

## ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., с.н.с. Різника О.М.

на дисертацію Альперт Софії Іоганівни

"Методи контролюваного класифікування гіперспектральних космічних зображень в умовах навчальних вибірок обмеженої якості", представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження.

**Актуальність теми дисертації.** В останні роки в практику дистанційного зондування Землі активно впроваджуються технології гіперспектральної зйомки аерокосмічних зображень. Це новий перспективний напрямок вивчення властивостей об'єктів земної поверхні на основі аналізу інформації про спектральний розподіл відбитого ними випромінювання. Для одержання гіперспектральних зображень використовують оптоелектронні системи авіаційного та космічного базування, які дозволяють для заданого регіону формувати «гіперкуби даних» - набори з сотень зображень тієї самої сцени в різних діапазонах спектру. Останні відображують «сигнатуру» матеріалів земної поверхні на кожному пікселі зображення. Аналізуючи спектр пікселя зображення, який відображує випромінювання в широкому діапазоні, можна дистанційно знаходити та ідентифікувати різноманітні об'єкти на поверхні Землі за їх спектральною сигнатурою.

Зараз в багатьох країнах світу розгорнути дослідження по практичному застосуванню гіперспектральних зображень в таких галузях як екологічний моніторинг, військова розвідка, сільське господарство, пошук нафти та ін. Результати цих досліджень дозволяють очікувати поширення використання методів гіперспектрального аналізу, яке можуть стримувати лише надмірні витрати часу та коштів при великих обсягах їх застосування. Удосконалення методів гіперспектрального аналізу є актуальною науковою та практичною задачею. Відтак тема дисертації С. І. Альперт "Методи контролюваного класифікування гіперспектральних космічних зображень в умовах навчальних вибірок обмеженої якості" відповідає нагальним потребам розвитку галузі дистанційних аерокосмічних досліджень і безумовно є актуальною.

Дисертаційна робота С. І. Альперт присвячена вирішенню задачі класифікації гіперспектральних зображень при обмеженій їх кількості та якості. При роботі з аерокосмічними зображеннями такі обмеження є типовими, тому вирішення поставленої в дисертації задачі має як наукове так і важливе прикладне значення. Її складність полягає в тому, що за умов обмеженої кількості та якості реальних зображень, ефективність стандартних

методів аналізу даних та прийняття рішень може зменшуватись. В таких випадках для поліпшення аналізу гіперспектральних зображень можна застосовувати неформалізовані джерела інформації, включаючи досвід експертів, та методи штучного інтелекту, для одержання більш надійних результатів.

Саме такий шлях обрано автором даної дисертаційної роботи, який пропонує застосування для аналізу гіперспектральних зображень апарату теорії свідчень Демстера-Шейфера, яка дозволяє доповнювати об'єктивну інформацію, одержану з гіперспектрального зображення її експертною оцінкою, що має суб'єктивний характер. Таке поєднання джерел інформації дозволило дисертанту побудувати ефективну схему попередньої експертної оцінки інформативних елементів гіпеспектрального зображення, за рахунок чого радикально зменшили витрати часу та обчислювальних ресурсів при класифікуванні таких зображень.

**Структура та основний зміст дисертаційної роботи.** Представлена на відгук дисертаційна робота включає вступ, 4 тематичні розділи, загальні висновки та 4 додатки. Загальний обсяг дисертації - 154 сторінки. Список використаних джерел включає 112 назв.

Вступ містить загальну характеристику предмету дистанційного зондування Землі, поняття гіперспектрального зображення, як найбільш змістового джерела інформації про об'єкти спостереження, та проблем вилучення цієї інформації для подальшого практичного використання.

Автор формулює мету дисертаційного дослідження як «підвищення точності контролюваного класифікування гіперспектральних космічних зображень в умовах навчальних вибірок обмеженої якості..» та визначає низку задач, що мають бути вирішені для досягнення поставленої мети. Серед них найбільш важомою є «розробка нового методу контролюваного класифікування ГКЗ в умовах забруднення навчальних вибірок та обмежень на їх кількість». Для вирішення поставлених задач мають бути застосовані як традиційні методи розпізнавання образів та математичної статистики, так і методи теорії свідчень Демпстера-Шейфера, які звичайно використовують при вирішенні задач штучного інтелекту. Представлено винесені на захист тези про наукову цінність, новизну та практичне значення отриманих результатів, а також дані про їх апробацію та публікацію. За матеріалами дисертації автором опубліковано 15 робіт, з яких 7 - у фахових виданнях.

Перший розділ дисертації містить аналіз методів класифікування гіперспектральних космічних зображень та постановку задач дослідження. Представлено загальну схему обробки космічного зображення, що включає

попереднє оброблення, стадії якого досить формалізовані, та класифікування, що включає неформальну компоненту, реалізація якої для гіперспектральних зображень потребує значних витрат.

Представлено огляд методів класифікування гіперспектральних зображень, які автор поділяє їх на контролюване та неконтрольоване класифікування. Перший з них передбачає використання заданих еталонів спектру для кожного класу зображень, а другий формування еталонів гіперспектральних зображень методами самонавчання. При контролюваному навчанні формування еталонів спектру розглядається як процес навчання за участю експерта, який виконує попередній відбір елементів зображень для навчальної вибірки та формування еталонів за відомими алгоритмами машинного навчання. Представлено також огляд методів кластеризації з використанням різних метрик в просторі зображень. На жаль, в огляді майже відсутні дані про методи класифікування за спектрально-топологічними характеристиками та SVM, які автор в подальшому застосовує при виконанні порівняльних випробувань нових розроблених ним методів класифікування гіперспектральних зображень

Другий розділ «розробка методу контролюваного класифікування гіперспектральних космічних зображень в умовах забруднених навчальних вибірок» містить викладення основних положень теорії свідчень Демпстера-Шейфера та їх алгоритмічної реалізації при розробці нового методу контролюваного класифікування за умови забрудненої навчальної вибірки. Представлено схему виконання логіко-обчислювальних процедур при класифікуванні гіперспектральних зображень, яка включає формування бази знань, фільтрацію гіперспектральних зображень, їх класифікування, та оцінювання точності класифікування. Формування бази знань здійснюється шляхом аналізу відібраних експертом зональних зображень та виділення пікселів-репрезентів наявних класів. При відборі найбільш інформативних зональних зображень використовується критерій мінімуму взаємної кореляції. Для видалення (фільтрації) зашумлених зональних зображень вводиться поняття інформативності та класифікаційної цінності спектральних каналів. Детально описано процедуру класифікування, яка здійснюється автоматично за послідовним алгоритмом з використанням правила максимуму правдоподібності.

Третій родзіл «розробка методу контролюваного класифікування гіперспектральних космічних зображень в умовах забруднених навчальних вибірок та кількісних обмежень» містить аналіз ситуації, коли обсяг вибірки є недостатнім для виконання попередньої фільтрації зашумлених даних. Пропонується удосконалена процедура прийняття рішень з використанням

поняття пігнистичної імовірності. Розглядається задача класифікування гіперспектральних зображень в умовах забруднення навчальних вибірок рішення якої включає звільнення від сильно зашумлених зональних зображень, аналіз схожості решти зональних зображень та утворення з них репрезентативної комбінації зображень. На її основі визначається функція розподілу значень пікселів зображень та здійснюється кластеризація відібраних зображень за критерієм дивергенції Кульбака-Лейблера. Для кожного кластеру обирається еталонне зображення з максимальною репрезентативністю. Детально розглядаються операції навчання та класифікування, застосовані при практичній реалізації цього методу.

Четвертий розділ дисертації містить результати експериментального дослідження розроблених методів контролюваного класифікування гіперспектральних космічних зображень. Експерименти проводились з використанням реальних зображень, одержаних апаратурою Hyperion супутника EO-1. Подано стислий опис спеціалізованого програмного забезпечення, створеного для виконання експериментальних досліджень розроблених методів контролюваного класифікування, представлено методику експериментальної оцінки їх ефективності у випадку забруднених навчальних вибірок та виконано порівняльні експерименти, які підтвердили переваги запропонованих методів порівняно з відомими, зокрема SVM.

Розділ «Загальні висновки по роботі» містить стисле викладення основних результатів виконаного дисертаційного дослідження.

***Наукова новизна* дослідження, на наш погляд, полягає у наступному:**

1. Запропоновано новий спосіб контролюваного класифікування гіперспектральних космічних зображень, оснований на використанні положень теорії свідчень Dempstera-Shaffer, який дозволяє формувати правила класифікування одержаних зображень шляхом поєднання різних джерел інформації, зокрема доповнювати об'єктивні інформативні ознаки, одержані з гіперспектральних зображень, суб'єктивними експертними їх оцінками.

2. Розроблено ефективні методи класифікування гіперспектральних космічних зображень в умовах забруднених навчальних вибірок, що відрізняються введенням процедури оцінювання класифікаційної цінності спектральних каналів за допомогою спеціальної емпіричної функції і особливим способом розбиття спектрального ознакового простору, що дозволило скоротити розмірність ознакового простору при одночасному підвищенні точності класифікування.

3. Виконано перевірку ефективності розроблених методів на реальних гіперспектральних космічних зображеннях. Експериментально підтверджено їх переваги за точністю класифікування на 10-25% порівняно з стандартними методами, зокрема SVM.

*Значущість дисертайної роботи для практики* полягає в створенні обчислювально ефективних нових методів класифікування гіперспектральних космічних зображень, перспективних для широкого впровадження в засобах дистанційного зондування Землі.

*Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів* обумовлена коректним застосуванням відомих наукових результатів та математичного апарату теорії свідчень Демпстера-Шейфера, достатньою кількістю експериментальних результатів з використанням реальних даних, порівняльним аналізом з результатами інших систем і методів.

Основні результати дисертації опубліковані в 15 роботах, серед яких 7 - у фахових виданнях, які достатньо повно передають її зміст. Автореферат дисертації правильно відображує зміст дисертайного дослідження.

### **Зауваження щодо змісту дисертації.**

1. Пропоновані в дисертації алгоритмічні рішення мають здебільшого евристичне обґрунтування, а ефективність створених методів класифікування підтверджено лише експериментально, на обмеженій кількості прикладів.

2. Аргументація автора на користь пропонованих рішень не завжди є переконливою. Прикладом є доведення ефективності модифікації функції інформативності (стор. 49-54). Сумнівним також є доцільність використання пігністичної імовірності (стор.60,75) при обмеженні розмірів вибірки даних.

3. Не є переконливими результати експериментального порівняння ефективності розроблених методів контролюваного класифікування гіперспектральних зображень з стандартними, зокрема SVM, що входять до програмної системи ENVI і за визначенням не є методами контролюваного класифікування. Одержані експериментальні оцінки переваги нових методів за точністю класифікування потребують, на наш погляд, більш глибокого пояснення.

4. Методика проведення експериментальних випробувань алгоритмів контролюваного класифікування основана на припущені статистичної незалежності значень пікселів зображення та формуванні навчальної і тестової вибірок з пікселів того самого зображення. Відтак відкритим залишається питання щодо стабільності, тобто повторюваності одержаних експериментальних оцінок на інших прикладах зображень.

5. Поданий в розділі 1 огляд методів класифікування не є повним. Практично відсутня інформація про методи класифікування за спектрально-топологічними характеристиками, та SVM, які використані при проведенні порівняльних випробувань. Не розглянуті альтернативні варіанти при виборі теорії свідчень Демпстера-Шейфера. Її конкурентом може бути стенфордська модель фактору впевненості, популярна в експертних системах.

5. Текст дисертації не вільний від помилок. Наприклад:

Стор.19. - хибне посилання [16,17]. Правильно -[103]

Стор. 59 - посилання на неіснуючу умову (1.11).

Висловлені нами зауваження відображують, в основному, актуальність теми, складність вирішення поставленої в дисертації задачі, та рішучість її автора що обрав оригінальний шлях пошуку її вирішення. На цьому шляху відсутні вивірені формальні прийоми, тому доводиться залучати евристичну, шукати аналогії, діяти методом спроб, які не завжди гарантують успіх. В своїй дисертаційній роботі автор користується апаратом теорії свідчень, яка поєднує формальні та неформальні підходи до сприйняття світу, що може приводити до неочікуваних висновків. Таким висновком в даній роботі є несподівано висока ефективність розроблених методів класифікування, яка може вказувати на існування невідомих інформативних ознак, які вносить експерт при формуванні навчальної послідовності.

Тому, незважаючи на висловлені зауваження, вважаю, що представлена дисертаційна робота є цілісною та завершеною науковою працею, що містить постановку науково-технічної задачі, її вирішення та практичне застосування. Здобувачем отримані нові результати в галузі дистанційних аерокосмічних досліджень, які забезпечують розв'язання актуальної задачі класифікування гіперспектральних аерокосмічних зображень.

Дисертаційна робота відповідає вимогам Міністерства освіти та науки України до кандидатських робіт, а її автор Альперт Софія Іоганівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження.

Завідуючий відділом нейротехнологій  
ІПММС НАН України,  
доктор технічних наук

О.М. Різник



Підпис д.т.н. Різника О.М. засвідчує  
Вчений секретар ІПММС НАН України  
Кандидат технічних наук  
Ієвлев М.Г.