

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

Магистрант Ерофеева О.С.

Научный руководитель – канд. техн. наук Садов В.С.

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Введение

В настоящее время беспилотные летательные аппараты находят свое применение как в военной, так и в гражданской сферах для решения задач патруля, аэрофотосъемки, дистанционного мониторинга, тушения пожаров, доставки грузов и т.д. С каждым годом растет число исследований в области планирования траектории полета и принятия решений в экстренных ситуациях беспилотных летательных аппаратов.

Примером экстренной ситуации могут быть как потеря сигнала спутниковой связи GPS (Global Positioning System) или ГНСС (Global Navigation Satellite System), так и возникновение на пути работающего беспилотника непредусмотренного запланированным маршрутом статического или динамического препятствия.

Спутниковый сигнал подвержен как естественным помехам, таким как деревья, горы, городские строения, так и искусственным, например противодействие. В условиях пропадания сигналов ГНСС оценка местоположения БПЛА становится ненадежной, а задача беспилотника завершить маршрут в установленной точке - невозможной.

Подготовка полетного задания характерна для выполнения миссий автоматическими беспилотниками. В комплексе средств подготовки полетных заданий маршрут БПЛА в горизонтальной плоскости хранится в виде списка широты и долготы объектов на местности, именуемых пунктами поворота маршрута [1].

К маршруту в зависимости от предназначения БПЛА могут предъявляться различные требования, такие, как максимальное покрытие

определенной площади или прохождения минимального расстояния. И в том, и в другом случае возникает необходимость обеспечения обхода возможных препятствий и пролета в разрешенном районе. Для навигации по инерциальной навигационной системе с заданной точностью необходимо обеспечивать коррекцию при помощи спутниковой системы навигации или системы технического зрения.

Для выполнения простых миссий по мониторингу на открытой местности чаще всего хватает построения маршрута и формирования полетного задания. Однако для выполнения миссий, предусматривающих появление препятствий на пути беспилотника существуют алгоритмы уклонения.

Анализ алгоритмов управления БПЛА

В Таблице 1 представлены основные характеристики алгоритмов, рассматриваемых в данной работе. При описании алгоритмов будем учитывать предположение, что для выполнения миссии отправлен автоматически беспилотник, оборудованный датчиками обнаружения препятствий (например, лазерными дальномерами, ультразвуковыми датчиками, оптическими камерами или радарами), навигационной системой (которая может включать в себя GPS, IMU, компасы или другие датчики для определения положения и ориентации) и вычислительной мощностью для расчета траектории полета.

Таб 1. Перечень алгоритмов предотвращения столкновения с препятствиями автоматических беспилотников

Наименование		Алгоритм работы	Преимущества и недостатки
VFH	VFH	Алгоритм VFH содержит три основных компонента: 1. Сетка декартовой гистограммы (Cartesian histogram grid): двумерная сетка декартовой гистограммы создается с помощью датчиков	Преимущества: быстрые вычисление траектории и реагирование на статические и динамические препятствия, устойчивость к подавлению сигналов и шумам.

	<p>дальности робота и постоянно обновляется в режиме реального времени.</p> <p>2. Гистограмма в полярных координатах (Polar histogram): одномерная полярная гистограмма строится путем уменьшения декартовой гистограммы вокруг текущего местоположения робота.</p> <p>3. Долина-кандидат (Candidate valley): последовательные сектора с плотностью полярных препятствий ниже порога, известные как долины-кандидаты и выбирающиеся на основе близости к целевому направлению.</p>	<p>Недостатки: сложность реализации (потребность в больших вычислительных мощностях), U-образное препятствие непроходимо для этого алгоритма.</p>
VFH+	<p>Алгоритм VFH+ содержит в себе свойства VFH и следующие улучшения:</p> <p>1. Пороговый гистерезис: увеличивает плавность запланированной траектории.</p> <p>2. Размер тела робота: учитываются беспилотники разных размеров, что исключает необходимость ручной настройки параметров с помощью фильтров нижних частот.</p> <p>3. Просмотр препятствий: сектора, заблокированные препятствиями, маскируются, поэтому угол поворота не направлен на препятствие.</p> <p>4. Функция стоимости: функция стоимости была добавлена, чтобы лучше охарактеризовать производительность алгоритма, а также дает возможность</p>	

