

*В.П. Медведев, доктор технических наук, Л.А. Коница
(ГП Центральный НИИ навигации и управления, Украина),
В.В. Конин, доктор технических наук (НАУ, Украина)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

Исследуются параметры движения объекта, полученные методом пассивной локации при наличии шумов.

Постановка задачи. Имеется движущийся объект и платформа, которая пеленгует объект. Необходимо, методом пассивной локации, определить параметры движения запеленгованного объекта - курс, скорость, положение. Предполагаем, что объект движется равномерно и прямолинейно. Пассивный локатор установлен на платформе, координаты, скорость, текущее время которой известны. При этом дисперсия определения углов пеленга пассивным локатором не превышает 0.4^2 градус². Эту задачу можно решить, измерив 4 пеленга на объект. По первым трем пеленгам определяется курс запеленгованного объекта. По четвертому пеленгу определяются координаты, скорость и расстояние до объекта. Рассмотрим 2 варианта решения задачи: без учета дисперсии в измерении пеленгов и с учетом дисперсии.

Решение задачи в условиях идеальных измерений [1]. Алгоритм решения проиллюстрирован на рис. 1.

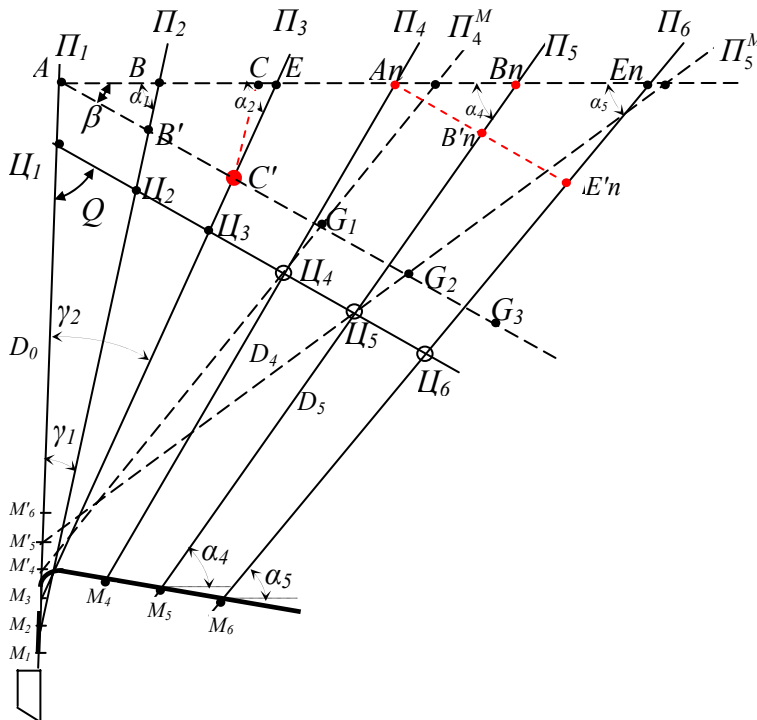


Рис. 1. Иллюстрация алгоритма определения параметров движения объекта в условиях идеальных измерений

На рис. 1 обозначено: M_1, \dots, M_6 - положение пассивного локатора на платформе (координаты платформы, через заданные промежутки времени); $M_i P_i$ - истинные пеленги (сплошные линии); $M_4 P_4^M, M_5 P_5^M$ - мнимые пеленги (пунктирные линии); A - априорно

заданное положение объекта; AE_n - вспомогательная прямая; AG_3 - прямая параллельная направлению движения объекта; $\Pi_1\Pi_6$ – истинная траектория движения объекта.

