

УДК 621.3:681.32

Р.М. Камінський

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра прикладної математики

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМАЛІЗАЦІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ЛЮДИНО-МАШИНИХ СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

© Р.М. Камінський, 2000

Розглянуто різні форми підходів до формалізації розпізнавання та обробки зображень. Показано означення ознак контуру для розпізнавання зображень об'єктів. Наведені деякі алгоритми формалізації зображення контуру.

The different forms of approach to formalization of recognition and processing images are considered. A role of feature of contour for recognition of object image is showed. Some algorithm of formalization of image contour are presented.

Проблема аналізу візуальної інформації виникає в різноманітних задачах інтерпретації і розуміння зображень та аналізу сцен. Сучасні інформаційні технології автоматизованої обробки візуальної інформації переважно використовують спеціальне програмне забезпечення часто не зорієнтоване на індивідуальний підхід під час розпізнавання зображень, що зумовлює розвиток і впровадження в практику нових різноманітних форм і підходів до формалізації об'єктів розпізнавання. Деякі з таких підходів розглянуті в цій роботі.

Поняття автоматизованої обробки зображень означає складний людино-машинний (комп'ютерний) процес, в якому на підставі заданої системи критеріїв розпізнавання, апріорного (еталонного) опису зображення об'єкта (збереженого в пам'яті оператора у формі концептуальної моделі ідеалізованого відображення реального об'єкта) і апостеріорного опису, що є зображення на моніторі реального об'єкта, приймається рішення про належність чи невідповідність розпізнаваного об'єкта до вказаного класу. Розпізнавання зображень людиною є значною мірою евристичним, переважно інтуїтивним і включає специфічні слабкоструктуровані в сенсі психофізики сприйняття алгоритми. Тому формальний опис зображення як об'єкта розпізнавання має важливе значення для пізнання та дослідження цього процесу. У людино-машинних системах обробки і аналізу зображень цей процес є багаторівневим та ітераційним і тісно пов'язаним з комп'ютерною формою представлення зображень, включаючи їх попередню обробку та подальші перетворення, які підвищують ефективність розпізнавання та власне сприйняттям, розпізнаванням і прийняттям рішень людиною. У цих системах кожне зображення приводиться до вигляду найбільш відповідного для його розпізнавання, що формально представлено в [1] оператором

$$R_f^n(I_n) = P_n(I, \Omega_k, \omega_{jk}), \quad n = \overline{1, t}, \quad (1)$$

де I_n – опис зображення на деякому морфологічному рівні n ; $P_n(I, \Omega_k, \omega_{jk})$ – модель зображення на цьому рівні; ω_{jk} – j -ий об'єкт, що належить класу Ω_k .

В ітераційному процесі розпізнавання людина змінює вигляд оператора (1) і, як наслідок, k -ої ітерації, отримує дещо іншу, необхідну для прийняття рішення модель цього зображення $P_{n+k}(I, \Omega_k, \omega_{jk})$.

Особливістю індивідуального розпізнавання є те, що вже сприйняття включає певні аспекти обробки інформації, причому початковою операцією є виділення фігури з фону. Впізнання об'єктів та їх фрагментів, як правило, є одномоментним, якщо їх образи збережені в пам'яті, але при значній новизні відображеної на екрані інформації або в складних умовах безпосереднє використання еталону в пам'яті є утрудненим, а сприйняття є "розгортаючим". У цьому випадку, кожне наступне припущення базується на попередній сенсорній інформації, враховуючи і накопичуючи все чіткіше вловлювані інформативні ознаки розпізнаваного об'єкта [2].

Пред'явлені операторові на екрані монітора зображення об'єктів, які необхідно розпізнати характеризуються певним чином впорядкованою сукупністю їх розпізнавальних ознак. До загальних інформативних ознак будь-якого зображення зараховують: контур (об'єкта та його фрагментів); текстури (однорідності областей об'єкта); відношення (локалізації ознак); семантику (знаннями про об'єкт); трансформації (геометричні перетворення); функціональні особливості.

При розпізнаванні зображень навчання і самонавчання тісно переплетені: навчання зумовлене постановкою задачі, а самонавчання є оптимізацією алгоритму та критеріїв розпізнавання, які формуються в процесі набуття досвіду.

Нехай, $\Omega_k \in \Omega$, $\Omega_k = \{\omega_{jk} : k = \overline{1, K}; j = 1, 2, \dots\}$, деякий клас об'єктів, що підлягає розпізнаванню, де Ω - множина всіх класів, k - кількість класів цих об'єктів, j - кількість об'єктів ω в цьому класі. У психофізиці сприйняття і розпізнавання зображень об'єктів ω широко використовується поняття геометричної форми.

При розпізнаванні зображень об'єктів $\omega_{jk} \in \Omega_k$ використання поняття форми зводить розгляд цього зображення до аналізу його контуру. В одноградаційному зображенні майже вся інформація зосереджена в топології контуру, а в багатоградацийному - в топології контурів, однорідних за градацією і текстурою фрагментів, які є у відношенні певного порядку, забезпечуючи цілісність об'єкта.

Контури об'єкта, крім того, дають ще й додаткову інформацію про інваріантність його форми щодо деяких геометричних перетворень під час обробки зображень. Тому першочерговою задачею оператора (1) є виділення контурів об'єктів.

Різноманітність форм контурів при формалізації вимагає виділення характерних ділянок, їх назви та інтерпретації їх вже як сукупності розпізнавальних ознак цього об'єкта. Виділення ознак означає поділ контуру на суміжні неперетинні ділянки, і формальне представлення їх множиною просторових елементів

$$\Theta(\omega_{jk}) = \left\{ \tau_{jr} : \bigcup_{r=1}^R \tau_{jr} = \Theta(\omega_{jk}), \bigcap_{r=1}^R \tau_{jr} = \emptyset, r = \overline{1, R} \right\}, \quad (2)$$

де τ_{jr} - r -й елемент контуру j -го об'єкта.

Тоді будь-який елемент контуру, τ_{jr} , що є локалізований в межах мінімальної області, частина якої належить об'єкту, а частина фону фактично є локальною ознакою цього об'єкта. Кожна з ознак τ_{jr} має певну розпізнавальну інформативність $I_\omega(\tau_{jr})$ про розпізнаваний об'єкт ω_{jk} , яку вважаємо рівномірно розподіленою в межах її області.

Визначене в роботі [3] поняття форми розглядає аналітичний опис контуру, точніше модель контуру плоского зображення, як ланцюг з елементарних векторів

$$\gamma(n) = |\gamma(n)| \exp\{i\varphi(n)\}, \quad n = 0, 2, \dots, k-1, \quad (3)$$

де $|\gamma(n)|$ і $\varphi(n)$ — відповідно модуль і аргумент елементарного вектора і для (3) існує початкова точка відліку. Кут між сусідніми елементарними векторами визначається як $\Delta\varphi(n) = \arg \gamma(n) - \arg \gamma(n-1)$, за умови замкненості контуру $\sum_{n=0}^{k-1} \gamma(n) = 0$.

Ці елементарні вектори виконують функції ознак форми об'єкта. Таке представлення форми об'єкта є фактично кусково-лінійною апроксимацією лінії його контуру. Сукупність елементарних векторів та їх параметрів є робочим словником ознак.

Характер процедури формалізації та вигляд отриманої моделі зображення об'єкта значною мірою визначається самим оригіналом. У деяких випадках, людина розпізнає зображення об'єкта, виділяючи лише одну якусь його характерну властивість ν_q , що є іменем ознаки τ_i фрагмента цього об'єкта, наприклад його контуру, то ν_q є головною розпізнавальною ознакою, яка своєю чергою може бути сукупністю чи об'єднанням декількох інших ознак τ_i . Властивість ν_q може також неодноразово повторюватись і тоді йтиметься про регулярність цієї ознаки в формальному описі об'єкта.

При виділенні розпізнавальних ознак їх іменують, а внаслідок навчання, набуття навиків та досвіду встановлюються і фіксуються в пам'яті оператора відношення між цими назвами ознак. Отримана інформація про ознаки і відношення між ними використовується людиною при мисленній побудові концептуальної моделі розпізнаваного об'єкта для прийняття рішень, лягає в основу розробки робочих словників ознак або відповідних еталонів для систем попередньої обробки зображень, а також для формулювання і постановки задач розпізнавання.

У постановках задач, в робочих словниках та еталонних представленнях зображень об'єктів, які підлягають розпізнаванню, ознаки зв'язують булевою логікою, а об'єкт, що є представником певного класу, задається сукупністю ознак, з'єднаних логічними відношеннями І, АБО, НІ. Для формалізації об'єднання ознак в роботі [4] використано диз'юнктивний, кон'юнктивний та змішаний описи.

Диз'юнктивний опис з'єднує m ознак оператором АБО і має вигляд логічної суми

$$Q = \bigvee_{i=1}^m \tau_i. \quad (4)$$

Кон'юнктивний опис з'єднує ознаки логічним оператором І, відображає спільне зустрічання ознак в межах фрагментів цього об'єкта і задається логічним добутком

$$Q = \bigwedge_{i=1}^m \tau_i. \quad (5)$$

У виразах (4) і (5) передбачається нумерація ознак в тій послідовності, в якій вони входять в опис контуру (2) або (3), якщо необумовлений інший спосіб формалізації.

При змішаному описі контур об'єкта або сукупність контурів його фрагментів можна описати булевими функціями

$$Q = \bigwedge_{i=1}^m \bigvee_{j=1}^i \tau_{ij}, \quad (6)$$

проте послідовність ознак та структура опису повинні бути попередньо визначені.

Обидва наведені підходи до формалізації зображень об'єктів орієнтовані лише на прийнятий в кожній конкретній ситуації порядок опису послідовності ознак чи фрагментів.

Більш адекватним з погляду сприйнятої людиною послідовності ознак можна вважати термальний підхід, ідея якого викладена в роботах [5,6]. У цьому підході розпізнання розглядається як процес рекурентного накопичення, в довільному порядку, ознак до тих пір, поки їх інформативність не буде достатньою для прийняття рішення про зарахування даного об'єкта до його класу. Суть його в наступному.

Позначимо через f_i функцію, яка визначає розпізнану в момент t_i ознаку цього об'єкта. Тоді сприйняття і обробка зорової інформації, а, отже, і розпізнавання можна описати за допомогою оператора рекурсії \mathbf{R} у вигляді терма $\mathbf{R}(f_{i-1}, f_i)$ або в загальному випадку у вигляді термального представлення

$$\mathbf{R}(\mathbf{R}(\mathbf{R}(\dots \mathbf{R}(\mathbf{R}(f_1, f_2), f_3), \dots, f_{i-2}), f_{i-1}), f_i). \quad (7)$$

Якщо сприймається відразу декілька ознак, наприклад, у випадку простих зображень або коли розпізнавання здійснюється за однією головною ознакою, що складається з декількох простих, кожна з яких представлена своєю функцією, тобто $f_1^i, f_2^i, \dots, f_z^i$ то сприйняття і обробку зображення об'єкта можна описати за допомогою оператора суперпозиції \mathbf{S} у вигляді терма $\mathbf{S}^{z+1}(f_i, f_1^i, f_2^i, \dots, f_z^i)$ або у вигляді сукупності термів

$$\begin{aligned} & \mathbf{S}^{z_1+1}(f_1, f_1^{i_1}, f_2^{i_1}, \dots, f_{z_1}^{i_1}) \\ & \mathbf{S}^{z_2+1}(f_2, f_1^{i_2}, f_2^{i_2}, \dots, f_{z_2}^{i_2}) \\ & \dots \dots \dots \\ & \mathbf{S}^{z_q+1}(f_q, f_1^{i_q}, f_2^{i_q}, \dots, f_{z_q}^{i_q}) \end{aligned} \quad (8)$$

Отже, використовуючи оператори рекурсії та суперпозиції, можна в загальному вигляді формалізувати розпізнавання зображення об'єкта. Наприклад, якщо під час розпізнавання в кожний момент часу частина ознак об'єднуються в одне ціле, створюючи узагальнену ознаку, яка своєю чергою дозволяє розпізнати частину об'єкта як ціле, тоді за допомогою цих операторів розпізнавання має вигляд

$$\begin{aligned} & \mathbf{R}(\mathbf{R}(\mathbf{R}(\dots \mathbf{R}(\mathbf{R}(\mathbf{S}^{z_1+1}(f_1, f_1^1, f_2^1, \dots, f_{z_1}^1), \\ & \mathbf{S}^{z_2+1}(f_2, f_1^2, f_2^2, \dots, f_{z_2}^2)), \\ & \mathbf{S}^{z_3+1}(f_3, f_1^3, f_2^3, \dots, f_{z_3}^3)), \dots, \\ & \mathbf{S}^{z_{i-r}+1}(f_{i-r}, f_1^{i-r}, f_2^{i-r}, \dots, f_{z_{i-r}}^{i-r}), \dots, \\ & \mathbf{S}^{z_{i-1}+1}(f_{i-1}, f_1^{i-1}, f_2^{i-1}, \dots, f_{z_{i-1}}^{i-1}), \\ & \mathbf{S}^{z_i+1}(f_i, f_1^i, f_2^i, \dots, f_{z_i}^i)) \end{aligned} \quad (9)$$

З опису (9) випливає, що розпізнавання має суттєво багаторівневий характер. Крім того, ця модель враховує з одого боку довільне розпізнавання та обробку зображень, а з іншого, як частинний випадок, включає гіпотезу про модель кільця ознак, що характеризує структуру змістовного відображення об'єктів.

Значить, особливість формалізації розпізнавання зображень об'єктів людиною полягає у виборі такого математичного апарата, який дає змогу адекватно відобразити накопичення

інформації з виявлених ознак і одномоментного або поступового мисленнєвого створення цілісного образу, що відповідає вибраному еталону в задачі. Врахування розглянутих особливостей формалізації зображень об'єктів та сприйняття і розпізнавання їх людиною вже на початку побудови математичної моделі функціонування системи обробки візуальної інформації сприяє уникненню багатьох помилок.

1. Гуревич И.Б., Журавлев Ю.И. Методы и средства преобразования и обработки информации в задачах распознавания образов и анализа изображений // Параллельная обработка информации. К., 1990. С. 218 - 318. 2. Грановская Р.М., Березная И.Я., Григортьева А.Н. Восприятие и признаки формы. М., 1981. 3. Фурман Я.А. О понятии формы плоского изображения // Автометрия. 1992. № 5. С. 113-120. 4. Харин Н.П. Метод ранжирования выдачи, учитывающий автоматически построенные ассоциативные отношения между терминами // Научно-техническая информация. Сер.2. 1989. № 9. С. 19-23. 5. Мальцев А.И. Алгоритмы и рекурсивные функции. М., 1965. 6. Грицьк В.В., Каминский Р.Н., Хома О.И. Об одной математической модели восприятия и обработки зрительной информации // Распараллеливание обработки информации. Львов, 1983. С.194-197.

УДК 519.6

І.І. Демків

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра обчислювальної математики та програмування

НАБЛИЖЕННЯ ОПЕРАТОРА УРИСОНА ОПЕРАТОРНИМИ ПОЛІНОМАМИ ТИПУ БЕРНШТЕЙНА В $L_p[0,1]$ ($1 < p < \infty$)

© І.І. Демків, 2000

У цій роботі, при заданих інтерполяційних умовах, оператор Урисона з невідомим ядром наближається операторним поліномом типу Бернштейна в $L_p[0,1]$ ($1 < p < \infty$). Даються оцінки, виражені в термінах модулів гладкості.

In this work, by the given interpolating conditions, the Urison operator with unknown kernel is approximated with operator polynomial of Bernstein type in $L_p[0,1]$ ($1 < p < \infty$). Rates, expressed in the terms of modulus of smoothness, are given.

У роботі [1] для наближення до оператора Урисона

$$F(t, x(\cdot)) = \int_0^1 f(t, z, x(z)) dz \quad (1)$$

з невідомим ядром $f(t, z, x(z))$ операторним поліномом типу Бернштейна

$$B_n(F, x(\cdot)) = \int_0^1 \sum_{k=0}^n f\left(t, z, \frac{k}{n}\right) C_n^k x^k(z) [1 - x(z)]^{n-k} dz, \quad (2)$$

дані оцінки в метриці $C[0,1]$, якщо задані інтерполяційні умови

$$F(t, x_i(\cdot)) = \int_0^1 f(t, z, x_i(z)) dz,$$