

УДК 004.925.8

Баженов Евгений Иванович, аспирант,
Российский биотехнологический университет

Каргин Виталий Александрович,
доктор технических наук, доцент,
Российский биотехнологический университет

Мокрушин Сергей Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
Российский биотехнологический университет

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАнных И BPMN-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье представлено алгоритмическое обеспечение системы ориентации автономного автоматизированного транспортного средства (ААТС), предназначенного для работы в недетерминированной среде складских и производственных помещений хлебопекарного предприятия. Для формального описания и документирования алгоритмов применена нотация BPMN, что обеспечивает наглядное моделирование параллельных процессов, событийного взаимодействия и иерархии подпроцессов. Показано, что разработанный алгоритм ориентации позволяет формировать актуальный вектор пространственного положения без снижения производительности основных контуров управления движением и телеметрии, повышая устойчивость и точность работы ААТС в условиях складской логистики.

Ключевые слова: Хлебопекарное производство, автоматизация, логистика, автономные транспортные средства, навигационные системы.

Автоматизация внутрипроизводственной логистики, особенно в хлебопекарной отрасли, требует использования автономных транспортных средств, способных надежно функционировать в условиях изменяющейся, частично неструктурированной среды складов и цехов [1, 2]. Ключевым элементом таких систем является модуль ориентации, обеспечивающий получение высокоточных данных о пространственном положении ААТС в реальном времени [3, 4]. В работе предлагается архитектура алгоритмического обеспечения ААТС, объединяющая инерциальную ориентацию, сетевое взаимодействие и контуры управления движением, описанная с использованием BPMN-нотации.

Применение BPMN для моделирования алгоритмов ориентации. При документировании алгоритмов сложных технических систем традиционные блок-схемы оказываются недостаточными: они плохо отражают параллельные и событийные процессы, а также не позволяют явно моделировать иерархические подпроцессы. Для преодоления этих ограничений использована нотация BPMN. Обобщённый алгоритм функционирования ААТС представлен в виде BPMN-диаграммы (Схема приведена на рисунке 1), включающей два основных pool (дорожки): «Инициализация» и «Обобщённый алгоритм функционирования системы ориентации».



