**3 Проектирование программного средства**

**3.1** Разработка архитектуры

Архитектура программного средства – его высокоуровневое структурное описание, определяющее роли основных компонентов системы и связи между ними. Она должна обеспечивать эффективное решение по реализации требований к системе, оптимальным образом отражать варианты использования.

**3.1.1** Среда работы программного средства

Фундаментальные требования к разрабатываемому программному средству были поставлены в разделе 2.1. Из них следует, что ключевыми операциями программного средства будут манипулирование и обработка графической информации. У системы четко определены входные и выходные данные - изображения, причем первые почти однозначно определяют последние. Эта связь дает возможность сделать систему в высокой степени замкнутой, минимизировать ее внешние зависимости, приблизив к концепции «черного ящика». Данный подход тем более целесообразен, если процесс работы ПС имеет комплексный характер. Так, генерация панорамы состоит из ряда этапов и подэтапов обработки данных различного характера.

Однако, полноценный «черный ящик» в данном случае неприменим, так как пользователь должен иметь возможность управлять и вносить изменения в процесс работы ПС. Необходимо предоставлять ему информацию о процессе наиболее оптимальным образом – графическим (ввиду характера работы системы). В современных операционных системах наиболее распространенным средством ввода и вывода информации являются окна – модульные элементы интерфейса, объединенные общей системой управления. Для разработки приложений, использующих собственные окна, существует множество эффективных программных решений. Это говорит о целесообразности разработки программного средства в виде оконного приложения.

Среди требований присутствуют работы с файлами изображений, что означает взаимодействие с файловой системой действующего компьютера. К счастью, все современные платформы для разработки имеют средства абстрагирования подобных взаимодействий, а также их оптимизации. К последним относится использование системных диалоговых окон для удобной работы пользователя с файлами. Это еще один аргумент в пользу оконного приложения.

**3.1.2** Программная архитектура

Процесс генерации панорамы состоит из ряда сложных процедур анализа и преобразования данных различного вида. Это означает наличие высокого риска создания недостаточно гибкой, хрупкой архитектуры, при которой внесение любого изменения в общую структуру может приводить к непредсказуемым последствиям. Поэтому ключевой характеристикой архитектуры должна быть простота, выражаемая в легкости, с которой разработчик сможет ориентироваться в существующей системе и абстрагировать отдельные ее части.

Элементарным приемом для упрощения сложных программных решений является принцип модульности – разделения кода на цельные компоненты. Такой прием позволяет, по возможности, изолировать несвязные фрагменты программы друг от друга, что дает множество преимуществ, среди которых:

- разграничение ответственности;

- возможность параллельной работы нескольких команд разработчиков;

- возможность переиспользования кода;

- простота тестирования.

Разграничение ответственности требует особого способа разбиения кода на модули. Если за некоторый набор функций отвечает четко определенный модуль, работающая над этими функциями команда разработчиков не будет конфликтовать с другими, отвечающими за другие функции. Также ограниченность набора функций модуля означает ограниченный набор способов его использования, и простоту тестирования. Наконец, модульность подразумевает внутреннее разбиение крупных компонент на более мелкие, с отношениями включения. Если схожий код требуется во многих местах, он может быть вынесен в единый модуль, с общей реализацией для всех вариантов использования. Это сокращает общее количество программного кода и избавляет от ошибок при его модификациях.

Модульность упрощает программирование в пределах малого модуля, однако с продвижением вверх по иерархии существенно возрастает уровень ответственности. Современным решением для эффективного абстрагирования и делегирования ответственностей является объектно-ориентированное программирование. Оно основано на представлении программы в виде набора объектов – структур, содержащих информацию и определяющих некоторые операции (методы). Объекты абстрагируются в виде классов, интерфейсов и модулей. Они ссылаются друг на друга и могут составлять иерархии неограниченной сложности. Отношение между двумя классами, когда изменение одного приводит к неизбежному изменению другого, называется зависимостью. Одним из главных достоинств объектно-ориентированного дизайна является то, что он выявляет подобные зависимости и позволяет управлять ими – сокращать или оборачивать вспять. Этой цели служит принцип полиморфизма – использование разных сущностей с помощью одного интерфейса. Использование интерфейсов также означает ограничение взаимодействий с объектом – наличие у него индивидуального пространства для хранения и использования кода (принцип инкапсуляции). Область влияния этого скрытого кода четко определена, что сильно упрощает отладку программы.

