

МЕТОД ЗА САМОНАСТРОЙКА НА СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА БОЕН САМОНАСОЧВАЩ СЕ БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ С ИЗМЕРВАНЕ НА ИСТИНСКАТА СТЪРЪМНОСТ НА ПЕЛЕНГАЦИОННАТА ХАРАКТЕРИСТИКА

Валентина Цекова

Военна академия „Г. С. Раковски” - Институт за перспективни изследвания за отбраната
e-mail: valsof20@hotmail.com

A SELF-TUNING METHOD FOR THE CONTROL SYSTEM OF A SELF-AIMING UNMANNED COMBAT AIR VEHICLE WITH MEASUREMENT OF THE REAL STEEP OF THE PELENGATION CHARACTERISTIC

Valentina Tsekova

Rakovski Defence and Staff College - Defence Advanced Research Institute
e-mail: valsof20@hotmail.com

Key words: *unmanned combat air vehicle (UCAV), self-tuning method, control system*

Abstract: *A self-tuning method for the control system of a self-aiming unmanned combat air vehicle with fixed coordinator is suggested. With it, its structure and parameters are kept optimal. The real steep of the pelengation characteristic is defined as a derivative of the discriminator initial signal according to the non-coherence signal. It is obtained indirectly where some specially organized oscillation movements of the area transformer are used.*

Въведение

През последното десетилетие безпилотната авиационна техника се развива много интензивно, тъй като пред нея се поставят и редица нови функции, в това число:

- поразяване на наземни цели в зони, където загубите на пилотираните самолети могат да бъдат недопустимо големи;
- водене на въздушен бой и поразяване на въздушни цели;
- поразяване на радиолокационни станции на противника и др. [3,4].

Анализирайки мненията на редица специалисти и експерти по въпросите на управление на безпилотни летателни апарати (БЛА), които трябва да изпълняват посочените задачи, може да се достигне до извода, че едни от най-големите трудности възникват при проектирането и разработката на системите им за управление (СУ). Това произтича от факта, че те трябва да работят с минимални грешки в условия на предварително неизвестни или променящи се във времето характеристики и входни сигнали. Изход от тази ситуация е прилагането на принципите на самонастройка (адаптация). Те позволяват работата на проектантите и изследователите да се облекчи, а необходимостта от провеждане на продължителни и скъпи изследвания да отпадне, тъй като обемът от нужната априорна информация за характеристиките на процеса на управление се намалява съществено [5].

В практиката при проектиране на оптимални СУ на бойни самонасочващи се безпилотни летателни апарати обикновено не са известни в достатъчна степен: условията на бойно използване на целите и безпилотния самолет; техните динамични характеристики; както и характеристиките на информационните сигнали и предполагаемите смущения. Като правило се разполага само с техните най-общии статистически характеристики. За това за синтезиране на оптимални СУ на БЛА най-целесъобразно е използването на статистически методи – на максимума на апостериорната вероятност или на максимума на правдоподобие [1].

За поддържане на оптималността на системата за управление на самонасочващ се ударен БЛА при изменение на входните сигнали е необходимо тя да изменя по определен начин своята структура или параметрите си в зависимост от характера на външните въздействия. Поради недостиг от априорна информация за полезния управляващ сигнал, смущенията и целта е невъзможно предварителното им програмиране. Единствен практически изход от това положение е създаване на самонастройваща се система за управление. Такава система самостоятелно добива и обработва информация, чрез която да изменя своята структура или параметрите си, така че да работи с минимални грешки [2, 6].

Същност на метода за самонастройка на системата за управление на ударен самонасочващ се БЛА

В разглеждания случай се приема, че СУ на самонасочващия се БЛА включва в състава си неподвижния координатор, който измерва ъгловото положение на целта спрямо надлъжната ос на БЛА и безпилотния самолет, който отработва (отстранява) този ъгъл, като се стреми да го сведе към нула.

Известно е, че точността на всяка система за управление зависи най-вече от два взаимно свързани параметри - величината на коефициента на предаване $K_{СУ}$ и ширината на лентата на пропускане. В изследваната СУ коефициентът на предаване зависи от стръмността на пеленгационната характеристика, която определя динамичната грешка на системата. Ширината на лентата на пропускане е свързана с времеконстантата на системата $T_{СУ}$, която определя флукуационната грешка.

Ако при проектиране на тази система се вземат мерки посочените по-горе параметри да се изменят по определен начин, то тя може да стане самонастройваща се и при определени условия - оптимална.

