УДК 51-74

С.М. Гриша, О.А. Стенін, О.А. Іотко, Хедоят Хейдорі

# СТРАТЕГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ РОЗВИТКУ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ КІС МЕТОДОМ РЕДУКЦІЇ

## Вступ

У існуючих методологіях розробки комп’ютеризованих інтегрованих систем (КІС) для підприємств задача вибору функцій, що підлягають реалізації в системі з множини потенційно можливих елементів, розв’язується експертним шляхом, тобто інтуїтивно а отже кінцевий успіх критично залежить від суб’єктивного фактору [1].

В сучасних умовах стандартом для системотехнічного проектування стала мова UML та “спіральний” підхід, який прийшов на зміну так званому “каскадному” підходу, але існуючі підходи виходять з того, що структура функціональності вже визначена і забезпечують аналітика лише засобами візуальної оцінки системної цілісності [2].

Дуже модна на початку століття методологія екстремального програмування (XP) [3] задача вибору вимог ставиться лише перед початком кожної наступної ітерації, але жодних рекомендацій про технологію прийняття рішень не дається.

Такий стан справ можна пояснити тим, що перелічені методики орієнтовані на вирішення проблем програмної інженерії, а відповідальність за вибір функцій в них перекладається на замовника.

Сучасний бізнес, що функціонує в умовах турбулентного оточення потребує адекватних за оперативністю і об’єктивністю засобів стратегічного управління функціональністю, підхід до створення яких розглядається в цій статті і полягає в визначенні оптимального цілісного набору вимог за допомогою інформаційно-вартісного аналізу. Мета - мінімізація впливу людського фактору на планування функціональності. Засіб досягнення мети - звільнення аналітиків від рутинних задач перебору можливих варіантів при їх концентрації на наступних задачах:

Оцінювання корисності кожної функції системи (далі ситуаційного елементу) в окремості.

Виділення множин ситуаційних елементів, що дають синергетичний ефект, та його оцінка.

Оцінювання вартості реалізації кожного елемента забезпечення в окремості.

Виділення множин забезпечуючи елементів, що дають синергетичний ефект зниження вартості володіння за рахунок інтеграційних процесів.

Вибір оптимальної за критерієм “вартість володіння” функціональної структури системи для послідовності витків “спірального” процесу розвитку.

Буде показано, що така методологія забезпечує зменшення залежності від суб’єктивності експертів, прискорює вирішення задачі планування розвитку функціональності при збільшенні глибини “варіантності” аналізу.

## Вибір оптимальної Use Case структури

Для представлення всієї функціональності, що може бути реалізована в системі використовується діаграма варіантів використання UML (Use Case Diagram) [2]. Провівши інформаційно-вартісний аналіз можна зробити висновок про те, що реалізація певних прецедентів є недоцільною з точки зору економічної ефективності та виключити їх з розгляду. Результатом роботи алгоритму буде діаграма варіантів використання, що містить оптимальний цілісний набір функціональності системи.

При цьому у якості ситуаційних елементів будемо розглядати акторів, а самі варіанти використання будемо розуміти як елементи забезпечення. Тобто кожній вимозі до системи у такій інтерпретації діаграми Use Case відповідає один актор, що зв’язаний з варіантами використання, які забезпечують реалізацію цієї вимоги. Кожен варіант використання відношенням направленої асоціації може, в свою чергу, бути зв’язаний з іншими варіантами використання, що розглядаються як забезпечуючи елементи для нього. У випадку, якщо актор (або варіант використання) зв’язаний відношенням асоціації з декількома варіантами використання та приймається рішення про те, що повинна бути реалізована функціональність для даного актора, то мається на увазі, що повинні бути реалізовані всі ці варіанти використання.

## Оцінка задачі бульового програмування

Оскільки діаграма варіантів використання являє собою ациклічний граф загального вигляду, то у загальному випадку, задача вибору являє собою задачу булевого програмування і ускладнюється експонентною потужністю можливих варіантів. Тому, повний перебір варіантів за прийнятний час можливий лише при виконанні достатньо жорстких обмежень на розмірність задачі. Оскільки в більшості випадків такі обмеження не виконуються, то з’являється необхідність пошуку шляхів зниження розмірності – так званої редукції.

Методи дослідження комбінаторних задач експонентної складності припускають пошук поліноміальних чи навіть лінійних підкласів задач і способів їхньої ідентифікації (розпізнавання). Тобто загальна схема рішення складається у віднесенні задачі до одного зі спеціальних класів і застосуванні до неї спеціального алгоритму, що вимагає не більш, ніж поліноміальні витрати. На жаль, сама по собі задача розпізнавання може виявитися складною [4]. Тому конструктивним вважається підхід, що полягає у пошуку умов, що можуть гарантувати оптимальність поточного варіанта чи його контрольоване відхилення від оптимуму. Це дає можливість застосувати загальну схему оптимізації, що може бути припинена при виконанні згаданих умов.

