

SENS ' 2 0 0 6

Second Scientific Conference with International Participation
SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY
14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КООРДИНАТИТЕ НА ЗЕМНИ ОБЕКТИ ОТ БОРДА НА БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ

П. Генов, Ст. Танев, Пл. Трендафилов

*Институт за космически изследвания – Българска академия на науките
ул. Московска 6, София 1000, България*

FIXING COORDINATES OF EARTH OBJECTS ON THE BOARD OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

P. Genov, St. Tanev, Pl. Trendafilov

*Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
6 Moskovska Str., Sofia 1000, Bulgaria*

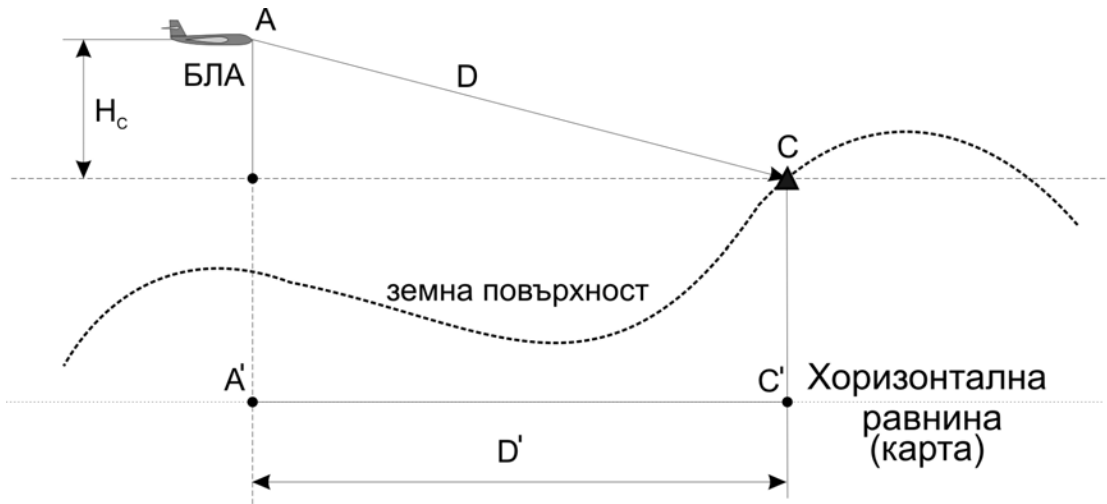
Keywords: coordinates, earth objects, unmanned aerial vehicle

Abstract:

Under discussion are the possibilities to fix coordinates of earth objects when on the board of unmanned aircraft there is a television-monitoring system in real time, mounted on the remote controlled moveable platform. Besides the aircraft has autopilot and a GPS receiver. In the process of fixing of coordinates are made evaluations of the expected mistakes.

При извършване на въздушно наблюдение посредством безпилотни летателни апарати /БЛА/ обикновено се налага да се определят координатите на земни обекти и те да се привързват към топографската карта на местността. В зависимост от наличното бордно оборудване тази задача може да се реши по различни начини и с различна точност. В настоящия доклад се обсъждат възможностите за определяне на координатите на земни обекти, когато на борда има телевизионна система за наблюдение в реално време, монтирана върху подвижна /дистанционно управляема/ платформа. Освен това летателният апарат притежава автопилот и GPS приемник.

