

UDC 629.7.05

DOI 10.52171/2076-0515_2024_16_02_07_18

On-Board Equipment and Application Areas of Unmanned Aerial Vehicles

A.Z. Mammadov

Azerbaijan National Academy of Aviation (Mardakan ave., 30, Baku, AZ1045, Azerbaijan)

For correspondence:

Mammadov Aftandil / e-mail: aftandilmammadov@naa.edu.az

Abstract

Initially used only for military and surveillance purposes, unmanned aerial vehicles (UAVs) have been used in engineering, scientific research, and civil fields in recent years due to the reduction in costs and increased availability with advancing technology. UAVs use various active or passive sensors to obtain the necessary information from these areas with high accuracy. UAVs with these capabilities can provide more accurate, sensitive, fast information and analytical solutions than manned aircraft or satellite images. In the presented article, the structural structure of UAVs was analyzed and the classification forms were determined. The sensors on board UAVs are examined, and their future development prospects are shown. In addition, the on-board equipment, mechanical components, types of payloads of UAVs were examined by showing specific examples and their characteristics were determined.

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAV), onboard equipment, flight controller, sensors, payload, electro-optical system.

Received 08.12.2023

Revised 11.06.2024

Accepted 21.06.2024

For citation:

A.Z. Mammadov

[On-Board Equipment and Application Areas of Unmanned Aerial Vehicles]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, № 2, pp. 7-18 (in Azerbaijani)

Pilotsuz uçuş aparatlarının bort avadanlığı və tətbiq sahələri

A.Z. Məmmədov

Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası (Mərdəkan pr. 30, Bakı, AZ1045, Azərbaycan)

Xülasə

İlk dövrlərdə yalnız hərbi və müşahidə məqsədləri üçün istifadə edilən pilotsuz uçuş aparatları (PUA), son illərdə inkişaf edən texnologiya ilə xərclərin azalması və əlçatanlığın artması səbəbindən mühəndislik sahələrində, elmi araşdırmalarda və mülki sahələrdə də tətbiq edilməyə başlamışdır. PUA-lar bu sahələrdən lazımi məlumatları yüksək dəqiqliklə əldə etmək üçün müxtəlif aktiv və ya passiv sensorlardan istifadə edir. Bu imkanlara sahib olan PUA-lar pilotlu uçuş aparatları və ya peyk görüntülərinə nəzərən daha dəqiq, həssas, sürətli informasiya və analitik həllər verə bilirlər. Təqdim edilən məqalədə PUA-ların struktur quruluşu analiz edilmiş və təsnifat formaları müəyyənləşdirilmişdir. PUA-ların bortunda olan sensorlar araşdırılmış, onların gələcək inkişaf perspektivləri göstərilmişdir. Əlavə olaraq PUA-ların bort avadanlıqları, mexaniki komponentləri, faydalı yüklərin növləri konkret nümunələr göstərilməklə araşdırılmış və onların xüsusiyyətləri müəyyənləşdirilmişdir.

Açar sözlər: pilotsuz uçuş aparatı, bort avadanlığı, uçuş idarəedici, sensorlar, faydalı yük, elektro-optik sistem.

Бортовое оборудование и области применения беспилотных летательных аппаратов

А.З. Маммадов

Азербайджанская Национальная академия авиации (Мардакянский пр., 30, Баку, AZ1045, Азербайджан)

Аннотация

Первоначально использовавшиеся только в военных целях и целях наблюдения, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в последние годы стали использоваться в инженерных, научных исследованиях и гражданских областях из-за снижения затрат и повышения доступности благодаря развитию технологий. БПЛА используют различные активные или пассивные датчики для получения необходимой информации из этих районов с высокой точностью. БПЛА с такими возможностями могут предоставлять более точные, чувствительные и быстрые информационные и аналитические решения, чем пилотируемые самолеты или спутниковые изображения. В представленной статье проанализирована структура БПЛА и определены формы классификации. Рассмотрены датчики на борту БПЛА и показаны перспективы их дальнейшего развития. Кроме того, на конкретных примерах рассмотрено бортовое оборудование, механические узлы, типы полезной нагрузки БПЛА и определены их характеристики.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), бортовое оборудование, контроллер полета, датчики, оптико-электронная система.

Giriş

Son zamanlarda pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) yaradılması dinamik inkişaf edən istiqamətlərdəndir. Qeyri-hərbi məqsədlər üçün inkişaf etdirilən PUA-lar bu gün artıq aerofoto, aerovideo çəkilişlər və həmçinin bortda əlavə avadanlıqların quraşdırılması ilə ətraf mühitin müxtəlif parametrlərinə nəzarətin aparılması, o cümlədən kənd təsərrüfatı, mədənçilik, tikinti, təbii fəlakətlərin monitorinqi, meteorologiya və arxeologiya kimi sahələrdə də geniş istifadə olunur [1]. Elmi-texniki ədəbiyyatları analiz etdikdə [2] PUA-lar "dron" və ya "UAV/UAS (Unmanned Aerial Vehicle/Systems)" olaraq adlandırılır və bu da müəyyən xüsusiyyətləri istisna olmaqla eyni mənə verir. Bəzi mənbələrdə isə "RC Air Vehicle" kimi terminoloji adlardan da istifadə edilmişdir. Ölkəmizdə isə PUA, bortunda pilot olmadan məsafədən idarə oluna bilən və ya avtonom uçuş edə bilən integrasiya olunmuş sistemlərdən ibarət uçuş aparatı kimi qəbul edilmişdir.

