

МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ДІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Some methods, methods and devices of parallel action, are considered built on the specialized processors for treatment of information real-time, technical descriptions of the developed devices are presented.

Keywords: *specialized processor, real time, pattern recognition, telemetric streams processing.*

Розглянуто деякі методи, способи та пристрої паралельної дії, побудовані на спеціалізованих процесорах для обробки інформації в реальному часі, подано технічні характеристики розроблених пристроїв.

Ключові слова: *спеціалізований процесор, реальний час, розпізнавання зображень.*

В. М. Михайловський пропонував сам і підтримував нові напрямки і програми наукових досліджень, які розвивали співробітники відділу.

На початку 60-х років В. М. Михайловський запропонував інформаційний підхід до оцінки ефективності та якості систем передачі інформації й вибору оптимальних або близьких до оптимальних методів кодування і декодування. На базі цього підходу з 1962 по 1974 р. розроблено методи обчислення середньої кількості прийнятої інформації на кожне повідомлення для різних класів бінарних і небінарних кодів при заданій достовірності прийому повідомлень. Дано загальні алгоритми отримання формул прийнятої інформації за допомогою ЕОМ, проведено інформаційну оцінку ефективності та якості різних методів передачі інформації за заданою вірогідності [1, 2].

На межі 70-х років у галузі обчислювальної техніки відбувся якісний стрибок – здійснено автоматичне функціонування ЕОМ у комплексних системах з безпосереднім вводом інформації від вимірювальних підсистем об'єктів, що перебувають на довільному віддаленні, обробкою цієї інформації і подачею команд управління на виконавчі механізми в реальному часі. При цьому обсяг інформації, що надходить, різко збільшується, час її обробки обмежується мікросекундами. Виникла проблема суттєвого збільшення продуктивності обчислювальних засобів. Для її вирішення з початку 70-х років формується новий науковий напрям – розпаралелювання обробки інформації, об'єктом вивчення якого є структура алгоритмів і програмного налаштування систем обробки інформації [1, 3].

Водночас, з кінця 60-х років і впродовж 70-років у секторі фізикомерії Фізико-механічного інституту АН УРСР під керівництвом О. М. Свенсона проводилися науково-дослідні роботи з наукового напрямку пошуку і розпізнавання простих образів. Для суттєвого зменшення кількості елементарних проб запропонована заміна об'єкта пошуку його простим образом, що має менше ступенів свободи, ніж вихідне зображення [1, 4].

У відділі відбору та обробки інформації під керівництвом В. М. Михайловського з 1974 р. також проводилися теоретичні дослідження з розпаралелювання алгоритмів, попередньої обробки та розпізнавання простих образів [3, 5].

На кінець 1975 року автором були запропоновані нові способи [6–8] попередньої обробки, фільтрації, виділення та розпізнавання складних випуклих зображень в умовах дії завад [9, 10], ідеї яких були підтримані В. М. Михайловським [11–14].

Запропонований спосіб розпізнавання таких зображень забезпечував незалежність результатів розпізнавання від афінних перетворень, давав змогу розпара-

лелювати процес попередньої обробки й одержання ознак розпізнаваного зображення на паралельних спеціалізованих ЕОМ у масштабі часу, близькому до реального.

Спосіб розпізнавання випуклих зображень. На рис. 1 показано перетворення зображення прямокутника в періодичний функціональний сигнал, на рис. 2 – залежність періодичного функціонального сигналу зображення від кута повороту зображення навколо координатної осі, перпендикулярної до площини зображення, де $T_{i\alpha_1}, T_{i\alpha_2}, T_{i\alpha_3}, T_{i\alpha_4}$ – локальні екстремальні рівні функціонального сигналу [15].

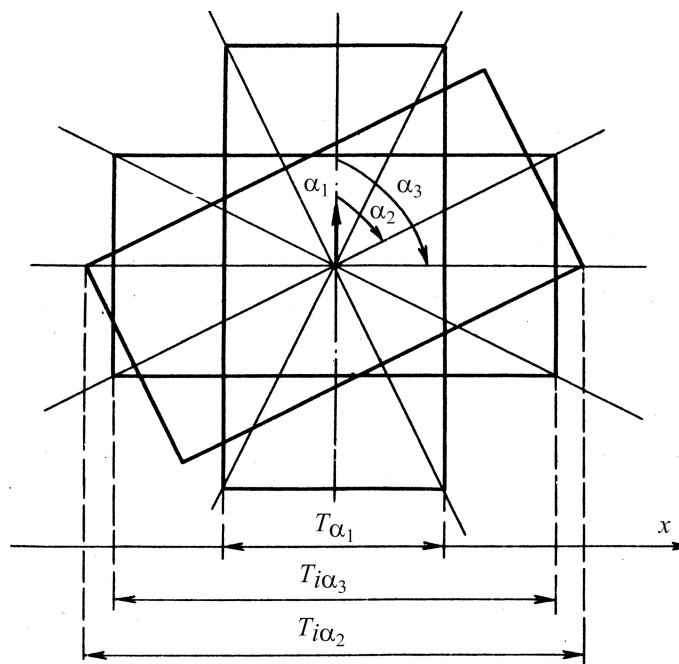


Рис. 1. Перетворення зображення прямокутника в періодичний функціональний сигнал.

Формування періодичного функціонального сигналу здійснюється шляхом перетворення проєкції $T_{i\alpha}$ зображення (рис. 1) на першу координатну вісь X , яка розміщена в площині зображення, за рівномірної зміни кута α , повороту зображення навколо другої координатної осі, перпендикулярної до площини зображення.

Як видно з рис. 1 і 2, для кожного повороту зображення прямокутника на кут $\alpha = j\alpha_0$ (j – ціле число; α_0 – задане мінімальне значення кута повороту відносно початкового положення $\alpha = 0^\circ$) рівні $T_{i\alpha}$ періодичного функціонального сигналу (довжина – значення проєкції зображення на координатну вісь X) змінюються від мінімального екстремального значення $T_{i\alpha_1}$ (ширина сторони прямокутника) для кута повороту $\alpha_1 = 0^\circ$ до максимального $T_{i\alpha_2}$ (довжина діагоналі) для кута повороту $\alpha_2 = 63,5^\circ$ і знову до мінімального значення рівня $T_{i\alpha_3}$ (довжини сторони прямокутника) для кута повороту $\alpha = 90^\circ$ і т. д.

Мінімальні й максимальні рівні $T_{i\alpha_j}$ періодичного функціонального сигналу (мінімальні і максимальні значення довжини проєкцій зображення, повернутого

на кути $\alpha = \alpha_\gamma$, де $\alpha_\gamma \in [0; \pi]$, $\gamma \in [1; \chi]$, а χ – визначає кількість екстремальних проєкцій $T_{i\alpha_\gamma}$), в подальшому названі локальними екстремальними рівнями функціонального сигналу (рис. 2), які періодично повторюються через кожні 180° .