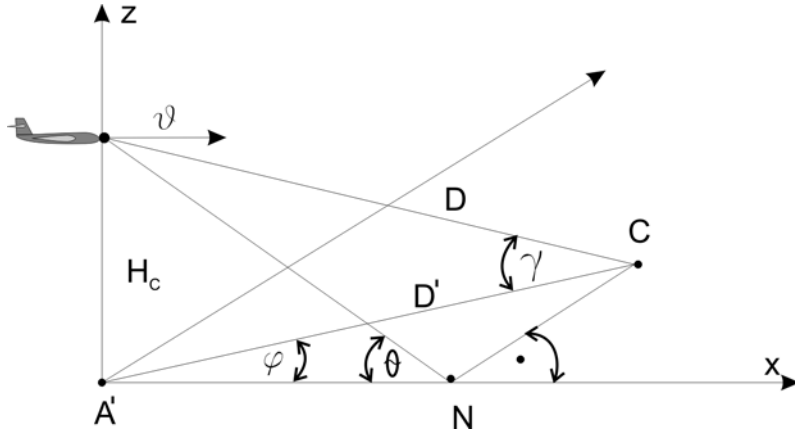
Ако се приеме, че БЛА се намира в т.А, а обектът – в т.С , върху картата тези точки ще се нанесат чрез техните проекции върху мислена хоризонтална равнина и ще са съответно А' и С' / Фиг. 1 /. Разстоянието върху картата D' ще е проекцията на реалното /наклоненото/ разстояние D между БЛА и обекта. Летателният апарат се намира на височина H_C спрямо друга равнина, мислено пресичаща обекта. В следващите разсъждения тези две равнини ще се разглеждат представени от равнината, върху която се намира обектът.



Фиг. 1

Поставената задача се свежда до определяне размера на D' и азимуталния ъгъл γ на визирната линия. При това се предполага, че ъгловите координати θ и φ на вектора на пътната скорост на БЛА \mathbf{u} са известни, както са известни и координатите на БЛА.

На Фиг. 2 е показано положение на БЛА, което е привързано с оста Z на координатната система, а векторът на скоростта е успореден на оста X . Обектът е приет, че лежи на равнината XOY .



Фиг.2

Ясно е, че визирната линия е от A към C и сключва ъгли с вектора на скоростта θ и φ . Тези ъгли могат да се измерват от ъглови датчици, свързващи платформата с летателния апарат или с помощта на монтирана върху платформата курсова вертикала. Поставената по-горе задача се решава елементарно, ако се измери D :

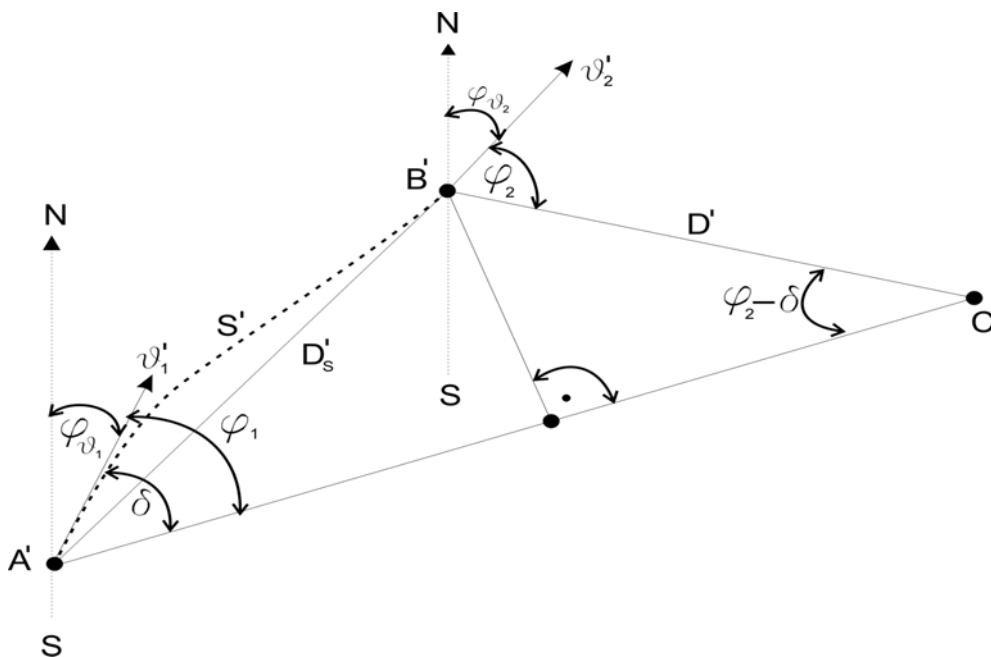
$$D' = D \cos \gamma. \quad (1)$$

Съответно $\gamma = \arctg(\operatorname{tg} \theta \cos \varphi)$.

