Структура ВКР

1. Общая часть – проблема, известные пути её решения, наша идея её решения.
   1. Проблема – это АСНИ в области научных исследований и, в частности, исследования стандартов мобильной связи.
      1. Обработка потоков данных, их трансформация, формирование выходных потоков
      2. Проработка возможности формирования контрольных точек для сохранения и возобновления процессов обработки потоков данных
      3. Сохранение параметров, индикаторов и результатов преобразований

Проблема автоматизации и повышения эффективности научных исследований существовала с самого начала их появления. В настоящее время существует множество решений этой проблемы. Одним из них является использование в научных исследованиях автоматизированной системы научных исследований (сокращённо АСНИ), реже используются термины САНИ – система автоматизации научных исследований и САЭ – система автоматизации эксперимента.

Автоматизированная система научных исследований – это программно-аппаратный комплекс, использующий вычислительную технику в своей основе и предназначенный для проведения исследований практически в любой сфере науки. В основе АСНИ лежит идея моделирования объектов и их отношений из реальной жизни и оперирование этими моделями для симуляции изучаемых процессов. Научные исследования в большинстве своём предполагают произведение точных и алгоритмически сложных вычислений. Производимые старым способом, то есть вручную, они занимают много времени и усилий исследователя. Автоматизированные системы повышают эффективность научных исследований за счёт своих вычислительных мощностей, ускоряя проведение вычислений во много раз.

Сложно придумать сферу, где не пригодилась бы АСНИ. Такие системы можно применять в экономике, физике, биологии, геологии, медицине, промышленности и так далее. В частности, АСНИ могут эффективно применяться в области исследования стандартов мобильной связи.

Мобильная связь – это способ связи с беспроводным доступом к каналу связи, то есть без использования кабеля. Вместо этого, в основе мобильной связи лежит принцип радиосвязи – способ передачи сообщений на расстоянии посредством радиоволн. Благодаря ему можно производить соединение между перемещающимися в пространстве абонентами, из-за чего связь и называется мобильной. Исследования в области мобильной связи предполагают большие и сложные эксперименты, симулирующие работу системы с множеством различных объектов, что предполагает обработку объёмных потоков данных, вычисления с множеством параметров и применением различных алгоритмов обработки на одних и тех же этапах для сравнения их эффективности, формирование, хранение и анализ выходных потоков и так далее. Для проведения исследований такого масштаба удобно использовать автоматизированную систему научных исследований.

**Пути решения проблемы – в настоящее время это решается чисто разработкой симуляционных систем. Какие есть АСНИ и что они могут.**

В нынешнее время научные исследования в разных сферах проводят немалое количество ученых, инженеров, конструкторов и других профессий с использованием сложного и дорогого оборудования. Исходя из этого уже понятно, что на проведение экспериментов и исследований затрачивается огромное кол-во средств и времени. А точность и эффективность этих исследований зависит от уровня использования компьютерной техники.

И поэтому, для решения данных проблем, а также для решения проблем автоматизации и повышения эффективности исследований (в которую включаются различные сферы науки, включая и мобильную связь), единственный вариант выхода — это только разработка АСНИ, АСУ и других подобных автоматизированных систем. При их всеобщем внедрении и развитии, это позволило бы максимально сократить время и кол-во затраченных ресурсов на исследование, но при это увеличить его точность и эффективность.

Существуют различные виды автоматизированных систем (АС) (например, Автоматизированная система управления (АСУ) или ее другой вариант Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП), Система автоматизированного проектирования (САПР) и др.), но АСНИ отличается от них получаемой на выходе информацией. Это в первую очередь обработанные или обобщенные данные, на основе которых получаются математические модели объектов, исследований или процессов. Также в АСНИ могут использоваться и готовые математические модели для изучения поведения тех или иных объектов и процессов, а также для уточнения самих этих моделей. Результаты же выводятся в наиболее удобной форме — графической или символьной. На данный момент уже существуют различные АСНИ, которые используются по всему миру и помогают проводить исследования.

Одна из них это EPICS (от англ. Experimental Physics and Industrial Control System )- набор инструментов и приложений для исследования и управления в сферах физики и промышленности, разработанная в Лос-Аламосской Национальной Лаборатории (АНЛ), США. Данная АСНИ используется для разработки и запуска распределенных систем управления для научных и экспериментальных установок, таких, как ускорители частиц, телескопы и других больших установок.

