



Обробка та розпізнавання дистанційної інформації та фотозображенъ

Processing and Recognition of Remote Sensing Information and Photopictures

**About Method of Spectral Reflection Coefficient Using
in Objects Recognition in Remote Sensing**

Pavlo Arbuzov, Serhij Stankevych

*Київське інститут
військово-повітряних сил*

*Україна, 252186 Київ
Повітрофлотський проспект, 30
Тел.: (044) 276-23-08*

It is wellknown [1], that the spectral reflection coefficient is one of the most important and informative features for some classes of objects in remote sensing.

However, the determination of the spectral reflection coefficient in remote sensing is a difficult problem. This problem may be solved with the moving of etalon object to analysing area, but implementation of this demand in real work conditions is impossible. But it's very interesting to use additional feature in image.

Alternative methods of using this feature are based on the image analysing and on the determination of probability of belong object to target-class of objects [2]. But in this solving we must have big database of spectral reflection coefficients. Now such database is not created.

One more way in solving the task of object determination with using spectral reflection coefficient is making selflearning identification system. It's known, that we always can find objects in analysing area, that are no-target-object, and one (or more, but no all) object, that is target-object.

On a ground of learning sequence we can construct a solving rule, to verify this rule on examples and make a real determination. The determining algorithms that are used in computing modeling are described in [3]. The results of modeling show that reliability of the determination is 0.83 with the 0.95-trust interval under level 0.67. These results show that process of recognition is stable, and if the identification algorithm will be some better, then we'll have very good possibility for rough image processing and can mark objects that have target spectral reflection coefficient.

References

1. Акоецкий В.И. Дешифрирование снимков. — М. : Недра, 1983. — 374 с.
2. Петрин Б.И. Синтез изображений в многоспектральных системах // Науч.-метод. материалы по вопр. математ. и информац. обеспечения процессов сбора и обработки информации. — М. : ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1989. — С. 104-107.
3. Казанцев В.С. Задачи классификации и их программное обеспечение. — М. : Наука, 1990. — 136 с.



Експериментальний пакет програм відтворення рельєфу поверхні за стереопарою зображень

Георгій Гімельфарб, Марина Григоренко, Дмитро Калмиков

Інститут кібернетики АН України

Україна, 252207, Київ
просп. Академіка Глушкова, 40
Тел.: (044) 266-25-69

Діалоговий пакет програм «Обчислювальний стереозір» надає можливість відтворювати цифрову модель рельєфу (ЦМР) неперервної оптичної поверхні за стереопарою зображень (знімків поверхні), наданих у растровій формі. Відтворена ЦМР також подається у вигляді растрового зображення — карти подовжніх паралаксів відповідних точок знімків. Паралакс однозначно пов'язаний з координатою висоти (дальності) точки поверхні.

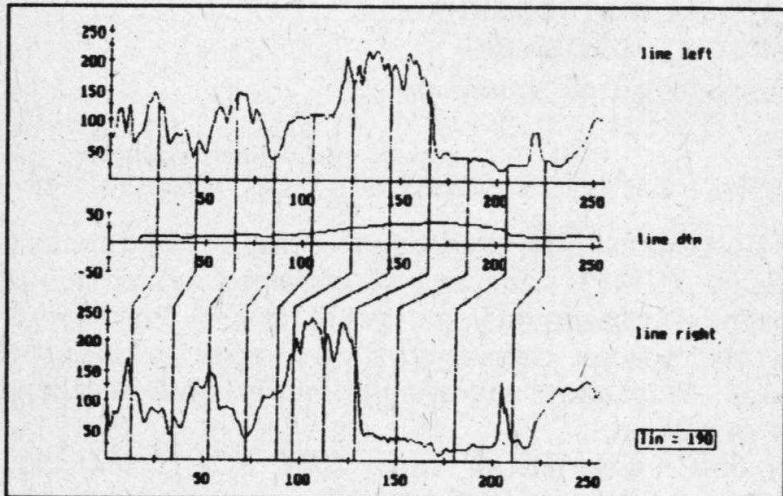
Пакет програм написано на Турбо-Сі для ПЕОМ типу *IBM PC/AT 286(386)* із співпроцесором 287(387) та графічним адаптером *VGA (EGA)* і використовується в операційному середовищі MS DOS.

