

В разрабатываемой научной продукции планируется заинтересовать организации и учреждения республиканских министерств и ведомств, ведущих работы по оборонным программам, а также обеспечить подготовку специалистов для соответствующей отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилияк, Н. А. Синтез вычислительных структур реального времени / Н. А. Жилияк // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 6–8 июня 2006г. // Белорус. гос. технол. ун-т – Минск, 2006. – С. 208–211.
2. Коуги, П. Архитектура конвейерных ЭВМ. М.: Радио и связь, 1985. 567 с.
3. Кобайло А.С. Теория синтеза вычислительных систем реального времени. Минск: БГТУ, 2010. 256 с.
4. Воеводин В.В., Воеводин Вл.,В. Параллельные вычисления. Издательство БХВ-Петербург, 2002. 609 с.
5. Лосев, С.А. Системы реального времени. Спб.: Балт. гос. ун-т, 2007 – 84 с.
6. Гома Хассан. UML. Проектирование систем реального времени параллельных и последовательных приложений. М.: ДМК Пресс, 2016 – с.

УДК 629.735.05

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ «ОПТИНАВ»

А.В. АВЕРИН¹, И.А. КОСТИН², Н.В. ПАНОКИН²,
А.В. КАРЛОВСКИЙ²

¹ООО «Техсайенс»

²Московский политехнический университет
Москва, Россия

Широкое применение беспилотных летательных аппаратов создало потребность в надежных навигационных системах, функционирующих независимо от ГНСС. Отсутствие спутниковых сигналов в городской застройке, подземных сооружениях и горной местности, а также уязвимость к спуфинг-атакам и радиопомехам стимулировали разработку альтернативных методов навигации.

Предлагаемая система использует фотореалистичное 3D-моделирование для создания эталонных данных визуальной локализации. Подход применяет Unreal Engine 5 для генерации синтетических изображений, сопоставляемых с потоками камер в реальном времени, обеспечивая визуальную одометрию и коррекцию абсолютного позиционирования.

Архитектура системы визуальной навигации состоит из трех взаимосвязанных компонентов: конвейера 3D-моделирования окружающей среды, который генерирует фотореалистичные эталонные наборы данных; алгоритма визуальной навигации в реальном времени, который обрабатывает потоки камер в реальном времени; платформы валидации, которая обеспечивает комплексное тестирование в смоделированных и реальных средах.

Конвейер моделирования начинается с автоматизированного получения высокоразрешающих спутниковых снимков из общедоступных картографических сервисов. В зависимости от заданной высоты полета используются ортофотопланы с пространственным разрешением до 0,5 метра на пиксель для обеспечения достаточной детализации для извлечения визуальных признаков.

Алгоритм визуальной навигации состоит из трех основных блоков обработки, выполняемых параллельно для достижения производительности в реальном времени: извлечение и сопоставление признаков, оценка движения и преобразование координат, коррекция абсолютного положения. Система реализует гибридный подход, объединяющий классические детекторы признаков (ORB, SIFT) с методами на основе глубокого обучения — в частности, архитектурами SuperPoint и LightGlue.

Система визуальной навигации была реализована и протестирована с использованием пользовательской платформы БПЛА, оснащенной двумя камерами и встроенной вычислительной системой. Основной бортовой компьютер Orange Pi 5 обеспечивал 6 TOPS вычислительной производительности для алгоритмов ИИ. Камеры переднего обзора и надирная камера имели разрешение 1920×1080 с полями зрения 135 и 120 градусов соответственно.

Обширное симуляционное моделирование было проведено с использованием 3D-моделей районов Северное Бутово и Ясенево в Москве. Эти городские области обеспечили разнообразные тестовые среды, включая высотные жилые здания, коммерческие структуры и смешанные застройки.

В условиях моделирования система визуальной навигации достигла точности горизонтального положения с СКО 15-25 метров во

время устойчивого полета, точности оценки высоты с СКО 5-10 метров, частоты обновления навигационного вектора не менее 1 Гц. Эти результаты представляют значительное улучшение по сравнению с корреляционными подходами, которые обычно накапливают 2-5% ошибку относительно пройденного расстояния.

