

Б.І. Мороз, А.С. Круглик, Д.М. Мороз, А.А. Мартиненко

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ І ЗАГАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОБРОБКИ ПОВІДОМЛЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ЦІННОСТІ І СТАРІННЯ В СИСТЕМАХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. Згідно з дослідженнями, провідні країни світу вже мають дорожню карту інтегрування безпілотних (літальних) систем у середньостроковій і довгостроковій перспективах у військовій сфері. Попит на системи масового обслуговування (СМО) безпілотних (літальних) апаратів зростає. У роботі розглянуто математичну модель СМО, в якій повідомлення характеризуються не лише граничним часом їх виконання, а й іншою важливою характеристикою – цінністю кожного окремого повідомлення в межах визначеного часу для даного типу черги. Запропоновано загальний алгоритм вирішення задачі. Розглянуто існуюче технічне рішення для раціонального розбивання алгоритму на модулі, для забезпечення гнучкості та адаптованості системи до впровадження інноваційних технічних рішень.

Ключові слова: математична модель, літальні апарати, алгоритм, об'єктно-орієнтоване програмування, наслідування, поліморфізм.

Постановка проблеми. З кожним роком і навіть місяцем стає видно, якими швидкими темпами відбувається розвиток безпілотних літальних апаратів і коло їхнього застосування. Мабуть очевидно, що в умовах повномасштабного збройного вторгнення російської федерації на територію України, літальні апарати, особливо безпілотні, відіграють надзвичайно важливу роль. Цілком зрозуміло, що при веденні бойових дій, особливо у довгостроковій перспективі, матиме перевагу сторона, що зможе мінімізувати втрати особового складу. Як дуже вагомий фактор мінімізації втрат особового складу потрібно максимально впроваджувати технологізацію процесів та методів у ЗС України. Вже сьогодні ми можемо бачити, як починають використовувати і безпілотні літальні апарати, і безпілотні системи розмінування, наземні роботизовані комплекси і т. ін. Автори статті вважають, що це лише перші етапи розвитку безпілотних систем в межах трансформації ЗС. На сьогодні чимало науковців у світі залучено до розвитку військової галузі. Наприклад відомо, що вже сьогодні існує військова форма [4], що автоматично визначає фізичний стан військовослужбовця, де командир в автоматичному режимі може оцінити фізичний і, мабуть, психологічний стани підлеглих. Іншим вагомим прикладом автори вважають презентацію китайським технологічним гігантом безпілотного літаючого таксі, яке дозволяє перевозити до 2-х пасажирів на достатню відстань [5]. Аналог такої системи цілком міг би бути адаптованим, наприклад, до транспортування поранених з важко прохідних місць чи оперативної доставки боєкомплекту у місця ве-

дення активних бойових дій. Тобто автори припускають, що вже сьогодні розвиток збройних сил буде направлений на автоматизацію якомога більшої кількості процесів.

На сьогоднішній день використання безпілотних апаратів є хаотичним, без чіткої координації між підрозділами і бригадами. А також присутня лише мінімальна автоматизація. З появою більшої кількості безпілотних апаратів та їх різновидів за призначенням та тактико-технічними характеристиками (ТТХ), потреба в централізації обробки вхідної інформації від таких апаратів буде стрімко зростати. Розвиток цієї галузі автори вважають дуже стрімким і перспективним. Вже в сьогоднішніх реаліях за допомогою невеликих коптерів оператори стежать за ситуацією на полі бою в реальному часі. Такий коптер, при наявності успішних рішень стосовно його часу безперервного польоту, міг би виконувати завдання спостереження самостійно і реагувати на ситуації в залежності від заданих алгоритмів. Наприклад інформувати центральний пункт про зміни в поточній обстановці. Було б цілком вдалим рішення, наприклад, якщо б достатній за ТТХ літальний апарат міг самостійно доставляти боєкомплект в зону активних бойових дій.