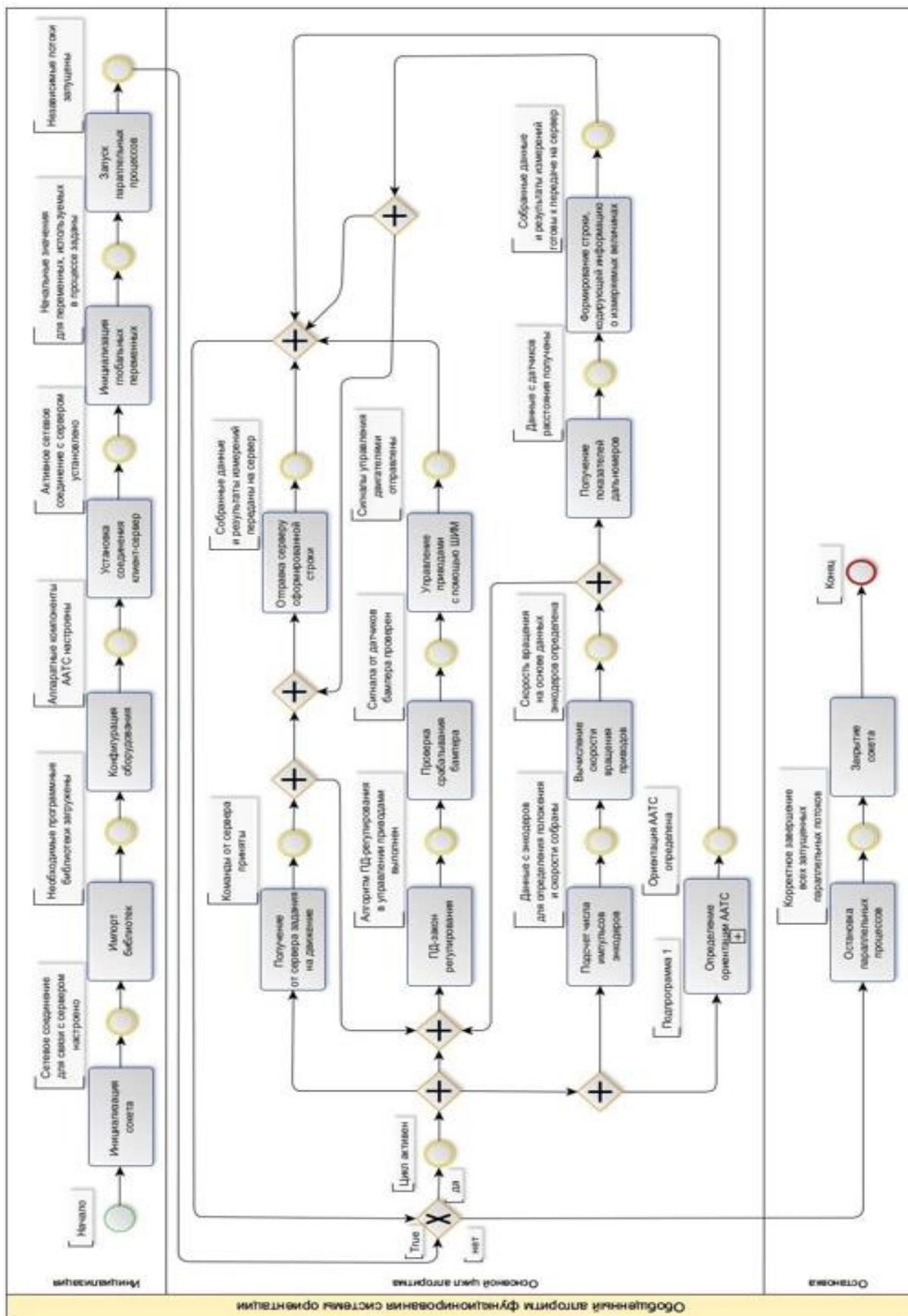


Рисунок 1 Обобщенный алгоритм функционирования системы ориентации



На начальном этапе осуществляется импорт необходимых программных библиотек и конфигурация аппаратных средств, что обеспечивает готовность вычислительной среды к взаимодействию с физическими компонентами. Параллельно с настройкой глобальных переменных производится инициализация сетевого сокета и установление устойчивого соединения в рамках архитектуры клиент-сервер. Завершающим действием дорожки «Инициализация» является запуск параллельных вычислительных процессов, после чего система переходит к выполнению *pool* «Обобщенный алгоритм функционирования системы ориентации».

Центральная часть алгоритма представляет собой циклический процесс, управление которым осуществляется через логический шлюз ИЛИ с условием непрерывного выполнения. Внутри данного цикла поток управления разделяется на четыре параллельные ветви, функционирующие синхронно.

Первая и вторая ветвь отвечает за контур непосредственного управления движением. Она включает в себя получение управляющих сигналов от сервера, их обработку ПД-регулятором и проверку состояния датчиков бампера для обеспечения безопасности маневрирования. Итогом работы данной ветви является формирование сигналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для управления приводами ААТС.

Третья ветвь выделена для сбора и передачи телеметрической информации. В рамках этого потока осуществляется непрерывный подсчет импульсов энкодеров и вычисление текущей скорости вращения приводов. Одновременно с этим система опрашивает показатели дальномеров. Полученные данные объединяются в единую информационную строку, которая передается на сервер для мониторинга состояния системы в режиме реального времени.

Четвертая ветвь алгоритма реализует специализированную задачу «Подпрограмма 1», которая определяет пространственную ориентацию ААТС. Данный модуль функционирует независимо от контуров управления и сбора базовой телеметрии, что позволяет обновлять данные о положении устройства в пространстве без внесения задержек в основные процессы.

По завершении каждой итерации цикла система возвращается к точке проверки условия продолжения работы (*True*). В случае получения сигнала о прекращении функционирования или нарушении условий цикла, процесс переходит на дорожку завершения «Остановка». Она включает в себя принудительную остановку всех запущенных параллельных процессов и закрытие сетевого сокета для корректного освобождения системных ресурсов. Алгоритм завершает свою работу после выполнения всех процедур отключения оборудования и программных интерфейсов.

Алгоритм системы ориентации (Подпрограмма 1). Алгоритм системы ориентации, разработанный для определения пространственного положения ААТС, интегрируется в обобщенный алгоритм функционирования, выступая его ключевым компонентом (Схема приведена на рисунке 2). Он расширяет функциональные возможности системы, обеспечивая точное определение ориентации без снижения производительности основного процесса.