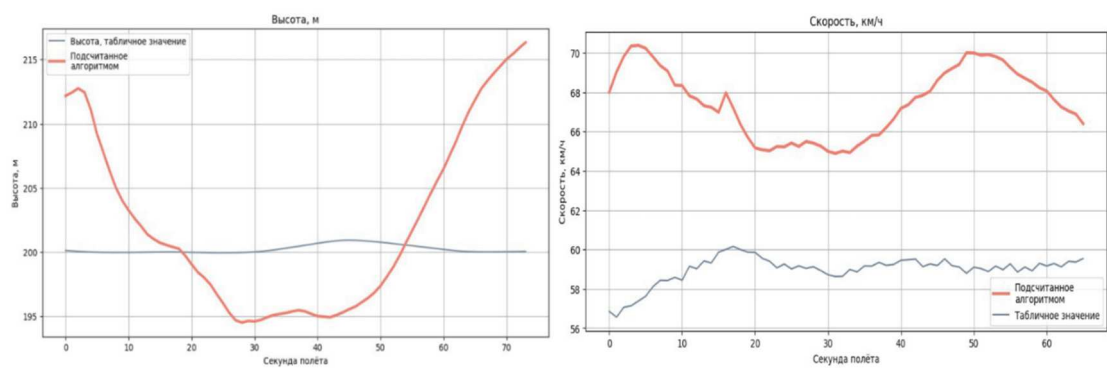
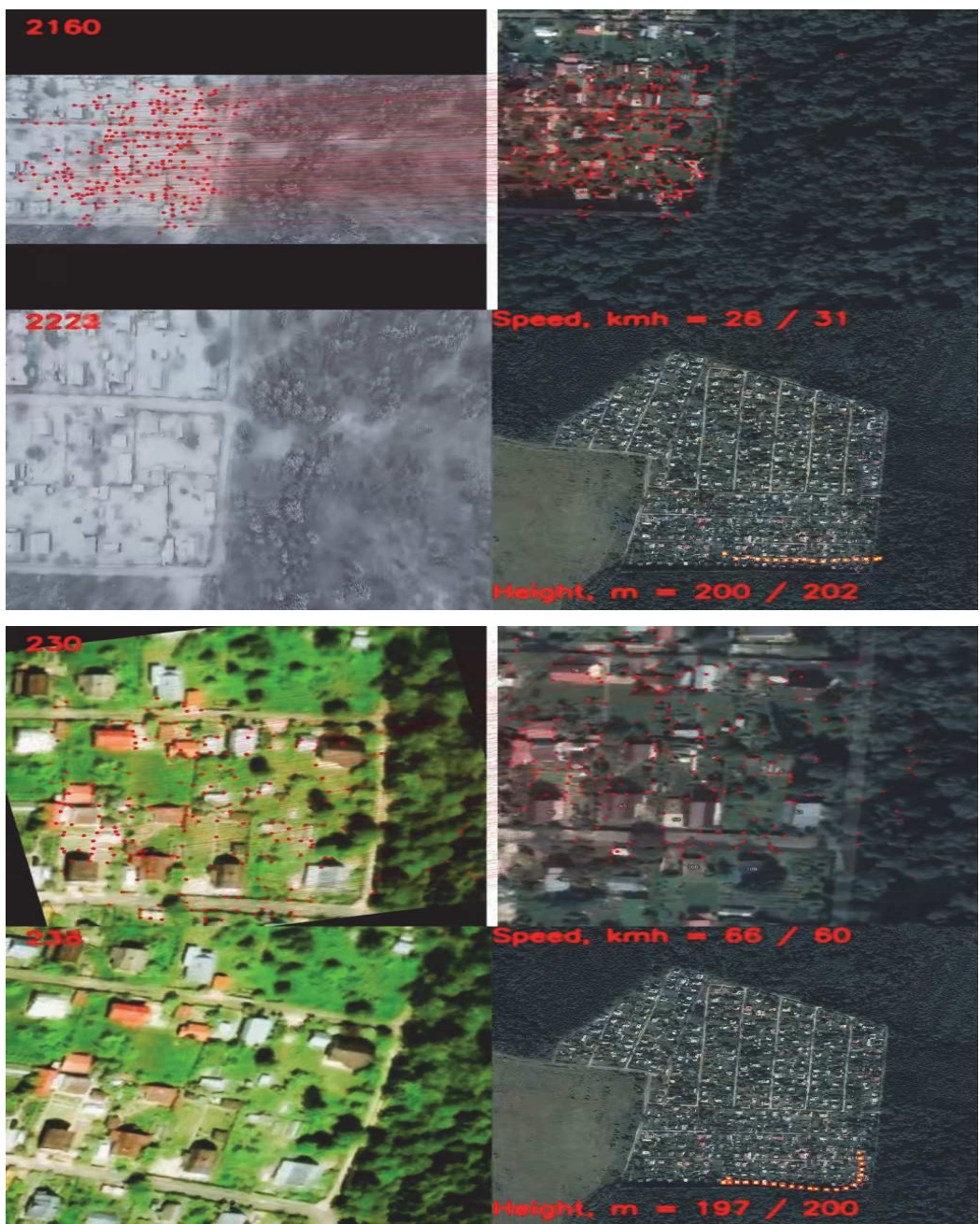
Полевая валидация проводилась в течение 6-месячного периода с прогрессивным усложнением тестовых сценариев. В общей сложности было накоплено 45 часов полета в различных условиях окружающей среды и эксплуатационных сценариях.



