

UOT 62-529

PİLOTSUZ UÇUŞ APARATLARININ QRUP UÇUŞLARINDA MAYE-KRİSTAL SÜZGƏCLİ HİPERSPEKTROMETRLƏR VASİTƏSİLƏ APARILAN ÖLÇMƏLƏRİN OPTİMALLAŞDIRILMASI**F.G. Ağayev, G.V. Əliyeva**

Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutu

Məqalədə pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) qrup uçuşlarında maye-kristal süzgəcləli hiperspektrometrlər vasitəsilə aparılan ölçmələrin optimallaşdırılmasından bəhs olunur. Tənzimlənən maye-kristal süzgəclərin tətbiqi ilə eyni uzunluqlu trayektoriya üzrə asinxron uçuşları həyata keçirən pilotsuz uçuş aparatları qrupları (hər bir PUA qeyd edilmiş dalğa uzunluqlarında monospektral ölçməni yerinə yetirir) əsasında hiperspektral məsafədən zondlama sistemlərinin yaradılması məsələləri təhlil edilmişdir. Qrup uçuşlarının yerüstü obyektlərin bordan yerinə yetirilən monitorinqinin informativliyinə təsiri məsələlərinə baxılmışdır.

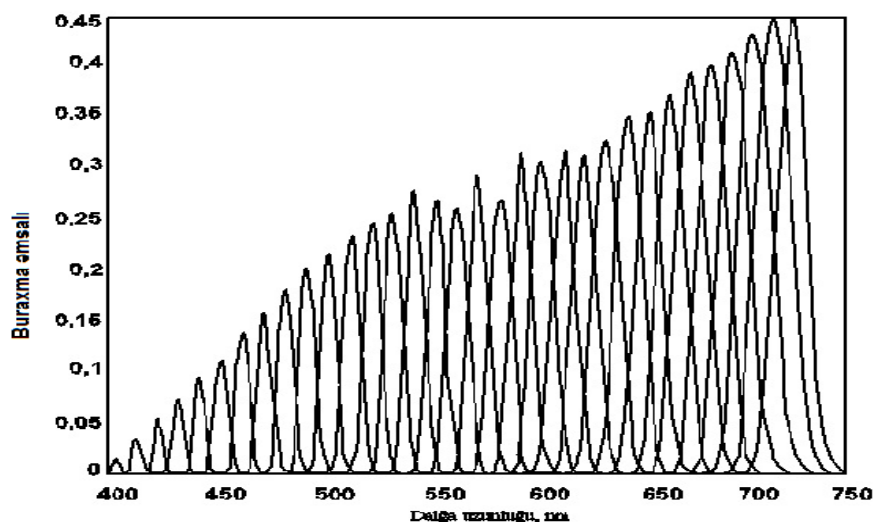
Açar sözlər: PUA, hiperspektrometr, multispektrometr, asinxron, maye-kristal süzgəc, spektral kanal, signal, optimallaşdırma, polyarizasiya bucağı, informativlik, trayektoriya.

Məlumdur ki, müxtəlif su hövzələrinin, torpaq sahələrinin və başqa obyektlərin çirklənmə dərəcələri hal-hazırda hiperspektral cihazlar və sistemlər tətbiq etməklə araşdırılır [1, 2, 3]. Bu məqsədlə ALI / EO – 1, CHRIS / PROBA, ASTER / TERRA, HYPERION / EO – 1, Landsat ETM və digər peyklərdə quraşdırılmış hiperspektral sistemlərdən istifadə olunur. Göründüyü kimi, bort monitorinq sistemlərinin köməyi ilə müxtəlif obyektlərin çirklənmə dərəcəsinin tədqiqi zamanı istifadə edilən sistemlərin məkan ayırd etmə qabiliyyəti kifayət qədər yüksək olmalıdır. Belə ki, hiperspektrometr istehsalçıları tərəfindən bir pikselə uyğun gələn həm çox sayda spektral kanalların, həm də yüksək ayırd etmə qabiliyyətinə malik müvafiq sistemlərin yaradılması istər-istəməz energetik məhdudiyyətlərlə üzləşir. Bütün bunlar isə sonda hiperspektral siqnalların keçdiyi bütün fiziki mühitin küy xüsusiyyətləri ilə təyin edilir. Belə halda yeni prinsiplərin, hiperspektral ölçmə üsullarının və spektral kanalların işlənilməsində yeni optik elementlərin tətbiqinin mümkünlüyü istiqamətində axtarışların aparılması məqsədəuyğun hesab edilir. Yeni optik elementli hiperspektral kanalların yaradılmasının perspektiv istiqamətlərindən biri də elektron üsulla idarə olunan çoxlu sayda ensiz zolaqlı spektral kanalları formalaşdırmağa imkan verən tənzimlənən maye-kristal süzgəclərin tətbiqindən ibarətdir [1, 4].

