

УДК 621.396

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2024-12-4-38-50>

EDN: MWOJKY

Выбор метода реализации локальной навигационной системы для беспилотного летательного аппарата

Шалунов С. Б. , Курочкин А. С., Измельцева Е. А.

ООО «Специальный технологический центр»,
Санкт-Петербург, 195220, Российская Федерация

Постановка задачи. Локальные навигационные системы разнообразны и могут быть разделены на группы по своим характерным особенностям. Такая классификация необходима для определения шагов разработки метода для аппаратной реализации системы. **Цель работы:** формирование требований к локальной навигационной системе беспилотных летательных аппаратов с учетом анализа существующих систем. **Используемые методы:** структурирование и анализ особенностей известных локальных навигационных систем, выделение общих признаков, объединение их в группы по схожести признаков; метод сценариев для выбора способа реализации локальной навигационной системы с учетом сформулированных требований. **Результат:** разработана система критерииев локальной навигационной системы для использования в беспилотных летательных аппаратах; среди представленных методов реализации был выбран угломерно-разностно- дальномерный метод с набором параметров как наиболее отвечающий требованиям к рассматриваемой системе. **Новизна:** предложена система классификации локальных навигационных систем по выделенным группам признаков, а также система требований к ним с учетом технических особенностей беспилотных аппаратов. **Теоретическая / практическая значимость:** получены научно обоснованные требования к локальной навигационной системе, позволяющие в дальнейшем сократить время на разработку данной системы.

Ключевые слова: классификация, локальная навигационная система, навигационная система, система внутреннего позиционирования, беспилотный летательный аппарат

Введение

Разнообразие ситуаций, в которых требуется определение местоположения подвижного объекта в реальном времени с последующим отображением в виде глобальных координат (широта, долгота) или на самостоятельно созданной координатной сетке, приводит к активному развитию навигационных систем. На данный момент наиболее известным и широко применяемым типом навигационных систем является глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) [1–3]. Например, сегодня широко используются американская система глобального позиционирования (GPS, *аббр. от англ.* Global Positioning System), российская гло-

Библиографическая ссылка на статью:

Шалунов С. Б., Курочкин А. С., Измельцева Е. А. Выбор метода реализации локальной навигационной системы для беспилотного летательного аппарата // Информационные технологии и телекоммуникации. 2024. Т. 12. № 4. С. 38–50. DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-4-38-50. EDN: MWOJKY

Reference for citation:

Shalunov S., Kurochkin A., Izmesteva E. Choosing a Method for Implementing a Local Navigation System for an Unmanned Aerial Vehicle // Telecom IT. 2024. Vol. 12. Iss. 4. PP. 38–50 (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-4-38-50. EDN: MWOJKY

бальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС), в китайском сегменте – Beidou. Указанные системы располагаются на средневысокой орбите (порядка 20 000 км над уровнем моря), что позволяет покрывать значительную территорию земного шара, но плотность покрытия не равномерна по всей поверхности и зависит от архитектуры системы, количества спутников в группировке и месторасположения страны-разработчика. По принципу действия данные ГНСС схожи. Указанные особенности позволяют выделить данные системы в одну крупную группу ГНСС.

Из-за особенностей расположения территории другим странам, не имеющим своих ГНСС, приходится выводить в космос собственные группировки космических аппаратов, которые впоследствии выделяются в группу региональных навигационных спутниковых систем (РНСС) [2, 3]. От ГНСС они отличаются орбитальной архитектурой, направленной на максимизацию времени нахождения спутника над регионом.

Широкое распространение технологии или системы приводит к такому негативному явлению, как популяризация угроз безопасности, заключающихся в нарушении корректного определения местоположения объекта. Другим недостатком спутниковых систем, нуждающимся в компенсации, является низкая эффективность применения ГНСС и РНСС внутри помещений, в плотной застройке городов и в любых других условиях, для которых характерны специфичные искажения сигнала, к примеру, многолучевое распространение. Поэтому исследование и разработка локальных навигационных систем (ЛНС), а также введение классификации для упрощения разделения множества их видов по группам, актуальны на данный момент и позволяют обеспечить слежение за объектом вне зависимости от внешних условий.

В литературе встречается термин «локальные системы позиционирования». Данные системы дополняют друг друга: задачи ЛНС заключаются в обнаружении объекта даже в условиях неполноты информации, а системы позиционирования позволяют уточнить местонахождение объекта на ограниченной территории [4].