Підводячи підсумок сказаного вище стає зрозуміло, з підвищенням рівня автоматизації і централізації процесів обробки інформації і прийняття рішень, виникає потреба у централізованій системі обробки вхідних вимог (заявок). Як видно з наведених прикладів, мова йде про динамічне середовище, де повідомлення характеризуються не тільки часом їх старіння, але й дуже важливою характеристикою – цінністю. Тому потрібно описати та розробити таку СМО, яка б задовольнила вказаним вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням створення та застосування наземних роботизованих комплексів було озвучене в [6,7]. Згідно з дослідженнями авторів провідні країни світу, такі як США, Велика Британія, Японія і т. д. активно займаються розробкою автоматизованих та автоматичних систем на основі штучного інтелекту (ШІ) у військовій сфері і навіть вже мають дорожню карту інтегрування безпілотних систем у середньостроковій і довгостроковій перспективах. Окремо б хотілось згадати роботу [8], де автори провели дослідження масового обслуговування з пріоритетами на залізничному транспорті в умовах ведення бойових дій. Але обрана модель пріоритетів може не задовольнити вимог динамічного середовища театру воєнних дій.

Подібну задачу, де обслуговування вхідних інформаційних потоків залежить від інтенсивності таких повідомлень ($\lambda_{i\Delta t}$), автори розглядали в статті [1], де вхідні вимоги характеризувались критеріями старіння. В цій статті, як і в попередній, для організації обробки повідомлень використовується керована дисципліна [2,15]. Але в цьому дослідженні дисципліна буде враховувати не тільки старіння інформації, а і її цінність.

Мета дослідження. Опис загального алгоритму вирішення задачі організації обробки повідомлень з урахуванням їх цінності і старіння. Огляд існуючого технічного рішення для оптимального (раціонального) розподілення алгоритму на модулі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Концептуальна модель СМО безпілотних (літальних) апаратів в умовах ведення бойових дій повинна забезпечувати максимальну гнучкість і адаптованість в умовах постійної зміни динамічного середовища. Окрім цього, така

СМО повинна забезпечити гнучкість налаштування і розширення завдяки постійному вдосконаленню існуючих рішень, та появи нових.

Як видно з Рис. 1, по вже існуючим технічним рішенням безпілотні літальні апарати можливо використовувати як системи спостереження і ситуативної обізнаності, де потоки повідомлень в різні моменти часу будуть мати різну інтенсивність а також можуть мати різну цінність в кожний окремих проміжок часу.

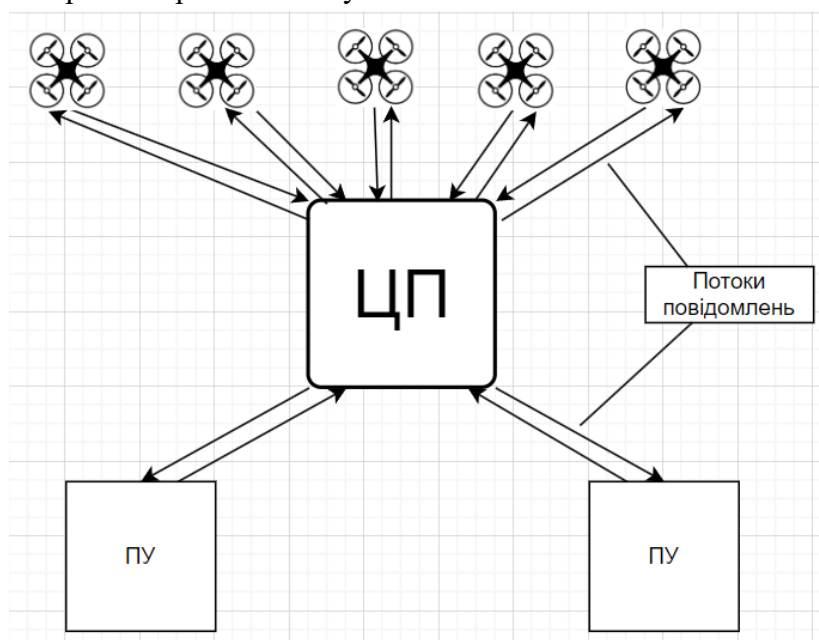


Рисунок 1 - Концептуальна модель організації обробки інформаційних потоків з використанням безпілотних(літальних) апаратів. ЦП – центральний пункт, ПУ – пункт управління (інформування, координування і т. д.)

На основі результатів, отриманих в [2,15], нижче сформульовано критерії оптимальної (раціональної) організації обробки потоків повідомлень, що функціонують в системі літальних апаратів множини $X=\{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ з відповідними органами управління і прийняття рішень.