За това ще бъде разглеждана система за управление на самонасочващ се БЛА с неподвижен координатор [7], която оптимизира своите параметри с помощта на метод за самонастройка на СУ, при който се измерва истинската стръмност на пеленгационната характеристика на дискриминатора.

За да бъде разработен блокът за самонастройка на системата по този метод, трябва да се намери начин за измерване на истинската стръмност на пеленгационната характеристика $A_{и}(t)$ и да се определи методиката за самонастройка като цяло. Като начало трябва да бъде определена схемата на устройството, което ще измерва $A_{и}(t)$. За тази цел може да бъде използван изразът, описващ сигнала на изхода на дискриминатора $Z(t)$:

$$(1) \quad Z(t) = \delta(t) + A_{и}(t)\varepsilon,$$

където

$$(2) \quad \delta(t) = \frac{\partial \ln P(y, \lambda)}{\partial \lambda}.$$

Функцията $\delta(t)$ е чисто флукуационен процес и има нулево математическо очакване. Тя не зависи от оценката на измервания ъгъл $\lambda_{изх}$ и съществува даже при точно съвпадение на измервания ъгъл λ и $\lambda_{изх}$.

Поради сравнително тясната лента на пропускане на следящите координатори $\delta(t)$ може да бъде разглеждана като бял шум. Истинската стойност на стръмността на пеленгационната характеристика на дискриминатора е случайна времева функция, която зависи слабо от стойността на измервания ъгъл λ и има положително математическо очакване.

Ако изразът (1) се диференцира по разсъгласуването ε , то ще се получи:

$$(3) \quad \frac{dZ}{d\varepsilon} = A_{и}(t).$$

Полученият израз (3) показва, че истинската стръмност на пеленгационната характеристика може да бъде определена чрез диференциране на напрежението на изхода на дискриминатора $Z(t)$ по разсъгласуването ε . Както е известно съвременната изчислителна техника разполага с много методи за диференциране по време, но не съществува пряк метод

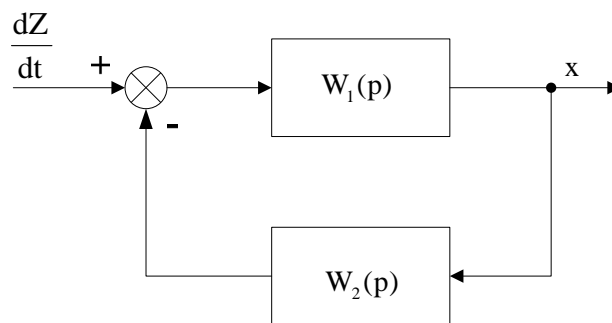
за диференциране по параметър. Поради това трябва да се търси косвен път за определяне на производната по параметър.

Един възможен начин за нейното намиране е като се извърши диференциране по време на изходния сигнал на дискриминатора и на разсъгласуването с последващото им деление, т.с.

$$(4) \quad \frac{dZ}{d\varepsilon} = \frac{\frac{dZ}{dt}}{\frac{d\varepsilon}{dt}}$$

Диференцирането на изходното напрежение на дискриминатора по времето $Z(t)/dt$ може да бъде извършено с прости технически средства. По-трудно обаче е намирането на производната от сигнала на разсъгласуване $d\varepsilon/dt$ и извършването на операцията деление на двете производни.

Техническата реализация на операцията деление може да бъде осъществена чрез следната схема на деление, показана на фиг. 1.



Фиг. 1 Схема на деление

От нея се вижда, че сигналът на изхода на системата x , е равен на:

$$(5) \quad x = \Phi(p) \frac{dZ(t)}{dt},$$

където $\Phi(p)$ е предавателната функция на затворената система.

Ако предавателната функция на веригата за обратна връзка е пропорционална на производната от разсъгласуването, т.е.

$$(6) \quad W_2(p) = K_2 \frac{d\varepsilon}{dt},$$

то след заместване на (6) в (5) може да се запише, че сигналът на изхода на системата е равен на:

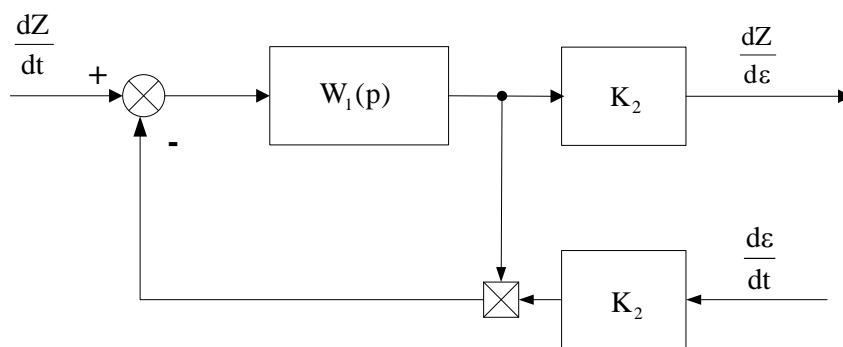
$$(7) \quad x = \frac{1}{K_2} \frac{dZ}{d\varepsilon}$$

