Гироскоп на основе монокулярной камеры

Кудеров П.В.

ИУ9-121

**Оглавление**

[Введение 3](#_Toc420044688)

[1 Аналитическая часть 4](#_Toc420044689)

[1.1 4](#_Toc420044690)

[2 Научно-исследовательская часть 5](#_Toc420044691)

[3 Проектно-конструкторская часть 6](#_Toc420044692)

[4 Технологическая часть 7](#_Toc420044693)

[4.1 Методология разработки и используемые средства 7](#_Toc420044694)

[4.2 Руководство пользователя 7](#_Toc420044695)

[4.2.1 Приложение Gyrocam 7](#_Toc420044696)

[5 Организационно-экономическая часть 10](#_Toc420044697)

[5.1 Введение 10](#_Toc420044698)

[5.2 Организация и планирование процесса разработки программы 10](#_Toc420044699)

[5.2.1 Техническое задание 10](#_Toc420044700)

[Заключение 11](#_Toc420044701)

[Приложение 1. Диаграмма Ганта выполненных работ 13](#_Toc420044702)

# Введение

Последние десятилетия наблюдается высокий уровень интереса к автономной самоуправляемой технике, и с каждым годом он продолжает расти. Робототехническим системам можно найти применение в условиях военных конфликтов, экстремальных для человека или несопоставимых с его габаритами, в качестве транспортных средств для пассажиро- и грузоперевозок, для проведения масштабных и/или простых шаблонных работ и так далее. Одной из наиболее проблемных подсистем самоуправляемой техники является система навигации, и, в частности, подсистема позиционирования.

[*image: nav systems relation*]

Среди популярных применяемых в автономной робототехнике решений – использование инерциальных систем навигации (ИНС). Подобные системы содержат акселерометры для определения параметров линейного ускорения, а также гироскоп (или акселерометры, измеряющие центробежное ускорение) для определения углов поворота и наклона. На основе данных этих датчиков производится последующее вычисление вектора скорости и координат объекта. Преимущества методов инерциальной навигации состоят в автономности, помехозащищенности и возможности полной автоматизации всех процессов навигации. Основная же проблема – наличие дрейфа, то есть накопление ошибки со временем работы. Различными техниками можно уменьшить величину ошибки, но не избавиться вовсе.

Не имеют дрейфа глобальные (спутниковые) системы навигации (GPS, GLONASS, GALILEO и другие их аналоги). Для существующих систем данного класса характерна погрешность позиционирования порядка 5-15 метров (***данные википедии***). Дополнительные проблемы связаны с диапазоном рабочей частоты сигнала – уровень приема сигнала от спутников может серьезно ухудшиться под плотной листвой деревьев, из-за очень большой облачности, в условиях плотной городской застройки. Практически невозможно определить свое точное местонахождение внутри помещений, в тоннеле, причем даже профессиональными геодезическими приемниками (***практически*** ***цитата из ненаучной статьи***). Но и в благоприятных условиях точности в несколько метров для определенного круга задач может быть недостаточно. В таких случаях глобальные системы навигации используются лишь для локализации нахождения объекта, а уточнение координат объекта ведется с помощью других систем.

Среди систем локального позиционирования распространено использование технологий построения трехмерной карты окружающей среды на основе данных эхолокации инфракрасными или ультразвуковыми датчиками.

Набирает популярность использование методов компьютерного зрения. Видеодатчики имеют маленький размер, энергопотребление, цену, поэтому есть интерес использовать их в системах позиционирования и навигации. Для тестирования методов можно использовать даже камеры мобильных телефонов. Системы позиционирования на основе анализа изображений не имеют дрейфа, при этом может достигаться довольно высокая точность, сравнимая с ИНС потребительского класса. Большинство из предлагаемых методов основано на обнаружении базисных элементов изображения и слежения за ними в потоке изображений.

Среди распространенных – метод одновременной навигации и картирования (simultaneous localization and mapping, SLAM) , а также метод определения структуры объекта в процессе движения (structure from motion, SfM). Оба этих метода в той или иной степени пытаются построить 3D модель окружающей среды, относительно которой происходит движение камеры.

[*image: slam & sfm examples*]

\* SLAM – используются Particle filters / Sequential Monte Carlo(SMC) или расширенный фильтр Калмана, bundle adjustment (корректировка узлов?)

\* SfM (Structure from motion) - видимо, то же, что и 3D reconstruction from 2D images, распространен алгоритм Scale-invariant feature transform (SIFT), другой распространенный алгоритм - Speeded Up Robust Features (SURF).

Одна из подзадач, возникающих при построении системы позиционирования с использованием алгоритмов компьютерного зрения – определение углов наклона и поворота камеры, то есть создание аналога гироскопа.

В данной работе реализован метод, предложенный Вилле Хуттуненом и Робертом Пише [**Link1**], который заключается в определения трехмерной ориентации монокулярной камеры с использованием точек схождения перспективы (ТСП), обнаруженных на изображениях.

[*image: mahattan world example, indoor, city outdoor, non-city outdoor*]

Данный метод подходит для использования внутри помещений, в условиях городской застройки, а также мест, где под влиянием деятельности человека четко прослеживаются правильные геометрические примитивы (man-made world, Manhattan world). В таких условиях изобилие линейных объектов правильной геометрической формы позволяет достигнуть высокой точности.

Плюсы конкретно данного метода (***ниже почти дословная цитата из******Link1***):

* в условиях "Manhattan World" изобилие линейных объектов правильной геометрической формы позволяет достигнуть высокой точности
* число интересующих нас ТСП ограничено <= 3
* ТСП не зависят от положения камеры - только от ее ориентации
* робастность относительно случайных нестационарных объектов, попадающих в кадр (люди, транспортные средства и т.п.)

Методы на основе определения ТСП позволяют решать задачи:

* навигации автономных транспортных средств, роботов
* 3D реконструкции окружающей среды
* калибровки камер и коррекции изображений

Метод был протестирован на наборе изображений YorkUrbanDb [**Link3**], созданного на базе York University Centre for Vision Research, а также на случайных изображениях, взятых из интернета или сделанных вручную.

[*image: our result image*]

Набор YorkUrbanDb состоит из 47 изображений внутри помещений и 55 изображений городских сцен с вычисленными значениями ТСП.

Существует целый ряд работ, посвященных вычислению ТСП на снимках городских сцен и внутри помещений, то есть в условиях так называемого «Manhattan World» [**Link2**]..

Промежуточная цель работы состоит в исследовании применимости метода Хуттунена и Пише в условиях съемок внутренних помещений и городских пейзажей, обнаружение слабых мест и ознакомление с аналогичными работами по данной тематике, предложение вариантов улучшения метода, нахождение удобного способа тестирования (?).

Конечная цель – создание библиотеки / приложения, которое позволяет эффективно и с точностью, сравнимой с гироскопами потребительского класса, вычислять углы наклона и поворота камеры по входному потоку изображений в условиях «Manhattan World assumption» в реальном времени..

# Аналитическая часть

## 

# Научно-исследовательская часть

Поставленную задачу можно разделить на следующие этапы:

Используемый в данной работе метод нахождения углов поворота и наклона состоит из следующих шагов:

* выделение сегментов линий на изображении
* выделение наилучших кластеров СЛ, сходящихся в одной точке (или бесконечности), используя алгоритм RANSAC
* (не работает) приведение координат сегментов линий в нормализованные координаты путем домножения слева на обратную матрицу калибровки
* вычисление вектора направления ТСП на основе полученных кластеров СЛ путем приближенного решения задачи минимизации Ax = 0 методом SVD декомпозиции матрицы A
* ортогонализация матрицы, составленной из векторов направлений ТСП
* (нет) получение углов (крен, тангаж, рыскание) из матрицы поворота
* (нет) связывание матриц поворота и кормление их расширенному фильтру Калмана

Входные данные алгоритма - изображение с условием "Manhattan World".