Згідно з концептуальною моделлю (див. рис. 1) множиною літальних апаратів $X=\{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ генеруються повідомлення, які вимагають відповідної обробки. За аналогією в [2,15] сформулюємо вимоги до виконання операцій обробки повідомлень:

$$\begin{cases} (S_i^{\text{доп}} - S_i(t)) \rightarrow \max; \\ S_i(t) \leq S_i^{\text{доп}}; \\ |\Psi_i(t) - \Psi_i^{\text{max}}| \rightarrow \min; \\ \Psi_i(t) \leq \Psi_i^{\text{доп}}; \end{cases} \quad (1)$$

де, $S_i(t)$ – старіння повідомлення i -го типу на момент часу закінчення обробки t ;

$S_i^{\text{доп}}$ – допустиме старіння повідомлення i -го типу;

$\Psi_i(t)$ – цінність повідомлення i -го типу на момент часу закінчення обробки t ;

Ψ_i^{max} – максимальне значення цінності інформації i -го типу;

$\Psi_i^{\text{доп}}(t)$ – допустиме значення втрати цінності повідомлення i -го типу.

Використовуючи для організації обробки повідомлень керовану дисципліну Д1, що запропонована в [2,15] функції $W_i(t)$ [2,15], на відрізьку часу Δt_n^j визначаються вектором управління.

$$T_{k, \Delta t_n^{(j)}} = \left\{ t_{k1, \Delta t_n^{(j)}} \dots, t_{ki, \Delta t_n^{(j)}} \dots, t_{kh, \Delta t_n^{(j)}} \right\}. \quad (2)$$

Ефективність обробки будь якого повідомлення максимальна тоді, коли момент закінчення обробки співпадає з часом його максимальної цінності $t_k^i(t)$ де t – момент надходження повідомлення. В якості міри ефективності обробки j -тим елементом системи повідомлення i -й черги, що поступило в момент часу t , можна використовувати різницю між моментом часу $t_k^i(t)$ і моментом закінчення обробки $\tau_{\text{зак.обр.}i}(t)$:

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]}(t) = |t_k^i(t) - \tau_{\text{зак.обр.}i}(t)|, \quad (3)$$

$$\tau_{\text{зак.обр.}i}(t) = W_i(t) + b_i + t. \quad (4)$$

Тоді ефективність обробки повідомлень всієї i -ї черги визначиться наступним чином:

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)} + \Delta t_n^{(j)}} |t_k^i(t) - \tau_{\text{зак.обр.}i}(t)|. \quad (5)$$

Ефективність обробки повідомлень j -тим елементом:

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{i=1}^h \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)} + \Delta t_n^{(j)}} |t_k^i(t) - \tau_{\text{зак.обр.}i}(t)|. \quad (6)$$

Критерій виду (3, 4) зручно застосовувати в тому випадку, якщо функція зміни цінності в часі $\Pi(t)$ всіх повідомлень, що обробляються, не визначені, а відомі лише значення $t_k^i(t)$.

Якщо $\Pi(t)$ для усіх повідомлень, що обробляються, визначені, то доцільно використовувати критерій виду:

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)} + \Delta t_n^{(j)}} \Pi_{i,(t)}(\tau_{\text{зак.обр.}i}(t)), \quad (7)$$

де $\Pi_{i,(t)}(\tau_{\text{зак.обр.}i}(t))$ цінність повідомлення i -ї черги, що поступило в момент часу t на момент закінчення його обробки.

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{i=1}^h \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)} + \Delta t_n^{(j)}} \Pi_{i,(t)}(\tau_{\text{зак.обр.}i}(t)). \quad (8)$$

Критерій наступного виду застосовується у випадку, якщо функції цінності повідомлень визначені у різних шкалах:

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)}+\Delta t_n^{(j)}} \omega_b^i \frac{|\Pi_{i,(t)}^{\text{max}} - \Pi_{i,(t)}(\tau_{\text{зак.обр.}i}(t))|}{\Pi_{i,(t)}^{\text{max}}}, \quad (9)$$

$\Pi_{i,(t)}^{\text{max}}$ – максимальне значення цінності повідомлень i -ї черги, що поступило в момент часу t ;

ω_b^i – ваговий коефіцієнт.

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{i=1}^h \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)}+\Delta t_n^{(j)}} \omega_b^i \frac{|\Pi_{i,(t)}^{\text{max}} - \Pi_{i,(t)}(\tau_{\text{зак.обр.}i}(t))|}{\Pi_{i,(t)}^{\text{max}}}. \quad (10)$$

Критерії, що враховують старіння інформації.

