

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ORBCOMM В ДРИФТЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Л.А. Краснодубец, В.С. Мотыжев**,
А.А. Туманов**

*Севастопольский государственный
технический университет
г. Севастополь, Студгородок
E-mail: tk@sevgtu.sebastopol.ua

**Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Предложен подход для оценивания траекторных параметров морских дрейфующих буев на основе использования новой системы спутниковой связи Orbcomm и рекуррентной процедуры калмановской фильтрации.

Система спутниковой связи Orbcomm предназначена для работы в режиме поискового вызова, передачи двухсторонних

данных в реальном масштабе времени и определении местоположения подвижных объектов.

Каждый спутник Orbcomm, массой 43 кг, имеет дисковую конструкцию диаметром 1,41 м и высотой 0,16 м, причем антенная система конструктивно совмещена с магнетометром и штангой градиентно-гравитационной стабилизации. На спутнике установлены два датчика горизонта. Баллистическое обеспечение движения ИСЗ основано на использовании бортового GPS датчика.

Космический сегмент системы (предполагается дозапуск ИСЗ) состоит из 16 КА на круговой полярной орбите высотой 825 км наклонением 70° и 108° и 32 КА на круговой орбите высотой 825 км наклонением 45°.

Спутниковая система связи Orbcomm, обеспечивает практически постоянную радиовидимость платформ сбора данных, установленных на дрейфтерах. Мгновенное распределение подспутниковых точек ИСЗ и зон радиовидимости по углу места 10° показано на рис. 1. Зависимость вероятности обнаружения ИСЗ под углом места не

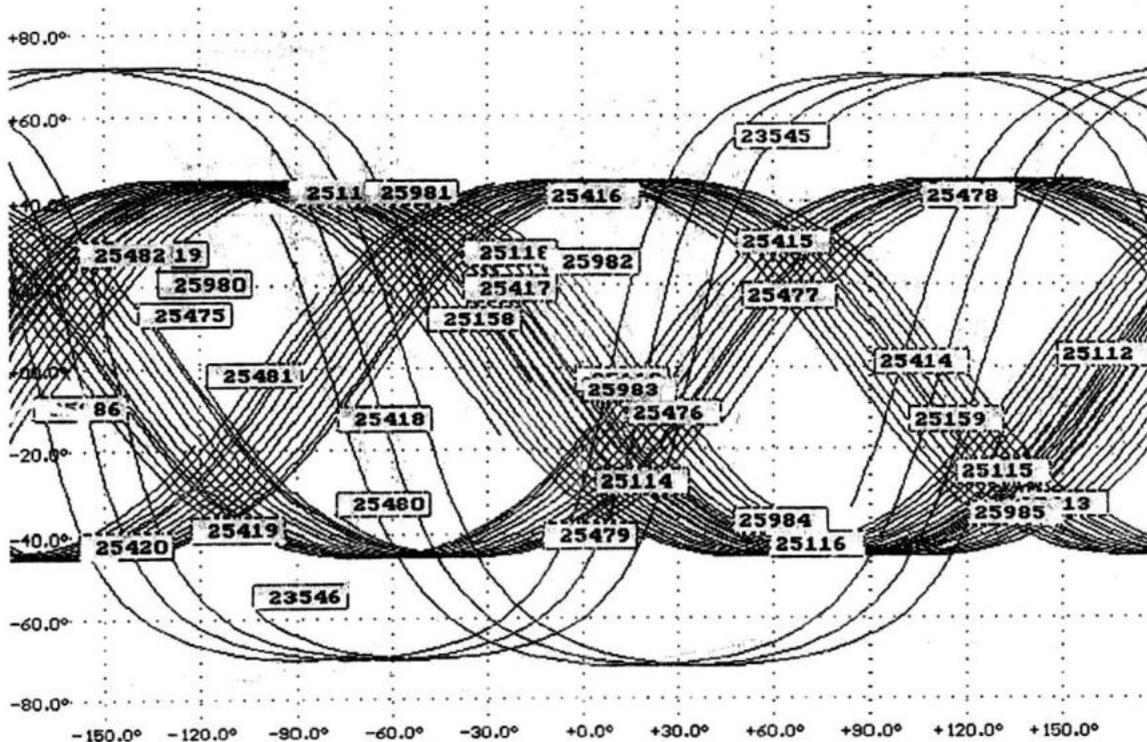


Рисунок 1 – Мгновенное распределение подспутниковых точек ИСЗ и зон радиовидимости