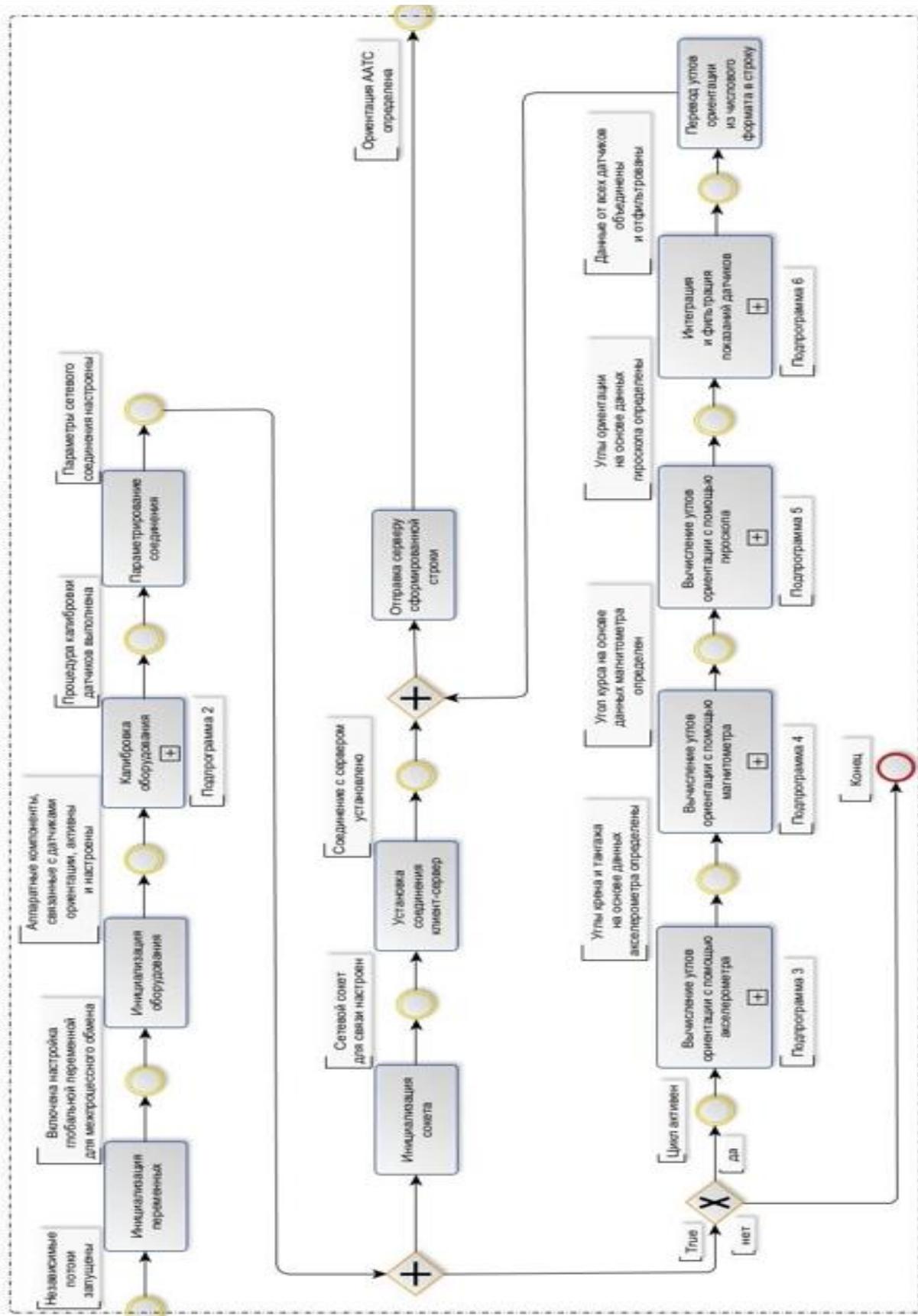


Рисунок 2 Алгоритм Подпрограммы 1 «Определение ориентации ААТС»



Предложен алгоритм системы ориентации, который интегрирован в общую структуру управления и выступает в роли базового модуля для построения локальных траекторий. Программная реализация алгоритма на языке C++ обеспечивает модульность архитектуры, позволяя масштабировать систему при использовании различных типов инерциальных датчиков. В основе алгоритма лежит принцип параллельной обработки потоков данных от акселерометра, гироскопа и магнитометра, что гарантирует формирование актуального вектора состояния, в том числе, углов крена, тангажа и курса без внесения задержек в контур управления движением [5, 6].