Первым этапом является выделение сегментов линий на изображении. Для решения данной задачи в оригинальной статье предлагается использовать метод Джиои и ... (Link4). (проверить, что написано во введение самой статьи Джиои) Это довольно новый алгоритм, отличающийся высокой скоростью за счет линейной зависимости сложности от размеров изображения по сравнению с другими алгоритмами, основанных на анализе связанных компонент градиента изображения. По быстродействию он уступает алгоритмам, основанным на преобразовании Хафа (Hough), но позволяет достичь более высокого качества.

В своем приложении я использовал реализацию алгоритма Джиои в библиотеке opencv версии 3.0.0. Ему отвечает класс cv::LineSegmentDetector (LSD), который принимает на вход изображение в градациях серого (в opencv тип CV\_8UC1), и различные параметры настройки алгоритма. В своем приложении в качестве параметров настройки я использовал рекомендованные по умолчанию.

Результатом работы модуля LSD является список найденных сегментов линий. Для каждого сегмента дается следующая информация:

\* координаты концов в пикселах в виде четверки целых чисел (тип данных opencv Vec4i)

\* ширина линии

\* точность, с которой он найден

\* число ложных срабатываний (number of false alarms) в области сегмента линии в виде логарифмической шкалы качества детектирования

Получив результат работы детектора сегментов линий, я провожу фильтрацию сегментов по длине, отбрасывая слишком короткие меньше 20 символов. Во-первых, это позволяет значительно ускорить работу на последующих этапах. Во-вторых, мною было замечено, что короткие сегменты чаще относятся к ошибочным направлениям (не к искомым ТСП). Те же, что относятся к искомым ТСП за счет своей длины ухудшают точность вычислений, т.к. погрешность детектора в обнаружении одного из концов отрезка в 1 пиксел ведет к достаточно большой итоговой угловой погрешности.

Далее я провожу подготовку структур данных к последующим этапам работы алгоритма, создавая на основе каждого отрезка, представленного четверкой целых чисел, объект структуры LineSegment, вычисляю и сохраняю следующие поля:

\* оригинальную четверку координат концов, полученных в виде объекта структуры Vec4i

\* координаты точек концов отрезка в нормализованных координатах и удобном формате типа cv::Point3d

\* середину отрезка в нормализованных координатах

\* уравнение линии, которую задает сегмент, в нормализованных координатах. Уравнение вычисляется как векторное произведение точек концов отрезка

Далее, я провожу кластеризацию сегментов линий, используя адаптивный алгоритм RANSAC. На каждом прогоне алгоритма вычисляется самый большой оставшийся кластер сегментов, линии которых пересекаются в одной точке с некоторой допустимой погрешностью. Полученный кластер объявляется соответствующим некоторой ТСП. Всего производится 3 запуска алгоритма.

Алгоритм состоит из последовательности итераций, состоящих из следующих шагов:

\* случайным образом выбирается пара сегментов линий

\* вычисляется точка их пересечения, которая объявляется потенциальной ТСП

\* далее проводится каждого сегмента линии на предмет принадлежности его потенциальной ТСП путем вычисления функция расстояния до ТСП по формуле:

Point3d l = lineThroughPoints(segment.middle, vp);

double d = incidence(l, segment.from) / norm12(l);

return abs(d) <= distanceEpsilon

&& abs(asin(d / norm(segment.middle - segment.from))) <= angleEpsilon;

, где

static const double distanceEpsilon = 2; // 2 pixel

static const double angleEpsilon = 0.04; // ~1% pi or ~2 degree

Таким образом для имеющейся потенциальной ТСП определяется множество соответствующих ей сегментов. Назовем содержащиеся в нем сегменты внутренними, а все остальные - внешними по отношению к данной vp. Обозначим также их отношение как r. Чем выше число r, тем более подходящей считается ТСП.

Число итераций алгоритма определяется адаптивно следующим образом. Представим, что мы ищем некоторую подходящую нам ТСП. Вероятность того, что во всем множестве сегментов мы случайно выберем оба внутренних сегмента равна r^2. Вероятность же выбора хотя бы одной внешней - 1 - r^2. Соответственно вероятность события, когда за k итераций ни разу не будет выбрана пара внутренних сегментов равна:

P(k) = (1 - r^2)^k

Заметим, что P(k) - строго убывающая функция. Теперь нам хотелось бы гарантировать с вероятностью p, что за некоторое количество итераций k будет выбрана хотя бы одна пара внутренних сегментов линий:

p >= 1 - P(k)

=> P(k) >= 1 - p

=> (1 - r^2)^k >= 1 - p

логарифмируем обе стороны:

=> k >= log(1 - p) / log (1 - r^2)

Истинное значение r неизвестно, но его можно аппроксимировать снизу r', соответствующим наилучшей из найденных за текущие k' итераций ТСП.

После каждого запуска алгоритма RANSAC внутренние сегменты для найденной ТСП удаляются из выборки и в последующих запусках не участвуют. В итоге после 3х последовательных запусков алгоритма мы имеем 3 кластера сегментов линий, каждому из которых соответствует довольно грубая оценка ТСП.

## Геометрия перспективных изображений

Проективное преобразование и однородные координаты, модель булавочного отверстия, ТСП

Теория:

1. Геометрия ТСП

Теория точек схождения перспективы (ТСП) рассматривается обычно в терминах проективной геометрии, изучающей геометрические свойства, являющихся инвариантными относительно проективных преобразований, а также сами эти преобразования. Проецирование трехмерной сцены на двухмерную плоскость изображения, осуществляемое фото- или видеокамерой, – одно из таких преобразований.

Одной из интересующих нас особенностей проективного преобразования является тот факт, что параллельность прямых не является инвариантом относительно него.

1.1. Проективное преобразование и однородные координаты, модель булавочного отверстия, ТСП

В проективной геометрии точки представлены в однородных координатах. Например, рассмотрим точку в двухмерном евклидовом пространстве (x, y) @ R2. Чтобы представить ее на проективной плоскости, необходимо лишь добавить третью компоненту z, равную 1, т.е. (x, y, 1) @ P2. Более того, для любого ненулевого a (ax, ay, a) = (x, y, 1). В случае нулевого a координаты точки вырождаются в точку (0, 0, 0), которая не включена в P2.

Рассмотрим уравнение прямой на двухмерной евклидовой плоскости:

ax + by + c = 0

Точки (x, y), и только они, удовлетворяющие данному уравнению являются лежащими на данной прямой. Теперь заметим, что уравнение (\*) можно переписать следующим образом:

ax + by + c\*1 = aX + bY + cZ = 0

Таким образом мы определили все точки (x, y, 1) = (X / Z, Y / Z, 1) = (X, Y, Z) проективного пространства, лежащие на прямой. Заметим также, что aX + bY + cZ = l \* p = 0, где l = (a, b, c), p = (X, Y, Z), a \* - скалярное произведение. Во-первых, важным свойством проективной геометрии является то, что уравнение линии задается вектором той же размерности, что и точки. Во-вторых, имеет место весьма красивое и простое выражение связывающее точки и проходящие через них линии.

Не вдаваясь в подробности, запишем это и другие важные уравнения проективной геометрии, которые так или иначе понадобятся нам в работе:

\* проверка принадлежности точки прямой incidence(p1, p2) = p1 \* p2

\* прямая через две точки ltp(p1, p2) = p1 x p2, где x - векторное произведение

\* точка пересечения двух прямых intersection(l1, l2) = l1 x l2

Чтобы вернуться из P2 обратно в R2, достаточно поделить координаты точки на z-координату, то есть (X, Y, Z) = (X / Z, Y / Z, 1) = (x, y, 1) @ P2 ~ (x, y) @ R2. Из данной процедуры сразу видно, что P2 ( R2, так как содержит элементы с z = 0. Эти точки составляют довольно важно подмножество P2 и называются идальными. Еще их называют точками в бесконечности, так как они соответствуют предельным точкам, лежащим бесконечно далеко от начала координат. Несмотря на свой особый вид, данные точки никаким специальным образом не обрабатываются, то есть рассматриваются абсолютно также как и обычные. Все идеальные точки лежат на идеальной прямой или прямой в бесконечности.

