під час фізичного навантаження, а саме врахувати поєднання випадковості та періодичності сигналу які спостерігаються при зміні стану, а отже, і розробити методи визначення інваріантних інформативних ознак ЕКС на основі статистики таких сигналів.

1. Драґан Я. Математичне й алгоритмічно-програмне забезпечення комп'ютерних засобів статистичного опрацювання коливань (ритмічних процесів) // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка», № 621, 2008. – С.124–130. 2.Шакин В.В. Вычислительная электрокардиография. – М.: Наука, 1981. – 166 с. 3.Баум О.В., Дубровин Д.З. Физико-математическая модель генеза электрокардиограмм // Биофизика. – 1971. – Т.16, №5. – С. 898–903. 4. Журавлева А.И., Граевская Н.Д. Спортивная медицина и лечебная физкультура / Руководство. – М.: Медицина. 1992. – 432 с. 5. Мандзій Б.А., Желяк Р.І. Основи теорії сигналів. – Львів, ЛДКФ Атлас, 2001. –152 с. 6. Драган Я. Феномен Є.Слуцького і корені системного аналізу проблеми обґрунтування стохастичної моделі ритміки // Комп'ютерні технології друкарства. – № 14, 2005. – С.89–118. 7.Драґан Я., Євтех П., Сікора Л., Яворський Б. Періодично корельовані випадкові процеси як адекватні моделі сигналів кратної ритміки природних явищ і технологічних процесів // Комп'ютерні технології друкарства . – 2000. – №4. – С.269– 290. 8. Драган Я. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів. – Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. – XVI+333 с.

УДК 681.142.2; 622.02.658.284; 621. 325

Д. Пелешко, А. Ковальчук, Н. Кустра, І. Ізонін
Національний університет "Львівська політехніка",
Кафедра автоматизованих систем управління

ІНВАРІАНТНІ МОМЕНТИ В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

Здійснено огляд інваріантів для прикладних задач обробки та аналізу зображень у системах штучного інтелекту. Класифіковано використання моментів для різних типів задач інтелектуального аналізу.

Ключові слова: зображення, інваріанти зображень, неортогональні та ортогональні моменти, реконструкція та розпізнавання зображень, афінні перетворення.

In this paper described review applications invariants for image processing and analysis in artificial intelligence systems. There is classified using the moment for various types of mining problems.

Keywords: image, image's invariant, orthogonal and non orthogonal moments, reconstruction and recognition of images, affine transformation.

Вступ

Інваріантами зображень називають такі об'єкти, які залишаються незмінними при визначених перетвореннях, наприклад афінних. Фактично класичні задачі інтелектуальної обробки зображень, зокрема аналізу форм, класифікації та розпізнавання зображень, можна звести до задач побудови фундаментальних просторів інваріантів, що дає можливість розділити два нееквівалентні об'єкти. Серед найвживаніших на практиці інваріантів розглядають моменти, які є базовою проекцією функції інтенсивності зображення на дійсний чи комплексний одночлен.

Неортогональні моменти

Геометричні моменти (регулярні, неортогональні моменти) є найпростішим випадком неортогональних моментів, які є результатом розвитку теорії алгебраїчних інваріантів, розвиненої в роботах А. Пуанкаре (теорія інтегральних інваріантів), Д. Гільберта (скінченні базиси систем інваріантів), Ш. Ерміта (алгебраїчні форми та їхні інваріанти), А. Тюрина (інваріанти алгебраїчних поверхонь та багатовимірних многовидів, наприклад [11]) тощо.

Двовимірні початкові моменти порядку ($a + b$) для зображень з функцією інтенсивності $f(x, y)$ у загальному випадку мають вигляд [13]

$$M_{ab}\left(XY\right) = \iint\limits_{\mathbf{R}^2} x^a y^b f\left(x, y\right); \; a, b = 0, 1, \; \mathbf{K}. \tag{1}$$

У дискретному випадку моменти $M_{ab}(XY)$ розглядаються як центри розподілу випадкової величини, зокрема моменти 1-го порядку: $M_{00}(XY)$ є центром мас, $M_{10}(XY)$ та $M_{01}(XY)$ визначають позицію центра мас, а моменти 2-го порядку: $M_{20}(XY)$, $M_{11}(XY)$ та $M_{02}(XY)$ визначають окремі характеристики зображення.

