

АВТОМАТИКА. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

МРНТИ 50.51.17, 81.14.11

А. Б. Оспанова

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева,
г. Астана, Казахстан

ИНТЕРАКТИВНОЕ ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Исследуются современные кроссплатформенные Open Source средства графического представления данных для языка промышленного программирования C++. Предлагается технология использования инструментария Qwt+Qt+Qt Creator для графического представления математических объектов. Рассмотрены практические вопросы сборки, установки, настройки и совместного использования библиотек Qt, Qwt и графической среды Qt Creator. В качестве примера разработано мультимедийное интерактивное приложение для вывода графиков плоских кривых в режиме реального времени с аудиосопровождением на трех языках для всех популярных операционных систем (Windows, Linux, Mac OS). Доступна возможность управления графическим выводом с помощью кнопки "Пауза/Продолжить", а также возможность динамического масштабирования. Разработан парсер математических выражений. При этом можно строить графики как для явно заданных кривых, так и для кривых, заданных параметрически.

Ключевые слова: графические библиотеки, Qt, Qwt, C++, кроссплатформенное приложение.



Түйіндеме. Мәліметтерді график түрінде ұсынуға арналған C++ өнеркәсіптік программалау тілі үшін қазіргі заманғы кроссплатформалық Open Source құралдары зерттеледі. Математикалық объекттерді график түрінде ұсыну үшін Qwt+Qt+Qt Creator құралдарын қолдану технологиясы ұсынылады. Qt, Qwt кітапханаларың және Qt Creator графикалық ортасының құрастыру, орнату, күйлеу және бірлесіп қолдану жайындағы практикалық сұрақтар

қарастылырған, сонымен қатар осы сұрақтар бойынша кейбір кеңестер берілген. Мысал ретінде барлық кең таралған операциялық жүйелер үшін (Windows, Linux, Mac OS) үш тілде жұмыс істейтін аудиосүйемелдеуі бар нақты уақыт режимінде жазық қисық сызықтардың графиктерін шығарға арналған интерактивтік мультимедиа қосымшасы жасалған. «Жүргізу/Тоқтату» батырмасы көмегімен график түрінде шығаруды басқару және динамикалық масштабтау мүмкіндіктері бар. Математикалық өрнектер үшін парсер жасалған; айқын түрде де, параметрлік түрде де берілген қисықтар үшін де график тұрғызуға болады.

Түйінді сөздер: графикалық кітапханалар, Qt, Qwt, C++, кроссплатформалық программа.



Abstract. Modern cross-platform Open Source means of graphical representation of data for industrial programming language C++ are investigated. The technology of use of the Qwt+Qt+Qt Creator tools for graphical representation of mathematical objects is offered. Practical questions of assembly, installation, control and sharing of the Qt, Qwt libraries and the graphical environment Qt Creator are considered, also some recommendations about the matters are made. As an example the multimedia interactive application for plain curves graphics rendering in real time with audiomaintenance in Kazakh, English or Russian for all popular operating systems (Windows, Linux, Mac OS) is developed. Possibility of management of a graphic rendering by means of Pause/Continue button, also possibility of dynamic scaling is available. The parser of mathematical expressions is developed, thus it is possible to render graphics for the curves given in both explicit and parametric form.

Key words: graphical libraries, Qt, Qwt, C++, cross-platform application.

Введение. Использование компьютерных средств, методов и технологий для создания и эксплуатации различного рода иллюстрирующих приложений является важным направлением в области современных информационных технологий [1-4].

Для создания подобных приложений в настоящей работе предлагается технология использования кроссплатформенного инструментария – Qt-библиотеки и библиотеки Qwt, предоставляющей классы для научной графики, отсутствующие в стандартной поставке Qt. Дается пример практического применения Qwt для создания интерактивных мультимедийных графиков, диаграмм и т. п. с опциями выбора значений параметров их построения, вида вводимых данных, с возможностью согласованного подключения других мультимедийных средств, а также управ-

ления скоростью отрисовки на экране компьютера. Кроме того, приложения, разрабатываемые с применением данной технологии, компилируются непосредственно в нативный код для целевой платформы, т. е. для их запуска не требуются средства виртуализации типа Java или NET Framework.

