

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
<<ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ>>  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

Факультет прикладной математики, информатики и механики

Кафедра математического обеспечения ЭВМ

**Реализация палитры команд с возможностью нечеткого  
поиска в приложениях, использующих Qt**

Магистерская диссертация

Направление 01.04.02 Прикладная математика и информатика

Профиль Название профиля

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Г.В. Абрамов \_\_\_\_\_. 2020 г.

Обучающийся \_\_\_\_\_ Д.В. Польшаков

Руководитель \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н., доц. М.К. Чернышов

Воронеж 2020

# Список сокращения

ПО --- программное обеспечение

ГИП --- графический интерфейс пользователя

API --- программный интерфейс приложения (англ. application programming interface).

# Содержание

|   |    |
|---|----|
| <b>Содержание</b>                                       | 3  |
| <b>Введение</b>   | 4  |
| <b>1 Обзор существующих реализаций палитр команд</b>    | 5  |
| <b>2 Анализ задачи</b>                                  | 7  |
| 2.1 Общий анализ  | 7  |
| 2.2 Постановка задачи                                   | 11 |
| 2.3 Архитектура   | 12 |
| <b>3 Реализация</b>                                     | 14 |
| 3.1 Средства реализации                                 | 14 |
| 3.2 Требования к программному и аппаратному обеспечению | 15 |
| 3.3 Генератор кода                                      | 16 |
| 3.4 Протокол  | 18 |
| 3.5 Библиотека для внедрения                            | 21 |
| <b>Заключение</b>                                       | 23 |
| <b>Список использованных источников</b>                 | 24 |
| <b>Список использованных источников</b>                 | 24 |

# Введение

С ростом возможностей персональных компьютеров растут и возможности программного обеспечения. Такие группы программ как графические редакторы, текстовые процессоры среды разработки и многое другое обрастают огромным числом функций. Для доступа к этим функциям используются элементы ГИП.

Для быстрого доступа к функциям приложения, используются горячие клавиши. Но обычно горячие клавиши создаются только для самых часто используемых команд, остальные же приходится выбирать вручную в интерфейсе.

Но как бы хорошо ни был разработан интерфейс, число функций может оказаться настолько большим, что появляется проблема с поиском нужного элемента управления. Кроме того, некоторые системы поддерживают возможность добавления сторонних модулей. В таком случае место расположения элементов регулируется сторонними разработчиками, а не авторами оригинального приложения.

Для упрощения поиска элементов была придумана технология <<палитра команд>>. Это специальное окно в интерфейсе приложения, где отображаются все доступные функции. Иногда рядом с функцией отображается сочетание горячих клавиш, с помощью которого эта функция может быть вызвана. Это помогает пользователю легко запоминать новые сочетания, который он забыл или не знал раньше. В этом же окне есть поле для ввода поискового запроса.

Целью данной работы было реализовать механизм, который позволял бы добавлять палитру команд в сторонние приложения без их пересборки.

# Глава 1

## Обзор существующих реализаций палитр команд

Впервые палитра команд появилась 1 июля 2011 году в редакторе Sublime Text 2 [2]. Вслед за этим подобный функционал был реализован в некоторых других программах. Таких как:

- Atom[3],
- VSCode[4],
- JupyterLab[5].

Но это были лишь единичные случаи. В апреле 2017 года появилась альфа версия приложения Plotinus[6], которое позволяет добавлять палитру команд в любое приложение, которое написано с использованием графической библиотеки GTK.

