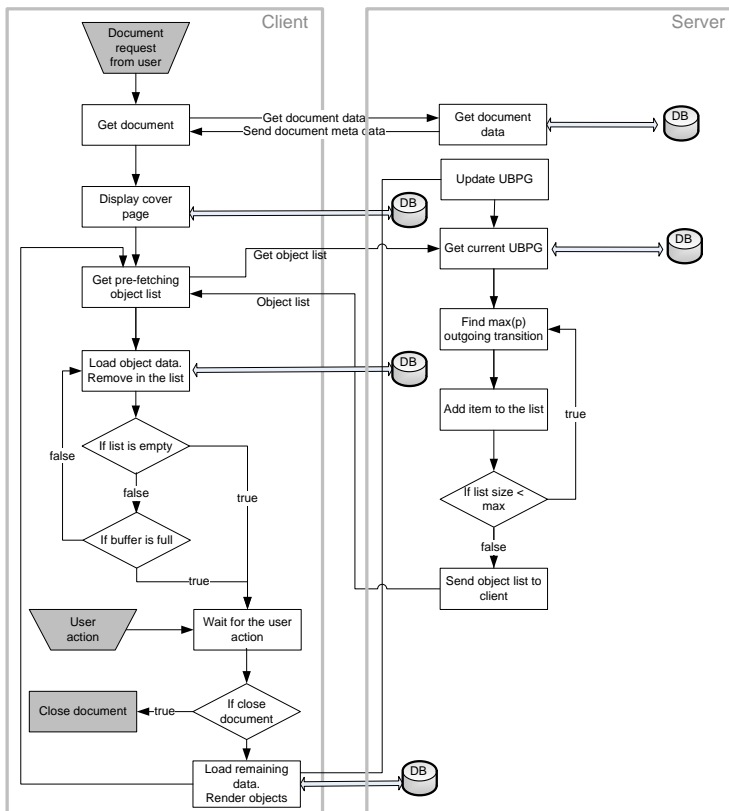


Рис. 2. Блок-схема процесса предварительной загрузки

После этого начинается предварительная загрузка данных мультимедийных объектов с сервера. Множество объектов подлежащих загрузке определяется посредством идентификатора состояния публикации, являющегося частью выбранного элемента списка. Процесс извлечения очередного элемента списка и загрузки данных для его объектов прекращается при наступлении одного из следующих событий:

- когда загружены все объекты согласно элементам списка;
- когда пользователь выполняет очередное действие;
- когда память, отведенная под буфер предварительной загрузки, исчерпана.

После выполнения действия пользователя вычисляются возможные значения критерия E на текущем переходе и корректируется размер буфера предварительной загрузки с целью максимизации значения критерия. Из формулы E следует, что фактическое значение критерия на текущем переходе q , вычисленное после выполнения действия пользователя, равно $E_q = f(d_q) - k(v_q/(v_q + \tilde{v}_q))$. Поскольку известен состав текущего списка (предположим это $(s_1, s_2, \dots, s_{m-1})$) и объемы данных предварительной загрузки, соответствующие каждому из его элементов, то вычисляются возможные значения критерия для его подсписков (s_1) , $(s_1, s_2), \dots, (s_1, s_2, \dots, s_{m-1})$. Если для какого-то подсписка значение критерия больше, чем фактическое значение критерия, то объем буфера уменьшается или увеличивается таким образом, чтобы вместить данные объектов этого подсписка.

Адаптация размера буфера описанным выше способом позволяет регулировать объем данных, предварительно загружаемых с сервера, повышая эффективность их использования.

Далее в работе рассматриваются вопросы адаптации контента ИМП. Модель ИМП, предложенная в диссертационной работе, специально разработана для публикаций, имеющих страничную организацию. Согласно этой модели публикация состоит из объектов двух типов: страниц и секций. Объект типа страница, соответствует странице публикации и включает информацию о секциях, использованных на данной странице, номере страницы, ее типе, цвете фона, фоновой музыке (если таковая имеется), шрифтах, используемых в секциях страницы и т.п. Секция является частью страницы и является своего рода контейнером, включающим элементы контента. Секция может включать как простые элементы контента (тексты, графические объекты, аудио и видео объекты), так и другие секции. В зависимости от типа публикации, поддерживаемых клиентских устройств или аудитории, для которой предназначена публикация, может быть создано более одной версии одной и той же секции для одного и того же контента. В некоторых случаях версии могут различаться представлением контента, например, когда они предназначены для аудиторий разных возрастных групп. Разные версии одной секции могут быть созданы вручную (автором) или автоматически (системой).