Также заметим, что точкам p(X, Y, Z) = (x, y, 1) @ P2 можно поставить в соответствие прямую, проходящую через начало координат и точку p`(x, y, 1) @ R3 с выколотой точкой (0, 0, 0). Таким же образом линия l(a, b, c) на проективной плоскости может быть визуализирована в R3 плоскостью, образованной началом координат и перпендикуляром к l`(a, b, c). Тогда точкам с координатами (x, y, 1) в R3 соответствует плоскость Z = 1, идеальным точкам соответствуют точки на Z = 0, а идеальной прямой сама плоскость Z = 0.

Данная связь между R3 и P2 может быть легко продолжена до связи между P3 (добавлением к точкам R3 четвертой координаты 1) и P2. Такая связь очень хорошо подходит для описания преобразования проецирования трехмерной сцены на двухмерную плоскость изображения.

Также заметим, что точкам p(X, Y, Z) = (x, y, 1) @ P2 можно поставить в соответствие прямую, проходящую через начало координат и точку p`(x, y, 1) @ R3 с выколотой точкой (0, 0, 0). Таким же образом линия l(a, b, c) на проективной плоскости может быть визуализирована в R3 плоскостью, образованной началом координат и перпендикуляром к l`(a, b, c). Тогда точкам с координатами (x, y, 1) в R3 соответствует плоскость Z = 1, идеальным точкам соответствуют точки на Z = 0, а идеальной прямой сама плоскость Z = 0.

Данная связь между R3 и P2 может быть легко продолжена до связи между P3 (добавлением к точкам R3 четвертой координаты 1) и P2. Такая связь очень хорошо подходит для описания преобразования проецирования трехмерной сцены на двухмерную плоскость изображения.

Рассмотрим точку в R3 p(X, Y, Z). Для того, чтобы прибавить к ней вектор t(Tx, Ty, Tz), мы можем воспользоваться следующим матричным выражением:

[p + t] = [ E t] \* [p]

[1 ] [ 0 1] [1]

Похожим образом выражается поворот точки p и умножение каждой из его координат на независимый коэффициент d(dx, dy, dz):

[p'] = [R 0] \* [p]

[1 ] [0 1] [1]

[dx \* X] [dx 0 0 0]

[dy \* Y] = [0 dy 0 0] \* [p]

[dz \* Z] [0 0 dz 0] [1]

[1 ] [0 0 0 1]

Можно заметить, что в данных выражениях точка p @ R3 представлена в нормализованных координатах P3 (X, Y, Z, 1). Также очевидно, что данные выражения остаются верными, если и для точкек вида alpha \* p = (alpha X, alpha Y, alpha Z, alpha):

alpha \* (M \* p) = M \* (alpha \* p).

Интересно рассмотреть как данные преобразования влияют на идеальные точки q(X, Y, Z, 0). Простой подстановкой проверяется, что:

\* перенос на вектор t оставляет идеальную точку на месте

\* поворот действует на идеальную точку абсолютно также, как и на конечную

\* масштабирование на вектор d(dx, dy, dz) действует аналогично действию на конечную точку

Теперь рассмотрим связь между системами координат камеры и мировой системой координат. Пусть в мировой системе координаты камеры представлены точкой t, а матрица поворота R связывает соответствующие оси систем, тогда выражения связи имеет вид:

pw -> R(pw - t) = pc

, где pw - точка в мировой системе, а pc - в координатах системы камеры.

pc = Rpw - Rt

Если же воспользоваться нормализованными координатами, получится следующее:

[pc] = [R -Rt] \* [pw] = [R 0] \* [I -t] \* [pw]

[1 ] [0 1] [1 ] [0 1] [0 1] [ 1]

Матрица M, определенная как:

M = [R 0] \* [I -t]

[0 1] [0 1]

, задает матрицу перехода между системами координат. Матрицы R и t задают внешние (extrinsic) параметры камеры - ориентацию и позицию - в мировых координатах.

Одна из самых простых и обычно используемых моделей для конечной проективной камеры - модель булавочного отверстия или модель камеры обскуры (pinhole camera), в которой точки p(X, Y, Z) @ R3 проецируются на двухмерную плоскость по правилу:

(x, y) = (fX / Z, fY / Z)

или в нормализованных координатах:

(x, y, 1) = (f X/Z, fY / Z) = |при Z != 0| = (X, Y, Z / f) = (fX, fY, Z)

Данное правило может быть записано в виде матрицы проекции:

[fX] [f 0 0 0] [X]

[fY] = [0 f 0 0] = [Y]

[Z ] [0 0 1 0] [Z]

[1]

Очевидно также, что вектор [0 0 0 1]T - является нуль-вектором нуль-пространства данного преобразования.

Работая с реальными камерами и точками на полученных с них изображениях, удобнее иметь дело с координатами, выраженными в пикселах нежели, например, в миллиметрах. Перевод координат требует информации о линейных размерах пиксела (например, в миллиметрах) и координат главной точки (principal point), которой соответствует центр изображения (точка пересечения оптической оси камеры с плоскостью изображения), так как в общем случае она может не совсем точно совпадать с центром матрицы камеры (более того, довольно часто центр координат в пикселах определяется одним из углов изображения).

За такого рода перевод координат отвечает так называемая матрица калибровки камеры K, которая задает внутренние (intrinsic) параметры камеры и предполагается неизменяемой во времени:

K = [ f/mx s px ]

[ 0 f/my py ]

[ 0 0 1 ]

, где

\* f - фокусное расстояние камеры в некоторой единице длины (обычно в мм или дюймах),

\* mx, my - линейные размеры пиксела, выраженные в той же единице длины, что и f. Таким образом f / mx и f / my имеют размерность пикселов (мм / (мм / px) = px),

\* s - коэффициент ассиметрии камеры

\* px, py - координаты главной точки в пикселах.

Большинство цифровых камер на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) имеют квадратные пикселы (mx = my), нулевую ассиметрию (s = 0) и главную точку, расположенную близко к центру изображения.

! возможно стоит сказать про дисторсию, что она есть, но в данной работе мы ей принебрегаем

Теперь мы готовы выразить проективное преобразование, отвечающее отображению трехмерной сцены на двухмерную плоскость изображения:

F: P3 -> P2, F(p) = p' = KR[I | -t] p

Рассмотрим прямую в P3, заданную как X(alpha) = A + alpha \* D, где А - точка на этой прямой, D(d, 0) - направляющий вектор и d @ R3, alpha @ R. Проекция этой прямой:

x(alpha) = P(X(alpha)) = P(A) + alpha \* P(D) = P(A) + alpha \* KR[I | -t]D = P(A) + alpha \* KRd

, так как [I | -t]D = d.

ТСП vp @ P2, соответствующая направлению d, является предельной точкой для проекции линии x(alpha) при alpha -> inf:

vp = lim x(alpha) = lim( P(A) + alpha \* KRd) = KRd

В системе координат, связанной с камерой R = I, поэтому:

vp = Kd

Из полученного результата можно заключить, что:

\* ТСП vp не зависит от положения t камеры

\* существует взаимно однозначное отношение между vp и вектором направления прямой в трехмерном пространстве

Будем называть две ТСП ортогональными, если ортогональны векторы направления соответствующих им прямых. ТСП, которые являются идеальными, называются бесконечными, иначе - конечными.

Большинство методов, основанных на обнаружении ТСП, работают в предположении, что на изображениях можно выделить некоторый набор сегментов линий, соответствующих взаимно ортогональным направлениям, т.е. имеющих ортогональные ТСП. Именно поэтому данные методы способны показывать хорошие результаты на изображениях помещений и городских пейзажах - объекты окружающего нас мира довольно часто имеют правильные геометрические формы и расставлены параллельно / перпендикулярно друг другу. Например, столы, полки, окна или витрины, пол, стены и потолок - внутри помещений, дома, дороги и разметка на них, окна домов - вне помещений.

## Обнаружение ТСП

**Обнаружение СЛ**

Вкратце преобразование Хо (Хаф, Hough Transform) и анализ связанных компонент ориентаций градиента изображения, возможно про Canny детектор, кратко про LSD (pdf)

Выбрали анализ ... почему?

