

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ОТСУТСТВИИ СИГНАЛОВ GPS

А.А. Асатрян

Национальный политехнический университет Армении

В настоящее время многороторные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) широко используются в различных военных и гражданских областях, включая спасательные работы, обнаружение очагов пожаров в лесах, контроль технического состояния дорог и др. Полет БПЛА по заданным траекториям при этом осуществляется с использованием сигналов GPS, которые определяют координаты аппарата с достаточно высокой точностью (от десятков сантиметров до нескольких метров). Однако на практике возможны ситуации, когда сигналы GPS искажены или отсутствуют. В таких случаях важной задачей является определение текущих координат БПЛА, что необходимо для определения координат наземных объектов, за которыми осуществляется наблюдение с БПЛА.

В работе предлагается подход к определению геодезических координат БПЛА в случае, когда сигналы GPS отсутствуют, но известны координаты двух наземных, так называемых “опорных” объектов. В качестве опорных выбираются объекты, которые выделяются на фоне местности и могут быть легко идентифицированы, например, отдельные строения, радиорелейные мачты, опоры линий электропередач и т.д. Аппаратно система определения координат БПЛА при отсутствии сигналов GPS состоит из двух комплектов видеокамер с лазерными дальномерами, которые установлены на корпусе летательного аппарата в двухосных кардановых подвесах. Каждая видеокамера наводится на соответствующий опорный объект на поверхности Земли, после чего оси кардановых подвесов фиксируются. Вычисление текущих координат БПЛА осуществляется на основе известных координат опорных объектов, расстояний от этих объектов до БПЛА (т.е. сигналов с лазерных дальномеров), а также высоты БПЛА над поверхностью Земли. Приведен алгоритм численного определения координат БПЛА на языке MATLAB.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, геодезические координаты, опорные объекты, кардановый подвес, лазерный дальномер, сигналы GPS.

Введение. В настоящее время многороторные беспилотные летательные аппараты широко используются в различных военных и гражданских областях, включая спасательные работы, определение очагов пожаров в лесах, контроль технического состояния дорог и железнодорожных путей и др. [1–3]. Полет БПЛА по заданным траекториям

при этом осуществляется с использованием сигналов GPS (Global Positioning System), которые определяют координаты аппарата с достаточно высокой точностью (от десятков сантиметров до нескольких метров). Вместе с тем на практике возможны ситуации, когда в силу разных причин сигналы GPS искажены или отсутствуют. Поэтому определение текущих координат БПЛА без использования сигналов GPS является актуальной и важной задачей.

В настоящей работе предлагается подход к определению геодезических координат БПЛА в случае, когда сигналы GPS отсутствуют, но известны координаты двух наземных, так называемых “опорных” объектов (ОО) (рис. 1). На практике в качестве опорных выбираются объекты, которые выделяются на фоне местности и могут быть легко идентифицированы. Например, это могут быть отдельно расположенные строения, опоры линий электропередач, радиорелейные мачты и т.д.

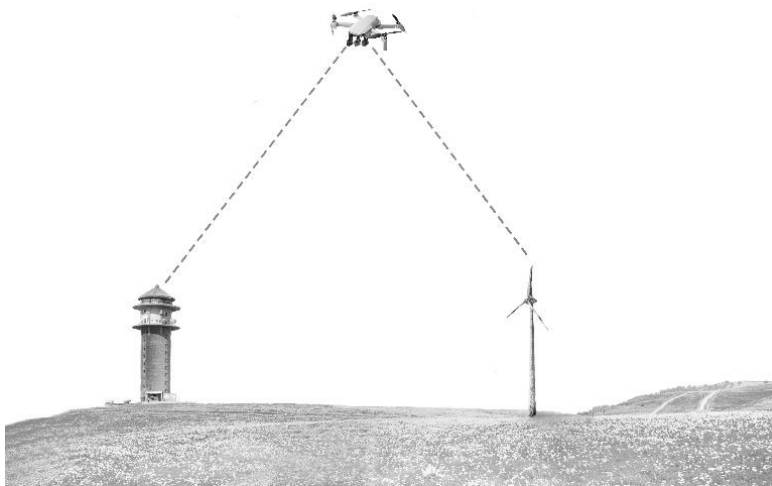


Рис. 1. Определение координат БПЛА по известным координатам двух наземных опорных объектов

Описание системы определения координат БПЛА. В предлагаемой системе на БПЛА имеются два комплекта видеокамер с лазерными дальномерами, которые установлены на корпусе аппарата в двухосных кардановых подвесах (рис. 2). Подобное сочетание видеокамер с лазерными дальномерами (для простоты, будем называть их просто камерами) в кардановых подвесах широко используется на практике (рис. 3) [4-7].