В различных областях современной науки и индустрии активно привлекаются методы математики для наглядного представления исследуемых данных с целью выявления, быть может, новых закономерностей и связей. Знание основ математики, ее методов, а также умение применять математический аппарат в решении этих задач значительно увеличивают профессиональную ценность и эффективность работы специалистов в любых сферах деятельности. Более того, это является одним из необходимых условий глубины научных исследований во многих науках. Так, среди современных потребностей сферы науки и образования, связанных с информационными технологиями, есть мультимедийные интерактивные демонстрационные (в том числе обучающие) программные продукты, необходимые при решении, например, таких задач, как [5-13]:

- моделирование процессов и явлений;
- визуализация научных и экспериментальных данных;
- сопровождение преподавания различных дисциплин естествознания с иллюстрацией явлений и объектов, трудных для усвоения.

При этом имеет место необходимость создания конкурентоспособных аналогов, если и уже существующих, то зачастую дорогих коммерческих и неизменно с закрытым кодом программ (Grapher, Picasa, MATHCAD, Maple и др.). Стоимость таких продуктов может достигать десятков тысяч долларов США за одну лицензию. Следует отметить, что некоторые существующие WEB-приложения, несмотря на развитый интерфейс и некоторую степень интерактивности, имеют серьезные недостатки, а именно требуют наличия бесперебойного Интернет-соединения, а также обладают интерфейсом на определенном языке и нерегулируемым контентом, в то время как для многих разработчиков электронных ресурсов инструментом для моделиро-

вания движения служат flash-технологии с весьма ограниченными возможностями, не говоря уже о необходимости программного интерфейса на казахском языке.

Ввиду сказанного, очевидно, следует осваивать технологии, позволяющие в различных областях самостоятельно разрабатывать приложения, открытые для модификации и модернизации, с большой степенью интерактивности, с удобным пользовательским интерфейсом, с возможностью выбора настроек в зависимости от предпочтений или целей пользователя, с поддержкой казахского языка, но при этом нересурсоемкие. Так, в задаче моделирования рассматриваемых в работе [5] физико-химических процессов в качестве инструментария, в частности для визуализации спектрограмм, использованы Open Source графические библиотеки на C++ MathGL и Qwt. При этом приводятся доводы в пользу их выбора. Некоторые возможности MathGL при визуализации научных данных проанализированы также авторами [6]. В работе [7] рассматривается графический интерфейс пользователя ShelXle для широко используемой программы с целью обработки структуры молекул SHELXL, написанный на C++ с использованием Qt. В работе [8] дано описание свободно распространяемого графического редактора Modelica, используемого, в частности, в целях интерактивного обучения. Для редактирования созданных здесь моделей используется инструмент OpenModelica. Так, OMEdit – новый графический интерфейс (связывающий редактор) для работы с OpenModelica реализован на C++ с использованием библиотеки Qt. В [9] описано разработанное авторами обучающее моделирующее и демонстрационное программное обеспечение, написанное на Qt. Другой пример моделирования в технике с использованием инструментария OpenGL и Qt представлен в [10]. В работе [11] выполнен обзор технологии OpenGL и фреймворка Qt для разработки приложений с интерактивными графиками, а также проведено сравнение модуля QtOpenGL с соответствующими составляющими библиотеками OpenGL – GLU/GLUT. Кроме того, в источниках [12,13] рассматривается современная технология OpenGL для создания приложений, использующих компьютерную графику.

При создании платформенно-независимых приложений с легкопереносимым кодом важен и выбор компиляторов. Отметим также, что для предлагаемого к использованию компилятора существуют технологии оптимизации исходного кода программ [14,15]. В представляемой программной разработке были рассмотрены вопросы визуализации в режиме реального времени графиков некоторых классов элементарных функций с аудиосопровождением на трех языках (казахский, английский, русский). Приложение функционирует в наиболее популярных операционных системах: Windows, Linux, Mac OS. В сравнении с другими программными средствами и технологиями создания подобных приложений отметим в совокупности такие характеристики, как отсутствие ограничений в выборе содержания, уровне сложности создаваемого продукта в форме пользовательского интерфейса, возможность одновременного регулируемого запуска нескольких дополняющих друг друга мультимедийных средств и др.