при условие, че е изпълнено условието:

$$(8) \quad W_1(p)K_2 \frac{d\varepsilon}{dt} \gg 1.$$

Съвременните технически средства позволяват просто осигуряване на неравенството (8). За да се получи сигнал, който да е равен на производната, е необходимо сигналът x да бъде пропуснат през усилвател с коефициент на усилване K_2 . За да се облекчи практическото

изпълнение на схемата, веригата за обратна връзка може да бъде представена от последователно свързани звена за усилване и за умножение, както е показано на фиг. 2.



Фиг. 2 Схема за определяне на $\frac{dZ}{d\epsilon}$

Предавателните функции $W_1(p)$ и $W_2(p)$ могат да бъдат реализирани като усилватели на съвременна интегрална база.

За определяне на производната от сигнала на грешката може да се използва изразът за разсъгласуването [7]:

$$(9) \quad \epsilon(t) = \lambda(t) - \lambda_{\text{изх}}(t).$$

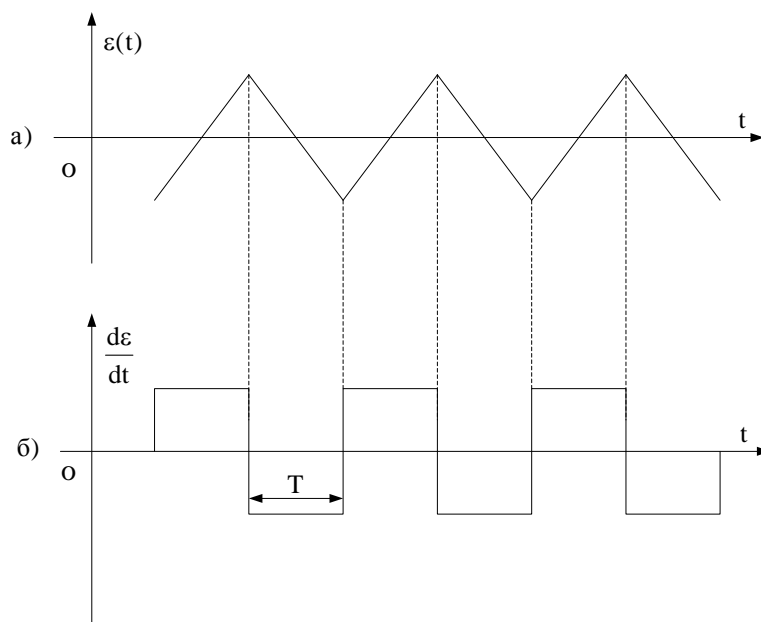
След неговото диференциране се получава:

$$(10) \quad \frac{d\epsilon(t)}{dt} = \frac{d\lambda(t)}{dt} - \frac{d\lambda_{\text{изх}}(t)}{dt}.$$

Изразът за търсената производна от сигнала на грешката показва, че тя представлява разлика от две други производни. Първата от тях е производна от измервания ъгъл. Втората е производна от измерената стойност на ъгъла (оценката на измервания ъгъл) и тя може да бъде получена лесно. Прякото измерване на производната от измервания ъгъл, обаче, е технически нереализуемо, защото целта и измервателят са разнесени в пространството, което за разглежданите СУ на ударни БЛА е естествено. За това се налага търсене на косвен метод за определяне на истинската стръмност на пеленгационната характеристика на дискриминатора.

Един от възможните косвени методи за определяне на истинската стръмност на пеленгационната характеристика е чрез експериментално изследване на зависимостта на стръмността на пеленгационната характеристика на дискриминатора от смущенията в системата, т.е. $A_{\mu}(t) = f(\text{смущения})$. Тя се залага в паметта на бордния компютър (изчислител) на БЛА. Истинската стръмност на пеленгационната характеристика може да бъде намерена, ако по време на полета бъдат определени входните смущения. Параметрите на смущенията могат да бъдат измервани достоверно с необходимата точност при използване на импулсно модулиран сондиращ сигнал, тъй като в този случай може да бъде точно известно, че на входа на дискриминатора постъпват само смущения. Този метод е технически реализуем, но изисква голямо количество априорна информация и има сравнително ниска шумоустойчивост. За това е приложим само в импулсните системи.

