

N.A.Atayev (Azərbaycan Respublikasının Kosmik Agentliyi (Azərkosmos))

LAZER ŞÜALARININ İDARƏEDİCİ VƏ AKTİV TRANSPONDER SİSTEMLİ YENİ MODEL NANOPEYK PLATFORMASININ TƏDQIQI

Giriş. Son on ildə orbitə buraxılmış peyk platforma statistikasına nəzər yetirdikdə nanopeyk kosmik sistemlərinə digər kiçik və həm də böyük peyk platformaları ilə müqayisədə daha çox tələbat olduğunu görə bilərik. Qısaca nanopeyk platformaları dedikdə çəkisi 1 kq-dan 10 kq-a qədər və ölçüləri 1U (Unit) $10 \times 10 \times 11 \text{ sm}$ olan peyklər nəzərdə tutulur. Bunların ən parlaq qrup nümayəndəsi CubeSat peykləri sayılır [1].

CubeSat platformalarının yüksək tendensiyalı layihələndirilməsində aşağıdakı amilləri əsas göstərmək olar [1]:

- digər peyk platformaları ilə müqayisədə daxili komponentlərin sifariş, daşınma, layihələndirmə və daşıyıcı raketlə buraxılma kimi xərclərinin çox kiçik olması;

- CubeSat peyklərinin əsasən aşağı yerətrafi orbitə (LEO) buraxılmasından asılı olaraq xüsusi kosmik mühitin maneə mənbələrinə dözümlülüyü və çox qiymətli komponentlər əvəzinə əlçatan altsistem komponentlərinin istifadə olunmasının mümkünlüyü (COTS);

- standartlaşmış (U) struktur əsasında hazırlanması ilə çətinlik dərəcəsinin kiçik olması və s.

Bununla da CubeSat platformalarının tətbiq olunduğu əsas missiya istiqaməti rəbitə peykləridir. Bu istiqamətin iki əsas realizasiya metodu mövcuddur: radiotezlik rəbitəsi və optik lazer rəbitəsi.

Əsas hissə. CubeSat platformaları əlçatanlıq və texniki funksionallıq baxımından artıq yüksək sürət və həcmli məlumat mübadiləli missiyalarda geniş tətbiq olunmağa başlayır. Lakin mövcud radiotezlik (RR) rəbitə üsulu ilə bunun öhdəsindən gəlməkdə çətinliklər yaranır [2]. Optik və ya lazer rəbitə (OR), RR qeyd olunan çatışmazlıqlarını özünü aşağıdakı xüsusiyyətləri ilə biruzə verir [3]:

- yüksək məlumat dəyəri;

- ultra-kiçik kanallar arası interferensiyası;

- daha yaxşı signal / küy nisbəti;

- ümumilikdə daha aşağı enerji tələbatı;

- dar işıq şüalarının kəsişməsi və bloklanmasının çətin olmasını nəzərə almaqla effektiv mühafizə oluna bilməsi;

- Kvant rəbitə sistemləri üçün gələcək texnoloji inkişafa təsirli ola bilməsi [6].

Lakin OR-dan hasil olunan şüanın kohorent və monoxromatik, eləcə də mikroradian olması, başqa sözlə şüalanmanın əhatə zonasının dalğa uzunluğunun $\sim 1600 \text{ nm}$ təşkil etməsi yerüstü qəbuledici antenaya yönəlmə prosesini çətinləşdirir. Bu əsasən özünü CubeSat platformalarındakı mövqe/mühit təyinində və idarəedici [MMI] alt sistemlərin dəqiqliyində göstərir, beləliklə də platformanın kütlə, ölçü və elektrik güc kimi parametrlərinin artmasına səbəb olur [5]. Bu texnologiyalarda dalğa uzunluqları arasında belə fərqin yaranması aşağıdakı uyğunsuzluqlarla nəticələnir.

Yüksək buraxma zolağı. Məlumdur ki, məlumatın daşıyıcı tezliyi artdıqca sistemin rəbitə tutum dəyəri də artır. RF rəbitədə buraxıla bilən zolaq eni daşıyıcı tezliyin ən çoxu 20% - ni təşkil edə bilər. FSO rəbitədə isə bu qiymət hətta daşıyıcı tezliyin 1% ($\approx 10^{16} \text{ Hz}$) olması ilə 100 THz-ə dək qalxa bilər [6].