Автор публикации, во время создания секции, присваивает ей ряд атрибутов. Для каждого типа ИМП множество атрибутов в системе predeterminedено и не может быть изменено автором публикации. Имеется две категории атрибутов:

- атрибуты, относящиеся к аппаратным или программным характеристикам клиентских устройств, используемых для работы с ИМП;
- атрибуты, относящиеся к профилям пользователей ИМП.

Первая группа включает такие атрибуты, как разрешающая способность экрана клиентского устройства, объем оперативной памяти, производительность процессора и т.д. Вторая группа включает атрибуты, характеризующие профессиональную подготовку пользователя, уровень образования, возрастную группу и т.п. Множество всех возможных атрибутов клиентских устройств допустимых в системе определяется как $D = \{d_1, \dots, d_n\}$, а множество всех возможных пользовательских атрибутов как

$U = \{u_1, \dots, u_m\}$, где n и m - число аппаратных и пользовательских атрибутов соответственно. Каждый атрибут, принадлежащий D или U , имеет множество значений, которые этот атрибут может принимать.

Во время создания публикации, автор может присвоить каждой секции S_i некоторое множество атрибутов клиентских устройств $\bar{D}_i \subseteq D$, каждый элемент которого, в свою очередь, является подмножеством соответствующего элемента множества всевозможных атрибутов D известных системе. Аналогично, множество пользовательских атрибутов \bar{U}_i присвоенных секции S_i автором, является подмножеством U и каждый элемент в \bar{U}_i является подмножеством соответствующего элемента в U .

Когда клиентская программа устанавливает соединение с сервером, она посылает на сервер профили клиентского устройства и пользователя. Концепция профиля идентична атрибутам, используемым на серверной стороне. Профиль клиентского устройства \bar{D} определяет то подмножество всевозможных атрибутов из множества D и те их значения, которые поддерживаются данным клиентским устройством. Аналогичным образом, пользовательский профиль \bar{U} определяет подмножество атрибутов из U и те их значения, которые применимы к пользователю.

Суть предлагаемого метода адаптации контента ИМП заключается в следующем. Перед тем как послать страницу ИМП на клиентское устройство, сервер адаптирует страницу, принимая решение относительно секций и их версий (если таковые имеются), которые должны быть пересланы на клиентское устройство для отображения на экране. В простом случае, когда имеется только одна версия каждой секции, выбор секций производится согласно алгоритму, блок-схема которого представлена на рисунке 3.

На первом шаге алгоритма создается исходный список адаптации, включающий все секции, принадлежащие текущей странице. Затем для каждой секции S_i определяется пересечение непустых множеств значений атрибутов из \bar{D}_i с соответствующими множествами значений атрибутов из профиля клиентского устройства \bar{D} . Если результат пересечения множеств значений какого-либо атрибута секции является пустым множеством, то эта секция исключается из списка адаптации. На следующем шаге, способом аналогичным предыдущему, из полученного списка исключаются те секции, которые не соответствуют пользовательскому профилю.

В тех случаях, когда имеется много версий одной и той же секции, со значениями атрибута устройства и пользователя связывается параметр "веса" таким образом, чтобы каждый атрибут описывался бы множеством пар (v, w) , где v - это значение атрибута, а w - вес этого значения. Вес значения атрибута секции указывает на "важность" этого значения при субъективной или объективной оценке качества секции во время ее воспроизведения на клиентском устройстве. Если секции, включенные в список пересылки, имеют много версий, то веса значений атрибутов используются для определения наиболее подходящих версий для пересылки на клиентское устройство.