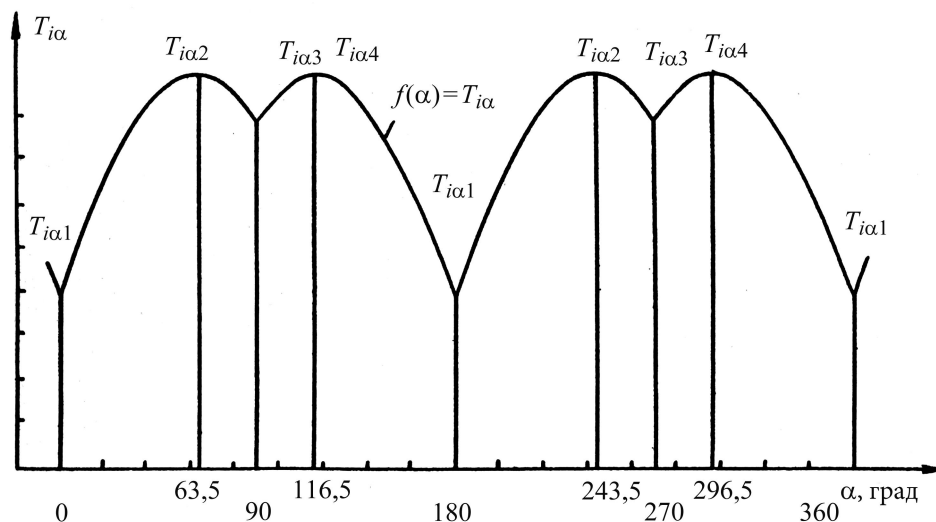


Рис. 2. Залежність періодичного функціонального сигналу зображення від кута повороту зображення навколо координатної осі, перпендикулярної до площини зображення.

Із рис. 2 видно, що періодичний функціональний сигнал зображення прямокутника, що на рис. 1, складається всього із чотирьох рівнів, які однозначно визначають вигляд функціонального сигналу і, разом з тим, повністю характеризують внутрішню структуру цього зображення (двох максимальних і двох мінімальних локальних екстремальних рівнів, які періодично повторюються і які розміщені в певній послідовності та на певній кутовій віддалі α один від одного).

Порівнюючи значення функціональних сигналів зображень геометрично подібних фігур, можна встановити, що вони відрізняються тільки величиною відповідних локальних екстремальних рівнів сигналу. Розміщені ж рівні на однаковій кутовій віддалі один від одного.

Із цього випливає, що зображення, які відносяться до одного класу K зображень та відрізняються один від одного тільки коефіцієнтом подібності, описуються періодичними функціональними сигналами, локальні екстремальні рівні $T_{i\alpha}$ яких розміщені на однаковій кутовій віддалі один від одного, але різні за величиною для кожного періодичного сигналу на величину коефіцієнта подібності.

Для функціональних сигналів інших зображень послідовність екстремальних локальних рівнів також не залежить від афінних перетворень зображень, але враховується зміна форми [16].

Отже, якщо виділити із послідовності локальних екстремальних рівнів функціонального сигналу глобальний екстремальний рівень і по ньому нормалізувати послідовність вказаних локальних рівнів, то очевидно, що зображення, які відносяться до одного і того ж класу (відрізняються один від одного тільки значенням коефіцієнта подібності), після нормалізації їхніх послідовностей локальних екстремальних рівнів за відповідними глобальними екстремальними рівнями кожного функціонального сигналу зображення, які відносяться до одного класу, мають однакові за значенням нормалізовані послідовності відповідних локальних екстремальних рівнів.

Звідси випливає, що послідовності локальних екстремальних рівнів функціональних сигналів всіх зображень, які відносяться до одного класу і які розрізняються між собою тільки значенням коефіцієнта подібності, можна замінити однією нормалізованою послідовністю локальних екстремальних рівнів для всіх зображень із цього класу.

Теоретичні основи опису і розпізнавання зображень. Розглянемо теоретичні основи опису і розпізнавання зображень за допомогою узагальнених спектрів [6, 7, 11, 12, 17].

Опис зображень. Представимо зображення Z_i на полі розмірністю $n \times n$ у вигляді слова довжиною n^2 [6, 17] $V_i = (a_{i1}a_{i2}a_{i3}\dots a_{in^2})$, що складається з підслів довжини n $V_{ir} = (a_{i(r-1)n+1}a_{i(r-1)n+2}\dots a_{i(r-1)n+n})$, де

$$a_{ik} \in E = \{0, 1\}, \quad 1 \leq r \leq n, \quad 1 \leq k \leq n^2.$$

Означення 1. Спектром S_i зображення V_i , яке представлено словом $V_i = (a_{i1}a_{i2}a_{i3}\dots a_{in^2})$ довжиною n^2 , називають слово довжиною n

$$V_i^s = (a_{i1}^s a_{i2}^s a_{i3}^s \dots a_{in}^s); \quad a_{ir}^s = \sum_{q=1}^n a_{i(r-1)+q}, \quad 1 \leq r \leq n, \quad a_{ir}^s \in E^s = \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}.$$

Означення 2. Число T_i ненульових, наступних підряд елементів слова V_i^s називають довжиною спектра S_i . Нехай на рецепторнім полі є r зображень $Z_i^1, Z_i^2, \dots, Z_i^r$. Тоді T_i може бути представлено у вигляді векторної величини

$$T_i = (T_{i1}, T_{i2}, T_{i3}, \dots, T_{ir}), \quad (1)$$

де $Z_i^k \cap Z_i^l = \emptyset$ для $k \neq l$, $1 \leq k, l \leq r$; r – кількість зображень Z_i^k , що взаємно не перетинаються.

Позначимо через $V_i^{s(k)} = (a_{i1}^{s(k)} a_{i2}^{s(k)} a_{i3}^{s(k)} \dots a_{in}^{s(k)})$ спектр зображення Z_i^k . Тоді із (1) можна записати довжину спектра S_i^k як $T_i = T_{ik}$.

Узагальнені спектри. Основні поняття і означення. Розглянемо деяку функцію $f(\alpha) = T_{i\alpha}$, де $T_{i\alpha}$ – цілі числа, які характеризують довжини спектрів зображень Z_i для різних орієнтацій α ; $0 \leq \alpha \leq 2\pi$. Кут α характеризує орієнтацію (напрямок, під яким проглядається зображення) зображення Z_i на рецепторному полі з розмірністю $n \times n$ [7].