Истинската стръмност на пеленгационната характеристика може да бъде определена по следния начин.



Фиг. 3 Специално организирани колебателни движения на преобразувателя на полето

Това се постига с помощта на организирани на специално колебателно движение на преобразувателя на полето (лазерния лъч) около направлението към обекта. Траекторията на това движение може да има вида, показан на фиг. 3.а.

Разсъгласуването ε ще се изменя по същия закон, а неговата производна по времето $d\varepsilon/dt$ ще бъде знакопроменлива и ще има постоянна стойност, както е показано на фиг. 3.б.

Скоростта, с която се извършва това колебание, може да бъде подбрана така, че $d\varepsilon/dt=1$. Тогава равенство (4) ще придобие следния вид:

$$(11) \quad \frac{dZ}{d\varepsilon} = \frac{dZ}{dt} : [\pm 1]$$

или

$$(12) \quad \frac{dZ}{d\varepsilon} = \left| \frac{dZ}{dt} \right|.$$

От (11) се вижда, че при приетата организация на движение на преобразувателя на полето производната по време на изходния сигнал на дискриминатора е равна на неговата производна по параметъра на разсъгласуването (с отчитане на знака).

В ъгломерните координатори стръмността на пеленгационната характеристика при малки разсъгласувания е постоянна по знак, като за всеки вид координатор този знак е известен. За това при определяне на $A_{и}(t)$ е достатъчно да се измерва само модулът на производната, показана с израза (12), или нейната половина, която има еднакъв знак с този на $A_{и}(t)$.

При техническата реализация на измерването на истинската стръмност на пеленгационната характеристика трябва да се отчитат и следните съотношения. Периодът на специално организирани колебания T трябва да бъде много по-малък от времеконстантата на системата за управление (поне на порядък). В противен случай системата за управление ще възприема този спомагателен сигнал като управляващ и ще го обработва. Амплитудата на специално организирани колебания трябва да бъде такава, че при приетия период на

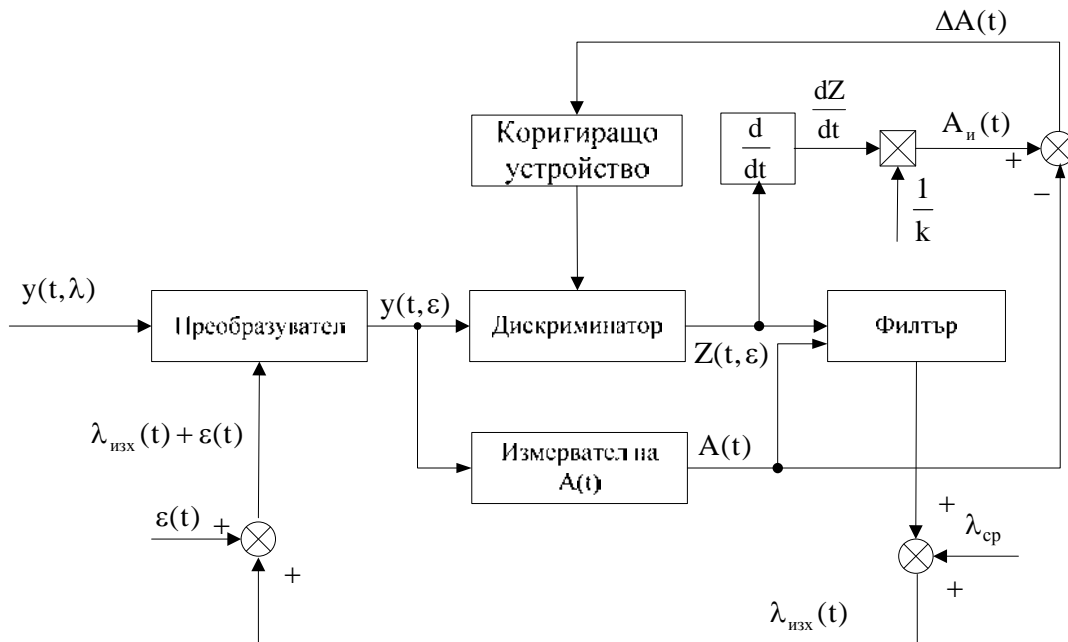
колебанието T и мащаб за измерване на $A_{и}(t)$, модулът на производната да бъде равен на единица. В същото време тя трябва да превишава значително средните амплитуди на шумовите флуктуации ϵ_n , т.е. трябва да се изпълнят следните условия:

$$(13) \quad T \ll T_{cy}, \quad \left| \frac{d\epsilon}{dt} \right| = 1, \quad \epsilon \gg \epsilon_n .$$

При невъзможност да се съгласуват посочените три условия се допуска нарушаване на средното условие т. е. $|d\epsilon/dt| = k$, където коефициентът k може да бъде по-малък, равен или по-голям от 1. За това трябва да се отчита неговата стойност.