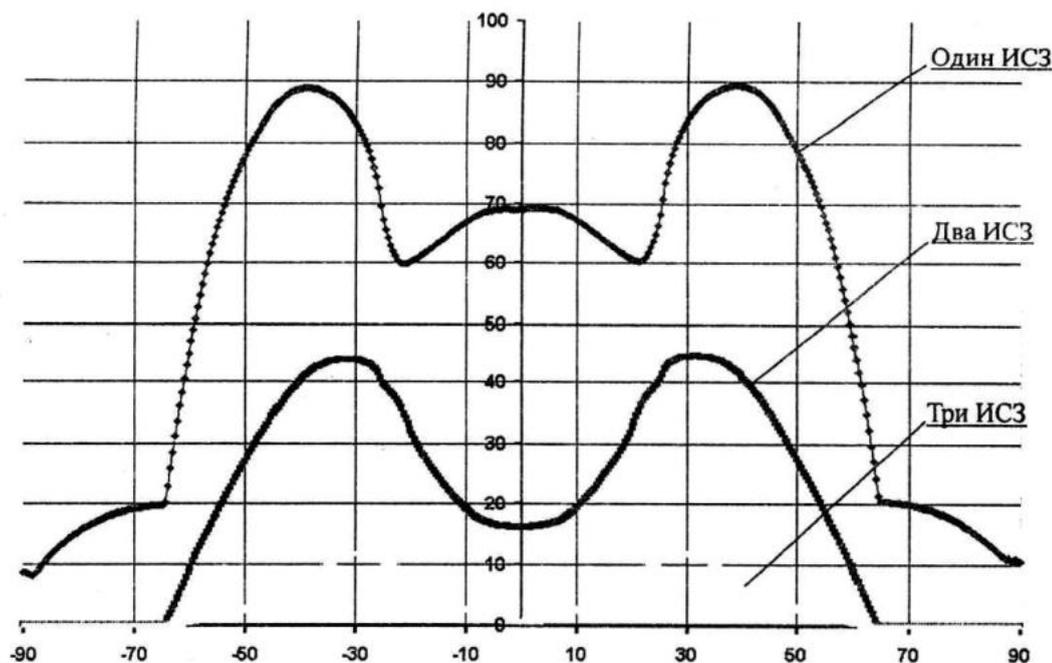


Рисунок 2 – Зависимость вероятности обнаружения одного, двух и трех ИСЗ в зоне радиовидимости.

(По оси Y отложена вероятность, по оси X дана широта места наблюдения.)

менее 10° от широты места наблюдения показана на рис. 2. Как видно из приведенного графика период обсерваций может быть существенно уменьшен по сравнению с системами Курс или Argos. Также появляется возможность передачи данных в любое заданное время, например, в синоптические сроки (через каждый час, начиная с 00 часов), поскольку ИСЗ находятся, практически постоянно, в зоне радиовидимости. Более того, на дрефтере может быть установлен приёмник системы Navstar GPS, который существенно повышает точность определения координат его местоположения. Это даёт возможность для управления процессом обработки данных, содержащих измерения географических координат дрефтера, использовать рекуррентную процедуру оптимальной фильтрации Калмана.