Критерій виду:

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]}(t) = \tau_{\text{зак.обр.}i} - t_{i,(r)}(t), \quad (11)$$

$t_{i,(r)}$ – момент часу генерації повідомлень i -ї черги, що поступило в момент часу t ;

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)}+\Delta t_n^{(j)}} \tau_{\text{зак.обр.}i} - t_{i,(r)}(t); \quad (12)$$

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)}+\Delta t_n^{(j)}} (\tau_{\text{зак.обр.}i}(t) - t_{i,(r)}(t)); \quad (13)$$

Критерій виду:

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{i=1}^h \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)}+\Delta t_n^{(j)}} \omega_b^i \frac{S_{i,(t_r)}^{\text{max}} - S_{i,(t_r)}^{\text{max}}(\tau_{\text{зак.обр.}i}(t))}{S_{i,(t_r)}^{\text{max}}}, \quad (14)$$

де $S_{i,(t_r)}^{\text{max}}$ – максимально допустиме старіння повідомлення i -ї черги з моментом генерації t_r ;

$S_{i,(t_r)}^{\text{max}}(\tau_{\text{зак.обр.}i}(t))$ – старіння повідомлення i -ї черги з моментом генерації t_r , що надійшло в обчислювальну систему в момент часу t і часом закінчення обробки $\tau_{\text{зак.обр.}i}(t)$;

$$\phi_{\text{обр.}i}^{[j]} = \sum_{i=1}^h \sum_{t=t_n^{(j)}}^{t=t_n^{(j)}+\Delta t_n^{(j)}} \omega_b^i \frac{S_{i,(t_r)}^{\text{max}} - S_{i,(t_r)}^{\text{max}}(\tau_{\text{зак.обр.}i}(t))}{S_{i,(t_r)}^{\text{max}}}. \quad (15)$$

Таким чином, задача оптимальної (раціональної) організації обробки повідомлень в системі літальних апаратів і їх центрів прийняття рішень, може вирішуватися згідно сформу-

льованих вище вимог до обробки із використанням сформульованих критеріїв ефективності (3,15).

Підкреслимо, що сама ж задача організації обробки повідомлень за критеріями цінності і старіння полягає в тому, щоб знайти такі значення елементів $t_{ki, \Delta t_n^{(j)}}$ вектора управління $T_{k, \Delta t_n^{(j)}}$, які б задовольняли сформульованим вимогам (1) і критеріям (3,15).

Очевидно, що знаходження значення вектора $T_{k, \Delta t_n^{(j)}}$ можна вирішити методом прямого перебору всіх варіантів $T_{k, \Delta t_n^{(j)}}$. Однак, через велику кількість варіантів перебору, повним перебором цю задачу вирішити в більшості випадків складно. Тому автори пропонують використовувати евристичні алгоритми, які б дозволяли зменшувати кількість варіантів перебору. Такі алгоритми автори планують розглянути в подальших своїх публікаціях.

Загальний алгоритм по управлінню системою літальних апаратів з використанням запропонованих вище методів організації обробки інформаційних потоків може виконуватись з використанням наступних операцій і в наступній послідовності:

1. Визначення структури мережі літальних апаратів і їх центрів управління і прийняття рішень на інтервалі часу, для якої буде використовуватись управління. Виконує центральний елемент системи.

2. Декомпозиція мережі на окремі підсистеми і визначення центрального елемента для кожної підсистеми. Виконує центральний елемент системи.

3. Видача центральним елементом системи команд підпорядкування визначеним центральним елементом підсистеми. Виконує центральний елемент системи.

4. Видача центральними елементами підсистем команд підпорядкування рядовим елементам системи. Виконують центральні елементи підсистем.

5. Визначення стану інформаційних потоків, що вимагають обробки, на відрізок часу Δt_n . Виконують центральні елементи підсистем.

6. Організація обробки повідомлень з використанням дисципліни Д1 в рамках окремих елементів підсистем і формування векторів, що не включені в обробку інформаційних потоків, а також векторів зайвих обчислювальних потужностей окремих елементів підсистем. Виконують окремі елементи підсистем.

7. Розподіл обчислювальних ресурсів в рамках окремих підсистем. Виконують центральні елементи підсистем.

Другою частиною поставленої мети є огляд існуючого технічного рішення для оптимального (раціонального) розподілення алгоритму СМО на модулі. Це питання є важливим по декільком причинам:

- Концептуальна модель не є вичерпною. З появою інноваційних рішень цілком законно, що інтенсивність потоку повідомлень λ а також інтенсивність обробки кожного типу повідомлення - μ може змінюватись. СМО повинна забезпечувати адаптивність.