Əksər texnoloji inkişafalarda olduğu kimi, PUA-ların inkişafı da hərbi səbəblərə görə başlamışdır. İlk pilotsuz uçuş aparatı 1916-cı ildə dizayn edilmiş və hərbi məqsədlər üçün istifadə edilmişdir. İkinci Dünya Müharibəsi illərində və ondan sonra da PUA-lar üzərində tədqiqatlar aparılmış və onlardan hərbi əməliyyatlarda müntəzəm istifadə olunmuşdur. PUA-ların bu uğurlu və dəqiq nəticələri onların digər sahələrdə də istifadəsinə imkan yaratmışdır. PUA-ların mülki sahələrdə və elmi tədqiqatlarda istifadə edilməsi onların tapşırıq imkanlarının da təkmilləşdirilməsinə səbəb olmuşdur. PUA-lara integrasiya oluna bilən aktiv və passiv sensorlar sayəsində qısa müddətdə sürətli və dəqiq ölçmələr aparıla bilər. Bu sensorlar isə təyinatdan və yerinə yetiriləcək vəzifədən asılı olaraq dəyişirlər. Məsələn,

PUA-lar zəlzələdən sonrakı zərərin müəyyən edilməsi üçün yüksək keyfiyyətli kamera yükü və ya hava proqnozu ilə bağlı əməliyyat üçün meteoroloji ölçmələr edən sensor sistemləri daşıya bilərlər.

PUA-lar tərəfindən toplanan məlumatlar məlumatların korreksiyası, məlumatların birləşdirilməsi və məlumatların istifadəsi kimi proseslərə məruz qalır. Yüksək ölçülü və mürəkkəb struktura malik məlumatlar kompüter proqramları vasitəsilə emal edilir və daha başa düşülən və miqyaslı bilən strukturlara çevrilir. Bu məlumatların faydalı olması ilə qərarlara dəstək sistemləri (DSS- Decision Support Systems), coğrafi informasiya sistemləri (GIS- Geographical Information Systems), süni intellekt sistemləri (AIS - Artificial Intelligence Systems) kimi sənaye 4.0 tətbiqlərinin uğuru artır və istifadə sahəsi də genişlənir [3].

PUA-ların ümumi strukturu

Yalnız PUA-lar deyil, bütün uçuş aparatlarında gövdə strukturlarının layihələndirilməsi zamanı çəkinin az olması, zərbəyə davamlılıq, temperatur dayanıqlığı, korroziyaya davamlılıq və qiymət məsələləri vacib əhəmiyyət kəsb edir. Bu səbəbdən uçuş aparatlarının hazırlanmasında ümumiyyətlə karbon lifi, keramika lifi, fiberglas kimi kompozitlər, epoksi, polyester, fenol kimi qatranlar və müxtəlif termoplastik materiallara üstünlük verilir. PUA gövdələrinin hazırlanmasında isə çəkinin az olması və zərbəyə davamlılıq baxımından əlverişli məhsul olan karbon lifli kompozit materiallarının istifadəsi kifayət qədər geniş yayılmışdır (şəkl.1).

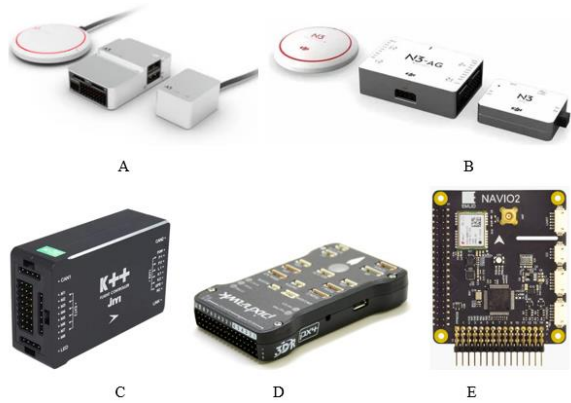
PUA-lar əsasən uçuş marşrutundan asılı olaraq avtonom, yarı avtonom və ya yerdən operator-pilot tərəfindən idarə olunur. Tapşırıq imkanlarından və məqsədlərindən asılı olaraq onlar müxtəlif ölçülərdə, formalarda və çəki-

lərdə ola bilər. Aşkaredici sistem olaraq PUA-larda əsasən kamera istifadə edilsə də, müxtəlif ölçmələr apara bilən sensorlardan da istifadə edilir. PUA-lara integrasiya oluna bilən kamera növlərinə video kameralar, standart kameralar, termal kameralar, multispektral kameralar, hiperspektral kameralar, optik böyütmə kameraları, IP kameralar, veb kameralar və ya analoq video kameralar aiddir.



Şəkil 1 – Konvertoplan tipli PUA gövdəsi [4]
Figure 1 – Convertoplane type UAV body [4]

PUA-lar tapşırıqları düzgün edə bilmək və operator-pilotun göndərdiyi əmrləri yerinə yetirmək üçün uçuş idarəedici moduluna malikdirlər. Şək. 2-də PUA-larda istifadə edilən bəzi uçuş idarəedici modulları göstərilmişdir.