		переключения между поведением путем изменения функции стоимости или ее параметров.	
	VFH*	Алгоритм VFH* содержит в себе свойства VFH+ и следующее изменение: 1. Упреждающее дерево: строится упреждающее дерево, на каждом узле которого выполняется алгоритм VFH+ для поиска возможных направлений. 2. Алгоритм поиска A*: алгоритм выполняет поиск наилучшего пути.	
	IVFH*	Алгоритм IVFH* использует пружинные силы на узлах дерева поиска, чтобы адаптировать их к движущимся препятствиям.	
	MSV	Алгоритм MSV представляет собой адаптацию к VFH+, которая способна справляться с движущимися препятствиями, оценивая их скорость по последовательным гистограммам.	
Bug алгоритм	Bug1	Алгоритм можно описать в 3 действиях: 1. Беспилотник движется к цели, пока не встретит препятствие. 2. Беспилотник движется по контуру препятствия до тех пор, пока не определит точку, в которой расстояние до цели минимально. 3. Сделав полный оборот вокруг препятствия, робот возвращается в эту точку и продолжает движение строя траекторию от нее.	Преимущества: простота в реализации и настройке. Недостатки: нет возможности работать с динамическими препятствиями, зависимость от геометрии препятствия (если беспилотник столкнулся с протяженным / сложным препятствием, то время расчета для обхода может оказаться недопустимо большим; если препятствие блокирует доступ к
	Bug2	Основное отличие Bug2 от Bug1 - при обнаружении препятствия робот	

	запоминает вектор, направленный к целевой точке (это значит, что роботу не нужно делать полный круг около препятствия).	цели, то алгоритм может зациклиться на поиске решения)
Dist-Bug	Суть алгоритма заключается в постоянном измерении рассогласования положения робота и целевой точки. При уменьшении или сохранении величины рассогласования – робот продолжает движение вдоль контура препятствия. В противном случае направление изменяется на целевое.	
NHNA	<p>Особенностью алгоритма NHNA является разделение задачи навигации на несколько уровней (в общем случае на 2 – совещательный и реактивный).</p> <p>Алгоритм действий можно описать следующим образом:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка размеров, скорости и близости помехи к маршруту беспилотника - <i>реактивным уровнем</i>. 2. Расчет траектории обхода - движение продолжится по новому пути, до тех пор, пока помеха перестанет наблюдаться в зоне видимости – <i>совещательным уровнем</i>. 3. Определение текущего местоположения и угла смещения от маршрута для прокладки новой траектории, близкой к первоначальной – <i>совещательным уровнем</i>, передающим эти данные <i>реактивному</i> для дальнейшего движения. 	<p>Преимущества: быстрые вычисление траектории и реагирование на статические и динамические препятствия, относительно больше видов препятствий, который алгоритм умеет обходит.</p> <p>Недостатки: сложность реализации.</p>

Наиболее распространенной стратегией для уклонения от препятствий в автономном режиме является VFH (Vector field histogram) (гистограмма векторного поля). В данной стратегии используется сонар для создания двухмерной сетки окружающей среды, которая затем отображается на одномерной полярной гистограмме, из которой можно извлечь свободные направления движения [2].

Этот алгоритм неоднократно улучшался. Так существует VFH+, который учитывает максимальный радиус поворота робота и пределы безопасности; VFH*, в котором строится упреждающее дерево, на каждом узле которого выполняется алгоритм VFH+ для поиска возможных направлений, а затем в дереве выполняется поиск наилучшего пути с использованием алгоритма A*; IVFH*, который использует пружинные силы на узлах дерева поиска, чтобы адаптировать их к движущимся препятствиям.

Метод подвижного и статического векторного поля (MSV) представляет собой адаптацию к VFH+, которая способна справляться с движущимися препятствиями, оценивая их скорость по последовательным гистограммам.

Алгоритмы семейства VFH обеспечивают хорошую производительность благодаря непрерывному учету расстояний до препятствий, относительно быстрому вычислению оптимального направления движения и возможности адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. На рисунке 1 представлен пример того, как беспилотник с VFH-методом предотвращения столкновений будет реагировать на препятствие. На данном этапе развития идет активное объединение этого алгоритма с машинным обучением и нечеткой логикой, для улучшения адаптивности к различным ситуациям и условиям работы.

Bug алгоритмы. Представители этой группы алгоритмов являются достаточно простыми: во время отработки робот следует контуру препятствия и непрерывно следит за оставшимся расстоянием до целевой точки – пример блок-схемы такого алгоритма можно наблюдать на рисунке 2. В ранних

разработках беспилотнику приходилось совершить полный оборот вокруг препятствия, чтобы вернуться к точке, в которой расстояние до цели достигает минимального значения. К достоинствам Bug-алгоритмов можно отнести простоту реализации и настройки [3]. Недостатком такого алгоритма является необходимость полного или частичного перебора точек вокруг препятствия.