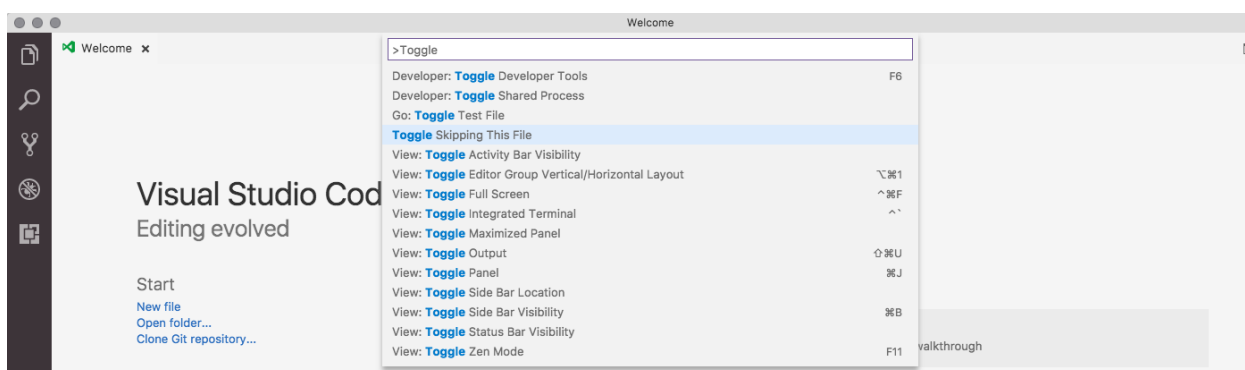


Рис. 1.1. VSCode

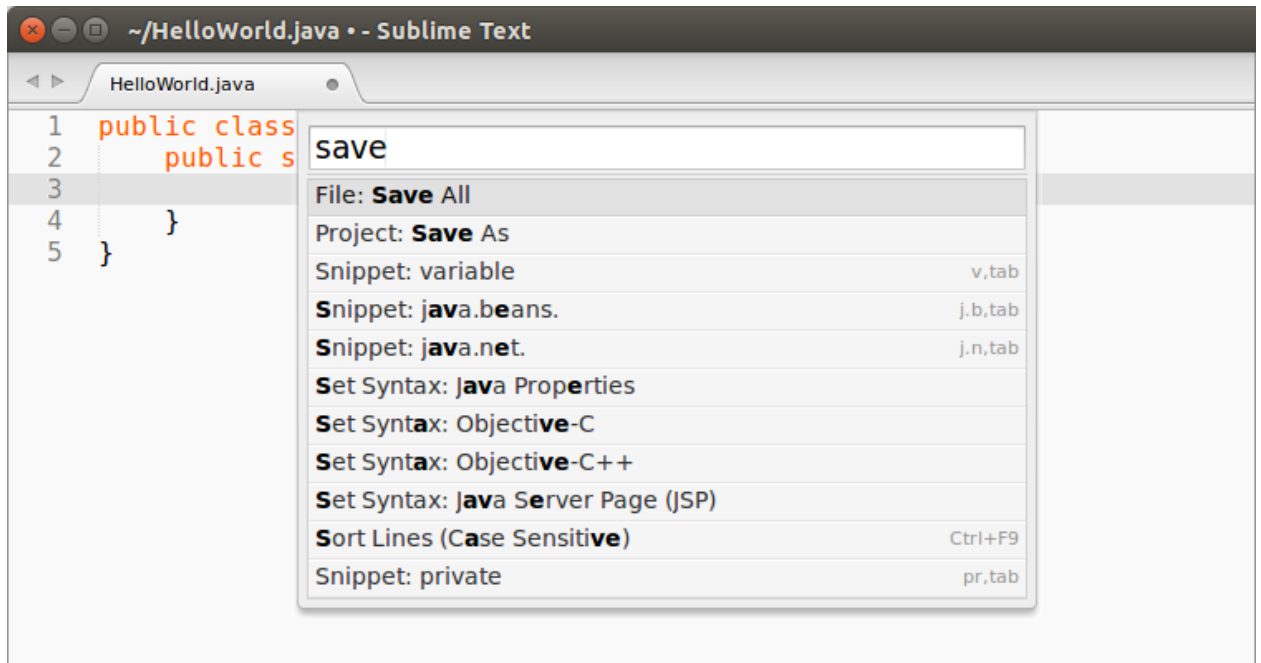


Рис. 1.2. Sublime Text

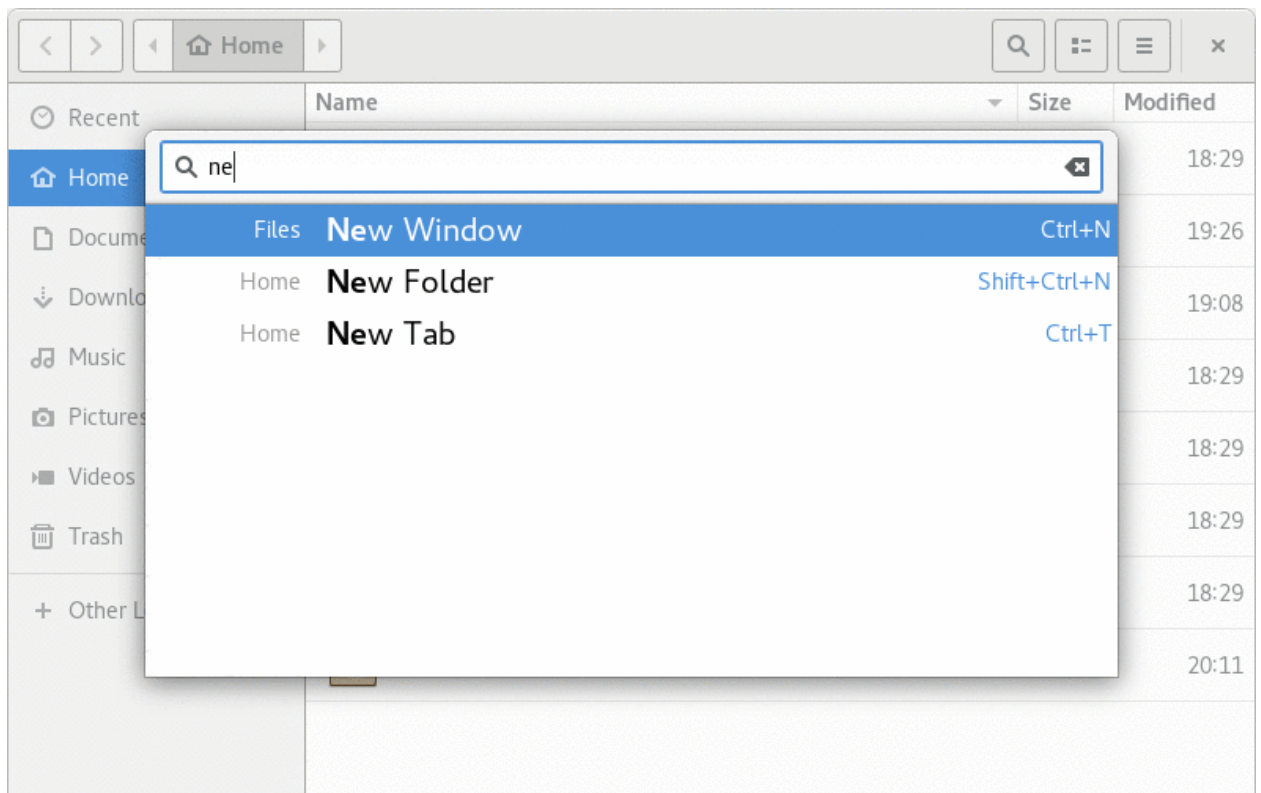


Рис. 1.3. Plotinus

## Глава 2

# Анализ задачи

### 2.1. Общий анализ

Система управления должна позволять контролировать множество приложений. Для её реализации лучше всего подходит клиент-серверная архитектура. Для каждого целевого приложения будет запускаться отдельный клиент, который будет заниматься сбором информации об элементах управления и передавать её на сервер.

В качестве сервера будет выступать приложение, которое запускает целевые приложения вместе с клиентами. После этого сервер принимает входящее соединение от клиента и отображающее окно поиска элемента для текущего активного окна.

Для удобной работы окно поиска должно отображаться поверх работающего приложения. И в нем должен производиться нечеткий поиск.

### Добавление логики в стороннее приложение

Разработчики любого приложения не могут учесть желания и капризы всех пользователей. Благодаря этому приложения не превращаются в комбайны, которые невозможно было бы поддерживать. Разработчики могут убрать какую-то деталь, которая нужна малому проценту людей. Ведь надо тратить время на исправление ошибок в ней. А иногда эти специфичные функции могут даже замедлять работу всего приложения. В таком случае пользователи могут захотеть добавить какую-то дополнительную логику или функцию в основное приложение.

Подходы делятся на два типа:

- добавление функции на этапе сборки приложения;
- добавление функции в момент выполнения программы.

Целью данной работы является добавление функциональности в максимальную группу приложений. Первый же подход исключает такую возмож-

ность для приложений с закрытым исходным кодом. К тому же при первом подходе может пользоваться только квалифицированный пользователь. И то, ему пришлось бы пересобирать каждое приложение в которое он хотел бы добавить нужную функциональность.

Программный модуль подключаемый к уже существующему приложению называется плагином. Для добавления возможности подключения плагинов разработчики программы должны или написать свою систему плагинов или воспользоваться готовой. Так, например, библиотека GTK, начиная с третьей версии, предоставляет возможность запускать приложения с дополнительными модулями, которые могут расширять функциональность приложения. Этим воспользовались разработчики библиотеки Plotinus, реализовав возможность добавления палитры команд в любое приложение, использующее GTK3.