У загальному випадку моменти у формулі (1) не є інваріантними стосовно афінних перетворень, зокрема стосовно зсуву, обертання або зміни масштабу зображення. Інваріантність досягається за допомогою центральних моментів (моментів відносно центра розподілу $M_{ab}(XY)$), які визначаються так:

$$\mu_{ab} = \sum_{x=0}^{n} \sum_{y=0}^{n} \left(x - \frac{M_{10}\left(XY\right)}{M_{00}\left(XY\right)} \right)^a \left(y - \frac{M_{01}\left(XY\right)}{M_{00}\left(XY\right)} \right)^b f\left(x, y\right). \tag{2}$$

де $n \times n$ – розмірність цифрового зображення, яка має нормалізовану функцію інтенсивності $f(x, y)$.

Середня точка зображення дорівнює центральним моментам, які обчислюють, починаючи з неї. Обчислення здійснюється так, що зміщення центра збігається із середньою точкою. Тому центральні моменти є інваріантними при зсуві зображення.

Найвживанішими центральними моментами є дисперсія, коефіцієнт асиметрії та ексцес.

Сім моментів ХУ є найвідомішими серед неортогональних моментів. Ці моменти базуються на нормалізованих центральних моментах γ_{ab} до третього порядку, які є інваріантними до зміни масштабу, зсуву і обертання, і обчислюються так:

$$\begin{gathered}
m_1 = \gamma_{20} + \gamma_{02}\;; \quad m_2 = \left(\gamma_{20} - \gamma_{02}\right)^2 + 4\gamma_{11}^2; \quad m_3 = \left(\gamma_{30} - 3\gamma_{12}\right)^2 + \left(3\gamma_{21} - \gamma_{03}\right)^2; \quad m_4 = \left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right)^2 + \left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right)^2; \\
m_5 = \left(\gamma_{30} - 3\gamma_{12}\right)\left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right)\left[\left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right)^2 - 3\left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right)^2\right] + \left(3\gamma_{21} - \gamma_{03}\right)\left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right)\left[3\left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right)^2 - \left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right)^2\right]; \\
m_6 = \left(\gamma_{20} - \gamma_{02}\right)\left[\left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right)^2 - \left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right)^2\right] + \gamma_{11}\left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right)\left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right); \qquad (3) \\
m_7 = \left(3\gamma_{21} - \gamma_{03}\right)\left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right)\left[\left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right) - 3\left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right)^2\right] + \left(3\gamma_{21} - \gamma_{30}\right)\left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right)\left[3\left(\gamma_{30} + \gamma_{12}\right)^2 - \left(\gamma_{21} + \gamma_{03}\right)^2\right].
\end{gathered}$$

Поряд з геометричними та моментами Ху, з неортогональних моментів у задачах обробки зображень широко використовують обертальні та комплексні моменти.

Ортогональні моменти

Моменти Зерніке – це ортогональні моменти, які можна використати для аналізу форми змісту зображення для випадків мінімальної інформативності [4, 5]. Ортогональні моменти дають змогу здійснити реконструкцію зображення із високою точністю, і володіють такими перевагами [9, 10, 13]: інваріантність до обертання, стійкість, ефективність обчислення, багаторівневі представлення, легкість відтворення зображення за ними.

Двовимірні моменти Зерніке порядку a з повторенням b для цифрового зображення задаються так [4]:

$$A_{ab} = \frac{a+1}{\pi} \iint\limits_{x^2+y^2 \le 1} f\left(x, y\right) V_{ab}^*\left(x, y\right); \; V_{ab}^*\left(x, y\right) = V_{a,-b}\left(x, y\right), \tag{4}$$

де $a \ge 0$ – ціле невід'ємне число, b – таке число, що $a - |b|$ – парне і $|b| < a$, $V_{ab}(x, y)$ – функція Зерніке в полярних координатах $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ та $\theta = \tan^{-1}(x / y)$:

$$V_{ab}\left(x, y\right) = V_{ab}\left(\rho, \theta\right) = R_{ab}\left(\rho\right) e^{ib\theta} \;, \tag{5}$$

де $R_{ab}(\rho)$ – радіальний поліном (поліном Зерніке порядку a), який визначається так:

$$R_{ab}(\rho)=\sum_{s=0}^{(a-|b|)/2}\frac{(-1)^s(a-s)!}{s!\left((a-2s+|m|)/2\right)!\left((a-2s-|m|)/2\right)!}\rho^{a-2s}. \quad (6)$$

