

СЦЕНАРИИ НАВИГАЦИИ В РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ НЕДОСТАТКЕ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Легкоступ В.В.

ОАО «АЛЕВКУРП»

д. Королев Стан, Минский район, Республика Беларусь

Маркевич В.Э. – канд. техн. наук

В работе рассмотрены четыре сценария навигации транспортных средств в разностно-дальномерной навигационной системе, при которых требуется осуществлять радиоуправление данными средствами при неполном количестве навигационных измерений.

В последнее время много внимания уделяется спутниковым навигационным системам (СНС), методам повышения их точности, надежности, информативности [1]. Это вызвано таким преимуществом разностно-дальномерного метода определения координат объектов, как отсутствие необходимости иметь в составе абонентского оборудования передатчик ответного/запросного сигнала, что с одной стороны снижает стоимость, размеры и энергопотребление абонентского оборудования, а с другой стороны снимает ограничения на пропускную способность таких навигационных систем.

Как известно [2], для решения навигационной задачи на плоскости абоненту необходимо иметь по меньшей мере два разностно-дальномерных измерения, основанных на сигналах, передаваемых тремя синхронизированными навигационными позициями. Для решения пространственной навигационной задачи абоненту необходимо иметь по меньшей мере три разностно-дальномерных измерения, основанных на сигналах четырех синхронизированных навигационных позиций. При этом в случае отсутствия сигнала одной из навигационных позиций решение навигационной задачи становится невозможным. Для снижения вероятности срыва процесса навигации бортовое оборудование абонентов оснащается инерциальной навигационной системой (ИНС), а количество отслеживаемых приемником навигационных позиций по возможности превышает необходимый минимум. Так, в случае использования СНС количество видимых абонентом спутников под открытым небом в беспомеховой обстановке часто превышает необходимый минимум на один–два спутника при использовании СНС только одного типа. Тем не менее, при потере необходимого количества навигационных сигналов использование ИНС не позволяет осуществлять высокоточную навигацию в течение продолжительного времени по причине неограниченно накапливающихся погрешностей [1]. Это может иметь негативные последствия при движении управляемых транспортных средств на критически важных участках траекторий, например, при посадке воздушного средства или при наведении высокоточного оружия.

Далее приведено несколько сценариев, описывающих ситуацию отсутствия части навигационных радиосигналов при использовании разностно-дальномерных навигационных систем, что вынуждает осуществлять радиоуправление подвижными объектами при недостаточном объеме навигационной информации.

Сценарий А – Навигация летательного аппарата по данным наземной радионавигационной системы в случае отсутствия радиосигналов части навигационных точек. Используемые

авиацией и морскими судами системы навигации типа «Альфа», «Чайка», «Марс-75» позволяют с помощью разностно-дальномерного метода оценить местоположение транспортного средства с дальностью действия от 1 до 10 тысяч километров в зависимости от используемой системы [2]. Для устойчивой навигации необходимо принимать сигналы хотя бы двух передающих маяков.

В случае потери сигнала бортовым приемным оборудованием одного из маяков, навигация с использованием данных систем становится затруднительной или невозможной в зависимости от дальности расположения остальных навигационных маяков. При этом принимаемый бортовым оборудованием сигнал даже одного из маяков может быть использован совместно с ИНС для навигации и радиоуправления транспортным средством в автоматическом режиме.

Сценарий Б – Навигация летательного аппарата по данным спутниковой навигационной системы в случае отсутствия радиосигналов части навигационных космических аппаратов. Рассмотрим использование информации от одной из глобальных СНС для нужд навигации и радиоуправления подвижными объектами. Например, группировка СНС ГЛОНАСС представлена 24 навигационными космическими аппаратами (НКА), находящимися на трех орбитах [1]. Для оценивания местоположения объекта приемнику необходимо устойчиво получать навигационный сигнал как минимум от четырех НКА, а в реальности эта цифра увеличивается до 5–7. Антенны приемного оборудования как правило изготавливают с широкой диаграммой направленности. Это обусловлено тем, что видимое приемнику в любой момент времени созвездие НКА занимает довольно большой телесный угол, не позволяя использовать узконаправленные антенны, тем более, когда речь идет об авиации, где использование больших антенн было бы затруднительно. С другой стороны, прием сигналов НКА, расположенных внутри относительно малого телесного угла приводит к снижению точности оценки местоположения абонента. Поэтому для высокоточной навигации желательно принимать также сигналы от НКА, находящихся вблизи горизонта.

Использование антенн с широкой диаграммой направленности делает бортовое навигационное оборудование более уязвимым к действию помех без применения специальных методов помехозащиты, например, адаптивной компенсации помех [3]. В случае действия преднамеренных помех приемному оборудованию может оказаться так, что часть сигналов НКА, находящихся близко к горизонту и позволяющих осуществлять наиболее высокоточную навигацию окажутся подавлены. При этом все еще могут быть доступны сигналы двух–трех НКА, расположенных высоко над горизонтом, однако не позволяющих прямо решить навигационную задачу. В таком случае данные сигналы могут дополнить бортовую ИНС, использующую информацию высотомера и гирокомпы для высокоточного решения навигационной задачи на длительном интервале времени.

Сценарий В – Наведение высокоточного оружия по данным спутниковой навигационной системы или наземных навигационных радиомаяков в случае отсутствия радиосигналов части навигационных точек. СНС широко используются для наведения средства воздушного нападения с высокой точностью в различных точках планеты, что позволяет снизить как количество боекомплекта, требуемого для поражения конкретных объектов, так и длительность военной операции, а также уменьшить причиняемый объектам гражданской инфраструктуры непреднамеренный ущерб.

В случае использования крылатых ракет, управляемых авиабомб, снарядов, мин, наводимых с использованием СНС, высокоточная навигация требуется вблизи точки цели, а точность следования кинематической траектории метода наведения является второстепенной задачей, связанной в основном с дальностью стрельбы [4].

Как и в случае сценария Б, возможна ситуация подавления части навигационных сигналов от НКА, расположенных близко к горизонту или от маяков в районе расположения точки цели (если навигация осуществляется по радиопередающим маякам) в результате действия преднамеренных помех, либо по причине их целенаправленного уничтожения. При этом часть навигационных сигналов, сопровождаемая бортовым навигационным оборудованием наводимого средства, может быть доступна и использоваться для коррекции бортовой ИНС или в качестве целеуказания.

Сценарий Г – Локальная навигация беспилотных транспортных средств вблизи зоны парковки или погрузочно-разгрузочной площадки, в том числе внутри помещения. Для задач транспортировки грузов роботизированными транспортными средствами развиваются системы высокоточной навигации [5]. Многие современные роботизированные средства оснащаются системами компьютерного зрения. Однако такие системы в настоящий момент времени не являются высоконадежными и универсальными.

Для задачи навигации роботизированного транспортного средства вблизи зоны парковки и погрузочно-разгрузочной площадки в том числе внутри помещения, например, склада может быть использована локальная разностно-дальномерная навигационная система [6]. При этом может быть создана ситуация, когда количество навигационной информации абонента будет недостаточно для решения навигационной задачи. В таком случае принимаемые навигационные сигналы могут быть использованы для выработки команд радиоуправления с целью оптимального решения задачи

перемещения на местности или контроля маршрута движения транспортных средств, а также их выведения в зону парковки.

Приведенные выше сценарии описывают ситуации навигации управляемых средств при недостаточном объеме навигационной информации, что может привести к срыву решения поставленной управляемому средству задачи. В этом случае для обеспечения устойчивого процесса радиоуправления может быть использован способ, предложенный в [7], решающий задачу оптимального управления при недостаточном количестве навигационной информации.

Список использованных источников:

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Радиотехника, 2010. 800 с, ил.
2. Скрыпник О.Н. Радионавигационные системы воздушных судов: учебник. –М.: ИНФРА-М, 2018. – 352 с.
3. Помехозащита радиоэлектронных систем управления летательными аппаратами и оружием. Монография / Под ред. В.Н. Лепина. –М.: Радиотехника, 2017. –416 с.
4. Savchenko, V., Tolubko, V., Berkman, L., Syrotenko, A., Shchypanskyi, P., Matsko, O., Open'ko, P. (2020). Model of an alternative navigation system for high-precision weapons. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*
5. Liu, S., Li, L., Tang, J., Wu, S., & Gaudiot, J.-L. (2020). *Creating Autonomous Vehicle Systems, Second Edition. Synthesis Lectures on Computer Science*, 8(2), i–216.
6. Tiemann J, Wietfeld C (2017) Scalable and precise multi-uav indoor navigation using tdoa-based uwb localization. In: 2017 international conference on indoor positioning and indoor navigation (IPIN), IEEE, pp 1–7.
7. Легкоступ В.В. Шабан С.А., Маркевич В.Е. Методика синтеза устройства управления по методу аналитического конструирования оптимального регулятора для задачи наведения летательного аппарата вдоль гиперболы. Доклады БГУИР 2022; 20(1).