Рис. 1. Изображение с курсовой камеры в среде Unreal Engine 5

Проведенные исследования подтвердили техническую осуществимость интеграции Unreal Engine 5 с алгоритмами визуальной навигации, что позволило обеспечить точность навигации с среднеквадратическим отклонением не более 20 метров по горизонтали и не более 10 метров по вертикали в эксплуатационных условиях. Применение подхода «сначала моделирование» продемонстрировало высокую эффективность разработки, существенно сократив потребность в полевых испытаниях при сохранении уверенности в производительности системы для натурных экспериментов.

Проведенные исследования подтвердили техническую осуществимость интеграции Unreal Engine 5 с алгоритмами визуальной навигации, что позволило обеспечить точность навигации с среднеквадратическим отклонением не более 20 метров по горизонтали и не более 10 метров по вертикали в эксплуатационных условиях. Применение подхода «сначала моделирование» продемонстрировало высокую эффективность разработки, существенно сократив потребность в полевых испытаниях при сохранении уверенности в производительности системы для натурных экспериментов.



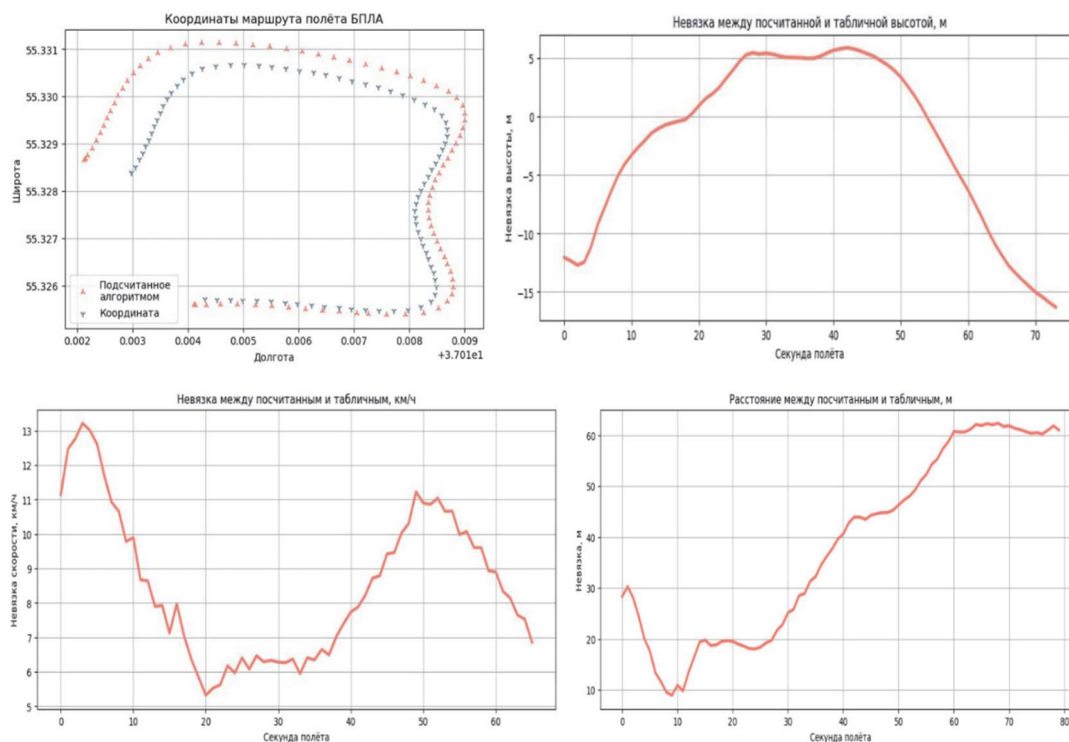


Рис. 2. Моделирование и реальный пролет БПЛА на одной и той же местности для верификации результатов работы алгоритма оптической навигации

Полевые испытания, проведенные в течение 45 часов полета, подтвердили эксплуатационную жизнеспособность разработанной системы и ее способность поддерживать автономные миссии в городских средах с частотой успешного завершения миссий на уровне 95-96%. Полученные результаты свидетельствуют о готовности системы к практическому применению в условиях ограниченной доступности сигналов глобальных навигационных спутниковых систем.

Данный подход представляет практический путь для разработки алгоритмов в условиях ограниченных исследовательских ресурсов и обеспечивает значительные преимущества перед традиционными методами счисления пути, представляя надежную альтернативу ГНСС-зависимым навигационным системам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jensen, N.I., Budge S.E. GPS-denied navigation using location estimation and texel image correction for unmanned aerial vehicles / N.I. Jensen, S.E. Budge // Journal of Unmanned Vehicle Systems. – 2023. – Vol. 11. – № 2. – P. 145-158.