Означення 3. Узагальненим спектром $V_i(\alpha_v)$ щодо орієнтації α_v зображення Z_i , яке подане у вигляді слова, називатимемо слово вигляду

$$V_i(\alpha_v) = (T_{i\alpha_v}, T_{i\alpha_{v+1}}, T_{i\alpha_{v+2}}, \dots, T_{i\alpha_\chi}, T_{i\alpha_1}, T_{i\alpha_2}, \dots, T_{i\alpha_{v-1}}), \quad (2)$$

де $1 \leq v \leq \chi$; $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \dots < \alpha_v < \dots < \alpha_\chi$; χ – кількість орієнтацій зображень Z_i на рецепторному полі розмірністю $n \times n$.

Означення 4. Узагальненим спектром із циклічним зсувом вправо на S букв щодо орієнтації α_v називатимемо слова виду

$$V_i(\alpha_v, s) = \left(T_{i\alpha_{v-s}}, T_{i\alpha_{v-(s-1)}}, \dots, T_{i\alpha_{v-1}}, T_{i\alpha_v}, \dots, T_{i\alpha_{\chi-1}}, T_{i\alpha_\chi}, T_{i\alpha_1}, \dots, T_{i\alpha_{v-(s+2)}}, T_{i\alpha_{v-(s+1)}} \right). \quad (3)$$

$$\left(T_{i\alpha_v}, \dots, T_{i\alpha_{\chi-1}}, T_{i\alpha_\chi}, T_{i\alpha_1}, \dots, T_{i\alpha_{v-(s+2)}}, T_{i\alpha_{v-(s+1)}} \right). \quad (3)$$

Означення 5. Узагальненим спектром із циклічним зсувом вліво на s букв щодо орієнтації α_v називатимемо слова вигляду

$$V_i(\alpha_v, S_+) = \left(T_{i_{\alpha_{v+s}}}, T_{i_{\alpha_{v+s+1}}}, \dots, T_{i_{\alpha_{s-1}}} \right),$$

$$\left(T_{i_{\alpha_s}}, T_{i_{\alpha_1}}, T_{i_{\alpha_2}}, \dots, T_{i_{\alpha_{v+(s-2)}}}, T_{i_{\alpha_{v+(s-1)}}} \right). \quad (4)$$

Із означень (2)–(4) випливає, що узагальнені спектри повністю описують лише випуклі зображення.

Нехай задані класи $K_1, K_2, K_3, \dots, K_\theta$ випуклих зображень Z_j , причому кожний із класів K_j ($1 \leq j \leq \theta$) характеризується еталонним зображенням Z_{0j} і складається із зображень, які отримують із Z_{0j} за допомогою перетворень подібності, паралельного до переносу і повороту.

Теорема 1. Для зображення $Z_i \in K_j$ виконується рівність

$$V_i(\alpha) = \Delta V_{0j}(\alpha_0), \quad (5)$$

де $\Delta > 0$; $V_{0j}(\alpha)$ – узагальнений спектр щодо орієнтації α_0 , яка характеризує еталонне зображення $Z_{0j} \in K_j$; $V_i(\alpha)$ – узагальнений спектр зображення Z_i щодо орієнтації α ; $0 \leq \alpha \leq 2\pi$ характеризує довільну орієнтацію, щодо якої розглядається зображення Z_i на рецепторному полі розмірністю $n \times n$.

Д о в е д е н н я . Нехай задане деяке випукле зображення – еталон Z_{0j} , яке характеризує клас K_j . Зображення Z із класу K_j одержують за допомогою наступних перетворень над еталонним зображенням Z_{0j} : 1) перетворення подібності з коефіцієнтом подібності r , причому, якщо $r > 1$, маємо перетворення розтягу, якщо $r < 1$ – перетворення стиску; 2) перетворення паралельного переносу; 3) перетворення повороту зображень.

Нехай також для орієнтації α_0 узагальнений спектр зображення–еталону буде

$$V_{0j}(\alpha) = \left(T_{0_{\alpha_{0j}}}, T_{0_{\alpha_{1j}}}, T_{0_{\alpha_{2j}}}, T_{0_{\alpha_{\chi j}}} \right), \quad (6)$$

де

$$\alpha_0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_\chi. \quad (7)$$

Покажемо, що для того, щоб $Z_i \in K_j$, необхідне виконання рівності (5).

Дійсно, якщо Z_i одержано із Z_{0j} за допомогою перетворення подібності з коефіцієнтом $r > 1$ або $r < 1$, то $\alpha = \alpha_0$, тому із (2) одержимо

$$V_i(\alpha) = \left(T_{i_{\alpha_0}}, T_{i_{\alpha_1}}, T_{i_{\alpha_2}}, \dots, T_{i_{\alpha_\chi}} \right), \quad (8)$$

де

$$T_{i_{\alpha_q}} = r T_{i_{\alpha_{qj}}}, \quad 0 \leq q \leq \chi. \quad (9)$$

Вираз (8) з урахуванням (9) можна переписати у такому вигляді:

$$V_i(\alpha_0) = r V_{0j}(\alpha_0). \quad (10)$$

Якщо ж Z_i одержано із еталону Z_{0j} за допомогою перетворення паралельного переносу, то

$$V_i(\alpha_0) = V_{0j}(\alpha_0). \quad (11)$$

І, якщо Z_i одержано із Z_{0j} за допомогою повороту на кут α_q , то за визначенням 4 маємо узагальнений спектр із циклічним зсувом вправо на q букв щодо орієнтації α_0 або, згідно з визначенням 4, маємо узагальнений спектр із циклічним зсувом вліво на $\chi - (q - 1)$ букв щодо орієнтації α_0 . Таким чином, із (6), використовуючи (3) або (4), одержимо:

$$\begin{aligned} V_i(\alpha_0) &= V_{0j}(\alpha_0, q_-) = V_{0j}(\alpha_0, \chi - (q - 1)_+) = \\ &= T_{0_{\alpha_{\chi-(q-1)j}}, T_{0_{\alpha_{\chi-(q-2)j}}, \dots, T_{0_{\alpha_{\chi j}}, T_{0_{\alpha_0 j}}, \dots; \\ T_{0_{\alpha_{\chi-(q+1)j}}, T_{0_{\alpha_{\chi-q,j}}} &= (T_{i_{\alpha_0}}, T_{i_{\alpha_1}}, T_{i_{\alpha_2}}, \dots, T_{i_{\alpha_\chi}}). \end{aligned} \quad (12)$$

Із (12) маємо

$$V_i(\alpha = \alpha_0) = (T_{0_{\alpha_0 j}}, T_{0_{\alpha_1 j}}, T_{0_{\alpha_2 j}}, \dots, T_{0_{\alpha_\chi j}}). \quad (13)$$

Із (6) і (13) одержимо

$$V_i(\alpha = \alpha_q) = V_{0j}(\alpha_0). \quad (14)$$

Отже, послідовно здійснюючи циклічні зсуви вліво (або вправо) узагальненого спектра (12) щодо орієнтації α_0 на одну, дві і т.д. букв і, порівнюючи одержаний узагальнений спектр з $V_{0j}(\alpha_0)$, ми дійдемо до рівності (14).