Şəkil 2 – Uçuş idarəedici modulları
Figure 2 – Flight control modules
(A: DJI A3, B: DJI N3, C: JIYI K++, D: Pixhawk Px4, E: Emlid Navio 2)

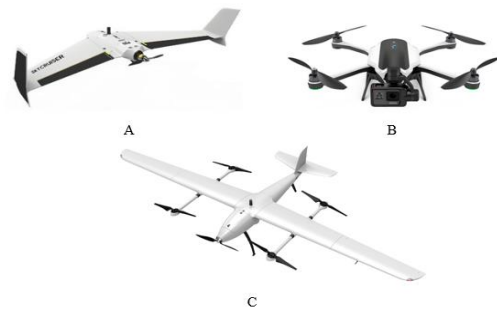
Uçuş idarəedici modulu digər köməkçi uçuş sensorlarından gələn məlumatlar əsasında öz vəzifəsini təhlükəsiz şəkildə yerinə yetirə bilər. Bu sensorlara giroskop və maqnitometr sensoru, akselerometr sensoru, mövqe sensoru, sürət sensoru, hava təzyiqi sensoru, cərə-

yan və gərginlik sensoru, mühərrikin elektron sürət tənzimləyicisi, temperatur sensorunu misal göstərmək olar.

PUA-ların təsnifatı

PUA-lar əsasən texniki xüsusiyyətlərinə görə (çəkisinə, yanacaq/enerji növünə, qanad quruluşuna, avtomatik və ya məsafədən idarə olunmasına və s.), təyinatına görə (hərbi, mülki və s.), uçuş məsafəsi və hündürlüyünə görə təsnif edirlər. Dünyanın müxtəlif yerlərində müxtəlif qurumlar və tədqiqatçılar PUA-ların təsnifatı üzərində işləyirlər. 2006-cı ildə Hollandiya Avionika Konfransında (Blyenburgh 2006) müxtəlif təsnifat metodologiyaları irəli sürülmüşdür. Avropa PUA Assosiasiyası (EU-ROUVS) tərəfindən uçuş hündürlüyü, sürət, maksimum qalxma çəkisi, qabarit ölçü, idarəetmə məsafəsi, uçuş müddəti, yanacaq növü, qanad və mühərrik növü kimi parametrlərə görə təsnifatlar təklif edilmişdir [5]. PUA-ların ümumi təsnifatı cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Elmi-texniki ədəbiyyatda əhatəli təsnifat metodologiyaları olmasına baxmayaraq, mülki PUA-lar əsasən qanad növlərinə görə təsnif edilir və 3 əsas qrupa bölünür. Bunlar sabit qanad (fixed wing), fırlanan qanad (rotary wing) və hibrid növlərdir (VTOL) (şək. 3). İstifadə asanlıqı və qiymət baxımından nəzərə alındıqda ən çox istifadə edilən PUA-lar fırlanan qanad tipli PUA-lardır.



Şəkil 3 – Qanad növlərinə görə mülki PUA-lar
(A: sabit qanad, B: fırlanan qanad, C: VTOL)
Figure 3 – Civilian UAVs by type of wing.
(A: fixed wing, B: rotary wing, C: VTOL)

Cədvəl 1 – PUA-ların təsnifatı

Table 1 – Classification of UAVs

	Növü	Maksimum qalxma çəkisi, kq	Maksimum uçuş hündürlüyü, m	Uçuş müddəti, saat	Məlumat ötürmə məsafəsi, km
Mikro Mini	Mikro	0.10	250	1	<10
	Mini	<30	150-300	<2	<10
Taktiki	Çox yaxın məsafə	150	3000	2-4	10-30
	Yaxın məsafə	200	3000	3-6	30-70
	Orta məsafə	150-500	3000-5000	6-10	70-200
	Uzaq məsafə	-	3000-5000	6-13	200-500
	Dayanıqlı	500-1500	5000-8000	12-24	>500
	Orta hündürlük-Uzun dayanıqlı	1000-1500	5000-8000	24-48	>500
Strateji	Yüksək hündürlük-Uzun dayanıqlı	2500-12500	15000-20000	24-48	>2000
Xüsusi tapşırıq	Döyüşçü	250	3000-4000	3-4	>2000
	Yem	250	50-5000	<4	0-500
	Stratosferik	-	20000-30000	>48	>2000
	Ekstrastratosfer	-	>30000	-	-

Onlar əməliyyat növündən, uçuş müddətindən və uçuş çəkisindən asılı olaraq müxtəlif mühərrik saylarına, gövdə və pər strukturlarına malikdirlər. Kommersiya istifadəsində geniş yayılmasa da, onların 1 mühərrikli (monokopter), 2 mühərrikli (bikopter və ya koaksial kopter) və ya 3 mühərrikli (trikopter) olan strukturları da mövcuddur. Kommersiya məqsədli istifadədə ən çox tətbiq ediləni 4 mühərrikli (kvadrokopter), 6 mühərrikli (heksakopter) və 8 mühərrikli (oktokopter) strukturlardır (şək. 4). Adətən mühərriklərin sayı artdıqca PUA-nın maksimum uçuş çəkisi də artır.

Qanad növünə görə təsnifatları nəzərə alınmaqla, sabit qanadlı PUA-larla yanaşı, eləcə də fırlanan qanadlı PUA-lar da geniş istifadə olunur. Sabit qanadlı PUA-lar fırlanan qanad tipli PUA-lara nisbətən daha sadə gövdə strukturuna və daha uzun uçuş müddətinə malikdir. Bundan əlavə, aerodinamik qanunlardan daha çox faydalana bildikləri (süzülərək hərəkət edə bilməsi) və yüksək faydalı yükdaşıma qabiliyyətinə malik olduqları üçün xü-

susilə fotoqrammetriya işlərində onlara daha çox üstünlük verilir. Sabit qanadlı PUA modellərində bəzi əməliyyat problemləri vardır.