Инструменты разработки. Для разработки приложения использовался язык C++, являющийся фактически промышленным стандартом и, возможно, самым мощным современным средством разработки конкурентоспособных приложений [16]. Подчеркнем, что имеется большое количество сторонних библиотек для C++ с богатыми возможностями.

Графические библиотеки для визуализации научных данных.

Существует достаточно обширный круг так называемых кроссплатформенных Open Source библиотек классов на языке C++, предназначенных для реализации инженерной и научной графики. При этом многие из них предоставляют действительно широкие возможности и позволяют разрабатывать программы, выполняющие задачи практически любой сложности. То есть могут использоваться при исследованиях и для обработки экспериментальных результатов во многих сферах науки и техники.

Все перечисленные библиотеки (Octave, QCustomPlot, Qwt, PlotUtils, PLplot, Boost C++ Libraries, GNUPlot, MathGL) позволяют создавать приложения для графического вывода зависимостей различной природы и пространственных проекций, а также анализа, изучения характеристик и преобразований формально

представляемых объектов. Получаемые иллюстрирующие мультимедиа-приложения могут быть инструментом в современных задачах моделирования в различных областях науки и, кроме того, служить дополнительным выразительным средством при пояснении проводимых построений и процессов, требующих от целевой аудитории понимания определенного уровня абстракций, достаточно легких в применении и функциональных.

Отметим, что с технической точки зрения освоение технологий использования приведенного инструментария, включающее первоначальную сборку, установку, подключение и, собственно, правильное использование, вызывает разной степени затруднения у некоторых разработчиков. Отчасти это связано с тем, что многие Open Source-средства имеют не слишком подробную справочную документацию. Более обстоятельно данные библиотеки рассмотрены в готовящихся автором к изданию учебных пособиях по пакетам для научных вычислений и графическим библиотекам, где приведены практические рекомендации и примеры их использования. Здесь же рассматривается набор классов для C++, на основе которого выполнена представляемая программная разработка.

Графическая библиотека Qwt.

Qwt – это C++ библиотека для научной и инженерной графики, включающая набор Qt-виджетов и вспомогательных классов для графического представления числовых данных и аналитически заданных математических объектов. Помимо виджета для двумерного отображения данных (QwtPlot) включает также классы для отображения осей координат и масштабирования графических данных, различные стили отображения кривых и маркеров на виджете QwtPlot, а также некоторые другие вспомогательные виджеты*. Библиотека позволяет выполнять, в частности:

- графическое представление поведения физических величин и объектов;

*Официальный сайт Qwt – <http://qwt.sourceforge.net/>. Адрес для скачивания стабильных сборок библиотеки – <http://sourceforge.net/projects/qwt/files/qwt/>. Последняя на момент подготовки данной работы версия продукта Qwt-6.1.2. Выпуск состоялся в декабре 2014 г.

- графики различных плоских и пространственных кривых и тел, имеющих аналитическое представление и являющихся математическими моделями исследуемых явлений и процессов;
- иллюстрации к применению задач математических разделов, к примеру, планиметрии и стереометрии (в частности, касающиеся предмета широкого круга задач, конические сечения).

Необходимо остановиться на практических вопросах сборки, установки и использования Qwt, поскольку они могут вызвать затруднения у неопытных пользователей. Но перед этим нам следует рассмотреть библиотеку Qt-инструментарий, чьим дополнением является Qwt, а также инструменты, требующиеся для сборки и установки Qt и Qwt.

Библиотека Qt.

Qt – кроссплатформенный инструментарий разработки программного обеспечения на языке программирования C++ [17, 18]. Есть также возможность использования с другими языками программирования: Python – PyQt, PySide, Ruby – QtRuby, Java – Qt Jambi; PHP – PHP-Qt и другие. Наряду с коммерческой лицензией существуют лицензии GNU GPL для разработки программного обеспечения с открытыми исходниками и GNU LGPL – для разработки программного обеспечения с собственнической лицензией, но без внесения изменений в Qt (независимо от лицензии исходный код Qt один и тот же).

В отличие от других библиотек Qt существенно расширяет язык C++ введением таких сущностей, как слоты и сигналы, что позволяет сделать код более эффективным. При этом имеющаяся в Qt предварительная система обработки исходного кода МОС (Meta Object Compiler) позволяет компилировать код любым стандартным компилятором C++.

