



“УТВЕРЖДАЮ”

Директор Института проблем
управления РАН им. В.А. Трапезникова

член-корреспондент РАН

Д.А. Новиков

« 26 » мая 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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 работы. Системы компьютерного зрения являются важной областью информационных технологий. От качества работы и быстродействия таких систем зависит ценность их применения в практических задачах. Одной из серьезных проблем при разработке систем компьютерного зрения является задача одновременного картирования и локализации (Simultaneous Localization and Mapping – SLAM), т.е. восстановления трехмерной карты неизвестной местности и вычисления положения объекта в каждый момент времени. В частности, для обеспечения навигации малых робототехнических устройств особенно важен частный случай задачи SLAM – использование единственной камеры (mvSLAM). Несмотря на большое количество опубликованных работ по тематике mvSLAM, эта задача до сих

пор в полной мере не решена. Карты, получаемые известными методами ее решения, либо обладают высокой точностью и детализированностью, но низким быстродействием, либо наоборот, высоким быстродействием, но низкой точностью. Это осложняет практическое применение методов картирования и локализации в реальных робототехнических системах. Поэтому тема диссертационной работы Бокового Андрея Валерьевича, посвященной разработке новых методов решения задачи mvSLAM, безусловно актуальна.

Целью диссертационного исследования является повышение степени автономности малых робототехнических систем за счет разработки более эффективных методов, решающих задачу одновременного картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры.

Содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 120 страниц. Список литературы содержит 110 наименований.

Первая глава содержит аналитический обзор существующих методов решения задачи mvSLAM. Выделены ее основные подзадачи (нахождение особенностей изображений, построение карты глубины изображения и т.д.). Отмечено, что не существует универсального метода, который одновременно удовлетворял бы всем требованиям по качеству карт и скорости их построения. Приведена классификация методов на основе этих требований. Рассмотрены подходы к использованию нейросетевых моделей для построения карт глубины, которое особенно актуально для повышения скорости картирования и локализации. Сформулированы основные задачи диссертационной работы, решение которых изложено в последующих главах.

Во **второй главе** описан разработанный автором алгоритм поиска замыканий траектории. Путем сопоставления текущего изображения с предыдущими алгоритм обнаруживает замыкания траектории, т.е. места, в которых объект уже был ранее и которые отмечены на карте. Затем выполняется оптимизация построенной карты, которая, используя найденные замыкания, устраняет накопленные ошибки. Предложенный алгоритм улучшает известные методы в двух аспектах: он минимизирует область поиска замыканий и уменьшает количество точек, участвующих в сопоставлении изображений, за счет отбора наиболее информативных точек.

Разработанный алгоритм программно реализован и интегрирован в состав комплекса программной системы vSLAM, использующей два известных метода. Полунатурные эксперименты показали, что разработанный алгоритм заметно улучшил качество построения траектории и скорость работы по сравнению с оригинальными алгоритмами.

Третья глава посвящена разработке эффективных нейросетевых моделей для восстановления глубины изображений, т.е. перехода от двумерной карты к трехмерной. Главная проблема заключалась в разработке метода восстановления глубины, основанного на моделях искусственных нейронных сетей, который: а) обеспечивает точность работы, достаточную для использования в методах одновременного картирования и локализации, б) способен функционировать в режиме реального времени на встраиваемой платформе. Предложена полносверточная нейросетевая модель, существенно повышающая скорость восстановления глубины. Эксперименты показали, что предложенная модель может работать в реальном времени при сохранении точности получаемых карт.

Четвертая глава содержит методы оценки качества результатов картирования и локализации. Автором разработан оригинальный метод

сопоставления точек изображения в двух картах – истинной и полученной оцениваемым методом – использующий историю позиций камеры. Экспериментально показана **большая** устойчивость предложенного подхода к типовым ошибкам картирования по сравнению с классическими подходами.

Заключение содержит основные результаты, полученные в работе.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан оригинальный алгоритм поиска замыканий траектории. Экспериментально показано, что он повышает точность и быстродействие локализации и картирования.