Із (10), (11) і (14) маємо, що $V_i(\alpha) = \Delta V_0(\alpha_0)$ для всіх зображень Z_i із класу K_j .

Наслідок. Для того, щоб розпізнати довільне випукле зображення Z_i , тобто визначити, до якого класу K_j належить Z_i , потрібно для всіх j перевірити виконання рівності (4). Отже, запропонований вище підхід, заснований на дослідженні внутрішньої структури зображення (визначенні узагальнених спектрів), дає можливість проводити розпізнавання довільних випуклих зображень на рецепторному полі з розмірністю $n \times n$ [6].

Введемо функції конкатенації f_s , які визначають деякі слова, коли надходить наступне значення a_{ij} в блок процесорів системи розпізнавання. Нехай задано n однорідних процесорів. При надходженні a_{11} визначають $f_1^{11}, f_2^{11}, \dots, f_n^{11}$, де f_r^{11} визначає $a_{ir}^{s_\alpha}$:

$$a_{ir}^{s_\alpha} = \sum_{q=1}^{n_\alpha} a_{m(l-1)+q}^\alpha, \quad r = \overline{1, n_j}, \quad n_\alpha = n.$$

Отже, на першому етапі паралельних обчислень маємо слова

$$V^{s_\alpha} = (a_{i1}^{s_\alpha} a_{i2}^{s_\alpha} a_{i3}^{s_\alpha} \dots a_{in}^{s_\alpha}).$$

Процес формування V^{s_α} можна описати за допомогою термального представлення $S^{n+1}(f_1, f_2^{11}, f_3^{11}, \dots, f_n^{11})$. Такий перегляд можуть здійснювати k процесорів одночасно, наприклад, для напрямів $0 \leq \alpha \leq \pi/2$, а потім перераховувати відповідні значення букв V^{s_α} для наступних напрямів α [7]. Цей процес можна описати за допомогою термальних представлень

$$\begin{aligned} &S^{n+1}(f_1, f_1^{11}, \dots, f_n^{11}), \\ &S^{n+1}(f_2, f_1^{21}, \dots, f_n^{21}), \\ &\dots \\ &S^{n+1}(f_k, f_1^{k1}, \dots, f_n^{k1}). \end{aligned}$$

Під час читання наступного значення елемента a_{12} враховуються значення V^{s_α} для всіх напрямків прогляду зображення об'єкта і т. д. Таким чином, при зчитуванні елемента a_{ij} процес визначення V^{s_α} для z -го напрямку можна описати за допомогою наступного термального представлення:

$$\begin{aligned} &R(\dots R(R(S^{n+1}(f_z, f_1^{z_1}, \dots, f_n^{z_1}), \\ &S^{n+1}(f_z, f_1^{z_2}, \dots, f_n^{z_2})), \\ &S^{n+1}(f_z, f_1^{z_3}, \dots, f_n^{z_3})), \dots, S^{n+1}(f_z, f_1^{z_{1(i-1)n+j}}, \dots, f_n^{z_{1(i-1)n+j}})). \end{aligned}$$

Дійсне значення V^{s_α} одержимо тільки після зчитування a_{nn} , тобто кінцево процес визначення V^{s_α} для z -го напрямку можна описати за допомогою наступного термального представлення:

$$\begin{aligned} &R(\dots R(R(S^{n+1}(f_z, f_1^{z_1}, \dots, f_n^{z_1}), S^{n+1}(f_z, f_1^{z_2}, \dots, f_n^{z_2})), \\ &S^{n+1}(f_z, f_1^{z_3}, \dots, f_n^{z_3})), \dots, S^{n+1}(f_z, f_1^{z_{n^2}}, \dots, f_n^{z_{n^2}})). \end{aligned}$$

На другому етапі паралельних обчислень, використовуючи $a_{ir}^{s_\alpha}$ для всіх напрямків прогляду, визначаємо $\tilde{f}_z : a_{z_\alpha}^{s_\alpha} = \max \alpha_{ir}^{s_\alpha}$. У підсумку отримаємо узагальнений спектр $V_{\tilde{z}} = (a_{z_\alpha}^{s_\alpha} a_{z_\alpha}^{s_\alpha} a_{z_\alpha}^{s_\alpha} \dots a_{z_\alpha}^{s_\alpha})$. Цей процес для z -го напрямку можна легко описати за допомогою термального представлення

$$\begin{aligned} &R(R(\dots R(R(S^{n+1}(f_z, f_1^{z_1}, \dots, f_n^{z_1}), S^{n+1}(f_z, f_1^{z_2}, \dots, f_n^{z_2})), \\ &S^{n+1}(f_z, f_1^{z_3}, \dots, f_n^{z_3})), \dots, S^{n+1}(f_z, f_1^{z_{n^2}}, \dots, f_n^{z_{n^2}}), \tilde{f}_z)). \end{aligned}$$

Отже, в загальному випадку процес обчислення узагальненого спектра є рекурсивним і практично закінчується на етапі зчитування значення останнього елемента a_{nn} поля уваги, а його термальне представлення має вигляд

$$\begin{aligned} &V_s = S^{k+1}(f, R(R(\dots, R(R(S^{n+1}(f_1, f_1^{11}, \dots, f_n^{11}), \\ &S^{n+1}(f_1, f_1^{12}, \dots, f_n^{12})), S^{n+1}(f_1, f_1^{13}, \dots, f_n^{13})), \dots, \\ &(S^{n+1}(f_1, f_1^{1n^2}, \dots, f_n^{1n^2}), \tilde{f}_1)), \dots, \\ &R(R(\dots R(R, S^{n+1}(f_k, f_1^{k_1}, \dots, f_n^{k_1}) S^{n+1}(f_k, f_1^{k_2}, \dots, f_n^{k_2})), \\ &S^{n+1}(f_k, f_1^{k_3}, \dots, f_n^{k_3})), \dots, (S^{n+1}(f_k, f_1^{k_{n^2}}, \dots, f_n^{k_{n^2}}), \tilde{f}_k))). \end{aligned}$$

Отримане представлення визначає мультимагістральну обробку інформації і процес визначення узагальнених спектрів можна організувати за допомогою розробленої і виготовленої мультипроцесорної системи "Альфа" в реальному часі [18].

На третьому етапі паралельних обчислень здійснюється реалізація функції порівняння еталонного узагальненого спектра з одержаним. Цей процес для конкретно заданих класів об'єктів можна суттєво спростити.

Високопродуктивна проблемно-орієнтована обчислювальна система паралельної дії для попередньої обробки та розпізнавання зображень. В даний час велика увага приділяється створенню систем обробки інформації в реальному масштабі часу. Проблема розробки і створення таких систем може бути успішно вирішена лише за використання нових архітектурних принципів і

глибокого розпаралелювання алгоритмів обробки інформації на різних рівнях їх ієрархічної структури. При цьому термальне представлення алгоритмів обробки і розпізнавання відповідає термальному опису функціонування обчислювальної системи. Цей підхід був вибраний за основу під час побудови мультипроцесорної системи “Альфа” і дозволив реалізувати концепцію глибокого розпаралелювання і рекурсивного визначення процесу обробки інформації на різних рівнях ієрархічної структури алгоритмів розпізнавання [14, 18, 19].