Что интересно, Qt предоставляет возможность встраивать дополнительную функциональность в приложение, но для этого оно должно иметь специальный код по загрузке дополнительных модулей, который в большинстве случаев не используется (для подтверждения можно сравнить число github репозиторий использующих Qt[7] и использующих функцию Qt для работы с плагинами[8]. Соотношение примерно 1:100).

Кроме штатных средств добавления функционала на уровне приложения есть и более низкоуровневые. Так например в Windows есть функция автоматизации интерфейса (UI Automation)[9], которая изначально была добавлена для увеличения доступности приложений людям с ограниченными возможностями. Этот же функционал не такой богатый, как функционал плагинов (тут есть возможность работы только с видимыми элементами интерфейса), но зато доступен для любого приложения, использующего стандартные элементы управления. В случае использования Linux, к сожалению, нет такой возможности на уровне ОС или графической оболочки.

## **Внедрение модуля**

Рассмотрим в общих чертах механизм работы графического приложения. На рис. 2.1 изображено как происходит взаимодействие между элементами графического приложения и пользователем.

Исходя из данной упрощенной схемы можно предложить еще одно способ добавить функциональность --- создание события от графической библиотеки, которое будет передано приложению.

## **Механизм подмены функций**

При запуске приложения загрузчик получает из приложения список всех используемых динамических библиотек, загружает их в память. Затем по-



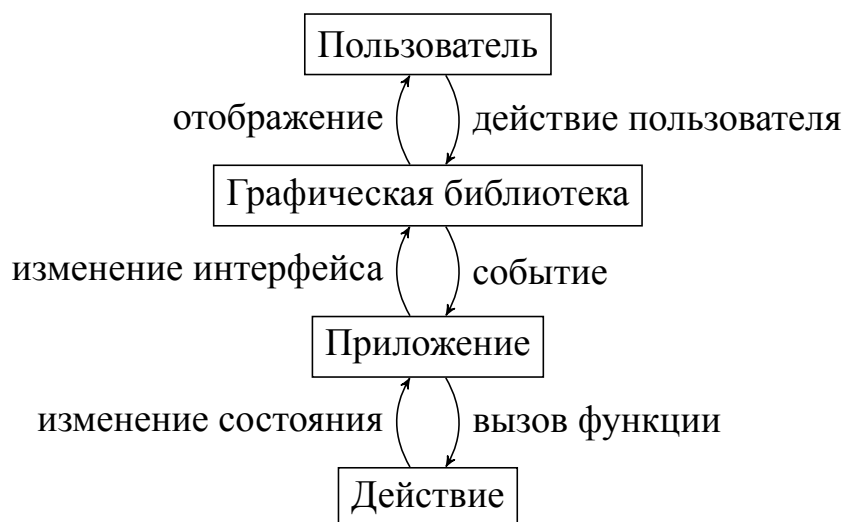


Рис. 2.1. Взаимодействие элементов ГИП и пользователя

лучает адреса всех экспортированных функций динамической библиотеки и сохраняет их для последующего вызова.

Загрузчик `ld`, который используется в Linux и FreeBSD позволяет загружать дополнительные динамические библиотеки, кроме тех, кто запрашивает приложение. Эта дополнительная библиотека загружается первой всех остальных, что позволяет ей подмешивать функции из других библиотек. Это происходит потому, что при поиске адреса определенной функции берется первый подходящий.

## Способ получения информации об элементах

Для получения информации об элементах интерфейса можно загрузить специальную библиотеку, которая будет регистрировать создания, изменения и удаления элементов интерфейса. Затем собранная информация будет передавать на сервер для последующей работы.

Также данная библиотека может создавать ложные события по командам, приходящим с сервера. Таким образом можно имитировать нажатия кнопок, открытие меню и т.п.

Пользовательский интерфейс через специальное API сможет получать от сервера информацию о доступных элементах в текущем приложении. После того, как пользователь произвел выбор, вызывается специальная функция на стороне сервера, которая приводит к отправке команды клиенту.

## Реализация кода для подмены функции

Для внедрения библиотеки требуется реализовать заглушки для функций Qt, которые будут вызывать специальный обработчик, а затем продолжать нормальное выполнение функции. Дополнительную сложность создает то,

что библиотека Qt написана на языке C++, который из-за поддержки классов и перегрузок функций использует т.н. <<искажение имен>> (name mangling). Таким образом чтобы создать такой обработчик нужно специальным образом сконструировать имя функции исходя из имени класса, метода, набора параметров и возвращаемого значения.