Помимо всего вышеназванного, очевидным достоинством объектно-ориентированной архитектуры является ее способность отражать предметную область. Логично организовывать функции и информацию в классы сообразно сущностям, упомянутым в вариантах использования – будь то изображение, панорама или сам пользователь. Оперирование программными абстракциями, имеющими реальные аналоги, облегчает понимание кода и делает разработку отчасти интуитивной. Не все классы в приложении описывают сущности из предметной области. По мере снижения уровня абстракции появляются классы, имеющие специфические роли уже в терминах конкретной программы, платформы разработки или операционной системы.

Таким образом, определен общий вид программы как системы связанных и взаимодействующих объектов и их абстракций. Согласно принципу модульности, каждый из объектов должен отвечать за некую определенную для него долю функций программного средства, напрямую или косвенно. Эффективное распределение ролей между модулями – одна из главных архитектурных задач.

Всякое модульное приложение использует какую-либо модель отношений между его компонентов в приложении, практически всегда – набор моделей разного уровня абстракции. Распространенность принципа модульности привела к стандартизации наиболее эффективных из них в виде «паттернов» (приемов проектирования). Проектирование большой системы практически невозможно без использования этих приемов.

Один из наиболее общих приемов проектирования - модель EBC (Entity-Boundary-Control). Она определяет модель из элементов трех категорий:

- сущности (entity);

- граничные элементы (boundary);

- управляющие элементы (control).

Сущности – элементы, предназначенные для хранения информации, чаще всего относящиеся к предметной области. Граничные элементы являются интерфейсом всего приложения, они взаимодействуют с пользователем (или другим актером). Элементы управления определяют внутреннюю работу системы по генерации выходных данных на основании входных, полученных из граничных классов. Фактически, элементы управления являются непосредственными реализаторами вариантом использования ПС.

Для проектируемого приложения в разделе 2.3 разработана модель предметной области. Она может быть использована для конкретизации категорий элементов в контексте модели EBC. Так, ключевое понятие – «Панорама» - представляет собой наиболее очевидный кандидат на роль сущности. «Сегменты», из которых она состоит, являются контейнерами графической информации – это также сущность в приложении. «Генератор» - активный функциональный компонент, следовательно, это должен быть элемент управления. «Настройки», которыми он пользуется – еще один контейнер. «Проекция панорамы» - панорама в виде простого изображения. Платформа разработки предоставит стандартный класс, который заменит эту сущность в приложении. Последнее понятие из модели - «Пользователь». Функции не предполагают хранения какой-либо информации о пользователе. Это понятие отображает инициативную сторону – агента, внешнего по отношению к программному средству. В подобном элементе нет необходимости.

Кандидаты на роль граничных классов были описаны в разделе 3.1.1 – это окно и диалог для управления файлами.

Функции по загрузке/сохранению файлов, запуску генератора и редактирования изображений, будут реализованы элементами управления. Функция панорамы «представляется в виде проекции» реализуется элементом управления «Представитель Панорамы».

Все разработанные элементы модели, их роли и зависимости представлены на диаграмме на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Аналитическая модель программного средства

**3.2** Проектирование пользовательского интерфейса

Прежде чем начать детализацию программного средства как системы компонентов, необходимо уделить внимание его внешнему представлению – тому, с чем непосредственно будет работать пользователь. Эффективное выполнение своей роли – главная задача любого программного средства, а в случае, если это пользовательское приложение, удобство использования является одним из важнейших условий эффективности.