У пакеті реалізований симетризований алгоритм обчислювального бінокулярного стереозору [1], що відтворює ЦМР засобами динамічного програмування за сигналами базисного сканування знімків стереопари. ЦМР відтворюється у вигляді пучка геометрично незалежних плоских базисних профілів, приведених до площини знімків. За базисною геометрією сканування точки одного профілю поверхні і відповідні точки базисних рядків сканування знімків стереопари мають однакову поперечну координату y . Повздовжні координати x_1 і x_2 відповідних точок знімків визначають повздовжній паралакс $p = x_1 - x_2$ точки поверхні у профілі. Кожний профіль визначається як шлях на плоскому графі варіантів профілю, що максимізує адитивний критерій схожості сигналів, у якому враховуються допустимі нерівномірні розбіжності між сигналами у відповідних точках знімків і можливість як бінокулярного, так і монокулярного спостереження точок профілю.

У пакеті організовано дворівневий діалог, де на першому рівні (головне меню) здійснюється вибір операції обробки, а на другому рівні (меню параметрів) вводяться числові параметри обробки. Операції головного меню (див. таблицю) можна умовно поділити на три групи: 1) відтворення профілю або всієї ЦМР; 2) візуалізація стереопари і відтвореної ЦМР; 3) аналіз отриманих результатів. При візуалізації стереопара і ЦМР виводяться на екран ПЕОМ у формі напівтонових зображень. При виведенні ЦМР значення паралаксів кодуються рівнями яскравості. Кожний профіль ЦМР і відповідні сигнали знімків можуть бути також подані у графічній формі.

На виведеному зображені знімків стереопари будь-яка пара базисних рядків сканування може бути вибрана за допомогою курсора, і на екрані ПЕОМ формуються графіки сигналів лівого та правого знімків. Така ж можливість надається при виведенні зображення ЦМР (карти паралаксів), де до графіків

Умовна назва операції	Зміст операції
Help	Підказка
Read	Введення файлів зображень стереопари
Stereopair	Візуалізація зображень стереопари
DTM	Відтворення вказаного профілю рельєфу
Auto DTM	Відтворення ЦМР і формування файла ЦМР
X-profile	Візуалізація поздовжнього профілю і сигналів відповідних рядків сканування
Y-profile	Візуалізація поперечного перетину ЦМР
Par-to-Z coord	Візуалізація ЦМР
Diff L/R img	Приведення правого знімка до лівого по ЦМР та виведення різницевого зображення
Quit	Вихід



зв'язує відповідні точки обох знімків. Профілі рельєфу можуть будуватися як у поздовжньому, так і у поперечному перетині ЦМР.

Більш наочну уяву про відтворений рельєф дає карта рівнів (горизонталей), накладена на ЦМР, або знімки стереопари, і псевдооб'ємне (тривимірне) ізометричне зображення відтвореної поверхні. Ізометрія будується як каркасне зображення поверхні, на котру накладено рівномірну прямокутну сітку, що доповнюється, за бажанням, розфарбуванням елементів сітки згідно зі значеннями сигналів зображень стереопари або напівтонового зображення ЦМР.

Операція відтворення окремого профілю дозволяє в режимі діалогу добирати параметри відтворення ЦМР. У цій операції передбачена візуалізація проміжних результатів роботи алгоритму (виведення поточкових значень критерію схожості сигналів для всіх позицій графа варіантів профілю у вигляді зображення). Операція відтворення ЦМР вираховує профілі для зазначеної послідовності суміжних рядків стереопари і формує результатуючий файл ЦМР. При цьому використовуються ті параметри, що були визначені останніми в процесі відтворення окремих профілів.

