

Z. M. MƏMMƏDOV, Z. İ. HACIYEV, texnika e.n.; A. F. NAĞIYEV, V. B. MEHDİYEV

Heydər Əliyev adına AAHM

## RLS MƏLUMATININ İKİNCİ EMALI VƏ HƏDƏFİN KOORDİNATLARININ VAHİD SİSTEMƏ GƏTİRİLMƏSİ

Məqalə RLS məlumatının ikinci emalı, təyinatı, analizi və hava hədəflərinin koordinatlarının vahid sistemə gətirilmə algoritminin sintezinə həsr edilib.

Hava hədəfləri haqqında RLS məlumatının ilkin emalından alınan nəticələrdə təsadüfi siqnalların xarakteri ilə əlaqədar xətlər ola bilər. İlkin emal nəticəsində RLS-in müşahidə zonasında hədəfin həqiqi vəziyyəti təxmini əks olunduğu üçün onun hərəkət parametrləri (sürət, kurs və s.) haqqında yanlış məlumatlar əldə edilir.

Hədəf haqqında düzgün nəticələrin qəbul edilməsi və onun hərəkət parametrlərinin təyin edilməsi məlumatın ikinci emalını tələb edir. Hədəfin aşkar edilməsi və trayektoriyasının fasiləsiz izlənməsi məqsədi ilə RLS-in bir neçə müşahidə dövründə alınan məlumatın avtomatik və ya yarıavtomatik emalı, RLS məlumatının *ikinci emalı* adlanır.

İkinci emal aşağıdakı əməliyyatlardan ibarətdir:

- RLS-in bir neçə müşahidəsindən alınan verilənlər əsasında hədəfin hərəkət parametrlərinin (sürət, kurs və s.) təyin edilməsi;

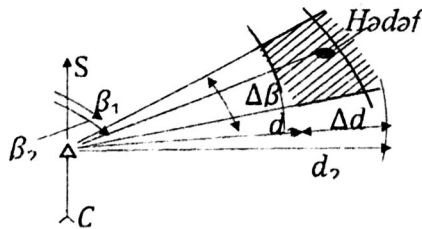
- növbəti müşahidə sahəsində gözlənilən ehtimalla nişanənin yaranması zonasının seçilməsi;

- yeni təyin edilmiş koordinatlarla ekstrapolyasiya olunan koordinatların müqayisə edilməsi və yeni nişanın hədəfin trayektoriyasına bağlanması (trayektoriyanın davam etdirilməsi).

Hədəfin hərəkət trayektoriyasını təyin etmək üçün ilkin məlumat kimi onun fəza koordinatlarından istifadə edilir. Hədəfin hərəkət trayektoriyası onun tipi, sürəti, uçuş hündürlüyü, manevr etmə imkanları və s. amillərdən asılıdır. Bunlardan başqa, hədəfin hərəkət trayektoriyasına mühitin təsadüfi həyəcanlanması yaranan xətlər, kinematik trayektoriya ətrafında hədəfin təsadüfi rəqslərindən yaranan xətlər, hədəfin idarəetmə sistemindəki xətlər, RLS-in koordinatlarının ölçülməsində yaranan xətlər, ilkin emalın xətləri, süni əngəllər və s. bu kimi müxtəlif təsadüfi faktorlar da təsir göstərir və bu səbəbdən hədəfin hərəkət trayektoriyası təhrif olunur, onun aşkar edilməsi çətinləşir.

Hədəfin trayektoriyasının avtomatik aşkar edilməsi prosesi iki fərdi mərhələyə bölünür: trayektoriyanın aşkar edilməsi və trayektoriyanın izlənməsi [1].

Avtomatik aşkaretmənin bütün əməliyyatlarının formalaşdırılması və onların yerinə yetirilməsi elektron hesablama maşınında aparılır və bu halda avtomatik aşkaretmə zonasına azimuta və məsafəyə görə məhdudlaşmış sadə forma verilir (şəkil 1).