Также EPICS предоставляет возможности для работы с данными SCADA (от англ. Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных).

EPICS использует технологии клиент–сервер и публикации–подписки для взаимодействия между компьютерами. Серверы, “контроллеры ввода-вывода” (IOCS), собирают экспериментальные и контрольные данные в режиме реального времени, используя подключенные к ним измерительные приборы. Затем эта информация предоставляется клиентам с использованием широкополосного доступа к каналам (CA) или недавно добавленных сетевых протоколов pvAccess, которые разработаны для приложений реального времени, таких как научные эксперименты.

IOCs (от англ. Indicator of compromise-Индикаторы компрометации) содержат базу данных "записей", представляющих устройства или аспекты устройств, которыми необходимо управлять, и взаимодействуют с ней. IOCs могут размещаться на стандартных серверах или ПК, а также на VME, MicroTCA и других стандартных процессорах для встраиваемых систем. Для приложений "жесткого реального времени" обычно используются операционные системы RTEMS или VxWorks, в то время как приложения "мягкого реального времени" обычно работают на Linux или Microsoft Windows.

Данные, хранящиеся в записях, представлены уникальными идентификаторами, известными как переменные процесса (PV). Эти PV доступны по сетевым каналам, предоставляемым протоколом CA/pvAccess.

Доступно множество типов записей для различных типов ввода и вывода (например, аналоговых или двоичных) и для обеспечения функционального поведения, такого как вычисления. Также возможно создавать пользовательские типы записей. Каждая запись состоит из набора полей, которые содержат статические и динамические данные записи и определяют поведение при локальном или удаленном запросе различных функций. Большинство типов записей перечислены в справочном руководстве EPICS record reference manual.

Доступны пакеты графического интерфейса пользователя, позволяющие пользователям просматривать фотоэлектрические данные и взаимодействовать с ними с помощью типичных виджетов дисплея, таких как циферблаты и текстовые поля. В качестве примеров можно привести EDM (Extensible Display Manager), MEDM (Motif/EDM) и CSS.

Любое программное обеспечение, реализующее протокол CA/pvAccess, может считывать и записывать значения PV. Доступны пакеты расширений для обеспечения поддержки MATLAB, LabVIEW, Perl, Python, Tcl, ActiveX и т.д. Они могут быть использованы для написания сценариев взаимодействия с оборудованием, управляемым EPICS.

На данный момент EPICS используется в таких проектах как: Национальный исследовательский центр синхротронного излучения (NSRRC), Китайский источник расщепляющих нейтронов (CSNS), Пекинский электронно-позитронный коллайдер (BEPC-II) и другие. В основном все проекты связаны с исследованием частиц, импульсов (или же проще говоря экспериментальной физики), а также с промышленностью.

Также существует АСНИ TANGO (от англ. TAco Next Generation Objects)- система, предназначенная для управления различным оборудованием, установками и программным обеспечением. TANGO активно разрабатывается в основном группой(сообществом) операторов синхротронов. У нее присутствует возможность работать как на нескольких машинах, так и всего на одной. В качестве сетевого протокола используется omniorb реализацию CORBA и Zeromq. Взаимодействие между клиентом и сервером может быть синхронным, асинхронным (при использовании CORBA) или событийно-ориентированным (Zeromq).

TANGO основана на принципах устройств. Они реализуют объектно-ориентированный и сервис-ориентированный подходы к архитектуре ПО. Объектная модель TANGO поддерживает методы, атрибуты и свойства для настройки устройств. В TANGO все объекты являются представлениями устройств.

В состав TANGO входит база данных, в которой хранятся все зарегистрированные в системе устройства, среда быстрой разработки приложений, а также большое число вспомогательных инструментов.

TANGO в первую очередь используется, чтобы обеспечить сетевой доступ к оборудованию. При этом диапазон оборудования может варьироваться от простейших регистров ввода-вывода, пересылающих отдельные байты, до сложнейших систем обнаружения или систем управления заводом/предприятием. Доступ к оборудованию осуществляется с помощью процесса, называемый Сервером Устройства (англ. Device Server). Сервер устройства содержит устройства, принадлежащие к различным классам, обеспечивающие доступ к оборудованию. В процессе работы Сервера устройства создаются экземпляры, которые представляют логические экземпляры оборудования в системе управления. Клиенты взаимодействуют с устройствами (работа с базой данных и отправка запросов к устройствам), используя TANGO. TANGO используется в таких проектах как ELI BEAMS (Чехия), ALBA (Испания), ESRF (Франция) и др. Также данная система используется и в России, а именно в Курчатовский Источник Синхротронного Излучения (КИСИ) и в NICA (англ. Nuclotron-based Ion Collider Facility) — сверхпроводящий коллайдер протонов и тяжёлых ионов, город Дубна Моск. Области.