- Мати можливість додавати нові модулі «на льоту». В умовах динамічного середовища це дуже важливий критерій. Це дозволить працювати з новим обладнанням (невідомим на сьогодні) без необхідності переписувати, та перезбирати вже існуючу систему керування.

- Розбивання на модулі дозволить розпаралелити процес розробки програмного забезпечення.
- Кожен модуль може бути окремо протестований для виявлення помилок (багів) саме в конкретному функціоналі.
- Виникнення критичних помилок в роботі ПЗ конкретного модуля управління не повинно впливати на роботу інших частин системи.

Розглянемо приклад. Центральний пункт вміє обробляти три типи повідомлень: пошук мін, пошук ворожих вогневих точок, евакуацію поранених. Безпілотний літальний апарат спостереження виявляє ворожу міну з інтервалом кожні 4 години. Повідомлення потрапляє у центральний пункт – ПЗ, яке аналізує вхідне повідомлення і приймає рішення стосовно способу виконання розмінування. Припустимо, система вміє розмінувати ворожі міни на суходолі двома способами: перший – розмінування безпосередньо сапером. Нехай розмінування сапером займає 5 годин на кожен міну. Другий спосіб – використання літаючого апарату із самопідривом. Такий спосіб обробки вхідної заявки виконується, наприклад, 20 хв. і може працювати лише в умовах ясної погоди. Виходячи з цього, розроблене ПЗ повинно вміти обробляти таку заявку двома способами, в залежності від критеріїв узгодження з боку пункту управління.

Як видно з рис. 2 базовий модуль повинен залишатися відкритим для розширення. Це дозволяє легко додавати нові рішення у вже існуючу архітектуру, наприклад при появі нових способів розмінування. Але при цьому залишати базовий функціонал незмінним. Така архітектура дозволить паралельно розробляти алгоритми для кожного із існуючих способів розмінування.

З точки зору центрального пункту, немає різниці яким способом буде виконано розмінування. Важливо лише час і статус успішності виконання вимоги.

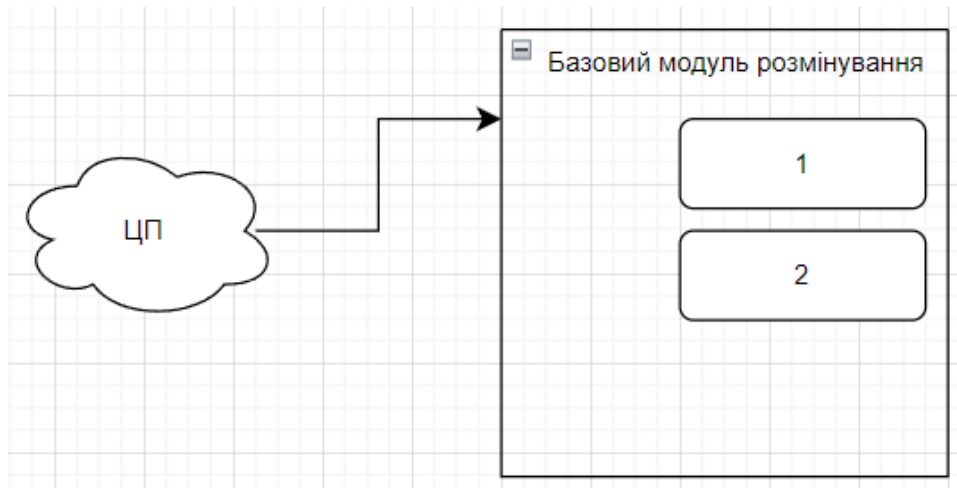


Рисунок 2 - Типова схема способу організації обробки вхідних вимог типу «розмінування», де «1» і «2» безпосередні способи розмінування що можуть виконуватись системою

Вирішення подібної задачі здається логічним за допомогою таких концепцій об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) як наслідування і поліморфізм. Ці концепції ООП дозволяють розробляти таку архітектуру ПЗ, яку можливо буде використовувати тут і зараз, розширювати, вдосконалювати, модифікувати чи змінювати конкретну логіку обробки і при

цьому не змінювати саму архітектуру. Побудова архітектури ПЗ з використанням основних концепцій ООП дозволить максимально швидко розробляти драйвери (в даному контексті - програми, алгоритми керування) для вже існуючих рішень, а також залишитись відкритим для внесення перспективних рішень. Окрім того, такий підхід дозволить максимально якісно виконати процес тестування.