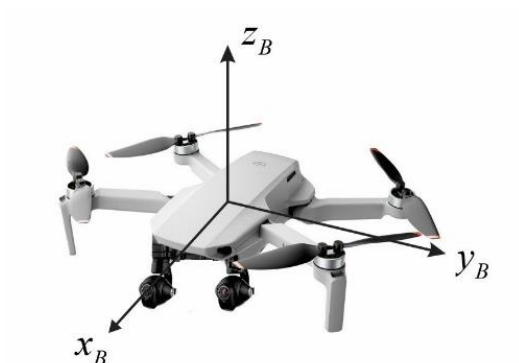


Рис. 2. БПЛА с двумя камерами в кардановых подвесах



Рис. 3. Камера с лазерным дальномером в двухосном кардановом подвесе

Свяжем с каждой из камер ортогональную систему координат (СК) z_i, x_i, y_i ($i=1,2$). Аналогично, свяжем с каждым кардановым подвесом ортогональную СК z_i^G, x_i^G, y_i^G ($i=1,2$), где оси z_i^G и y_i^G являются осями вращения (рис. 4).

В исходном положении СК z_i, x_i, y_i и z_i^G, x_i^G, y_i^G ($i=1,2$) обеих камер совпадают с жестко связанной с БПЛА СК x_B, y_B, z_B (рис. 2), оси которой направлены вдоль главных моментов инерции аппарата. Наведение камер на ОО осуществляется последовательными вращениями на углы ψ_i, θ_i вокруг осей кардановых подвесов z_i^G и y_i^G ($i=1,2$). Когда оба ОО оказываются в центральной области поля зрения камер, оси подвесов фиксируются, и СК z_i, x_i, y_i ($i=1,2$) оказываются жестко фиксированными по отношению к корпусу БПЛА.

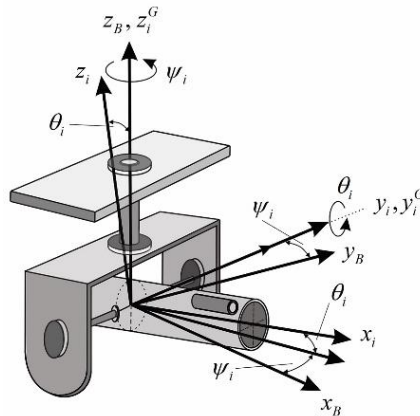


Рис. 4. Оси координат, связанные с камерами

Поскольку обе камеры являются двухкоординатными, то имеем четыре оси чувствительности. Для образования трехосной “измерительной” СК выберем ось y_1 первой камеры и оси z_2 и y_2 второй камеры. Нумеруя камеры индексами 1, 2, получим следующие выражения для матриц вращения R_i ($i=1,2$), описывающих повороты ортогональных СК, жестко связанных с камерами, по отношению к базовой СК x_B, y_B, z_B :

$$R_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i \cos \psi_i & -\sin \psi_i & \cos \psi_i \sin \theta_i \\ \cos \theta_i \sin \psi_i & \cos \psi_i & \sin \psi_i \sin \theta_i \\ -\sin \theta_i & 0 & \cos \theta_i \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Считая, что углы поворотов корпуса БПЛА по отношению к инерциальной СК в режиме парения (hovering mode) являются малыми, эти углы можно рассматривать как компоненты вектора ошибок $\varepsilon_\eta(t)$. Переходы от этого вектора к СК z_i, x_i, y_i даются выражениями

$$\varepsilon_i(t) = R_i^T \varepsilon_\eta(t) \quad (i=1,2), \quad (2)$$

где

$$R_i^T = \begin{bmatrix} \cos \theta_i \cos \psi_i & \cos \theta_i \sin \psi_i & -\sin \theta_i \\ -\sin \psi_i & \cos \psi_i & 0 \\ \cos \psi_i \sin \theta_i & \sin \psi_i \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Комбинируя вторую и третью строки матрицы R_2^T со второй строкой матрицы R_1^T , взятой как первая строка результирующей матрицы, получим следующую матрицу R_S :

$$R_S = \begin{bmatrix} -\sin \psi_1 & \cos \psi_1 & 0 \\ -\sin \psi_2 & \cos \psi_2 & 0 \\ \sin \theta_2 \cos \psi_2 & \sin \theta_2 \sin \psi_2 & \cos \theta_2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

строки которой являются направляющими косинусами осей измерительной СК $y_1 y_2 z_2$ по отношению к СК $x_B y_B z_B$.

