**УДК**

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ

**Ворошилова Екатерина Вячеславовна,** *студентка*

*Филиал «Стрела» Московского авиационного института (Национального исследовательского университета), г. Жуковский, Московская область*

**Аннотация**: в статье рассматривается задача определения путевого угла и путевой скорости с помощью радиотехнических средств ближней навигации. Определение навигационных параметров происходит путем решения прямой и обратной геодезической задачи. Рассказывается об алгоритмах фильтрации, которые будут применены для найденных параметров.

**Ключевые слова:** путевая скорость, фактический путевой угол, радиотехническая система ближней навигации, прямая геодезическая задача, обратная геодезическая задача, задача фильтрации навигационных данных.

ALGORITHM FOR DETERMINING AIRCRAFT NAVIGATION PARAMETERS USING RADIO NAVIGATION AIDS

**Ekaterina V. Voroshilova,** student

**Abstract:** The paper deals with the problem of determining the heading angle and heading velocity using radio-technical means of short-range navigation. Navigation parameters are determined by solving the direct and inverse geodetic problem. Filtering algorithms to be applied to the found parameters are described.

**Keywords**: track speed, actual track angle, radio-technical system of short-range navigation, direct geodetic problem, inverse geodetic problem, navigation information filtering.

**Введение.** В современной авиации большое внимание уделяется решению задач навигации. Определение навигационных параметров и их точность играет огромную роль в решении задач как военного, так и гражданского назначения.

Радиотехнические системы ближней навигации (РСБН) – это неавтономные радиомаячные региональные однопозиционные системы, предназначенные для определения положения летательного аппарата (ЛА) относительно радиомаяка в пределах дальности прямой видимости.[3]

В декабре 1958 года Челябинский радиозаводом «Полет» выпускает систему навигации РСБН-2 (система «Свод»). Это была первая в стране система, обеспечивающая высокую точность определения места расположения объектов на земле и на борту. В последующие годы выпускались модернизированные варианты данной системы (РСБН-4Н, система «Дорога»), а также изделия и функциональные блоки комплексов беспилотного управления самолетов. [4]

Радиотехническая система ближней навигации применяется для:

1. решения задач ближней навигации (на удалении от аэродрома до 500 км), таких как самолетовождение по маршруту, привод ЛА на аэродром посадки, регулирование и контроль движения воздушного судна (ВС) в районе аэродрома;
2. обеспечения захода ЛА на посадку.[2]

РСБН применяется как для военных (преимущественно), так и для гражданских самолетов всех типов.

**Цель работы** состоит в определении фактического путевого угла (ФПУ) и путевой скорости с помощью радиотехнических средств ближней навигации (РСБН), а также в подборе наиболее подходящего алгоритма фильтрации найденных значений.

**Задачи**, поставленные в рамках данной работы:

1. с помощью данных, приходящих от РСБН, определить с заданной частотой текущие координаты летательного аппарата (ЛА) путем решения прямой геодезической задачи;
2. путем решения обратной геодезической задачи определить новый азимут и пройденное самолетом расстояние;
3. по имеющимся данным определить текущий ФПУ и текущую путевую скорость;
4. реализовать алгоритмы фильтрации данных для значений ФПУ и путевой скорости, сравнить их между собой, и выбрать наиболее подходящий.

**Актуальность работы** заключается в расчете ФПУ и путевой скорости по данным РСБН. В настоящее время на предприятии АО «РПКБ» эти параметры рассчитываются только с помощью спутниковых данных и на комплексах малой авиации.

Определение путевой скорости и путевого угла с помощью РСБН, как было сказано ранее, основывается на решении прямой и обратной геодезической задачи.

Этапы решения включают следующие шаги:

1. Пусть ЛА в данный момент времени -- расположен в некоторой навигационной точке №1 (НТ №1), координаты которой заранее неизвестны. С помощью РСБН определяем текущую дальность до этой точки и текущий азимут (который аналогичен ФПУ и далее по тексту будет так называться). Запоминаем эти значения. За время ЛА долетает до НТ №2, где – момент времени, когда ЛА расположен в НТ №2. Аналогично действиям, когда ЛА находится в НТ №1, определяем текущие значения дальности и азимута .
2. Осуществляем решение прямой геодезической задачи. Зная начальные координаты радиомаяка (РМ) , и подсчитанные ранее значения дальности и азимута, определяем текущие координаты ЛА в момент времени (в НТ №1) и в момент времени (в НТ №2).