Для определения параметров движения объекта используется метод фиктивных пеленгов. Сущность определения параметров движения объекта в условиях идеальных измерений состоит в следующем. После того, как был запеленгован объект, платформа движется в направлении первого пеленга и снимает еще 2 пеленга. По полученным трем пеленгам определяем курс объекта. Для этого устанавливаем априорное расстояние до объекта в точке A и строим перпендикуляр (AE_n) к первому пеленгу в точке A . Ищем точки пересечения пеленгов с прямой AE_n и из полученных треугольников ABB' и AEC' находим угол наклона траектории объекта β . Строим фиктивную траекторию движения объекта ($AB'C'$), параллельную истинной траектории. Обозначим $c_1 = AB$, $c_2 = AE$

$\alpha_1 = 90^\circ - \gamma_1$, где γ_1 -угол между направлением движения платформы в начальный момент(Π_1) и направлением на объект в момент Π_2 ;

$\alpha_2 = 90^\circ - \gamma_2$, где γ_2 -угол между направлением движения платформы а начальный момент(Π_1) и направлением на объект в момент Π_3 ;

β - угол между прямой AE и траекторией объекта $AB'C'$.

Q - угол наклона мнимой траектории объекта, равный ($90^\circ - \beta$).

Можно показать, что Q определяется по формулам (учитывая, что $AB' = B'C'$):

$$\operatorname{tg}(\beta) = \frac{c_2 * \sin(\alpha_2) * \sin(\alpha_1) - 2 * c_1 * \sin(\alpha_1) * \sin(\alpha_2)}{2 * c_1 * \sin(\alpha_1) * \cos(\alpha_2) - c_2 * \sin(\alpha_2) * \cos(\alpha_1)}, \quad (1)$$

$$\beta = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}(\beta)), \quad (2)$$

$$Q = \pi - \beta. \quad (3)$$

При равномерном движении объект за равные интервалы времени проходит равные отрезки пути. На линии истинной траектории объекта ($\Pi_1... \Pi_6, \dots$), которая параллельна мнимой траектории его движения ($AB'C'...$), объект будет проходить равные отрезки пути. Так, если мы пеленгуем объект три раза, через равные интервалы времени, то отрезок AB' равен отрезку $B'C'$ (рис. 1). Это утверждение справедливо, если пеленгование производится из одной точки, когда платформа стоит, или из близко расположенных точек, когда платформа движется с небольшой скоростью.

Для определения местоположения пеленгуемого объекта после третьего пеленга платформа поворачивает в сторону перпендикулярно 2 пеленгу и увеличивает скорость (точка M_4 на рис. 1). Измеряется пеленг на объект (линия $M_4\Pi_4$). Кроме того, строится мнимый пеленг $M'_4\Pi_4^M$, который получился бы, если бы платформа продолжала двигаться в направлении первого пеленга, не меняя первоначальной скорости. Тогда пеленг проходит через точку G_1 , которая получится, если на продолжении линии $AB'C'$ отложить отрезок, равный расстоянию, проходимому объектом за время между пеленгами (AB'). На пересечении пеленга $M_4\Pi_4$ и мнимого пеленга $M'_4\Pi_4^M$ определяется местоположение объекта Π_4 . Далее, если есть необходимость, измеряются пеленги $M_5\Pi_5 \dots M_i\Pi_i$, и в точках пересечения с соответствующими мнимыми пеленгами определяются координаты пеленгуемого объекта в точках Π_5, Π_6, \dots .

Изложенный алгоритм дает высокую точность определения координат объекта при идеальных (без шумов) измерениях пеленгов. На рис. 2 изображен пример реализации алгоритма в среде MatLab без учета шумов. Для этой модели предполагаемое местоположение цели от пеленгатора выбрано 50 км, рассчитанная точка старта получилась на расстоянии 30 км, погрешность определения координат траектории меньше десятков метров после 5 пеленга. При наличии погрешностей в измерении пеленгов (сигма равна 0.4 градуса) изложенный алгоритм дает большие погрешности, поэтому необходимо принимать

меры для сглаживания измеренных пеленгов. Шумы пеленгов вводятся с помощью генератора случайных чисел, распределенных по нормальному закону со среднеквадратичным отклонением 0.4.