На основе описанного многороторного БПЛА с двумя видеокамерами с лазерными дальномерами разработан алгоритм определения текущих координат БПЛА по имеющейся информации о координатах двух опорных объектов (ОО) на поверхности Земли при отсутствии сигналов GPS. Разработанный алгоритм реализован на языке MATLAB и является одним из программных модулей графического интерфейса пользователя (ГИП) UAV_GUI, предназначенного для автоматизации расчетов координат БПЛА и наземного объекта, за которым осуществляется наблюдение с БПЛА [8].

Предложенный алгоритм вычисления координат БПЛА по известным координатам опорных объектов можно описать при помощи рис. 5, полученного с применением ГИП UAV_GUI. Исходными данными алгоритма являются: координаты x_1, y_1, h_1 и x_2, y_2, h_2 опорных объектов ОО1 и ОО2, которые находятся в базе данных бортового компьютера; углы наведения камер на опорные объекты ψ_i, θ_i ($i=1,2$); измеренные расстояния L_1 и L_2 от БПЛА до опорных объектов, т.е. сигналы с лазерных дальномеров, а также высота h_{UAV} БПЛА над поверхностью Земли, определяемая соответствующими датчиками высоты, входящими в стандартный комплект измерительных устройств любого БПЛА [1, 2]. На первом этапе представленная на рис. 5 пространственная картина проецируется на поверхность Земли, т.е. осуществляется переход от 3D-изображения к 2D-изображению. Далее на втором этапе производится расчет координат БПЛА исходя из взаимного положения БПЛА и опорных объектов, учитывая, что координаты последних задаются в геодезической системе координат, предполагающей сферическую форму Земли [9].

В качестве примера на рис. 6 представлены возможные варианты взаимного расположения проекций БПЛА и опорных объектов на поверхность Земли, а также показаны координатные оси геодезической СК $O_G X_G Y_G$.

Рассмотрим более подробно вариант на рис. 6а. На рис. 7а показано то же расположение БПЛА и ОО с указанием соответствующих координат. Схематически процедура определения координат x_{UAV}, y_{UAV} БПЛА на поверхности Земли состоит в следующем. Начало O_G геодезической СК

переносится в точку x_1, y_1 , т.е. в точку расположения первого опорного объекта.

