

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА СУДНА С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ.

Бекенов Н.Н.

Навигация серіктер арқылы кеме орындарын анықтауға ең қолданылатын әдістері осы мақалада қаралған. Навигация мақсаттардың шешіміне арналған әдістердің үлгілері және олардың комбинациялар келтірілген, соның ішінде кеме бағытын анықтау.

In given article the most applied methods of definition of a place of a vessel by means of navigating companions are considered. For the decision of navigating problems examples of methods and their combination, including for definition of orientation of a vessel are resulted.

Основным содержанием навигационной задачи, решаемой с помощью навигационной аппаратуры потребителей (НАП), является определение пространственно-временных координат подвижного объекта (судна), а также составляющих его скорости. В результате решения навигационной задачи должен быть определен вектор состояния судна, который можно представить в виде $P = /x, y, z, t, \dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}/^T$, где (x, y, z) - пространственные координаты судна; t - временная поправка шкалы времени судна относительно системной шкалы времени; $(\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z})$ - составляющие вектора скорости. [1].

Непосредственно измерить элементы вектора состояния не представляется возможным. У принятого с навигационным космическим аппаратом (НКА) радиосигнала определяют отдельные его параметры (например, задержку или доплеровский сдвиг частоты). Поэтому измеряемый в интересах навигации параметр радиосигнала называют *радионавигационным*, а соответствующий ему геометрический параметр — *навигационным*. [2].

Например, задержка радиосигнала и его доплеровское смещение частоты $f_{\text{доп}}$ являются радионавигационными параметрами, а соответствующие им дальность до судна D , радиальная скорость сближения судов V_p — навигационными параметрами. Геометрическое место точек пространства с одинаковым значением навигационного параметра называется *поверхностью положения*. Пересечение двух поверхностей положения определяет *линию положения* - геометрическое место точек, имеющих два определенных значения двух навигационных параметров. *Местоположение судна* определяется координатами трех поверхностей положения или двух линий положения. Иногда (из-за нелинейности) две линии положения могут пересекаться в двух точках. Тогда для нахождения места судна необходимо использовать дополнительную поверхность положения или другую информацию о его месте. [3].

Для решения навигационной задачи используют функциональную зависимость между навигационными параметрами и компонентами вектора

П. Соответствующие функциональные зависимости называются *навигационными функциями*.

Навигационные функции получают различными методами, основные из которых: дальномерный, псевдодальномерный, разностно-дальномерный, радиально-скоростной. Могут быть использованы и другие методы и их комбинации, в том числе и для определения ориентации судна.

Дальномерный метод. Основан на пассивных (беззапросных) измерениях дальности D_i между i -ым НКА и судном. Навигационным параметром является дальность D_i , а поверхностью положения — сфера с радиусом D_i и центром, расположенным в центре масс i -го НКА. Уравнение сферы имеет вид

$$D_i = [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]^{0,5} \quad (1)$$

где x_i, y_i, z_i — известные на момент измерения координаты i -го НКА; x, y, z — координаты судна.

Место судна определяют как координаты точки пересечения трех поверхностей положения (трех сфер), вследствие чего для реализации этого метода необходимо измерить дальности до трех НКА.

Для дальномерного метода навигационная функция представляет собой систему из трех уравнений вида (1). Из-за ее нелинейности возникает проблема неоднозначности определения координат судна, которая устраняется с помощью дополнительной информации (счислимые координаты судна, его радиальная скорость и др.).

Дальномерный метод предполагает, что все измерения дальности должны быть произведены в одно время. Однако координаты НКА привязаны к бортовой шкале времени, а координаты судна определены в своей шкале. В реальных условиях существует расхождение t' этих шкал времени и возникает смещение $D' = ct'$ измеренной дальности относительно истинной, поэтому точность определения места судна падает. Таким образом, недостатком метода является необходимость высокоточной привязки шкал времени НКА и судна, вследствие чего в настоящее время более широкое применение нашел псевдодальномерный метод определения места. [3].