Для аналізу результатів відтворення ЦМР правий знімок стереопари може трансформуватися до лівого згідно з отриманою картою паралаксів, причому визначається абсолютна різниця між правим знімком, приведеним до лівого, та самим лівим знімком. У цій операції передбачена можливість візуального перегляду графіків сигналів для відповідних рядків лівого та правого знімків і різницевого зображення та побудова ліній, що зв'язують відповідні точки на графіках лівого та правого знімків.

У даному варіанті пакета максимальний розмір цифрових знімків стереопари дорівнює 256×256 елементів растроу. Відтворення профілю йде зі швидкістю 25-30 мкс на одну вершину графа варіантів профілю для процесора 386/387 з тактовою частотою 25 мГц.

Експерименти по відтворенню ЦМР, проведені за допомогою пакету з реальними стереопарами, одержаними в умовах близького і дальнього стереозору, дали позитивні результати, що дозволяє сподіватися на перспективність вибраного підходу як основи для побудови інформаційних технологій у стереофотограметрії, робототехніці тощо

Література

1. Gimel'farb G.L. Intensity-Based Computer Binocular Stereo Vision: Signal Models and Algorithms // Int. J. of Imaging Systems and Technology. — 1991. — 3, № 3. — P. 189–200.



The Assembly Network Intended for Recognition of Textures

Alexandr Hol'tsev

Glushkov Institute of Cybernetics
of the AS of Ukraine

40, Academician Glushkov Avenue
Kyiv, 252207, Ukraine
Phone: (044) 277-64-11

Neural networks of a visual analyzer are at present the unique device, as far as we know, capable of complex visual pattern recognition. This fact testifies to the plausibility of the assumption that neuron-like networks apparatus represents the most adequate mechanism for solution of the visual recognition problem. This assumption, in its turn, serves as the basis for construction of algorithms for visual data processing in the form of organization of interaction between different parts of a structured neuron-like network.

The performance of intellectual functions by the brain of a man and higher animals is based on a structure-functional organization of neural networks in the form of a system of neural assemblies. According to the hypothesis of Hebb a neural assembly is a group of nerve cells integrated into an assembly by numerous mutual excitatory high-conductive connections. Enhancement of weights of assembly-generating connections is the essence of the process of learning which occurs in the assembly network.

For considerable increasing of assembly network information capacity Amosov & Kussul suggested to complement the assembly network by a central extra-network activity regulator, i.e., a system of reinforcement-inhibition (SRI). The summary activity of the network is transformed by SRI into inhibitory action which is transferred simultaneously to all neurons of the network.

The problem of textural segmentation is formulated in the following manner. An image containing several texture domains is given; in each of them there is a comparatively small quantity of pixels with respect to which it is known which domain they belong to, i.e. a learning sample. The problem is to define the belonging of all pixels.

The algorithm of texture segmentation of the image consists in the following. At the image points corresponding to the learning sample of each texture the texture features are extracted with the help of a fixed set of mechanisms. When passing from one point of the learning sample to another the values of texture features can considerably change. As a result of a sequential study of all points of the learning sample all neuron-like elements of the given texture which represent the values of the texture features in the assembly network will enter into the assembly.

After the neuron-like network learning by all learning samples there are formed as many assemblies as there are types of textures in the image.

To solve the problem of complete texture segmentation of the image the whole raster is sequentially scanned by the texture window. At each point the values of texture features are read out of the image, they are used to apply excitatory influence to the inputs of the corresponding neuron-like elements of the network. Then the control of distribution of activity over the network is transferred to the SRI. Activation of one or another assembly of the network is interpreted by classifying the considered point of the image as the corresponding texture. The problem is solved after all pixels of the raster should be marked.

