

УДК 623.746 (519)

Коврижкін І. О.

Національний авіаційний університет, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ

В статті розглянутий метод непрямого визначення швидкості та напрямку вітру шляхом обробки даних отриманих лише з системи супутникової навігації. Даний метод рекомендований для використання в легких безпілотних літальних апаратах, в силу легкості його застосування що не потребує встановлення додаткового обладнання.

Задача визначення вітру на борту літального апарату (ЛА), як правило вирішується з використанням так званого «трикутника швидкостей».

$$W = V + U,$$

де W – вектор шляхової швидкості (швидкість ЛА щодо землі), V – повітряна швидкість (ЛА щодо атмосфери) і U – швидкість вітру.

При, здавалося б простому рішенні, практична реалізація його потребує серйозної апаратної підтримки. Звернемо увагу на той факт, що всі величини векторні, що в свою чергу означає необхідність визначення не тільки модуля повітряної швидкості $|V|$, але і кутової орієнтації ЛА. Тільки для визначення вектора V потрібна система повітряних сигналів (СВС) і система визначення кутів (крен, тангаж, курс: гіроплатформа, гіровертикаль, БНС і т.п.).

Для визначення шляхової швидкості на ЛА використовуються дорогі доплерівські вимірювачі (ДИСС) та/або системи числення шляху. Застосування згаданих традиційних методів на БПЛА «малих» класів (міні-, мікро-) досить проблематично через масогабаритні характеристики, проблеми енергетичного забезпечення і дороговизни. Тим не менш визначення вітру на ЛА таких класів досить актуально, наприклад у задачі доставки некерованих вантажів методом парашутного десантування на обмежену за площею поверхню.

Як правило, в БПЛА згаданих класів в якості основного навігаційного пристрою використовується відносно недорога система супутникової навігації (СН). Поряд з сигналами географічних координат у складі вихідних сигналів СН видає сигнал модуля шляхової швидкості $|W|$ і кут курсу (азимуту ψ) ЛА [1].

Розглянемо можливість визначення швидкості вітру при такому мінімальному інформаційному забезпеченні. Завдання можна вирішити при двох основних нескладних припущеннях, цілком прийнятних для цілого ряду практичних завдань:

1. Швидкість вітру постійна і горизонтальна (відсутня вертикальна складова).

2. ЛА виконує розворот (непрямолінійний політ) в горизонтальній площині з постійною (на час маневру, 5...40 сек) повітряною швидкістю.

Таким чином, для визначення вітру, безпосередньо перед застосуванням (наприклад, на підльоті перед скиданням вантажу) ЛА повинен виконати поворот/розворот. Відзначимо, що допущення 1 є загальноприйнятим при вирішенні балістичної задачі [2].

Отже розглянемо рух ЛА в горизонтальній площині. Позначимо горизонтальну площину - осі $XgYg$ (індекс g позначає земну горизонтальну систему координат, що необертается). Напрямок осей не принциповий, але для певності можна вважати вісь Xg спрямованою на північ. Нехай відомі два виміри вектора (знаємо модуль та кут курсу) шляхової швидкості W_1 та W_2 .

З'єднаємо кінці векторів W_1 та W_2 – це відрізок bc або пряма 1 (рис. 1). Трикутник abc рівнобедрений в силу припущення 2. Позначимо буквою m середину відрізка bc . Проведемо пряму 2 через крапки a та m .

Знайдемо рівняння прямої 1 в вигляді $A_1x + B_1y + C_1 = 0$. Підставляючи значення коефіцієнтів отримуємо:

$$\begin{aligned} & \overbrace{(W_1y - W_2y)}^{A_1} x + \overbrace{(W_2x - W_1x)}^{B_1} y + \\ & \overbrace{(W_1x \times W_2y - W_2x \times W_1y)}^{C_1} = 0; \end{aligned}$$

Інша форма рівняння прямої $y = kx + b$ (де k тангенс кута нахилу прямої до вісі абсцис). Тоді для прямої 1:

$$k_1 = -\frac{A_1}{B_1}.$$

Знайдемо рівняння прямої 2, Вона проходить через точку m , координати котрої:

$$m = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(W_2x - W_1x) + W_1x \\ \frac{1}{2}(W_1y - W_2y) + W_2y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_x \\ m_y \end{bmatrix}$$