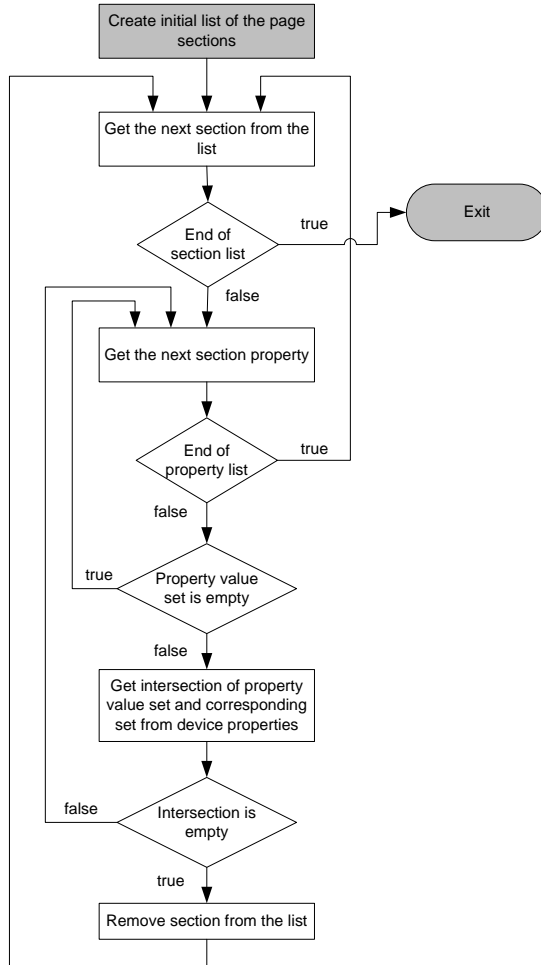


Рис. 3. Алгоритм построения списка адаптации.

Через $w(d_{ij,k,m})$ обозначается вес m -го значения k -го атрибута, присвоенного j -ой версии i -ой секции. В том случае, если версии секции не присвоен j -ый атрибут или k -ое значение этого атрибута, то $w(d_{ij,k,m})=0$. Определяется бинарная функция $b(d_{k,m}) = \begin{cases} 1, & \text{если } m \text{ – ое значение } k \text{ – го атрибута поддерживается устройством} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$

Затем определяется суммарный вес версии секции S_{ij} следующим образом:

$$W(S_{ij}) = \sum_{k=1}^{\alpha_D} \sum_{m=1}^{\beta_D} w(d_{i,j,k,m}) \times b(d_{k,m}) + \sum_{k=1}^{\alpha_U} \sum_{m=1}^{\beta_U} w(u_{i,j,k,m}) \times b(d_{k,m}),$$

где α_D и β_D - число атрибутов устройства и их значений соответственно; α_U и β_U - число атрибутов пользователя и их значений соответственно. Наиболее подходящей версией секции является версия $S_{i,b}$, которая имеет наибольшее значение суммарного веса.

Далее вводится критерий, позволяющий оценить качество адаптированной публикации, сравнивая его с "эталонным" качеством. Для построения этого критерия вводится понятие эталонного веса секции S_i :

$$W_e(S_i) = \max_{j \in N} (\sum_{k=1}^{\alpha_D} (\max_{1 \leq m \leq \beta_D} (w(d_{i,j,k,m}))) + \sum_{k=1}^{\alpha_U} (\max_{1 \leq m \leq \beta_U} (w(u_{i,j,k,m}))),$$

где N - множество всех номеров версий секции; α_D и α_U - число всех атрибутов устройств и пользователей соответственно; β_D и β_U - число всех возможных значений атрибутов устройств и пользователя соответственно.

Эталонный вес публикации определяется как сумма эталонных весов всех ее секций: $W_e = \sum_{i=1}^l W_e(S_i)$, где l - число секций публикации.

Фактическое значение весов секций, включенных в публикацию после ее адаптации, вычисляется как: $W = \sum_{i=1}^m W(S_i)$, где m - число секций, включенных в публикацию после ее адаптации. Наконец, критерий относительного качества ИМП, адаптированного для конкретного устройства и конкретного пользовательского профиля представляется в виде: $W_r = W/W_e$.

В третьей главе рассмотрена реализация системы IMPS, состоящей из клиентского и серверного программного обеспечения. Клиентское программное обеспечение IMPS предназначено для работы в среде браузера на клиентских устройствах разных типов (персональных компьютерах, смартфонах и планшетах). Для смартфонов и планшетных компьютеров фирмы Apple, помимо реализации клиента для работы в среде браузера, существуют также реализации в виде отдельных веб приложений. Аналогичные приложения разрабатываются для мобильных устройств использующих операционную систему Android. Серверное программное обеспечение IMPS функционирует на одном или нескольких физических серверах, расположенных в "облаке". В веб сервисах, построенных на базе IMPS, с одним и тем же сервером может быть одновременно связано множество клиентов, работающих с одной и той же или разными публикациями.

Детали реализации клиентских компонентов могут различаться в зависимости от платформы, на которой они функционируют (операционной системы клиентского устройства, веб браузера), однако, независимо от этого, все клиенты имеют идентичную многоуровневую архитектуру, где каждый уровень ответственен за выполнение определенного круга задач (см. рис. 4).

Уровень визуализации (Visualization Layer - VL) отвечает за отображение публикации на экране клиентского устройства и взаимодействие с пользователем. После запроса пользователя на отображение публикации на экране клиентского устройства, VL запрашивает с уровня адаптации (Adaptation Layer - ADL) список

секций, которые должны быть отображены. Одновременно с этим, VL посылает на уровень предварительной загрузки (Pre-Fetching Layer - PFL) запрос на предварительную загрузку данных мультимедийных объектов, которые должны быть использованы на следующем шаге (после следующего действия пользователя).

После этого VL начинает процесс отображения страницы публикации на экране, пользуясь списком секций, полученным от ADL, и данными мультимедийных объектов, находящихся в буфере предварительной загрузки с предыдущего шага. Если буфер предварительной загрузки содержит все необходимые данные для немедленного отображения мультимедийных объектов на странице, то все они отображаются и затем VL начинает загрузку остальных порций данных. Если буфер не содержит данных некоторых объектов для их немедленного воспроизведения, то процесс воспроизведения этих объектов приостанавливается до тех пор, пока не будут загружены необходимые данные с серверов.

Для загрузки данных мультимедийных объектов, в зависимости от их специфики, могут быть использованы различные протоколы, такие как HTTP, RTSP, FTP, SIP и RTP, расположенные на транспортном уровне TL на рисунке 4.

Каждый раз, после очередного действия пользователя, соответствующая информация передается на аналитический уровень (Analytics Layer - ANL) для прослеживания действий пользователя. Аналитический уровень ANL присутствует как в клиентском, так и серверном программном обеспечении. ANL клиента запрашивает список предварительной загрузки с сервера, который используется для загрузки мультимедийных объектов. ANL клиента прослеживает также поведение пользователя (получая информацию от VL) и передает соответствующую информацию на ANL сервера. Информация, полученная от ANL клиента, используется его аналогом на сервере для анализа действий пользователя с целью обновления графа UBPG, используемого для прогнозирования поведения пользователя при предварительной загрузке данных мультимедийных объектов. Кроме этого информация о действиях пользователя используется при построении отчетов для заинтересованных сторон (авторов, издателей, сервис провайдеров, и т.п.).