Розглянемо абстрактний приклад обслуговування повідомлення розмінування на мові програмування C++.

```
enum status {FAIL = 0, SUCCESS = 1}; //статуси виконання завдання
class MineClear
{
public:
    bool virtual Run() = 0;
    virtual ~MineClear() {}
};

class MineClearFPV : public virtual MineClear
{
public:
    bool virtual Run() override
    {
        //clearing a mine
        return SUCCESS;
    }
    virtual ~MineClearFPV() {}
};

class MineClearSapper : public virtual MineClear
{
public:
    bool virtual Run() override
    {
        //clearing a mine
        return SUCCESS;
    }
    virtual ~MineClearSapper() {}
};

int main()
{
    enum ClearType
    {
        sapper,
        drone
    };
    MineClear* ptr = nullptr;
    short clearType = drone;
    short status = -1;
```



```
switch (clearType)
{
case sapper:
    ptr = new MineClearSapper();
    break;
case drone:
    ptr = new MineClearFPV();
    break;
default:
    break;
}
if (ptr)
{
    status = ptr->Run();
}

delete ptr;
return status;
}
```

В даному прикладі, абстрактний базовий клас `MineClear` реалізує функціональність розмінування. Для простоти сприйняття автори показали в ньому лише 1 функцію, але звичайно цей клас містить в собі увесь базовий функціонал обробки повідомлення розмінування. Далі від нього унаслідуються 2 класи `MineClearFPV` та `MineClearSapper`, які безпосередньо реалізують повний цикл обробки конкретного повідомлення конкретним способом. Вираз `short clearType = drone;` слід розглядати лише як наглядний приклад. В реальних умовах ця характеристика і буде визначати спосіб обробки повідомлення. Змінна `status` інформує систему про статус виконання вимоги. Зверніть увагу, така архітектура дозволить розробляти логіку для кожного зі способів виконання заявки паралельно, а отже, і тестування кожного конкретного рішення можна виконувати незалежно від іншого.

При даному архітектурному підході до розробки ПЗ ми можемо додавати нові модулі чи способи обробки повідомлень на основі нових технічних рішень і при цьому самий базовий підхід жодним чином не буде змінений.

Приклад. В процесі вдосконалення технічних рішень з'являється перспективний безпілотний наземний дрон розмінування. Для використання такого дрона в СОД, достатньо лише додати клас виконання вимоги `MineClearLand`, і розширити логіку вибору обробки такої вимоги, до можливості використання такого способу обробки повідомлень.

```
class MineClearLand : public virtual MineClear
{
public:
    bool virtual Run() override
    {
        //clearing a mine
        return SUCCESS;
    }
    virtual ~MineClearLand () {}
}
```

```
};  
switch (clearType)  
{  
...  
    case droneLand:  
        ptr = new MineClearLand();  
        break;  
}
```

Як видно з прикладу, розробка нового ПЗ для вирішення задачі жодним чином не впливає на роботу вже існуючих рішень і забезпечує, окрім сказаного, мінімізацію перекомпіляції/перезбирання усєї системи. В даному випадку достатньо лише знову зібрати модуль розмінування.