і перпендикулярна до прямої 1. Тобто:

$$k_2 = -\frac{1}{k_1} = \frac{B_1}{A_1}.$$

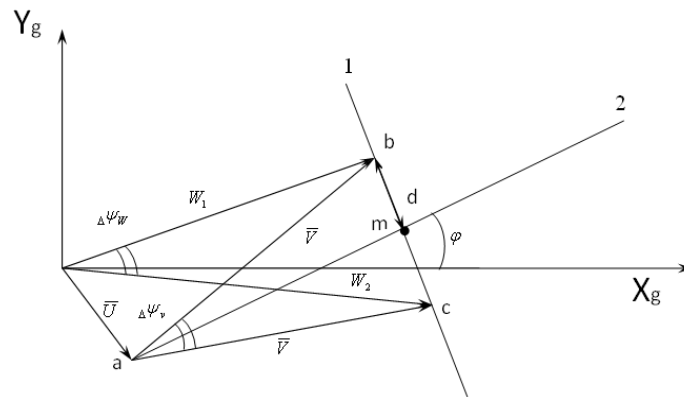


Рис 1.

Знайдемо коефіцієнт b_2 прямої 2:
 $y_2 = k_2 x_2 + b_2$;

$$b_2 = y_2 - k_2 x_2 = m_y - k_2 m_x;$$

тоді кут $\varphi = \arctg(k_2)$.

Таким чином, рівняння прямої 2 прийме вигляд:

$$y_2 = \frac{B_1}{A_1} x + \left(m_y - \frac{B_1}{A_1} m_x\right);$$

Визначемо відстань $|ma|$ (висоту) та V – бічну сторону трикутника:

$$d = \frac{|bc|}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{(W_{1x} - W_{2x})^2 + (W_{1y} - W_{2y})^2};$$

$$\text{Тоді} \quad \frac{d}{V} = \sin \left| \frac{\Delta \Psi_v}{2} \right|;$$

$$V = \frac{1}{\sin(\Delta \Psi_v / 2)} \times d;$$

$$\text{тут} \quad |\Delta \Psi_v| > 0.$$

$$p = |ma| = \frac{1}{\text{tg}(\Delta \Psi_v / 2)} \times d = \sqrt{V^2 - d^2};$$

Проекція відрізка ma на вісі x та y :

$$p_x = p \cdot \cos \varphi = p \cdot \cos(\arctg(k_2))$$

$$p_y = p \cdot \sin \varphi = p \cdot \sin \varphi.$$

Отримаємо шукане значення:

$$U = \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_x - p_x \\ m_y - p_y \end{bmatrix}.$$

Слід відмітити, що, в силу прийнятих гіпотез, запропонований метод дозволяє визначити складові вітру тільки в горизонтальній площині. Сама по собі ця обставина є прийнятною для більшості практичних задач застосування БПЛА. Оскільки вертикальна складова вітру є суттєвою лише в гірській місцевості на порівняно невеликих висотах над поверхнею. Зазвичай для таких випадків запропонована методика не є прийнятною.

Другою особливістю практичної сторони викладеного підходу є той факт, що ЛА необхідно виконати горизонтальний маневр виду «правильний віраж». Для керованих польотів правильний віраж є основним «класичним» елементом пілотування і не викликає складнощів. Проте аналіз результатів польотів БПЛА, які були доступні автору показує, що при виконанні віражу на деяких зразках БПЛА, є ділянка «провалу по висоті» на перших секундах виконання довороту. Це пояснюється тим, що в системі автоматичного управління (САУ) БПЛА канали управління по курсу і тангажу (висоті) є автономними. І усунення втрати висоти, що викликана появою довороті компенсується з запізненням. Дуже незначна закону управління САУ може компенсувати цю обставину.

Проведений аналіз моделювання підтверджує працездатність методу, так при виконанні довороту БПЛА за курсом на величину порядку 30 градусів швидкості вітру мала похибка порядку 3...5 %.

Таким чином, ми привели метод оцінки вектора швидкості вітру від вимірювань ССН (GPS). Треба мати на увазі наступні зауваження:

- метод обумовлює визначення 2-х компонент вектора вітру;
- метод повідомляє про вітер у режимі реального часу; індивідуальні оцінки вітру можуть бути використані для рішень і обчислень негайно у реальному часі, або потрібна фільтрація (усереднення), щоб забезпечити узагальнену оцінку вітру;
- для того, щоб метод працював, ЛА обов'язково повинен змінити курс польоту.

Список літератури

1. Горелин И.С., Коврижский О.Г., Королев В.В. Авиационные прицельно-навигационные системы. Киевский институт военно-воздушных сил. – К.: 1996.
2. Коврижский О.Г., Коврижский И.О. Блок аеродинамічного корегування польотом авіаційної бомби з використанням сигналів супутникової навігації. Тез. доп. «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах». – К.: 2010. – 170-171 с.

Науковий керівник – Гамаюн В. П., д-р техн. наук, проф.