За измерване на D е най-добре да се използва лазерен далекомер, монтиран съсно с централната телевизионна визирна линия.

Ако по някаква причина не се използва лазерен далекомер, задачата също може да се реши с помощта на телевизионната камера. За целта е необходимо да се направят две засичания на обекта посредством централната визирна линия на камерата, да се измерят съответните ъглови координати и да се определи по картата разстоянието D_S' между точките на съответното положение на БЛА в моментите на измерване.

На Фиг. 3 са показани проекциите /върху картата/ A' и B' на точките A и B , в които се извършва измерването. Целта се намира по централната визирна линия, чиито ъглови координати θ и φ спрямо вектора на скоростта се измерват. По картата разстоянието D_S' отговаря на положението на БЛА в точките на измерване и при хоризонтален праволинеен полет е равно на изминатия път S' .



Фиг. 3

При първото измерване, ако височината на БЛА спрямо хоризонталната равнина, на която се намира обектът, е H_{C1}

$$A'C = H_{C1} / \operatorname{tg} \theta_1 \cos \varphi_1 .$$

Аналогично при второто измерване от височина H_{C2}

$$B'C = H_{C2} / \operatorname{tg} \theta_2 \cos \varphi_2 .$$

Тук θ_1 , θ_2 , φ_1 и φ_2 са съответните ъгли при първото и второто измерване.

Когато φ_1 и φ_2 се определят с помощта на курсова вертикала, която по принцип измерва азимутален ъгъл Φ спрямо посоката юг-север,

$$\varphi_1 = \Phi_1 - \varphi_{u1} ; \varphi_2 = \Phi_2 - \varphi_{u2} . \quad (2)$$

Тук φ_{u1} и φ_{u2} са азимуталните ъгли на вектора на скоростта спрямо посоката “юг-север” при първото и при второто измерване, а Φ_1 и Φ_2 са азимуталните ъгли на визирната линия спрямо същата посока.

Търсеното разстояние е

$$D' = D_S' \sin \delta / \sin (\varphi_2 - \delta) , \quad (3)$$

като $\delta = \varphi_1 - (\varphi_{u2} - \varphi_{u1})$.

Полученият израз е пределно прост, но при движение точно към обекта / $\delta = 0$ / води до неопределеност.

Ако $H_{C2} = H_{C1} + \Delta H$, съгласно Фиг.3 може да се запише :

$$D' = (D_S' \cos \delta \operatorname{tg} \theta_1 \cos \varphi_1 + \Delta H) / [\operatorname{tg} \theta_2 \cos \varphi_2 - \operatorname{tg} \theta_1 \cos \varphi_1 \cos(\varphi_2 - \delta)]. \quad (4)$$

Този израз води до неопределеност при $\delta = \pi/2$.

Логично би следвало да се предположи, че обектите ще се наблюдават, ще се откриват и ще се определят техните координати при курс на БЛА, практически насочен към целта. Следователно по-голямо приложение би намерил алгоритъм, отговарящ на (3). За решаване на задачата е необходимо да се измерят още D_S' и ΔH . Разстоянието D_S' може да се определи чрез GPS или с помощта на скоростомер, а разликата във височините – чрез барометричен висотомер.

Изразите (2) и (3) са получени при предположение, че координатите на обекта се привързват с координатите на самолета в точката на второто измерване. Ако е по-удобно това привързване да стане с координатите на БЛА в точката на първото измерване, трябва допълнително да се изчисли

$$A'C = D_S' \cos \delta + D' \cos(\varphi_2 - \delta). \quad (5)$$

Автопилотът или операторът при определяне координатите на обекта е най-добре да осигурят хоризонтален праволинеен полет на БЛА. Спрямо посоката на полета визиранието е добре да става с ъгли отклонения : φ – не по-голям от 30° и θ – не по-голям от $(70 \div 80)^\circ$. От бордното оборудване /в частност – от автопилота/ е необходимо да се подава стойността на азимуталното положение на вектора на скоростта и евентуално - изминатият път, проектиран върху хоризонтална плоскост. От GPS приемника се получават данни за координатите на обекта, които се ползват от автопилота за управление на полета и при определяне координатите на обекта.

