

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Бокового Андрея Валерьевича**

«Исследование методов и разработка алгоритмов одновременного картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»

Актуальность темы диссертационной работы

Методы и алгоритмы, решающие задачу одновременного локализации и картографирования (SLAM) по данным с различных сенсоров, являются объектом исследований многих исследователей, как в нашей стране, так и за рубежом. С развитием мобильной робототехники и встраиваемых вычислителей, область применения подобных методов и алгоритмов только растет: исследование труднодоступных территорий с помощью мобильных роботов, беспилотный транспорт, системы интеллектуальной помощи водителю и др. Системы SLAM на основе единственной видеокамеры являются оптимальными в точки зрения отношения «эффективность/стоимость».

Специфика практического использования алгоритмов SLAM состоит в том, что очень часто требуется искать компромиссы при решении двух задач:

1. Алгоритм должен работать в масштабе времени, близком к реальному, иначе это может обернуться аварией мобильного робота или автомобиля, на котором алгоритм функционирует.
2. Мобильный робот или беспилотное транспортное средство, в силу различных ограничений, не может нести на своем борту мощный вычислитель.

Таким образом, тема диссертационной работы, связанная с разработкой быстродействующих SLAM-алгоритмов, функционирующих на вычислителях малой мощности, является актуальной и востребованной.

Структура работы и ее содержание

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации составляет 120 страниц, список литературы состоит из 110 источников.

Во введении дается обоснование актуальности проблемы, связанной с применением методов одновременного картирования и локализации. Рассматривается использование видеопотока с единственной камеры в качестве входных данных методов. Формулируются задачи, которые предстоит решить соискателем в его работе, аргументируется научная новизна исследования, показывается теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе автор приводит постановку задачи одновременного картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры в контексте навигации малой робототехнической системы. Проводится аналитическое исследование современных методов картирования и локализации, описываются типовые сценарии их применения. Приводится анализ современных коллекций данных, которые могут быть использованы для экспериментального исследования методов и алгоритмов SLAM.

Во второй главе Боковой А.В. описывает разработанный алгоритм поиска замыканий траекторий, подобные алгоритмы являются одним из типовых этапов выполнения методов картирования и локализации. Автор предлагает ограничить область сравнения текущего кадра с предыдущими на основе истории позиций камеры и геометрических ограничений на движения робота. Использование таких ограничений позволило сократить область поиска, и, тем самым, сократить общее время работы SLAM-алгоритма. Была

отобрана коллекция данных, и проведен эксперимент с использованием открытых реализаций известных алгоритмов и разработанного улучшения. Показано увеличение быстродействия и улучшения качества локализации по сравнению с существующими подходами.

В третьей главе автор проводит исследование современных нейросетевых подходов к восстановлению карт глубин изображений. Приводится описание типовых архитектур, в том числе архитектура «энкодер-декодер». Для увеличения быстродействия без существенной потери в качестве восстановления, автором предложен облегченный энкодер и ряд улучшений в декодере искусственной нейронной сети. Реализована операция чередования нескольких ядер свертки, что позволило существенно сократить время обработки кадра. Также, для ускорения обучения и решения проблемы больших значений функций ошибки на малых глубинах были использованы перенос весов с эквивалентной архитектуры и новые функции потерь соответственно. Все предложенные архитектуры были реализованы на встраиваемой робототехнической платформе в составе метода одновременного картирования и локализации.

В четвертой главе представлено решение проблемы сравнения двух облаков точек, полученных в результате работы методов картирования и локализации. Рассмотрены обобщенные примеры, иллюстрирующие проблемы классических подходов. Предложена функция сопоставления, которая ставит в соответствие трехмерные точки из двух множеств на основе областей видимости камеры в каждый момент времени. Полученная функция соответствия исследована на открытых коллекциях данных для алгоритма RTAB-Map, на вход которому подавались данные, полученные из симулятора Habitat.

В заключении приведены результаты диссертации.

Научная новизна работы

1. Предложен новый алгоритм обнаружения замыканий траекторий, основанный на геометрических ограничениях на движения робототехнической системы и на область поиска замыкания, что позволяет повысить быстродействие и точность построения траектории.
2. Разработан ряд улучшений моделей искусственной нейронной сети, предназначенной для предсказания карт глубины. Улучшения основаны на использовании ускоренной операции совмещения матриц, реализованной на графическом процессоре, а также на использовании модифицированной функции потерь, уменьшающей ошибку предсказания на малых расстояниях. Полученная модель позволила решать задачу монокулярного SLAM в режиме реального времени на бортовом вычислителе малой робототехнической системы при сохранении приемлемой точности построения карт.
3. Предложена новая функция сопоставления облаков трехмерных точек для решения задачи оценки качества картирования. Функция отличается использованием области видимости камеры с разных позиций, вычисленных в ходе реконструкции 3D-карты из 2D-изображения. Показано преимущество разработанной функции перед аналогами, в частности, ее устойчивость к удалению нерелевантных точек из финальной карты.