Из данных примеров можно заметить, что АСНИ используется в основном в проектах, связанных с ядерной физикой, подсчетом частиц, и импульсов, а также в промышленности. Но среди разнообразия автоматизированных систем (которые включают и АС, отвечающие за мобильную связь), их главная проблема заключается в узконаправленности, а вот АСНИ не имеет каких-то определенных границ и зачастую решает задачи АСУ, САПР и др. Но даже среди АСНИ, не было замечено систем, которые помогали бы исследовать сферу мобильной связи.

Наш проект начался именно с такой проблемы. Было предложено разработать систему для помощи с разработкой сценариев экспериментов, исследующих возможности нового стандарта мобильной связи. Наше собственное решение представляет собой автоматизированную систему научных исследований, применение которой выходит за рамки данной сферы, что означает, что её можно применять не только в области мобильной связи, но и для любых других исследований. Это возможно, так как наша система позволяет:

1. Заниматься гибко настраиваемой обработкой входных потоков данных, путём написания собственного или использования уже написанного сценария из взаимозаменяемых собственноручно закодированных или встроенных в систему стадий.
2. Трансформировать данные из входных потоков в процессе проведения эксперимента и формировать выходные потоки.
3. Формировать систему из контрольных точек для получения возможности сохранения, остановки и возобновления процессов обработки потоков данных по необходимости и желанию исследователя.
4. Сохранять параметры, индикаторы и результаты преобразований в базу данных, эффективно использовать операции обращения к данным в ней (поиск, удаление и добавление), а также делать выгрузку данных из базы в удобных для исследователя форматах.
5. Анализировать полученные и сохранённые данные, например, для сравнения эффективности разных алгоритмов, применённых на одной и той же стадии; выявление проблем и новых исследовательских вопросов, возникающих при взаимодействии определённых объектов или сценариев их поведения и другое.

В общем и целом, подводя итог вышесказанному в пунктах, система предназначена для организации (создании моделей объектов участников эксперимента, каналов связи и сценариев их взаимодействия), проведения экспериментов и анализа их результатов, а также реализации сопутствующих сервисов, в частности, для моделирования работы мобильной сети, а вообще – в любой мыслимой научной области.

* 1. Пути решения проблемы – в настоящее время это решается чисто разработкой симуляционных систем. Какие есть АСНИ и что они могут.
  2. Наш подход и наша архитектура.
     1. Графический pipeline для формирования этапов и алгоритмов обработки данных
     2. Система хранения данных, необходимых для дальнейшего анализа и сравнения результатов расчётов (преобразований)
     3. Аналитическая система для собственно сравнительного анализа результатов различных экспериментов
  3. Описание платформы разработки и используемых систем.

1. Подзадача: её описание, роль в общей системе и общая идея реализации.
   1. Характеристика
   2. Требования (функциональные и нефункциональные)
   3. Идея и подробности имплементации
   4. Небольшие примеры (если это имеет смысл)
2. Реальный пример использования всей системы
3. Заключение
   1. Итоги разработки
   2. Направления дальнейшего развития и дальнейших разработок

**Наш подход и наша архитектура**

Нашей задачей в рамках данной работы является разработка АСНИ для моделирования и анализа сценариев работы мобильной сети. Система предназначена для организации и проведения экспериментов по работе с мобильной сетью, а также для анализа и сопоставления результатов этих экспериментов. Принципиально система состоит из двух модулей:

* Интегрированная среда разработки
* Интегрированная среда моделирования

В свою очередь, интегрированная среда моделирования состоит из следующих подмодулей:

* Пользовательский интерфейс для взаимодействия со средой моделирования
* Подсистема управления расчетом эксперимента
* Подсистема анализа результатов проведения эксперимента
* Подсистема хранения данных

Для реализации пользовательского интерфейса интегрированной среды моделирования было решено воспользоваться парадигмой визуального программирования – это такой способ написания программ, при котором программисту не требуется писать текст программы, а требуется производить манипуляции с графическими блоками, каждый из которых выполняет какое-то действие. Таким образом, исследователь будет разрабатывать программу эксперимента, манипулируя графическими блоками вместо написания её текста, что должно упростить исследование эксперимента.