Qt позволяет запускать написанные с его помощью программы в большинстве современных операционных систем путём простой компиляции программы без изменения исходного кода. Кроме того, включает в себя все основные классы, которые могут потребоваться при разработке прикладного программ-

ного обеспечения, начиная от элементов графического интерфейса и заканчивая классами для работы с многопоточностью, сетью, базами данных и XML.

Библиотека Qt успешно используется во многих проектах по всему миру. В качестве примеров программного обеспечения, использующих Qt, приведем Autodesk Maya, Adobe Photoshop Elements, OPIE, Skype, Медиапроигрыватель VLC, VirtualBox, Mathematica. Также ее используют такие компании, как European Space Agency, DreamWorks, Google, HP, Lucasfilm, Panasonic, Philips, Samsung, Siemens, Volvo и Walt Disney Animation Studios*. Для Qt существует несколько вариантов установки для всех поддерживаемых платформ:

- онлайн-инсталлятор Qt - исполняемый файл, загружающий необходимое содержимое через Интернет. Содержит бинарный и исходный пакет Qt 5.x и последнюю версию Qt Creator;
- офлайн-инсталлятор Qt - отдельный бинарный файл, который содержит Qt и среду разработки Qt Creator;
- также на указанном сайте можно скачать исходные коды библиотеки в виде архива и самостоятельно собрать библиотеку с использованием нужного компилятора;
- кроме того, на том же сайте доступны более ранние версии Qt.

Отметим, что для операционной системы Windows целесообразно самостоятельно собирать библиотеки из исходных файлов, чтобы обеспечить сборку библиотек и плагинов одной и той же версией компилятора (и использовать один и тот же набор сопутствующих утилит). Это поможет избежать проблем несовместимости получаемых библиотек и бинарных файлов.

*Официальный сайт Qt - <http://www.qt.io/>. Последняя на момент написания данной работы версия продукта – Qt 5.5.1. Выпуск состоялся 15 октября 2015 г.

**Официальный сайт Qt Creator – <http://wiki.qt.io/Category:Tools::QtCreator>. Последняя на момент написания данного пособия версия продукта – Qt Creator 3.5.0. Выпуск был 20 августа 2015 г.

Qt Creator.

Для реализации приложения использовалась свободно распространяемая (хотя есть и коммерческие лицензии) кроссплатформенная интегрированная среда разработки Qt Creator, созданная для работы с инструментарием Qt**.

Как уже отмечалось, последнюю версию Qt Creator можно загрузить, с помощью установщика Qt, или использовать отдельный инсталлятор. Но с учетом замечания о проблемах совместимости иногда лучше вновь воспользоваться исходными файлами и произвести сборку собственным набором инструментария. С целью обеспечения доступности плагинов для дизайнера Qt Creator, в частности Qwt, рекомендуется собирать эти плагины тем же компилятором, что и Qt Creator.

Компиляторы. Наконец, рассмотрим использованные при создании приложения компиляторы (важнейшие утилиты программирования) и приведем соображения по их выбору. GCC (GNU Compiler Collection) – набор компиляторов для различных языков программирования является свободным программным обеспечением, распространяется на условиях GNU GPL и GNU LGPL [19, 20]. Он используется как стандартный компилятор для свободных UNIX-подобных операционных систем. GCC поддерживает компиляцию исходных кодов на таких языках программирования, как C++, Objective-C, Java, Фортран и Ada.

GCC поддерживается программистами всего мира и является лидером по количеству процессоров и операционных систем, которые он поддерживает, официальный компилятор системы GNU, главный компилятор для сборки ряда операционных систем, среди которых различные варианты Linux и BSD, ReactOS, Mac OS X, OpenSolaris.

GCC удобно использовать для разработки программного обеспечения, которое должно работать на различных аппаратных платформах.