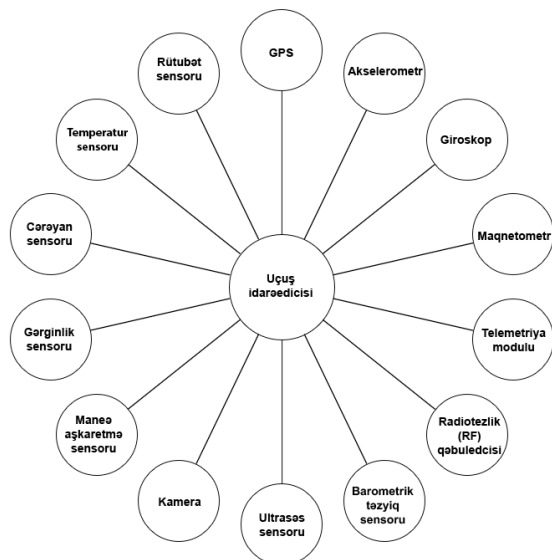
Şəkil 4 – Fırlanan qanadlı PUA növləri
(A: monokopter; B: bikopter; C: trikotper;
D: kvadrokopter; E: heksakopter; F: oktokopter)

Figure 4 – Types of rotary wing UAVs
(A: monocopter; B: bicopter; C: tricopter;
D: quadcopter; E: hexacopter; F: octocopter)

Bu problemlərə uçuş və eniş üçün uçuş-enmə zolağı tələbi, paraşüt sisteminin zəruriliyi, havada asılı qala bilməməsi, ani manevr imkanlarının qeyri-kafi olması, kamera bucaqlarının əsasən tək bucaqlı olması, gimbal problemləri və s. Lakin buna baxmayaraq bu növ PUA-lar uçuş müddətində, yükləmə qabiliyyətində və sərt hava şəraitinə uyğunlaşmasında üstünlükləri ilə seçilir.

PUA-larda istifadə edilən uçuşu idarəetmə və sensor sistemləri

Mülki təyyarələrindəki avtopilot sistemlərinə bənzər PUA-nın uçuşu idarəetmə sistemləri uçuşun təhlükəsizliyini, tapşırıqların dəqiqliyini, eniş, qalxma və avtonom rejimlərinin işlədilməsini, izlənməsini və nəzarətini təmin edir. Hər bir sensordan alınan məlumatlar və operator-pilotdan alınan əmrlər uçuş idarəedicişində yüksək sürətlə emal edilir və uçuşa nəzarət alqoritmləri yerinə yetirilir. PUA-ların uçuşu idarəetmə sisteminin bəzi komponentləri şəkl. 5-də göstərilmişdir.



Şəkil 5 – PUA-larda tətbiq edilən uçuşu idarəetmə sisteminin komponentləri

Figure 5 – Flight control system components used in UAVs

PUA-nın uçuşu idarəetmə sisteminin komponentlərinin funksiyaları aşağıdakılardır:

Uçuş idarəedicişi: PUA-nın hərəkət sistemlərini idarə edən, adətən 32 bitlik yüksək sürətli prosessorla malik, sensorlardan məlumat toplaya bilən müxtəlif rabitə interfeyslərinə malik olan daxili sistemdir.

❖ GPS modulu: GPS peyklərindən üçölçülü yeri, atom saati, signal səviyyəsi, peyk məlumatları, nisbi sürət, qoşulmuş peyklərin sayı, üfüq bucağı kimi məlumatları toplayır (şəkl. 6).

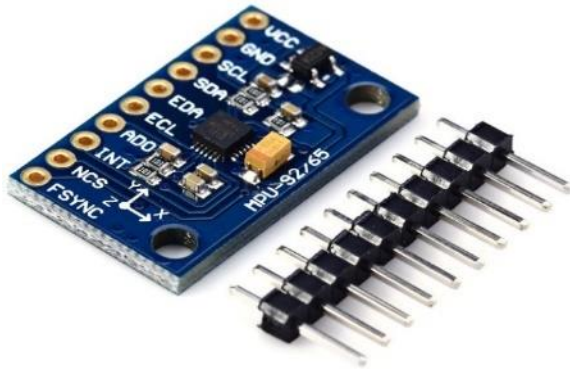


Şəkil 6 – PUA-larda istifadə edilən GPS modulu
Figure 6 – GPS module used in UAVs

❖ İnersial ölçü modulu: PUA-nın stabilizasiyasını və naviqasiyanı təmin edən ən əhəmiyyətli hissələrdən biri də kifayət qədər dəqiqlikli inersial ölçü sisteminin yaradılması üçün üçoxlu girooskop, akselerometr və maqnetometrə malik olan MEMS (mikroelektromexaniki sistem) inersial ölçü modullarıdır [6]. Maqnetometr, həm də kompas sensoru kimi tanınır və PUA-nın ön hissəsi ilə şimal istiqaməti arasındakı bucağı ölçür. Uçuş idarəedicişi PUA-nın havada vəziyyəti haqqında informasiyanı fəzada vəziyyət sensorlarından (giroskop, akselerometr) alır və hesablama alqoritminə uyğun olaraq icra orqanlarına əmrlər ötürərək onun havada vəziyyətini tapşırılmış şəkildə idarə edir (şəkl. 7).

❖ Telemetriya modulu: PUA ilə yerüstü idarəetmə stansiyası arasında əlaqəni təmin edir.

❖ Radiotezlik qəbuledicisi: Pilot-operatorun idarəetmə pultu tərəfindən PUA-ya göndərilən radio siqnallarını qəbul edir və rəqəmsal qiymətlərə çevirir.



Şəkil 7 – Giroskop, akselerometr və maqnitometrə malik inertial ölçü modulu
Figure 7 – Inertial measurement module with gyroscope, accelerometer and magnetometer

❖ Barometrik təzyiq sensoru: Hava təzyiqini ölçməklə dəniz səviyyəsinə nəzərən PUA-nın uçuş hündürlüyünü hesablayır (şək. 8).



Şəkil 8 – Barometrik təzyiq sensoru
Figure 8 – Barometric pressure sensor

❖ Hava sürətini ölçən diferensial təzyiq sensoru: PUA-nın hava sürətini ölçmək üçün pilot qəbuledicidən və diferensial təzyiq sensorundan ibarətdir (şək. 9).

❖ Ultrasəs sensoru: Səs dalğalarının əks olunmasını ölçməklə maneələri aşkar edir.

❖ Stereo kamera: Bunlar aşağı ayırdetmə qabiliyyətinə malik maneə aşkarlayan kameralardır.

❖ İnfraqırmızı maneə aşkarlama sensoru: İnfraqırmızı şüaların əks olunma qiymət-

lərini ölçməklə maneələri aşkar edir.

❖ Gərginlik sensoru: PUA-nın bir çox elektron komponentlərində və akkumulyator qurğularında olur və sistemin sabit işləməsini təmin edir.



Şəkil 9 – Hava sürəti sensoru
Figure 9 – Air speed sensor

❖ Cərəyan sensoru: Yüksək cərəyan nəzarəti edərək sistemin sabit işləməsini təmin edir.

❖ Temperatur sensoru: PUA-nın bir çox komponentində mövcuddur və davamlı olaraq temperatur qiymətlərini ölçür.

❖ Rütubət sensoru: PUA-nın bir çox komponentlərində olur və rütubət qiymətini daim ölçməklə PUA-nın elektron komponentlərinin stabil işləməsinə kömək edir.

PUA-larda istifadə edilən faydalı yük növləri

PUA sisteminin əsas məqsədi daşdığı faydalı yüklə məlumat toplamaqdır. Faydalı yükün növləri və say miqdarı da PUA-ların hansı tətbiq sahəsi üçün nəzərdə tutulduğundan asılı olaraq dəyişir. Məlum olduğu kimi məqsədinə görə üç müxtəlif növ faydalı yük istifadə edilir. Bunlar, məlumat toplama yükləri, rabitə əlaqəsi yükləri və naviqasiya yükləridir. Bununla belə, bu gün artıq PUA-ların geniş tətbiq sahələrini nəzərə alsaq, tapşırığa əsaslanan faydalı yüklər də böyük əhəmiyyət kəsb edir. Yerinə yetirdiyi funksiyalarına görə faydalı yük növləri cədvəl 2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 2 – Yerinə yetirdiyi funksiyaya görə faydalı yük növləri

Table 2 – Types of payloads according to the function it performs

Faydalı yük növü	Nümunə
Məlumat toplayıcı	Metan qazı sensoru, video-kamera və s.
Rabitə əlaqəsi	433 MHs telemetriya rabitə modemi, 3/4/4.5/5G modulu və s.
Naviqasiya sistemi	GPS modulu, İnersial ölçü modulu və s.
Tapşırığa uyğun köməkçi yük	Maye püskürtmə sistemi, yük boşaltma sistemi və s.
Uçuşun köməkçi yükü	Maneə aşkar edən sensorlar, uçuş ehtiyat sistemləri



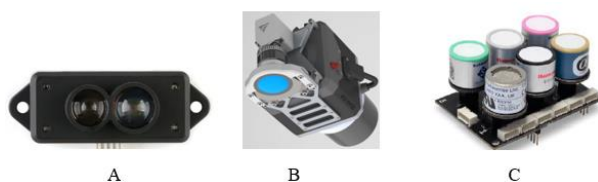
Şəkil 10 – Elektro-optik faydalı yüklər. (A: Yüksək ayırdetməli kamera-Viewpro Q10F 3, B: Termal kamera – FLIR Duo Pro R, C: Multispektral kamera – Foxtech MS600, D: Hiperspektral Kamera-Optosky ATH1500, E: Zoom Kamera – SIYI ZR30 4K 4K 8MP Ultra HD 180X Hibrid 30X, F: USB Web Kameras - Logitech C920 HD Webcam)

Figure 10 – Electro-optical payloads. (A: High Definition Camera-Viewpro Q10F 3, B: Thermal Camera – FLIR Duo Pro R, C: Multispectral Camera – Foxtech MS600, D: Hyperspectral Camera – Optosky ATH1500, E: Zoom Camera – SIYI ZR30 4K 4K 8MP Ultra HD 180X Hybrid 30X, F: USB Web Cameras - Logitech C920 HD Webcam)

PUA-lar ümumiyyətlə, məlumat toplayan faydalı yüklər kimi elektro-optik sistemlərə malikdir. Bunlar PUA-nın məqsədi və vəzi-

fəsindən asılı olaraq fərqli olsa da, yüksək ayırdetməli görünən dalğa uzunluğuna malik kameralar, termal kameralar, gecə görmə kameraları, infraqırmızı kameralar, multispektral və hiperspektral kameralar, optik böyütmə kameraları, USB veb-kameralar və ya analoq mini kameralar ola bilər (şəkl. 10).

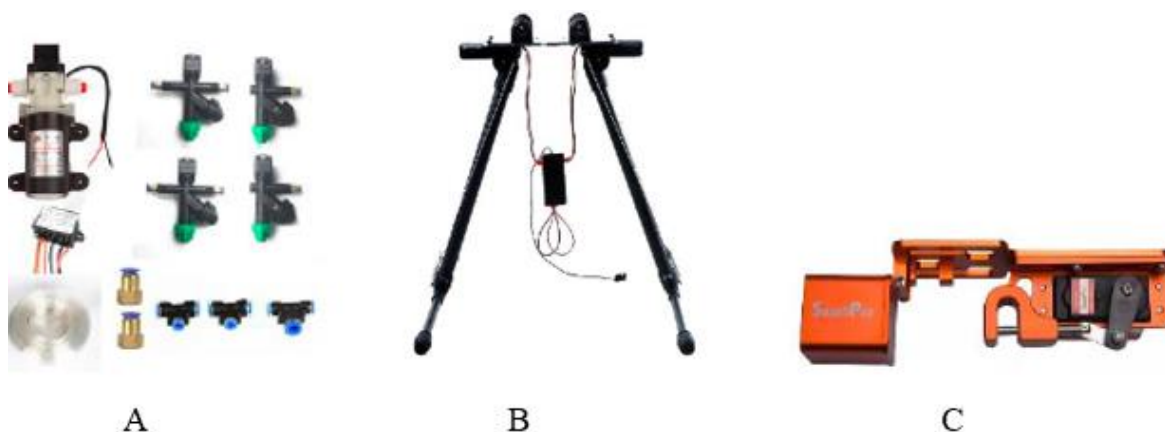
Bu sensorlardan başqa, PUA-larda tapşırıqı aid məlumat toplamaq üçün xüsusi faydalı yüklər də ola bilər. Bu faydalı yüklərə lazer məsafəölçəni, LIDAR (Light Detection and Ranging), küləyin sürətini ölçən, SAR (Synthetic Aperture Radar), qaz səviyyəsini ölçən sensorlar (oksigen, karbonmonoksit, karbon qazı, azot oksidi, kükürd, metan, hidrogen, hidrogen sulfid, kükürd dioksid, xlor, xlorid turşusu, hidrogen siyanid, ammoniyak və s.), meteoroloji sensorlar (temperatur, rütubət, təzyiq), PH ölçmə sensoru və s. aiddir (şəkl. 11).



Şəkil 11 – PUA-larda tapşırıqı aid məlumat toplamaq üçün xüsusi faydalı yüklər (A: Lazer məsafəölçən sensor - LIDAR Lite V3 Pixhawk lite, B: LIDAR-Revolution 120, C: PUA-larda istifadə edilə bilən qaz ölçmə modulu)

Figure 11 – Special payloads for collecting mission-specific information on UAVs (A: Laser ranging sensor - LIDAR Lite V3 Pixhawk lite, B: LIDAR-Revolution 120, C: Gas measurement module usable on UAVs)

Tapşırıqı əsaslanan faydalı yüklər pilot tərəfindən və ya avtonom şəkildə idarə olunan PUA-nın xüsusi tapşırığı zamanı verilmiş funksiyanı yerinə yetirən və ya asanlaşdırən sistemlərdir. Məsələn, kənd təsərrüfatı təyinatlı PUA üzərinə quraşdırılmış dərman səpmə sistemi, PUA-nın enməsi və qalxması zamanı açılan və bağlanan dayaq sistemi və ya yük buraxma qurğusu ola bilər (şəkl. 12).



Şəkil 12 – Tapşırığa əsaslanan faydalı yük nümunələri (A: PUA üçün dərman püskürtmə sistemi, B: Avtomatik açılıb-bağlanan eniş mexanizmi sistemi, C: Yük boşaltma qurğusu)

Figure 12 – Examples of mission-based payloads (A: Drug spray system for UAV, B: Automatic opening and closing landing gear system, C: Payload unloading device)

PUA-ların tətbiq sahələri

Son dövrlərdə PUA-ların tətbiq sahələri xeyli genişlənməmişdir. Hərbi kəşfiyyat, məsafədən zondlama, kartoqrafiya, axtarış və xilasetmə əməliyyatları, kargo xidməti, çirklənmənin aşkarlanması, meteoroloji tədqiqatlar, kənd təsərrüfatı sahəsi, reklam və film çəkilişləri, təbii fəlakətlərin monitorinqi və arxeoloji tədqiqatlar bu sahələrdən bəziləridir [7]. Elmi-texniki ədəbiyyatların təhlillərinə əsasən PUA-ların bəzi tətbiq sahələri cədvəl 3-də göstərilmişdir.

PUA-lar daşıdıqları elektro-optik sistemlər sayəsində peyk görüntülərindən daha yüksək fəza, radiometrik və spektral ayırdetmə qabiliyyətinə malikdirlər.

Xərc və vaxt üstünlüklərinə malik olduqları üçün xəritəçəkmə proseslərində onlara daha çox üstünlük verilir. Böyük miqyaslı xəritələr kiçik ərazilərdə aparılan tədqiqatlar və ya detalların aydın görünməsi tələb olunan sahələr üçün yaradılır. Xəritələrin yaradılması üçün ümumiyyətlə Pix4D, Agisoft, Drone Deploy, DJI Terra, WebODM, 3DSurvey, Postflight Terra 3D kimi kompüter proqramlarından istifadə edilir. Bundan əlavə, rəqəmsal hündürlük modeli, rəqəmsal səth modeli, rə-

qəmsal relyef modeli xəritələri ilə tematik xəritələr də yaradılır. Bu xəritələr tez-tez memarlıq layihələrində, şəhər planlaşdırma proqramlarında və xəritəçəkmə mühəndisliyi tədqiqatlarında istifadə olunur.

PUA-ların çox qısa müddətdə məlumat toplaması, sürətli və analitik həllər təqdim etməsi sənaye sahəsi üçün də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. İndiki dövrdə artıq PUA-lar ilə enerji sahəsindəki problemlərə sürətli və analitik həllər edilə bilməkdədir. Məsələn olaraq PUA-lar vasitəsilə Günəş enerjisi panellərindəki nasazlığın aşkarlanması böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu sahədə aparılan bir çox tədqiqat işləri mövcuddur [8].

Klassik üsullarla neft və qaz kəmərlərinin yoxlanılması səyyar nəqliyyat vasitələri və ya piyada patrul xidməti vasitəsilə həyata keçirilir. Lakin bu, vaxt və xərc baxımından heç də əlverişli olmur. Bu səbəbdən sürətli və analitik həllər verən PUA-ların istifadəsi artıq daha məqsəduyğun olmuşdur. Buna uyğun olaraq müəyyən aşkarlama və çevirmə alqoritmləri istifadə edilərək xətti boru kəmərlərinin xəritələşdirilməsi və monitorinqi üçün nəzarət mexanizmi işlənib hazırlanmışdır [9].

Cədvəl 3 – PUA-ların bəzi tətbiq sahələri

Table 3 – Some application fields of UAVs

Xəritəçəkmə sahəsi	Sənaye sahəsi	Kənd təsərrüfatı sahəsi	Nəqliyyat sahəsi	Hərbi sahə
Rəqəmsal hündürlük modelinin tərtibi	İnfrastrukturun monitorinqi	Bitkilərin suvarmasının planlaşdırılması	Nəqliyyat hərəkətinin monitorinqi	Termal müşahidə
Rəqəmsal ərazi modelinin tərtibi	Günəş panellərinin monitorinqi	Biokütlənin çıxarılması	Kəşifmələrin monitorinqi	Kamuflyajın aşkarlanması
Rəqəmsal səth modelinin yaradılması	Neft xətlərinin monitorinqi	Torpağın nəmliyi və temperaturunun ölçülməsi	Sürət həddinə nəzarət	Strateji hücum
Tematik xəritələrin istehsalı	Yüksək gərginlik xətlərinin monitorinqi	Azot sıxlığının ölçülməsi	Minaların aşkarlanması və təmizlənməsi	Elektron müharibə
3D xəritə tərtibi	Qaz sızmasının müəyyənəldirilməsi	Bitki İnkışafının Monitorinqi	Nüvə, kimyəvi və bioloji qəzaların monitorinqi	Müşahidə və kəşfiyyat
Multi və hiperspektral xəritəçəkmə	Külək turbinlərinin monitorinqi	Bitki/Ağac-ların sayımı	Ərazi/Şəxs/Avto mobil təhlükəsizliyi	Məsafənin ölçülməsi

Digər tətbiq sahələrinə misal olaraq PUA vasitəsilə çəkilmiş şəkillər əsasında yazılmış alqoritm ilə külək turbinlərinin qanadlarında çat və deformasiyaların yüksək dəqiqliklə avtomatik aşkar edilməsini qeyd edə bilərik. Klassik üsullarla kənd təsərrüfatı sahələrinin monitorinqi və nəzarəti insan gözü və ya yer ölçmə cihazları ilə, qabaqcıl üsullarda isə məsafədən zondlama sistemləri ilə həyata keçirilir. Xüsusilə elektro-optik faydalı yük daşıyan PUA-lar sayəsində müxtəlif məlumatlar əldə edilərək kompüter proqramları ilə qiymətləndirilir. Hazırda PUA ilə yalnızca əkinçilik sahələrinin yoxlanılması deyil, həm də çiləmə, suvarma və biçin işləri də aparıla bilər. Misal

üçün hiperspektral sensor inteqrasiya olunmuş PUA ilə şəkillər toplanaraq təsadüfi meşə (RF-Random Forest) alqoritmı və ekstremal öyrənmə maşınları (EML-Extreme Machine Learning) üsullarından istifadə edilərək yüksək dəqiqliklə torpağın nəmlik xəritəsini yaratmaq mümkün olur.

Bir çox ölkələrin sərmayə qoyduğu və tədqiqatlar apardığı hərbi tipli PUA-lar əsasən müşahidəçi, döyüşçü, həm müşahidəçi, həm də döyüşçü, yem tipli, bələdçi, lazer tuşlayıcı və ya elektron müharibə məqsədilə istifadə olunur. Bu tətbiq sahəsinə aid olan PUA-larda faydalı yük kimi elektro-optik sistemlər, buraxılan sursatlar, peyk rabitə blokları, sürətli xəritəçəkmə qurğuları, lazer, optik, termal, inersial idarə olunan raketlər istifadə edilir.

Hərbi təyinat tipli PUA-larda quraşdırılan elektro-optik sistemlər xüsusi imkanlara malikdir. Kəşfiyyat imkanları ilə yanaşı, hədəfləmə, kamuflyaj və elementlərin aşkarlanması, hədəfin fokuslanması, optik yaxınlaşdırma və termal görüntüləmə kimi xüsusiyyətlərə malikdir. Hərbi tipli PUA-larda mövcud olan elektro-optik sistem şəkl. 13-də göstərilmişdir.



