

## MEASUREMENT-COMPUTER SYSTEM ON THE BASIS OF THE AIRBORNE HYPERSPECTROMETER

V. Gnidenko, M. Nalyvajchuk

National Technical University of Ukraine «KPI»

V. Yatsenko

Space Research Institute NASU-DKAU

---

### Key words:

Remote sensing  
Dynamic model  
Chemical and biological substances  
Onboard spectrometer  
Precision spectrometry  
Unmanned vehicle

### Article history:

Received 10.10.2012  
Received in revised form  
01.11.2012  
Accepted 20.11.2012

### Corresponding author:

V. Gnidenko  
E-mail:  
vanhealsing@yandex.ru

---

### ABSTRACT

The article is devoted to a new methodology and experimental optical device to detect biological and chemical substances including various toxins and viruses. A nonlinear dynamic system with many attractors in the phase space to classify the spectral data is considered. A signal processing of the spectral data for the remote detection of the chemical and biological substances is presented. A new concept of the compact integrated spectrometer for the environmental monitoring of the chemical and biological substances as well as for the remote monitoring of the vegetation is discussed.

## ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СИСТЕМА НА БАЗІ АВІАЦІЙНОГО ГІПЕРСПЕКТРОМЕТРУ

В.В. Гніденко, М.В. Наливайчук

Національний технічний університет України «КПІ»

В.О. Яценко

Інститут космічних досліджень НАНУ-ДКАУ

*Стаття присвячена новій методології та експериментальному оптичному пристрою для виявлення біологічних та хімічних речовин, в тому числі різних токсичних речовин та вірусів. Розглядається нелінійна динамічна система з багатьма аттракторами у фазовому просторі для класифікації спектральних даних. Представлена обробка спектральних даних для дистанційного виявлення хімічних та біологічних речовин. Обговорюється нова концепція компактного інтегрованого спектрометра для моніторингу хімічних і біологічних речовин в навколишньому середовищі, а також для дистанційного моніторингу рослинності.*

**Ключові слова:** дистанційне зондування, динамічна модель, хімічні та біологічні речовини, бортовий спектрометр, точна спектрометрія, безпілотний транспортний засіб.

Використання гіперспектрального зображення дає можливість для виявлення речовин, що забруднюють навколишнє середовище. Дистанційне зондування хімічних та біологічних речовин гіперспектральними датчиками та їх аналіз залишаються залежними від наявних датчиків та алгоритмів. З появою бортових та космічних гіперспектральних систем, державні установи мають можливість оцінити користь гіперспектральних технологій для програм виявлення та ідентифікації [1].

Наземні та бортові датчики більш активно залучаються для отримання гіперспектральних зображень.

Для спектральних вимірювань рослинності, ґрунтів та інших об'єктів в Україні розроблений та виготовлений двоканалний польовий спектрометр. Він складається з мініатюрного оптичного блоку, який включає штатив, ноутбук та програмне забезпечення обробки даних. Оптичний блок містить поліхроматор з плоскою дифракційною решіткою, сферичні дзеркала і ПЗЗ-датчик [2].

На основі цієї розробки планується створити бортовий гіперспектрометр. Він буде встановлюватися на автономному безпілотному транспортному засобі. Цей пристрій буде застосовуватися для швидкого виявлення та визначення місцезнаходження хімічних та біологічних речовин всередині великих площ. Передбачається, що безпілотний транспортний засіб, а також і гіперспектрометр, будуть додатково оснащені цифровими камерами видимого та інфрачервоного діапазонів. Оператор в будь-який час зможе отримувати візуальну інформацію про процес дослідження.

Ми пропонуємо використовувати Model Driven Architecture (MDA) [3] для розробки програмного забезпечення виявлення хімічних та біологічних речовин. Підхід MDA часто називають модель-орієнтованим підходом. MDA використовує уніфіковану мову моделювання (UML) для побудови візуального представлення гіперспектральної інформації [4].

