

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертационную работу Брагина Александра Викторовича
«Методы навигации пешехода с использованием микромеханических
инерциальных датчиков»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.1.7 – теоретическая механика,
динамика машин

Диссертация посвящена проблеме автономной навигации пешехода с использованием микромеханических инерциальных датчиков. Актуальность темы связана с необходимостью обеспечения точного позиционирования в условиях отсутствия сигналов спутниковых навигационных систем, например, внутри помещений, в зонах радиоэлектронного подавления, при чрезвычайных ситуациях. Классические инерциальные навигационные системы на основе высокоточных датчиков неприменимы из-за высокой стоимости, значительных габаритов и энергопотребления. Таким образом, развитие алгоритмов коррекции для низкоточных микромеханических инерциальных датчиков представляет собой важную научно-техническую задачу.

Автор сосредоточился на двух ключевых проблемах: во-первых, на теоретическом анализе состоятельности обобщённого фильтра Калмана при коррекции по нулевой скорости и по расстоянию между стопами; во-вторых, на разработке нового адаптивного алгоритма коррекции путевого угла. Указанные проблемы находятся в центре современных исследований в области инерциальной навигации высокоманевренных подвижных объектов, поэтому предлагаемые в диссертации решения этих проблем, имеют важное теоретическое и прикладное значение для механики, навигации и управления движением.

Содержание работы изложено в трех главах. Полный объем диссертации 165 страниц текста с 37 рисунками и 4 таблицами. Список литературы содержит 121 наименование, включая 93 на английском языке. Автореферат полностью соответствует диссертации.

Обзору предшествующих работ по теме диссертации посвящена первая глава. В ней автор рассматривает как пионерские, так и современные работы. Основное внимание уделяется работам, в которых используются инерциальные датчики и методы коррекции.

Во второй главе рассматривается обобщенный фильтр Калмана и его свойства состоятельности применительно к общей задаче оценивания. Аналитически выяснить это свойство затруднительно, поэтому в работе вводится новое понятие структурной состоятельности. В работе доказано утверждение – из структурной несостоятельности следует несостоятельность. Доказанные утверждения используются для анализа свойств обобщенного фильтра Калмана в задаче навигации пешехода с коррекцией по нулевой скорости и по расстоянию между стопами. Свойства фильтра меняются в зависимости от набора переменных в уравнениях ошибок, и в зависимости от способа записи измерений нулевой скорости. Проводится анализ различных форм динамической системы и уравнений измерений с точки зрения состоятельности. Делаются выводы относительно предпочтительности использования так называемых динамических ошибок. Следует отметить, что состоятельность фильтра не доказывается, а лишь иллюстрируется численным моделированием. Рассмотрен также ряд вопросов, важных для практики – детектор нулевой скорости стопы, возможность оценивания дрейфов гироскопов в процесс движения.

Одной из проблем при использовании низкоточных датчиков является накопление ошибок курса и, как следствие, путевого угла. В третьей главе рассматривается класс методов, уменьшающих скорость накопления ошибки путевого угла. Эти методы основаны на предположениях о прямолинейном движении пешехода в некоторых ситуациях и позволяют скомпенсировать ошибку путевого угла без внешней информации. На основе анализа известных методов предлагается новый подход, использующий одновременно информацию о прямолинейном движении и информацию об ограниченности расстояния между стопами пешехода. Предложенный метод не имеет четкого теоретического обоснования, однако показал

большую точность по сравнению с известным методом коррекции только по расстоянию между стопами.

Обоснованность положений, научных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и выносимых на защиту.

Все результаты, сформулированные в работе в качестве положений, выносимых на защиту, четко обоснованы и имеют ясную аргументацию в тексте диссертации. Полученные во второй главе теоретические результаты обосновываются в рамках теоретической механики, теории оценивания, теории вероятностей. Выводы о несостоятельности различных форм обобщенного фильтра Калмана основаны на утверждениях, доказанных в ясных предположениях, и подтверждаются результатами имитационного моделирования. Работоспособность предложенного в третьей главе алгоритма иллюстрируется результатами обработки экспериментальных данных, проведенных автором.

Достоверность результатов обусловлена применением строгих методов теории оценивания, теории вероятностей, теоретической механики и подтверждается математическим моделированием, сравнением с результатами, полученными другими авторами и с экспериментальными результатами исследований.

Научная новизна исследования заключается во введенном понятии структурной состоятельности, которое позволяет аналитически исследовать свойства алгоритмов обобщенного фильтра Калмана как в задаче навигации пешехода, так и в более широком классе задач, например в задаче навигации роботов. Также новыми являются результаты исследования состоятельности двух методов коррекции в навигации пешехода. Новым является алгоритм коррекции, предложенный в третьей главе.

Замечания по работе следующие.

1. Недостаточно полно обоснован новый адаптивный алгоритм коррекции путевого угла. В таблице 3.2 приведены только средние значения ошибок навигации, отсутствуют стандартные отклонения, доверительные интервалы. При достаточно малом количестве экспериментов на улице, равном девяти,

разница между методами ADUPT (21,2 м) и DUPT (23,6 м) может оказаться статистически незначимой.

2. Недостаточно полно обоснован ковариационный анализ в разделе 2.6.2. При выводе аналитических выражений (2.67) использованы сильные предположения о мгновенной коррекции, постоянной длительности шага и о пренебрежении вертикальным движением. Автор не оценивает погрешность, вносимую этими упрощениями, и не сравнивает аналитические результаты с численными для реальных параметров движения.
3. Имеются редакционные замечания по оформлению текста диссертации и автореферата, не влияющие на научное содержание диссертации.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Брагин Александр Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ"

Меркурьев Игорь Владимирович

Контактные данные:

тел.: + , e-mail:

10.07.2026

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

01.02.06 Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Адрес места работы:

111250, Россия, г. Москва, ВН.Тер.г. муниципальный округ Лефортово, ул.

Красноказарменная, д.14, стр.1

НИУ МЭИ, кафедра робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин

Подпись сотрудника

НИУ «МЭИ» И.В. Меркурьева удостоверяю: