

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 исследований

Развитие техники и создание новых технологий сопровождается повышенным интересом к разработке методов и алгоритмов для автоматизации и повышения автономности навигации сложных устройств, например, колесных или беспилотных летающих робототехнических устройств. На сегодняшний день такие устройства уже применяются в промышленности, сфере обслуживания и в научных исследованиях. Первостепенным вопросом в анализируемой предметной области остается качество получаемых входных данных, а именно карты и текущей позиции, а также общее быстродействие методов и алгоритмов, позволяющих создавать карту и определять свое положение на карте в каждый момент времени. В представленном диссертационном исследовании были предложены методы и алгоритмы одновременного картирования и локализации по видеопотоку с использованием единственной камеры, позволяющие повысить степень автономности малых колесных робототехнических устройств за счет улучшения точности методов и алгоритмов локализации устройства и реконструкции карты окружающего пространства. Актуальность диссертационного исследования не вызывает сомнений.

Содержание диссертационного исследования

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 120 страниц, в том числе 35 рисунков, 9 таблиц, 110 источников литературы.

Во введении автором обоснована актуальность темы, определен предмет исследования, сформулирована практическая и теоретическая значимость результатов

исследования.

В первой главе произведен анализ современных методов одновременного картирования и локализации по видеопотоку (mvSLAM). Приводится обоснование выбора единственной камеры в качестве целевого датчика. Автор работы хорошо знаком с известными способами решения поставленной задачи, в обзоре автор приводит существующую классификацию mvSLAM на прямые и не прямые методы, а также отмечает достоинства и недостатки каждого класса методов и их применение в робототехнических устройствах. Дополнительно проведено исследование современных открытых эталонных баз данных для сравнения качества результирующих данных методов mvSLAM.

Во второй главе автором предложен алгоритм поиска замыканий цикла на траектории. Предложенный алгоритм основан на сужении области поиска изображений с учетом геометрических ограничений на движения робота по карте и позволяет повысить быстродействие метода mvSLAM. Автор работы предложил программную реализацию разработанного им алгоритма и интегрировал его в известные методы картирования и локализации ORB-SLAM2 и LSD-SLAM. Автор провел экспериментальное исследование на эталонных базах данных, которое показало как повышение быстродействия предложенного алгоритма, так и повышение качества итоговых результатов за счет более точного способа позиционирования найденного кадра по сравнению с известными способами.

В третьей главе исследуется проблема восстановления карты глубины изображений с использованием искусственных нейронных сетей и использование полученных карт глубины в задаче одновременного картирования и локализации сложного робототехнического устройства в режиме реального времени. Автором были предложены улучшения для стандартных блоков архитектур искусственных нейронных сетей, а также разработаны новые модификации для функции потерь, которые применяются в процессе обучения с целью повышения качества и быстродействия работы на встраиваемых системах (Nvidia Jetson TX2). Далее было проведено сравнение архитектур с предложенными автором работы улучшениями известных методов для восстановления карт глубины с использованием открытой коллекции данных NYU Dataset v2. Автором был разработан программный комплекс картирования и локализации по видеопотоку на основе Robot Operating System (ROS) и RTAB-Map и продемонстрирована его работоспособность на

реальном колесном роботе.

В четвертой главе автор исследует методы и алгоритмы для сопоставления результатов картирования в виде облаков точек. Исследованы недостатки современных способов сопоставления карт. На основе проведенного исследования известных методов автором была предложена модель, основанная на сравнении фрагментов облаков точек, в которых функция соответствия рассчитывается на основе истории положений камеры. Для исследования предложенной модели автором была создана коллекция данных на основе фотореалистичного симулятора Habitat. На основе сравнения различных сценариев картирования и локализации с использованием разных входных данных показана устойчивость полученной модели к типичным ошибкам картирования по сравнению с классическими подходами.

В заключении приводятся следующие основные результаты, полученные в диссертационном исследовании.

Научная новизна

Научная новизна результатов диссертации заключается в разработанном алгоритме поиска замыканий траекторий, представленных улучшениях архитектур и методов обучения искусственных нейронных сетей для восстановления глубины изображений, создании модели для сравнения результатов картирования.

1. Разработан новый алгоритм поиска замыканий траектории. Полученный алгоритм был исследован на открытых коллекциях данных с использованием реализаций методов LSD-SLAM и ORB-SLAM2. Сравнение проводилось с известными алгоритмами поиска замыканий по таким параметрам, как скорость работы, точность картирования и точность локализации. Исследование показало, что удалось добиться повышения точности локализации и построения карты на 8% и 7% соответственно при уменьшении времени поиска замыкания траектории на 33%.

2. Разработана оригинальная модель искусственной нейронной сети для восстановления глубины изображений, которая применима для картирования и локализации в реальном времени на встраиваемой платформе Nvidia Jetson TX2. Проведено исследование разработанной модели на открытых коллекциях данных, которое показало увеличение быстродействия обработки одного кадра при сравнимой с современными

моделями точностью восстановления глубины. Разработан программный комплекс картирования и локализации по видеопотоку в реальном времени был протестирован на встраиваемой платформе Nvidia Jetson TX2 и на реальной робототехнической системе.