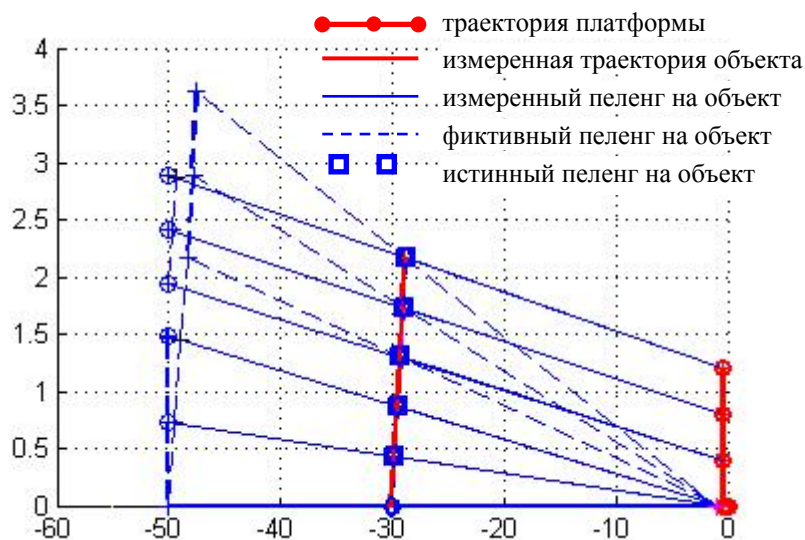


Рис. 2. Измерения положения объекта без учета шумов

Алгоритм решения при наличии шумов. Пеленги измеряют непрерывно через 2 сек. Поток измерений разделяется на блоки. Внутри каждого блока производится сглаживание пеленгов путем аппроксимации степенными полиномами. В конце блока пеленгов получаем один базовый пеленг, с которым производятся вычисления. Важно установить оптимальный размер блока для вычисления базового пеленга. С одной стороны, при большом интервале повышается точность вычислений, а, с другой стороны, увеличивается время вычислений. При анализе было принято время между базовыми пеленгами = 1.5 мин, (это 45 измерений пеленга каждые 2 сек). При этом первые предварительные результаты расчетов получают после 4 пеленга, через 6 мин после начала измерений. Через 9 мин, после 6 пеленга получаем уточненные результаты расчетов. На рис. 3, 4 приведен результат вычисления параметров движения объекта, с учетом шумов при измерении пеленгов. Уточнение параметров движения объектов производится следующим образом. Пеленги M_4 , M_5 и M_6 проектируют на ось АЕ и заново вычисляем угол β - угол между прямой $A_n E_n$ и траекторией объекта $A'_n E'_n$ по формулам (1, 2, 3), с учетом того, что $A_n B'_n = B'_n E'_n$. В формуле (1) заменяем курсовые углы на объект α_1, α_2 на углы α_4 и α_5 .