Lsd - O(img.size()), but slower than Hough

**Кластеризация СЛ**

RANSAC, можно (нужно! но, возможно, не здесь, а дальше в "что можно улучшить") заикнуться про J-Linkage (введение в статье pdf - сравниваются разные способы кластеризации)

RANSAC выбрали, потому что популярное решение.

Расписать функцию расстояния d(vp,l), как в статье, как делаю я.

Расписать как выбирается число итераций алгоритма (вывод формулы)

На данном этапе выработана грубая оценка ТСП

**Уточнение ТСП**

Описать математически текущую ситуацию - пучок линий сходится примерно в одной точке. Какое уравнение связывает их в идеале.

Значит решаем Ax = 0 приближенно. Что делать, если система не переопределена (у меня сейчас просто упадет программа!)?

Какие существуют способы приближенного решения данной задачи? LSQM, SVD, smth else

Почему мы не решаем ее тут, а переходим в нормализованные координаты изображения? Что это такое вообще, зачем? В честь кого это делается? [Cipolla]

Получили нулевые направления, что дальше?

**Определение ориентации по ТСП**

Есть матрица D = [d1, d2, d3]. Если только две приблизительно ортогональны (или 3ей не нашли вообще), 3ю вычисляем на основе их через векторное произведение.

Объясняю, что D скорее всего не ортогональна => можно ортогонализовать. Как? SVD! D' = u \* vt

Приводим матрицу нулевых направлений

Матрица относительного поворота R = D2 D1t

At = A-1, т.к. ортогональная => alpha(R) = alpha(D2) + alpha(D1t) = alpha(D2) - alpha(D1)

# Проектно-конструкторская часть

# Технологическая часть

## Методология разработки и используемые средства

## Руководство пользователя

### Приложение Gyrocam

Результатом работы является Win32 консольное приложение, реализующее алгоритм нахождения точек схождения перспективы (ТСП) на изображении, а также векторов единичных направлений, соответствующих им.

Для использования данного приложения требуется установленная на компьютере пользователя библиотека компьютерного зрения opencv версии 3.0.0. Описание процесса установки и необходимые файлы можно найти по адресу [http://docs.opencv.org/3.0‑alpha/doc/tutorials/introduction/windows\_install/windows\_install.html](http://docs.opencv.org/3.0alpha/doc/tutorials/introduction/windows_install/windows_install.html).

Приложение запускается со следующими аргументами:

1. строка абсолютного или относительго пути к файлу изображения, которое следует обработать. Поддерживается такие форматы как bmp, jpg, jpeg,tiff, png.
2. строка абсолютного или относительного пути выходного файла изображения. Формат выходного изображения будет выбран на основе расширения в имени файла данного пути. Поддерживаемые форматы те же, что и во входном аргументе.

Для изображения, заданного входным аргументом, приложение рассчитывает единичные векторы ТСП и выводит окно. В данном окне отображается само исходное изображение с наложенными поверх него прямыми линиями разных цветов. Пример окна приложения показан на рисунке (**Рисунок 1**).

Сначала поверх изображения накладываются линии, соответствующие трем наилучшим (с вероятностью >= 95%) кластерам сегментов линий, сходящихся в какой-либо одной точке. Для них используются темные варианты трех цветов – темно-синий, темно-зеленый и темно-красный цвета в порядке выделения каждого кластера.

Далее поверх полученного изображения накладываются линии, соответствующие кластерам сегментов линий, сходящихся в вычисленных ТСП. Данные линии отображаются яркими вариантами трех цветов – синим, зеленым и красным (для сравнения, например, если темный вариант красного – bgr(0, 0, 127), то яркий – bgr(0, 0, 255)). Кластеры одного цвета, но разной степени яркости в общем случае могут как полностью совпадать, так и частично различаться. Связь между ними следующая – сегменты темного цвета как бы продуцируют некоторую ТСП, а яркого – индуцированы этой же ТСП. В случае полного совпадения кластеров одного цвета – поверх кластера темного цвета будет наложен кластер яркого цвета и он не будет виден.

Выведенное пользователю изображение также сохраняется на диск в выходной файл. Путь, название и расширение файла определяется соответствующим (вторым) входным аргументом командной строки.



Рисунок 1 – Окно с обработанным изображением, поверх которого наложены сегменты линий, соответствующие найденным ТСП. На нем виден случай, когда кластеры темных вариантов цветов полностью покрыты кластерами ярких цветов.

Помимо описанного выше окна с изображением после вычисления ТСП приложение выводит в консоль некоторую служебную информацию от модуля opencv и затем две матрицы 3х3 с числами с плавающей запятой (**Рисунок 2**). Каждая матрица имеет формат как в примере ниже:

[0.99999738, 0.0022501017, 0.00047868371;

0.93076748, 0.36539984, -0.012442469;

-0.10985497, -0.99394757, -0.00042265668]

Границы матрицы задаются квадратными скобками, строки матрицы разделяются точкой с запятой с последующим переводом строки, числа в рамках одной строки разделяются запятыми.

Первой матрице соответствуют единичные векторы найденных ТСП. Каждый вектор представляет собой строку матрицы. Порядок соответствия векторов ТСП наложенным на изображение линиям следующий – синий, зеленый, красный.

Вторая матрица – ближайшая к первой ортонормированная матрица в смысле нормы Фробениуса. Данная матрица является искомой матрицей поворота системы координат камеры.

Описанный выше вывод двух матриц также сохраняется на диск текстовый файл в том же формате. Полный путь данного файла получается прибавлением расширения «.txt» к строке пути второго входного аргумента (пути к выходному изображению). Например, если при запуске приложения вторым аргументом на вход передать относительный путь «../TestSamples/output.jpg», то матрицы будут записаны в файл по следующему пути: «../TestSamples/output.jpg.txt».



Рисунок 2 – Вывод в консоли матриц направлений ТСП (неортогональной и ортогональной, соответственно) на тестовом запуске.

Описанное консольное приложение было протестировано на наборе изображений YorkUrbanDb (The York Urban Line Segment Database). Набор состоит из 47 изображений внутри помещений и 55 изображений городских сцен. Для каждого изображения из базы приведены данные по точкам схождения перспективы, что позволяет оценить уровень точности работы приложения. Описание и сам набор изображений можно найти на странице базы <http://www.elderlab.yorku.ca/YorkUrbanDB/>.

Также может представлять интерес для тестирования набор изображений в составе так называемой Eurasian Cities Database. Описание и сам архив базы для скачивания доступен на <http://graphics.cs.msu.ru/en/research/projects/msr/geometry>.

# Организационно-экономическая часть

## Введение

Разрабатываемое в рамках дипломной работы программное обеспечение является одной из составных частей – гироскоп – системы навигации и позиционирования для автономной робототехники. Данный продукт позволяет определять пространственную ориентацию камеры, жестко прикрепленной к объекту позиционирования, на основе полученных с нее изображений. Разработанное ПО вычисляет по входным изображениям координаты точек схождения перспективы (ТСП), выводит отладочную информацию в виде изображения, полученного наложением на исходное изображение распознанных сегментов линий, соответствующих найденным ТСП, а также выводит углы Эйлера в нотации (1, 2, 3), т.е. углы крена, тангажа и рыскания.

На данный момент существует несколько вариантов реализаций систем позиционирования робототехники, в том числе аналогов, использующих методы компьютерного зрения. По сравнению глобальными (спутниковыми) системами навигации разработанное ПО позволяет получить более точные данные в условиях городской среды и внутри помещений, в частности. В отличие от инерциальных навигационных систем, наша не имеет дрейфа при сравнительных показателях точности. По сравнению же с аналогами, использующими методы SLAM и SfM, которые решают комплексную задачу позиционирования и навигации, разработанное приложение решает лишь задачу определения пространственной ориентации – сосредоточившись на одной задаче мы получаем выигрыш в производительности.

Целью данного раздела является расчет трудоемкости, продолжительности разработки программного обеспечения и сметы затрат.