Псевдодальномерный метод. Под псевдодальностью от i -го НКА до подвижного объекта понимают измеренную дальность $D_{\text{изм}i}$ до этого спутника, отличающуюся от истинной дальности D_i на неизвестную, но постоянную за время определения навигационных параметров величину D' . Тогда для псевдодальности до i -го НКА можно написать

$$D_{\text{изм}i} = D_i + [D(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]^{0,5} + D' \quad (2)$$

Здесь в качестве навигационного параметра принята $D_{\text{изм}i}$. Поверхностью положения является сфера с центром в точке с центром масс НКА. При этом радиус сферы изменен на неизвестную величину D' . Измерение псевдодальностей до трех НКА приводит к системе трех уравнений с четырьмя неизвестными (x, y, z, D'), что вызывает неопределенность ее решения. Для устранения неопределенности необходимо провести

дополнительное измерение псевдодальности до четвертого спутника и получить точное решение системы уравнений, т. е. получить место подвижного объекта как точку пересечения четырех поверхностей положения.

Необходимость нахождения в зоне радиовидимости четырех НКА предъявляет жесткие требования к структуре орбитальной группировки, которые могут быть выполнены только в среднеорбитных спутниковых навигационных систем (СНС). [4].

Достоинством данного метода является то, что он не накладывает жестких ограничений на значение погрешности $D' = ct'$ (погрешности временной шкалы) и позволяет дополнительно вычислять отклонение шкалы времени подвижного объекта.

Разностно-дальномерный метод. Основан на измерении дальностей от подвижного объекта до одного или нескольких НКА. Метод аналогичен псевдодальномерному, так как его целесообразно использовать только при наличии в дальномерных измерениях неизвестных сдвигов D' . В данном методе используются три разности $\Delta D_{ij} = D_i - D_j$ до четырех НКА, так как при постоянстве D' за время навигационных определений разности псевдодальностей равны раз-только три независимых уравнения. [5].

Навигационным параметром является ΔD_{ij} . Поверхности положения представляют собой поверхности двухполостного гиперboloида вращения, фокусами которого являются координаты опорных точек i и j (центров масс i -го и j -го НКА). Расстояние между этими опорными точками называется *базой*. Если расстояния от опорных точек (НКА) до подвижного объекта велики по сравнению с базой, то гиперboloид вращения в окрестностях точки подвижного объекта совпадает со своей асимптотой — конусом, вершиной которого выступает середина базы.

Точность определения места подвижного объекта совпадает с точностью определения этих координат псевдодальномерным способом. Недостаток разностно-дальномерного метода заключается в том, что в нем не может быть измерено смещение D' , т. е. смещение шкалы времени подвижного объекта. [6].

Радиально-скоростной (доплеровский) метод. Базируется на измерении трех радиальных скоростей подвижного объекта относительно трех НКА. В основу метода положена зависимость радиальной скорости точки относительно НКА от координат и относительной скорости спутника. [7].

Недостатком рассматриваемого метода является невозможность проведения измерений в реальном времени. Кроме того, в среднеорбитных СНС реализация метода затруднена из-за медленного изменения радиальной скорости. Это обусловило применение радиально-скоростного метода в среднеорбитных СНС только для определения составляющих скорости подвижного объекта. Однако для его реализации необходим высокостабильный эталон частоты. Нестабильность последнего приводит к неконтролируемому изменению доплеровского смещения частоты, что, в

свою очередь, влечет дополнительные погрешности измерения составляющих скорости подвижного объекта. [8].

Заключение

Таким образом, применяемые методы определения места судна с помощью навигационных спутников, соответствуют решению навигационных задач для различных случаев.

Литература:

1. *Баранов Ю.К., Гаврюк М.И., Логиновский В.А., Песков Ю.А.* Навигация. Учебник для вузов — 3-е издание, переработанное и дополненное. — СПб.: Издательство "Лань", 1997. - 512 с.
2. *Земляновский Д.К.* Лоция внутренних водных путей. Учебное пособие для вузов. - М.: Транспорт, 1982. - 216 с.
3. Наставление по штурманской службе на судах Минречфлота РСФСР (НШС-86). - Л.: Транспорт. Ленинградское отделение, 1987. - 144 с.
4. Правила плавания по внутренним водным путям. - М.: Рконсульт, 2003. - 80 с.
5. Практическое кораблевождение / Под ред. А.П. Михайловского. Кн. 1. Л.: ГУНиО МО, 1988. - 896 с.
6. Рекомендации по организации штурманской службы на судах (РШС-89). - СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1999. - 152 с.
7. *Удачин В.С., Шереметьев Ю.Н.* Навигационные знаки и огни, судовая сигнализация: Справочное пособие. - М.: Транспорт, 1988. - 255с.
8. Мореходные таблицы (МТ-2000). № 9011. - СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. - 576 с.