Пользовательский интерфейс (UI, User Interface) – это способ взаимодействия человека и машины, включающий совокупность действий, совершаемых пользователем, и результатов этих действий. Критериями качества интерфейса является его эффективность и удобство пользования. Структурно интерфейс является совокупностью определенных средств и методов. Средства в данном контексте – элементы, предназначенные для ввода информации в устройство или ее вывода для отображения пользователю. Методы – динамическая составляющая интерфейса, набор правил по использованию имеющихся средств.

Интерфейс разрабатываемого программного средства должен быть двунаправленным. Программе для выполнения своей задачи необходимы данные, определяемые пользователем – сегменты панорамы. Пользователь для возможности предоставления этих данных должен получить и понять запрос от программного средства. Когда программа завершила процесс генерации панорамы, тот предоставляется пользователю, вместе с возможностью редактирования и дальнейшего использования в каких-либо целях.

Ввиду сильной зависимости выходных данных (панорамы) от входных (сегментов), возможность вмешательства в работу может быть излишней в тех случаях, когда система самостоятельно вырабатывает оптимальный результат. Поэтому следует минимизировать необходимость любого вмешательства и предоставить пользователю предварительный результат. В случае неудовлетворительной оценки он должен иметь возможность изменить результат непосредственно или определить этап, на котором дефект может быть устранен, внести изменения в ход этого этапа и оценить их влияние. В случае, если система может самостоятельно оценить качество генерируемой панорамы как неприемлемое, от пользователя сразу потребуется выполнение некоторых корректирующих действий.

Требования к пользователю должны быть ему понятны и очевидны. Следовательно, необходим механизм доставки сообщений, который будет помогать ему в навигации по интерфейсу и при этом не являться помехой для эффективного использования этого интерфейса. К примеру, на окне приложения может быть выделена постоянная область, предназначенная для отображения сообщений пользователю. Так как содержание области будет меняться по ходу работы приложения, и поэтому не всегда отвечать на для пользователя актуальные вопросы, следует дать ему возможность задания вопроса. Частой реализацией этого является кнопка «Справка» или ссылки на документацию в контекстном меню окна.

Предоставляемые пользователю инструменты должны быть целесообразны ожидаемым от него действиям и удобны в использовании. Имеет смысл взять за основу средства, получившие широкое распространение среди других популярных приложений, которые будут наиболее близки и понятны пользователю.

**3.3** Разработка основных алгоритмов программы

В подразделах 3.1-3.2 велось поэтапное проектирование общих внешнего и внутреннего вида программы. Результат – структурное описание, которое послужит основой для реализации в виде программного кода. Однако, это описание является неполным. Оно не учитывает динамического аспекта функционирования программного средства, иначе говоря, способа приведения всей структуры в действие.

**3.3.1** Алгоритм работы программы

Весь процесс функционирования программы может быть описан структурно – как дискретное множество операций, связанных между собой порядком и условиями выполнения.

Программа начинает процесс выполнения в результате запуска пользователем. Она загружает текущие настройки, которые могут быть заданы пользователем, и использует их при последующей за этим инициализацией компонентов системы. На данном этапе необходимым компонентом является окно приложения, которое предоставит пользователю возможность работы с программой. Для функционирования по назначению программе требуются входные данные, поэтому после запуска окно отобразит интерфейс для передачи этих данных (изображений). Интерфейс состоит из стандартных диалоговых окон для выбора файлов на компьютере.

Получив входные данные, программа способна самостоятельно выработать выходные. Для сопоставления друг с другом изображения проходят через стадию анализа, на которой извлекаются их статистические атрибуты. Пройдя через несколько стадий обработки, эти атрибуты далее служат основой для синтеза выходного результата в ходе процедуры генерации панорамы. Результат генерации – первоначальный вариант панорамы - подается на главное окно и предоставляется пользователю для оценки.

Если результат удовлетворителен по мнению пользователя, он может экспортировать его в виде файла (сохранить изображение). В этом случае программа достигла своей цели и может быть завершена (или использована для новой задачи – на усмотрение пользователя).