2. Яо Ф., Лань Ч., Ван Л., Ван Х., Гао Т., Вей З. GNSS-denied geolocalization of UAVs using terrain-weighted constraint optimization /

Ф. Яо, Ч. Лань, Л. Ван, Х. Ван, Т. Гао, З. Вей // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2024. – Vol. 135. – P. 104277.

3. Шах, Ш., Дей, Д., Ловетт, К., Капур, А. AirSim: High-fidelity visual and physical simulation for autonomous vehicles / Ш. Шах, Д. Дей, К. Ловетт, А. Капур // Field and Service Robotics: Results of the 11th International Conference. – Cham: Springer, 2018. – P. 621-635.

4. Чапек Д., Грнчир Я., Бача Т., Йиркал Я., Вонасек В., Пеничка Р., Саска М. FlightForge: Advancing UAV research with procedural generation of high-fidelity simulation and integrated autonomy / Д. Чапек, Я. Грнчир, Т. Бача, Я. Йиркал, В. Вонасек, Р. Пеничка, М. Саска // 2025 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA 2025). – 2025. – P. 1-7. [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:2502.05038.

5. Рани П., Сингх А., Кумар М. Vision-based navigation challenges and solutions for autonomous UAVs / П. Рани, А. Сингх, М. Кумар // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2024. – Vol. 60. – № 3. – P. 2456-2468.

6. Панокин Н.В., Аверин А.В., Костин И.А., Карловский А.В., Орелкина Д.И., Наливайко А.Ю. Method for sparse representation of complex data based on overcomplete basis, l1 norm, and neural MFNN-like network / Н.В. Панокин, А.В. Аверин, И.А. Костин, А.В. Карловский, Д.И. Орелкина, А.Ю. Наливайко // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – № 5. – P. 1959. DOI: 10.3390/app14051959.

УДК 004.021

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СПЛАЙНЫ

А.С. КОВАЛЕВИЧ, Е.А. БЛИНОВА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Стеганография — область, занимающаяся методами сокрытия факта передачи информации, часто применяемая для защиты авторских прав, маркировки цифровых данных и обеспечения конфиденциальности. В отношении изображений наиболее широко распространены пиксельные и частотные методы: LSB-встраивание, методы на основе дискретного косинусного преобразования, дискретного вейвлет-преобра-