Aşağı güc və kütlə sərfiyyatı. Optik şüanın D_R apertura diametri ilə λ dalğa uzunluğunun λ/D_R nisbətini nəzərə alsaq birinin artması ilə digərinin tərs mütənəsib azalması aydındır. Bu isə FSO sistemlərində qəbuledici tərəfə yönəlmiş siqnal intensivliyinin, bununla da qəbuldakı gücün maksimal effektivliklə qəbuluna səbəb olur [7].

Yüksək mühafizənin olması. FSO rəbitə RF - dən fərqli olaraq spektr analizatoru və ya RF metrle detektə oluna bilməz. Bunun əsas səbəbi onun çox dar istiqamətlənmiş şüalanmaya malik olmasıdır. Eyni zamanda FSO sistemlərində On-Off Keying (OOK) geniş istifadə edilir [4].

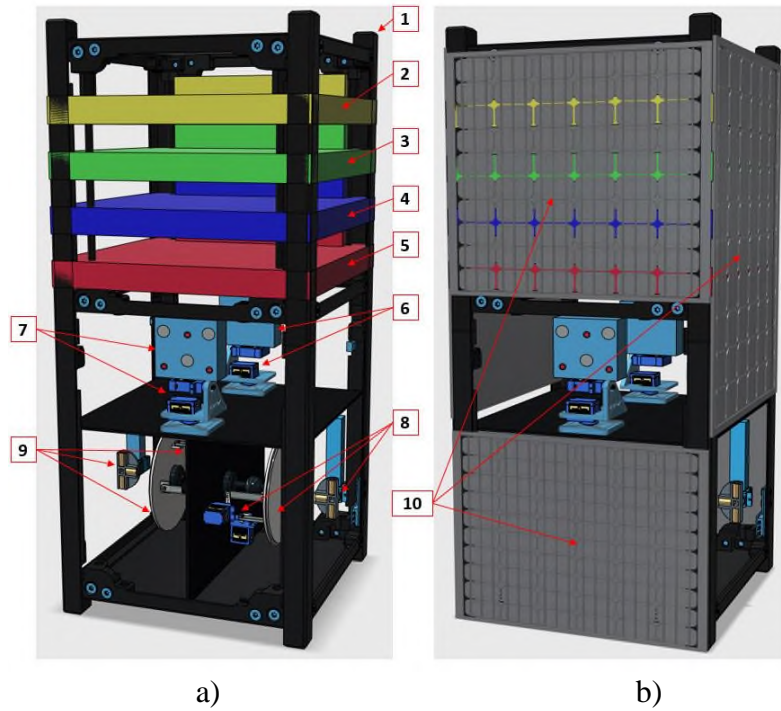
Qeyd olunanları nəzərə alaraq RT və OR texnologiyalarının üstün cəhətlərini özündə birləşdirərək hazırlanmış nanopeykin ilkin konseptual kompüter modelində aşağıda qeyd edilmiş dörd ballıq əsas alt sistemlərin idarəetmə hissələrinin elektronika və mexanika tərkibli alqoritmik proqram strukturları hazırlanmışdır [8]. Bunlardan iki altsistem üzrə müvafiq elmi yeniliklər müəyyənləşdirilmişdir. Birincisi “lazer şüa idarəedici və transponder” altsistemində qurulmuş MEMS tərkibli yeni nəsil 3D optik kommutatorun effektiv rəbitənin təşkili üçün 360^0 yarımşəffaf yüksək dəqiqliyə və kommutasiya sürətinə, eləcə də elektron nəzarət və ölçmə sisteminə malik olması. İkincisi isə “məlumat mübadilə və aktiv transponder” hissəsinin xarici idarəetmə əmrilə 1MHz – 6QHz tezlik zolağında dəyişərək RT əsaslı retranslyasiya, transiver və transponder funksionallığı ilə izah olunur [9]. Əsas bu iki məqam üzrə nəticələr qənaətbəxş hesab edildiyindən, onlar RT və OR şəbəkəli nanopeyk platformalarının yaxşılaşdırılmasında böyük töhfələr verə bilər.