Особенности функционирования ЛНС

ЛНС являются системами определения местоположения, предназначенными для работы в условиях полного или частичного отсутствия навигационных сигналов от ГНСС [5]. Обычно под подобные условия подходят здания, ангары, шахты, производственные помещения и другие закрытые пространства, где навигационный сигнал приходит на приемное устройство в измененном виде из-за наличия стен, металлических конструкций и подобных им препятствий, приводящих к затуханию или переотражению. Другим ограниченным участком, где актуально применение ЛНС, является открытое пространство со сложной помеховой обстановкой. Причинами осложнения применения ГНСС являются угрозы безопасности: подмена сигналов (для искажения реальных координат объекта), затруднение приема сигнала различными путями. Таким образом, без наличия гибридных систем на подвижных объектах работа с ними осложняется, а ЛНС

позволяют или увеличить точность при совместной работе с ГНСС [6] в закрытых пространствах, или не потерять объект там, где проводится работа по подавлению навигационного сигнала.

ЛНС для закрытых пространств имеет более распространенное название Indoor-Positioning System (IPS, система внутреннего позиционирования). Из-за применения различных методов, обеспечивающих создание собственной системы координат (без использования значений широты и долготы), IPS также можно использовать в рамках проведения классификации.

Применение ЛНС в качестве основной или страховочной системы также особенно актуально для беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) или беспилотных наземных транспортных средств (БНТС). Их применение позволяет в рамках дистанционного управления осуществлять ориентирование в пространстве, назначение точек маршрута в условиях отсутствия глобальных координат.

Множество методов и способов создания ЛНС приводит к необходимости объединения их в группы по схожим признакам для упрощения выбора наиболее эффективной (допустимая точность, дальность, энергозатратность и т. д.) системы в поставленной задаче. Предварительно необходимо определить перечень ЛНС, использующихся на данный момент. Для систем автоматизации разработан ряд методов, пригодных для реализации определения местоположения. В частности, различные IPS чаще всего используют широко применимые технологии (Wi-Fi, Bluetooth и т. д.).

Рассмотрим IPS, применяемые для внутреннего позиционирования [7, 8]:

- инфракрасное излучение: система использует передатчики инфракрасного диапазона на отслеживаемых объектах и приемные устройства, вмонтированные в потолок; данная структура позволяет определять местоположение объектов по периодически получаемому от них сигналу;

- применение ультразвука: является акустической системой определения местоположения, суть которой заключается в измерении расстояния до объекта по времени прихода отраженной волны (TOA, *аббр. от англ.* Time of Arrival) от датчика; для повышения эффективности применяется несколько источников ультразвуковых волн, работающих на частоте 40–130 кГц;

- радиочастотная идентификация (RFID, *аббр. от англ.* Radio Frequency Identification) [9]: в качестве источника сигнала выступают прикрепленные к объекту радиометки с информацией о нем, что позволяет считывающим устройствам, расположенным по периметру помещения, вычислять местоположение излучателей относительно ранее составленной сетки, внутри которой вычисляется центр тяжести многоугольника, приравнивающийся к местоположению объекта;

- применение сверхширокополосных систем (СШП, UWB, *аббр. от англ.* Ultra-Wide Band): основу системы составляют измерения времени пролета (TOF, *аббр. от англ.* Time of Flight) короткоимпульсного сигнала от объекта до координирующего устройства; фундаментальные особенности СШП сигналов позволяют определять их в отдельную группу систем и отличать от следующих двух популярных беспроводных систем;

- определение местоположения по сигналам Wi-Fi: ЛНС на данной основе не требует специфического оборудования и использует ресурсы стандартных

приемопередатчиков; в основе системы лежат измерения расстояния до объекта на основе показателя уровня принимаемого сигнала (RSSI, *аббр. от англ. Received Signal Strength Indication*) или времени приема-передачи сигнала (RTT, *аббр. от англ. Round-Trip Time*) в конфигурации «объект – считыватель», а также направления на объект – метод угла прихода (AOA, *аббр. от англ. Angle of Arrival*);

– определение местоположения по сигналам Bluetooth: принцип работы схож с системой на основе Wi-Fi, однако для определения местоположения не используется метод RTT, некоторые изменения также состоят в энергопотреблении, однако в данной классификации эта характеристика не рассматривается.

Характеристики IPS представлены в таблице 1. Особенностью этих систем является использование исключительно в условиях прямой радиовидимости и в закрытых пространствах, где можно без затруднений установить несколько считывателей.