В съответствие с Фиг.3 координатите на обекта са отместени от координатите на т. В' в посока “юг-север” на

$$\Delta X_C = D' \cos(\varphi_2 + \varphi_{u2}) = D' \cos \Phi_1, \quad (6)$$

а в посока “запад- изток” на

$$\Delta Y_C = D' \sin(\varphi_2 + \varphi_{u2}) = D' \sin \Phi_2. \quad (7)$$

Съгласно (3) за извършване на изчислението за определяне на размера на D' и на координатите на обекта са необходими : D_S' , ΔH , θ_1 , φ_1 , θ_2 , φ_2 , φ_{u1} и φ_{u2} / общо осем величини /. Естествено, от точността на тяхното измерване ще зависи грешката при определяне на координатите на обекта. Ъгловите координати φ_{u1} и φ_{u2} се получават от автопилота и по принцип могат да бъдат достатъчно точни. Останалите ъгли координати могат да се определят от датчици, свързващи борда на БЛА с подвижната платформа, върху която е монтирана наблюдателната камера. Точността на такива датчици не винаги е приемлива. Съвременните електронни курсови вертикали дават достатъчно точни данни / грешка под 0.5 ъгли градуса / за азимутален ъгъл спрямо посока “юг-север”, за ъгъл “крен” и за ъгъл “тангаж”. Освен това тези устройства са миниатюрни и нискоенергийно емки.

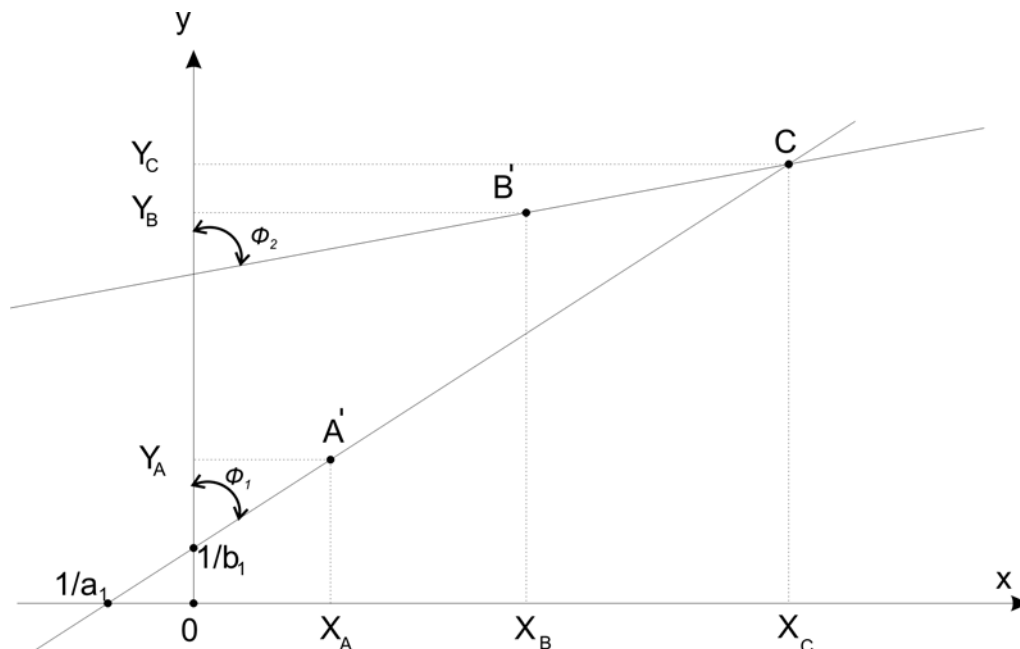
За определяне на D' при праволинеен полет към целта за определяне на D' са необходими само D_S' , ΔH , θ_1 и θ_2 :

$$D' = (D_S' \operatorname{tg} \theta_1 + \Delta H) / (\operatorname{tg} \theta_2 - \operatorname{tg} \theta_1) . \quad (8)$$

