

УДК 621.391.26 : 621.396.96

АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И ДВИЖЕНИЯ НАДВОДНОГО ОБЪЕКТА БОРТОВОЙ АППАРАТУРОЙ ДИСТАНЦИОННО ПИЛОТИРУЕМОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АЗИМУТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

А. С. Мясников, С. Г. Петухов, В. А. Сеницын

*Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова
АО «ВНИИРА», г. Санкт-Петербург*

В последние годы широкое развитие получил класс дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов (ДПЛА). Такие достоинства малых ДПЛА как высокая мобильность и относительно небольшие эксплуатационные расходы делают целесообразным их применение при решении задач определения координат местоположения и параметров движения наземных и надводных объектов, в частности, для задач экологического мониторинга. Важнейшей составной частью такого мониторинга является определение координат местоположения, направления и скорости движения объекта мониторинга (ОМ). Специфика малых ДПЛА заключается в том, что они, как правило, оборудуются простейшими пассивными устройствами сбора информации (ТВ, ИК и т.д.), не позволяющими с приемлемой точностью определять расстояние до ОМ. Однако с использованием информации, поступающей от этих датчиков и от пилотажно-навигационного комплекса, может быть измерен азимут на ОМ. В случае, когда скорость ДПЛА значительно превосходит скорость ОМ, совокупность измерений азимута можно рассматривать как набор измерений многопозиционной угломерной системы. Известно [1], что в подобной системе, состоящей из двух пунктов наблюдения, максимальная точность определения координат объекта достигается в плоскости, перпендикулярной к прямой, их соединяющей. Следовательно, для наилучшего измерения координат в каждый момент времени вектор скорости ДПЛА должен быть перпендикулярен направлению на ОМ. Таким образом, наилучшей траекторией движения ДПЛА является кривая, близкая к окружности. Блок-схема алгоритма оценивания координат и составляющих скорости ОМ с помощью линеаризованной модификации фильтра Калмана [2] приведена на рис. 1.

Уравнения блоков имеют вид:

Блок вычисления априорной оценки вектора состояния: $\bar{X}(k+1) = \Phi \hat{X}(k)$

Блок преобразования координат:

$$\bar{A}(k) = \arctg \left(\frac{\bar{z}(k) - z^{\hat{A}I \hat{E}A}(k)}{\bar{x}(k) - x^{\hat{A}I \hat{E}A}(k)} \right), \quad \bar{D}(k) = \sqrt{(\bar{x}(k) - x^{\hat{A}I \hat{E}A}(k))^2 + (\bar{z}(k) - z^{\hat{A}I \hat{E}A}(k))^2}$$

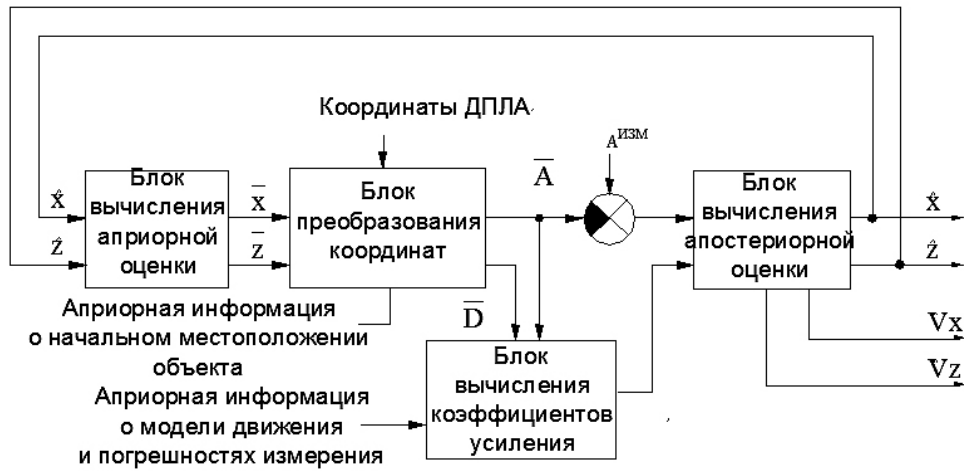


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценивания

Блок вычисления апостериорной оценки вектора состояния:

$$\hat{X}(k) = \bar{X}(k) + K(k) \cdot (A^{\text{изм}}(k) - \bar{A}(k))$$

Блок вычисления коэффициентов усиления: $M(k+1) = \Phi P(k) \Phi^T + Q$,

$$K(k) = M(k) \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial X} \right)^T \Bigg|_{X = \bar{X}(k)} \cdot \left[\begin{array}{c} \left(\frac{\partial h}{\partial X} \right) \Bigg|_{X = \bar{X}(k)} \\ M(k) \left(\frac{\partial h}{\partial X} \right)^T \Bigg|_{X = \bar{X}(k)} \end{array} + R \right]^{-1},$$

$$\frac{\partial h}{\partial X} \Bigg|_{X = \bar{X}(k)} = \left(-\frac{\sin \bar{A}(k)}{\bar{D}(k)}, 0, \dots, 0, \frac{\cos \bar{A}(k)}{\bar{D}(k)}, 0, \dots, 0 \right),$$

$$P(k) = \left(I - K(k) \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial X} \right) \Bigg|_{X = \bar{X}(k)} \right) \cdot M(k) \cdot \left(I - K(k) \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial X} \right) \Bigg|_{X = \bar{X}(k)} \right)^T + K(k) R(k) K^T(k).$$

Здесь $X = (x, V_x, 0, \dots, 0, z, V_z, 0, \dots, 0)$ – вектор состояния объекта размерности $m \geq 4$, Φ –

фундаментальная матрица объекта, $\bar{X}(k), \hat{X}(k)$ – априорная и апостериорная оценки вектора состояния, $M(k), P(k)$ – матрицы ковариаций погрешности априорной и апостериорной оценки вектора состояния, R, Q – матрицы ковариаций ошибок измерения азимута и динамики объекта соответственно, I – единичная матрица.