Степень обоснованности и достоверности результатов исследования

Все положения и выводы диссертации достоверны и научно обоснованы. Достоверность указанных соискателем результатов подтверждается экспериментальными данными, полученными в процессе сравнения полученных результатов на открытых коллекциях данных. Выбор математического инструментария для решения задачи монокулярного SLAM представляется логичным и обоснованным. Разработанные в диссертации решения основываются на корректном применении аппарата

математического анализа, линейной алгебры, методов оптимизации, теории распознавания образов. Основные результаты диссертации докладывались автором на более чем 10 профильных конференциях и научных семинарах.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы обуславливается комплексом разработанных алгоритмов и моделей, которые могут служить основой как для построения новых методов решения задачи монокулярного SLAM, так и для улучшения существующих. Полученная в ходе работы модель оценки карт может быть применена для исследования качества картирования различных методов SLAM.

Практическая значимость состоит в том, что разработанные соискателем модели и алгоритмы, а также их программные реализации, могут быть использованы в задачах навигации наземных и воздушных робототехнических систем в реальном времени для автономного исследования неизвестной местности при проведении поисково-спасательных операций, в задачах дополненной реальности, в разработке систем интеллектуальной помощи водителю, а также для развития беспилотного транспорта.

Публикация основных результатов диссертационного исследования

Основные результаты по теме диссертации изложены в 17 публикациях, в том числе: 2 изданы в журналах из перечня ВАК, 9 – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science. Научные публикации соответствуют основной теме исследования.

Замечания

1. В списке сформулированных задач, первая задача звучит так: «Разработать эвристический алгоритм обнаружения замыкания траектории для повышения точности и вычислительной эффективности методов решения задачи картирования и локализации по видеопотоку». На мой взгляд, формулировку следовало бы несколько преобразовать, поскольку подобные эвристические алгоритмы уже существуют.
2. В первой главе говорится об использовании восьмиточечного алгоритма и его вариаций для вычисления фундаментальной матрицы по восьми и более точкам в задаче сопоставления изображений. В данной задаче предпочтительнее использовать 5-точечный алгоритм, поскольку он быстрее, а 8-точечный алгоритм некорректно работает в тех случаях, когда все точки располагаются на одной плоскости. Подобные ситуации могут возникать при движении мобильного робота внутри помещений, в которых плоские поверхности встречаются часто.
3. Список источников, описывающих существующие подходы к обнаружению замыканий траектории, видится несколько сжатым. Было бы целесообразным расширить обзор, что позволило бы лучше показать новизну разработанного алгоритма, основанного на использовании геометрических ограничений.
4. Разработанный алгоритм поиска замыканий отличается также тем, что на этапе сопоставления изображений, при отборе ключевых точек на изображениях выбираются те точки, у которых суммы компонентов ее дескрипторов являются максимальными, по сравнению с остальными точками. Есть предположение, что улучшение в плане скорости достигается за счет использования геометрических ограничений в процессе поиска замыканий, а улучшение в плане точности построения траектории – за счет предложенного критерия при выборе ключевых точек. На мой взгляд, использование геометрических ограничений улучшает именно время работы,

а результат поиска замыканий, вероятно, не меняется. Из текста работы непонятно, затрагивался ли данный вопрос в ходе исследований.

5. Во второй главе сказано, что разработанный алгоритм поиска замыканий встраивался в SLAM-алгоритмы ORB-SLAM2 и LSD-SLAM. В третьей главе сказано, что разработанный нейросетевой алгоритм восстановления карты глубины тестировался совместно с другим существующим SLAM-алгоритмом – RTABMAP. Из текста работы непонятно, почему разработанные решения не тестировались на одном и том же SLAM-алгоритме.

Перечисленные замечания не снижают значимости полученных автором результатов и не влияют на общую оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Бокового А.В. представляет собой завершенное научно-квалификационное исследование, в котором решена актуальная научная задача одновременного картирования и локализации с использованием монокулярной камеры. Диссертационная работа обладает внутренним единством, выполнена автором самостоятельно и на высоком научном уровне, а полученные научные результаты важны для дальнейшего исследования задач одновременного картирования и локализации. Автореферат раскрывает основное содержание диссертации и отвечает требованиям ВАК. Результаты работы доказаны или представляются вполне достоверными. Работа написана грамотным техническим языком, логическая структура текста диссертации замечаний не вызывает.

Считаю, что, несмотря на отмеченные недостатки, представленная к защите диссертация Бокового Андрея Валерьевича «Исследование методов и разработка алгоритмов одновременного картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры» соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства Российской

Федерации от 24 сентября 2013 года №842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Боковой А.В., заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент: кандидат технических наук, научный сотрудник Исследовательского центра мультипроцессорных систем Института программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук

Степанов (Степанов Д.Н.)

« 24 » МАЯ 2022 г.



Д.Н. Степанов
Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук (ИПС им. А.К. Айламазяна РАН)

Адрес: 152021, Ярославская область, Переславский район, с. Веськово, ул. Петра Первого, д.4 «а».

Телефон/факс: (4852) 695-228

E-mail: psi@botik.ru

Сайт: <http://www.botik.ru/PSI/>