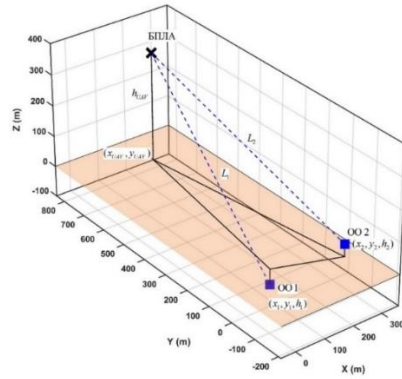


Рис. 5. Определение координат БПЛА по координатам опорных объектов

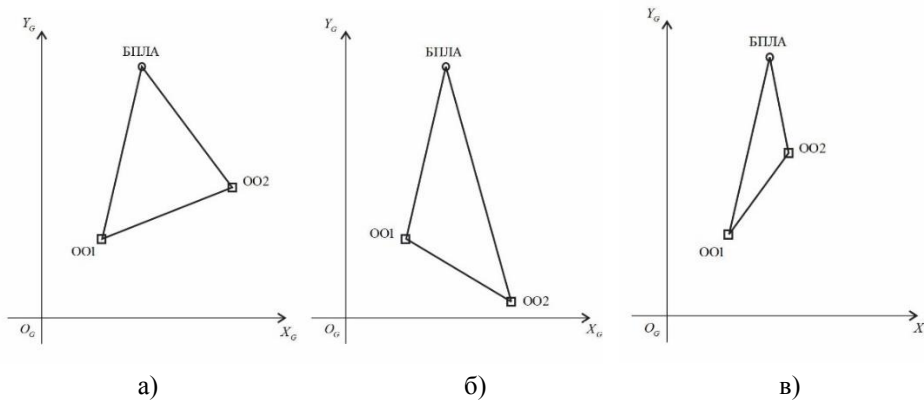


Рис. 6. Возможные варианты взаимного расположения БПЛА и опорных объектов

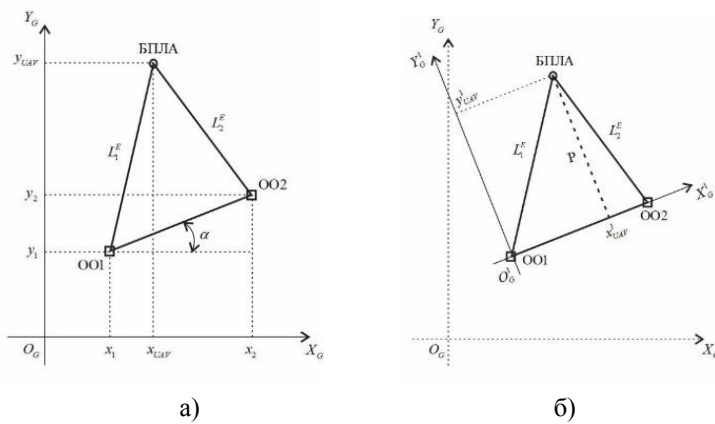


Рис. 7. К определению координат БПЛА

Затем осуществляется поворот вокруг нового начала координат O_G^1 на угол α , при котором ось X_G^1 оказывается направленной вдоль отрезка, соединяющего координаты x_1, y_1 и x_2, y_2 первого и второго ОО (рис. 7б). Математически поворот на плоскости вокруг начала координат O_G^1 на угол α описывается ортогональной матрицей

$$R_\alpha = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \quad R_\alpha^{-1} = R_\alpha^T = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Вершина полученного в результате указанных преобразований треугольника находится в точке расположения БПЛА в новой СК, длина Δ противоположной стороны равна расстоянию между опорными объектами на поверхности Земли:

$$\Delta = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \quad (6)$$

а длины сторон L_1^E и L_2^E равны длинам проекций лучей L_1 и L_2 на рис. 5 на поверхность Земли. Иными словами, длины всех сторон треугольника на рис. 7б известны. Как следует из рис. 7б, в новой СК $O_G^1 X_G^1 Y_G^1$ координата y_{UAV}^1 равна длине P высоты, проведенной из вершины на основание, а зная величину P , можно легко определить и координату x_{UAV}^1 . Определив координаты БПЛА в новой СК $O_G^1 X_G^1 Y_G^1$, нетрудно определить указанные координаты в исходной СК $O_G X_G Y_G$ обратным поворотом и обратным перемещением начала координат. Ниже приведен описанный алгоритм на языке MATLAB.

```
function U0 = FindUAVCoord(x1,y1,h1,L10,x2,y2,h2,L20,Huav)
x = [x1,x2,x3,x1]; y = [y1,y2,y3,y1]; h = [h1,h2,h3,h1]; L = zeros(1,3);
for in = 1:3
    L(in) = sqrt(abs(x(in) - x(in+1))^2 + abs(y(in) - y(in+1))^2 + abs(h(in) -
h(in+1))^2);
end
L10 = L(3); L20 = L(2); L30 = L(1);
gamma = acosd((L10^2 + L20^2 - L30^2)/(2*L10*L20));
L3in = sqrt(L10^2 + L20^2 - 2*L10*L20*cosd(gamma)); % initial value of
L3
dY = y2 - y1; dX = x2 - x1;
L3inA = sqrt(dX^2 + dY^2 + abs(h1 - h2)^2);
Ltot = [L10, L20, L3in]; % lengths of the triangle's sides
```

```

H = [h1, h2, h3 + Huav]; % the first choice for the unknown h3,
[Hmin, imin] = min(H); dH = H - Hmin;
[dHmax, imax] = max(dH); % index of the highest vertex
if imin == 1
    L1 = sqrt(L10^2 - dH(3)^2); L2 = sqrt(L20^2 - (dH(2) - dH(3))^2);
else
    L1 = sqrt(L10^2 - dH(1)^2); L2 = sqrt(L20^2 - dH(2)^2);
end
L3E = sqrt(dX^2 + dY^2); % distance between two reference objects on the
Earth
gammaE = acosd((L1^2 + L2^2 - L3E^2)/(2*L1*L2)); % New gamma on the
Earth plane
alpha = atand(dY/dX);
S = L1*L2*sind(gammaE)/2; % area of the square
yU10 = 2*S/L3E; % height of the triangle - y coordinate in the new frame
Ang1 = acosd((L3E^2 + L1^2 - L2^2)/(2*L1*L3E)); % angle between L1 and
L3E
xU10 = sqrt(L1^2 - yU10^2);
if Ang1 >= 90
    xU10 = -xU10 ;
end
U10 = [xU10; yU10];
R = [cosd(alpha) -sind(alpha); sind(alpha) cosd(alpha)]; % transformation
matrix
U0 = [x1; y1] + R*U10; % UAV coordinates in the basic frame
end