Розроблені складні моделі для статистичного аналізу польових спектральних вимірювань. Традиційно використовуються спектральні характеристики рослин або їх похідні для оцінювання різних індексів рослинності [5]. Пізніше був запропонований підхід, який базується на кількісних ознаках форми спектра [6].

Основні труднощі, що виникають в ході спектрометрії рослин, пов'язані з шумами вимірювань, додаткові складнощі виникають, коли гіперспектрометр встановлюється на авіаційній платформі.

Таким чином, потрібна розробка нової концепції для визначення вмісту хімічних та біологічних речовин з використанням спектральних вимірів. Ми запропонували модель, яка заснована на динамічному підході [7]. Були використані польові та лабораторні спектральні дані для їх реконструкції. Ці дані були збережені та використані для наступних досліджень.

Першим етапом обробки даних є фільтрація даних, тому що спектральні вимірювання завжди містять шуми. Використовуються два типи цифрових фільтрів для зменшення шуму: фільтр Савицького-Голея [8] та фільтр Баттерворта [9]. Результати польової спектральної фільтрації даних представлені на рис. 1.

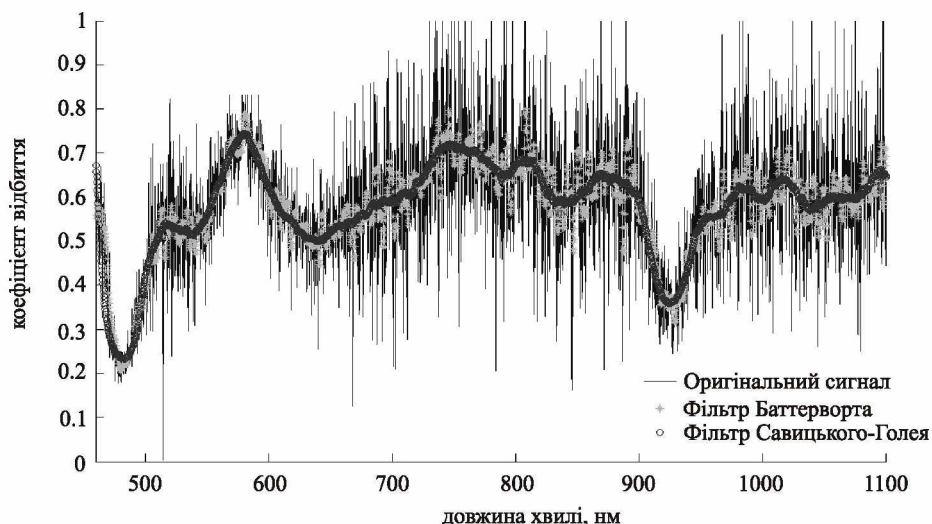


Рис. 1. Спектр відбиття після фільтрації

Наступним етапом є вибір найбільш інформативних ознак [10]. Крім того, досконале визначення інформативних ознак на додаток до зниження розмірності вхідних даних може забезпечити значне збільшення кількості інформації [11]. Виявлення хімічних та біологічних речовин здійснюється динамічною моделлю та обробкою даних дистанційної спектрометрії. Загальна послідовність обробки описується схемою, представленою на рис. 2.

Опишемо проблему динамічної класифікації спектральних кривих  $S_j(\lambda)$ ,  $j \in J$ , використовуючи найбільш інформативні ознаки спектру відбиття. Ми опишемо криві  $N$ -вимірним вектором  $y$ , елементи якого представляють найбільш інформативні характеристики типового спектру відбиття зразків.

$$y_k = \begin{pmatrix} y_{1k} \\ \vdots \\ y_{Nk} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $k = 1, \dots, K$ . Кожен зразок характеризує рослинність, ґрунт або інші об'єкти.