Висновки. В роботі визначено та сформульовано критерії оптимальної (раціональної) організації обробки потоків повідомлень, що функціонують в системі літальних апаратів. Розглянуто існуюче технічне рішення для оптимального (раціонального) розподілення алгоритму СОД на модулі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мороз Б. І., Круглик А. С., Мороз Д. М., Мартиненко А. А. Математична модель раціональної організації обробки інформаційних потоків в системі доставки літальними апаратами. *System technologies*. 2024. Т. 2, № 151. С. 3–12. doi: 10.34185/1562-9945-2-151-2024-01
2. Свиридов В.В., Мороз Б.И. Организация процессов обработки информации по критериям ценности и старения в АСУ. Харьков: Основа, 1992. 112 с.
3. Shvachuch G. G., Moroz B. I. Pobochii I. A., Sushco L. F., Busydin V. V. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем*. Матеріали 4 Міжнародної науково – технічної конференції (Дніпро, 1-2.11.2018) / уклад. кафедра інформаційних систем ДВНЗ УДХТУ. Дніпро : Баланс-Клуб, 2018. С. 196 – 199.
4. Екзоскелети як сучасні бойові обладунки: Україна поки що ігнорує цей тренд / *Defense-Express*: веб-сайт. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/ekzoskeleti_suchasni_bojovi_obladunki_ukrajina_poki_scho_ignoruje_ts_ej_trend-805.html. (дата звернення: 19.03.2024)
5. “Облетіти” затори стало реально: у Китаї запускають безпілотні літаючі таксі / За кордоном: веб-сайт. URL: <https://newsauto.com.ua/za-kordonom/obletity-zatory-stalo-realno-u-kytavi-budut-bezpilotni-litayuchi-taksi/>. (дата звернення: 02.04.2024)
6. Залипка В. Д. Аналіз та синтез класифікаційних ознак засобів взаємодії із зовнішніми об'єктами та середовищем багатоцільових роботизованих платформ для подальшої їх трансформації. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2023. Т. 2, №. 2. С. 21-33. doi:10.46299/j.isjea.20230202.03.
7. Залипка В. Д. Особливості створення та застосування наземних роботизованих комплексів у провідних країнах світу та Україні. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. №4. С. 60–65. doi: 10.36930/40320410.
8. Кацман М. Д., Мацюк В. І., Мироненко В. К. Моделювання надійності транспорту в екстремальних умовах функціонування як системи масового обслуговування з пріоритетами. *Системні технології*. 2023. Т. 1, № 149. С. 10–15. doi: 10.34185/1562-9945-1-149-2023-01

стемі управління, навігації та зв'язку. *Збірник наукових праць*. 2023. № 73. С. 10-17. doi: 10.26906/SUNZ.2023.3.010.

9. Методи моделювання бойових дій військ (сил): навч. посіб. / Т. П. Пащенко, С. А. Микусь, В. Г. Солонніков та ін. – Київ: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2021. 262 с.

10. Чигінь В. І. Створення комп'ютерних засобів керування автономним літальним апаратом з застосуванням дистанційних хмарних обчислень. *Комп'ютерні системи та мережі*. 2021. Т. 3, № 1. С. 106-113. doi: 10.23939/csn2021.01.106.

11. Пуйда Д. В. Модифікація алгоритму пула потоків з багатьма чергами. *Комп'ютерні системи та мережі*. 2023. Т. 5, № 1. С. 96-102. doi: 10.23939/csn2023.01.096.

12. Обшта А. Ф., Бугаєць В. В. Комплексний алгоритм для системи програмного обслуговування логістики гуманітарних послуг. *Комп'ютерні системи та мережі*. 2023. Т. 5, № 1. С. 79-88. doi: 10.23939/csn2023.01.079.

13. Сучасні системи автоматичного керування технологічними комплексами: навч. посіб. / А. М. Сільвестров, М. Я. Островерхов та ін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 386 с.

14. G. Myers. The art of software testing. Second Edition: tutorial. Hoboken, New Jersey: Published by John Wiley & Sons, Inc., 2004. 255 p.

15. Мороз Б. И. Методы и средства организации процессов обработки информации по критериям ценности и старения в системах автоматизированного управления и информационного обслуживания: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Днепропетровский государственный университет, Днепропетровск, 1992 г. 358 с.

REFERENCES

1. B. Moroz, A. Kruhlyk, D. Moroz, A. Martynenko. Mathematic model of the rational organization of the information flows processing in aircraft delivery system. *System technologies*. 2024. Т. 2, № 151. pp. 3–12. doi: 10.34185/1562-9945-2-151-2024-01.

2. V. Sviridov, B. Moroz. Organization of information processing processes according to the criteria of value and aging in automated control systems. Kharkiv: Osnova, 1992. 112 p.

3. Shvachych G. G., Moroz B. I. Pobochii I. A., Sushco L. F., Busydin V. V. *Computer modeling and optimization of complex system*. 4-th International scientific-technical conference. (Dnipro, 1-2.11.2018) / prod. by the the Department of Information Technology SHEI USCaTU. Dnipro : Balance-Club, 2018. pp. 196 – 199.