```

Для вариантов взаимного расположения БПЛА и опорных объектов на рис. 6б и 6в процедура остается той же, однако точка пересечения высоты с основанием находится левее точки x_1^1 , y_1^1 (точки ОО1) или правее точки x_2^1 , y_2^1 (точки ОО2). Данное обстоятельство учитывается в приведенном выше алгоритме.

Следует указать, что описанная система определения координат БПЛА при помощи двух видеокамер в кардановых подвесах позволяет также повысить точность определения угловых координат (углов крена, тангажа и рыскания) самого БПЛА, которые обычно определяются интегрированием сигналов трехстепенных скоростных гироскопов, входящих в состав автопилотов. Речь идет о комплексировании (data fusion) сигналов с гироскопов и сигналов (в векторной форме) $\varepsilon_s(t)$ с видеокамер, которые связаны с вектором угловых ошибок $\varepsilon_\eta(t)$ БПЛА матрицей R_s (4):

$$\varepsilon_s(t) = R_s \varepsilon_\eta(t). \quad (7)$$

Из (7) имеем

$$\varepsilon_\eta(t) = B \varepsilon_s(t), \quad (8)$$

где матрица $B = R_s^{-1}$ дается выражением

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\cos(\psi_2)}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} & -\frac{\cos(\psi_1)}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} & 0 \\ \frac{\sin(\psi_2)}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} & -\frac{\sin(\psi_1)}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} & 0 \\ \frac{\tan(\theta_2)}{\sin(\psi_2 - \psi_1)} & \frac{\tan(\theta_2)}{\tan(\psi_2 - \psi_1)} & \frac{1}{\cos(\theta_2)} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

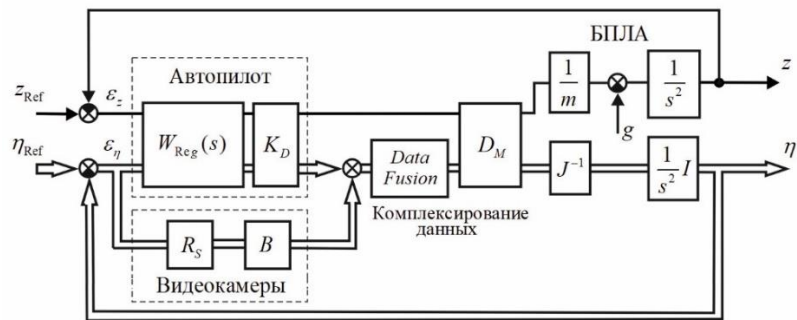


Рис. 8. Матричная блок-схема системы управления БПЛА с комплексированием сигналов с автопилота и видеокамер

Соответствующая матричная блок-схема системы управления многороторным БПЛА показана на рис. 8, где приняты следующие обозначения: s - оператор Лапласа; I - единичная матрица размера 3×3 ; m - масса БПЛА; J - тензор инерции; D_M - матрица, определяемая кинематикой установки моторов и пропеллеров; K_D - матрица, обратная к D_M ; $W_{\text{Reg}}(s)$ - матричный регулятор системы управления, реализуемый обычно в автопилотах в виде ПИД-регуляторов отдельных каналов [1, 2].