Nanopeykin ilkin konseptual elektromexaniki modelinin və iş prinsipinin araşdırılması. Şəkil 1-dən görüldüyü kimi 2U CubeSat platforması iki elektromexaniki 1U hissəsinin bir-biri ilə ardıcıl birləşməsindən ibarətdir. Şəkil 2-də isə təqdim olunan 2U CubeSat platformasının altsistemlərinin funksional blok-sxemi verilmişdir. Qısaca olaraq sxemi iki (1U və 2U) altsistem bölməsi kimi ayırmaqla müvafiq işləmə proseslərini aşağıdakı kimi şərh etmək olar:

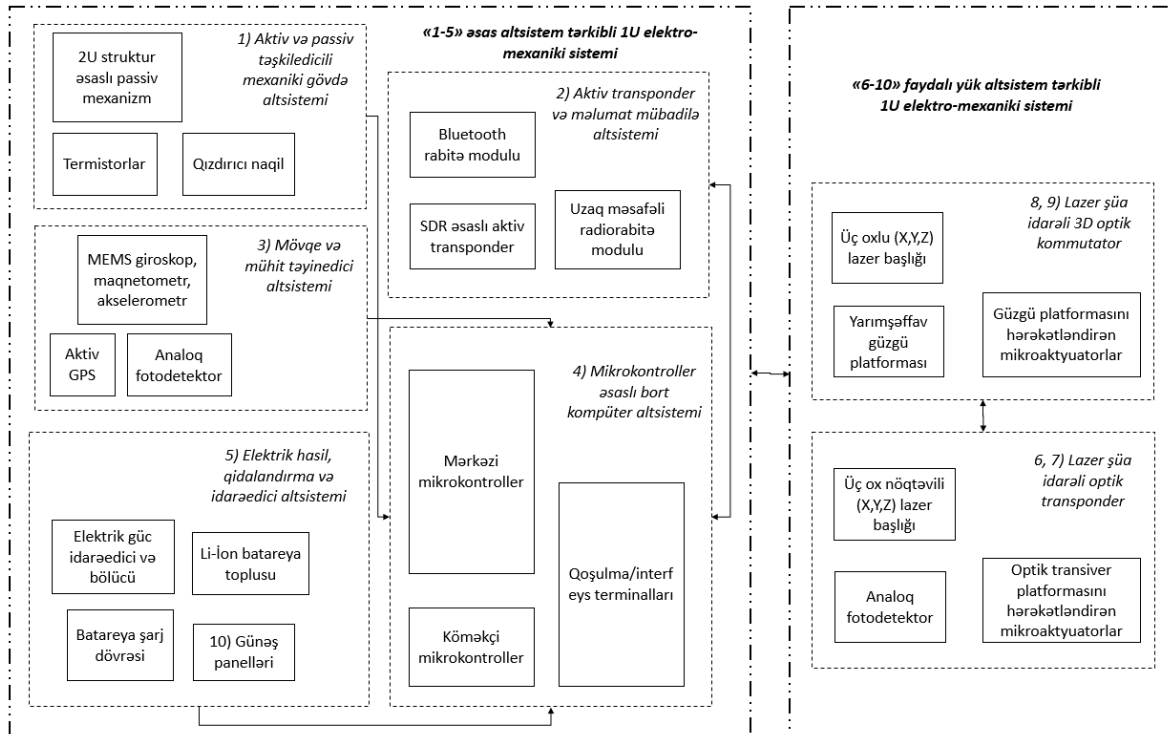
a) lazer şüa idarəedici və transponder əsaslı faydalı yük altsisteminin quruluşu: OR texnologiyalı CubeSat platformalarının iki modulyasiya prinsipindən biri on-off keying-ə (OOK) əsaslanır [10]. Konseptual nanopeyk modelində aktiv rəbitə transponderindən fərqli olaraq bu optik transponder altsistemi üç ox nöqtəli (X, Y, Z) lazer başlıqlı verici şüa mənbəyi və qəbuledici fotodetektorlardan təşkil olunaraq, yerüstü seqment (YS) ilə tam dupleks optik rəbitəsini yarada bilər [6]. Bu altsistem CubeSat platformasının ən önəmli altsistemi olmaqla əvvəlki elmi-praktiki araşdırmaların (yeni nəsil 3D optik kommutatoru) yeni tətbiq istiqamətini özündə əks etdirir [7]. Tədqiq olunan 3D optik kommutator optik rəbitə şəbəkələrində yüksək sürət və effektiv rəbitə keçidinin yaradılması üçün digər mövcud optik kommutatorlarla müqayisədə üç əsas üstünlüyə malikdir [11].