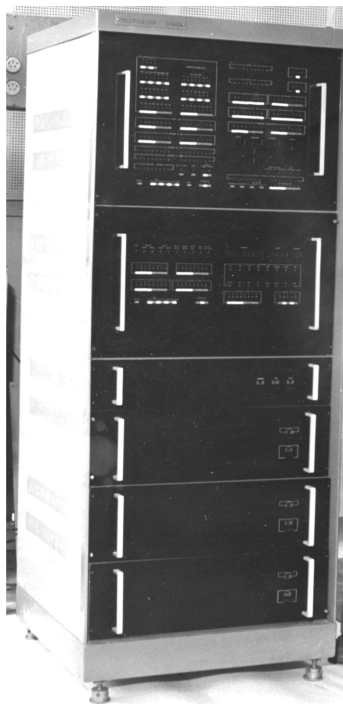


Рис. 3. Система “Альфа”.

Мультипроцесорна обчислювальна система “Альфа” призначена для попередньої обробки, фільтрації, виділення, розпізнавання та класифікації складних зображень у масштабі часу, близькому до реального.

Система “Альфа” (рис. 3) належить до обчислювальних систем з одиночним потоком команд і множинним потоком даних із послівною обробкою даних в центральних оброблювальних пристроях обчислювального модуля, із зв'язками через одну загальну шину з розділенням її в часі.

Система (рис. 4) складається з блоку аналого-цифрового перетворення (АЦП) сигналу [20], модуля попередньої обробки сигналу (МПОС), операційного модуля (ОМ), блока постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), блока оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП), паралельного обчислювального модуля, блока живлення. Блок АЦП призначений для перетворення аналогового телевізійного сигналу в цифрову форму. За допомогою МПОС формують координати x_i, y_i розпізнаваного телевізійного зображення, координати x_i, y_i контура зображення;

ОМ управляє всіма блоками і модулями системи, проводить з ними обмін інформацією, приймає рішення про розпізнавання або нерозпізнавання зображення. Призначення блока ПЗП - зберігання значень еталонних ознак розпізнаваних зображень і відповідних їм значень класів. Крім того, у ПЗП записані програми операційного модуля обробки, розпізнавання і класифікації зображень. Блок ОЗП використовують як швидкодіючий оперативний запам'ятовуючий пристрій для зберігання проміжних результатів обчислень і даних. Паралельний обчислювальний модуль складається із 32 спеціалізованих процесорів. Кожен з них працює автономно за своєю програмою. Модуль призначений для паралельної послівної обробки множинного потоку даних, які надходять, від керуючої мікро-ЕОМ, операційного модуля. Блок живлення формує стабілізовану напругу для відповідних блоків і модулів системи.

Розглянемо роботу мультипроцесорної обчислювальної системи “Альфа” у процесі розпізнавання зображень. Команда “Скидання” встановлює всі блоки і модулі системи в початковий стан. В ОМ і в блоці паралельного обчислювального модуля за допомогою програм початкової установки виробляється скидання в “нуль” внутрішніх реєстрів, у програмний лічильник записується певна адреса, з якої мікропроцесор операційного модуля починає вибірку мікрокоманд програм.

Сигнали “Пуск”, “Початок кадру” і “Початок рядка” з телевізійної камери ініціалізують блок АЦП, аналоговий сигнал телевізійного кадру надходить у блок АЦП, де квантується, перетворюється у цифровий код і надходить в модуль попередньої обробки сигналу зображення.

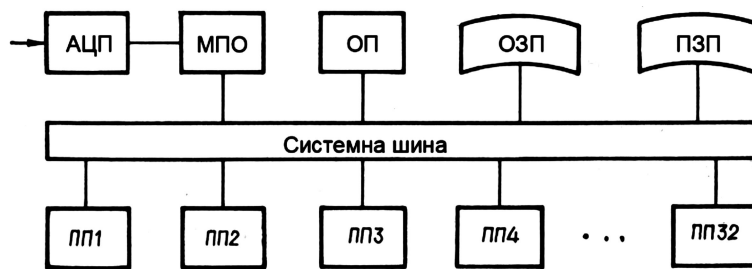


Рис. 4. Блок-схема системи “Альфа”.

Модуль попередньої обробки сигналу зображення формує координати x_i, y_i кожного елемента зображення, значення величини площі S зображення і передає їх на системну шину, а потім за командами ОП ця інформація надходить одночасно на вхідних буферні регістри периферійних спеціалізованих процесорів паралельного обчислювального модуля.

У порядку надходження інформації про кожний піксел зображення всі 32 спеціалізовані процесори одночасно обчислюють і формують для свого кута прогляду α_i два значення проекції зображення на осі X і Y , тобто формують значення елементів узагальненого спектра V_s . Після закінчення сканування кадру зображення у вихідних буферних регістрах процесорів будуть записані відповідні значення елементів узагальненого спектра розпізнаваного зображення.

Черговість обслуговування периферійних спеціалізованих процесорів керуючою мікро-ЕОМ операційного модуля встановлюється схемою пріоритету або методом послідовних опитувань. Значення елементів узагальненого спектра по черзі надходять на вхідні шини мікро-ЕОМ операційного модуля.

В ОП формуються значення екстремумів узагальненого спектру, виділяється глобальне значення екстремуму цього спектру, нормалізуються всі останні екстремуми по глобальному значенню. Сформована періодична послідовність нормалізованих значень екстремумів узагальненого спектру порівнюється з еталонними значеннями [11, 12]. Ці процедури в ОП можуть виконуватися одночасно з формуванням елементів спектру наступного кадру розпізнаваного зображення.

Результати розпізнавання виводяться на вихідні шини системи і на цифрові дисплеї панелі управління. Створена паралельна обчислювальна система “Альфа” давала можливість проводити попередню обробку зображення, фільтрацію завад, виділення окремих зображень, їх розпізнавання у масштабі часу, близькому до реального.

Запропоновані В. М. Михайловським ідеї відбору і розпаралелювання обробки інформації в масштабі часу, близькому до реального, дали поштовх до нових досліджень у напрямках прийому, обробки та передачі телеметричної інформації, виготовлення складних наземних і бортових пристроїв для космічних систем “Енергія–Буран” та космічної станції “МИР”.