## Организация и планирование процесса разработки программы

### Техническое задание

Для расчёта затрат на выполнение дипломного проекта используем техническое задание, представленное в таблице 2.

Таблица 2 — Техническое задание

| № | Наименование | Значение |
| --- | --- | --- |
| 1 | Срок начала проекта | 10 марта 2015 г. |
| 2 | Срок окончания проекта | 31 мая 2015 г. |
| 3 | Количество листов А4 записки проекта | 85 |
| 4 | Тип конечного носителя разрабатываемого проекта | Электронный информационный носитель, к которому прилагается описание проекта в виде отчёта |
| 5 | Планируемое число копий | Тиражирование данной продукции не планируется |

### Расчёт стоимости проекта

Базовой экономической характеристикой для оценки дипломного проекта является её стоимость. Стоимость дипломного проекта, как экономическая категория, определяется по формуле 1 [ссылка].

| , | (1) |
| --- | --- |

где

* + – стоимость проектных работ,
  + – себестоимость проектных работ,
  + – прибыль.

Выразим прибыль через себестоимость работ в формуле 2:

| , | (2) |
| --- | --- |

где – желаемый для исполнителя уровень рентабельности.

Исходя из формул 1 и 2, можем выразить стоимость проекта как показано в формуле 3:

| , | (3) |
| --- | --- |

Таким образом для расчёта стоимости проекта потребуется спрогнозировать себестоимость. Для её определения необходимо рассчитать каждую стадию сметы затрат по формуле 4 [ссылка]:

| , | (4) |
| --- | --- |

где соответствующие представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Структура сметы затрат на выполнение проекта

| № | Наименование статьи затрат | Затраты, % |
| --- | --- | --- |
| 1 | Материальные | 20 |
| 2 | Заработная плата (основная и дополнительная) | 45 |
| 3 | Отчисления на социальные нужды |
| 4 | Амортизация оборудования | 20 |
| 5 | Прочие затраты | 15 |

Прочие затраты обычно составляют 15% [ссылка] и включают в себя:

* оплату налогов;
* подготовку специальной научно-технической информации;
* проведение патентных исследований, научно-технических конкурсов и экспертиз;
* услуги всех видов связи;
* служебные командировки работников в Российской федерации и за рубежом;
* расходы на сертификацию продукции;
* представительские расходы.

Практика использования таких данных и экономическая целесообразность показывает, что наилучший результат по точности прогноза получается, если в качестве искомой величины взять расчет затрат на заработную плату и отчисления на социальные нужды и через это значение определить себестоимость проекта. Исходя из значений доли статьи расходов к общей стоимости проекта и из формулы 4, рассчитаем себестоимость проекта в формуле 5:

|  | (5) |
| --- | --- |

### Затраты на выплату исполнителям

В заработную плату включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно занятых разработкой, с учетом их должностного оклада и времени участия в разработке. Дополнительную заработную плату в составе обобщённой определим в формуле 6 [ссылка]:

| , | (6) |
| --- | --- |

где

* + – заработная плата,
  + – основная заработная плата,
  + – дополнительная заработная плата,
  + – коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату.

Коэффициент примем равным 100%, учитывающим расходы на очередные отпуска, выплаты за выслугу лет и прочее. Таким образом, подставив это значение в формулу 6, получим значение заработной платы, определённой в формуле :

| , | (7) |
| --- | --- |

В настоящее время федеральным законом РФ №212-ФЗ от 24.07.2009 вместо единого социального налога определяются страховые взносы для отчисления в:

* + пенсионный фонд РФ,
  + фонд социального страхования,
  + фонды обязательного медицинского страхования (федеральный и территориальный фонды).

Ставки страховых взносов в 2015 году для организаций, осуществляющих деятельность в области информационных технологий, за исключением организаций, заключивших с органами управления особыми экономическими зонами соглашения об осуществлении технико-внедренческой деятельности, [ссылка] указаны в таблице 4.

Таблица 4 — Ставки страховых взносов на 2015 год

| Получатель | Ставка страхового взноса |
| --- | --- |
| Пенсионный фонд РФ | 8% |
| Фонд социального страхования | 2% |
| Фонд обязательного медицинского страхования | 4% |

Рассчитаем отчисления на социальные нужды с заработной платы в формуле (8):

|  | (8) |
| --- | --- |

К основной заработной плате при выполнении проектных работ относится фонд оплаты труда (ФОТ) научных, инженерных и технических работников, рабочих научно-исследовательских и научно-технических отделов, принимающих непосредственное участие в НИР. ФОТ работников за выполнение разработки определяется по формуле 9:

| , | (9) |
| --- | --- |

где

* + – среднедневный ФОТ рабочих i-й специальности,
  + – количество дней работ для рабочих i-й специальности,
  + – количество рабочих i-й специальности.

Минимальный размер оплаты труда (МРОТ) устанавливается соответствующим законом [ссылка] и составляет 5965 рублей. С учетом принятого в организации тарифного коэффициента на работы (KT ≈ 10.9) размер оплаты труда инженера по защите информации и специалиста по защите информации первой категории составляет:

Для расчёта количества рабочих дней и количества рабочих потребуется рассчитать трудоёмкость проекта. Разработка программного продукта состоит из пяти основных этапов, состав работ которых указан в таблице 5 [ссылка]:

* техническое задание;
* эскизный проект;
* технический проект;
* рабочий проект;
* внедрение.

Таблица 5 — Этапы разработки программного продукта

| **№ этапа** | **Название этапа** | **Общий состав работ этапа** |
| --- | --- | --- |
| 1 | Техническое задание (ТЗ) | Разработка ТЗ. |
| 2 | Эскизный проект (ЭП) | Исследование существующего программного продукта.  Уточнение структуры и формы представления входных и выходных данных. Разработка алгоритма решения задачи. Разработка структуры программы.  Разработка пояснительной записки. Согласование и утверждение технического проекта. |
| 3 | Технический проект (ТП) | Разработка алгоритмов (общих алгоритмов и структуры данных, структуры основных и вспомогательных модулей и др.) |
| 4 | Рабочий проект (РП) | Описание программы на языке программирования.  Разработка, создание и утверждение порядка и методики испытаний, корректировка программы. |
| 5 | Внедрение (В) | Разработка программной документации.  Подготовка и передача программы и программной документации для сопровождения и изготовления, оформления и утверждения акта о передаче ПП на сопровождение. Передача ПП заказчику. |

Исходя из расчёта трудоёмкости всего проекта, определим трудоёмкость каждого этапа и по заданным срокам проекта требуемое количество работников.

Вначале рассчитаем трудоёмкость проекта по нормативно-статистическому методу [ссылка] по формуле 11. За единицу нормирования принимается разработка одного листа технической документации формата A4 эскизного проекта, что составляетот общей трудоёмкости проекта, согласно [ссылка].

| , | (11) |
| --- | --- |

где

* + – трудоёмкость всего проекта, чел/час;
  + – количество требуемых листов документации, шт;
  + – норма времени на разработку одного листа формата А4, час/шт;
  + – коэффициент, учитывающий объём входной информации;
  + – коэффициент, учитывающий сложность контроля информации;
  + – коэффициент, учитывающий вид обработки информации (режим обработки информации);
  + – поправочный коэффициент по степени применения типовых проектных решений, пакетов прикладных программ, типовых проектов, типовых программ и стандартных модулей;
  + – коэффициент учёта уровня алгоритмического языка программирования;
  + – доля трудозатрат в общем проекте.

Коэффициент, учитывающий объём входной информации зависит от количества наборов входных данных и выражается по формуле 12:

| , | (12) |
| --- | --- |

где

* , и – значения коэффициентов учета вида используемой информации для переменной, нормативно-справочной информации и баз данных соответственно;
* , и – количество наборов данных переменной, нормативно-справочной информации и базы данных соответственно.

На вход программного продукта должна подаваться информация одного вида – файл с изображением, на котором следует обнаружить точки схождения перспективы.

На выходе алгоритма два вида информации:

* + файл с сохраненным изображением, составленным из, наложенных на оригинальное изображение групп сегментов линий, каждая из которых выделена своим цветом и соответствует одной из найденных точек схождения перспективы.
  + текстовый файл с сохраненной матрицей векторов направлений, соответствующих найденным точкам схождения перспективы.