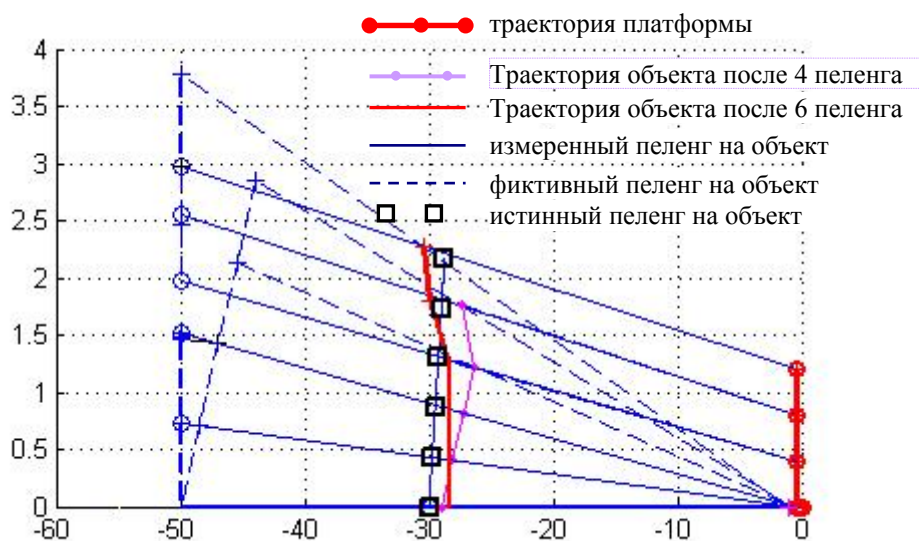


Рис. 3 Траектории движения объекта после 4 и после 6 пеленга, с учетом шумов

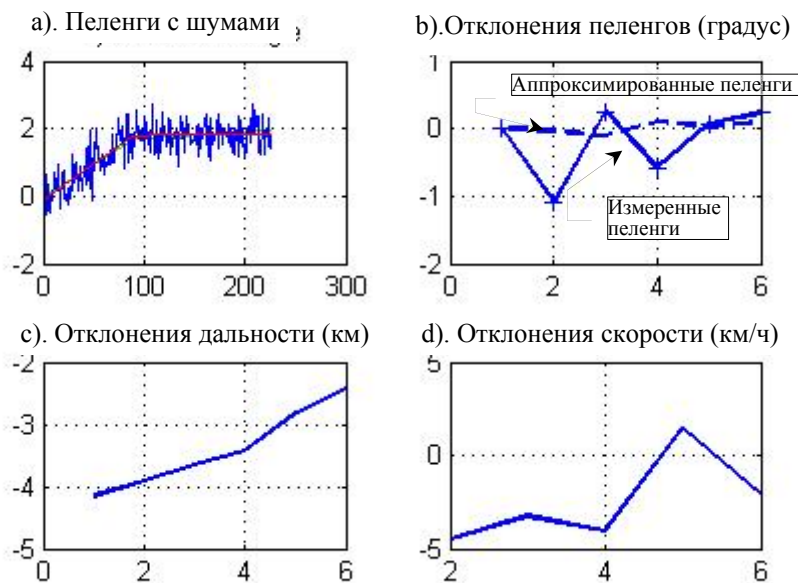


Рис. 4. Отклонения рассчитанных характеристик движения объекта от истинного значения при наличии шумов.

На рис. 4а по горизонтальной оси отложены номера пеленгов, измеряемых через 2 сек. На рис. 4b,c,d - по горизонтальной оси отложены номера базовых пеленгов, рассчитанных через 1.5 мин (45 измерений пеленгов через 2 сек.). Данные на рис. 3 и 4 приведены для одного набора случайных чисел. Шумы пеленгов вводят с помощью генератора случайных чисел, распределенных по нормальному закону со среднеквадратичным отклонением 0.4. Для анализа правильности работы алгоритма был произведен расчет 100 вариантов наборов случайных чисел. Финальные результаты изображены на рис. 5. Размер блока пеленгов, взятый для вычисления базового пеленга равен 45, что соответствует 1.5 мин. между базовыми пеленгами. Время между 1 и 4 базовыми пеленгами, необходимое для предварительного расчета параметров движения объекта равно 6 мин. Время между 1 и 6 базовыми пеленгами, необходимое для корректировки параметров движения объекта составляет 9 мин.

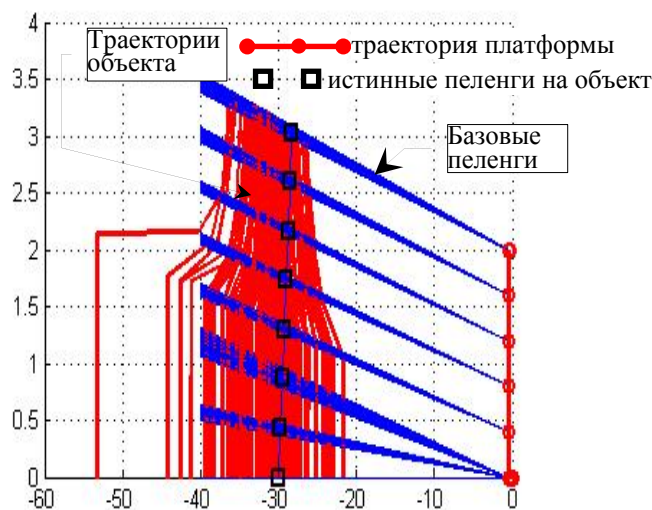


Рис. 5. Параметры движения объекта с учетом шумов

Список литературы

1. Справочник штурмана/ Под общей редакцией контр адмирала В.Д.Шандабылова/М.: Ордена Трудового Красного Знамени Военное издательство министерства обороны СССР, 1968.- 542 с.