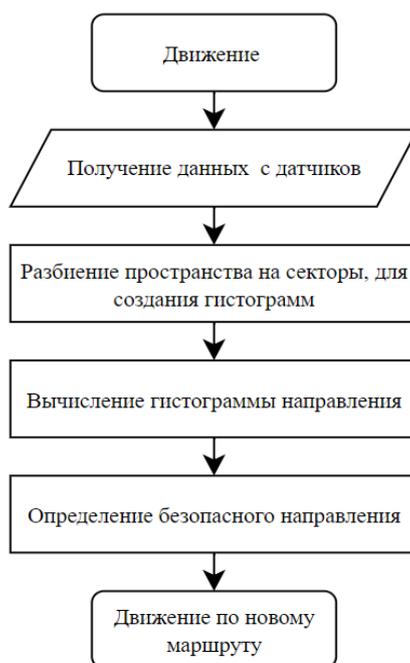


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма VFH

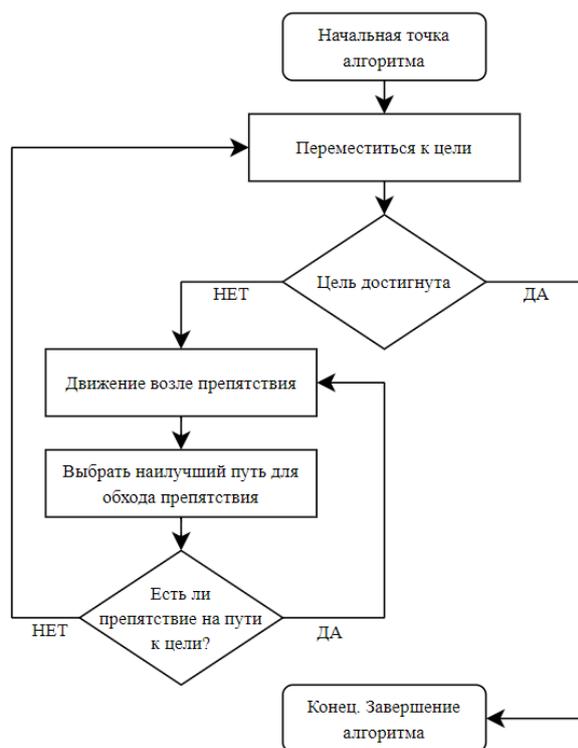


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма Bug

Новый алгоритм гибридной навигации (New Hybrid Navigation Algorithm) представляет собой алгоритм (рисунок 3), основанный на двух независимых уровнях: совещательном и реактивном. Совещательный уровень периодически вычисляет путь в качестве эталона для реактивного уровня, который генерирует окончательные команды движения. Недостаток этого алгоритма - он не может применяться в неизвестной среде, поскольку требует предварительно подготовленной информации о местности. На начальном этапе этот алгоритм критиковался из-за трудоемкости совместной работы двух уровней, так как из-за этого в некоторых прототипах все расчеты проводит совещательный уровень, в то время как реактивный - выполняет функцию контроллера. Однако в модернизированных версиях гибридных навигационных систем распределение задач выглядит следующим образом: совещательный уровень отвечает за задачу планирования пути и использует предварительно загруженные данные, реактивный уровень использует информацию, полученную от датчиков, для оценки и принятия решения о

создании пути и обхода препятствий, исполнительный уровень решает, по какому пути следовать, одновременно управляя роботом, чтобы тот следовал по выбранному пути [4].

Беспилотник, использующий алгоритм гибридной навигации для обхода статичного или динамичного препятствия, будет использовать схему предотвращения столкновения на основе контекстного анализа. Будут оценены размеры, скорость и близость помехи к маршруту беспилотника. Далее будет рассчитана траектория обхода - движение продолжится по новому пути, до тех пор, пока помеха перестанет наблюдаться в зоне видимости. Следующий шаг системы - определение текущего местоположения и угла смещения от маршрута для прокладки новой траектории, близкой к первоначальной.

Заключение

В настоящее время разработки с тематикой обхода препятствий беспилотниками являются актуальными, существующие системы постоянно совершенствуются. В зависимости от миссии беспилотника, её цели, стоимости или времени выполнения, подбираются те алгоритмы работы, которые удовлетворяют условиям. Например, для бытового использования БПЛА достаточным является наличие уже встроенных датчиков, представляющих собой систему технического зрения (это могут быть радиолокаторы или спутниковое зависимое наблюдение-вещание). Такое решение оптимально для примитивных задач, однако оно не дает гарантии безопасности беспилотника, так как не может предотвратить потерю управления в случае вылета за границы разрешенной для полета зоны, при перехвате сигнала или намеренном нанесении внешнего повреждения беспилотнику от стороннего лица. Для задач, предусматривающих возникновение препятствий, потерю или отсутствие сигнала связи, разработаны различные варианты планирования пути, алгоритмы уклонения и механизмы реагирования.