3. Предложена новая модель оценки качества карт, полученных методами для решения задачи mvSLAM, на основе оригинальной функции сопоставления трехмерных точек с учетом истории позиций камеры. Применение предложенной модели позволяет повысить точность сравнения карт, представимых в виде облаков точек.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и обоснованность полученных научных результатов диссертации подтверждается правильным применением методов теории вероятности и математической статистики, линейной алгебры и аналитической геометрии, теории автоматического управления, цифровой обработки информации, искусственного интеллекта. Адекватность и достоверность предложенных методов и алгоритмов подтверждается результатами компьютерного моделирования на открытых эталонных базах данных и экспериментами с реальными данными. Полученные автором работы результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в предложенных модификациях известных методов и алгоритмов одновременного картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры, которые позволяют улучшить качество построения карты вокруг колесного робототехнического устройства и его локализации на ней.

Практическая значимость результатов диссертации состоит в создании моделей и алгоритмов, реализованных в виде программных библиотек и модулей. Разработанное программное обеспечение может использоваться для решения широкого круга задач в современной робототехнике, связанных с созданием автономных интеллектуальных системы.

Замечания

1. В главе 3.3 не совсем понятно насколько предложенная функция потерь aBerHu влияет на скорость обучения искусственной нейронной сети. Также в таблице 6 для полной картины сравнения не хватает данных об архитектурах нейронных сетей, обученных с помощью разработанной автором функции aBerHu.

2. В работе не определены четкие критерии для оценки быстродействия алгоритмов картирования и локализации. Данные алгоритмы имеют в своем составе блоки, которые решают различные подзадачи, например, такие как определение позиции, совмещение кадров, оптимизация карты и траектории, поэтому представляется важным производить оценку влияния предложенных в диссертационной работе подходов в контексте производимых улучшений отдельно для каждого блока.

3. Во второй главе при проведении оценки качества предложенного алгоритма поиска замыканий траекторий автором использовались известные базы данных Malaga Dataset 2009, Malaga Dataset 2013, LSD-SLAM Dataset, KITTI Dataset, которые содержат как длинные, так и короткие циклы. Известно, что одни и те же методы для решения проблемы замыкания цикла могут показывать разные качественные результаты в зависимости от длины исследуемой траектории. Было бы интересно посмотреть на изменение абсолютной ошибки траектории в зависимости от количества особых точек K и длины анализируемой траектории. Также представляется полезным получить количественные и качественные оценки работы предложенного эвристического алгоритма поиска замыканий траекторий для экспериментов с реальными данными, полученным при движении колесного робототехнического устройства в пространстве.

4. Автор в третьей главе утверждает, что известные методы восстановления карт глубин изображений в подходе к картированию и локализации на основе RGBD-SLAM опираются только на использование нейросетевых моделей. С одной стороны, верно, что методы восстановления карт глубины с использованием нейронных сетей получили широкое распространение в цифровой обработке информации и робототехнике, но с другой стороны, известно множество других методов решения поставленной задачи, например, с использованием дескрипторов, нелинейных фильтров (порядковые статистики), локальных шаблонов, и.т.д. В плане продолжения дальнейших работ по научной задаче, поставленной

в данной диссертации, было бы интересно сравнить предложенный метод восстановления карт не только с аналогичными известными методами решения задачи на основе нейронных сетей, но и с методами восстановления карт глубин, использующими другую парадигму.

5. При обзоре современного состояния анализируемой научной проблемы автору следовало бы уделить больше внимания изучению научных рецензируемых изданий за последние 5 лет, в представленном автором работы списке литературы преобладают работы за период с 2008 по 2018 гг.

6. Следует отметить наличие ошибок при оформлении текста рукописи диссертации, связанных как с отклонением от действующего ГОСТ, так и с неправильной версткой рукописи – подписи для рисунков и таблиц расположены на разных страницах с их содержанием, например, стр. 50-51, 53-54, и.т.д.

Отмеченные выше недостатки не влияют на общую положительную оценку представленной работы и могут быть приняты в том числе во внимание в качестве рекомендаций по дальнейшему развитию научного исследования.

Заключение

Диссертационная работа А.В. Бокового «Исследование методов и разработка алгоритмов одновременного картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры» является завершенным научным исследованием, содержащим теоретическое и практическое обоснование предлагаемых алгоритмов и моделей для повышения качества и быстродействия методов одновременного картирования и локализации по видеопотоку единственной камеры. Основные результаты и выводы диссертации получены автором лично, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК, доведены до практической реализации и апробированы на международных и всероссийских конференциях. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Автореферат диссертации в достаточной мере отражает содержание работы.

Диссертационное исследование Бокового Андрея Валерьевича выполнено на высоком научном уровне и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским

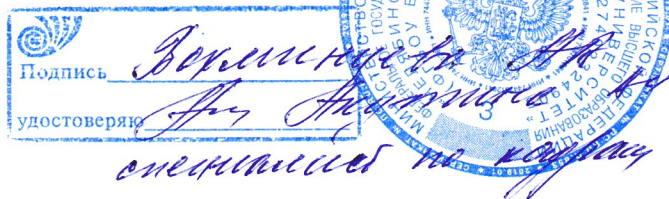
Официальный оппонент:

Boz

заведующий научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальные информационные технологии и системы», профессор кафедры информационных технологий и экономической информатики Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Челябинский государственный университет»

Адрес места основной работы: 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных 129

Адрес эл. почты: vav@csu.ru



45.05.2022