Спецпроцесори “Лотос” передстартового моніторингу функціонування орбітальної космічної системи “Енергія–Буран”. Орбітальний корабель (ОК) “Буран” був винятково складним об’єктом контролю, оскільки він складався з близько 50 бортових систем, більша частина яких у процесі передстартової підготовки, моніторингу і на окремих ділянках польоту функціонували одночасно [21]. В склад бортових систем ОК входили близько 600 встановлених одиниць бортової апаратури, до яких входили понад 1000 приладів, 1500 трубопроводів і 2500 складок (джгутів) бортової кабельної мережі і понад 14000 електричних з’єднань (штепсельних роз’ємів).

Характерною особливістю ОК як об'єкта контролю є наявність у складі системи управління (СУ) багатомашинного бортового цифрового обчислювального комплексу (БЦОК) з унікальним за об'ємом і складністю програмно-математичним забезпеченням.

У процесі підготовки до першого польоту ОК контролю підлягали близько 5000 телеметричних параметрів бортових систем.

Система управління ОК "Буран" забезпечує функціонування і тісні зв'язки з іншими системами ОК, планером, об'єднаним пристроєм двигунів, агрегатами і елементами, які містять в своєму складі електроприводи, піротехнічні пристрої, елементи пневмо- і гідравтоматики, які потребували дистанційного управління і контролю.

Система управління ОК вирішує три головні завдання: управління рухом ОК з реалізацією програмних змін траєкторії його руху; управління бортовими системами ОК; контроль і діагностика функціонування всього комплексу бортових систем.

Система управління містить:

- програмно-логічні пристрої, основною ланкою яких є бортовий цифровий обчислювальний комплекс (БЦОК);
- давачі (гіроскопічні, оптико-електронні, радіотехнічні, вимірювання висотно-швидкісних параметрів та інші);
- блоки електросилового живлення і узгодження з виконуючими органами та багаточисельними бортовими системами і агрегатами.

В склад системи управління входять також ряд спеціалізованих комплексів і підсистем. Система управління ОК "Буран" взаємодіє з радіотехнічними системами, які призначені для забезпечення зв'язку екіпажу і бортових систем з наземним комплексом управління (НКУ). В склад радіотехнічних систем входять бортовий радіотехнічний комплекс, телевізійний комплекс і система бортових вимірювань.

Система бортових вимірювань (СБВ) служить для телеметричного контролю функціонування ОК, а її дані використовуються в системі контролю і діагностики для управління бортовими системами в автоматичному режимі і для видачі інформації екіпажу на пульти. СБВ має зв'язки з усіма складовими ОК і містить давачі і перетворюючі пристрої, систему збору та перетворення інформації, запам'ятовуючі пристрої, власні передавачі і блоки зв'язку для передачі інформації через бортовий радіотехнічний комплекс (БРТК). Кількість вимірювальних параметрів СБВ сягає близько 10000, що відображає значну складність ОК і самої СБВ [21].

В систему бортових вимірювань, окрім інших систем, входять два комплекти бортової інформаційно-телеметричної системи (БІТС) [21, 22]. Бортова інформаційно-телеметрична система містить:

- апаратуру, яка дає змогу перетворювати значення сигналів, одержаних з давачів, при цьому деякі давачі є складовою частиною систем ОК і вмонтовані у блоки, агрегати і магістралі, які з'єднують елементи системи, а деякі з них розробляються як автономні незалежні вимірювачі (наприклад, для контролю основних параметрів і кліматичних умов середовища у відсіках, для контролю перевантажень, функціонування і стан перевантажень та інше);
- систему збору інформації, блоки якої розміщуються у всіх відсіках ОК в місцях розміщення апаратури комплексу бортових систем, при цьому для підвищення надійності деякі давачі контролюються системами збору інформації обох комплектів БІТС;
- плівковий і рятівний ("чорний ящик") запам'ятовуючі пристрої;
- радіопередавальний тракт з антенно-фідерними пристроями і передавачами;

– засоби управління, контролю і діагностики.

Апаратура БІТС виконана за схемою повного резервування, один із комплектів якої встановлений в кабіні ОК “Буран”, а інший – у блоці додаткових пристроїв, який розміщений у відсіку корисного вантажу [21].

Для допільотних випробувань, передстартового моніторингу стану та старту системи “Енергія–Буран” 21 відділом ФМІ НАН України (розробник та відповідальний виконавець автор) сумісно з НПО “Енергія” (на даний час РКК “Енергія”, м. Корольов, Московської обл.) була розроблена, виготовлена і впроваджена мала серія (24 комплекти) спецпроцесорів “Лотос-01”, “Лотос-02”. Спецпроцесори призначені для зв’язку міні-ЕОМ, що знаходилися в командному пункті керування (КПК) стартом системи “Енергія–Буран”, з БІТС ОК “Буран” (рис. 5) [23]. Довжина ліній зв’язку становила до 500 м.

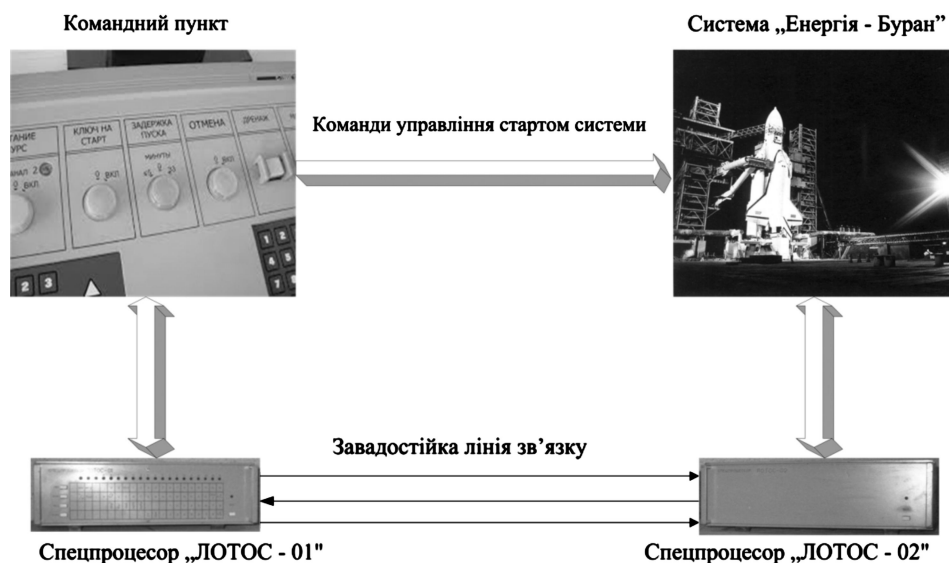


Рис. 5. Передстартовий моніторинг системи “Енергія–Буран”.

Застосування спецпроцесорів прийому, обробки та передачі телеметричної інформації розв’язує задачу безпосереднього узгодження міні-ЕОМ, що знаходилися в КПК, з двома БІТС ОК “Буран”, самовідновлення керуючих схем спецпроцесорів за наявності пошкоджених телеметричних слів.