Вижда се, че посредством оптималния насочен към целта полет се постига минимално влияние на грешките от измерванията, което се отнася и до случая, когато се използва лазерен далекомер / тук се получава $\gamma = \theta$ /. Прецизността на изпълнението на такъв полет зависи от качествата на използвания автопилот, от метеорологичните условия и от качествата на оператора. В първо приближение, ако се предположи, че това условие е изпълнено, съгласно (1) и (6) потенциалната точност при определяне на D' зависи от точността на измерване на изминатото разстояние D_S' , на ΔH и на ъгъла θ . Безспорно, ако за определяне на D_S' се използва скоростомер, грешката може да е значителна и тя основно ще дефинира потенциалната точност при определяне на D' .

Разстоянието D_S' значително по-точно може да се определи чрез използване на GPS приемник. В този случай, ако върху телевизионната платформа е монтирана курсова вертикала, ъглите θ се определят независимо от автопилота.

Знаейки координатите на точките A' и B' / от GPS данните / , задачата за определяне на координатите на целта може да се реши по още един алгоритъм. Същността му се състои в дефиниране на две мислени прави линии върху равнината на картата, минаващи през точките A' и B' и сключващи ъгли с посоката “юг-север” съответно Φ_1 и Φ_2 . На Фиг.4 е показано положението на тези прави, които се пресичат в точката на целта C . Съответно остта X съвпада с посоката “запад-изток” на картата, а остта Y – с посоката “юг-север”.



Фиг. 4

Координатите на A' са X_A и Y_A , а на B' са X_B и Y_B .

Съответно, ако мислените прави се представят с уравненията $a_1x + b_1y = 1$ и $a_2x + b_2y = 1$, координатите на целта ще се получат

$$X_C = (b_1 - b_2) / (a_2 b_1 - a_1 b_2) \text{ и } Y_C = (a_1 - a_2) / (a_1 b_2 - a_2 b_1). \quad (7)$$

Тук :

$$a_1 = 1 / (X_A - Y_A \operatorname{tg} \Phi_1) ; \quad a_2 = 1 / (X_B - Y_B \operatorname{tg} \Phi_2) ;$$

$$b_1 = \operatorname{tg} \Phi_1 / (Y_A \operatorname{tg} \Phi_1 - X_A) ; \quad b_2 = \operatorname{tg} \Phi_2 / (Y_B \operatorname{tg} \Phi_2 - X_B) .$$

Вижда се, че за решаване на задачата за определяне на координатите на целта по този алгоритъм е необходимо измерването само на два ъгъла, което с висока точност може да се извърши от курсовата вертикала. В случая операторът също трябва да насочва визирната линия към целта, но към автопилота особени изисквания не се предявяват. Недостатък на алгоритъма е, че не може да се използва при полет към целта.

Сравнявайки описаните по-горе методи за определяне на координатите на целта с използване на телевизионно наблюдение може да се направят следните изводи :

1. Телевизионното наблюдение трябва да се извършва в реално време, за да може операторът прецизно да насочва визирната линия към целта.

2. Платформата, върху която е монтирана телевизионната камера, трябва да е с пространствена стабилизация за осигуряване на оптимални условия за работа на оператора.

3. Най-добре е върху платформата да е монтирана курсова вертикала, което осигурява самостоятелна работа на системата за наблюдение по отношение на автопилота.

4. Използвайки лазерен далекомер, координатите на целта могат да се определят с висока точност без налагане на строги изисквания към режима на полета.

5. В случай, че не се работи с лазерен далекомер / например, ако има смущаващи работата му явления /, координатите на целта могат да се определят с достатъчна точност чрез полет към целта по алгоритъма, дефиниран с (6). Когато целта е открита в страни от посоката на полета, е целесъобразно да се използва алгоритъмът, дефиниран със (7) .