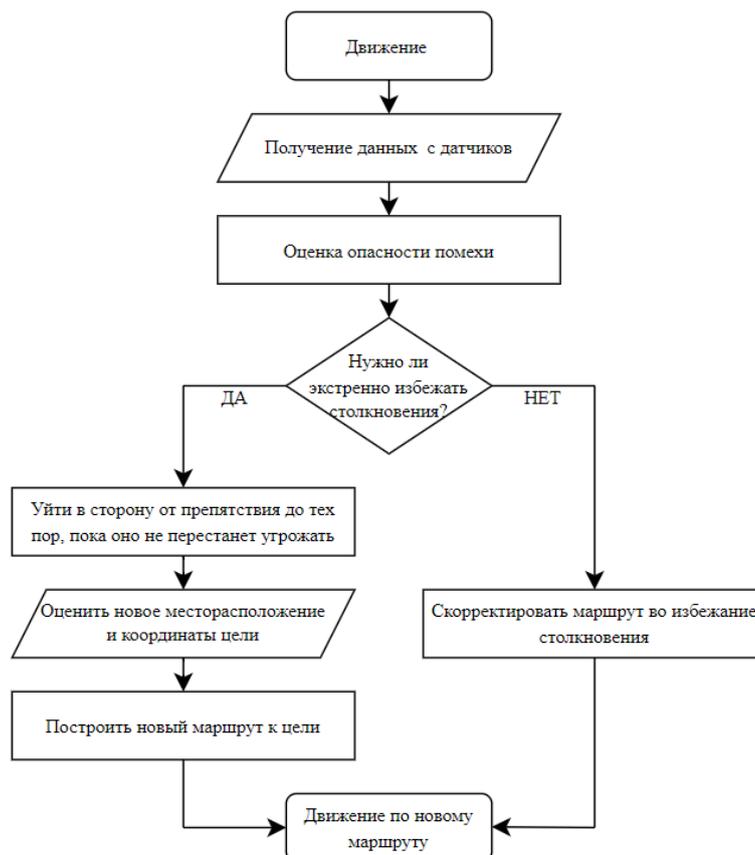


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма New Hybrid Navigation Algorithm

Среди разработок, существующих на данный момент, основной упор идет на развитие ориентирования БПЛА с загруженной предварительной информацией о территории, на которой будет проходить миссия. В зависимости от сложности задания может изменяться наукоемкость миссии, где беспилотник использует эталонную информацию:

- В случае, когда заданием не предусмотрены встречи с помехами, БПЛА может выполнять миссию опираясь на данные собственных встроенных систем, согласовывая их с эталонной информацией и полетным заданием.

- В случае, когда заданием предусмотрены статические и/или динамические препятствия, разумно использование систем обхода

препятствий для предоставления безопасности как окружающим, так и самому беспилотнику.

Рассмотренные алгоритмы предотвращения столкновения могут быть усовершенствованы внедрением искусственного интеллекта. Наиболее перспективными являются разработки, направленные на сопоставление данных, предоставляемых аппаратурой БПЛА и эталонной информацией при помощи нейронных сетей. Отдельную нишу займут алгоритмы, использующие текстовое описание, для генерации изображения маршрута или конечной цели, которое беспилотник сможет использовать в качестве ориентира.

Литература

1. Помазков Е.В. Формирование маршрута беспилотного летательного аппарата, с учетом обеспечения коррекции инерциальной навигационной системы // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. №5. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-marshruta-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-s-uchetom-obespecheniya-korreksii-inertsialnoy-navigatsionnoy-sistemy>. – Дата доступа: 8.02.2024.

2. Мокронос К.К., Еремина В.В. СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УКЛОНЕНИЯ ОТ ПРЕПЯТСТВИЙ / E-Scio. 2023. №4 (79). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-vozmozhnosti-i-primeneniye-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-obzor-i-sravnitelnyy-analiz-algoritmov-ukloneniya-ot>. – Дата доступа: 8.02.2024.

3. Марголин И.Д., Слепынина Е.А. ОБЗОР АЛГОРИТМОВ ОБЪЕЗДА ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ // Вестник магистратуры. 2015. №10 (49). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-algoritmov-obezda-prepyatstviy-dlya-avtonomnyh-mobilnyh-robotov>. – Дата доступа: 9.02.2024.

4. Нгуен Чьонг Тинь, Phan Gia Luan. Планирование пути и предотвращение препятствий на основе гибридной навигационной системы в реальном времени для мобильных роботов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/10/3355>. – Дата доступа: 9.02.2024.