MinGW (Minimalist GNU for Windows) – это бесплатная переносимая для Windows сборка бесплатных C и C++ компиляторов GCC. Приложение включает в себя весь необходимый набор инструментов для разработки как родных Windows приложений,

так и для других операционных сред. В приложении имеются GCC-компиляторы, компоновщик, ассемблер, архиватор, комплект заголовочных библиотек и файлов, а также набор Unix-подобных утилит-командной строки MSYS. Каждая утилита в составе MinGW предназначается для работы из командной строки, но также их можно использовать в популярных графических средах разработки: Qt Creator, Code::Blocks, Eclipse, NetBeans.

К основным достоинствам MinGW можно отнести то, что он распространяется бесплатно, легко устанавливается и занимает немного дискового пространства, включает в себя все инструменты и библиотеки, которые нужны при создании программ, качественно и быстро компилирует код, постоянно развивается и поддерживается разработчиками.

Сборка, установка и некоторые вопросы использования Qwt.

Итак, ввиду выбранного нами набора инструментария должны быть установлены Qt Creator и GNU-компилятор соответственно операционной системе.

Qwt-6.1.2 состоит из 4-х файлов:

- qwt-6.1.2.zip - zip-архив с исходными кодами Qwt и html-документацией для Windows;
- qwt-6.1.2.tar.bz2 - сжатый tar-файл с исходными кодами Qwt и html-документацией для систем семейства UNIX (Linux, Mac и др.);
- qwt-6.1.2.pdf-файл документации Qwt;
- qwt-6.1.2.qch-файл документации Qwt в виде файла-справки Qt, который может быть загружен в Qt Assistant или Qt Creator. При этом в Qt Creator станет доступной контекстная справка, как для Qt-классов.

После загрузки, распаковки в директорию по умолчанию нужного архива, прописывания определенных переменных окружения нужно в командной строке выполнить стандартный набор команд для данной операционной системы, который можно найти, например, в соответствующем html-файле из загруженного Qwt-6.1.2. Важно, чтобы Qwt был собран той же версией компилятора, что и Qt и Qt Creator. При этом сборка должна быть в конфигурации Release (а не Debug). Для того чтобы плагины для работы с Qwt (а также другими дополнениями) были доступны в

панели инструментов дизайнера форм Qt Creator, нужно эти плагины (они генерируются при установке Qwt) скопировать в папку для плагинов дизайнера, а собранную библиотеку Qwt (файл qwt.dll) - в подкаталог \bin каталога, где установлен Qt Creator.

Таким образом, в разработке приложения использовался такой современный и мощный инструментарий, как Qt+Qwt+Qt Creator и GNU-компиляторы GCC для Unix-систем Linux и Mac и MinGW для Windows. Отметим, что сборка, установка и использование всего приведенного здесь инструментария подробно рассмотрены в упомянутых выше учебных пособиях. Кроме того, в них даны практические рекомендации для разных операционных систем, а также примеры применения приведенных здесь библиотек и многое другое.

Приложение.

Далее представлена кроссплатформенная практическая разработка в качестве примера использования рассмотренных технологий и инструментария. В данном приложении обучающего характера реализована возможность вывода графиков плоских кривых в декартовой и полярной системах координат в режиме реального времени с поясняющим аудиотекстом (читаются определения и основные свойства обрабатываемых кривых и их графиков) на выбранном языке. Имеется возможность выбора прослушивания на казахском, английском и русском языках. На рис. 1 представлен интерфейс программы при работе с функци-

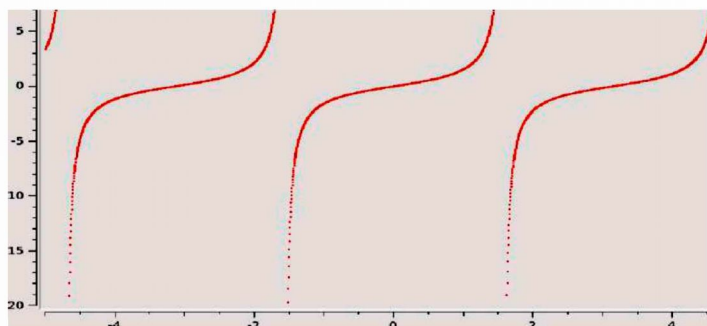


Рис. 1. График функции $tg(x)$

ями, зависящими от одной переменной (в операционной системе Linux).