Səkil 1. Avtomatik aşkaretmə zonasının azimuta və məsafəyə görə məhdudlaşdırılması

Zonanın sahəsinin ölçülməsi elementar sahələr kimi qəbul olunur:

$$S_0 = \Delta d \cdot \Delta \beta$$

Əgər müşahidə zonasında səhv işarələrin bərabər paylanmasını qəbul etsək, elementar sahədə onların orta sayı

$$\gamma_0 = \frac{\rho T_0}{N_E}$$

olacaqdır, burada  $N_E = \frac{2\pi \cdot D_{max}}{\Delta d \cdot \Delta \beta}$  – RLS–in dairəvi müşahidə zonasında elementar sahələrin sayıdır.

Avtomatik aşkaretməni qiymətləndirmək üçün üç əsas göstəricidən istifadə edilir [2]:

- vahid zamanda izlənmək üçün verilən yalan trayektoriyaların orta sayı;
- avtomatik izlənmənin etibarlılığı (həqiqi trayektoriyanın aşkar edilməsi ehtimalı);
- avtomatik aşkaretmə alqoritmini realizə edən hesablama qurğusunun cəld işləməsi və yaddaşının həcmi.

Sadə halda hədəfin qiymətləndirilməsində əsas məsələ onun koordinatlarının hesablanması üçün  $n$ -ci müşahidədə sürətinin ( $V_n$ ) təyin edilməsidir.

$n$ -ci müşahidədə  $V_n$  sürəti  $X$  və  $Y$  koordinatları üçün müvafiq olaraq aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$$V_{nx} = \frac{X_n - X_{n-1}}{T_0}, \quad V_{ny} = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{T_0}$$

burada  $T_0$  – müşahidə dövrüdür.

Ekstrapolyasiya olunmuş nöqtənin koordinatları aşağıdakı kimi olacaq:

$$X_E = X_n + V_{nx} \cdot T_0 \quad \text{və} \quad Y_E = Y_n + V_{ny} \cdot T_0$$

Ümumi halda ekstrapolyasiya alqoritmini aşağıdakı kimi yazmaq bilirik:

$$X_E = \sum_{i=1}^n \eta_{Ei} \cdot X_i, \quad Y_E = \sum_{i=1}^n \eta_{Ei} \cdot Y_i$$

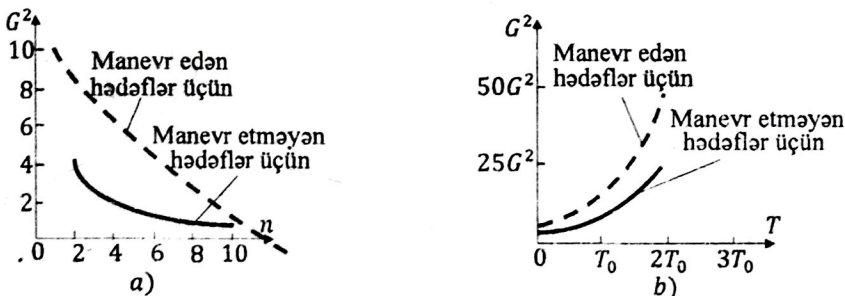
burada  $\eta_{Ei}$  –  $i$ -ci nişanənin çəki əmsəlidir;  $n$  – son müşahidədə qəbul olunmuş nişanələrin sayıdır.

Üç ardıcıl müşahidə ( $n = 3$ ) üçün çəki əmsallarını təyin edərək manevr etməyən və manevr edən hədəflər üçün  $X$  oxuna nəzərən ekstrapolyasiya alqoritmini yazmaq bilirik:

$$X_{E(ME)} = X_{3+1} = \frac{4}{3}X_1 + \frac{1}{3}X_2 - \frac{2}{3}X_3$$

$$X_{E(M)} = X_{3+1} = 3X_1 - 3X_2 + X_3$$

Ekstrapolyasiyanın dəqiqliyi verilənlərin emal üsulundan, onun intervalından, eləcə də emal üçün istifadə olunan nişanələrin sayından asılıdır. Nişanələrin sayı artdıqca ekstrapolyasiyanın xətası azalır, lakin bu halda EHM-nin yaddaşı kifayət qədər böyük olmalıdır. Şəkil 2-də ekstrapolyasiyanın orta kvadratik xətasının nişanələrin sayından (şəkil 2,a) və təyin edilmə intervalından (şəkil 2,b) asılılıqları verilmişdir.



