

ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ АВТОНОМНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С БОРТОВЫМИ НАВИГАЦИОННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

П.М. Трефилов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: petertrfi@ipu.ru

Н.А. Коргин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)
Россия, 117303, г. Москва, ул. Керченская, 1А, корп. 1
E-mail: nkorgin@ipu.ru

Ключевые слова: информационная система, навигация, точность.

Аннотация: Применение автономных робототехнических устройств практически всегда сопряжено с информационными системами для контроля управления. В данной статье рассматривается проблема повышения степени автономности информационной системы для динамических объектов с бортовыми навигационными комплексами. Рассматриваются основные факторы, которые делают эту проблему актуальной, такие как постоянные изменения положения, скорости и направления движения объектов, а также необходимость обеспечения высокой степени автономности бортовых навигационных комплексов. В статье рассматриваются преимущества повышения степени автономности информационной системы, такие как улучшение эффективности и безопасности работы объектов. В приведены результаты натурного эксперимента.

1. Введение

Современные автономные робототехнические устройства с огромным количеством средств ориентации и навигации позволяют значительно повысить уровень автономности, что в свою очередь может гарантировать выполнение поставленных задач и снизить риск ошибок из-за человеческого фактора в системе управления. Вместе с этим постоянно развиваются методы и средства преднамеренного нарушения нормального функционирования автономных робототехнических устройств. Современные технические устройства могут не только обнаруживать и находить средства воздействия на каналы управления и, но и вмешиваться в работу информационных систем. В связи с этим необходимо применять дополнительные средства защиты в информационно-управляющих системах. В условиях изменения погодных условий, изменения маршрута движения, изменения условий эксплуатации и т.д. информационная система должна быть способна адаптироваться к изменениям и обеспечивать точную и надежную информацию о положении и состоянии объекта [1].

Бортовые навигационные комплексы, которые используются на динамичных объектах, также требуют высокой степени автономности. Они должны быть способны работать без постоянного подключения к внешним источникам информации, таким как спутниковые системы навигации или интернет. Это особенно важно в условиях, когда связь с внешним миром может быть недоступна или ненадежна, например, в удаленных районах или в условиях чрезвычайных ситуаций. Повышение степени автономности информационной системы для динамичных объектов с бортовыми навигационными комплексами может привести к значительному улучшению эффективности и безопасности работы этих объектов. Более точная и надежная информация о положении и состоянии объекта позволяет принимать более обоснованные решения, оптимизировать маршруты движения, предотвращать аварии и минимизировать риски.

Таким образом, исследование повышения степени автономности информационной системы для динамичных объектов с бортовыми навигационными комплексами является актуальным и имеет большое практическое значение.

2. Оценка точностных характеристик информационной системы динамического объекта

Информационная система взаимодействия оператора с робототехнической системой – это комплекс программных и аппаратных средств, предназначенных для обеспечения эффективного и безопасного взаимодействия между Оператором и робототехнической системой.

Основная цель такой системы - обеспечить надежную и безопасную передачу информации между оператором и робототехнической системой (РТС), а также обеспечить возможность управления роботом со стороны оператора [2].

Информационная система взаимодействия Оператора с робототехнической системой может включать в себя следующие компоненты:

1. Программное обеспечение для управления роботом. Это может быть специализированное программное обеспечение, разработанное специально для управления конкретной робототехнической системой, или универсальное программное обеспечение, которое может быть адаптировано для работы с различными роботами.
2. Аппаратное обеспечение для взаимодействия с Оператором. Это может быть сенсорный экран, клавиатура и мышь, джойстик или другие устройства ввода, которые позволяют Оператору управлять роботом.
3. Средства связи между Оператором и роботом. Это может быть проводное или беспроводное соединение, которое обеспечивает передачу информации между Оператором и роботом.
4. Системы безопасности. Это могут быть различные алгоритмы и механизмы, которые обеспечивают безопасность взаимодействия Оператора с робототехнической системой. Например, это могут быть системы предотвращения столкновений, системы контроля доступа и т.д.

Информационная система взаимодействия Оператора с робототехнической системой играет важную роль в обеспечении безопасности и эффективности работы робототехнических систем. Она позволяет Оператору контролировать и управлять роботом, а также получать информацию о его состоянии и окружающей среде. Это особенно важно в условиях, когда робот работает в опасных или труднодоступных местах, где непосредственное присутствие человека может быть опасным или невозможным.