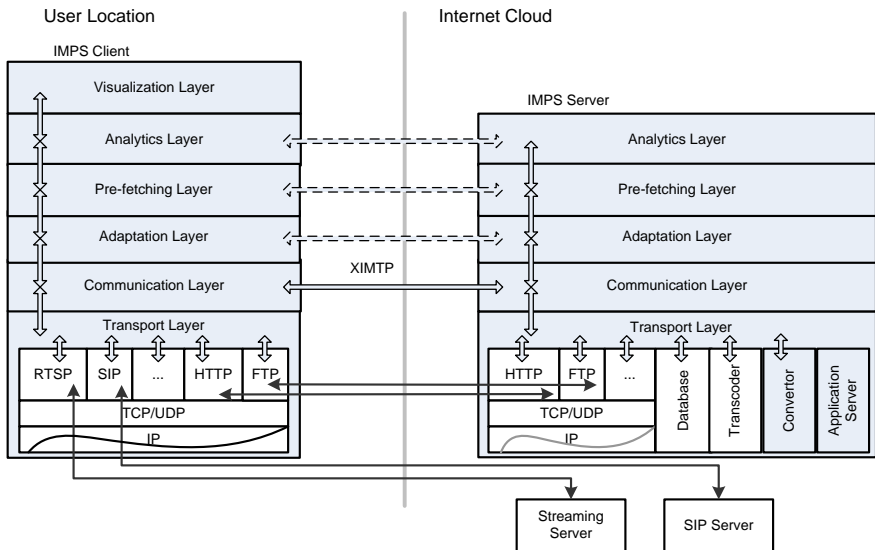


Рис. 4. Многоуровневая архитектура IMPS

Уровень предварительной загрузки PFL также присутствует как в клиентском, так и серверном программном обеспечении. PFL клиента, после получения с VL очередного запроса на предварительную загрузку, запрашивает с PFL сервера список предварительной загрузки. Затем он производит загрузку объектов, указанных в этом списке. PFL сервера строит список предварительной загрузки, пользуясь текущими данными UBPG и списком секций, полученным от нижележащего уровня адаптации ADL.

Уровень адаптации ADL клиента взаимодействует с ADL сервера для адаптации структуры публикации к возможностям конкретного клиентского устройства и конкретного профиля пользователя. Как только ADL клиента получает запрос от VL на список секций текущей страницы публикации, он определяет наборы атрибутов клиентского устройства и пользовательского профиля и передает их на ADL сервера. Используя полученные атрибуты, ADL сервера строит список секций и их версий, являющийся оптимальным в смысле критерия относительного качества адаптации. Полученный список пересылается на ADL клиента для передачи на VL.

Уровень коммуникации CL обеспечивает связь между клиентскими и серверными компонентами всех вышележащих уровней для обмена сообщениями в виде запросов на сервер и ответов с него. Передача сообщений производится в соответствии с протоколом XIMTP (Extensible Interactive Multimedia Transfer Protocol), предложенным автором.

XIMTP является протоколом прикладного уровня, учитывающим текущее состояние (stateful protocol) сессии. Он использует XML для форматирования сообщений и протокол HTTP в качестве транспорта. Сообщения XIMTP состоят из трех основных секций: заголовок (header), запроса (request) и ответа (response). Заголовок включает метаданные протокола, такие как глобальная идентификационная строка, версия протокола, информация совместимости версий и т.п. Секция запроса в сообщении XIMTP используется для удаленного вызова методов (Remote Method Invocation). Она содержит отдельные теги для каждого вызываемого метода и вложенные теги для аргументов методов. Набор методов, которые могут быть вызваны клиентом, включает методы, позволяющие выполнить аутентификацию и авторизацию пользователя, получить общие данные о публикации, получить страницы публикации и вложенные мультимедийные объекты и т.д.

Секция ответа предназначена для возврата результата выполнения метода. Она включает возвращаемое значение статуса (status return value), а также данные ИМП, запрошенные в соответствующем сообщении IMPS. Данные ИМП в секции ответа представляются в формате IMPF (Interactive Multimedia Publication Format), являющемся частью протокола XIMTP. При разработке формата IMPF преследовались следующие цели:

- поддержка интерактивности с возможностью интегрирования мультимедийных элементов, таких как аудио, видео, анимации и т.п.
- максимально возможное разделение компоновки (layout) публикации от ее содержания для упрощения адаптации;
- поддержка управления правами доступа, защищающая доступ к публикации со стороны неавторизованных пользователей;
- возможность расширения формата добавлением новых элементов;
- простота формата, упрощающая разработку программного обеспечения сервера и клиента;
- управление синхронизацией мультимедийных объектов.