Şəkil 2. Ekstrapolyasiyanın orta kvadratik xətasının nişanələrin sayından və təyin edilmə intervalından asılılığı



Nişanın cari koordinatlarının təyin edilməsində xətalrı azaltmaq üçün əvvəlki nişanın verilənlərindən istifadə etməklə hamarlaşdırma prosesi aparılır. Hamarlaşdırma məqsədi ilə aşağıdakı alqoritmdən istifadə etmək olar:

$$X_H = \sum_{i=1}^n \eta_{Hi} \cdot X_i$$

Koordinatların nəzərdən keçirdiyimiz ekstrapolyasiya və hamarlaşdırma alqoritmlərinin realizə edilməsi mürəkkəbdir. Bu prosesləri sadələşdirmək üçün ekstrapolyasiya və hamarlaşdırma ilkin olaraq hədəfin kursuna və sürətinə görə aparılmalıdır [3].

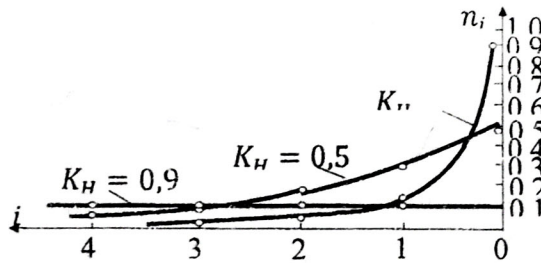
Sadə halda, hədəfin kursu və sürəti sabitdirsə, onların növbəti hamarlaşdırma qiymətlərini təyin etmək üçün cari ölçünün və keçmiş hamarlaşdırmanın qiymətləri istifadə olunur:

$$Q_{nH} = (1 - k_H) \cdot Q_n + k_H \cdot Q_{(n-1)H};$$

$$V_{nH} = (1 - k_H) \cdot V_n + k_H \cdot V_{(n-1)H}$$

burada  $k_H$  – hamarlaşdırma əmsəlidir.

Şəkil 3-də  $k_H$  hamarlaşdırma əmsəlinin müxtəlif qiymətlərində  $\eta_i$  çəki funksiyalarının qrafikləri göstərilmişdir.



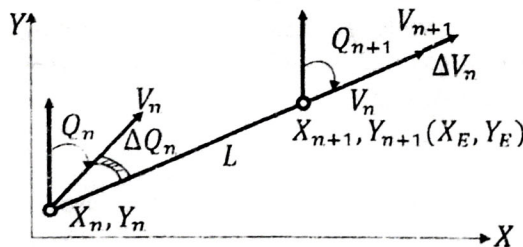
Şəkil 3. Hamarlaşdırma əmsəlinin müxtəlif qiymətlərində çəki funksiyasının qrafikləri

Trayektoriyanın parametrlərinə görə koordinatların ekstrapolyasiyası prinsipini ümumi halda, aşağıdakı kimi izah olunur: hədəfin koordinatları  $X_n$  və  $Y_n$  axırıncı müşahidə anında alınır (şəkil 4).

Bundan başqa, bu nöqtədə trayektoriyanın parametrləri ( $V_n, Q_n$ ) və onların ilkin çevrilmələri ( $\Delta V_n, \Delta Q_n$ ) hesablanmışdır. Tələb olunur ki,  $X_{n+1}$  və  $Y_{n+1}$  koordinatları təyin edilsin.

$T_0$  müddətində hədəfin uçuş məsafəsi:

$$l = \left( V_n + \frac{\Delta V_n}{2} \cdot T_0 \right) \cdot T_0 = V_n \cdot T_0 + \frac{\Delta V_n}{2} \cdot T_0^2$$



Şəkil 4. Trayektoriyanın parametrlərinə görə koordinatların ekstrapolyasiyası

Baxılan halda hədəfin kursu  $\Delta Q_n$ , sürəti  $\Delta V_n$  qədər dəyişəcək və nəticədə kursu və sürəti aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$Q_{n+1} = Q_n + \Delta Q_n; \quad V_{n+1} = V_n + \Delta V_n$$

Ekstrapolyasiya olunmuş koordinatların qiymətləri:

$$X_{n+1} = X_E = X_n + l \cdot \sin(Q_n + \Delta Q_n);$$

$$Y_{n+1} = Y_E = Y_n + l \cdot \cos(Q_n + \Delta Q_n)$$

Hədəfin  $V_H$ ,  $Q_H$  parametrlərini almaq üçün, azı iki qiymət, onların çevrilməsini  $\Delta V$ ,  $\Delta Q$  hesablamaq üçün isə ən azı üç qiymət lazımdır.