Если же результат оказался неудовлетворительным, пользователь может приступить к исправлению выделенных им дефектов. Дефекты могут порождаться на различных стадиях работы программы, поэтому применение изменений, для наибольшего удобства использования, должно быть возможно с использованием инструментов различных уровней. Простейшие средства редактирования изображения являются первой из доступных возможностей. Пользователь уведомляется об этом и применяет инструменты. Если они оказываются недостаточны для исправления дефекта, совершается переход к более раннему этапу процесса, в данном случае – к объединению сегментов в панораму. Графический интерфейс должен удобно отображать принятые программой решения касательно отношения между сегментами и их свойствами и позволять редактировать эти данные. далее пользователь может перезапустить генератор панорамы и оценить измененный результат. Если и эти средства оказываются недостаточными, остается возможность изменения наборы входных данных. Отображение отношений между сегментами может помочь пользователю выявить отдельные изображения, являющиеся причиной дефекта, и исключить их из исходного набора. Другим вариантом является добавление новых сегментов, что является обычным способом повышения качества панорамы. Обо всех этих возможностях пользователь будет уведомлен посредством сообщений.

Алгоритм работы программы в схематичном виде приведен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Схема работы программы

**3.3.2** Алгоритм генерации панорамы

В результате теоретических исследований, описанных разделе 1, было найдено множество алгоритмов для сравнения пары изображений между собой и их склейки в одно, однако реальная связь между этими двумя этапами в рамках процесса генерации панорамы неопределенна. Между тем, она является одним из определяющих моментов всего процесса. Открытым остается вопрос, каким образом связи между парами сегментов преобразуются в связи сегментов с глобальной картиной (панорамой). В подразделе 1.2.3 были упомянуты два метода: аккумулирующая регистрация и регистрация с помощью распределения общей ошибки. Под ошибкой здесь понимается разница между корректным и вычисленным расположением сегмента в контексте всей панорамы. Первый из методов имеет существенный недостаток, заключающийся в последовательном накоплении ошибки, которое в итоге может в сильной степени исказить результат. Второй метод абстрактен и имеет недостаточное количество примеров конкретных реализаций. Следовательно, необходима доработка и приспособление вышеуказанных методов.

В разрабатываемом ПС решено использовать метод глобальной регистрации сегментов, основанный на аккумулирующем методе. Разница состоит в том, что связи между изображениями составляет не линейную цепь, а структуру данных типа «дерево». Регистрация сегментов осуществляется рекурсивно, начиная с корня дерева, и далее по всем его потомкам. Таким образом, ошибка при вычислении расположения каждого сегмента зависит не от всех предшествующих ему, но лишь от стоящих на его пути к корню дерева. Это дает возможность строить дерево, используя те связи между сегментами, которые характеризуются наименьшим значением ошибки. На практике ошибка напрямую зависит от схожести сегментов, т.е. степени их перекрытия и специфики области перекрытия. Чем более схожи изображения, тем большей точностью обладает процесс определения их связи.

Генерация панорамы возможна сразу после получения системой входных данных. Согласно описанному выше методу, необходимой информацией для процесса генерации являются оценки схожести между сегментами. Когда все отношения определены, начинается процесс создания дерева. Структура типа дерево всегда имеет строго один элемент в роли корня. Согласно описанному ранее алгоритму регистрации, ошибка при выводе всех сегментов зависит от суммарной ошибки их связи с корнем дерева. Следовательно, логично выбрать корнем тот сегмент, который характеризуется наибольшей степенью схожести с другими сегментами. Данная метрика использует ранее сделанные оценки схожести.