Сигналы с гироскопа и видеокамер системы определения геодезических координат БПЛА подаются на вход вычислительного устройства *Data Fusion*, в котором осуществляется их комплексирование на основании известных алгоритмов, например, расширенной фильтрации Калмана, фильтра частиц (Particle Filter) и других [10, 11]. Это дает возможность повысить точность определения угловых ошибок и тем самым

динамическую точность системы управления БПЛА, что, в свою очередь, позволяет повысить точность определения геодезических координат БПЛА при отсутствии сигналов GPS.

Заключение

В статье предложен метод определения геодезических координат БПЛА в случае, когда сигналы GPS отсутствуют, но известны координаты двух наземных опорных объектов, например, отдельных строений, опор линий электропередач и т.д. Дано описание алгоритма определения координат БПЛА для различных взаимных положений БПЛА и опорных объектов и приведен алгоритм численных вычислений на языке MATLAB.

Предложенная система определения координат БПЛА, аппаратурно состоящая из двух видеокамер с лазерными дальномерами, установленными на корпусе БПЛА в двухосных кардановых подвесах, может быть использована для комплексирования сигналов с гироскопов, входящих в состав автопилотов БПЛА, что позволяет повысить точность системы управления угловым положением БПЛА, т.е. управления углами крена, тангажа и рыскания.

Литература

1. **Mahony R., Kumar V., Corke P.** Multirotor aerial vehicles: Modeling, estimation, and control of quadrotor. *Robotics and Automation Magazine*.-2012.-19(3).-P. 20–32.
2. **Bresciani T.** Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter.- Department of Automatic Control, Lund University, 2008.-184 p.
3. **Gasparyan O.N.** On Application of Feedback Linearization in Control Systems of Multicopters, *Advanced Technologies in Robotics and Intelligent Systems // Proceedings of ITR 2019*.- Springer, Switzerland, 2020.-P. 343-351.
4. **Dobrokhodov V.N., Kaminer I.I., Jones K.D., Ghabcheloo R.** Vision-based tracking and motion estimation for moving targets using small UAVs // *Proceedings of the 2006 American Control Conference*.- Minneapolis, MN, USA, June 2006.
5. **Kim Z.W., Sengupta R.** Target detection and position likelihood using an aerial image sensor//*Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*.- Pasadena, CA, USA, May 2008.
6. **Abdessameud A., Janabi-Sharifi F.** Image-based tracking control of VTOL unmanned aerial vehicles//*Automatica*.-2015.-53.- P. 111–119.
7. **Shirzadeh M., Amirkhani A., Jalali A., Mosav M.R.** An indirect adaptive neural control of a visual-based quadrotor robot for pursuing a moving target // *ISA Trans.*-2015-59.- P. 290–302.
8. **Гаспарян О.Н., Асатрян А.А.** Система определения координат наземных объектов с БПЛА при отсутствии сигналов GPS // *Известия НАН РА и НПУА: ISSN 0002-306 X: Серия Технические наук.* – 2021. - Том LXXIV, № 4.- С. 61-69.

9. **Поклад Г.Г.** Практикум по геодезии: Учебное пособие для вузов.- М.: Акад. проект, 2011.- 470 с.
10. **Bar-Shalom Y., Li X.R., Kirubarajan T.** Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory Algorithms and Software.- John Wiley & Sons, 2001.- 584 p.
11. **Gao J.B., Harris C.J.** Some remarks on Kalman Filters for the multisensory fusion // Information Fusion.-2002.-No. 3.-P. 191-201.

*Поступила в редакцию 20.10.2021.
Принята к опубликованию 24.12.2021.*

GPS ԱՉԴԱՆՇԱՆՆԵՐԻ ԲԱՑԱԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ԱՆՕԴԱԶՈՒ ԹՈՉՈՂ ՍԱՐՔԵՐԻ ԿՈՌՐԴԻՆԱՏՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ա.Ա. Ասատրյան

Բազմառոտորային անօդաչու թռչող սարքերը (ԱԹՍ) ներկայումս լայնորեն կիրառվում են ռազմական և քաղաքացիական տարբեր ոլորտներում, այդ թվում՝ փրկարարական աշխատանքներում, անտառներում հրդեհների օջախների հայտնաբերման, ճանապարհների տեխնիկական վիճակի վերահսկողության և այլ դեպքերում: ԱԹՍ-ի թռիչքը՝ նախապես տրված հետագծով, իրականացվում է GPS ազդանշանների կիրառմամբ, որոնք որոշում են սարքի կոորդինատները բավարար բարձր ճշտությամբ (տասնյակ սանտիմետրերից մինչև մի քանի մետր): Սակայն, գործնականում կարող են լինել իրավիճակներ, երբ GPS ազդանշանները աղավաղված են կամ բացակայում են: Նման դեպքերում կարևոր խնդիր է ԱԹՍ-ի ընթացիկ կոորդինատների որոշումը, ինչը անհրաժեշտ է այն վերգետնյա օբյեկտների կոորդինատների որոշման համար, որոնց նկատմամբ իրականացվում է հսկողությունը ԱԹՍ-ով:

Աշխատանքում առաջարկվում է ԱԹՍ-ի գեոդեզիական կոորդինատների որոշման մոտեցում այն դեպքում, երբ GPS ազդանշանները բացակայում են, բայց հայտնի են երկու վերգետնյա, այսպես կոչված, «հենարանային» օբյեկտների կոորդինատները: Որպես հենարանային ընտրվում են այնպիսի օբյեկտներ, որոնք առանձնանում են տեղանքի ֆոնին և կարող են հեշտությամբ նույնականացվել, օրինակ՝ առանձին շինություններ, ռադիոռելեային կայմեր, էլեկտրահաղորդագծերի հենասյուներ և այլն: Սարքավորումային, GPS ազդանշանների բացակայության դեպքում ԱԹՍ-ի կոորդինատների որոշման համակարգը բաղկացած է լազերային հեռաչափերով տեսախցիկների երկու համալիրներից, որոնք տեղադրված են թռչող սարքի իրանի վրա երկառանցքային կարդանային կախոցներում: Յուրաքանչյուր տեսախցիկ ուղղվում է Երկրի մակերեսին գտնվող համապատասխան հենարանային օբյեկտների վրա, որից հետո կարդանային կախոցների առանցքները ֆիքսվում են: ԱԹՍ-ի ընթացիկ կոորդինատների հաշվարկն իրականացվում է հենարանային օբյեկտների հայտնի կոորդինատների, այդ օբյեկտներից մինչև ԱԹՍ հեռավորության (այսինքն՝ լազերային հեռաչափերի ազդանշանների), ինչպես նաև Երկրի մակերեսից ԱԹՍ-ի բարձրության հիման վրա: Ներկայացվել է ԱԹՍ -ի կոորդինատների որոշման ալգորիթմը MATLAB լեզվով:

Առանցքային բառեր. անօդաչու թռչող սարք, գեոդեզիական կոորդինատներ, հենարանային օբյեկտներ, կարդանային կախոց, լազերային հեռաչափ, GPS ազդանշաններ:

A METHOD FOR DETERMINING THE COORDINATES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE ABSENCE OF GPS SIGNALS

A.A. Asatryan

Multicopter unmanned aerial vehicles (UAVs) are widely used nowadays in various military and civil areas, including rescue operations, finding the fires in forests, monitoring of the road conditions, and many others. The UAV's flight along the required trajectories is performed using the GPS signals which determine the vehicle's position with sufficiently high accuracy (from tens of centimeters to few meters). But, in practice, some situations may occur when the GPS signals are absent or corrupted. In such cases, an important task is determining the current coordinates of the UAV, which is necessary for determining the coordinates of the ground-based objects that are being tracked from the UAV.

In the paper, an approach to determining the geodetic coordinates of the UAV is proposed in cases when the GPS signals are absent, but the coordinates of two ground-based, the so-called reference objects, are known. As reference objects, the ones that are distinguished within the local terrain and can be easily identified are selected, for example, separate buildings, relay broadcasting pillars, power transmission line supports, etc. The hardware of the system of determining the UAV's coordinates in the absence of GPS signals consists of two sets of video cameras with laser rangefinders which are mounted on the body of the UAV in two-axis Cardan gimbals. Each camera is directed at the corresponding reference object on the Earth's surface, and after that operation, the axes of Cardan gimbals are fixed. Calculation of the current coordinates of the UAV is performed based on the known coordinates of reference objects, distances of those objects to the UAV (signals from laser rangefinders), as well as the height of the UAV above the Earth's surface. The algorithm of numerical determining the UAV's coordinates in MATLAB language is presented.

Keywords: unmanned aerial vehicle, geodetic coordinates, reference objects, Cardan gimbal, laser ranger, GPS signals.