RLS məlumatının ikinci emalının nəticələri hava vəziyyəti haqqında ilkin məlumat hesab edilir və HHM-in aktiv vasitələrinin birbaşa idarə edilməsi üçün istifadə edilir.

İkinci emalın keyfiyyəti aşağıdakı göstəricilərlə xarakterizə edilir:

- hədəfin izlənməsinin dəqiqliyi;
- hədəfin fasiləsiz izlənməsi;
- eyni zamanda izlənmədə olan trayektoriyaların sayı və izlənmə müddəti;
- ikinci emal qurğusunun buraxıcılığı.

İkinci emalın keyfiyyəti əsasən ekstrapolyasiya əməliyyatının dəqiqliyindən, hamarlamadan və müqayisədən asılıdır.

HHM qoşunlarının avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərində məlumatın ikinci emalı üçün müxtəlif alqoritmlər istifadə edilə bilər, lakin bütün hallarda məlumatın yığılması, emalı və saxlanması eyni olur. İkinci emal alqoritminin mümkün olan variantlarından birinin sxemi variantlarla verilir [4].

Məsafələr kiçik olduqda *polyar* və ya *düzbucaqlı* koordinat sistemindən istifadə etmək məqsədəuyğundur. Bu sistemlərdə hesablar sadədir və praktiki məsələlərin həllində geniş istifadə edilir.

RLS hədəfin koordinatlarını adətən *polyar* sistemdə təyin edir. Bu koordinatların emal məntəqəsində *düzbucaqlı* koordinat sisteminə gətirilmə alqritmi aşağıda verilmişdir:

$$X = D_H \cos \varepsilon \cdot \sin(\alpha + \beta) + X^*$$

$$Y = D_H \cos \varepsilon \cdot \cos(\alpha + \beta) + Y^*$$

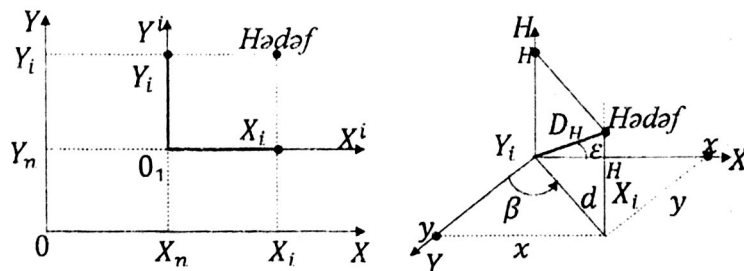
$$H = D_H \sin \varepsilon + \frac{D^2_H}{2R_E}$$

Alqritmdə aşağıdakı işarələrdən istifadə edilmişdir:

$X, Y, H$  – vahid düzbucaqlı koordinat sistemində hədəflərin koordinatı;  $X^*, Y^*$  – RLS-in dayandığı nöqtənin məlumatın emal məntəqəsinə (MEM) nəzərən koordinatları;  $D_H, \beta, \varepsilon$  – RLS-lə müəyyən olunmuş hədəflərin *polyar* koordinat sistemində koordinatları;  $R_E$  – Yer radiusunun ekvivalenti;  $\alpha$  – emal məntəqəsinin en dairəsində meridianların yaxınlaşma bucağı.

MEM«O» nöqtəsində, RLS isə  $O_1$  nöqtəsində yerləşmişdir (şəkil 4).