До основних властивостей МЗ належать інваріантність до обертання і стійкість до шуму. Окрім цього, якщо усі моменти Зерніке A_{ab} і $f(x, y)$ належать N, то через ортогональні властивості МЗ можна відновити зображення, на основі якого ці моменти були визначені:

$$f'(\rho,\theta)\approx\sum_{a=0}^{M}\sum_{b}A_{ab}V_{ab}(\rho,\theta), \quad (7)$$

де M – порядок моментів інверсного перетворення.

Моменти псевдо-Зерніке (МПЗ) є похідними від МЗ. Для МПЗ поліноми Зерніке визначаються так [4]:

$$R'_{ab}(\rho)=\sum_{s=0}^{a-|b|}(-1)^s\frac{(2a+1-s)!}{s!\left(a-|b|-s\right)!\left(a+|b|+1-s\right)!}\rho^{a-s}\ . \quad (8)$$

Тоді МПЗ для дискретного випадку за допомогою полінома (8) визначаються за формулою:

$$A'_{ab}=\frac{a+1}{\pi}\sum_{\rho}\sum_{\theta}f(\rho,\theta)R'_{nm}(\rho)e^{-im\theta}\ . \quad (9)$$

МПЗ володіють основними характеристиками МЗ, але, на відміну від останніх, є стійкішими до шуму.

Моменти Лежандра (МЛ) – ортогональні моменти, які використовуються для подання зображень, що володіють мінімальною інформативністю і які вперше ввів Тіг [6].

МЛ порядку $(a + b)$ для зображення з інтенсивністю функції $f(x, y)$ визначаються так [13]:

$$L_{ab}=\frac{(2a+1)(2b+1)}{4}\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}P_a(x)P_b(y)f(x,y)dxdy\ , \quad (10)$$

де $y\in$ [-1, 1], поліном Лежандра $P_z(x)$ степеня z має вигляд [13]:

$$P_z(x)=\frac{1}{2^z}\sum_{k=0}^{n/2}\left((-1)^k\frac{(2z-2k)!x^{z-2k}}{k!(z-k)!(z-2k)!}\right). \quad (11)$$

Рекурентне співвідношення $P_z(x)$ для визначення поліномів Лежандра задається таким виразом:

$$P_z(x)=\frac{(2z-1)xP_{z^{-1}}(x)-(z-1)P_{z^{-1}}(x)}{z}, \quad (12)$$

де $P_0(x) = 1$, $P_1(x) = x$ і $z > 1$.

Нескінченний набір поліномів Лежандра утворює повний ортогональний базис на проміжку [-1; 1].

Цифрове зображення розміром $(n \times n)$ є масивом пікселів з нормованими на проміжку [-1; 1] координатами (x_i, y_j), які визначаються так:

$$x_i=2i/(n-1)-1, y_j=2j/(n-1)-1\ . \quad (13)$$

Для дискретного випадку рівняння (10) можна записати у такому вигляді:

$$L_{ab}=\lambda_{ab}\sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{n-1}P_a(x_i)P_b(y_j)f(i,j)\ , \quad (14)$$

де λ_{ab} – нормалізована константа, яка визначається так:

$$\lambda_{ab}=(2a+1)(2b+1)/n^2\ . \quad (15)$$

Використовують МЛ в основному для реконструкції зображень, яка здійснюється за такою формулою:

$$f(x,y)\approx\sum_{a=0}^{M}\sum_{b=0}^{a}L_{a-b,b}P_{a-b}(x)P_m(y)\ . \quad (16)$$

Серед ортогональних дискретних моментів широко використовують також моменти Чебишова, Кравчука, Рака і Хана [13].