Таблица 1 – Характеристики IPS

Технология-основа	Используемые принципы	Особенности ЛНС	Зона действия / точность
Инфракрасное излучение	измерение интенсивности (мощности) сигнала или ТОА для определения расстояния до объекта; привязка к локальной системе координат	повышенная чувствительность к солнечному свету (приводит к снижению точности); построена на оптических приемниках; требуется прямая видимость; применение самостоятельно составленной координатной сетки	до 10 м / от единиц см до 1 м
Ультразвук	ТОА, АОА	любые препятствия приводят к появлению ложных эхосигналов при ТОА; легко ограничивается закрытым помещением, не создает помех за его пределами	до 14 м / в среднем до 3 см
RFID	считывание информации об объекте через активные или пассивные метки, определение приблизительного расстояния, привязка к локальной системе координат	не требует прямой радиовидимости; в метках может содержаться информация об отслеживаемом объекте; требуется составлять локальную координатную сетку	от единиц см до единиц м / зависит от типа меток (разброс от 10–30 см до 10 м)
UWB	TOF	устойчива к ошибкам из-за многолучевого распространения; устойчива к быстрым замираниям	≈ 50–100 м / в среднем 10–30 см, эталон: единицы см

Технология-основа	Используемые принципы	Особенности ЛНС	Зона действия / точность
Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11)	измерение расстояния по RSSI или RTT, AOA, триангуляция	применение широко используемой технологии уменьшает сложность системы; необходимо учитывать, что работа осуществляется в среде с повышенной зашумленностью; возможна адаптация методов оценки	до десятков м / 1–3 м
Bluetooth	измерение расстояния по RSSI, измерение угла прихода (AOA), триангуляция	пониженное энергопотребление устройства в системе; точность зависит от применяемой версии (5.1 была разработана с учетом использования для IPS); возможна адаптация методов оценки	до десятков м / версия ниже 5.1: 1–3 м, версия 5.1: десятки см

На открытой местности обычно используются ЛНС, в том числе совместимые с ГНСС. К таким системам относятся [3, 10, 11]:

- мобильные сотовые сети связи (GSM, UMTS, LTE, 5G): системы сотовой связи позволяют с определенным радиусом определять местоположение абонента (к примеру, на уровне соты), что можно использовать в целях определения местоположения подвижного объекта; также в поколениях сотовой связи LTE и 5G NR становится доступен метод наблюдаемой разности времен прихода сигналов (*OTDOA, аббр. от англ. Observed Time Difference of Arrival*);
- псевдоспутники: в системе применяются специальные излучающие элементы, ретранслирующие сигналы со спутников ГНСС на подвижный объект, используя характеристики навигационных сигналов; располагаться такие ретрансляторы могут как на земле, так и в воздушном пространстве;
- ЛНС на основе радиолокационных методов: радиолокационные методы позволяют обнаружить подвижный объект в их зоне действия без использования специализированного сигнала, для которого требуется демодуляция на приемной стороне; для работы достаточно знать RSSI, угол прихода (зависит от применяемого метода), однако при организации ЛНС, где в системе доступны более подробные характеристики сигнала, применение радиолокационных методов может стать эффективнее.

Отдельно отметим методы радиолокации, которые используются в навигационных системах для определения местоположения искомого объекта [3]:

- метод триангуляции (рисунок 1а): в системе применяется два (иногда более) приемных устройства, которые определяют угловые координаты объекта; в данном методе важно расстояние между приемными устройствами, так как от них зависит точность определения конечного местоположения;
- гиперболический метод (рисунок 1б): основывается на определении разницы расстояний от источника излучения до приемных пунктов; точка пересече-

ния гипербол, построенных в качестве ориентиров, согласно методу, соответствует искомому объекту;

– метод с использованием одной станции (рисунок 1в): в его основе лежит определение угловых координат и расстояния до отслеживаемого объекта для определения местоположения; принцип получения данных характеристик методом не регламентируется, т. е. могут быть применены любые способы вычисления.