RLS “Hədəf” nöqtəsində yerləşən hədəfin düzbucaqlı koordinatını  $X_i$  və  $Y_i$  təyin edir və məlumatın emalı məntəqəsinə (O nöqtəsi) ötürür, burada koordinatlar ME məntəqəsinə nəzərən düzbucaqlı koordinat sisteminə çevrilir. Hesabat (şəkil 5) aşağıdakı ardıcılıqla aparılır:



Şəkil 5. Düzbucaqlı sistemdə koordinatların hesablanması



- yeni koordinatların hesablanması

$$\begin{aligned} X_1 + X_N &= X \\ Y_1 + Y_N &= Y \end{aligned}$$

- RLS-lə ME məntəqəsinin hündürlük fərqinin hesablanması

$$H_{RLS} - H_{ME} = \Delta H$$

- hədəfin uçuş hündürlüyünün hesablanması

$$H = H_{\text{ÖLÇ}} + \Delta H$$

Sonra hədəfin trayektoriyasını davam etdirmək üçün növbəti koordinatlar ekstrapolyasiya yolu ilə müəyyən edilir:

$$\begin{aligned} X_E &= X + \Delta X = X + V_X \cdot \Delta t \\ Y_E &= Y + \Delta Y = Y + V_Y \cdot \Delta t \end{aligned}$$

burada  $V_X$  və  $V_Y$  – hədəfin sürət vektoru;  $\Delta t$  – ekstrapolyasiyanın başlamasından məsələnin həllinə kimi olan müddət;  $X_E$  və  $Y_E$  – hədəfin ekstrapolyasiya olunmuş koordinatları.

Fərz edək ki, hədəfin koordinatları ME məntəqəsindən polyar koordinat sisteminə daxil olmuşdur. Bu məsələnin həllinə ancaq üfüqi müstəvidə baxılır və çevrilmə ardıcıl yaxınlaşma metodu ilə aparılır.

$$\begin{aligned} x \cos \beta - y \sin \beta &= 0 \\ x \sin \beta - y \cos \beta &= d \end{aligned}$$

Burada  $d, \beta$  müvafiq olaraq naməlum üfüqi uzaqlıq və azimut,  $x$  və  $y$  isə məlum qiymətlərdir. İki naməlum qiymətlə iki tənlikdən ibarət sisteminin ardıcıl yaxınlaşma metodu ilə həlli aşağıdakı kimi tapılır:

- məlum  $x$  və  $y$  qiymətlərinə, eləcə də təsadüfi  $\beta_0$  qiymətinə əsasən birinci yaxınlaşma  $\beta_1$  hesablanır:

$$\begin{aligned} x \cos \beta_0 - y \sin \beta_0 &= \sigma_0 \\ x \sin \beta_0 - y \cos \beta_0 &= d_0 \end{aligned}$$

burada  $\delta_0$  və  $d_0$  – azimutun və üfüqi uzaqlığın təyin edilməsində ( $\beta_0$  düzgün seçilməməsi səbəbindən) xətti təhriflərdir;

- bucaq xətası təyin edilir:

$$\Delta \beta_1 = \frac{\delta_0}{d_0} = \frac{x \cos \beta_0 - y \sin \beta_0}{x \sin \beta_0 + y \cos \beta_0}$$

-  $\Delta \beta_1$  fərq xətası  $\beta_0$  ilə toplanır

$$\beta_1 = \beta_0 + \Delta \beta_1$$

Bu qiymət,  $\Delta \beta$  qiyməti sıfır olana kimi, ikinci yaxınlaşma üçün ilkin kəmiyyət kimi istifadə edilir.

Beləliklə, RLS məlumatları əsasında hava hədəflərinin koordinatlarının düzgün təyin edilməsi onların izlənməsinin səmərəliliyini artırır və əsas məqsəd olan hava hədəflərinin aktiv döyüş vasitələri arasında optimal paylaşdırılması məsələnin həlli üçün tələb olunan məlumatların əldə edilməsini təmin edir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Ə. D. Namazov, Z. İ. Hacıyev Avtomatlaşdırmanın nəzəri əsasları. Bakı: 2018. 368 s.
2. Z. İ. Hacıyev, Z. M. Hacıyeva, J. Ü. Hacıyeva Avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri. Bakı: 2016, 349 s.
3. Z. İ. Hacıyev, Z. M. Hacıyeva, İdarəetmədə əməliyyatların tədqiqi. Bakı: 2015. 384 s.
4. O. Q. Mürsəliyev, Ə. M. İsayev, Hava hücumundan müdafiə vasitələrində avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemləri. Bakı: 2010. 227 s.