Принимая во внимание малый период обсерваций и небольшую скорость дрефтера, в качестве модели фильтруемого процесса можно выбрать два уравнения авторегрессии первого порядка, описывающие движение

дрефтера по траектории соответственно по широте и долготе

$$\begin{aligned} x_1(k) &= a_1 x_1(k-1) + q_1(k-1), \\ x_2(k) &= a_2 x_2(k-1) + q_2(k-1). \end{aligned}$$

где $x_1(k)$ – координата, соответствующая широте;

$x_2(k)$ – координата, соответствующая долготе;

q_1 и q_2 – белые шумы с дисперсиями соответственно σ_{1q}^2 и σ_{2q}^2 , характеризующие возмущения траектории;

a_1 и a_2 – коэффициенты состояния выбранной модели.

В качестве модели измерений выбраны следующие уравнения

$$\begin{aligned} y_1(k) &= c_1 x_1(k) + w_1(k), \\ y_2(k) &= c_2 x_2(k) + w_2(k). \end{aligned}$$

где w_1 и w_2 белые шумы с дисперсиями соответственно σ_{1w}^2 и σ_{2w}^2 , характеризующие ошибки измерения координат;

c_1 и c_2 – коэффициенты усиления в измерительных каналах.

В рассматриваемом случае рекуррентные формулы для вычисления оптимальных оценок для широты и долготы принимают вид

$$\begin{aligned} \bar{x}_1(k) &= a_1 \bar{x}_1(k-1) + k_1(k) \{y_1(k) - a_1 c_1 \bar{x}_1(k-1)\}, \\ \bar{x}_2(k) &= a_2 \bar{x}_2(k-1) + k_2(k) \{y_2(k) - a_2 c_2 \bar{x}_2(k-1)\} \end{aligned}$$

Приведенные уравнения представляют собой два скалярных дискретных фильтра Калмана [1,2]. Члены вида $a\bar{x}(n-1)$ предсказывают текущее значение соответствующей географической координаты. Вторые члены - корректируют на основании полученной оценки ошибку с учетом переменного коэффициента $k(k)$, который вычисляется по формуле

$$k(k) = \frac{c[a^2 p(k-1) + \sigma_q^2]}{\sigma_w^2 + c^2 \sigma_w^2 + c^2 a^2 p(k-1)},$$

где
$$p(k) = \frac{1}{c} \sigma_w^2 k(k).$$

Как следует из приведенных рекуррентных соотношений, определяющих оптимальные оценки, сначала необходимо рассчитать $k(k)$ по известному значению $p(k-1)$, а затем уже рассчитываются $p(k)$ и \bar{x} .

Для реализации описанного подхода предлагается построить два устройства оптимального оценивания, которые должны работать параллельно в режиме реального времени.

Проверка качества работы двуканального устройства оценивания проводилась методом имитационного моделирования.

Предполагалось, что дрефтер движется в переменной скоростью в местной прямоугольной системе координат. Закон изменения скорости по широте и долготе – гармонический с заданной постоянной составляющей, амплитудой и фазой. Число обсерваций принималось равным 1000. Период между обсервациями 10с. Параметры моделирования движения дрефтера приведены в табл. 1 и табл. 2.