4. Exoskeletons as modern combat armor: Ukraine ignores this trend so far. / Defense-Express: website. URL: [https://defence-ua.com/weapon and tech/ekzoskeletoni suchasni bojovi obladunki ukrajina poki scho ignoruje tej trend-805.html](https://defence-ua.com/weapon%20and%20tech/ekzoskeletoni%20suchasni%20bojovi%20obladunki%20ukrajina%20poki%20scho%20ignoruje%20tej%20trend-805.html). (date of app: 19.03.2024)

5. "Flying around" traffic jams has become a reality: unmanned flying taxis are being launched in China / Abroad. Website. URL: <https://newsauto.com.ua/za-kordonom/obletity-zatory-stalo-realno-u-kytayi-budut-bezpilotni-litayuchi-taksi/>. (date of app: 02.02.2024).

6. V. Zalyпка. Analysis and synthesis of classification signs of the means of interaction with external objects and the environment of multipurpose robotic platforms for their further transformation. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 2, №. 2, 2023, pp. 21-33. doi:10.46299/j.isjea.20230202.03.

7. V. Zalyпка. Peculiarities of the creation and use of ground robotic complexes in the leading countries of the world and Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*. №4, 2022, pp. 60–65. doi: 10.36930/40320410.
8. M. Katsman, V. Matsyuk, V. Myronenko. Modeling the reliability of transport under extreme conditions of operation as a queuing system with priorities. *Control, Navigation and Communication Systems*. № 73, 2023. pp. 10-17. doi: 10.26906/SUNZ.2023.3.010.
9. Methods of modeling combat operations of troops (forces): tutorial. / T. Pashchenko, S. Mykus, V. Solonnikov and oth. / – Kyiv.: NDUU named after Ivan Chernyakhovskiy, 2021. 262 p.
10. V. Chyhin. Creation of computer facilities for controlling an autonomous aircraft with the use of remote cloud calculations. *Computer systems and networks*. Vol. 3, № 1, 2021. pp. 106-113. doi: 10.23939/csn2021.01.106.
11. D. Puida. Modification of a thread Pool algorithm with multiple task queues. *Computer systems and networks*. Vol. 5, № 1, 2023. pp. 96-102. doi: 10.23939/csn2023.01.096.
12. A. Obshta, V. Buhaiets. Cross-platform software system for the logistics of humanitarian services. *Computer systems and networks*. Vol. 5, № 1, 2023. pp. 79-88. doi: 10.23939/csn2023.01.079.
13. Modern systems of automatic control of technological complexes: tutorial. / A. Silvestrov, M. Ostroverkhov and oth. – Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2023. 386 p.
14. G. Myers. The art of software testing. Second Edition: tutorial. Hoboken, New Jersey: Published by John Wiley & Sons, Inc., 2004. 255 p.
15. B. Moroz. Methods and means of organizing information processing processes according to the criteria of value and aging in automated control and information service systems: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, Dnepropetrovsk State University, Dnepropetrovsk, 1992. 358 p.

Received 01.05.2024.
Accepted 03.05.2024.

Mathematical model and general algorithm for solving the problem of processing messages taking into account their value and aging in aircraft systems

According to research, the world's leading countries, such as the USA, Great Britain, Japan, etc., are actively engaged in the development of automated and automatic systems based on artificial intelligence (AI) in the military sphere and even already have a roadmap for the integration of unmanned systems in the medium and long term prospects.

The purpose of this work is to describe a general algorithm for controlling an aircraft system with using controlled discipline taking into account the value characteristics of messages. In addition, an overview of the existing technical solution for the rational division of the algorithm into modules is offered.

In the paper considers a mathematical model of the mass service system, where the messages are characterized not only by limit time of execution, but also by another important characteristic - the value of each individual message in the same type of queue. The authors proposed a definition of the efficiency of message processing by system elements. The authors believe that a such model can be quite relevant with the development of unmanned (aircraft) vehicles in the structure of the armed forces of Ukraine. It is especially relevant and appropriate in conditions of active combat

operations, where the real situation is very dynamic and the messages entering to the system have different values within the same period of time. The existing technical solution for the optimal (rational) division of the algorithm into modules is considered. This will allow to parallelize the software development process, test individual modules and make changes in accordance with the latest technical solutions without the need to change the entire system architecture.

Мороз Борис Іванович - доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Круглик Андрій Сергійович – здобувач вищої освіти рівня доктор філософії, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Мороз Дмитро Максимович – доктор філософії, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Мартиненко Андрій Анатолійович – доктор філософії, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Boris Moroz - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology.

Andrii Kruhlyk – PhD student, Dnipro University of Technology.

Dmytro Moroz -Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor of the Software Engineering Department, Dnipro University of Technology.

Andrii Martynenko - Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor of the Software Engineering Department, Dnipro University of Technology.