b) Məlumat mübadiləsi, idarəedici və aktiv transponderin quruluşu. Müxtəlif peyk platformalarında RR məlumat mübadiləsi üçün bir və ya bir neçə radiotezlik parametrlərini özündə birləşdirən transiver alt sistemlərdən daha çox istifadə edilir. Lakin geniş istifadəsini tapan Proqram tənzimləməli radio (SDR) platformalar özünün aşağıdakı xüsusiyyətləri ilə xarakterizə olunur [12]:

- az enerji tələbatı;
- geniş tezlik zolağını dəstəkləməsi;
- geniş diskretləşdirmə tezlik aralığına malik olması;



Şəkil 1. 2U CubeSat platforması: a) prototip modelinin sadələşdirilmiş görünüşü; b) günəş panellərilə örtülmüş görünüşü



Şəkil 2. 2U CubeSat platformasının elektro-mexaniki struktur diaqramı

- ənənəvi RR sistemlərindəki fiziki komponentlərin, FPGA kontrolleri tərəfindən proqram vasitəsilə idarə edilə bilməsi [12].

SDR əsaslı RR texnologiyasının hazırlanacaq platformanın konseptual modelində tətbiq olunması OR-dən əlavə alt sistemdə ehtiyac rəbitənin olmasına, bununla da RR və OR sistemlərinin bir arada məlumat emal etməsinə, eləcə də RR əsaslı mobil YS stansiyaların lazımi tezlik zolağına avtomatik köklənərək zəif güclü siqnalları aktiv retranslyasiya etməsinə imkan verəcək [4].

c) enerji sərfi, qidalandırıcı və idarəedicinin quruluşu. Bütün platformanın lazımi elektrik enerjisi ilə avtonom qidalanması üçün ikinci növ günəş-elektrik çeviricisi günəş panellərindən, mütəmadi enerji mənbəyi kimi Li-Ion batareya toplusundan və bu iki hissədəki elektrik enerjisini idarəedici / bölücü dövrəsindən, eləcə də batareyaları masaüstü testlər üçün şarj etmə dövrəsindən ibarət olmaqla mərkəzi MCU vasitəsilə monitorinqi həyata keçirilir [3].

d) mikrokontroller əsaslı bort kompüterli və mövqe / mühit təyinetmə sistemli işçi alqoritmlərin quruluşu. CubeSat platformasının bütün altsistemləri məlumatların emalı və idarə edilməsi üçün mərkəzi MCU əsaslı bort kompüter və mövqe/mühit təyinetmə üçün digər köməkçi MCU-nu özündə sistemləşdirən proqram alqoritmində lazımi sensor/komponentlərin giriş/çıxış fiziki interfeyslərinin təyini, RR modulundan məlumatların oxunmasını, mövqe/mühit təyinetmə hissəsinin MEMS sensor modullarından lazımi məlumatların toplanaraq [13] həm RR vasitəsilə lazer şüalanma impulslarının daha az texniki tələbatla dəqiq və etibarlı YS-ə ötürülməsini təmin edir.