2. Предложена полносверточная нейросетевая модель, существенно повышающая скорость восстановления глубины изображений. Эксперименты показали, что предложенная модель может работать в реальном времени при сохранении точности получаемых карт.

3. Разработан оригинальный метод оценки качества результатов картирования и локализации, основанный на сопоставлении изображений в двух картах – истинной и полученной оцениваемым алгоритмом. Экспериментально показано, что предложенный подход более устойчив к типовым ошибкам картирования по сравнению с известными подходами.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные математические модели и алгоритмы обеспечивают улучшение характеристик систем навигации на основе картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры за счет повышения качества локализации и восстановления глубин изображений, а также увеличения быстродействия. Это улучшение особенно важно для малых робототехнических систем,

имеющих только одну камеру и обладающих довольно ограниченными вычислительными ресурсами.

Существенное практическое значение для систем технического зрения имеет разработанная автором программная реализация предложенных моделей и алгоритмов и ее успешная интеграция в реальный вычислительный комплекс, решающий задачу vSLAM.

Результаты исследований могут быть использованы в практической деятельности разработчиков программного обеспечения компьютерного зрения и робототехники.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и результаты оценки сложных систем технического зрения. Работа и приведенные публикации автора свидетельствуют о личном вкладе автора диссертации в науку. Предложенные автором диссертации решения аргументированы теоретически и подтверждены экспериментально.

Приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов.

Замечания к диссертационной работе:

1. Не раскрыто влияние внутренней калибровки камеры на результаты сравнения результатов картирования с использованием разработанной функции сопоставления изображений.
2. Отсутствует комплексное сравнение методов mvSLAM с учетом всех улучшений, полученных в разработанных алгоритмах и моделях.
3. Есть ряд замечаний к оформлению текста диссертации. Местами текст читается тяжело и требует пояснений в виде схем и рисунков.

4. На стр.9 диссертации указано, что диссертация состоит из трех глав, хотя в действительности она содержит четыре главы, что и указано в содержании диссертации (стр.3).
5. Об алгоритме поиска замыканий: на стр.58 (выводы к гл.2) сказано: «Эксперимент показал, что разработанный алгоритм позволил улучшить качество построения траектории на 8,42% и производительность (скорость работы) на 43,53% по сравнению с оригинальными алгоритмами, использующимися в методах для картирования и локализации по видеопотоку». Однако на стр.100-101 (Заключение) сказано: «Исследование показало, что удалось добиться повышения точности локализации и построения карты на 8% и 7%, соответственно, при уменьшении времени поиска замыкания траектории на 33%».

Непонятно, какие из этих данных верны.

Указанные недостатки не снижают научной ценности работы.

Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, в том числе 9 публикаций в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science.

Текст автореферата соответствует содержанию диссертации.

Полученные соискателем теоретические и практические результаты, автореферат и опубликованные работы позволяют сделать вывод о достаточно высокой квалификации автора.

В целом можно считать, что диссертационная работа Бокового Андрея Валерьевича является завершенным научным исследованием, содержащим научно обоснованные программно-алгоритмические решения задачи картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры.

Содержание диссертационной работы А.В. Бокового соответствует паспорту специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные

методы и комплексы программ» в п.3 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий» и п.6 «Разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента».

Диссертация полностью соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Боковой Андрей Валерьевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв обсужден на семинаре лаборатории № 11 Института проблем управления РАН, протокол № 1 от «24» мая 2022 г.

Отзыв составлен главным научным сотрудником лаборатории 11 доктором технических наук, профессором О.П. Кузнецовым.

О.П. Кузнецов

Институт проблем управления (ИПУ) им. В.А. Трапезникова РАН
117997, Москва ул. Профсоюзная, д. 65
Официальный сайт: <http://www.ipu.ru>
E-mail: dan@ipu.ru
Телефон: +7 (495) 334-89-10