При използване на механично сканиране и следене от система, преобразуваща полето, първото условие $T \ll T_{cy}$ е трудно за изпълнение. При електронно сканиране и следене доминиращо е третото условие от (13).

Функционалната схема на самонастройваща се система по изложения метод с организиране на специално колебателно движение на преобразувателя на полето (лазерния лъч) около направлението към обекта е показана на фиг. 4.



Фиг. 4 Функционална схема на оптимална самонастройваща се СУ на ударен БЛА

При тази схема сигналът от изхода на дискриминатора постъпва както на изпълнителните органи, така и на диференциатор, от чийто изход се сема производната dZ/dt . След това тя се умножава по коефициента $1/k$ (усилва се с $1/k$ пъти). Полученото напрежение е пропорционално в определен мащаб на истинската стръмност на пеленгационната характеристика $A_{и}(t)$. То се подава на суматор, в който от напрежението, пропорционално на $A_{и}(t)$, се изважда напрежение, което е пропорционално в същия мащаб на оптималната стръмност $A(t)$.

Амплитудата на полученото напрежение $\Delta A(t)$ характеризира отклонението на истинската стръмност на пеленгационната характеристика от оптималната, а неговият знак –

положението на това отклонение. Това напрежение се подава на коригиращо устройство, чрез което се изменя коефициентът на предаване на дискриминатора, така че $\Delta A(t) \rightarrow 0$.

От функционалната схема на оптималната самонастройваща се система за управление на боен самонасочващ се БЛА може да бъде синтезирана структурната ѝ схема. Двете схеми могат да се използват за извършване на инженерен анализ и на други системи за управление, които използват принципите на адаптацията.

Заклучение

Бурното развитие на технологиите в съвременния свят предизвиква преосмисляне на концепцията за ролята, мястото и използването на БЛА в съвременната война. Това става възможно благодарение на научно-техническото развитие в областта на безпилотните авиационни комплекси. Важна роля в този процес заема усъвършенстване на системите им за управление, от които съществено зависи успешното изпълнение на задачите, поставяни пред тях.

Стъпка в тази насока е и проектирането на оптимални самонастройващи се СУ на бойни самонасочващи се БЛА. Самото прилагане на самонастройката е сложен процес. Предложеният метод за самонастройка на СУ позволява точното определяне на истинската стръмност на пеленгационната характеристика и поддържане на оптималността на СУ, при което тя работи с минимални грешки. Използването на специално организирани колебателни движения на преобразувателя на полето (лазерния лъч) около направлението към целта от техническа гледна точка е оправдано при работа на системата за управление на боен самонасочващ се БЛА при извършване на полети на пределни дистанции и при наличие на интензивни смущения на противника.

Литература

1. Б а к у т, П. А. и др. Вопросы статистической теории радиолокации, т.1 и т.2, М.: Соврадио, 1964.
2. К о с т ю к, В. И. Самонастраивающиеся следящие системы, Киев: Техника, 1966.
3. К р а с н о в, А. А., А. А. Путилин. БЛА, От разведки к боевым действиям // Зарубежное военное обозрение. 2004. №4. С.41 – 47.
4. К у л и к, А. С и др., Проблематика разработки перспективных малогабаритных летающих роботов, http://www.uav.ru/articles/mav_development_problems.pdf, 04.08.2010.
5. Л у н е в а, О. А. Динамический синтез адаптивной системы на основе градиентных методов оптимизации, дисертация, <http://masters.donntu.edu.ua/2003/kita/luneva/diss/index.htm>, 20.10.2009.
6. С о л о д о в н и к о в, В. В., Л. С. Ш р а м к о. Расчет и проектирование аналитических самонастраивающихся систем с эталонными моделями. М.: Машиностроение, 1972.
7. Ц е к о в а, В. Т. Оптимален измервател на координати за система за управление на безпилотен летателен апарат от ударен тип, Book of papers of IV Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety", SENS'2008, Space Research Institute – BAS, p.p. 201 – 205, 2008.