Следует отметить, в частности, возможность демонстрации свойств конических сечений. Как известно, все основные кривые второго порядка (эллипс, гипербола, парабола и др.) могут быть получены сечением конуса плоскостью (конические сечения). Кроме того, в разработанном приложении есть возможность выводить на экран графики функций, заданных параметрически. Это позволяет работать с неявно задаваемыми функциями (рис. 2) (Приложение запущено в операционной системе Windows.)

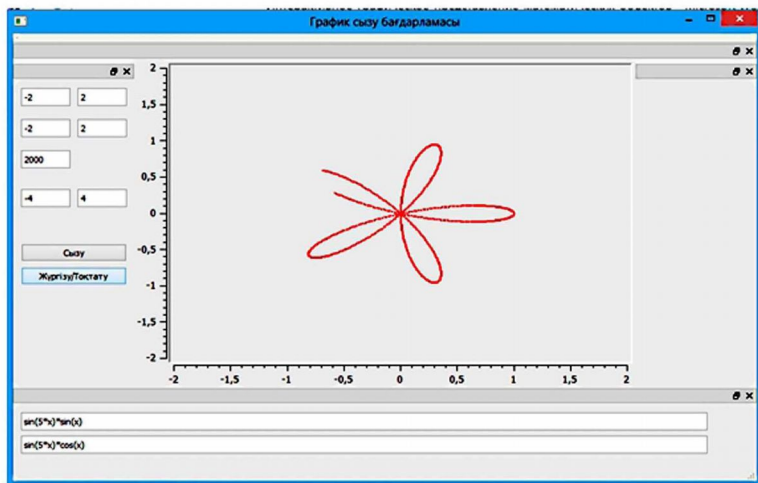


Рис. 2. Роза Гранди 5-лепестковая (нажата кнопка, приостанавливающая вывод графика)

С технологической стороны отметим выполненную задачу реализации технологии "Парсер" с целью автоматизации работы с аналитическим представлением данных в интерактивном режиме. За счет более широкого спектра инструментов управления степенью сложности и функциональности, обеспечиваемого собранием классов Qt для языка C++ (в отличие, например, от широко используемых в электронных изданиях flash-тех-

нологий), реализуемы такие немаловажные качественные характеристики создаваемых динамических графиков, как глубокий уровень интерактивности, легкость поддержки и сопровождения, комплексное назначение, относительная нетребовательность к ресурсам, а также высокая степень совместимости с другими приложениями. Наряду с возможностью оформления мультимедийных элементов с обратной связью в качестве самостоятельного программного продукта есть возможность интеграции их в программы.

Графические динамические интерактивные и аудиообъекты, созданные с использованием данной технологии, легко связываются со многими другими приложениями и электронными изданиями и могут выступать в качестве мультимедийного сопровождения этих приложений. Кроссплатформенная программа протестирована в OS Windows 7 и 8, OS Linux, Mac OS.

Заключение. Технология использования Qt и дополнений к ней для разработки программного обеспечения вообще, а также создание интерактивных мультимедийных объектов, имеют ряд преимуществ:

- мультимедиа, созданные описанным способом, не ограничивают пользователя в техническом и аппаратно-программном отношении;
- сохраняется возможность оформления результатов как самостоятельного приложения наряду с генерацией простых исполняемых файлов и кодов (в различных операционных средах) и, следовательно, с возможностью использования создаваемых графических продуктов в различных электронных ресурсах. Относительно применения данных продуктов в электронных изданиях можно сказать, что здесь выдержаны все требования, предъявляемые к современным мультимедийным составляющим электронных изданий;
- другим значительным фактором активного применения инструментария Qt в обозначенных целях может служить независимость получаемых приложений и составляющих от используемых операционных систем. Отметим, что такой метод создания графических рисунков в различных приложениях обеспечи-

вает также и возможность относительно простой интеграции других выразительных средств (сопровождающее аудио и т. п.).

Рассмотренный инструментарий может служить основой при разработке технологии интеграции различных библиотек классов и средств информационных технологий для создания единого мультимедийного продукта.

Одним из возможных приложений данной технологии могут стать, к примеру, так называемые программы-оболочки, предназначенные для автоматизации создания различного рода мультимедийных электронных приложений, которые также найдут практическое применение. Кроме того, рассмотренные библиотеки и технологии смогут иметь приложения в дальнейших разработках по созданию таких конечных многофункциональных продуктов, как тематические интерактивные web-порталы и информационные системы, коммерческие проекты, требующие применения современных информационных технологий, визуализации данных и другого мультимедийного сопровождения.