Multispektral və hiperspektral informasiya-ölçmə sistemlərində maye-kristal süzgəclərin geniş tətbiqini məhdudlaşdıran əsas çatışmazlıqlar aşağıdakılardan ibarətdir:

- spektral kanalların çevrilmə müddətinin bir neçə millisaniyə və daha yüksək olması;
- maye-kristal süzgəclərin spektral kanallarının çıxış siqnallarının dalğa uzunluqlarına görə qeyri-bərabər paylanması (şək.1).

Maye-kristal süzgəclərin elektron üsulla tənzimlənməsi onun idarəetmə girişinə uyğun gərginliyin verilməsi ilə həyata keçirilir [5]. Bu halda müstəvi polyarizasiya bucağının dəyişdirilməsi siqnalın enerjisinin 5% itkisi ilə müşayiət olunur.



Şək. 1. Tənzimlənən maye-kristal süzgeclərin buraxma əmsallarının dalğa uzunluqlarından asılılığı

Həmin araşdırmalarda göstəriləndiyi kimi birtəbəqəli maye-kristal süzgeclərdə süzgecin buraxma zolağı (T) və dalğa uzunluğu (λ) arasında aşağıdakı asılılıq mövcuddur:

$$T \approx \cos^2\left(\frac{2\pi d \Delta n}{\lambda}\right). \quad (1)$$

Burada d - təbəqənin qalınlığı, $\Delta n = n_0 - n_e$ - süzgecin giriş və çıxış siqnalları arasındakı fazalar fərqi.

Göründüyü kimi, çoxspektral informasiya-ölçmə sistemlərində qısa dalğa uzunluqlarında birtəbəqəli maye-kristal süzgeclərin tətbiqi zamanı siqnalın enerjisinin zəifləməsi bu halın aradan qaldırılması üzrə tədbirlərin görülməsi zərurətini qarşıya çıxır.

Hiperspektral informasiya-ölçmə sistemlərinin layihələndirilməsi zamanı maye-kristal süzgeclərdə göstərilən çatışmazlıqların aradan qaldırılmasının effektiv metodlarından biri də spektral ölçmələri həyata keçirən daşıyıcıların qrup uçuş prinsipindən istifadə etməkdən ibarətdir.

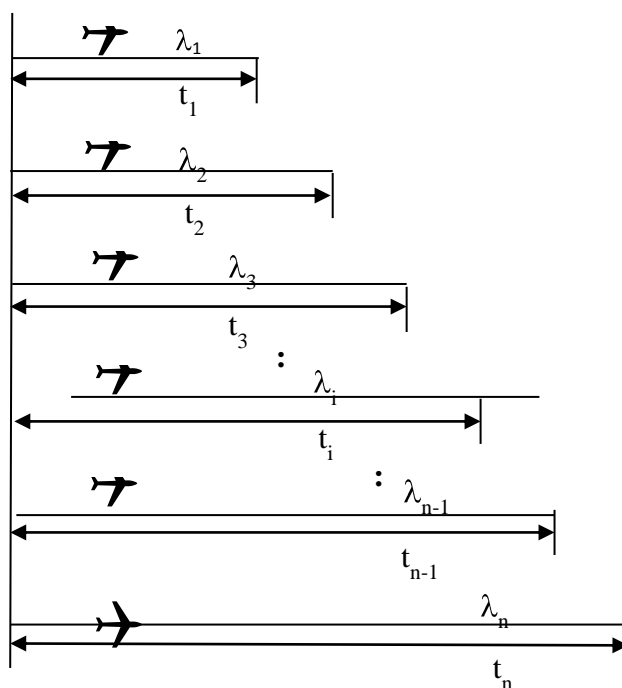
Məlum olduğu kimi, daşıyıcıların ayrı-ayrılıqda uçuşları zamanı həlli mümkün olmayan mürəkkəb məsələlər multisensorlu ölçmələri yerinə yetirən daşıyıcıların qrup halında uçuşları vasitəsilə daha səmərəli həll edilir. Kompleks ekoloji monitoring məsələlərinin həllində və multisensor (qrup halında) ölçmələrdən istifadə yerüstü obyektlərin bortdan yerinə yertirilən monitoringinin nəticələrinin informativliyini yüksəltməyə və belə sistemlərin optimal iş rejimini seçməyə imkan verir.

Bununla yanaşı asinxron uçuş rejimində eyni trayektoriya üzrə çoxlu sayda PUA-dan qrup halında istifadə olunması maye-kristal süzgeclərdə spektral kanalların çevrilməsinin ətalətliyini dəf etməyə və süzgecin çıxışında spektral siqnalların qeyri-bərabər paylanmasının kompensasiyası üzrə tədbirlərin görülməsinə imkan yaradır. Eyni trayektoriya üzrə (eyni uzunluqlu trassa üzrə) birgə hiperspektral ölçmələri yerinə yetirən PUA-ların asinxron uçuş sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir.

Daha sonra baxılan halda qeyd olunmuş spektral kanalın daşıyıcısı olan pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA)-ların qrup halında asinxron uçuşu zamanı formalaşdırılan çıxış siqnalının qeyri-bərabər energetikasının adaptiv kompensasiyasını təşkil etmək məsələsinə baxılmışdır. Bu zaman əlavə olaraq verilmiş məhdudlaşdırıcı şərtləri nəzərə almaqla, optimallaşdırmanın formalaşdırılmış kriteriyasının maksimumunun əldə edilməsi baxımından optimal adaptiv kompensasiyanın təşkil edilməsi tələb edilir.

Əgər ümumi halda atmosferin buraxma əmsalını $T_{1\lambda}$ kimi işarə etsək yazı bilərik:

$$I_b \approx T_{1\lambda} \cdot I_\lambda. \quad (2)$$



Şək. 2. Eyni trayektoriya üzrə hiperspektral ölçmələri yerinə yetirən PUA-ların qrup halında sinxron uçuş sxemi: t_i - eyni trayektoriyanı keçmə müddəti, λ_i - i -ci PUA yerləşdirilən i -ci spektral kanalın dalğa uzunluğudur

Burada I_λ - dalğa uzunluğu λ olan kanalın giriş siqnalı, $I_b(\lambda)$ - həmin kanalın çıxış siqnalıdır.

I_λ -nın spektral kanalın fəaliyyət müddətindən, yəni zamandan asılılığını aşağıdakı kimi göstərək:

$$I_\lambda = I_\lambda(t). \tag{3}$$

Burada t - PUA-nın verilmiş trayektoriyanı keçmə müddətidir.

t müddəti ərzində sistemdən alınan informasiya miqdarını aşağıdakı qaydada müəyyən edək

$$M_1 = \frac{t}{\Delta t} \log_2 \frac{T_{1\lambda} I_\lambda}{\Delta S} \tag{4}$$

Burada ΔS - sistemin küy siqnalıdır.

Əgər t_i ($i= 1, n$) müddətiylə PUA-nın uçuş seriyasının keçirilməsini nəzərə alsaq, onda bütün uçuşlardan alınan informasiyanın ümumi miqdarını aşağıdakı kimi hesablaya bilərik:

$$M_{I_\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{t}{\Delta t} \log_2 \frac{T_{s\lambda} \cdot I_\lambda}{\Delta S} \tag{5}$$

(5) ifadəsini kəsilməz formada yazsaq alarıq:

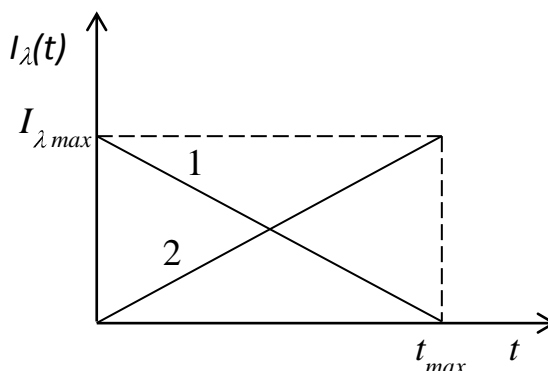
$$M_2 = \int_0^{t_m} \frac{t}{\Delta t} \log_2 \frac{T_{s\lambda} \cdot I_\lambda}{\Delta S} dt \tag{6}$$

İlk növbədə binar məhdudlaşdırıcı şərti nəzərdən keçirək.

Həmin şərtə görə funksiya yalnız artan və ya azalan formaya malik ola bilər (şək.3). Bu halda funksiya aşağıda göstərilən məhdudlaşdırıcı inteqral şərt tətbiq edilir:

$$\int_0^{t_m} I_\lambda dt = c \tag{7}$$

(7) ifadəsində istifadə olunan məhdudlaşdırıcı şərti daha ətraflı araşdırmaq üçün $I_\lambda(t)$ funksiyasına tətbiq edilən məhdudluq şərtlərinə baxaq.



Şək. 3. $I_\lambda(t)$ funksiyasının binar məhdudluq şərtində mümkün tipləri:

$$1) I_\lambda \curvearrowright I_{\lambda, \max} - I'_{\lambda, t} \cdot t ; \quad 2) I_\lambda \curvearrowright I'_{\lambda, t} \cdot t$$

(6) və (7) ifadələrini nəzərə almaqla şərtsiz variasiya optimallaşdırmanın tam funksionalını aşağıdakı kimi formalaşdırmaq:

$$M_3 = \int_0^m \frac{t}{\Delta t} \log_2 \frac{T_{1\lambda} \cdot I_\lambda \curvearrowright}{\Delta S} dt + \gamma \left[\int_0^m I_\lambda \curvearrowright dt - c \right]. \quad (8)$$

Burada γ - Lagranj əmsəlidir.

Eyler metoduna əsasən $I_\lambda \curvearrowright$ optimal funksiyası aşağıdakı şərti ödəməlidir:

$$\frac{d}{dI_\lambda \curvearrowright} \left\{ \frac{t}{dt} \log_2 \frac{T_{1\lambda} \cdot I_\lambda \curvearrowright}{\Delta S} + \gamma \cdot I_\lambda \curvearrowright \right\} = 0. \quad (9)$$

(8) və (9) ifadələrini nəzərə almaqla yazı bilərik:

$$\frac{t}{I_\lambda(t) \cdot (\ln_2) \cdot \Delta t} + \gamma = 0. \quad (10)$$

(7) və (9) ifadələrindən istifadə etməklə tapırıq:

$$\gamma = \frac{-t}{I_\lambda \curvearrowright \ln_2 \cdot c}. \quad (11)$$

(10) və (11) ifadələrini nəzərə almaqla $I_\lambda \curvearrowright$ -nin qiymətini

$$I_\lambda \curvearrowright = \frac{2t \cdot c}{t^2_m}. \quad (12)$$

kimi müəyyənləşdiririk.

$I_\lambda(t)$ funksiyasına görə (10) ifadəsinin törəməsi həmişə mənfi olduğundan, (8) funksionalı maksimal qiymət alır. Deməli optimal funksiya kimi

$$I_\lambda \curvearrowright = I'_{\lambda, t} \cdot t \quad (13)$$

ifadəsi qəbul edilir.

Beləliklə, qəbul edilmiş məhdudlaşdırıcı şərt daxilində (13) ifadəsi optimal funksiyadır. (13) funksional asılılığının reallaşdırılması bütün giriş siqnallarına uyğun olaraq sistemin informasiya

xarakteristikalarını optimallaşdırmağa və sistemin fəaliyyətinin ümumi effektivliyini yüksəltməyə imkan yaradır.

Nəticə

Tənzimlənən maye-kristal süzgeclərin tətbiqi ilə eyni uzunluqlu trayektoriya üzrə asinxron uçuşları həyata keçirən PUA qrupları əsasında hiperspektral informasiya-ölçmə sistemlərinin yaradılması məsələləri təhlil edilmişdir və bu halda hər bir PUA qeyd edilmiş dalğa uzunluqlarında spektral ölçməni həyata keçirir. Göstərilmişdir ki, tənzimlənən maye-kristal süzgeclərin dalğa uzunluqlarına görə buraxma qabiliyyətinin artırılması PUA vasitəsi ilə həyata keçirilən müxtəlif müddətli spektrometrik ölçmə seriyalarında süzgeclərin giriş siqnalının zamana görə dəyişikliyinə qanunauyğunluğunun tapılmasının optimallaşdırılması məsələsini həll etməyə imkan verir. Məhdudlaşdırıcı şərt tətbiq edilməklə optimallaşdırma məsələsi formalaşdırılmış və həll edilmişdir. Həmçinin bu həll maye-kristal süzgecin giriş siqnalının zamandan asılılıq funksiyasının ən məqsəduyğun ifadəsini hesablamağa imkan vermişdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Abdulhalim, I. 2009. Optimized guided mode resonant structure as thermo optic sensor and liquid crystal tunable filter, Chinese Optics Letters 7: 667-670.
2. Alvarez-Romero, J. G.; Devlin, M. J.; Teixeira da Silva, E.; Petus, C.; Ban, N.; Pressey, R.J.; Kool, J.; Roberts, S.; Cerdeira, W. A.; Brodie, J. 2013. A novel approach to model exposure of coastal-marine ecosystems to riverine flood plumes based on remote sensing techniques, J Environ Manage 119: 194-207.
3. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtnvman.2013.01.036>.
4. Graca, M. A.; Rodrigues-Capitulo, A.; Ocon, C.; Gomez, N. 2002. Insitutests for quality assessment: a case study in Pampean rivers, Water research 36 (16):4033-4040. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00132-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00132-X).
5. Hansley, B.; Wyble, D. 2012. Spectral Imaging Using a Liquid Crystal Tunable Filter, [online] Available from Internet:
6. <http://www.cis.rit.edu/DocumentLibrary/admin/uploads/CIs000196.pdf>.
7. Wierzbicki D., Wilinska M. Liquid crystal tunable filters in detecting water pollution. Section: Environmental protection / The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING" 22 – 23 May 2014, Vilnius, Lithuania SELECTED PAPERS eISSN 2029 – 7092 / eISBN 978 – 609 – 457 – 640 – 9 Available online at <http://enviro.vgtu.lt>

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРАМИ С ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ФИЛЬТРАМИ НА ГРУППОВЫХ ПОЛЕТАХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ф.Г. Агаев, Г.В. Алиева

Статья посвящена оптимизации измерений с помощью жидкокристаллических фильтрованных гиперспектрометров в группе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Рассмотрено создание гиперспектральных систем дистанционного зондирования на основе беспилотных летательных аппаратов (выполняющих моно специальные измерения на заданных длинах волн БПЛА), выполняющих асинхронные полеты по одной и той же длине траектории с применением перестраиваемых жидкокристаллических фильтров. Проанализировано влияние групповых полетов на информативные аспекты наземного мониторинга объектов подземных вод.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, гиперспектрометр, мультиспектрометр, асинхронный, жидкокристаллический фильтр, спектральный канал, сигнал, оптимизация, угол поляризации, информативность, траектория.

**OPTIMIZATION OF MEASUREMENTS CARRIED OUT BY LIQUID-CRYSTAL FILTERED
HYPER SPECTROMETERS ON GROUP FLIGHTS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES**
F.G. Agayev , G.V. Aliyeva

The article deals with the optimization of measurements by means of liquid-crystal filtered hyperspectrometers in the group of unmanned aerial vehicles (UAV). The problem of creating hyperspectral remote sensing systems based on non-pilot flight crews (which performs monospectral measurements at the specified PUA wavelengths), which performs asynchronous flights on the same length trajectory with the application of regulated fluid-crystal filters. The impact of group flights on informative aspects of overhead monitoring of groundwater objects.

Key words: *hyperspectrometer, multispectrometer, asynchronous, liquid crystal filter, spectral channel, signal, optimization, polarization angle, informativeness, trajectory.*