Создание таких обработчиков является рутинной работой в которой человек легко может допустить ошибку. Поэтому вместо ручного написания каждого обработчика нужно написать генератор, который может добавить нужные обработчики имея минимальный и необходимый набор данных (имя класса, метода и т.д.).

## 2.2. Постановка задачи

Требуется разработать набор программ, которые в комплексе будут решать следующие задачи:

- запускать целевые приложения в специальном окружении;
- собирать информацию о существующих элементах графического приложения;
- сохранять информацию о всех запущенных приложениях;
- отображать пользователю окно для поиска и выбора элемента;
- активировать выбранный пользователем элемент.

Исходя из приведенного выше анализа следует, что задачи должны быть сгруппированы в набор программ. Он должен быть реализован в виде следующих элементов:

1. Библиотека для внедрения и сбора информации в конкретном приложении.
2. Приложение для сохранения информации, полученной из нескольких приложения с библиотекой из п.1.
3. Графический интерфейс для запуска приложений и отображения окна палитры команд.

## 2.3. Архитектура

Подходящая архитектура для такой задачи была предложена мной в одной из прошлых работ[1]. На рис. 2.2 изображена схема взаимодействия данного комплекса программ. На схеме изображены следующие действия:

1. Перехват функции создания элемента интерфейса
2. Оповещение о создании элемента
3. Вызов оригинальной функции графической библиотеки
4. Отображение элемента управления
5. Передача информации об элементе приложению управления
6. Отображение палитры команд
7. Выбор команды
8. Вызов функции для выполнения команды
9. Передача команды к выполнению
10. Вызов функции активации окна целевого приложения
11. Активация окна
12. Перехват функции обработки события
13. Вызов функции обработки события
14. Вызов функции для выполнения команды
15. Выполнение команды

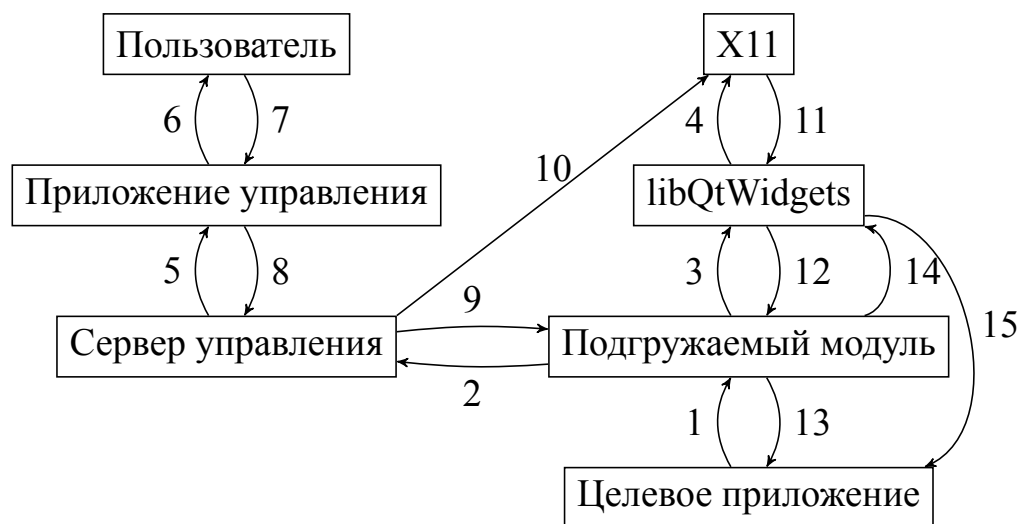


Рис. 2.2. Общий обзор архитектуры

## Глава 3

# Реализация

### 3.1. Средства реализации

- Язык программирования C для написания внедряемой библиотеки;
- Язык программирования Python версии 3.8.3 для написания графического интерфейса и генератора кода;
- Система сборки CMake версии 3.2.
- Система управления версиями Git.

В данной работе используются два языка программирования по следующим причинам:

- Язык C предоставляет низкоуровневый интерфейс, который позволяет переопределить нужные функции во внедряемой библиотеке и в то же время без особой сложности в нем можно реализовать передачу данных в сокет.
- Язык Python, напротив, позволяет писать высокоуровневый код, что упрощает разработку прикладных приложений (в частности приложений с графическим интерфейсом).