Были проведены исследования предположенного алгоритма применительно к задаче мониторинга загрязнений, вызванных разливом нефтепродуктов на водной поверхности.

На рис. 2 и 3 приведены зависимости от времени ошибок определения координат и составляющих скорости ОМ.

При проведении моделирования предполагалось, что ОМ движется прямолинейно со скоростью 4 м/с. Траектория движения ДПЛА задавалась в виде окружности радиусом 5 км, описанной вокруг точки начального местоположения ОМ. Скорость движения ДПЛА была при-

нята равной 50 м/с, а среднеквадратическая ошибка определения азимута на ОМ – 1 град. Априорные значения оценок координат отличались от истинных на 1000 м каждая. Начальные значения оценок составляющих скорости приняты равными 0 м/с.

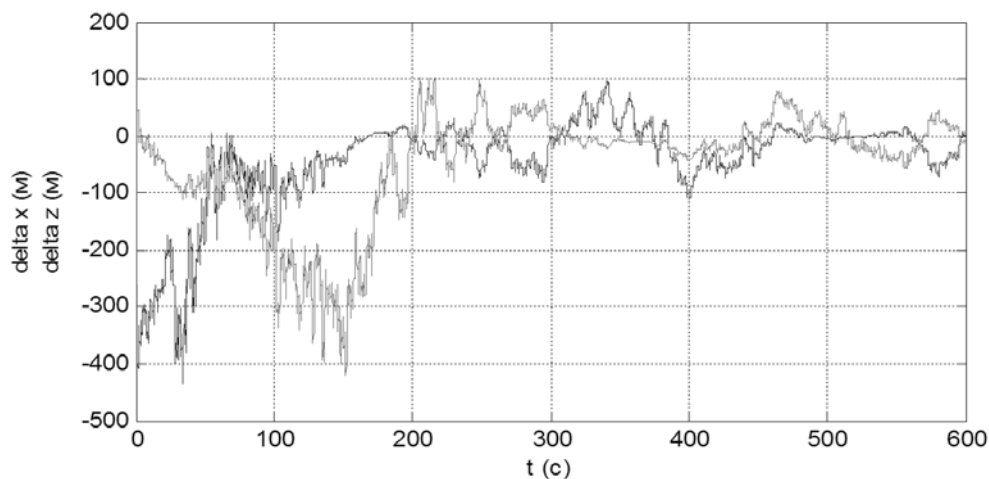


Рис. 2. Погрешности оценивания координат

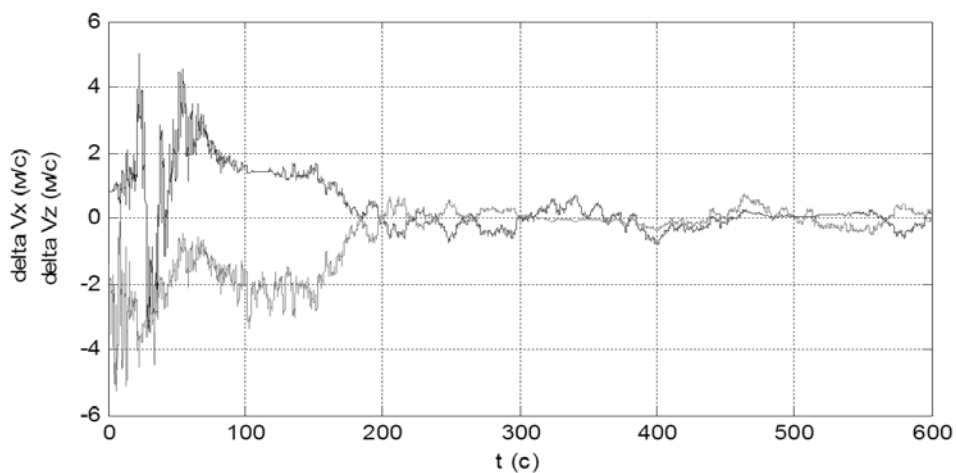


Рис. 3. Погрешности оценивания скорости

Выводы. Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о том, что при реализации заданной траектории движения ДПЛА предлагаемый алгоритм обработки азимутальных измерений позволяет получить приемлемые оценки координат и составляющих скорости ОМ с погрешностями на порядок меньше априорных.

Библиографический список

1. Кондратьев В. С., Котов А. Ф., Марков Л. Н. Многопозиционные радиотехнические системы. М.: Радио и связь, 1986.
2. Брайсон А. Е., Хо Ю Ши. Прикладная теория оптимального управления. М. Мир, 1972.