Nəticə. Tədqiq edilən mövzu üzrə nanopeyk sisteminin mövcud RT və OR rəbitə texnologiyalarının üstün cəhətləri, eləcə də əvvəlki tədqiqat mövzusu olan 3D optik kommutatorlu OR əsasında lazer şüa idarəedici, transponderi və SDR əsaslı RT aktiv transponderli altsistemlərini özündə birləşdirən yeni nəsil CubeSat peyk platformasının dörd alt sistemi nəzəri və alqoritmik araşdırılmış, mühüm proseslərin və bütün sistemin tədqiqi ilə OR texnologiyasının yaxşılaşdırılması aspektləri nəzərə alınmışdır. Nanopeykin alqoritmik və struktur modelinin funksionallığı kompüter mühitində ilkin simulyasiyalarla yoxlanılaraq müsbət nəticələr alınmışdır. Bunun əsasında tədqiqatın növbəti mərhələsində prototip platformanın müvafiq elektronika, mexanika və proqram alt-sistemlərinin seçilmiş hissələrlə hazırlanması və hər birinin təyin olunmuş prosedurla yoxlanılması nəzərdə tutulmuşdur. Bununla da hazırlanacaq nanopeykin ilkin prototip modeli mövcud OR əsaslı CubeSat peyk platformalarının yüksək sürətli, effektiv və abunəçi məlumat tutumlu optik lazer şəbəkələrinin inkişafında, eləcə də bu istiqamətdə digər tədqiqat işlərinin aparılmasında yeni istinad edici mənbə rolunu oynayacaqdır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Mehman Huseyn Hasanov, Nadir Bafadin Agayev, Nadir Arzu Atayev, Governor Mukhtar Fataliyev (2021). A NEW GENERATION OF CONTROLLED OPTICAL SWITCH. - TOM 15. - 5 p.
2. Alberto Carrasco-Casado and Ramon Mata-Calvo (2020). Free-space optical links for space communication networks. – Japan. – 66 p.
3. Dirk Giggenbach, Florian Moll, Christopher Schmidt, Christian Fuchs, and Amita Shrestha (2012). Optical on-off keying data links for low Earth orbit downlink applications. – 33 p.
4. Hemani Kaushal and Georges Kaddoum (2017). Optical Communication in Space:

Challenges and Mitigation Techniques. – India. – 41 p.

5. Morio Toyoshima (2010). Trends in satellite communications and the role of optical free-space communications. – Japan. – 12 p.

6. Gurgaon, Haryana (2017). Mitigation Techniques. Department of Electrical, Electronics and Communication Engineering. – India. – 17 p.

7. M. H. Hasanov (2019). 7D optical photon switch of all optical networks.- Baku.- 5 p.

8. Christian Haughwout, Maxim Khatsenko, Ryan Kingsbury, Myron Lee, Rachel Morgan, Jonathan Twichell, Kathleen Riesing, Hyosang Yoon, Caleb Ziegler, Kerri Cahoy (2016). Nanosatellite optical downlink experiment: design, simulation, and prototyping. – Japan. – 55 p.

9. NASA (2017). CubeSat 101 Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers. – California. – 22 p.

10. Zlata Gibalina, Vladimir Fadeev (2017). OPTICAL INTER-SATELLITE LINK IN COMPARISON WITH RF CASE IN CUBESAT SYSTEM. – Russia. – 10 p.

11. M. H. Hasanov (2020). NEW GENERATION 3D OPTICAL SWITCH.-Baku.- 6 p.

12. M. P. Joshi, Prof. Dr. S. A. Patil, Prof. D. C. Shimpi (2017). Design and Implementation of BPSK Audio TTransmitter& Receiver Using SDR. – India. – 5 p.

13. Desire Muhireab, Daria Stepanovaac, Shreya Santraad, Purna Baranwalae, Marco Romeroaf, Rushanka Amrutkarag, Sébastien Bonnartah , Devanshu Jhaai, Aaron Zuchermanak (2020). – IAC. – 14 p.

H.A.Amaev

Исследование новой модели платформы наноспутника с системой управления лазерных лучей и активного транспондера

Резюме

В рамках этой темы были исследованы системы, используемые на спутниковых платформах CubeSat, изучен алгоритм рабочего программного обеспечения и теоретические аспекты функциональности подсистем наноспутника с управлением лазерным лучом и активной транспондерной системой, которые включают в себя инновации и преимущества этой технологии.

N.A.Atayev

Study of a new model of a nanosatellite platform with a laser beam control system and an active transponder

Abstract

Systems used on CubeSat satellite platforms were investigated along the topic, working software algorithm and theoretical functionality aspects of Nano Satellite subsystems with laser beam control and active transponder system, which include innovation and the advantages of this technology, were studied.