Моменти Чебишова для цифрового зображення $f(x, y)$, порядку $(a + b)$ знаходять так:

$$T_{ab} = \frac{1}{\tilde{\rho}(a,n)\tilde{\rho}(b,n)} \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} \tilde{t}_a(x)\tilde{t}_b(y) f(x,y) , \tag{17}$$

де поліном Чебишова визначається за формулою:

$$\tilde{t}_a(x) = \frac{t_a(x)}{\beta(a,n)}; \qquad t_a(x) = (1-n)_a {}_3F_2(-a,-x,1+a;1,1-n;1) ; \tag{18}$$

$$\tilde{\rho}(a,n) = \frac{\rho(a,n)}{\beta(a,n)^2}; \quad \rho(a,n) = (2a)!\begin{pmatrix} n+a \\ 2a+1 \end{pmatrix}, p = 0,1,...,n-1 . \tag{19}$$

Тут $\beta(a, n)$ є сталою, яка не залежить від x і від гіпергеометричної функції, визначеної як:

$${}_3F_2(v_1, v_2, v_3; w_1, w_2; z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(v_1)_k (v_2)_k (v_3)_k}{(w_1)_k (w_2)_k} \frac{z^k}{k!} , \tag{20}$$

де v_k, – символ Похгаммера, який знаходять за виразом:

$$(v)_k = v(v+1)...(v+k-1) = \frac{\Gamma(v+k)}{\Gamma(v)} . \tag{21}$$

Ортогональні властивості моменту дають змогу виконати зворотне перетворення:

$$f(x,y) = \sum_{a=0}^{n-1} \sum_{b=0}^{n-1} T_{ab} \tilde{t}_a(x)\tilde{t}_b(y) . \tag{22}$$

Моменти Кравчука порядку $(a + b)$ для зображення $f(x,y)$ визначаються так:

$$Q_{ab} = \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} \tilde{K}_a(x;p_1,n-1)\tilde{K}_b(y;p_2,n-1) f(x,y) , \tag{23}$$

де нескінченна множина зважених поліномів Кравчука $\{\tilde{K}_a(x;p_1,n)\}$, які визначаються так:

$$\tilde{K}_a(x;p,n) = K_a(x;p,n)\sqrt{\frac{w(x;p,n)}{\rho(a;p,n)}}; \qquad K_n(x;p,n) = {}_2F_1\left(-a,-x;-n;\frac{1}{p}\right), 0 \le x, a \le n-1 ; \tag{24}$$

$$w(x;p,n) = \begin{pmatrix} n \\ x \end{pmatrix} p^x (1-p)^{n-x}, 0 < p < 1; \qquad \rho(a;p,n) = (-1)^a \left(\frac{1-p}{p}\right)^a \frac{a!}{(-n)_a} , \tag{25}$$

де ${}_2F_1(.)$ – гіпергеометрична функція, яка визначається за формулою:

$${}_2F_1(v,w,c;z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(v)_k (w)_k}{(c)_k} \frac{z^k}{k!} . \tag{26}$$

Використовуючи моменти Кравчука, оригінальне зображення можна вдало відновити:

$$f(x,y) = \sum_{a=0}^{n-1} \sum_{b=0}^{n-1} Q_{ab} \tilde{K}_a(x;p_1,n-1)\tilde{K}_b(y;p_2,n-1) . \tag{27}$$

Момент Рака порядку $(a + b)$ для зображення $f(s, t)$ знаходять за формулою:

$$U_{ab} = \sum_{s=v}^{w-1} \sum_{t=v}^{w-1} \tilde{u}_a^{(\alpha,\beta)}(s,v,w)\tilde{u}_b^{(\alpha,\beta)}(t,v,w) f(s,t), \qquad a,b = 0,1,...,L-1 \tag{28}$$

Нескінченна множина зважених поліномів Рака визначається так:

$$\tilde{u}_a^{(\alpha,\beta)}(s,v,w) = u_a^{(\alpha,\beta)}(s,v,w)\sqrt{\frac{\rho(s)}{d_a^2}\left[\Delta x\left(s-\frac{1}{2}\right)\right]}, \quad a = 0,1,...,L-1 ; \tag{29}$$

$$\rho(s) = \frac{\Gamma(v+s+1)\Gamma(s-v+\beta+1)\Gamma(w+\alpha-s)\Gamma(w+\alpha+s+1)}{\Gamma(v-\beta+s+1)\Gamma(s-v+1)\Gamma(w-s)\Gamma(w+s+1)} ; \tag{30}$$

$$d_a^2 = \frac{\Gamma(\alpha+a+1)\Gamma(\beta+a+1)\Gamma(w-v+\alpha+\beta+a+1)\Gamma(v+w+\alpha+a+1)}{(\alpha+\beta+2a+1)a!(w-v-a-1)\Gamma(\alpha+\beta+a+1)\Gamma(v+w-\beta-a)} ; \tag{31}$$

$$u_a^{(\alpha,\beta)}(s,v,w) = \frac{1}{a!}(v-w+1)_a(\beta+1)_a(v+w+\alpha+1)_a {}_4F_3\left(\begin{matrix} -a,\alpha+\beta+a+1,v-s,v+s+1 \\ \beta+1,v+1-w,v+w+\alpha+1 \end{matrix} \; 1\right). \tag{32}$$