У загальному випадку система “Лотос-01” – “Лотос-02” забезпечує:

- приймання від міні-ЕОМ командного пункту керування адресного слова і видачу його в бортову інформаційно-телеметричну систему ОК “Буран”;
- приймання від цієї системи коду параметра і видачу його в міні-ЕОМ;– контроль правильності прийому-передачі між “Лотос-01” і “Лотос-02” і видачу інформації про помилки в міні-ЕОМ;
- можливість тестової перевірки тракту міні-ЕОМ – “Лотос-01” – “Лотос-02”;
- можливість перевірки працездатності тракту з допомогою додатково виготовленого імітатора сигналів бортової інформаційно-телеметричної системи орбітального корабля “Буран”.

Розроблені в короткий термін у 21 відділі ФМІ НАН України спецпроцесори “Лотос” дали можливість успішно проводити передстартовий моніторинг функціонування і старт орбітальної космічної системи “Енергія-Буран”.

Бортовий спеціалізований процесор для обробки в реальному часі телеметричних потоків на космічній станції “Мир”. Безпечне функціонування орбітальних станцій (ОС), орбітальних кораблів (ОК) та інших космічних об’єк-

тів нерозривно пов'язане з надійною і швидкою роботою бортового комплексу управління (БКУ), наземного комплексу управління (НКУ) і радіотелеметричного каналу зв'язку, наприклад, "Земля – супутник зв'язку – борт ОС – супутник зв'язку – Земля" [24]. Наявність великої кількості датчиків на борту орбітальних станцій, наприклад, на ОС типу "Мир" або "МКС" їх кількість становить 10000 і більше [25], зумовлює створення і застосування відповідних систем відбору, комутації, обробки сигналів з датчиків в БКУ і передачі через радіотелеметричну систему (РТС) в наземні комплекси управління, обробки і прийняття рішення та в Центр управління польотом (ЦУП) орбітальної станції.

У період функціонування ОС "Салют" і в перші роки функціонування ОС "Мир" екіпажу станції був доступний незначний відсоток від всієї наявної телеметричної інформації (ТМІ), яка передавалася в НКУ, що не давало змоги керувати ОС в реальному часі [26]. Обробка телеметричного потоку в ЦУП відбувалася таким чином: запис всього прийнятого об'єму телеметрії на магнітні носії, термочувливий діаграмний папір, графічні пристрої; проведення попередньої обробки ТМІ (виділення із телеметричного потоку N – розрядних двійкових слів, розпізнавання кодового слова початку кадру, синхронізація і формування телеметричних кадрів); виділення із прийнятого потоку достовірних даних; виділення суттєвої інформації і її тарування; аналіз значень окремих параметрів ОС спеціалістами ЦУП з допомогою ЕОМ; порівняння одержаних значень з розрахунковими; передача каналами РТС на борт ОС команд керування і повідомлень для екіпажу [27].

Розробка і виготовлення бортового спеціалізованого процесора (БСП) "ЗБАРАЖ-02" [26,28] (розробник автор) відбору і обробки повного телеметричного потоку з бортової РТС орбітальної станції "МИР" дозволили проводити попередню і початкову обробку потоку ТМІ сумісно з бортовими цифровими обчислювальними машинами (БЦОМ) "Стрела" (розробка РКК "Енергія", м. Корольов Московської області) орбітальної станції в режимі реального часу [26,28].

Створений БСП "Збараж-02" (рис. 6) виконує в реальному часі більшість операцій, притаманних наземному інформаційно-обчислювальному комплексу (двомашинна система ЕОМ АС-6 – ВЕОМ-6): відбір телеметричного потоку; виділення із телеметричного потоку N –розрядних двійкових слів; розпізнавання кодового слова початку кадру; синхронізація і формування достовірних телеметричних кадрів; автоматичне розпізнавання режиму РТС; автоматичне налаштування БСП на обробку потоку ТМІ відповідно до розпізнаного режиму роботи



Рис. 6. Бортовий спеціалізований процесор "Збараж-02" для ОС типу "Мир" та "МКС".

РТС; декомутація телеметричних параметрів другого і третього ступеня комутації; запис телеметричних параметрів в буферну пам'ять процесора; зв'язок з бортовими БЦОМ і видача параметрів у режимі прямого доступу до пам'яті; можливість переналаштування внутрішнього програмного забезпечення БСП командами з Землі на обробку телеметричних параметрів другого і третього ступеня комутації для різних режимів РТС [24, 28].

Наземні налаштування та перевірка роботи БСП "Збараж-02" проводилися також за допомогою додатково створеного імітатора "Котролер КПА УПИ" для генерації потоку телеметричних кадрів різної структури та складності з РТС ОС "Мир" та імітатора командних потоків БЦОМ "Стрела" (рис. 7).

БСП “Збараж-02” функціонував на борту ОС “Мир” в складі БЦОМ “Стрела” з 1988 р. до моменту затоплення ОС 23.03.2001 р.

Створений БСП може функціонувати як на борту ОС, так і в складі наземного комплексу управління ЦУП.

Основні технічні характеристики БСП: швидкість вводу вхідного потоку ТМІ складає 256...512 кбод; напруга живлення 27 ± 9 В; струм споживання 0,45 А; маса 6,5 кг.



Рис. 7. “Контролер КПА УПИ” – імітатор телеметричних сигналів станції “Мир” та керуючих сигналів БЦОМ “Стрела”.

За розроблені, виготовлені в короткий термін та впроваджені спецпроцесори “Лотос-01”, “Лотос-02”, імітатор “Контролер КПА УПИ”, бортовий спецпроцесор “Збараж-02” Федерація космонавтики СРСР та Росії нагородила автора розробок (Г. Т. Черчик) медалями та дипломом: Вищою нагородою – медаллю ім. К. Е. Ціолковського, медаллю ім. першого в світі льотчика-космонавта Ю. О. Гагаріна, медаллю ім. академіка С. П. Корольова, медаллю ім. академіка В. П. Глушко, дипломом ім. першого в світі льотчика-космонавта Ю. О. Гагаріна. Нагороджені дипломами також інші учасники, техніки, допоміжні працівники.

ВИСНОВКИ

Під керівництвом член.-кор. В. М. Михайловського у відділі 21 відбору, обробки та передачі інформації сектору фізикометрії ФМІ НАН України у 1975–1991 рр. були запропоновані нові способи обробки та розпізнавання складних зображень, виготовлена високопродуктивна проблемно-орієнтована обчислювальна система паралельної дії для попередньої обробки та розпізнавання зображень “Альфа”.

Розроблені методи, способи та пристрої дії побудовані на спеціалізованих процесорах, приведені їхні характеристики. Пристрої “Лотос-01” та “Лотос-02” застосовували для наземного передпольотного моніторингу та налагодження бортових блоків орбітального корабля “Буран” у складі системи “Енергія–Буран”, бортовий спеціалізований процесор “Збараж-02” функціонував на борту орбітальної станції “Мир” сумісно з бортовою цифровою обчислювальною машиною “Стрела”.