Далее осуществляется переход на второй уровень иерархии. Среди всего множества еще не зарегистрированных в панораме сегментов выбираются те, для которых корень является наиболее схожим сегментом. Они непосредственно связаны с корнем, и все оставшиеся сегменты будут зависеть от ошибок этих связей. Для каждого полученного элемента второго уровня иерархии выполняется та же операция, что и для корня – поиск и присоединение ближайших. То же выполняется для этих ближайших, и так далее. Данная процедура может быть просто реализована с помощью рекурсии. Рекурсия – прием структуризации, при котором объект включается в самого себя. В контексте алгоритмизации, это вызов некоторой процедурой самой себя. Обязательным требованием к реализации рекурсии является задание корректного условия, при котором цикл вызовов прекращается. Так, при построении дерева процедура регистрации в нем сегмента вызывает саму себя в отношении некоторых других, еще не зарегистрированных, сегментов. Если множество сегментов конечно, на каком-то этапе процедура не станет вызывать себя из-за отсутствия сегментов.

Важно отметить, что рекурсивная процедура регистрации, вызванная для некоторого сегмента, использует именно те из незарегистрированного множества, по отношению к которым он является ближайшим. Таким образом, созданная связь между двумя сегментами – наилучшая для дочернего, так как сильная схожесть обеспечивает малую величину ошибки. Однако, подобный подход порождает проблему. Например, случай, когда все оставшиеся сегменты слишком схожи между собой, чтобы быть включенными в дерево. Решение этой ситуации – парный перебор сегментов каждого из множеств с поиском наиболее схожей пары. Она обеспечит наилучшую связь между деревом и незарегистрированными элементами. Для свободного элемента найденной пары вызывается рекурсивная процедура регистрации.

Процедуры совмещения множеств и регистрации повторяются до тех пор, пока все сегменты не зарегистрированы в дереве.

Алгоритм создания дерева и рекурсивная процедура регистрации сегмента в нем представлены на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Схема алгоритма генерации панорамы и процедура регистрации сегмента

**3.3.3** Алгоритм сравнения сегментов панорамы

Для работы процедуры генерации панорамы, описанной в подразделе 3.3.2, необходимыми данными являются оценки схожести всех исходных изображений. От фактической схожести сегментов зависит точность их склейки в панораме, следовательно, процедуры сравнения двух сегментов и определения трансформации между ними должны быть связаны общей основой.

В подразделе 1.2.2 был описан метод выравнивания изображений, основанный на поиске их локальных особенностей. Так, каждый сегмент панорамы может быть описан конечным множеством особых точек, которые могут присутствовать и на других сегментах. Даже при наиболее оптимальном способе выбора этих точек, вероятность их полного совпадения на двух разных сегментах (с перекрывающейся областью) практически равна нулю, что порождает необходимость использовать статистические методы (RANSAC) для определения самого вероятного способа преобразования одной группы точек в другую.

Однако, использование локальных особенностей дает возможность оценить схожесть изображений на основе схожести их особенностей. Так, эквивалентные особые точки на разных сегментах панорамы означают присутствие на них обоих одного объекта (либо весьма схожих объектов). Поэтому, особые точки, которые будут использоваться для склейки сегментов, имеет смысл вычислить заранее для их сравнения.

Эта процедура осуществляется в ходе анализа загруженных программой изображений. С помощью эффективного метода SIFT для каждого из них определяется набор особых точек (в дальнейшем – точек). В ходе попарного сравнения всех сегментов для каждой их точки находится наиболее схожая с ней на другом изображении методом поиска ближайшего соседа. Все пары «соседей» запоминаются и сортируются по их схожести (расстоянию) между собой.

Метрика расстояния между точками должна быть выбрана таким образом, чтобы пары, описывающие один объект на двух изображениях, имели расстояние, близкое к нулю. В таком случае среди упорядоченного множества пар можно выделить те, которые с наибольшей вероятностью описывают общую часть двух изображений. В дальнейшем, использование этих данных может также существенно ускорить выполнение метода RANSAC при склеивании сегментов.

Метрика расстояния между сегментами должна характеризоваться прямой зависимостью от количества таких пар точек и обратной – от схожести этих пар.

Таким образом, в результате выполнения процедуры будет определено значение схожести каждой пары сегментов. Это значение, а также использованные пары особых точек (ближайших соседей) сохраняются для дальнейшего использования в процедуре генерации панорамы.



Рисунок 3.4 – Схема алгоритма сравнения сегментов панорамы между собой