Узагальнена гіпергеометрична функція ${}_4F_3(.)$ визначається так:

$$ {}_4F_3(v_1, v_2, v_3, v_4; w_1, w_2, w_3; z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(v_1)_k (v_2)_k (v_3)_k (v_4)_k}{(w_1)_k (w_2)_k (w_3)_k} \frac{z^k}{k!}, \qquad (33) $$

і параметри v, w, α і β – обмежені:

$$ -1/2 < v < w,\ \alpha > -1,\quad -1 < \beta < 2v + 1,\ w = v + n. \qquad (34) $$

Через власні ортогональні властивості моменти Рака дають змогу виконати реконструкцію зображення за допомогою такого зворотного перетворення:

$$ f(s,t) = \sum_{a=0}^{L-1} \sum_{b=0}^{L-1} U_{ab} \hat{u}_a^{(\alpha,\beta)}(s,v,w) \hat{u}_b^{(\alpha,\beta)}(t,v,w), \quad s,t = v, v+1, \ldots, w-1, \qquad (35) $$

де s, t являють собою єдину піксельну сітку зображення.

Моменти Хана порядку $(a + b)$ для зображення $f(s, t)$ визначаються так:

$$ U_{ab} = \sum_{s=v}^{w-1} \sum_{t=v}^{w-1} \hat{u}_a^{(c)}(s,v,w) \hat{u}_b^{(c)}(t,v,w) f(s,t), \quad a,b = 0,1,\ldots,n-1; \qquad (36) $$

$$ \hat{u}_a^{(c)}(s,v,w) = u_n^{(c)}(s,v,w) \sqrt{\frac{\rho(s)}{d_a^2} \left[\Delta x \left(s - \frac{1}{2} \right) \right]}, \ a = 0,1,\ldots,n-1; \qquad (37) $$

$$ \hat{u}_a^{(c)}(s,v,w) = \frac{(v-w+1)_a (v+c+1)_a}{a!} \ {}_3F_2(-a, v-s, v+s+1; v-w+1, v+c+1; 1), \quad a = 0,1,\ldots,n-1; \qquad (38) $$

$$ \rho(s) = \frac{\Gamma(v+s+1)\Gamma(c+s+1)}{\Gamma(s-v+1)\Gamma(w-s)(w+s+1)\Gamma(s-c+1)}; \quad d_a^2 = \frac{\Gamma(v+c+a+1)}{a!(w-v-a-1)!\Gamma(w-c-a)}, \quad a = 0,1,\ldots,n-1, \qquad (39) $$

де гіпергеометрична функція ${}_3F_2(.)$ визначається з формули (20), а параметри v, w і c є обмежені:

$$ -\frac{1}{2} < v < w,\ |c| < 1 + v,\ w = v + n. \qquad (40) $$

Висновки

На основі огляду методів теорій інваріантів і моментів для двовимірних випадків у роботі описано інваріантні моменти, які найчастіше використовуються у прикладних задачах обробки зображень.

Основною областю використання неортогональних моментів є задачі розпізнавання зображень зі спотвореннями, що породжені різноманітними змазуваннями чи випадковим шумом.

Ортогональні моменти застосовують у першу чергу для задач реконструкції зображень. Також дуже часто ці моменти використовують для вирівнювання наборів зображень на піксельному чи субпіксельному рівнях.