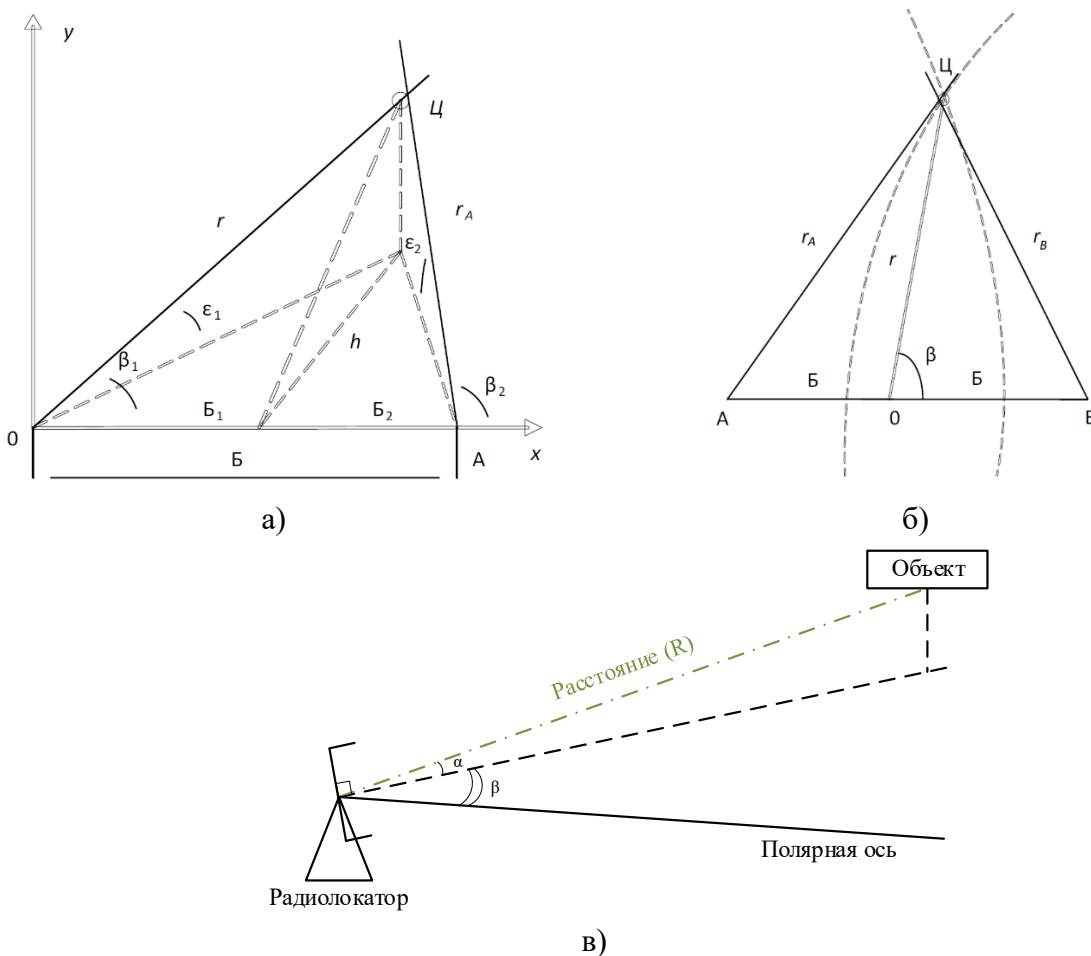


Рис. 1. Графическое представление метода триангуляции (а), гиперболического метода (б) и метода с использованием одной станции (в)

Выделенные методы радиолокации можно соотнести со следующими методами, отражающим принцип работы системы:

- угломерный метод: триангуляция, так как для определения местоположения объекта требуются значения углов между ним и приемными устройствами;
- разностно-дальномерный метод: гиперболический, так как для вычисления местоположения достаточными являются значения расстояний и разница между ними;
- угломерно-разностно-дальномерный метод: с применением одной станции, так как при отсутствии дополнительных приемных станций для полного понимания местонахождения объекта необходимо знать угол относительно станции и расстояние до объекта.

Основные характеристики ЛНС представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики ЛНС для открытых пространств

Технология-основа	Используемые принципы	Особенности ЛНС	Зона действия / точность
Мобильные сотовые сети связи	определение в районе базовой станции, в соте, OTDOA	необходимо сотрудничество с оператором сотовой связи; в случае поколений младше LTE точность ограничивается радиусом соты; возможность работы в условиях большого количества отслеживаемых объектов	единицы км / десятки – сотни м
Псевдоспутники	ретрансляция / имитация сигналов ГНСС, триангуляция аналогичная с ГНСС	интеграция с ГНСС; метод определения местоположения соответствует методу ГНСС; разворачивается как на земле, так и в воздухе	десятки – сотни м / единицы см – единицы м (зависит от калибровки)
Радиолокационные методы	угломерный метод, разностно- дальнометрический метод, угло- мерно-разностно- дальнометрический метод	особенности реализации привязаны к принципу	до сотен км / суммарная по ошибке определения углов, расстояния

Проведем классификацию существующих ЛНС на основе проведенного анализа. Разделение по принципу использования внутри помещения или на открытом пространстве не является ключевым, так как основополагающей остается физика процесса, а именно природа излучения. Так, ЛНС могут быть оптическими, звуковыми и на основе определения местоположения по радиосигналу. Принципы, по которым происходит определение расстояния, времени или угла прихода, схожи в данных трех группах, но отличаются распознаваемыми приемными устройствами физические величины. Например, для оптической системы достаточно интенсивности (мощности) излучения, ее значение определяет фотоприемник и на основе этого делает вывод о расстоянии до объекта. Для звуковых систем важно значение времени распространения отраженной волны, а для радиосистем применимы три физические величины, которые характеризуют электромагнитные волны, – амплитуда, фаза и время распространения сигнала.

Помимо указанных принципов разделение ЛНС на классы происходит по следующим признакам:

- по методу определения на плоскости / в пространстве (по применяемому радиолокационному методу);
- по наличию специализированного навигационного сигнала;
- по методу вычисления расстояния до объекта;
- по методу вычисления угла прихода между детектирующим устройством и отслеживающим объектом.

В отдельную группу могут быть выделены комбинированные (гетерогенные) системы, так как при совместном использовании они дополняют друг друга и обладают лучшими характеристиками. К примеру, при совместном применении ЛНС и ГНСС можно проводить уточнение местоположения объекта на местности, где из-за особенностей влияния рельефа на сигнал ГНСС обладает меньшей точностью. Наглядно классификация ЛНС представлена на рисунке 2.

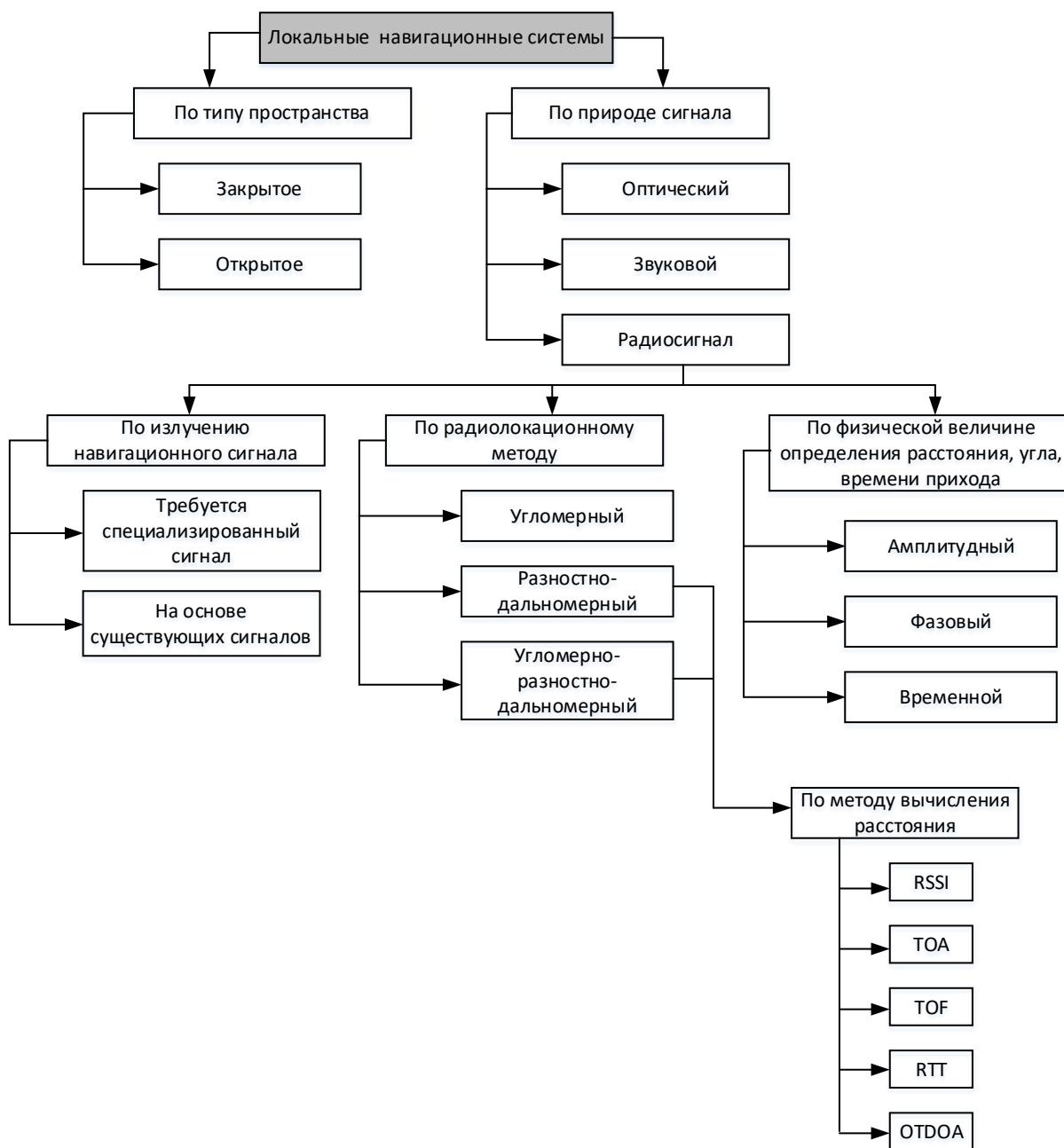


Рис. 2. Классификация локальных навигационных систем

При формировании требований к ЛНС необходимо разработать систему критериев и произвести выбор типа системы. Система критериев ограничивает возможности применения методов навигации и позиционирования.

Формирование требований к ЛНС для БПЛА

Традиционно БПЛА позиционируются через различные системы [12], в том числе локального характера. При этом выбор системы навигации определяется условиями эксплуатации БПЛА и его конструктивными особенностями. В сложившейся ситуации интерес представляет разработка ЛНС, которая может определять местоположение БПЛА в труднодоступных районах, т. е. там, где прямая видимость между приемным устройством сигналов ГНСС и спутником перекрывается рельефом. Также ситуация ухудшается при редком обновлении данных [13]. Таким образом, необходимость разработки ЛНС, позволяющей определять местоположение БПЛА в труднодоступных местах с плохо развитой инфраструктурой, с минимальным количеством развертываемых станций, относительно независимых и экономически выгодных, крайне актуальна.

Прежде всего, необходимо ограничиться только системами для открытых пространств, выделив из множества существующих навигационных систем W подмножество $W_{\text{откр}}$, из которого наибольший интерес представляет реализация на основе псевдоспутников или радиолокационная. Учитывая ограничение на количество размещаемых станций, имеет смысл максимально локализовать систему, т. е. выбрать радиолокационную. Методы триангуляции избыточны в условиях лимитированного количества станций $N \rightarrow \min$, следовательно, нужно ограничиться разностно- дальномерным и угломерно-разностно- дальномерным методами. Они обеспечивают дальность в несколько сотен км, при этом имеют возможность нивелирования ошибки измерения, поэтому их можно рассматривать как технологическую основу для ЛНС БПЛА.

Сформируем систему критериев для такой ЛНС (таблица 3). Оценки даны в баллах (от 0 до 1, где 0 – наихудший вариант согласно указанному в таблице требованию, 1 – наилучший вариант) по результатам сравнительного анализа методов.

Таблица 3 – Система критериев для ЛНС БПЛА

Критерий	Требования	Численные значения параметров (в баллах)	
		разностно- дальномер- ный метод	угломерно- разностно- дальномер- ный метод
Расположение и количество станций (N)	Наземные и спутниковые, $N \rightarrow \min$	0,33	1
Точность определения координат, погрешность измерения [14]	Минимально необходимая для определения местоположения БПЛА	0,6	1
Частота получения данных для определения местоположения (задержка данных, возможность перезапросов, частота опроса)	Выдача координат с частотой, не приводящей к потере управления БПЛА	1	1

Критерий	Требования	Численные значения параметров (в баллах)	
		разностно-дальномерный метод	угломерно-разностно-дальномерный метод
Стабильность получения данных (требования к потерям, надежность доставки сообщений)	Двусторонний обмен для повышения надежности	0,5	0,5
Чувствительность системы к внешним воздействиям	Возможность работы в условиях воздействия систем радиоэлектронной борьбы	0,6	0,9

Воспользуемся для выбора оптимального принципа навигации методом сценариев для разработанных критериев (рисунок 3). Наилучшим будем считать вариант с большей площадью многоугольника, полученного в результате графического определения балльных оценок критериев. Обозначим S_1 – суммарный эффект реализации ЛНС разностно-дальномерным методом, а S_2 – суммарный эффект реализации ЛНС угломерно-разностно-дальномерным методом. Примем, что коэффициент важности критериев одинаковы, т. е. нет приоритета при выборе критерия. В результате получим $S_1 = 0,85$, $S_2 = 1,43$, т. е. $S_1 < S_2$, следовательно, угломерно-разностно-дальномерный метод имеет лучшее соответствие согласно разработанной системе критериев.

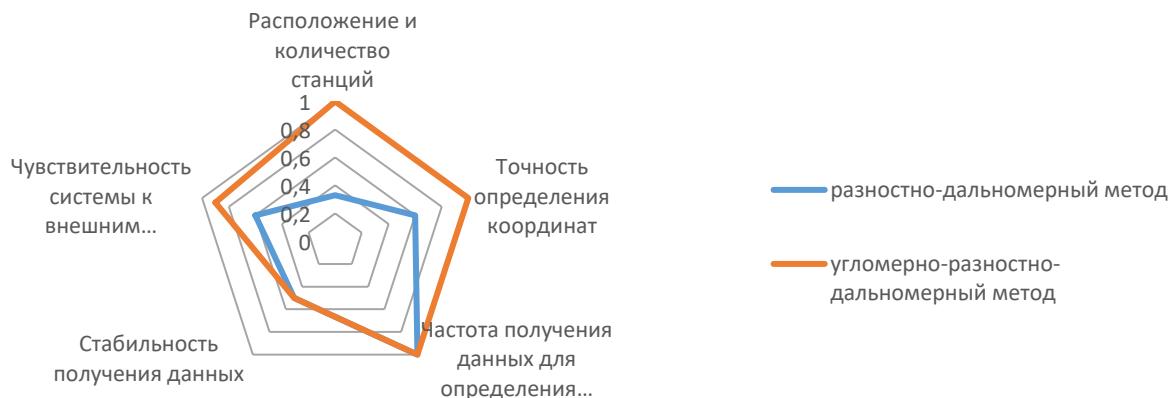


Рис. 3. Визуализация метода сценариев для определения наиболее перспективного подхода для реализации ЛНС БПЛА

Таким образом, для дальнейших исследований и разработки обоснованно использовать угломерно-разностно-дальномерный метод с расширенным набором параметров, таких как RTT, возможность обеспечения двустороннего обмена.

Заключение

Современные системы навигации и позиционирования представлены большим количеством вариантов реализации в зависимости от назначения и сценария использования. В данной статье предложена классификация существующих подходов к реализации ЛНС как представляющих наибольший интерес для реализации на беспилотных аппаратах различных типов. Согласно предложенной классификации, системы на основе радиолокационного метода представляют наибольший интерес для дальнейшего развития ЛНС, так как имеют широкий спектр параметров, которые можно использовать для определения местоположения БПЛА. После анализа существующих систем и задания требований к ЛНС БПЛА был выбран вариант построения такой системы на основе угломерно-разностно-дальномерного метода с расширенным набором параметров.

В дальнейшем необходимо уточнить возможность использования выбранных параметров, оценить вносимые погрешности и их влияние на конечный результат работы ЛНС.

Литература

1. Situational Awareness Market Size – By Component (Sensors, GPS, Cameras, Gyroscopes, Display, NVR & DVR), By Industry (Military & Defense, Aerospace, Marine Security, Industrial, Cybersecurity, Healthcare, Homeland Security), By Type & Forecast, 2024–2032 // Global Market Insights. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/situational-awareness-market> (дата обращения 17.09.2024)
2. Grewal M. S. Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013. 561 p.
3. Тяпкин В. Н., Гарин Е. Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. 259 с. EDN: RYDPBJ
4. Луценко Е. Ю., Шеболков В. В. Принципы построения локальных навигационных систем и сетей в задачах управления транспортом // Проблемы современной системотехники: сборник научных статей. Таганрог: Южный федеральный университет, 2016. Т. 10. С. 92–96.
5. Mannay K., Benhadjyoussef N., Machhout M., Ureña J. Location and Positioning Systems: Performance and Comparison // 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT, 16–18 December 2016, Hammamet, Tunisia). 2016. DOI: 10.1109/CEIT.2016.7929105
6. Waheed A., Goyal M., Gupta D., Khanna A., Hassanien A. E., et al. An Optimized Dense Convolutional Neural Network Model for Disease Recognition and Classification in Corn Leaf // Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 175. 2020. P. 105456. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105456. EDN: FXZPVW
7. Hasan S. H., Hussein M., Saad S. M., Dzahir M. A. M. An Overview of Local Positioning System: Technologies, Techniques and Applications // International Journal of Engineering and Technology. Vol. 7. № 3.25. 2018. PP. 1–5. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.25.17459

8. Mautz R. Indoor Positioning Technologies: Habilitation Thesis submitted to ETH Zurich. Application for Venia Legendi in Positioning and Engineering Geodesy. Zurich: Institute of Geodesy and Photogrammetry, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, 2012. 129 p.