## **3.2. Требования к программному и аппаратному обеспечению**

Приложение предназначено для использования на IBM PC-совместимых компьютерах с операционной системой Linux.

Работы приложения требуются:

- аппаратное обеспечение согласно требованиям ОС;
- ОЗУ не менее 1 ГБ;
- 1 Гб свободного места;
- наличие интерпритатора Python версии не ниже 3.0.

Требования к целевому приложению:

- приложение должно использовать графическую библиотеку Qt;
- должна быть произведена динамическая линковка с данной библиотекой.

### 3.3. Генератор кода

Файл, который подается на вход генератору должен представлять собой готовый к использованию исходный код, за исключением функций-оберток. Функции обертки должны быть сопоставлены с функциями-обработчиками. Для добавления возможности такого сопоставления было принято решение добавить специальные комментарии, которые состоят из:

1. Опорного элемента (`//method`). Он требуется для того, чтобы отличать описательные комментарии от обычных.
2. Сигнатура метода в которой не указываются имена переменных.
3. Разделитель сигнатуры и названия функции-обработчика. В качестве разделителя выступает стрелка `->`.
4. Название функции-обработчика.

Пример комментария: `//method bool QWidget::event(QEvent*)  
-> checkEvent`

Вместо каждого такого комментария генератор подставляет код функции, реализующий следующий алгоритм:

**Функция** *методБиблиотеки*(*a*, *b*, *c*):

**если** *реальнаяФункция* == *NULL* **тогда**

        | *реальнаяФункция* = следующийСимвол("методБиблиотеки");

**конец**

**если** *инициализацияУспешна*() **тогда**

        | *функцияОбработчик*(*a*, *b*, *c*);

**конец**

**возвратить** *реальнаяФункция*(*a*, *b*, *c*);

**конец**

Если бы этого было достаточно, то для подстановки можно было использовать макросы из языка Си. Однако сложность заключается в получении имени функции для подмены. Это связано с тем, что символы в исполняемом файле должны представлять собой просто идентификатор, который не предусматривает сам по себе типы параметров, возвращаемых значений, имена классов и т.п. Стандарт языка C++ не говорит, как именно должно происходить данное преобразование, поэтому это будет зависеть от реализации. Существуют стандарты ABI (application binary interface, двоичный интерфейс приложения), которые определяют как должно происходить данное преобразование. Это позволяет библиотекам, собранным разными компиляторами с одним стандартом ABI, работать друг с другом. Для Linux одним из наиболее распространенных стандартов ABI является Itanium[10].



Т.к. в рамках данной работы не нужно генерировать имена с использованием пространств имен, виртуальных таблиц и т.п., была реализована только часть стандарта, описывающая получение имени функции и некоторых типов.

```

<имя-функции> ::= _Z <имя>
<имя> ::= <вложенное-имя> <параметры-функции>
<вложенное-имя> ::= N <префикс> <явное-имя> E
<префикс> ::= <префикс> <явное-имя>
               ::= <явное-имя>
<явное-имя> ::= <имя-из-исходного-кода>
               ::= <конструктор-или-деструктор>
<имя-из-исходного-кода> ::= <длина-идентифкатора> <идентификатор>
<конструктор-или-деструктор> ::= C1
                               ::= D1

<параметры-функции> ::= <тип>
                       ::= <тип> <параметры-функции>
<тип> ::= <встроенный-тип>
         ::= <квалифицированный-тип>
         ::= <имя-класса-или-перечисления>

<встроенный-тип> ::= v # void
                  ::= i # int
                  ::= c # char
                  ::= b # bool

<квалифицированный-тип> ::= <квалификатор> <тип>
<квалификатор> ::= K # const
                ::= R # reference

<имя-класса-или-перечисления> ::= <имя>

```

## 3.4. Протокол

Клиент и сервер общаются с помощью специального протокола. В рамках протокола передаются команды.

```
<команда> ::= <имя-команды> <параметры-команды>
<имя-команды> ::= <строка>
<стока> ::= <длина-строки> <идентификатор>
<длина-строки> ::= uint32_t
<идентификатор> ::= "newApp"
                  ::= "setWidgetText"
                  ::= "remove"
                  ::= "activated"
                  ::= "setWidgetWindow"
                  ::= "activate"
```

Рассмотрим существующие команды:

### Регистрация приложения

**Идентификатор:** "newApp".

**Параметры:**

1. идентификатор процесса (8 байт);
2. адрес сокета для общения (строка).