По степени новизны программной продукт может быть отнесён к одной из четырех групп, представленный в таблице 6. А по степени сложности алгоритма к одной из трёх групп, указанных в таблице 7.

В данном случае программа относится к группе «В», поскольку существуют программные комплексы, реализующие аналогичный функционал. По степени сложности программа относится к группе 1.

Для группы новизны «В» и сложности алгоритма группы 1 значения коэффициентов равны [ссылка]: ; ; . Подставив их в уравнение 12 получим значение в уравнении 13:

| , | (13) |
| --- | --- |

Таблица 6 – Классификация степени новизны разрабатываемого программного продукта

|  |  |
| --- | --- |
| **Название группы** | **Описание** |
| А | Разработка программных комплексов, требующих использования принципиально новых методов их создания, проведение НИРС и т.п. |
| Б | Разработка программной продукции, не имеющей аналогов, в том числе разработка пакетов прикладных программ. |
| В | Разработка программной продукции, имеющей аналоги. |
| Г | Разработка программной продукции, основанной на привязке типовых проектных решений. |

Таблица 7 – Классификация степени сложности алгоритма программной продукции

| Степень сложности | Описание |
| --- | --- |
| 1 | Программная продукция, реализующая оптимизационные и моделирующие алгоритмы |
| 2 | Программная продукция, реализующая учётно-статистические алгоритмы |
| 3 | Программная продукция, реализующая алгоритмы стандартных методов решения задач |

Определим требуемые в уравнении 11 коэффициенты. Количество требуемых листов документации исходя из технического задания равно . Норма времени на разработку документации одного листа формата А4 равно часам [ссылка]. Согласно таблицам [ссылка] коэффициент учёта режима обработки информациидля технического проекта с обработкой информации в реальном времени группы новизны «В» равен . Коэффициент, учитывающий сложность контроля информации, для данной специфики задачи равен . Данный программный продукт использует реализации части алгоритмов из библиотеки компьютерного зрения opencv, а также в качестве платформы разработки, обеспечивающей набором примитивов и методов для работы с изображениями, геометрией и так далее. Оценим поправочный коэффициент по степени применения типовых проектных решений, пакетов прикладных программ равным . Программный код разрабатывается на языке высокого уровня, поэтому коэффициент учёта уровня алгоритмического языка программирования равен .

Таким образом, подставив коэффициенты в уравнение 11 получим трудоёмкость рабочего проекта в формуле 14:

| , | (14) |
| --- | --- |

Для того, чтобы определить количество человек, требуемых для выполнения каждого из этапов разработки, необходимо определить трудоёмкость каждого этапа. В таблице 8 представлены доли трудоёмкости каждого этапа, согласно [ссылка], и рассчитанное по формуле 15 абсолютное его значение.

| , | (15) |
| --- | --- |

где – доля каждого этапа.

Таблица 8 – Трудоёмкость этапов разработки программного продукта

| **№ этапа** | **Название этапа** | **Трудоёмкость** | |
| --- | --- | --- | --- |
| **%** | **чел/час** |
| 1 | Техническое задание | 10 | 89,5 |
| 2 | Эскизный проект | 15 | 134,3 |
| 3 | Технический проект | 30 | 268,5 |
| 4 | Рабочий проект | 35 | 313,2 |
| 5 | Внедрение | 10 | 89,5 |
|  | Всего | 100 | 895 |

При выполнении разработки требуемое количество исполнителей для выполнения этапа в заданный срок определяется по формуле 16:

| , | (16) |
| --- | --- |

где

* – трудоёмкость этапа, чел/час;
* – коэффициент дополнительных работ, учитывающий затраты времени на работы, не предусмотренные нормативами, ;
* – фонд рабочего времени исполнителя за период, определяемый сроками;
* – коэффициент, учитывающий выполнение норм, .

Фонд рабочего времени каждого исполнителя за период с 10 марта 2015 года по 31 мая 2015 года рассчитывается по формуле 17:

| , | (17) |
| --- | --- |

где

* – время выполнения проекта в месяцах (устанавливается в ТЗ и для этого проекта равно 2,6 месяца),
* – фонд времени в текущем месяце, который рассчитывается из учета общего числа дней в году, числа выходных и праздничных дней, рассчитываемого по формуле 18:

| , | (18) |
| --- | --- |

где

* – продолжительность рабочего дня,
* – общее число дней в году,
* – число выходных дней в году,
* – число праздничных дней в году.

Нерабочие праздничные дни в году устанавливается соответствующим законом [ссылка на статью 112 главы 18 трудового кодекса №197-ФЗ]. Подставив соответствующие значения рассчитаем среднемесячный фонд времени в формуле :

| , | (19) |
| --- | --- |

Подставив значения в формулу 17 получим фонд времени на период работы, определённых в техническом задании равным 428,1 часам. Таким образом, при равномерном распределении работ для выполнения проекта в срок, установленный техническим заданием – 31 мая 2015 года – подставив в формулу 16 соответствующие значения и используя полные трудозатраты по всему проекту, получим среднее значение требуемого количества исполнителей в формуле 20:

| , | (20) |
| --- | --- |

Для целей планирования и контроля работ проекта можно применить календарный ленточный график (диаграмма Ганта) — на оси Х показывают календарные дни (по рабочим неделям) от начала проекта до его завершения, а по оси Y — выполняемые этапы работ.

Продолжительность выполнения работ без учёта выходных и праздничных дней по этапам определяется из формулы (21):

|  | (21) |
| --- | --- |

где

* – трудоёмкость i-й работы, чел.-часы;
* – трудоёмкость дополнительных работ для исполнителя, чел.-часы;
* – количество исполнителей для i-й работы.

Этапы разработки разбиваются на несколько работ, продолжительность которых указана с учётом выходных дней в таблице 9.

Таблица 9 – Описание работ

| Этап | Номер работы | Наименование работы | Должности исполнителей | Число исполнителей | Трудозатраты, чел-час | Продолжи-тельность , дни |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ТЗ | 1 | Составление технического задания | Разработчик, проектировщик | 2 | 31 | 2 |
| ЭП | 2 | Сбор информации о существующих методах и разработках | Разработчик,  Проектировщик | 2 | 8 | 1 |
| 3 | Изучение технической литературы | Разработчик, проектировщик | 2 | 11 | 1 |
| 4 | Изучение внутренней структуры программы | Разработчик | 1 | 48 | 6 |
| ТРП | 5 | Исследование оптимальной структуры модели | Разработчик,  проектировщик | 2 | 152 | 10 |
| 6 | Разработка алгоритмов | Проектировщик | 1 | 54 | 7 |
| 7 | Разработка и изменение внутренних структур программы | Разработчик | 1 | 118 | 15 |
| В | 8 | Создание сопроводительной документации | Разработчик | 1 | 10 | 2 |
| 9 | Проведение испытаний и сравнение полученных результатов | Проектировщик | 1 | 40 | 5 |

В итоге была построена диаграмма Ганта указанных работ с учётом праздничных и выходных дней. Диаграмма представлена в приложении на рисунке А.1.

Длительность стадий проектных работ определяется по формуле 22:

| , | (22) |
| --- | --- |

где

* – продолжительность стадии, рабочие дни;
* – трудоёмкость этапа, чел/час;
* – доля дополнительных работ;
* – учитываемая продолжительность рабочего дня, часов/рабочий день, .

Необходимо распределить этапы работ для целого числа исполнителей с таким расчётом, чтобы уложиться в требуемые сроки. Такое распределение приведено в таблице :

Таблица 10 – Оптимизированное количество исполнителей проектных работ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № стадии | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Трудоёмкость, чел/час | 89,5 | 134,3 | 268,5 | 313,2 | 89,5 |
| Доля дополнительных работ | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| Количество исполнителей | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |

В соответствии с Единым Тарифно-Квалификационным справочником квалификация работников, выполняющих этапы работ [ссылка **Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих** (утвержден постановлением Минтруда РФ от 21 августа 1998 г. N 37)], назначается следующим образом:

* инженер-программист 1 категории,
* инженер по научно-технической информации 1 категории.