Описание ИМП в формате IMPF имеет иерархическую структуру, с объектом Publication на вершине иерархии. Этот объект, наряду с информацией, относящейся к ИМП в целом (заголовок, размеры, количество страниц и т.д.), содержит также объекты типа Page, соответствующие страницам публикации. Объекты типа Page содержат информацию, относящуюся к странице ИМП в целом (номер страницы, фон, шрифты, проиндексированные тексты для быстрого поиска и т.п.), и служит контейнером для объектов типа Spot (секций страницы). Объекты типа Spot являются редактируемыми секциями страницы, содержащими, так называемые, дизайн элементы (design elements) - элементарные объекты, воспроизводимые на клиентском устройстве (тексты, векторные или растровые графические элементы, видео, аудио и т.д.). Дизайн элементы находятся на самом нижнем уровне иерархической структуры и содержат собственно данные объекта, его расположение на странице и параметры графической трансформации. В состав основных дизайн элементов IMPF входят: Line, Oval, Rectangle, Frame, Text, Image, Video, YouTube Video, Flash, Audio. Для временной синхронизации объектов во время их воспроизведения на клиентском устройстве, IMPF использует примитивы, частично заимствованные из языка SMIL.

Эти примитивы применяются, в основном, к динамическим объектам, но их применение к статическим объектам также является допустимым.

Далее в главе показаны результаты экспериментальных данных, собранных в результате работы с большим количеством реальных публикаций разных типов в среде Joomla на протяжении длительного времени. На рисунке 5 показана зависимость среднего времени реакции системы от пропускной способности сети при включенном режиме предварительной загрузки и без нее. Как показывают кривые, время реакции системы при использовании предварительной загрузки существенно меньше, что свидетельствует о высокой эффективности предложенного метода.

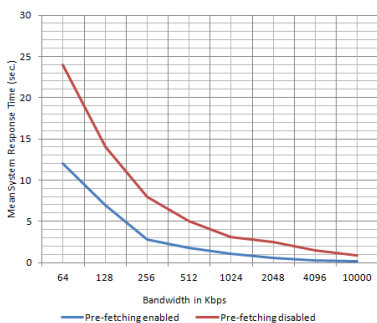


Рис. 5. Зависимость среднего времени реакции системы от пропускной способности.

График на рисунке 6 иллюстрирует результаты опроса читателей относительно качества адаптации на мобильных устройствах. Для сравнения приведены также результаты относительно качества публикации без адаптации контента.

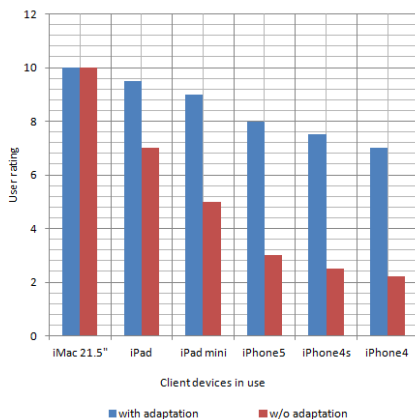


Рис. 6. Сравнение пользовательских оценок качества адаптации к различным клиентским устройствам.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Построена модель процесса предварительной загрузки мультимедийных объектов для ИМП со страничной организацией и предложен новый критерий эффективности процесса предварительной загрузки мультимедийных объектов[1].
2. Разработан новый метод предварительной загрузки мультимедийных объектов для ИМП со страничной организацией, основанный на вероятностном графе поведения пользователя [1].
3. Построена модель процесса адаптации контента ИМП со страничной организацией и предложен новый критерий качества адаптации контента ИМП[3].
4. Разработан новый метод адаптации контента ИМП со страничной организацией к различным клиентским устройствам, с учетом характеристик пользователей[3].
5. Предложены новые уровни многоуровневой архитектуры инфраструктуры ИМП и новый протокол ХИМТР передачи интерактивных мультимедийных данных [2].
6. На основе разработанных решений спроектировано специальное программное обеспечение для использования в системах ИМП. Разработанное программное обеспечение является важной составной частью системы IMPS, на основе которой построен веб сервис Joomla. Joomla имеет свыше 30.000 постоянных пользователей (авторов публикаций) и, в том числе, студенты и преподаватели более 130 образовательных учреждений в Европе, США, Израиле и Австралии, использующие Joomla для создания и публикации курсовых работ, учебных материалов и других трудов.
7. Статистика за 6 месяцев опытной эксплуатации подсистемы предварительной загрузки в реальных условиях показывает, что в среднем, благодаря использованию этого метода, время реакции на действия пользователя сокращается на 43%. При этом, дополнительная загрузка сетевых ресурсов возрастает на 12%, а композитный показатель эффективности, учитывающий оба параметра, улучшается на 36%. Опросы пользователей также свидетельствуют о существенном повышении качества воспроизведения публикаций благодаря применению метода адаптации. В среднем, для серии продуктов фирмы Apple (iMac 21", iPad, iPad mini, iPhone 5, iPhone 4s, iPhone 4), оценка пользователей повышается на 35%.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- [1] R. Vardanyan, "An Adaptive Method for Visualization of the Interactive Multimedia Publications", CSIT, Proceedings of the conference, Sep. 26-30, 2011, Yerevan, Armenia, pp. 332-334.
- [2] R. Vardanyan, "Interactive Multimedia Publication System for Building Web Services", Transaction of IIAP of the NAS of RA "Mathematical Problems of Computer Science", 36, pp.133-139, 2012.
- [3] R. Vardanyan, "Adapting the Interactive Multimedia Publication Content to Mobile Devices", Proceedings of the Yerevan State University. Series "Physical and Mathematical Sciences". 2013. N1, pp.51-54.