Алгоритм функционирования Подпрограммы 1 «Определение пространственной ориентации ААТС» базируется на принципах параллельной обработки данных и многосенсорной интеграции. Реализация процесса начинается с инициализации, в ходе которой осуществляется распределение памяти для глобальных переменных, обеспечивающих передачу информационных строк между потоками, а также программная настройка и калибровка инерциальных измерительных модулей (Подпрограмма 2). Данный этап является важным для обеспечения достоверности последующих вычислений.

После завершения инициализации алгоритм переходит в режим параллельного выполнения двух функциональных модулей: вычислительного и коммуникационного. Вычислительный модуль организован в виде бесконечного цикла, обеспечивающего непрерывный мониторинг углового положения. В рамках каждой итерации производится последовательный опрос и обработка сигналов от акселерометра (Подпрограмма 3), магнитометра (Подпрограмма 4) и гироскопа (Подпрограмма 5). Интеграция данных от различных источников позволяет компенсировать недостатки каждого отдельного датчика, такие как дрейф гироскопа или чувствительность акселерометра к вибрациям. Информация проходит через алгоритмы фильтрации и интеграции (Подпрограмма 6), после чего трансформируется в строковый формат [7, 8].

Параллельно с вычислительным процессом функционирует коммуникационный модуль, ответственный за внешнее взаимодействие с управляющим сервером. На этапе развертывания данного модуля производится конфигурирование сетевых интерфейсов и установление сессии по протоколу клиент-сервер. Основной цикл передачи активизируется при наличии сформированных данных об углах ориентации.

Взаимодействие между параллельными ветвями осуществляется через механизм общих переменных, что позволяет разделить задачи высокоинтенсивных вычислений и сетевого обмена. Такая архитектура обеспечивает высокую отказоустойчивость системы: задержки в канале связи не препятствуют продолжению инерциальных вычислений, а вычислительная нагрузка не влияет на стабильность сетевого соединения. Завершение работы алгоритма происходит при отключении системы, что ведет к корректному закрытию коммуникационных портов и освобождению задействованных вычислительных ресурсов.

Выводы. В статье представлена архитектура и алгоритмическое обеспечение системы ориентации автономного автоматизированного транспортного средства, применяемого для логистики хлебопекарного производства. Предложен и формально описан в нотации BPMN обобщенный алгоритм функционирования ААТС, включающий параллельные контуры управления движением, телеметрии и ориентации.

Разработанная Подпрограмма 1 реализует многосенсорную интеграцию инерциальных данных в параллельной архитектуре с выделенными вычислительным и коммуникационным модулями, что обеспечивает точное определение пространственного положения без снижения производительности системы и без зависимости от сетевых задержек.

Полученные решения могут быть использованы при проектировании других автономных мобильных платформ, работающих в недетерминированной промышленной



среде, а также служить основой для дальнейших исследований по оптимизации фильтрации данных, адаптивной калибровке датчиков и интеллектуальному планированию траекторий на основе ориентационной информации.

Список литературы:

1. Алёшин Б.С., Веремеенко К.К., Черноморский А.И. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.
2. Белоногов А. В. Анализ и выбор систем навигации робота для позиционирования в условиях замкнутого пространства // Технические науки: проблемы и перспективы. – 2016. – С. 40-42.
3. Сыроева С. Теоретические основы инерциальной навигации // Компоненты и технологии. 2011. № 2. С. 28–32.
4. Кузовков, Н. Т. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация / Н. Т. Кузовков, О. С. Салычев. – М.: Машиностроение, 1982. – С. 216.
5. Ивойлов А. Ю. О применении МЭМС-датчиков при разработке системы автоматической стабилизации двухколесного робота // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2017. – № 3. – С. 32-51.
6. Сеницын И.Н. Фильтры Калмана и Пугачева. – М.: Логос, 2006. – 640с.
7. Диане, С. А. К. Модели и алгоритмы комплексирования разнородных сенсорных данных в задаче навигации мобильного робота / С. А. К. Диане, И. В. Зинченко // Труды 17 -й Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами». – Москва: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2021. – С. 330-340.
8. Наин З.М. и др. Комплементарный фильтр для оценки угла с использованием микроэлектромеханической системы гироскопа и акселерометра // Инженерный вестник Дона. 2020. № 3 (63). С. 43.