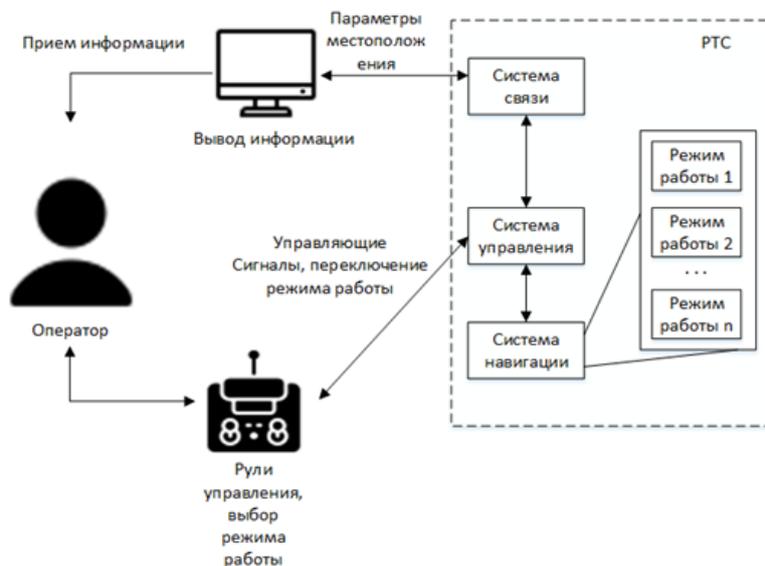


Рис. 1. Информационная система взаимодействия Оператора с робототехнической системой.

Для оценки точностных характеристик датчиков и систем динамических объектов необходимо разработать алгоритмы работы устройств информационной системы в зависимости от текущего набора датчиков, требований, режима работы и внешних условий.

Согласно предлагаемому подходу, алгоритм SINS реализуется в вычислительном блоке (вычислителе) с использованием измерений, поступающих от инерциального измерительного блока (IMU). IMU измеряет углы и угловые скорости для направления, крена и тангажа. Вычислительный блок отвечает за:

- вычисление измерений, пропорциональных проекциям абсолютной угловой скорости вращения, кажущегося ускорения;
- преобразование измерений инерциального датчика из инструментальной системы координат (образованной осями чувствительности IMU в систему координат, связанную с самолетом);
- компенсация погрешностей инерциального датчика на основе математических моделей, полученных в блоке начальной настройки и калибровки.

Математическая модель ошибок БИНС представлена в виде модели линейной динамической системы и записывается следующим образом [3]:

$$(1) \quad \dot{\bar{X}} = F * \bar{X} + G * \bar{W}$$

где: F – матрица динамики системы, \bar{X} – вектор состояния, G – матрица шума системы, \bar{W} – вектор шума системы.

Вектор состояния содержит следующие элементы:

$$(2) \quad \bar{X} = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, \alpha, \beta, \gamma, \Delta\Omega_x, \Delta\Omega_y, \Delta\Omega_z, \Delta n_x, \Delta n_y, \Delta n_z]^T$$

где: x_1, x_2, x_3 – ошибки SINS при вычислении горизонтальных координат и высоты; x_4, x_5, x_6 – ошибки SINS при вычислении горизонтальной и вертикальной проекций скорости; α, β, γ малые угловые погрешности поворота вычисленного базиса горизонта СИНС относительно его идеального положения; $\Delta\Omega_{x,y,z}, \Delta n_{x,y,z}$ – инструментальные погрешности гироскопов и акселерометров.

При работе спутниковой навигационной системы учитываются погрешности частотно-временного обеспечения, эфемеридные ошибки навигационно-временных определений, ионосферные ошибки, ошибки многолучевости [4].

При формировании дискретной оценки фильтр Калмана интерполирует и экстраполирует измерения с синхронизированной частотой измерений в одни и те же моменты времени. Для повышения устойчивости алгоритмов оптимального фильтра Калмана в случае их применения к динамическому объекту возможно увеличить частоту решения задачи прогнозирования поведения оценки вектора состояния. Следует также учитывать, что частота решения задачи управления параметрами системы автоматической стыковки по сформированным оценкам может не совпадать с частотой решения задачи оценивания.

Имея вектор входных параметров (1) и векторы ошибок датчиков и подсистем, можно сформировать уравнения измерений системы на основе оптимального фильтра Калмана. Для уравнения ошибки SINS матрица динамики имеет размерность 15×15 , так как вектор состояния (2) состоит из пятнадцати элементов

3. Результаты эксперимента

Для того, чтобы проверить работоспособность и оценить качество были проведены натурные испытания, навигационного комплекса. Проведено 3 серии экспериментов схожих погодных условиях и времени суток (круговое движение, приближенное равномерному с перепадом высот, 5 кругов) с использованием предложенного алгоритма и встроенного в полетный контроллер алгоритма.

Сбор данных производился на т.н. «снегоцикле» -экспериментальном электрическом снегоходе одноколейной компоновки, разработанном при участии представителей ИПУ РАН [5] на базе научной инфраструктуры КБНЦ РАН, расположенной на склоне г. Эльбрус на высоте 4000 м над уровнем моря в рамках проекта по развитию сети полигонов для испытания транспортных средств с электрическим приводом в сложных климатических и ландшафтных условиях [6].