Данная команда посылается от клиента к серверу в самом начале. Серверу необходимо дифференцировать различные приложения, чтобы корректно посылать команды.

### Установка текста элемента

**Идентификатор:** "setWidgetText".

**Параметры:**

1. идентификатор процесса (8 байт);
2. идентификатор элемента (8 байт);
3. текст элемента (строка).

С помощью данной команды клиент сообщает серверу о добавлении или изменении текста элемента. Если идентификатор уже использовался, то считается, что текст элемента изменился, иначе, что элемент только добавлен.

## Удаление элемента

**Идентификатор:** "remove".

**Параметры:**

1. идентификатор процесса (8 байт);
2. идентификатор элемента (8 байт).

Используется, когда клиент считает, что элемент больше не доступен для активации. После выполнения данной команды, сервер должен перестать выдавать элемент в списке с запросом всех доступных элементов. Идентификатор считается свободным и может быть повторно использован для новых элементов.

## Сообщение об активации окна

**Идентификатор:** "activated".

**Параметры:**

1. идентификатор процесса (8 байт);
2. идентификатор окна (4 байта).

Клиент посылает данную команду, когда сменилось активное окно в приложении. Это требуется для того, чтобы сервер мог позже вернуться к последнему активному окну. Идентификатор окна представляет собой атрибут *windowId* окна системы X11. Сервер должен использовать его для последующей работы с окном.

## Привязка элемента к окну

**Идентификатор:** "setWidgetWindow".

**Параметры:**

1. идентификатор процесса (8 байт);
2. идентификатор элемента (8 байт);
3. идентификатор окна (4 байта).

Некоторые приложения могут создавать элементы, которые не привязаны к конкретному окну, а привязывать их позже. Или перемещать существующие элементы между окнами в целях оптимизации. Клиент должен посылать данную команду, чтобы сообщить серверу, что конкретный элемент относится к конкретному окну. Серверу это нужно, чтобы понимать, какие элементы доступны в текущем окне.

## **Активация элемента**

**Идентификатор:** "activate".

**Параметры:**

1. идентификатор элемента (8 байт);

Эта команда посылается от сервера клиенту, чтобы активировать элемент (нажать кнопку, открыть меню и т.п.)

## **Обработка ошибок**

В случае, если в любой команде, которая использует идентификатор элемента, приходит значение, которое не было зарегистрировано или было удалено, сервер должен проигнорировать команду.

### 3.5. Библиотека для внедрения

Библиотека, которая будет использоваться для сбора информации, должна реализовывать часть функций аналогично библиотеке Qt и выполнять следующие функции:

- выполнять регистрацию приложения;
- фиксировать создание объектов (в Qt элементы ГИП называются виджетами);
- фиксировать смену описания объекта;
- фиксировать перемещение элементов между окнами;
- фиксировать удаление объектов;
- активировать элемент по команде.

#### Регистрация приложения

Регистрация приложения должна происходить до создания первого объекта, но универсального метода, который вызывался бы в самом начале и был бы всегда доступен для переопределения, к сожалению, нет. Поэтому каждый переопределяемый метод в начале проверяет, была ли проведена инициализация. И если нет, то проводит ее, подключаясь к серверу, создавая сокет для получения команд от сервера и посылая на сервер команду регистрации текущего приложения.

#### Создание объекта

В рамках данной работы была реализована работа регистрации создания чекбоксов (QCheckBox), кнопок (QPushButton) и «действий» (QAction). «Действия» в Qt это абстракция именованной команды, которая может быть использована в ГИП[11]. Они используются в главном меню, в контекстном меню, в качестве обработчиков горячих клавиш и т.п.

Создание объектов всегда происходит через вызов конструкторов классов. Не все конструкторы позволяют указывать текст описания элемента. Поэтому для реализации более общего случая конструкторы с указанием текста рассматриваются как выполнение двух действий: создание объекта и установка текста.

## Смена описания

Почти все виджеты в Qt позволяют менять связанный с ними текст (надпись на кнопке, название пункта меню и т.п.) во время исполнения. Для всех указанных выше типов был переопределен метод `setText`. При вызове этого метода, клиент посылает на сервер команду установки текста элемента.

## Перемещение элементов между окнами

Qt не имеет доступного для переопределения метода, который позволял бы отслеживать перемещения объекта. Поэтому в библиотеке пришлось переопределить метод `QWidget::event`. Он вызывается при всех событиях, на которые должен отреагировать хотя бы один виджет. А фиксация изменения окна у виджета, происходит в два этапа:

1. Получить список всех окон.
2. Для каждого окна проверить все его дочерние элементы.