Дополнительно вводится декартова геоцентрическая система координат ОХАYАZА, повернутая вокруг общей оси OZ ≡ OZА относительно гринвичского меридиана на угол [1]. Декартовы координаты точки НТ в системе координат ОХАYАZА:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  | (1) |
| , |  |
|  |  |
|  | (2) |
| Здесь – значение большой полуоси выбранного земного эллипсоида; |  |
| – высота текущей НТ; |  |
| , – долгота и широта текущей НТ соответственно. |  |

1. Осуществляем решение обратной геодезической задачи, целью которой является определить расстояние между двумя точками по прямой и азимут из одной точки на вторую. [1]

Аналогично пункту 2, вводится дополнительная декартова геоцентрическая система координат ОХАYАZА, осуществляются расчеты по формулам (1) и (2).

Вспомогательную систему координат AX′Y′Z′ преобразуем так, чтобы она совпала с системой ОХАYАZА. Координаты НТ №2 после преобразования:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  | (3) |
| , |  |
|  | (4) |

ФПУ и расстояние между точками ищем по следующим формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |
|  | (6) |

1. Определяем путевую скорость:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

Одной из поставленных задач является задача сокращения случайного шума. В дальнейшем для полученных параметров путевой скорости и путевого угла будут применены следующие алгоритмы фильтрации:

1. Фильтр скользящего среднего

– реализация происходит путем усреднения ряда точек от входного сигнала, чтобы произвести каждую точку в сигнале выхода.

Описывается следующим уравнением:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |
| входной сигнал; |  |
| y[]выходной сигнал; |  |
| число точек, используемых в скользящем среднем. |  |

1. Экспоненциальный фильтр сглаживания (альфа-фильтр)

– в основе процедуры сглаживания лежит расчёт экспоненциальных скользящих средних сглаживаемого ряда. [5]

Описать фильтр можно следующими уравнениями:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |
|  | (10) |
| параметр сглаживания; |  |
| *;* |  |
| фактическое наблюдение в момент (t-1); |  |
| значение экспоненциального среднего в момент t. |  |

1. Медианный фильтр

– медианное сглаживание основывается на вычислении скользящей медианы (на каждом шаге возвращает один из элементов, попавших в окно, причем этот элемент является медианой ряда).

Фильтр описывается следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |
| где – выходной сигнал скользящего фильтра шириной [2n+1]; | |
| – элементы вариационного ряда. | |

Стоит отметить, что алгоритм по нахождению ФПУ и путевой скорости с помощью данных от РСБН дополнительно будет проверяться по данным от спутниковой навигационной системы (СНС) при ее наличии.

**Заключение.** В рамках текущего проекта будет проведена работа по реализации алгоритма определения ФПУ и путевой скорости для учебно-тренировочных самолетов по данным, приходящим от РСБН. Помимо этого, для найденных параметров будут применены различные алгоритмы фильтрации и из них будет выбран наиболее подходящий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Августов Л.И., Бабиченко А.В., Орехов М.И., Сухоруков С.Я., Шкред В.К. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве – М.: Наука, 2022. – 548 с.
2. Синицын В.А, Синицын Е.А., Криворучко Ю.Т., Музелин Ю.Н. Бортовые устройства поиска, обнаружения и измерения параметров радионавигационных сигналов: учебное пособие – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 75 с.
3. Сосновский А.А., Хаймович И.А., Лутин Э.А., Максимов И.Б. Авиационная радионавигация: Справочник. – М.: Транспорт, 1990. – 264 с.
4. О предприятии. История Челябинского радиозавода "Полет" // Челябинский радиозавод "Полет" URL: <https://www.polyot.ru/about/43/> (дата обращения: 6 ноября 2023).
5. Экспоненциальное сглаживание // Форсайт. Аналитическая платформа URL: <https://help.fsight.ru/ru/mergedProjects/lib/02_time_series_analysis/uimodelling_expsmooth.htm> (дата обращения: 16 ноября 2023).