В качестве бортового вычислителя использовался полетный контроллер Pixhawk 2.4.8, установленном на гиросtabilизированном подвесе в изоляционном коробе с вынесенной спутниковой антенной.

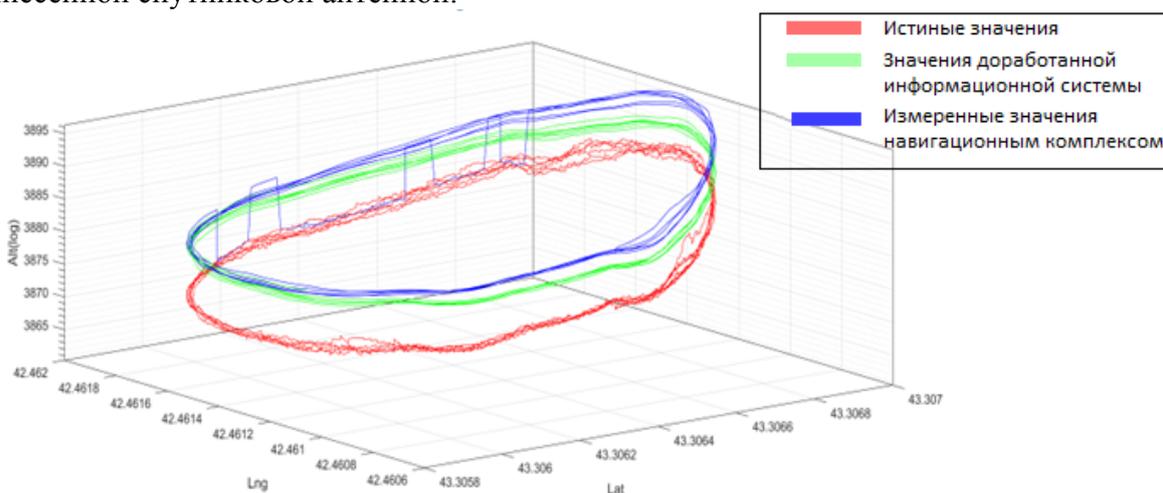


Рис. 2. Результат натурного эксперимента.

Несмотря на то, что измерения параметров синхронизированы по времени результат алгоритмов ИНС+СНС и встроенного алгоритма объединения информации работает с задержкой по определению угла крена. Это связано с тем, что в алгоритмах ориентации и навигации отсутствует обратная связь по параметрам, поступающим с магнетометра, что требует дополнительных расчетов в средствах инерциального счисления. Как видно на графике, задержка в определении курса увеличивается от каждого проделанного круга. Результаты эксперимента показали повышение точности определения навигационных параметров.

Исследование выполнено частично за счет гранта Российского научного фонда №23-29-00681, <https://rscf.ru/project/23-29-00681>.

Список литературы

1. Zhao Y., Yang Z., Song C., Xiong D. Vehicle dynamic model-based integrated navigation system for land vehicles // 2018 25th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS). St. Petersburg, Russia, 2018. P. 1-4. doi: 10.23919/ICINS.2018.8405846
2. Трефилов П.М. Алгоритм работы комплексной обработки информации навигационной системы // Труды 18-ой Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (УБС'2022, Челябинск). Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2023. С. 408-413.
3. Sandhya Vani A.S., Tripathi S., Gupta N., A Study on in-Flight Alignment Methods and Error Modelling of Strapdown Inertial Navigation Systems (SINS) // 2023 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT). Gorakhpur, India, 2023. P. 1-8, doi: 10.1109/ICICAT57735.2023.10263677.
4. Wang X., He X. Evaluation of Multisignal and Multiorbit Multipath Reflectometry of BeiDou Navigation Satellite System // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2023. Vol. 20. P. 1503305, doi: 10.1109/LGRS.2023.3319011.
5. Кравчук С.Г., Коргин Н.А., Ключов Н.В., Гарин Н.П. Проектно-образовательный эксперимент в арктическом дизайне: формирование облика инновационного снегоходного транспорта // Техническая эстетика и дизайн исследования. 2023. Т. 5, № 1. С. 56-68.
6. Коргин Н.А., Мещеряков Р.В. Концепция проекта по созданию распределенной сети полигонов для отработки сценариев применения гетерогенных групп транспортных средств с электрическим приводом в сложных климатических и ландшафтных условиях // Труды 11-й Всероссийской научной конференции «Системный синтез и прикладная синергетика»: сборник научных трудов (п. Нижний Архыз, ССПС-2022). Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2022. С. 197-202.