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Ատենախոսական աշխատանքը նվիրված է էջային կառուցվածքով ինտերակտիվ մուլտիմեդիա հրատարակությունների ներկայացման մեթոդների և ծրագրային միջոցների հիմնավորմանը և իրականացմանը, ընթերցողի գործողությունների արձագանքման ժամանակը նվազեցնելու ու հրատարակությունների վերարտադրման որակը բարձրացնելու նպատակով՝ միաժամանակ պահպանելով ցանցային ռեսուրսների բեռնման թույլատրելի քանակը:

Աշխատանքի արդիականությունը

Վերջին տարիների վեբ տեխնոլոգիաների զարգացման բարձր տեմպերը հնարավորություն են ընձեռել հրատարակչություններին սկսել անցումը գոյություն ունեցող ավանդական տպագիր տեխնոլոգիաներից դեպի թվային տեխնոլոգիաներ, որոնք թույլ են տալիս ստեղծել ԻՄՇ-ներ: Վերջիններիս լայն տարածումը արագացնելու համար, ըստ բազմաթիվ առաջատար հրատարակչությունների, հարկավոր է ապահովել համակարգի արագ արձագանքը օգտվողի գործողություններին, հասանելի դարձնել ԻՄՇ-ների ընթերցումը տարբեր սարքավորումների համար, ինչպես նաև ապահովել ինտերակտիվության բարձր մակարդակը: Ուստի առաջնային է դառնում վերոհիշյալ համակարգերի զարգացումը: Վերջինս բերում է համապատասխան մեթոդների և ծրագրային ապահովման մշակման անհրաժեշտությանը, որոնք հնարավորություն կտան լուծել վերոհիշյալ խնդիրները:

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները

1. Ստեղծված է էջային կառուցվածքով ԻՄՇ-ի մուլտիմեդիա օբյեկտների նախնական բեռնման գործընթացի մոդել և առաջարկված է մուլտիմեդիա օբյեկտների նախնական բեռնման գործընթացի արդյունավետության նոր չափանիշ [1]:
2. Ստեղծված է մուլտիմեդիա օբյեկտների նախնական բեռնման նոր մեթոդ՝ հիմնված օգտվողի գործողությունների հավանականային գրաֆի վրա [1]:
3. Ստեղծված է էջային կառուցվածքով ԻՄՇ-ի բովանդակության ադապտացման գործընթացի մոդել և առաջարկված է բովանդակության ադապտացման որակի չափանիշ [3]:
4. Ստեղծված է բովանդակության ադապտացման նոր մեթոդ տարբեր սարքավորումների համար՝ հաշվի առնելով օգտվողի առանձնահատկությունները [3]:
5. Առաջարկված են ԻՄՇ ենթակառուցվածքների բազմամակարդակ ճարտարապետության նոր մակարդակներ և ինտերակտիվ մուլտիմեդիա տվյալների տեղափոխման նոր XIMTP արձանագրություն [2]:

6. Ստեղծված լուծումների հիման վրա նախագծվել է ծրագրային ապահովում՝ նախատեսված ԻՄՇ համակարգերում օգտագործման համար: Վերը նշված ծրագրային ապահովումը հանդիսանում է IMPS-ի կարևոր բաղադրիչ, որը օգտագործված է որպես հիմք՝ Joomla-ի վեբ ծառայության ստեղծման համար, որն այս պահին սպասարկվում է ավելի քան 30,000 հրատարակչությունների: Նրանց թվին են պատկանում ուսանողներ և դասախոսներ ավելի քան 130 կրթական հաստատություններից Եվրոպայում, ԱՄՆ-ում, Բուրայելում և Ավստրալիայում, որոնք օգտագործում են Joomla-ը կուրսային աշխատանքների, կրթական և այլ նյութերի ստեղծման և հրատարակման համար:
7. Նախնական բեռնման ենթահամակարգի վերջին 6 ամիսների շահագործման արդյունքում կուտակված վիճակագրական տվյալները ցույց են տալիս, որ միջինում օգտվողի գործողությունների արձագանքման ժամանակը նվազել է 43%-ով՝ ի շնորհիվ այս մեթոդի օգտագործման: Ընդ որում, ցանցային ռեսուրսների լրացուցիչ բեռնումը աճում է 12%-ով, իսկ բաղադրյալ արդյունավետության չափանիշը, հաշվի առնելով երկու պարամետրերը, լավանում է 36%-ով: Ընթերցողների հարցման տվյալները վկայում են նաև հրատարակչությունների վերարտադրման որակի զգալի բարձրացման մասին՝ ի շնորհիվ բովանդակության ադապտացիայի մեթոդի կիրառման: Միջինում Apple ապրանքանիշի արտադրանքների համար (iMac 21", iPad, iPadmini, iPhone 5, iPhone 4s, iPhone 4) օգտագործողների գնահատականը բարձրացել է 35%-ով:

SUMMARY

The thesis is devoted to the presentation methods of interactive multimedia publications with paged structure, and the implementation and justification of programming tools, which are aimed to reduce the reaction time of the system and increase the quality of the rendering of publication, and at the same time, preserving the allowed limit of network load.

Actuality

In recent years, the rapid growth of network capacity, in conjunction with the rapid development of Web technologies have allowed the creators of printed materials to begin the transition from the existing traditional print technology to digital technology, which makes it possible to create IMPs. To promote the rapid growth of IMPs, many prominent publishing houses state that it is important to have fast response of the system to the user actions, make the publications accessible across all major devices and provide a high level of interactivity. Hence the development of the systems described above is really important nowadays. This brings to the development of appropriate methods and computer software, which will make it possible to solve the mentioned problems.

Main Results

1. A model of the process of pre-loading media objects for page structured IMP is built, and a new criterion for the efficiency of the process of pre-loading of multimedia objects is proposed [1].
2. A new method for pre-loading media objects for page structured IMP is developed based on a probability graph of user behavior [1].
3. A model of the process of adapting content for page structured IMP is built, and a new criterion for the quality of content adaptation for IMP is proposed [3].
4. A new method for content adaptation for page structured IMP to a variety of client devices is developed, taking into account user characteristics [3].
5. New layers of the multi-tier architecture of IMP infrastructure are proposed, along with a new XIMTP protocol used for the transmission of interactive media [2].
6. Based on the developed solutions, new software is designed for the use in IMP systems. The developed software is an important part of IMPS, which was used as the core of the web service Joomag. Joomag has over 30,000 permanent users (authors of publications), including students and teachers from over 130 educational institutions in Europe, USA, Israel and Australia, who are using Joomag to create and publish papers, training materials and other documents.
7. The statistics for the last six months of the employment of pre-loading subsystem shows, that on average, thanks to using this method, the reaction time for the actions of the user is reduced by 43%. The additional load of network resources increased by 12%, and the composite performance indicator that takes into account both parameters is improved by 36%. User surveys also show a significant increase in the quality of reproduction of publications through the use of a method of adaptation. On average, for Apple products (iMac 21 ", iPad, iPad mini, iPhone 5, iPhone 4s, iPhone 4), user evaluation score increased by 35%.



Ծավալը՝ 24 էջ: Տպաքանակը՝ 100:
ՀՀ ԳԱԱ ԻԱՊԻ կոմպյուտերային պոլիգրաֆիայի լաբորատորիա:
Երևան, Պ. Սևակի 1