Разрабатываемое в ходе дипломного проектирования программное обеспечение выполняет функции управления входящим и исходящим потоками информации по специальным условиям, поэтому его можно отнести к функциональному назначению ПП «Управление технической подготовкой производства».

### Определение количества исполнителей

Средняя численность состава исполнителей при реализации проекта разработки и внедрения ПО определяется по формуле (23):

| , | (23) |
| --- | --- |

где

* - затраты труда на выполнение проекта (разработка и внедрение ПО),
* — фонд рабочего времени.

Величина фонда рабочего времени определяется по формуле (24):

| , | (24) |
| --- | --- |

где

* — время выполнения проекта в месяцах (как правило, устанавливается заказчиком проекта),
* — фонд времени в текущем месяце, который рассчитывается из учета общего числа дней в году, числа выходных и праздничных дней, рассчитываемого по формуле (25):

| , | (25) |
| --- | --- |

где

* — продолжительность рабочего дня,
* — общее число дней в году,
* — число выходных дней в году,
* — число праздничных дней в году.

Рассчитаем фонд времени в одном месяце 2014 года в формуле (26):

| . | (26) |
| --- | --- |

Время выполнения проекта — 2 месяца. Следовательно, в формуле (27) получим фонд рабочего времени:

| . | (27) |
| --- | --- |

Рассчитанная в предыдущем пункте трудоёмкость ПП человеко‑часов. В соответствии с этими данными, рассчитаем среднее количество исполнителей в формуле (28):

|  | (28) |
| --- | --- |

Округлив до «целых программистов», получаем число исполнителей проекта человека. Их будем называть разработчиком и проектировщиком ТЗ.

### Календарный график выполнения работ

## Расчёт сметы затрат

Затраты на выполнение проекта состоят из прямых затрат (заработная плата исполнителям, затраты на закупку или аренду оборудования, затраты на организацию рабочих мест), и косвенных затрат (т.н. накладные расходы) вычисляются по формуле (29):

| , | (29) |
| --- | --- |

где

* — заработная плата исполнителей;
* — затраты на обеспечение необходимым оборудованием;
* — затраты на организацию рабочих мест;
* — накладные расходы.

Рассчитаем все составляющие затрат на разработку программного продукта.

### Затраты на выплату исполнителям

Затраты на выплату исполнителям заработной платы линейно связаны с трудоемкостью и определяются по формуле (30):

| , | (30) |
| --- | --- |

где

* — основная заработная плата;
* — дополнительная заработная плата;
* — отчисление с заработной платы.

Расчёт основной заработной платы (оплаты труда непосредственных исполнителей) производится по формуле (31):

| , | (31) |
| --- | --- |

где

* — число дней, отработанных исполнителем проекта;
* — дневной оклад исполнителя.

При 8-и часовом рабочем дне он рассчитывается по формуле (32):

| , | (32) |
| --- | --- |

где

* — месячный оклад;
* — месячный фонд рабочего времени.

С учетом налога на доходы физических лиц размер оклада увеличивается, что отражено в формуле (33):

| , | (33) |
| --- | --- |

где

* — «чистый» оклад;
* — налог на доходы физических лиц в размере 13% .

В нашем проекте разработчиком ПО является программист C++, а проектировщиком — системный аналитик. Средние заработные платы по Москве были определены с помощью электронного ресурса Яндекс.Работа и для программиста составляют 89000 рублей в месяц при полной рабочей неделе[1], а аналитика — 104000 рублей в месяц[2].

Итоговые заработные платы для работников указаны ниже (Таблица 11).

Следовательно, общие затраты на заработную плату исполнителям проекта составят руб. Расходы на дополнительную заработную плату учитывают все выплаты непосредственным исполнителям за время, не проработанное на производстве, но предусмотренное законодательством. Величина этих выплат составляет 20% от размера основной заработной платы и  вычисляется по формуле (34):

Таблица 11 — Затраты на основную заработную плату сотрудников

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | **Должность** | **«Чистый» оклад, руб.** | **Почасовой оклад, руб.** | **Трудозатраты, чел.–час** | **Затраты на зарплату, руб.** |
| 1 | Проектировщик | 104 000 | 650,00 | 195 | 143 227,5 |
| 2 | Разработчик | 89 000 | 556,25 | 277 | 174 111,8 |
| Итого |  | | | | 317 339,3 |

|  | (34) |
| --- | --- |

Рассчитаем расходы на дополнительную заработную плату в формуле (35):

| руб. | (35) |
| --- | --- |

В настоящее время федеральным законом РФ №212-ФЗ от 24.07.2009 вместо единого социального налога определяются страховые взносы для отчисления в:

* пенсионный фонд РФ,
* фонд социального страхования,
* фонды обязательного медицинского страхования (федеральный и территориальный фонды).

Ставки страховых взносов в 2014 году для организаций, осуществляющих деятельность в области информационных технологий, за исключением организаций, заключивших с органами управления особыми экономическими зонами соглашения об осуществлении технико-внедренческой деятельности, [3] указаны в таблице 12.

Таблица 12 — Ставки страховых взносов на 2014 год

| Получатель | Ставка страхового взноса |
| --- | --- |
| Пенсионный фонд РФ | 8% |
| Фонд социального страхования | 2% |
| Фонд обязательного медицинского страхования | 4% |

Рассчитаем отчисления с заработной платы в формуле (36):

| руб. | (36) |
| --- | --- |

Таким образом, получим общие затраты на заработную плату в формуле (37):

| руб. | (37) |
| --- | --- |

### Затраты на оборудование

В совокупные затраты на реализацию проекта также необходимо включить стоимость оборудования. Оборудование, необходимое для работы разработчиков ПП перечислено ниже (Таблица 13).

Таблица 13 — Затраты на оборудование

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование оборудования** | **Количество, шт.** | **Общая стоимость, руб.** |
| ПК (средней категории) | 1 | 20 000 |
| ПК (высокопроизводительный) | 1 | 30 000 |
| Итого | | 50 000 |

Срок полезного использования персональных компьютеров будем считать не менее трёх лет. Норма амортизации оборудования (при использовании нелинейного метода) рассчитывается по формуле (38):

| , | (38) |
| --- | --- |

где — срок полезного использования данного оборудования в месяцах.

В нашем случае и норма амортизации в месяц

Амортизация по месяцам представлена в таблице ниже (Таблица 14).

Амортизационные отчисления осуществляются по норме амортизации до того как остаточная стоимость основного средства станет равна 20 % от его первоначальной стоимости. За оставшееся время эксплуатации остаточная стоимость разделяется равномерно.

Таблица 14 — Амортизационные отчисления

| Месяц | Амортизационные отчисления | Остаточная стоимость |
| --- | --- | --- |
| 1 | 2775,00 | 47225,00 |
| 2 | 2620,99 | 44604,01 |
| 3 | 2475,52 | 42128,49 |
| 4 | 2338,13 | 39790,36 |
| 5 | 2208,36 | 37581,99 |
| 6 | 2085,80 | 35496,19 |
| 7 | 1970,04 | 33526,15 |
| 8 | 1860,70 | 31665,45 |
| 9 | 1757,43 | 29908,02 |
| 10 | 1659,90 | 28248,13 |
| 11 | 1567,77 | 26680,35 |
| 12 | 1480,76 | 25199,59 |
| 13 | 1398,58 | 23801,02 |
| 14 | 1320,96 | 22480,06 |
| 15 | 1247,64 | 21232,42 |
| 16 | 1178,40 | 20054,02 |
| 17 | 1113,00 | 18941,02 |
| 18 | 1051,23 | 17889,79 |
| 19 | 992,88 | 16896,91 |
| 20 | 937,78 | 15959,13 |
| 21 | 885,73 | 15073,40 |
| 22 | 836,57 | 14236,83 |
| 23 | 790,14 | 13446,68 |
| 24 | 746,29 | 12700,39 |
| 25 | 704,87 | 11995,52 |
| 26 | 665,75 | 11329,77 |
| 27 | 628,80 | 10700,97 |
| 28 | 593,90 | 10107,06 |
| 29 | 1263,3825 | 8843,68 |
| 30 | 1263,3825 | 7580,30 |
| 31 | 1263,3825 | 6316,91 |
| 32 | 1263,3825 | 5053,53 |
| 33 | 1263,3825 | 3790,15 |
| 34 | 1263,3825 | 2526,77 |
| 35 | 1263,3825 | 1263,38 |
| 36 | 1263,3825 | 0 |

Расход по амортизационным отчислениями зависит от времени использования оборудования. В нашем случае, это 2,33 месяца. Рассчитаем суммарный расход на оборудование за время разработки в формуле (39):

| руб. | (39) |
| --- | --- |

### Затраты на организацию рабочих мест

Расчёт затрат, связанных с организацией рабочих мест для исполнителей проекта, проводится на основе требований СНИПа (санитарные нормы и правила) и стоимости аренды помещения требуемого уровня сервиса.