Список литературы

1 *Ce Zhu, Yuenan Li and Xiamu Niu*. Streaming Media Architectures, Techniques and Applications: Recent Advances. – 1 edition. – IGI Global, 2010. – 502 p.

2 *Lengyel E*. Mathematics for 3D Game Programming and Computer Graphics. 3rd ed. / Course Technology PTR, 2011. – 576 p.

3 *Чепмен Н., Чепмен Дж.* Цифровые технологии мультимедиа. – М.: Вильямс, 2006. – 624 с.

4 *Филимонов А.* Построение мультисервисных сетей Ethernet. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 592 с.

5 *Тутарова В. Д., Снегирев Ю. В.* Повышение эффективности использования ресурсов вычислительной системы на примере решения задачи расплавления реагентов в сталеразливочном ковше // Программная инженерия. – 2012. – № 8. – С. 44-47.

6 *Оспанова А. Б., Мерхатов М. М.* Использование современных средств визуализации научных данных: сб. науч. тр. II Междунар. конф. // Информационные технологии в науке, уп-

р­в­ле­нии, со­ци­аль­ной сфе­ре и ме­ди­ци­не. – Ч. I. – Томск: Изд-во Томского политех.ун-та, 2015. – С. 200-202.

7 *Hubschle C. B., Sheldrick G. M., Dittrich B.* ShelXle: a Qt graphical user interface for SHELXL // *Journal of applied crystallography.* – 2011. – Vol. 44 (6). – P. 1281-1284.

8 *Asghar S. A., Tariq S., Torabzadeh-Tari M.* An Open Source Modelica Graphic Editor Integrated with Electronic Notebooks and Interactive Simulation // *Proceedings of 8th Modelica Conference.* – Dresden (Germany), 2011. – P. 739-747.

9 *Qunhao Jin, Zichao Yan, Xuewang Liu.* Qt programming to realize teaching simulation demonstration of exploration seismology // *International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT).* – Harbin, Heilongjiang (China), 2011. – Vol. 4. – P. 1868-1871.

10 *Wang D., Wang Z.* Research of Real-Time Trajectory Simulation Module Based on Qt and OpenGL // *Fifth International Conference in Computational and Information Sciences (ICIS).* – Shiyang (China), 2013. – P. 179-182.

11 *Gois J.P., Batagelo H.C.* Interactive Graphics Applications with OpenGL Shading Language and Qt // *25th SIBGRAPI Conference in Graphics, Patterns and Images Tutorials (SIBGRAPI-T).* – Ouro Preto (Brazil), 2012. – P. 20.

12 *Angel E., Shreiner D.* Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach with Shader- Based OpenGL. 6th ed. – Addison Wesley, 2011. – 768 p.

13 *Hearn D. D., Baker M. P., Carithers W.* Computer Graphics with OpenGL. 4th ed. – Prentice Hall, 2010. – 888 p.

14 *Галатенко В. А., Вьюкова Н. И., Костюхин К. А., Шмырев Н. В.* Опыт использования адаптивной компиляции в целях оптимизации критически важных приложений // *Программная инженерия.* – 2012. – № 8. – С. 10-15.

15 *Hubicka J.* Profile driven optimizations in GCC // *In GCC Developers Summit Proceedings.* – Ottawa, Ontario (Canada), 2005. – P. 107-124.

16 ISO/IEC 14882:2014 – Information technology – Programming languages – C++.

17 *Шлее М.* Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 928 с.

18 *Саммерфилд М.* Qt. Профессиональное программирование. – М.: Символ-Плюс, 2011. – 552 с.

19 *Гриффитс А.* GCC. Настольная книга пользователей, программистов и системных администраторов. – Киев: ООО ТИД ДС, 2004. – 624 с.

20 *Brian J. Gough, Richard M. Stallman.* An Introduction to GCC: For the GNU Compilers GCC and G++. – Publisher: Network Theory Ltd., 2004. – 144 p.

Оспанова Адеми Бекжановна, кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: o.ademi111@mail.com