Результаты имитационного моделирования приведены на рисунках 3 – 6

Таблица 1 – Параметры навигационного приемника GPS

Параметры	Значение
Дисперсия σ_{1w}^2 (м ²)	900
Дисперсия σ_{2w}^2 (м ²)	900

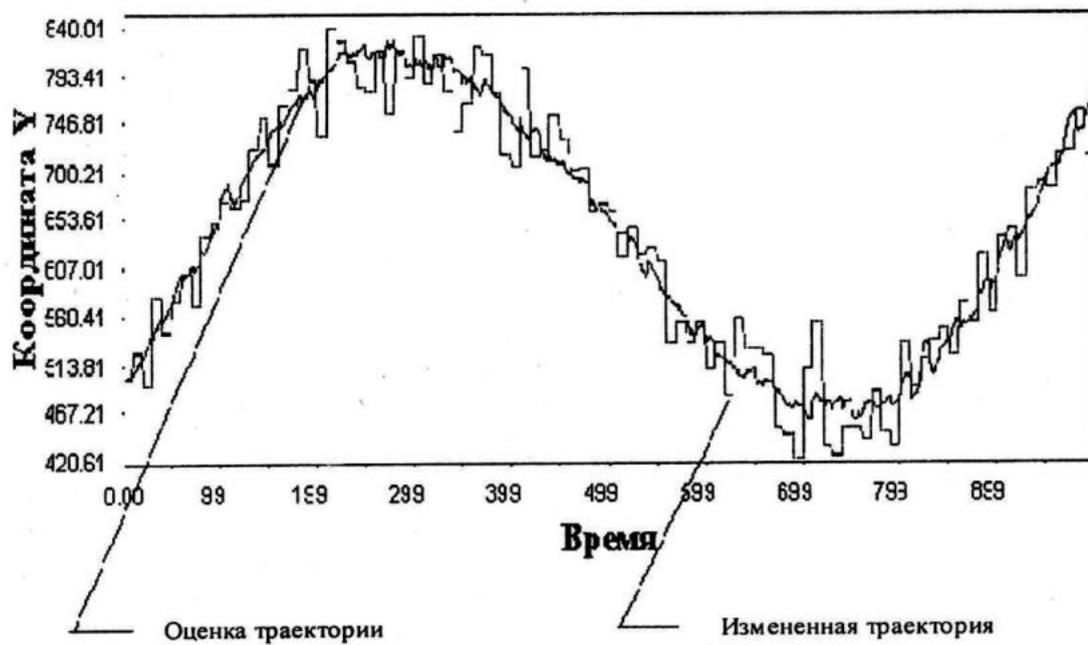


Рисунок 3 – График оценки и измерения траектории по координате X



Рисунок 4 – График оценки и измерения траектории по координате X

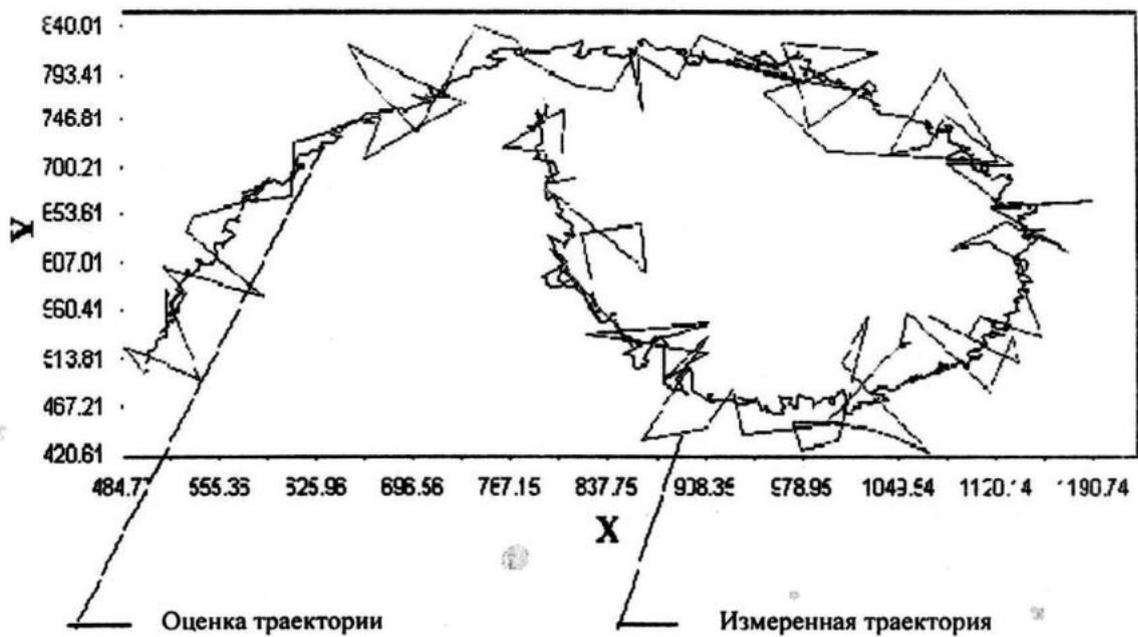


Рисунок 5 – График оценки и измерений траектории в плоскости XY

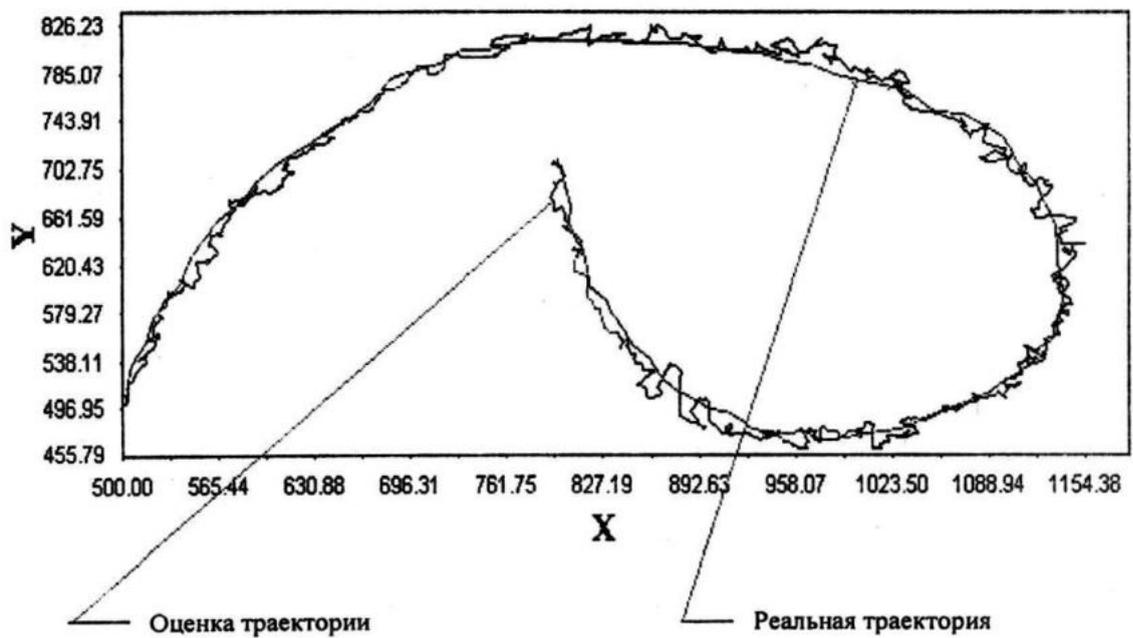


Рисунок 6 – График оценки и "истинной" траектории в плоскости XY

Таблица 2 – Параметры моделирования движения дрефтера по траектории

Параметры	Значение
Дисперсия σ_{1q}^2 (м ²)	9
Дисперсия σ_{2q}^2 (м ²)	9
Начальное положение X_0 (м)	500
Начальное положение Y_0 (м)	500
Постоянная составляющая скорости по X (м/с)	0,3
Амплитуда (м/с)	1,5
Частота (1/с)	0.01
Фаза (рад)	0
Постоянная составляющая скорости по Y (м/с)	0,3
Амплитуда (м/с)	1,5
Частота (1/с)	0.01
Фаза (рад)	$\pi/2$

Среднеквадратическое отклонение ошибки измерения позиционных координат дрефтера, выполненного при помощи системы GPS, составляет 30 м. При этом ошибка оценивания траекторных параметров не превышает 10 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакришнан А. Теория фильтрации Калмана: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 168 с.
2. Адаптивные фильтры: Пер. с англ./ Под ред. К.Ф.Н. Коуэна и П.М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.