9. Прийма М. А., Панфилов А. Н., Абас В. М. А. Определение локального местоположения предметов на базе технологии радиочастотной идентификации // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2020. № 1 (205). С. 41–44. DOI: 10.17213/1560-3644-2020-1-41-44. EDN: NMYKKJ

10. Фокин Г. А. Модель технологии сетевого позиционирования метровой точности 5G NR. Часть 1. Конфигурация сигналов PRS // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. № 2. С. 48–63. DOI: 10.31854/1813-324X-2022-8-2-48-63. EDN: OEXILA

11. Куприянов А. О. Применение псевдоспутников в позиционировании и навигации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63. № 4. С. 385–391. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-4-385-391. EDN: WTOZZT

12. Системы навигации БПЛА // UltraDrone. URL: <https://electrobattery.ru/blog/sistemy-navigatsii-bpla> (дата обращения 17.09.2024)

13. Амелин К. С. Метод ориентирования сверхлегкого БПЛА при редком обновлении данных о его местоположении // Стохастическая оптимизация в информатике. 2014. Т. 10. № 2. С. 3–14. EDN: TEDYTZ

14. Кондратьев В. С., Кондрашов Я. В., Фиалкина Т. С. Концепции применения принципа многопозиционности в радиосистемах обеспечения навигационно-посадочных операций воздушных судов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2011. № 164. С. 85–92. EDN: NUSHTH

**Статья поступила 19 октября 2024 г.
Одобрена после рецензирования 22 ноября 2024 г.
Принята к публикации 23 декабря 2024 г.**

Информация об авторах

Шалунов Сергей Борисович – начальник направления ООО «Специальный Технологический Центр». E-mail: sshalunov@stc-spb.ru

Курочкин Александр Сергеевич – кандидат технических наук, сотрудник ООО «Специальный Технологический Центр». E-mail: akurochkin@stc-spb.ru

Изместьева Екатерина Александровна – сотрудник ООО «Специальный Технологический Центр». E-mail: eizmesteva@stc-spb.ru

<https://doi.org/10.31854/2307-1303-2024-12-4-38-50>
EDN: MWOJKY

Choosing a Method for Implementing a Local Navigation System for an Unmanned Aerial Vehicle

S. Shalunov ✉, A. Kurochkin, E. Izmesteva

Special Technology Center LLC, Saint Petersburg, 195220, Russian Federation Russia

Discussion. Local navigation systems are diverse and have characteristic features that need to be grouped and classified. Classification is necessary to determine the steps of developing a method and implementing a system in the form of equipment. **Purpose:** formation of criteria for the local navigation system of unmanned aerial vehicles, taking into account the analysis of existing systems. **Methods:** structuring and describing well-known local navigation systems according to a single template, identifying common features, grouping them into groups based on similarity of features, testing the result using the example of using classification as a basis for advancing system requirements. **Results.** A system of criteria for a local navigation system for use in unmanned aerial vehicles. The angular-difference-rangefinder method with a set of parameters was chosen as the most suitable for the requirements of a local navigation system for unmanned aerial vehicles. **Novelty:** classification system for local navigation systems by selected groups of features is proposed, and a system of requirements for local navigation systems is proposed, taking into account the technical features of unmanned vehicles. **Practical relevance:** the study provided scientifically based requirements for a local navigation system, which further minimize the time needed to develop this system.

Key words: classification, local positioning system, local navigation system, navigation system, unmanned aerial vehicle

Information about Authors

Shalunov Sergei – Head of Development at Special Technology Center LLC.
Email: sshalunov@stc-spb.ru

Kurochkin Alexander – Ph.D. in Technical Sciences, Employee at Special Technology Center LLC. Email: akurochkin@stc-spb.ru

Izmesteva Ekaterina – Employee at Special Technology Center LLC.
Email: eizmesteva@stc-spb.ru