At each time period t of computer time the output potential of the neuron-like element in the model can have two values: 0 or 1. We appropriate numbers $i: i = 1, 2, 3, \dots, N$ to all neuron-like elements; N is the quantity of neuron-like

elements in the network. Denote the output potential of the i -th neuron-like element at the t -th time period of the computer time by P_i^t .

Weights of connections in the model can also have only two values: 0 or 1. A structure of the model connections after the k -th cycle of learning is determined by distribution of unities in matrix of the excitatory connections $[R_{ij}^k]$.

The network activity at moment $t + 1$ is computed by the program from values of output potentials of the network at moment t . In the process of counting of the network the sum of unities in the j -th counter

$$E_j^{t+1} = \sum_{i=1}^N (P_i^t \& R_{ij}), \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (1)$$

The task of the SRI in the assembly network is to maintain the summary activity of the network at a definite, approximately constant level. The summary activity of the network is estimated by the quantity of unities in vector P_j , $j = 1, 2, 3, \dots, N$. The algorithm of SRI operation consists in the following: at each time period t an admissible threshold of the input excitation of the neuron-like elements of the network is computed, i. e. L^t . The program determines the network activity at the moment $t + 1$ by the formula

$$P_j^{t+1} = l(E_j^{t+1} - L^t), \quad (2)$$

where $l(x)$ is a unit step function:

$$l(x) = \begin{cases} 1, & \text{for } x > 0, \\ 0, & \text{for } x \leq 0. \end{cases}$$

The threshold value L^t is chosen such that there should be satisfied the relation

$$\sum_{j=1}^N l(E_j^{t+1} - L^t) < A, \quad (3)$$

where A is the SRI parameter upon which there depends to a considerable degree a size of the assemblies in the network.

The service ability of the model was tested on natural textures.

Experiments with the program have shown that the network appeared to be capable of correct separation of resembling natural textures.



Формування стереопари зображень в базовій формі

Василь Крот

Інститут кібернетики АН України

Україна, 252207, Київ
просп. Академіка Глушкова, 40
тел.: (044) 267-60-67

Автономні роботи для свого функціонування в динамічному і непередбачено мінливому середовищі потребують термінового одержання дальнометричної інформації про просторове положення і орієнтацію об'єктів зовнішнього середовища. Дальнометрична інформація необхідна і при роботизації процесу зборки промислових деталей, тому що в цьому випадку можна знизити вимоги до організації робочого середовища робототехнічного комплексу до рівня, який можна реалізувати на практиці.

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова АН України розроблено комплекс натурно-імітаційного моделювання автономних роботів типу «око—рука», в якому для реалізації процесу зорового сприйняття робота використовується телевізійна стереосистема. Стереосистема за допомогою системи технічного зору зберігає та передає в ПЕОМ стереопарі багатоградаційних телевізійних зображень. Система стереосприйняття характеризується найбільш природною можливістю суміщення радіометричної і дальнометричної інформації. Розроблені математичні і програмні засоби підтримки системи стереосприйняття орієнтовані на забезпечення необхідної точності сприйняття просторових сцен. В стереосистемі просторові координати елементів зовнішнього світу робота визначаються в результаті зіставлення їх одноіменних точок на зображеннях стереопарі. Алгоритми зіставлення стереозображенів значною мірою спрощуються при використанні базових зображень, в яких кожен рядок цифрового зображення відповідає лінії перетину площини зображення відеоприймача з відповідною базовою площину — площиною, що проходить через оптичні центри проекції зображень стереосистеми. При базовому представленні стереозображенів одноіменні точки, що відображають один і той же елемент простору зовнішнього світу робота, знаходяться в одних і тих же рядках стереопарі цифрових зображень. Такі стереозображенів відповідають зображенням стереосистеми горизонтального типу з взаємноорієнтованими відеодатчиками.

При розробці пакету програм формування базових стереозображенів розглядалася віртуальна стереосистема, у якій центри проекції відеодатчиків були рівновіддаленими від точки фіксації і знаходились на відповідних променях проекції реальної стереосистеми, раstry відеодатчиків розглядалися в площині, ортогональній осі симетрії віртуальної стереосистеми, рядки растрів лежали на відповідних базових лініях, а зсув растрів вибиралася таким, щоб перекриття полів зору для віртуальної і реальної стереосистем співпадали. Матриця переходу від растрової системи координат віртуальних відеодатчиків до растрової системи координат відеодатчиків реальної стереосистеми будується на основі математичної моделі, що відповідає віртуальній стереосистемі, і матриць прямих перспективних перетворень для телевізійних камер реальної стереосистеми, отриманих програмою калібрування.

В основу програми калібрування стереосистеми покладено математичне забезпечення, яке представлене в роботах [1, 2]. Стереосистемі пред'являються еталонні просторові елементи з відомими координатами в світовій системі координат. Для кожної телекамери знаходяться компоненти матриці прямого перспективного перетворення, що забезпечує зв'язок між точкою зовнішнього світу і плоскими координатами зображення. Компоненти такої матриці вибираються з умови мінімізації суми квадратів розбіжностей між координатами зображенів еталонних елементів на цифровому телевізійному зображені і координатами тих же елементів, що відповідають шуканій моделі. Після цього за математичними моделями телекамер знаходиться математична модель стереосистеми в цілому, яка дозволяє за плоскими координатами одноіменних точок на зображеннях стереопарі знайти просторові координати відповідної точки в світовій системі координат. Точка зовнішнього світу знаходиться як точка, яка є рівновіддаленою від одноіменних променів проекції в місці їх максимального зближення [3].

Експериментальні дослідження дозволили зробити ряд уточнень до методики проведення калібрування стереосистеми, що дозволило помітно покращити якість отримуваної математичної моделі стереосистеми. Так, за рахунок використання при калібруванні тільки еталонних елементів, що знаходились на краях полів зору телекамер стереосистеми, вдалось зменшити похибку в обчисленні координат центрів проекції відеокамер майже у 3 рази. Ще в більшій мірі вдалось збільшити точність знаходження центрів проекції стереосистеми, а разом з тим

і точність формування базових стереозображенів, за рахунок використання при калібровці еталонних елементів у вигляді перехресних ліній. При цьому просторовим еталонним елементом є сама точка перехрещування двох ліній, які породжені контурними елементами полос, нанесених на калібровочну площину. Точність математичної моделі стереосистеми в цьому випадку зросла як за рахунок того, що поліпшилась точність обчислення координат зображень одноіменних еталонних точок на стереопарі цифрових зображень, так і за рахунок того, що в цьому випадку вдалось ще в більшій мірі розсунути еталонні точки по перефірії полів зору телекамер стереосистеми і навіть частково використати віртуальні області цих полів.

Література

1. Болдырев А.И. Калибровка телевизионного датчика изображений в системе моделирования роботов типа «глаз—рука» // Распознавание образов и автоматизация проектирования робототехнических зрительных систем. — Киев: ИК АН УССР, 1982. — С. 3-12.
2. Технические средства и математическое обеспечение первой очереди системы технического зрения роботов / В.И. Рыбак, А.И. Болдырев, А.И. Хоменок и др. // Вопр. теории интеллектуальных роботов и распознавания образов.— Киев: ИК АН УССР, 1983. — С. 3-24.
3. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. — М. : Мир, 1976. — 512 с.



Системологія інтерактивної обробки та розпізнавання зображень, здобутих при дистанційному зондуванні

Михайло Попов

Київський інститут
військово-повітряних сил

Україна, 252186, Київ
Повітрофлотський проспект, 30
Тел.: (044) 276-23-08

На цей час ми є свідками (а деякі з нас і безпосередніми учасниками) вдалого застосування методів та алгоритмів розпізнавання образів в системах технічного зору, робототехніці тощо. Накопичений досвід дозволяє стверджувати, що у більшості випадків, коли: а) датчики забезпечують формування зображень необхідної якості; б) роль контексту при розпізнаванні зведена до мінімуму і застосовуються, як правило, декларативні знання; в) обсяг необхідних обчислювальних витрат не обмежується,— оптимально сконструйована система автоматичної обробки та розпізнавання зображень цілком конкурентноспроможна з людиною. Але, коли ми маємо справу із зображеннями, які формуються при дистанційному зондуванні, то ці умови як в цілому, так і зокрема не виконуються. При цих умовах альтернативний розв'язок цієї проблеми слід шукати у класі інтерактивних систем.

Згідно [1], інтерактивна система обробки зображень, які формуються при дистанційному зондуванні, складається з людини-оператора та ЕОМ з необхідним інтерфейсом, які взаємодіють в процесі обробки відеоінформації з метою розпізнавання та інтерпретації з потрібною точністю.

Обмірковується системологія інтерактивної обробки та розпізнавання зображень, заснована на таких концептуальних положеннях.

1. Докладне вивчення предметної області, яке включає в себе: а) формування максимально повного списку об'єктів; б) вибір метабазису та базису опису об'єктів; в) встановлення стосунків (кількісних, логічних, семантичних) між об'єктами предметної області та елементами їх базису.

Об'єкти списку характеризуються відповідними іменами. Одне і те ж ім'я може належати як одному об'єкту, так і кластеру. В останньому випадку кожний об'єкт, поруч з ім'ям, одержує індивідуальну позначку. Метабазис — це вихідна платформа, выбрана для конструювання базису. Як метабазис може використовуватися простір, час, область електромагнітного спектру випромінювання, а також їх всілякі сполучення. Базис являє собою набір всіляких атрибутів, разом з їх значеннями, властивих об'єктам предметної області. Ці атрибути об'єднані метабазисом та дійсно використовуються при розпізнаванні.

2. Спільне використання різних форм подання знань. Так, імена, позначки і частину атрибутів можна описувати лінгвістичними змінними, а частина атрибутів характеризується числовими даними. Об'єкти в групах зручно подавати методом ультрамереж Петрі [2]. Обмірковується механізм, який дозволяє вибирати адекватну форму подання знань, а також обробляти їх спільно.

3. Присутність елементів неточності та невизначеності у модельних поданнях і вимірах об'єктів; іноді це стосується і цілей розпізнавання.

4. Спеціалізація призначення системи, визначена через цільову характеристичну функцію і множину внутрішніх цілей (підцілей). Здатність до адаптації структури системи та функція її поведінки [3]. Обов'язковою властивістю системи є її здатність до досягнення мети в обмежений час при фіксованих обчислювальних ресурсах.

5. Інформаційна відкритість системи, можливість перебудувати і доповнити її блоки у відповідності з принципом узгодження максимуму (принципу Парето). Інформаційний обмін припускає наявність розроблених форм специфікації діалогу. Важливо, щоб діалог був адаптивним до рівня користувача і не вимагав його високої кваліфікації [4].

6. Апаратна реалізація алгоритмів обробки та розпізнавання у спеціалізованих структурах. Виявлено, що найкраща відповідність між інформаційними (точність, кількість інформації) та термодинамічними (енергія, ентропія) характеристиками досягається при використанні структур з аналого-дискретною формою подання сигналів.

На підставі сформульованих вище концептуальних положень синтезується загальна структура інтерактивної системи обробки та розпізнавання зображенів дистанційного зондування. Обговорюється алгоритмічне і апаратне забезпечення системи, оцінюються її характеристики.

Література

1. Попов М.А., Мусеев В.Л. Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэроснимков. — Киев: КВВАИУ, 1991. — 224 с.
2. Чечкин А.В. Математическая информатика. — М. : Наука, 1991. — 414 с.
3. Engel J.-C., Bonthemy P. A query-driven system for interpretation of aerial images // Proc. 6th Scand. Conf. on Image Analysis. — Oulu, 1989. — Р. 459–466.
4. Попов М.А. Об использовании реверсивного логического вывода для повышения достоверности распознавания в системах дистанционного зондирования // Тез. докл. I-й Всесоюз. конф. «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии». — Минск, 1991. — Ч. 2. — С. 125–129.

Ідентифікація зображень складних об'єктів методом потенціальних функцій спеціального виду

Сергій Станкевич, Павло Арбузов

Київський інститут
військово-повітряних сил

Україна, 252186, Київ
Повітрофлотський проспект, 30
Тел.: (044) 276-23-08

Однією з особливостей ідентифікації складних об'єктів дистанційного зондування [1] за їх зображеннями є неповнота даних про кількість простих об'єктів, які об'єднуються у складний, через можливість невиявлення, хибного розпізнавання або просто із-за відсутності частини простих об'єктів на зображені. Матеріали ж навчальних послідовностей, як правило, містять цілковиті описи складу складних об'єктів. Відсутність апріорної інформації про можливу кількість невиявленіх простих об'єктів знижує точність ідентифікації. Можна припустити якусь несиметричність кількості виявленіх простих об'єктів у складному. Вирішувальне правило, яке ґрунтуються на методі потенціальних функцій [2], відносить вектор ознак, що ідентифікується $x = \{x_l\}, l = 1, \dots, r$, до того з можливих класів $\Omega = \{\omega_j\}, j = 1, \dots, m$, алгебраїчна сума потенціалів елементів якого у точці x простору ознак максимальна:

$$\varphi(x/\omega_j^*) = \max_j \varphi(x/\omega_j), \quad (1)$$

де $\varphi(x/\omega_j) = \sum_{i=1}^{n_j} \varphi(x, x_i^{(j)}, \alpha)$ — потенціал класу ω_j у точці x ; $\varphi(x, x_i^{(j)}, \alpha)$ —

потенціал i -го елементу навчальної послідовності j -го класу; j^* — номер класу, що ідентифікується; n_j — розмірність навчальної послідовності j -го класу; α — вектор параметрів потенціальної функції.

Якість ідентифікації обумовлюється вибором виду потенціальної функції з врахуванням особливостей предметної області, що розглядається. Звичайно [3], функція $\varphi(x, x_i^{(j)}, \alpha)$, за аналогією із електричним потенціалом, вибирається (для однієї ознаки) у вигляді:

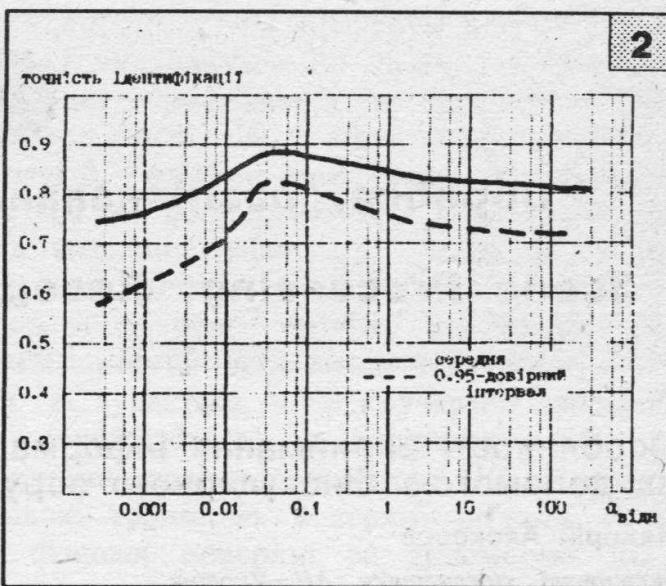
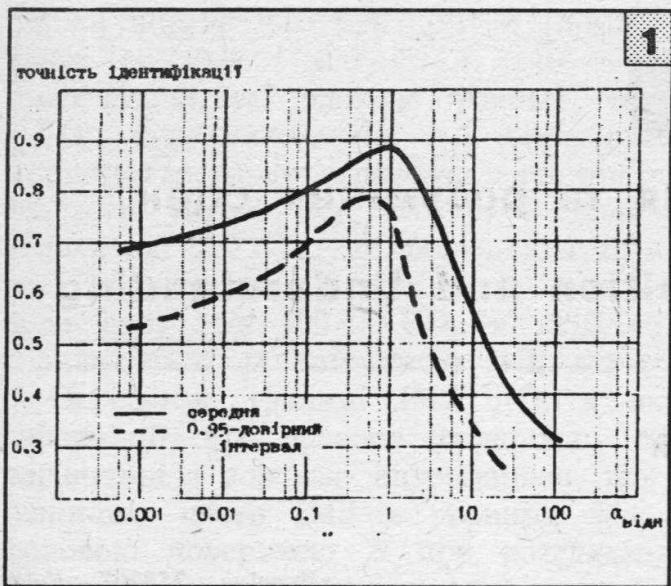
$$\varphi(x, x_i^{(j)}, \alpha) = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_2 (x - x_i^{(j)})^2}. \quad (2)$$

Функція (2) монотонно спадаюча, симетрична відносно джерела, додатна. Однак особливості ідентифікації складних об'єктів дистанційного зондування допускають вибір несиметричної потенціальної функції. Однією з прийнятних елементарних функцій відповідного вигляду є функція

$$\varphi(x, x_i^{(j)}, \alpha) = \frac{\alpha - (x - x_i^{(j)})}{\alpha + (x - x_i^{(j)})^2}, \quad (3)$$

яка асиметрична, асимптотично наближається до нуля із зростанням $x - x_i^{(j)}$, практично не виходить за межі інтервалу 0, ..., 1. Параметр α обумовлює крутість спаду потенціалу. Для компонентів вектора ознак, які не вимагають асиметрії розподілу потенціалу, можливо використовувати різновид (2), що також знаходиться в межах 0, ..., 1:

$$\varphi(x, x_i^{(j)}, \alpha) = \alpha / \alpha + (x - x_i^{(j)})^2. \quad (4)$$



Якщо покласти

$$\varphi(x, x_l^{(j)}, \alpha) = \prod_{l=1}^r \varphi(x_l, x_l^{(j)}, \alpha_l),$$

то можна виключити необхідність нормування складових вектора ознак [3] перед ідентифікацією. Із зростанням параметру α величина (4) наближається до одиниці, вклад цієї складової у значення потенціалу зменшується, що дозволяє використовувати α як регулятор нерівноцінності складових вектора ознак.

Результати машинного моделювання ідентифікації складних об'єктів дистанційного зондування (кількість класів, що ідентифікуються — 4, розмірність простору ознак — 2, кількість навчальних послідовностей — 10, розмірність навчальних послідовностей — 20–50, розмірність псевдовипадкової контрольної послідовності — 100 в кожному випадку) ілюструються залежностями точності ідентифікації від відносного параметру $\alpha_{\text{видн}} = \frac{\alpha}{x}$: співвідношення (3) — рис. 1 та співвідношення (4) — рис. 2.

Література

1. Дистанционное зондирование: количественный подход // Ш.М. Дейвис, Д.А. Ландгребе, Т.Л. Филиппс и др. — М. : Недра, 1983. — 416 с.
2. Айзерман М.А., Баверман Е.Н., Розноэр Л.И. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. — М. : Наука, 1970. — 384 с.
3. Казанцев В.С. Задачи классификации и их программное обеспечение. — М. : Наука, 1990. — 136с.