1. Бакшицкий В. К., Бочкарев А. М., Мусьянов М. П. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с. 2. Hu M.K. Visual pattern recognition by moment invariant //. IRE Trans. Inform. Theory, 1962 No.8, pp. 179–187. 3. Hwang S.-K., Kim W.-Y. A novel approach to the fast computation of Zernike moments // Pattern Recognition, 2006, No 39, pp. 2065 – 2076. 4. Qader H. A., Ramli A. R., Syed Al-Haddad. Fingerprint Recognition Using Zernike Moments // The Inernational Arab Journal of Information Technology, 2007, Vol. 4, No.4, pp. 372-376. 5. Khotanzad A., Hong Y.H. Invariant image recognition by Zernike moments // IEEE, Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, No. 12(5), pp. 489-498. 6. Teague M. Image analysis via the general theory of moments, JOSA, 1980, No. 70 (8), pp. 920–930. 7. Felzenszwalb P., Huttenlocher D. Pictorial structures for object recognition. IJCV, 2005, No 61. 8. Chee-Way Chonga, Raveendran P., Mukundan R. Translation and scale invariants of Legendre moments, Pattern Recognition, 2004, No. 37, pp.119 – 129. 9. Celebi M., Alp Aslandogan Y. A Comparative Study of Three Moment-Based Shape Descriptors // Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05) – Volume I – Volume 01, pp. 788-793. 10.Ryszard S., Chora S. Image Feature Extraction Techniques and Their Applications for CBIR and Biometrics Systems. International Journal of Biology and biomedical engineering, 2007, Vol. 1(1), pp. 6-16. 11. А. Н. Тюрин. Локальный инвариант риманова многообразия // Изв. АН СССР. Сер. матем., 45:4 (1981), с.824–

851. 12. Xia T., Zhu H., Shu H., Haigron P., Luo L. Image description with generalized pseudo-Zernike moments // JOSA, 2007, No. 24(1), pp. 50-9. 13. Shu H., Luo L., Coatrieux J.-L. Moment-based Approaches in Image. Part 1: basic features //IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 2007, No. 26(5), pp. 70-4.

УДК 622.692.4+622.691.24

Н. Притула[1,2], М. Притула[1,2], І. Боярин[2], В. Ямнич[2], О. Гринів[2], О. Химко[3]
[1]Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я.С.Підстригача НАН України,
[2]ТОВ “Математичний центр”,
[3]Національний університет “Львівська політехніка”

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Запропоновано швидкі алгоритми аналізу даних вимірювання на великих інтервалах часу та розв’язування систем нелінійних контурних рівнянь, які дали можливість розв’язати задачі ідентифікації в умовах невизначеності. Наведено класифікацію та характеристику невизначеностей. Запропоновано алгоритми знаходження параметрів моделей та стану об’єктів в умовах невизначеності.

Ключові слова: ідентифікація, невизначеність, розрахункова схема, газотранспортна система, компресорна станція, технологічні об’єкти.

Fast analysis algorithms of the measurement data during the big time intervals and solving of systems of the nonlinear contour equations which have given the chance to make problem definition of identification in the conditions of uncertainty are offered. The classification and the characteristic of existing uncertainties are carried out. Algorithms of finding models parameters and a objects state in the conditions of uncertainty are offered.

Keywords: identification, uncertainty, the settlement scheme, gas-transport system, compressor station, facilities.

Вступ

Для того, щоб забезпечити комплексний підхід до прийняття рішень у складній багаторівневій ієрархічній системі видобутку, транспорту, зберігання і розподілу газу, необхідно впроваджувати системи інформаційної підтримки задач розрахунку режимних параметрів. Основні базові проблеми, які потрібно вирішити, – проблема ідентифікації термогідравлічного та технічного стану об’єктів, формування максимально збалансованих початково-граничних умов. Це дасть змогу розв’язувати задачі моделювання, оптимізації і формування параметрів управління нелінійними, нестаціонарними газодинамічними процесами за наявного інформаційного забезпечення задач.

Невизначеність режимної інформації в основному полягає у відсутності замірів витрат, тисків і температур у багатьох вузлах газотранспортної системи (ГТС). Аналіз невизначеностей, характерних для процесу управління складними газотранспортними системами, показав, що:

- точність інформації низька, оперативна інформація неповна (значні похибки вимірювання, ненадійна і малопродуктивна система передавання даних, несинхронна система вимірювання і передачі даних, недоступна частина інформації тощо);
- моделі неточні (часто припускається однорідність підсистем за багатьма параметрами, не повністю враховується рельєф прокладання трубопроводів, вводяться нечіткі моделі типу термогідравлічних еквівалентів, часто використовуються паспортні характеристики, які, як правило, відрізняються від реальних тощо).