С точки зрения подсистемы управления расчетом эксперимента каждый графический блок в интегрированной среде моделирования эксперимента представляет собой специальный объект “стадии” работы с данными. Каждая стадия является отдельной подпрограммой, которая может принимать какие-либо входные параметры, производить с ними произвольные манипуляции, после чего возвращать выходные данные. Стадии могут выстраиваться в ориентированные графы таким образом, что выходные данные одной или нескольких стадий могут служить входными данными для одной или нескольких стадий. Это позволяет исследователю реализовывать сценарии произвольной сложности, не задумываясь при этом о деталях реализации отдельно взятых стадий, а также, не заботясь о распараллеливании входных и выходных потоков данных при их обработке.

Помимо того, что стадии можно собрать в программу и запустить её, стадии поддерживают и интерактивную работу, полезную для отладки и анализа: исследователю доступна возможность приостановить выполнение любой из стадий и проанализировать входные и выходные потоки данных этой стадии, после чего исследователь может по своему усмотрению прервать выполнение программы или продолжить её с того места, где она остановила своё выполнение.

Подсистема анализа результатов проведения эксперимента позволяет исследователю анализировать конечные и промежуточные результаты проведения эксперимента. Для этого исследователю нужно добавить в эксперимент стадии для анализа данных. Эти стадии идеологически ничем не отличаются от стадий расчетов эксперимента – они также принимают некоторые входные данные, обрабатывают их и возвращают выходные данные, представляющие собой требуемый результат анализа входных данных. Таким образом, исследователю доступна возможность параллельно проводить эксперимент и при этом анализировать некоторые промежуточные результаты этого эксперимента, подключая стадии анализа данных к промежуточным стадиям эксперимента.  
Помимо этого подсистема анализа результатов проведения эксперимента позволяет анализировать и сопоставлять промежуточные и конечные результаты проведенных ранее экспериментов.

Подсистема хранения данных позволяет исследователю сохранять конечные и промежуточные результаты проведения экспериментов. Для этого исследователю нужно добавить в эксперимент стадию для сохранения данных. Эта стадия позволяет сохранить произвольные данные для их последующего использования. Например, исследователь, сохранив выходные данные проведения одного эксперимента, может их использовать в качестве входных данных для проведения другого эксперимента. Также, сохранив результаты одного или нескольких экспериментов, исследователь в дальнейшем может их проанализировать, используя подсистему анализа результатов проведения экспериментов. Таким образом, подсистема хранения данных может обеспечивать дополнительное взаимодействие подсистемы управления расчетом эксперимента и подсистемы анализа результатов проведения эксперимента.

На этом закончим рассмотрение интегрированной среды моделирования и перейдем к рассмотрению интегрированной среды разработки. Предполагается, что интегрированной средой моделирования пользуется инженер по моделированию – то есть исследователь, который исследует некоторый эксперимент, в то время как интегрированной средой разработки пользуется инженер по разработке для разработки новых стадий обработки данных. В настоящий момент в качестве интегрированной среды разработки выбрана платформа Microsoft Visual Studio Express 2017. Инженер по разработке, имея полный код нашего проекта и подсистемы управления расчетом эксперимента в частности, может добавить в последнюю новые стадии обработки данных, необходимых исследователю.

**Описание платформы разработки и используемых систем**

Компиляторы и средства сборки:

В качестве компилятора был выбран “*Microsoft Visual C++*”, поставляемый вместе с бесплатной интегрированной средой разработки “*Mircosoft Visual Studio Express 2017*”. Данная версия компилятора и поставляемая с ним стандартная библиотека шаблонов (STL (Standard Template Library)) поддерживает стандарт C++17, который было решено использовать, как самый новый из тех, что могут быть доступны при использовании.

Помимо интегрированной среды разработки “*Microsoft Visual Studio*”, для прототипирования GUI была также использована IDE “*Qt Creator*”, ключевая особенность которого состоит в наличии редакторе форм, позволяющим добавлять в приложение элементы графического интерфейса без редактирования кода.

Для сборки проекта было принято решение использовать “*CMake*” – кроссплатформенное программное средство для автоматической сборки программы из исходного кода. Решение принято, исходя из распространенности “*CMake*” в современных проектах на языках C и C++, а также из намерения введения будущей поддержки кроссплатформенности для запуска АСНИ на различных операционных системах и аппаратных платформах.

Система управления базами данных (СУБД):

Для хранения данных, генерирующихся в ходе проведения эксперимента, было решено использовать “*PostgreSQL*” – кроссплатформенная объектно-реляционная система управления базами данных с открытым исходным кодом.

Используемые библиотеки:

1. “*Qt 5.12.12*” – набор библиотек для разработки кроссплатформенного программного обеспечения на языке программирования C++. Из поставляемого набора были использованы библиотеки “*Qt5 Core*”, ”Qt*5 GUI*”, “*Qt5 Charts*” , “*Qt5 Widgets*”.

|  |  |
| --- | --- |
| Название библиотеки | Содержание библиотеки |
| Qt5 Core | Набор классов, напрямую не связанных с GUI и используемых во всех остальных библиотеках Qt. Содержит метаобъекты для слотов и сигналов, контейнеры, например, QVector, QLine, QPoint, QMap, QRect. В библиотеку также включена событийная система QEvent. |
| Qt5 GUI | Низкоуровневые базовые классы, используемые для разработки компонентов графического интерфейса. В рамках проекта библиотека используется виджетами для рисования: QPixmap, QPainter. |
| Qt5 Charts | Компоненты графического интерфейса, используемые для построения и отображения графиков на основе статических или изменяющихся в процессе исполнения данных. Используется для отрисовки графиков в дашборде. |
| Qt5 Widgets | Содержит все компоненты оконного приложения, а также QApplication, который представляет из себя само оконное приложение, фактически, являющееся виджетом. |

1. “Google Test” – самый распространенный фреймворк с открытым исходным кодом для модульного тестирования на языке C++. Предоставляет следующие возможности:
   1. Создание одиночных тестов (тест-кейсов). Тест-кейс определяется синтаксисом “TEST(GroupName, TestName)”, где “*GroupName*” – название тестовой группы, “ *TestName* ” – наименование тест-кейса;
   2. Группировка тестов – тесты могут быть объединены в единые наборы по выбранному программистом критерия. Самым распространенным способом объединения является группировка тестов по классу, над которым проводится тестирование;
   3. Создание тестовых классов. Тестовый класс представляет из себя единую конфигурацию объектов, которая может быть повторно использована в тестах или наборах тестов. Тест-кейс, использующий тестовый класс должен определяться через макрос “TEST\_F(TestFixtureClassName, TestName)”, где “*TestFixtureClassName*” – имя того класса, который подразумевается использовать, а “TestName” – имя тест-кейса;
   4. Набор макросов, используемых для проверки утверждений. Проверки делятся на 2 типа: “Assertions” и “Expectations” и выражаются в коде через макросы, представляющие из себя регулярное выражение “ASSERT\_\*” или “EXPECT\_\*” соответственно. Одним из множества примеров таких макросов является “ASSERT\_EQ(val1, val2)” и “EXPECT\_EQ(val1, val2)”. Он проверяет, что val1 и val2 равны между собой. Различием между “ASSERT\_\*” и “EXPECT\_\*” является поведение тестовой функции после исполнения кода макроса. В случае неисполнения утверждения в “ASSERT\_\*”, тестовая функция завершит свое исполнение, а тест-кейс будет помечен, как проваленный. Если ожидание в функции “EXPECT\_\*” будет провалено, тогда тестовая функция продолжит исполнение, но при окончании тест также будет завершен с ошибкой;
   5. Создание mock-классов и имитация поведения интерфейсных функций. Mock-классы используются для имитирования поведения составных частей тестируемого класса. Они необходимы для тестирования класса при различных сценариях поведения его составных частей, связанных с ним отношениями композиции и агрегации.   
      Mock-класс определяется, как наследник базового класса, в котором все интерфейсные методы, поведение которых должно быть имитировано, заносятся под макрос “MOCK\_METHOD”.
2. “*libpq*” – библиотека с открытым исходным кодом для взаимодействия с СУБД “*PostgreSQL*”. Предоставляет набор функций, написанных на языке C и используемых для формирования запросов и транзакций к СУБД. Важно отметить, что существует еще две распространенные библиотеки для работы с СУБД “*PostreSQL*”: “*libpq++*” и “*libpqxx*”, которые предоставляют интерфейс на языке C++. “libpq” был выбран, так как в сравнении с библиотеками на C++ имеет полную и подробную документацию.