1. *Розвиток науки в західних областях Української РСР за роки Радянської влади. 1939–1989* / В. В. Панасюк, Я. С. Підстригач, Ф. І. Стеблій та ін.; Редкол.: Я. С. Підстригач (відп. ред.) та ін. АН УРСР. Інститут суспільних наук. – К.: Наук. думка, 1990. – 304 с.
2. *Грицьк В. В., Михайловский В. Н.* Оценка качества передачи информации. – К.: Наук. думка, 1973. – 180 с.
3. *Грицьк В. В., Златогурский Э. Ф., Михайловский В. Н.* Распараллеливание алгоритмов обработки информации. – К.: Наук. думка, 1977. – 124 с.
4. *Свенсон А. Н.* Новый раздел технической кибернетики (Обзор работ ФМИ АН УССР в области поиска и распознавания простых образов) // Проблемы физикометрии. – К.: Наук. думка, 1978. – С. 11–24.
5. *Выделение линейных элементов при аналоговой и цифровой обработке изображений* / В. П. Маринец, А. А. Лукенюк, В. В. Грицьк, Э. Р. Златогурский, В. Н. Михайловский. – Львов, 1978. – 48 с. (Препр. АН УССР. Физ.-мех. ин-т АН УССР; № 14).
6. *Черчик Г. Т.* Распознавание изображений в реальном масштабе времени // Методы распараллеливания обработки информации: Тез. докл. и сообщ. научн.-техн. сем. – Львов, 1977. – С. 50–52. (Препр. АН УССР. Физ.-мех. ин-т; № 3).

7. Черчык Г. Т. Один подход к преобразованию распознаваемых изображений // Распараллеливание алгоритмов обработки и распознавания образов: Тез. докл. – Львов, 1979. (Препр. № 16. Физ.-мех. ин-т АН УССР).
8. Черчык Г. Т. Обработка и распознавание одного класса изображений. – Деп. в ВИНТИ, 22.03.79, № 993-79.
9. Грицык В. В., Златогурский Э. Р., Черчык Г. Т. Распознавание одного класса образов в условиях помех // Отбор и передача информации. – 1978. – Вып. 55. – С. 3–7.
10. Черчык Г. Т., Осейчук В. С. Решение одной задачи фильтрации сигналов при наличии помех // Распараллеливание обработки информации: Тез. докл. и сообщ. – Львов. – 1983. – Ч. II.
11. Грицык В. В., Михайловский В. Н., Черчык Г. Т. О распознавании выпуклых изображений произвольной сложности параллельными методами обработки // Методы распараллеливания обработки информации. Тез. докл. – Львов, 1977. (Препр. № 3. Физ.-мех. ин-т АН УССР).
12. Грицык В. В., Черчык Г. Т. О распознавании выпуклых изображений // Отбор и передача информации. – 1979. – Вып. 57. – С. 15–25.
13. Грицык В. В., Михайловский В. Н., Черчык Г. Т. Обработка и распознавание плоских проекций объемного объекта в системе зрительного восприятия робота // Распараллеливание алгоритмов обработки и распознавания образов: Тез. докл. – Львов, 1979. (Препр. № 16. Физ.-мех. ин-т АН УССР).
14. Черчык Г. Т., Луцык А. Ю., Деркач Б. Т. Обработка сложных изображений в условиях реального масштаба времени // Распараллеливание алгоритмов при поиске и распознавании образов в реальном времени: Тез. докл. – Львов, 1981. (Препр. № 2. Физ.-мех. ин-т АН УССР).
15. А. с. 746610 (СССР). Способ распознавания изображений / В. В. Грицык, Г. Т. Черчык, В. Н. Михайловский. – Оpubл. в Б. И., 1980, № 25.
16. А. с. 935985 (СССР). Способ распознавания изображений / В. В. Грицык, Г. Т. Черчык, А. Ю. Луцык. – Оpubл. в Б. И., 1982, № 22.
17. Грицык В. В., Деркач Б. Т., Черчык Г. Т. и др. Параллельная обработка информации. Параллельные методы и средства распознавания образов / Под ред. А. Н. Свенсона. – К.: Наук. думка, 1985. – Т. 2. – С. 280.
18. Черчык Г. Т. Архитектура проблемно-ориентированной мультимикропроцессорной параллельной вычислительной системы распознавания изображений “Альфа” // Распараллеливание обработки информации. Тез. докл. и сообщ. – Львов, 1983. – Ч. III.
19. А. с. 805365 (СССР). Устройство для распознавания изображений / В. В. Грицык, В. М. Киселев, Г. Т. Черчык, В. Н. Михайловский. – Оpubл. в Б. И., 1981, № 6.
20. Кравец И. И., Ралько Р. М., Черчык Г. Т. Быстродействующий параллельный АЦП цифровой системы обработки видеинформации // Распараллеливание обработки информации. Тез. докл. и сообщ. – Львов, 1985 – Ч. III.
21. Многоорбитальный орбитальный корабль “Буран” / Ю. П. Семенов, Г. Е. Лозино-Лозинский, В. Л. Лапыгин, В. Г. Кравец и др.; Под ред. Ю. П. Семенова и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 448 с.
22. Кравец В. Г., Автоматизированные системы управления космическими полетами. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.
23. А. с. 1481828 (СССР). Устройство для передачи и приема телеметрической информации / В. В. Грицык, Г. Т. Черчык, Р. М. Паленичка и др. – Оpubл. в Б. И., 1989, № 19.
24. Черчык Г. Т., Яворський І. М. Бортовий спеціалізований процесор для обробки в реальному часі телеметричних потоків // Тези IV Міжнар. наук.-техн. конф. “Датчики, прилади та системи – 2008”. – Черкаси–Гурзуф, вересень 2008.
25. Черчык Г. Т., Яворський І. М. Багатоканальна система збору і обробки сигналів вібрації для бортових апаратів // Тези IV Міжнар. наук.-техн. конф. “Датчики, прилади та системи – 2008”. – Черкаси–Гурзуф, вересень 2008.
26. Cherchyk G. T. Information conversion and processing in on-board telemetering real-time systems // ITAPR'90, The First Int. Conf. on Information technologies for image analysis and pattern recognition. – Lviv, USSR, October 22–28, 1990. – Vol. II. – P. 238–241.
27. Малачівський П. С., Монцібович Б. Р., Черчык Г. Т. Математичне дослідження алгоритму синхронізації початку кадру телеметричної інформації // Друга українська конф. з автоматичного керування (Автоматика – 95). – Львів.
28. Черчык Г. Т. Бортовой спецпроцессор предварительной обработки быстро поступающей телеметрической информации // Распараллеливание обработки информации: Тез. докл. и сообщ. V Всесоюзн. школы-семинара. – Львов, 1985. – Ч. II. – С. 19–20.