Вирішення цієї проблеми засноване на наступних характеристиках: 1) найбільш інформативних ознаках; 2) динамічній системі з багатьма атракторами; 3) алгоритмі класифікації. Припустимо, що оцінені найбільш інформативні ознаки  $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ , де  $T$  це операція транспонування. Опишемо процес оцінювання концентрації речовини на основі вектору  $x(0)$ , де  $0$  відповідає початковому часу  $t = 0$ . Для оцінювання використаємо диференційне рівняння, розв'язок якого рухається до стійкої точки у фазовому просторі, яка узгоджується з деяким прототипом — вектором  $y_k$ . Рівняння будуть побудовані таким чином, що конкретний вектор  $y_k$  є таким, для якого  $x(0)$  є найближчим, тобто для якого  $(y_k \cdot x(0)) / (|y_k| \cdot |x(0)|)$  є найменшим значенням.

Ми припускаємо

$$(y_k^T \cdot y_k) = \delta_{kk}. \quad (2)$$

Динамічна система для оцінки стану рослинності описується рівнянням

$$\frac{dx}{dt} = F(x, \alpha) + G(t), \quad (3)$$

де  $F(x, \alpha)$  — нелінійна функція,  $\alpha$  — керуючий параметр,  $G(t)$  — гаусівський шум. Динамічна система (3) має декілька атракторів  $K$  кожен з яких характеризується вектором  $y_k$ . Представимо рівняння (3) як

$$\dot{x} = -\text{grad}_x W + G(t), \quad (4)$$

де  $W$  — потенціальна функція, яка задається рівняннями

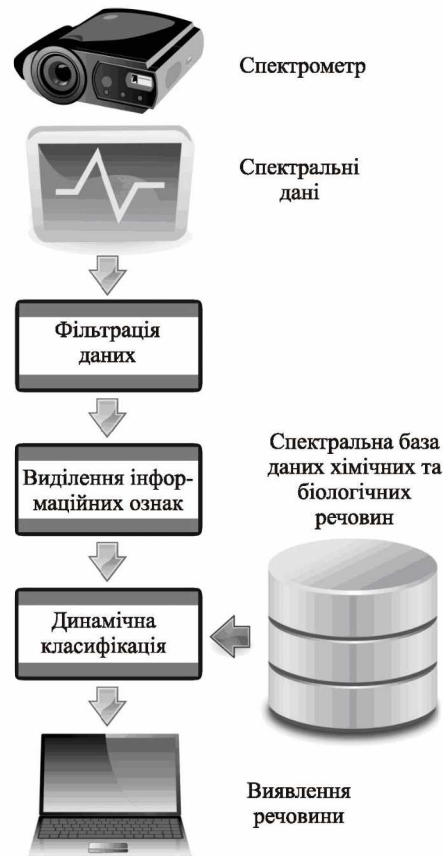


Рис. 2. Схема обробки спектральних даних

## АВТОМАТИЗАЦІЯ

$$W(x) = W_0 + W_1 + W_2, \quad (5)$$

$$W_0 = -\frac{1}{2} x^T \sum_k \alpha y_k \cdot (y_k^T \cdot x), \quad (6)$$

$$W_1 = \sum_{k \neq k'} \mu_{kk'} (y_k^T \cdot x)^2 (y_{k'}^T \cdot x)^2, \quad (7)$$

$$W_2 = \beta (x^T x)^2, \quad (8)$$

$\alpha > 0$ ,  $\mu_{kk'} > 0$ ,  $\beta > 0$ .  $W_0$  служить для переміщення  $x$  в підпростір, який утворений векторами-прототипами. Мовою нерівноважних фазових переходів, це просто простір параметрів порядку.  $W_1$  служить для розрізнення  $x$ -векторів в межах підпростору. Це можна легко побачити з тієї властивості, що мінімум  $W_1$

$$W_{1, \min} = 0 \text{ for } x \parallel y_k, \quad (9)$$

тобто, коли вектор стану стає паралельним до одного із векторів-прототипів, а початковий стан вектора  $x(0)$  визначається як зразок.  $W_2$  забезпечує насичення, тобто  $|x|$  в кінці кінців притягується до фіксованої точки атрактора на осі  $y_{k_0}$ . Константа  $\alpha$  в (6) відіграє роль керуючого параметру.  $\alpha < 0$  визначає зону нижче «порогу», де  $\alpha > 0$  визначає зону вище «порогу». Ми також припускаємо, що  $\alpha > 0$ .

Для того, щоб забезпечити більш ефективне розпізнавання, ми додали шум  $G$  в (4). Зазвичай ми припускаємо, що шум задовольняє умови

$$\langle G(t) \rangle = 0, \quad (10)$$

$$\langle G_k(t) G_{k'}(t') \rangle = C \delta_{kk'} \delta(t - t'), \quad (11)$$

де  $C$  це певна константа. Динамічна система (3) здатна асоціативно розпізнати вхідний вектор з урахуванням попередньо збережених прототипів.

Розглянемо результати числового аналізу. На рис. 3 представлено графіки перших похідних спектрів відбиття листя озимої пшениці. Як видно, в спектрі відбиття є дві екстремальні точки. Зменшення спектральної роздільної здатності призводить до згладжування деталей тонкої структури.

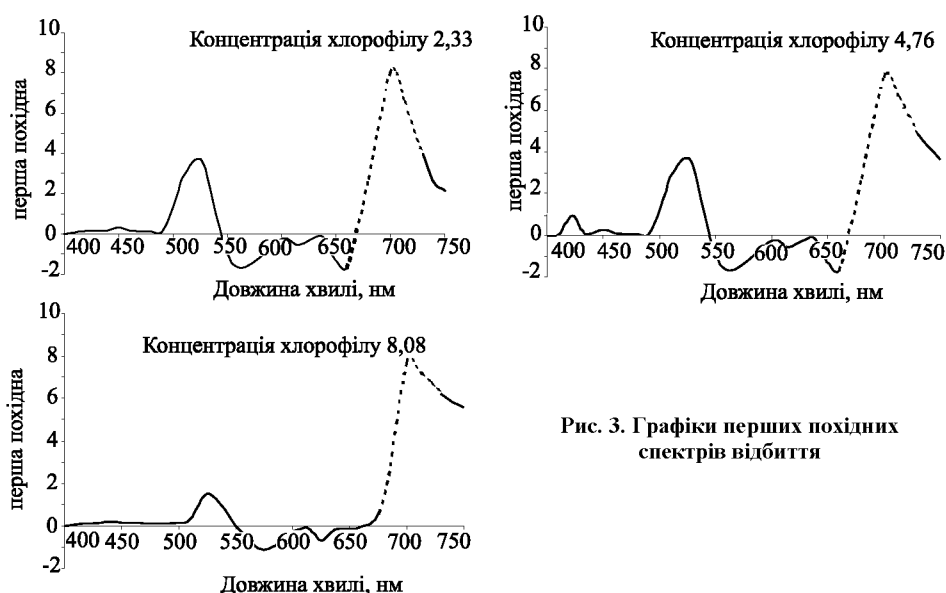


Рис. 3. Графіки перших похідних спектрів відбиття

## АВТОМАТИЗАЦІЯ

В таблиці наведені значення  $K_{725}/K_{702}$  для листя з різним вмістом хлорофілу, розраховані за спектральними кривими відбиття з різною роздільною здатністю. З таблиці виходить, що відхилення величини  $K_{725}/K_{702}$ , викликане спектральною роздільною здатністю, не перевищує 6 – 8 %. Спектри роздільної здатності, які вимірюються гіперспектральною апаратурою з роздільною здатністю 10 нм з борту безпілотного літального апарату, цілком прийнятні для якісної оцінки хлорофілу.

Таблиця. Результати числового аналізу

Концентрація хлорофілу, мг/дм <sup>2</sup>	$\Delta\lambda$ , нм	КІ = $K_{725}/K_{702}$	КІ <sub>10</sub> /КІ <sub>1</sub>
8,08	1	1,43	0,97
	10	1,39	
4,76	1	0,85	0,98
	10	0,83	
2,33	1	0,51	1,0
	10	0,51	

### Висновки

Запропоновано нову ідею щодо гібридної технології дистанційного виявлення біологічних та хімічних речовин. Запропонована методика заснована на розпізнаванні образів та методах оптимізації. Показано, що ідеї та методи нелінійної динаміки, які успішно застосовуються при вивченні структур в системах, далеких від теплової рівноваги мають фундаментальне значення в розпізнаванні біологічних та хімічних речовин.

Ми також показали, що використання інтенсивного фемтосекундного лазерного імпульсу, що поширюється в повітрі, може забезпечити отримання спектру флуоресценції, який може бути використаний для ідентифікації хімічних та біологічних речовин.

Нові методики та алгоритми виявлення біологічних та хімічних речовин, які базуються на спільному використанні кількох автономних безпілотних апаратів, забезпечать більш ефективне виявлення небезпечних компонент.

### Література

1. *Chang C.-I.* Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification, Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2003.
2. *Яценко В.А., Кочубей С.М., Хандрига П.А., Донец В.В., Семенів О.В.* Новый метод дистанционного оценивания содержания хлорофилла в растительности и его программно-аппаратная реализация // Космічна наука і технологія. — 2007. — Т. 13, № 3. — с. 35 – 45.
3. *Klepe A., Warner J., Bast W.* MDA Explained. The Model Driven Architecture: Practice and Promise, Addison-Wesley, 2003.
4. *Papajorgji P., Pardalos P.* Software Engineering Techniques Applied to Agricultural Systems: An Object-Oriented and UML Approach/Springer, 2005.
5. *Haboudane D., Miller J.R., Pattey E., Zarco-Tejada P.J., Strachan I.B.* Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture/Remote Sensing of Environment, 90:337-352, 2004.
6. *Kochubey S.M., Kazantsev T.A.* Changes in the first derivatives of leaf reflectance spectra of various plants induced by variations of chlorophyll content/Journal of Plant Physiology, 164(12):1648-1655, 2007.
7. *Яценко В.О., Семенів О.В.* Динамічний підхід до оцінювання параметрів біохімічних компонент в рослинності//Вісник Київського Університету. — сер.: Фізико-математичні науки. — 2009. — №1. — с. 163 — 168.
8. *Orfanidis S.J.* Introduction to Signal Processing/Prentice-Hall, 1996.
9. *Rabiner L.R., Gold B.* Theory and Application of Digital Signal Processing/Prentice-Hall, 1975.

10. *Tamil E.M., Noor M.H., Razak Z., Noor N.M., Tamil A.M.* A review on feature extraction & classification techniques for biosignal processing/IFMBE Proceedings, 21(4):122-124, 2008.

11. *Станкевич С.А., Титаренко О.В., Шкляр С.В.* Ефективна обробка даних польового спектрометрування в природоресурсних задачах//Доповіді НАН України. — 2010. — № 12. — С. 110 – 115.

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ АВИАЦИОННОГО ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА**

**В.В. Гниденко, Н.В. Наливайчук,**

*Национальный технический университет Украины «КПИ»*

**В.А. Яценко**

*Институт космических исследований НАНУ-ДКАУ.*

*Статья посвящена новой методологии и экспериментальному оптическому устройству для выявления биологических и химических веществ, в том числе разных токсических веществ и вирусов. Рассматривается нелинейная динамическая система со многими аттракторами в фазовом пространстве для классификации спектральных данных. Представлена обработка спектральных данных для дистанционного обнаружения химических и биологических веществ. Обсуждается новая концепция компактного интегрированного спектрометра для мониторинга химических и биологических веществ в окружающей среде, а также для дистанционного мониторинга растительности.*

**Ключевые слова:** *дистанционное зондирование, динамическая модель, химические и биологические вещества, бортовой спектрометр, точная спектрометрия, беспилотное транспортное средство.*