В соответствии с санитарными нормами, расстояние между рабочими столами с видеомониторами должно быть не менее 2 м., а между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м. Площадь на одно рабочее место с терминалом или ПК должна составлять не менее 6 кв.м., а объём — не менее 20 куб.м.. Расположение рабочих мест в подвальных помещениях не допускается. Помещения должны быть оборудованы системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией.

Исходя из данных требований и учитывая количество сотрудников, площадь рабочего помещения должна составлять не менее 15 кв. м. При этом выбор географического расположения рабочего помещения значения не имеет. Средняя цена аренды офисов класса B в пределах Москвы составляет 22438 рублей за кв. м. в год [4].

Затраты на аренду помещения вычисляются по формуле (40):

| , | (40) |
| --- | --- |

где

* — стоимость аренды одного кв. метра площади за год;
* — арендуемая площадь рабочего помещения;
* — срок аренды (календарный) в месяцах.

Рассчитаем эти затраты в формуле (41):

| руб. | (41) |
| --- | --- |

### Накладные расходы

Накладные расходы, связанные с выполнением проекта, вычисляются в соответствии с расходами на основную заработную плату. Обычно они составляют от 60% до 100% от их размера.

Величина этих затрат характеризует зарплату «неосновным» исполнителям и вычисляется по формуле (42):

|  | (42) |
| --- | --- |

Вычислим накладные расходы в формуле (43):

| руб. | (43) |
| --- | --- |

### Суммарные затраты

Суммарные затраты вычисляются как сумма всех затрат по формуле (44):

|  | (44) |
| --- | --- |

Определим затраты на реализацию проекта в формуле (45):

| руб. | (45) |
| --- | --- |

График распределения затрат по категориям представлен на рисунке 9.

## Цена продукта

Если ПП рассматривается и создаётся как продукция производственно-технического назначения, допускает многократное тиражирование и отчуждение от непосредственных разработчиков, то её цена определяется по формуле (46):

| , | (46) |
| --- | --- |

где

* – затраты на разработку ПО;
* – коэффициент учёта затрат на изготовление опытного образца ПП как продукта производственно-технического назначения (К = 1,1…1,2);
* – нормативная прибыль, рассчитываемая по формуле (47):

Рисунок 9 — Распределение затрат на реализацию проекта

| , | (47) |
| --- | --- |

где

* – материальные затраты (в нашем случае, затраты на оборудование);
* – норматив рентабельности, в %.

Минимальное значение рентабельности должно быть выше средней процентной ставки по депозитным вкладам в коммерческом банке. Возьмём за точку отсчёта .

Вычислим нормативную прибыль в формуле (48):

| руб. | (48) |
| --- | --- |

Коэффициент учёта затрат на изготовление опытного образца ПП возьмём минимальный .

Следовательно, цена разрабатываемого ПП получим в формуле (49):

| руб. | (49) |
| --- | --- |

## Дисконтирование дохода

Полный программный продукт представляет собой клиентскую часть системы распространения видео и аудиопродукции. Существуют коммерческие сервисы, предоставляющие услуги предоставления доступа к такой продукции, работающие по другой технологии. Потенциальные клиенты — компании, предполагающие развивать бизнес в данной области с использованием P2P технологий. Наши пользователи — клиенты «онлайн кинотеатров». Они будут предлагать клиентам бесплатное клиентское приложение, модификация которого была произведена в дипломной работе. Также существует компания, создающая полный программный комплекс и предоставляющий сервис онлайн кинотеатра — AceStream. На данный момент программный комплекс находится в тестовом периоде и не имеет коммерческой эксплуатации.

Предполагаем, что количество продаж будет составлять 30% от количестве таких компаний (в виду насщения рынка). На данный момент на российском рынке представлено 12 компаний (Now, Ivi, Zoomby, Megogo, Playfamily, Stream, TVzavr, Tvigle, Zabava, Amediateka, Viaplay, Molodejj). Количество продаж получим равной 3,6 или около 4-х продаж. Будем продавать продукт равномерно в течение 12 месяцев после создания 4 покупателям по цене в 350 000 рублей. Требуется провести дисконтирование полученного дохода.

Смысл дисконтирования заключается в том, что текущая стоимость будущих финансовых потоков может существенно отличаться от их номинальной стоимости. Для расчёта используется формула (50):

|  | (50) |
| --- | --- |

где

* — текущая стоимость;
* — будущая стоимость;
* — номер месяца;
* — постоянная нормы дисконта, в %;
* — расчётный период, в месяцах.

В качестве нормы дисконта обычно берётся ставка рефинансирования. На 2014 год она равна 8,25 %.

По результатам предыдущего пункта, цена программного продукта равна 906 931 рублям.

За три месяца разработки затраты разделим в пропорции 6:3:1 (шесть частей в первый месяц, три части во втором и одна часть в третьем месяцах). Доход от продукта мы получим лишь в четвёртом, седьмом, одиннадцатом и четырнадцатом месяцах с момента старта проекта. Произведём дисконтирование в формуле (51):

| руб. | (51) |
| --- | --- |

## Вывод

Для реализации данного проекта необходимы программист C++ (трудозатраты составят 277 часов) и системный аналитик (трудозатраты составят 195 часов). Продолжительность выполнения проекта составляет 67 дней с учётом выходных и праздничных дней.

Расходы на разработку продукта равны 746 088 рублей. Дисконтированный доход после 14 месяцев от начала работы над проектом составит 147 270 рублей при сроке окупаемости в 11 месяцев. Дисконтированный доход является положительным, следовательно проект выгоден.

.

# Заключение

В данной работе были

Библиография

Link1. Huttunen & Piché, 2012

Link2. Coughlan & Yuille, 1999, 2003

Link3. The York Urban Line Segment Database

1. Диаграмма Ганта выполняемых работ

Таблица 1 — Диаграмма Ганта выполняемых работ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Название этапа | Продолжительность,  раб. дни | Исполнители | | Календарные дни | | | | | | | | | | | |
| Категория | Число | 10.03-15.03 | 16.03-22.03 | 23.03-29.03 | 30.03-05.04 | 06.04-12.04 | 13.04-19.04 | 20.04-26.04 | 27.04-03.05 | 04.05-10.05 | 11.05-17.05 | 18.05-24.05 | 25.05-31.05 |
| Количество рабочих дней | | | | | | | | | | | |
| 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 1 | Техническое задание | 6 | инженер-программист 1 категории | 1 | 4 | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| инженер по научно-технической информации | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | Эскизный проект | 8 | инженер-программист 1 категории | 1 |  | 3 | 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| инженер по научно-технической информации | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Технический проект | 17 | инженер-программист 1 категории | 1 |  |  |  | 5 | 5 | 5 | 2 |  |  |  |  |  |
| инженер по научно-технической информации | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | Рабочий проект | 19 | инженер-программист 1 категории | 2 |  |  |  |  |  |  | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |  |
| 5 | Внедрение | 6 | инженер-программист 1 категории | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 | 5 |
| инженер по научно-технической информации | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |