РОЗПІЗНАВАННЯ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ

Бражник Д.О., Тернова Т.І., Фаніна Л.О.

Херсонський державний технічний університет, Україна
tti_kherson@rambler.ru

Анотація

У статті розглядається спроба формування єдиного системного підходу до задач розпізнавання. Запропоновано алгоритм, що забезпечує інваріантість системи, що розпізнає, стосовно зовнішніх збурювань. Обговорюється можливість і переваги використання методу розпізнавання, що базується на компенсації інформаційних потоків. Обґрунтовано доцільність вирішення задачі розпізнавання методом при якому задача розпізнавання приймає вигляд пошуку еталона потребуючих мінімальних витрат на управління, чим забезпечується мінімальна взаємна інформація, а отже максимальна близькість образа й еталона. Проведено оцінку працездатності системи при зовнішніх збурюваннях, якщо її генератор еталонів може відтворити кожний з запропонованих для розпізнавання об'єктів.

Вступ

Удосконалювання сучасних технологій, особливо тих, котрі зв'язані з автономними автоматичними системами, у вирішальному ступені зв'язано з розвитком методів розпізнавання образів. Саме тому проблемі розпізнавання образів присвячена величезна кількість публікацій у вітчизняних і зарубіжних виданнях, запатентована безліч пристроїв, розроблена множина методик, алгоритмів і правил прийняття рішень. І все-таки ця задача в даний час далека від свого вирішення в повному обсязі.

Аналіз існуючих проблем і перспективи їхнього вирішення

Побудова систем, що розпізнають, у даний час є однієї з найбільш цікавих та перспективних напрямків у науці і техніці. Однак у даній області, незважаючи на значні зусилля, маються істотні труднощі, пов'язані з відсутністю єдиного підходу до проблеми.

Метою даної роботи є спроба формування єдиного системного підходу до задач розпізнавання.

Дана робота базується на класичних підходах сформованих у працях Файна [1], Дуди [2], Васильева [3], Скрипника [4], Горелика [4], Гонсалеса [5], Ту [5], Хорна [6].

Постановка задачі – аналіз можливості створення узагальненого підходу до задач розпізнавання образів.

Теоретичні дослідження

Для вхідного алфавіту A об'єктів a_i образів, що породжують множину Ω розглянемо випадок відомих імовірностей p_i появи на вході системи образів ω_i. З огляду на те що в реальній ситуації образ ω_i формує в просторі вхідних координат $\boldsymbol{X}$ вхідний сигнал системи $f_i(\mathbf{x})$ вважаємо заданим алфавіт F^* еталонних сигналів $f_i^*(\mathbf{x})$.

Враховуючи, що при переході від множини A, де в силу властивостей об'єктів визначені своя норма і міра, до множини образів Ω необхідно визначити правила виміру величини елемента і відстані між елементами множини.

При визначенні норми $\|\omega\|$ доцільно розглядати тільки Ω, що не звужує задачу. У цьому випадку природно використовувати правило обчислення імовірностей, тоді $\|\omega_i\| = p_i$. Дійсно:

$$\begin{aligned} &\|\omega\| = 0 \quad \leftrightarrow \quad \omega = \varnothing, \\ &\|\alpha \cap \omega\| = |\alpha|\|\omega\| \quad \leftrightarrow \quad P_\alpha = 1, \\ &\|\omega_i \cup \omega_j\| \le \|\omega_i\| + \|\omega_j\| \quad \leftrightarrow P_{\omega_i \cup \omega_j} \le P_{\omega_i} + P_{\omega_j}. \end{aligned} \tag{1}$$

Таким чином, прийняття імовірності як норми не суперечить вимогам, і її використання є цілком природним.

З іншої сторони визначення міри вимагає урахування контексту задачі і необхідно враховувати існування еталонів стосовно яких ми хочемо визначити відстань. Природно, виходячи з контексту задачі розпізнавання обумовити правило обчислення відстані як взаємну інформацію. При такому підході задовольняються аксіоми ідентичності, симетрії та аксіома трикутників:

$$\begin{aligned} &d(\omega_i, \omega_j) = I_{\omega_i/\omega_j} \ge 0, \\ &d(\omega_i, \omega_j) = 0 \quad \leftrightarrow \quad I_{\omega_i/\omega_i} = 0, \\ &d(\omega_i, \omega_j) = d(\omega_j, \omega_i) \quad \leftrightarrow \quad I_{\omega_i/\omega_j} = I_{\omega_{ji}/\omega_{ji}}, \\ &d(\omega_i, \omega_j) \le d(\omega_i, \omega_k) + d(\omega_k, \omega_j). \end{aligned} \tag{2}$$

Аксіома трикутника в даному випадку виконується тому що

$$
\begin{aligned}
&I_{\omega_i\omega_k\omega_j} = I_{\omega_k\omega_j\omega_i} = I_{\omega_j\omega_i\omega_k}, \\
&I_{\omega_k/\omega_i} + I_{\omega_j/\omega_k} = I_{\omega_i/\omega_j} + \\
&+ (I_{\omega_i} + I_{\omega_k} + I_{\omega_j} + I_{\omega_k/\omega_i} + I_{\omega_k/\omega_j}), \\
&(I_{\omega_i} + I_{\omega_k} + I_{\omega_j} + I_{\omega_k/\omega_i} + I_{\omega_k/\omega_j}) \geq 0 \\
&\quad \leftrightarrow \quad I_{\omega_k/\omega_i} + I_{\omega_j/\omega_k} \geq I_{\omega_i/\omega_j}.
\end{aligned} \tag{3}
$$

Отже, простір образів у задачі розпізнавання є нормованим метричним простором.

У такий спосіб задача формалізується як проста задача - для образа $\omega_k \in \Omega$ знайти еталон $\omega^*_i \in \Omega^*$:

$$
\begin{aligned}
\omega^*_i \quad &\rightarrow \quad \inf I_{\omega_k/\omega_i} \\
&\omega^*_i \in \Omega^* \\
&\omega_k \in \Omega
\end{aligned} \tag{4}
$$

Однак у реальності доводиться мати справу із сигналами образів, а тут все набагато складніше. Отже необхідно розглянути і породжуваний об'єктами A простір сигналів F. У цьому випадку маємо необхідність аналізу метрики, тому що стоїть задача визначення відстані між функцією еталона і сигналу. Тут при всій розмаїтості підходів можна вибравши метрику ρ ставити задачу формування керуючої послідовності u, що доставляє мінімум функціоналу мети.

$$
J(u) \rightarrow \inf; \qquad u \in U. \tag{5}
$$

Однак коректність задачі в загальному випадку порушена. Дійсно якщо умова

$$
J_* = \inf J(u) > -\infty; \qquad U_* \neq \varnothing, \tag{6}
$$

виконується в будь-який розумно поставленій задачі, то умова збіжності будь-який послідовності $\{u_k\}$, що мінімізує до множини U_* власне і є проблемою. Таким чином, у загальному випадку задача не є коректною по Тихоновому [3], тому що питання про вид і існування послідовності $\{u_k\}$, що мінімізує вирішується в кожнім випадку індивідуально.

Власне проблема полягає в тому, що образові ω_i в загальному випадку відповідає не одна функція $f_i(\mathbf{x})$ а множина функцій $F_{\omega i}(\boldsymbol{x})$, що зв'язано з розходженням умов пред'явлення і мінливістю образа. Отже, уникнути регуляризації задачі в загальному випадку не представляється можливим. Виходячи з [3] уведемо стабілізатор $\boldsymbol{\Omega}(\boldsymbol{u})$, у якому існує множина припустимих управлінь U і $\boldsymbol{u} \in U$. Власне ми перейшли до задачі

$$
\{\mathbf{u}_k\}^* \rightarrow \inf J(\mathbf{u}). \tag{7}
$$

Однак, з огляду на, що ми маємо справу із сигналами, вплив стабілізуючої функції визначається як $\boldsymbol{x}=\boldsymbol{x}(\Omega(\boldsymbol{u}))$. Тоді

$$
\begin{aligned}
&\{\mathbf{u}_k\}^* \rightarrow \inf J(f(\mathbf{x}), f^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))), \\
&\quad k = 1,2,\ldots,n < \infty
\end{aligned} \tag{8}
$$

Стабілізатор $\boldsymbol{\Omega}(\boldsymbol{u})$ введений в еталон дозволяє не висувати додаткових вимог до сигналу об'єкта. Тоді вид функціонала і тип оптимуму J не впливають на задачу вибору метрики. Дійсно досить врахувати, що сигнали об'єктів сприймаються тим самим пристроєм ми в праві в загальному випадку вважати, що існує послідовність управлінь $\{\boldsymbol{u}_k\}^*_{ij}$, що перетворює будь-який еталон f^*_I у будь-який сигнал f_j даного класу. Однак варто враховувати, що для ненегативних управлінь витрати на управління

$$
\begin{aligned}
&\bar{\mathbf{u}}(f_i, f_j) = \sum_{k=1}^{n} \mathbf{u}_k \rightarrow \inf J(f_i(\mathbf{x}), f_j^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))), \\
&\quad k = 1,2,\ldots,n < \infty
\end{aligned} \tag{9}
$$

будуть істотно відрізнятися між собою. Так для повністю співпадаючих сигналів

$$
\bar{\mathbf{u}}(f_i, f_i) = 0, \tag{10}
$$

тому що всі точки збігаються.

Витрати на управління регулятора відповідають аксіомі симетрії

$$
\bar{\mathbf{u}}(f_i, f_j) = \bar{\mathbf{u}}(f_j, f_i), \tag{11}
$$

і аксіомі трикутника

$$
\bar{\mathbf{u}}(f_i, f_j) \leq \bar{\mathbf{u}}(f_i, f_k) + \bar{\mathbf{u}}(f_k, f_j). \tag{12}
$$

Отже витрати на управління стабілізатора $\boldsymbol{\Omega}(\boldsymbol{u})$ відповідають вимогам метрики в просторі сигналів.

У такому випадку для множини еталонів і сигналу існують послідовності

$$
\begin{aligned}
&\bar{\mathbf{u}}_1^*(f(\mathbf{x}), f^*_1(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \rightarrow \inf J(f(\mathbf{x}), f^*_1(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))), \\
&\bar{\mathbf{u}}_2^*(f(\mathbf{x}), f^*_2(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \rightarrow \inf J(f(\mathbf{x}), f^*_2(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))), \\
&\quad . \quad . \quad . \\
&\bar{\mathbf{u}}_n^*(f(\mathbf{x}), f^*_n(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \rightarrow \inf J(f(\mathbf{x}), f^*_n(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))).
\end{aligned} \tag{13}
$$

Причому природно, мінімальні витрати управління визначають найбільше близькі функції в просторі сигналів і найбільш близькі образи в просторі образів:

$$
\inf \bar{\mathbf{u}}(f_i, f_j) \leftrightarrow \inf I_{\omega_i/\omega_j} \tag{14}
$$

У такий спосіб задача розпізнавання приймає вид пошуку еталона потребуючих мінімальних витрат на управління, чим забезпечується мінімальна взаємна інформація, а отже максимальна близькість образа й еталона.

$$\left.\begin{array}{l}\bar{\mathbf{u}}_1^*(f(\mathbf{x}), f_1^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to \inf J(f(\mathbf{x}), f_1^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k)))) \\ \bar{\mathbf{u}}_2^*(f(\mathbf{x}), f_2^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to \inf J(f(\mathbf{x}), f_2^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k)))) \\ \qquad . \quad . \quad . \\ \bar{\mathbf{u}}_n^*(f(\mathbf{x}), f_n^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))) \to \inf J(f(\mathbf{x}), f_n^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))))\end{array}\right\} \to \tag{15}$$

$$\to \inf \bar{\mathbf{u}}_j^*(f(\mathbf{x}), f_j^*(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k)) \to \inf I_{\omega/\omega_j^*}.$$

Істотним моментом у даному випадку є зв'язаність еталона і відповідного зображення [1], компактність [3] і опуклість, забезпечувана регуляризацією [3].

Тому що вибір функціонала J тепер диктується тільки міркуваннями зручності розглянемо в якості J нормовану взаємну кореляційну функцію між сигналом образа й еталона [6]:

$$J = R(f(\mathbf{x}), f^*{}_i(\mathbf{x}(\Omega(\mathbf{u}_k))). \tag{16}$$

Так для часового сигналу, виходячи з методу припустимих перетворень [1], врахуємо управління еталоном як задачу максимізації функціонала

$$J_i = R(f(t), f_i^*(t,u)) \tag{17}$$

З огляду на, що в даному випадку управління еталоном зводиться до методу припустимих перетворень і, припускаючи відповідність еталона й об'єкта, введемо обмеження $\omega \sim \omega^*$. Дане обмеження провадить до тривіального суміщення сигналів $f(t)=f^*{}_1(t)$. З іншого боку, з огляду на, що у випадку виконання обмеження, взаємна умовна інформація прагнути до мінімуму, можемо розглядати задачу розпізнавання як задачу з обмеженням типу рівності

$$\begin{array}{l}\omega_i^*, u^* \to \inf I_{\omega/\omega^*} \\ R(f(t), f^*{}_i(t,u)) = 1.\end{array} \tag{18}$$

У силу регуляризації при ідентичності образа еталонові задача опукла, а функція Лагранжа в даній задачі має вигляд

$$L(\omega^*, u, \lambda) = I_{\omega/\omega^*} - \lambda(R(f(t), f^*{}_i(t,u)) - 1). \tag{19}$$

Множник Лагранжа в даній задачі визначає чутливість взаємної інформації до нормованої взаємної кореляційної функції сигналів об'єкта й еталона

$$\lambda(u) = \frac{\partial I_{\omega/\omega_i^*}}{\partial R(f(t), f_i^*(t,u))} \tag{20}$$

Оскільки в даній задачі множник Лагранжа зв'язаний з управлінням, двоїстою перемінною є управління еталоном.

Таким чином, виходячи з умов Кунна-Таккера, одержуємо пряму і двоїсту задачі у вигляді:

$$\begin{array}{l}\omega^* \underset{u=u^*}{\longrightarrow} \inf L(\omega, u, \lambda^*); \\ u^* \underset{\omega=\omega^*}{\longrightarrow} \sup L(\omega, u, \lambda^*).\end{array} \tag{21}$$

З огляду на структуру функції Гамільтона в даній задачі можна записати

$$\begin{array}{l}\omega^* \underset{u=u^*}{\longrightarrow} \inf I(\omega, \omega^*(u^*)) = 0, \\ u^* \underset{\omega=\omega^*}{\longrightarrow} \sup R(\omega, \omega^*(u)) = 1.\end{array} \tag{22}$$

Таким чином, двоїста задача породжує кореляційні методи розпізнавання, а пряма задача зв'язана з інформаційним підходом до задачі розпізнавання [7]. При використанні інформаційного підходу розглядається потік інформації з зовнішнього середовища I_ω і потік інформації від генератора еталонів I_{ω^*} а як міру їхньої близькості використана взаємна інформація I_{ω/ω^*}, що і визначає метод як метод компенсації інформаційних потоків [8].

Принцип компенсації інформаційних потоків виходить з досить простих припущень:

- по-перше, система компенсує зовнішні збурювання,
- по-друге, якщо система може відтворити все те, що відбувається в зовнішньому середовищі, то можлива побудова системи розпізнавання, що працює без помилок.

Одним з істотних достоїнств даного методу є простота оцінки працездатності системи компенсації, що базується на принципі: система працездатна на алфавіті Ω при будь-яких збурюваннях якщо її генератор еталонів може відтворити будь-який образ з Ω.

Незважаючи на простоту і гнучкість методу перші його використання [9, 10] привели до значних труднощів, пов'язаних з ігноруванням некоректності задачі у використовуваній метриці. Однак урахування зв'язку взаємної інформації з витратами керування стабілізатора (8) дозволить реалізувати очікувану гнучкість і простоту реалізації.

Істотно, що даний підхід розглядає задачу розпізнавання як задачу перевірки гіпотез.

Так, наприклад, розглядаючи задачу розпізнавання мови як стабілізуючу функцію, виходячи з принципу зв'язаності, використана операція відновлення сигналу на ресурсі еталона [11]. Власне з набору гіпотез групи еталонних сигналів, що обумовлюють генерацію, вибирався в якості найближчий сигнал, на відновлення якого витрачався найменший ресурс управління рисунок 1.

У таблиці 1 [11] приведені результати порівняння для кореляційного методу і методу компенсації інформаційних потоків, що Були отримані при проведені моделювання в середовищі Matlab 6 з використанням достатньо близьких сигналів.

Як видно з наведених даних, незважаючи на простоту реалізації підхід забезпечує можливість упевненого ухвалення рішення.

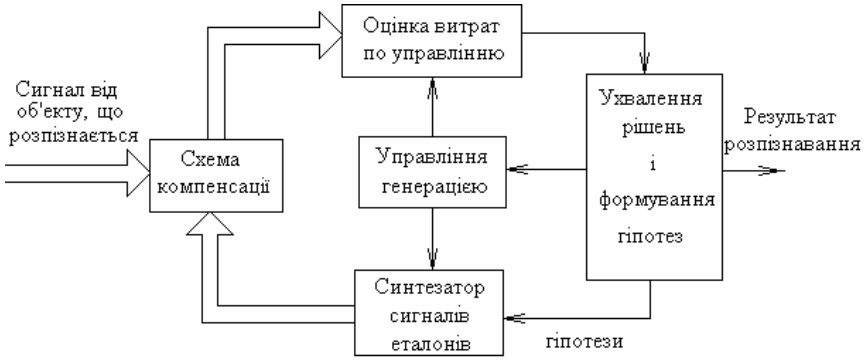

Рис. 1. Узагальнена структурна схема системи на основі принципу компенсації інформаційних потоків

Таблиця 1

Результати моделювання

№ гіпотези	1	2	3	4
Значення кореляційної функції	0,8611	-0,6653	-0,07091	-0,4041
Витрати на управління	1,69	83,28	72,03	60,64

Висновки

1. При використанні методу компенсації інформаційних потоків задача розпізнавання приймає вид пошуку еталона потребуючих мінімальних витрат на управління, чим забезпечується мінімальна взаємна інформація, а отже максимальна близькість образа й еталона.
2. Розглянута структура є системою побудованої по відхиленню, що дозволяє компенсувати збурювання без аналізу їхньої природи.
3. Побудова системи розпізнавання можна розглядати як пряму задачу мінімізації взаємної інформації, або як двоїсту задачу максимізації взаємної кореляції.
4. Оцінити взаємну інформацію між еталоном і вхідним сигналом можливо по витратах керування на рішення задачі відновлення сигналу на основі ресурсу еталона.
5. Можна забезпечити інваріантість системи розпізнавання при побудові системи перевірки гіпотез з використанням методу компенсації інформаційних потоків при оцінці суперечливості гіпотез.

Література

[1]. В.С.Файн. Опознавание изображений. Основы непрерывно-групповой теории и ее приложения. «Наука», - М.: 1970.

[2]. P.Duda, P.Hart. Pattern Classification and Scene Analysis. New York , 1973.

[3]. Методы решения экспериментальных задач. Васильев Ф.П.: -М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 400с.

[4]. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М., ВШ, 1984.

[5]. Дж.Ту, Р.Гонсалис. Принципы распознавания образов. Пер. с англ. И.Б.Гуревича, под ред. Ю.И.Журавлева – М., :Мир,1978,с. 407.

[6]. Хорн Б.К.П. Зрение роботов :Пер. с анг. - М.: Мир, 1989.- 487 с., ил.

[7]. Аркадьев В.Ю., Бражник А.М. Основы оптимизации систем управления и их моделирования. Учебное пособие. – К.: Национальная Академия Наук Украины, Международная Академия Информатизации – Херсон, Херсонский государственный технический университет, 2000. – 248 с.

[8]. Храпливый А.П., Рожков С.А., Терновая Т.И., Бражник Д.А. Использование метода компенсации информационных потоков при создании систем автоматического распознавания//Автоматика, Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. - 1998, №2. С. 93-100.

[9]. Рожков С.А. Исследование и разработка системы фильтрации сигналов дефектов ткани с выделением признаков их классификации: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.07.- Херсон. 1997. –223 с.

[10]. 146. Тимофеев К.В. Разработка системы автоматического позиционирования полотна ткани с печатным рисунком на стадии разбраковки: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.07. -Херсон., 1997. -223 с.

[11]. Фанина Л.А., Бражник Д.А. использование метода компенсации информационных потоков при построении систем управления с речевым интерфейсом // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. -2005. - №2 (16), с. 57-65.