Qt использует отличные от X11 понятия «окна». Так, например, элемент может быть отображен без явного создания соответствующего окна. Тогда на уровне Qt будет просто виджет, а на уровне X11 --- окно. Поэтому отдельной задачей является получение списка всех окон в терминах X11. Таковыми являются все виджеты верхнего уровня, у которых нет родителя.

Затем запускается рекурсивный алгоритм, который проверяет, есть ли среди дочерних элементов новые.

**Функция *привязатьЭлементКОкну*(элемент, новоеОкно):**

```

староеОкно = окноЭлемента[элемент];
если староеОкно == NULL или староеОкно != новоеОкно тогда
    | послатьКомандуСменыОкна(элемент, новоеОкно);
    | окноЭлемента[элемент] = новоеОкно;
конец
для каждого дочернийЭлемент в элемент.подэлементы()
    выполнять
    | привязатьЭлементКОкну(дочернийЭлемент, новоеОкно);
конец
```

**конец**

Такой метод не слишком оптимален. В рамках улучшения данного решения стоит поискать возможность усовершенствовать его.

## **Удаление элементов**

В текущей реализации элемент считается недоступным после его удаления из памяти (т.е. при вызове деструктора), но для удобства работы правильнее было бы обрабатывать события скрытия и отображения элемента.

## **Активация по команде**

Как было указано в моей прошлой работе[1], библиотека не может выступать инициатором действия, она может только реагировать на события. Поэтому для активации элемента требуется событие, которое, например, может послать сервер. В текущей реализации была выбрана функция обработки событий как наиболее часто вызываемая. Именно в ней проверяется наличие команды активации.

# Заключение

В данной работе была поставлена задача разработать комплекс программ, который позволил бы пользоваться палитрой команд в произвольных приложениях, разработанных с использованием графической библиотеке Qt.

В ходе работы были подробно рассмотрены способы решения проблемы с получением информации из существующего приложения

Был реализован комплекс приложений, который позволяет отображать палитру команд в произвольных Qt приложениях, опираясь на информацию, которую разработчик оригинального приложения связал с элементом интерфейса.

Как говорилось ранее, палитра команд является удобной частью интерфейса и начинает появляться все в большем числе приложений. Полученные в ходе данной работы результаты могут найти практическое применение в системах основанных на Linux.



# Список использованных источников

- [1] Использование перехвата вызова функций графической библиотеки для управления приложением с графическим интерфейсом пользователя --- Д. В. Польшаков
- [2] Sublime Text 2 - Sublime Text --- URL:<https://www.sublimetext.com/2> (дата обращения: 24.05.2020).
- [3] command-palette --- URL:<https://atom.io/packages/command-palette> (дата обращения: 24.05.2020).
- [4] Visual Studio Code User Interface --- URL:[https://code.visualstudio.com/docs/getstarted/userinterface#\\_command-palette](https://code.visualstudio.com/docs/getstarted/userinterface#_command-palette) (дата обращения: 24.05.2020).
- [5] Command Palette - JupyterLab 2.1.3 documentation --- URL:<https://jupyterlab.readthedocs.io/en/stable/user/commands.html> (дата обращения: 24.05.2020).
- [6] Releases - plotinus/releases --- URL:<https://github.com/p-e-w/plotinus/releases> (дата обращения: 24.05.2020).
- [7] Search - ``#include <QObject>" --- URL:<https://github.com/search?l=C%2B%2B&q=> (дата обращения: 24.05.2020).
- [8] Search - ``#include <QPluginLoader>" --- URL:[https://github.com/search?l=&q=%22%23include+%3CQPluginLoader%3E%](https://github.com/search?l=&q=%22%23include+%3CQPluginLoader%3E%22) (дата обращения: 24.05.2020).
- [9] UI Automation Overview - Win32 apps | Microsoft Docs --- URL:<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/winauto/uiauto-uiautomationoverview?redirectedfrom=MSDN> (дата обращения: 24.05.2020).
- [10] Itanium C++ ABI --- URL:<https://itanium-cxx-abi.github.io/cxx-abi/abi.html#mangling> (дата обращения: 24.05.2020).

- [11] QAction Class | Qt Widgets 5.15.0 --- URL:<https://doc.qt.io/qt-5/qaction.html> (дата обращения: 24.05.2020).