Şəkil 13 – ASELSAN tərəfindən yaradılmış elektro-optik sistem CATS (Common Aperture Targeting System) [10]

Figure 13 – Electro-optical system CATS (Common Aperture Targeting System) created by ASELSAN [10]

Ənənəvi tətbiqlərdə PUA-nın idarə edilməsi radio tezlik ilə həyata keçirilir və rabitə diapazonu açıq ərazilərdə 500 metr ilə 10 km

arasındadır. Bununla belə, hərbi tipli PUA-lar tapşırıqə görə böyük uçuş məsafəsinə malik olur. Bu səbəbdən hərbi təyinat tipli PUA-lar peyk məlumatları ilə idarə olunur. Peyk rabitəsi sayəsində məsafədən və relyefin formasından asılı olmayaraq PUA-nın idarə edilməsi təmin edilir və məlumatlar ani olaraq izlənilir. Bu məqsədlə ASELSAN tərəfindən hazırlanmış peyk rabitə terminalı şəkl. 14-də göstərilmişdir.

Hal-hazırda PUA-lar sürətli, dəqiq, kiçik xərcli və analitik həllər təklif edir.



Şəkil 14 – ASELSAN tərəfindən hazırlanmış peyk rabitə terminalı- SATCOM [10]

Figure 14 – Satellite communication terminal developed by ASELSAN - SATCOM [10]

Döyüş məqsədləri üçün PUA-lara inteqrasiya oluna bilən ağıllı döyüş sursatları da adlandırılan yüngül çəkili raketlər də istifadə edilir. Şəkl. 15-də Tübitak tərəfindən istehsal edilən idarə olunan döyüş sursatı və Roketsan tərəfindən istehsal edilən süzülən raket modeləri göstərilmişdir.

Bundan əlavə, sensor texnologiyalarının inkişafı, mikroprosessor imkanlarının artması, enerji bloklarında yenilənmələr və təkmilləşdirmələr də günü-gündən artır.

Digər mühüm inkişaflara özəl qurum və təşkilatların PUA investisiyaları və tədqiqatçıları tərəfindən aparılan araşdırmaların sayının artması daxildir. Bütün bu inkişaflara uyğun olaraq, gələcəkdə PUA üzrə elmi tədqiqatların

genişləndirilməsi və daha da inkişaf etdirilməsi nəzərdə tutulur.



A



B

Şəkil 15 - Süzülən (A) və idarə olunan (B) raketlər [11, 12]

Figure 15 - Cruise (A) and guided (B) missiles [11, 12]

Nəticə

Məqalədə PUA-lar haqqında ümumi məlumat verilmiş, onların elmi əsaslarla inkişaf perspektivləri müəyyənəşdirilmişdir. Elmi-texniki ədəbiyyatların təhlili nəticəsində PUA-ların struktur quruluşu araşdırılmış və təsnifat üsulları göstərilmişdir. Bundan əlavə PUA-ların bort elektron avadanlıqları və mexaniki komponentlərin növləri, onların xüsusiyyətləri və funksiyaları müəyyənəşdirilmiş və faydalı yük növləri konkret nümunələr göstərilməklə araşdırılmışdır.

Maraqlar münaqişəsi

Müəllif bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edir.

REFERENCES

1. **Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z.** (2018). Mikroelektromexaniki akselerometr və giroskopların parametrlərinin müqayisəli təhlili. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, №3, s. 7-20. (in Azerbaijani)
2. **Hassanalian M. & Abdelkefi A.** (2017). Classifications, Applications and Design Challenges of Drones: A Review. *Prog. Aerosp. Sci.* 2017, 91 p. (in English)
3. **Shi X., Han W., Zhao T. & Tang J.** (2019). Decision Support System for Variable Rate Irrigation Based on UAV Multispectral Remote Sensing. *Sensors*, 19, 2880 p. (in English)
4. **Nəbiyev R.N, Abdullayev A.A.** (2022). Konvertoplan tipli pilotsuz uçuş aparatının konstruktiv işlənməsi. *Elmi məcmuələr*, Cild 22, № 3-4, pp. 14-26. (in Azerbaijani)
5. **Vergouw B., Nagel H., Bondt G. & Custers B.** (2016). Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments. *The Future of Drone Use*, pp. 21–45. (in English)
6. **Mammadov A.** Analysis of micro-electromechanical inertial measurement units for unmanned aerial vehicle applications. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2022, 117, 129-138. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.117.9>. (in English)
7. **Hassanalian M. & Abdelkefi A.** (2017). Classifications, Applications and Design Challenges of Drones: A Review. *Prog. Aerosp. Sci.* 2017, 91 p. (in English)
8. **Hwang Y. S., Schlüter S., Lee J.J. & Um J.S.** (2021). Evaluating the Correlation between Thermal Signatures of UAV Video Stream versus Photomosaic for Urban Rooftop Solar Panels. *Remote Sensing*. 2021; 13(23):4770 (in English)
9. **Shukla A., Xiaoqian H., & Karki H.** (2016). Autonomous Tracking of Oil and Gas Pipelines by an Unmanned Aerial Vehicle. in 2016 IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS) (pp. 1-4). (in English)
10. **Roketsan** (2023). Akıllı Muhimmat Sistemleri. <https://www.roketsan.com.tr/tr/urunler/mam-t-akilli-muhimmat/>, Accessed 05.12.2023 (in Turkish)
11. **ASELSAN** (2023). Elketto-optik sistemler. <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/elektro-optik-sistemler/>, Accessed 06.12.2023. (in Turkish)
12. **Tubitak** (2023). Bozok Lazer Güdümlü Minyatur Muhimmat. <https://www.sage.tubitak.gov.tr/sites/images/sage/bozok.pdf/>, Accessed 06.12.2023. (in Turkish)