## Метод редукції

Введемо наступні позначення:

 ISSN 1562-9945

$\Omega$ – універсальна множина елементів (множина всіх елементів системи);

$\gamma \subseteq \Omega \times \Omega$ – відношення між елементами;

$$j^{o} = \pi_{j_2}\delta_{j_1=j}A \; ; \tag{1}$$

$$^{o}j = \pi_{j_1}\delta_{j_2=j}A \; ; \tag{2}$$

$$^{npo}\Omega = \Omega \backslash \bigcup\nolimits_{j\in\Omega} j^{o}; \tag{3}$$

$$J^{o} = \bigcup\nolimits_{j\in\Omega} j^{o}; \tag{4}$$

$$J^{oo} = J^{oo(k)}, \tag{5}$$

де:

$$J^{oo(1)} = J^{o},\; J^{oo(i+1)} = J^{oo(i)} \bigcup \left(J^{oo(i)}\right)^{o},$$

$$J^{oo(k+1)} = J^{oo(k)},\; J^{oo(k-1)} \neq J^{oo(k)}$$

$$J^{<o} = J^{o} \bigcup J; \tag{6}$$

$$^{o}J = \bigcup\nolimits_{j\in\Omega} {^{o}j}; \tag{7}$$

$$^{oo}J = {^{oo(k)}J}, \tag{8}$$

де: $^{oo}J^{(1)} = {^{o}J}$, $^{oo}J^{(i+1)} = {^{oo}J^{(i)}} \bigcup {^{o}(^{oo}J^{(i)})}$, $^{oo}J^{(k+1)} = {^{oo}J^{(k)}}$, $^{oo}J^{(k-1)} \neq {^{oo}J^{(k)}}$

$$^{o>}J = {^{o}J} \bigcup J; \tag{9}$$

$$^{oo>}J = {^{oo}J} \bigcup J; \tag{10}$$

$$J^{*} = J \backslash \bigcup\nolimits_{j\in J} {^{o}j}; \tag{11}$$

$$del(I,\; J) = ((^{*}I)^{<o}(^{*}J \backslash {^{*}I})^{oo}) \cap J; \tag{12}$$

$$^{*}I = {^{oo>}I} \cap {^{*}\Omega}; \tag{13}$$

$$^{<*>}I = {^{*}I} \cap I; \tag{14}$$

$$I^{<oo>} = I^{oo} \cap I; \tag{15}$$

$$I^{<o>} = I^{o} \cap I; \tag{16}$$

Змістовна інтерпретація введених позначень:

1 – елементи безпосередньо забезпечують елемент $j$;

2 – елементи, функціонування яких забезпечується (неможливо без) $j$;

3 – елементи $\Omega$, які не забезпечують жодного елемента з $\Omega$;

4 – те ж що і $j^o$ але для множини $J$;

5 – множина всіх елементів, що безпосередньо забезпечують множину $J$;

6 – множина, складається із всіх елементів, що безпосередньо забезпечують множину $J$, та самих елементів $J$;

7 – множина всіх елементів, безпосередньо забезпечуваних множиною $J$;

8 – множина всіх елементів, забезпечуваних множиною $J$ безпосередньо та опосередковано;

9 – множина, що складається із всіх елементів, безпосередньо забезпечуваних множиною $J$, та елементів $J$;

10 – множина, що складається із всіх елементів, безпосередньо та опосередковано забезпечуваних множиною $J$, та елементів $J$;

11 – те ж що і 2 але для множини $J$;

12 – множина елементів, що підлягають видаленню з множини $J$ при видаленні підмножини елементів $J$, для збереженням узгодженості результуючої множини $J/I$;

13 – множина ситуаційних елементів з $\Omega$, забезпечуваних елементами $I$.

14 – те ж що і 12, але для ситуаційних елементів множини $I$;

15 – множина елементів з $I$, що забезпечує елементи $I$;

16 – множина елементів з і, що безпосередньо забезпечують елементи $I$;

Двійку $< \Omega, \gamma >$ будемо називати **конструктивним різноманіттям** (КР) систем.

**Узгодженою системою** називається деяка множина $J \subseteq \Omega$, для якої виконуються аксіоми узгодженості:

$$J^{<oo} = J \tag{A1}$$

$$\forall j \in J \; {}^*j \cap J \neq \emptyset \tag{A2}$$

A1 заперечує відсутність хоча б одного елемента, що забезпечує, тобто присутні всі необхідні елементи;

A2 заперечує відсутність елемента з ${}^*\Omega$ хоча б для одного елемента $J^{oo}$тобто в системі відсутні зайві елементи.

Той факт, що $J$ є узгодженою системою в КР $K =< \Omega, \gamma >$ будемо також позначати $A_1(J, K) \;\;\&\;\; A_2(J, K)$ якщо в контексті мова йде про різне КР. В інших випадках позначення буде мати вигляд $A_1(J) \;\;\&\;\; A_2(J)$ або $A_{1,2}(J)$

КР $< \Omega, \gamma >$ і КР $< \Omega, \gamma^1 >$ називаються **еквівалентними** якщо:


ISSN 1562-9945

$$\forall J \subseteq \Omega A_{1,2}(J,\gamma) \Leftrightarrow A_{1,2}(J,\gamma^1)$$

і це позначається як $<\Omega,\gamma>\equiv<\Omega,\gamma^1>$

**Твердження 1**

$<\Omega,;\gamma>\equiv<\Omega,\gamma^+>$, де $\gamma^+=\{(i,j)\in {}^*\Omega\times\Omega^o:\ (i,j)\in\gamma^+\Leftrightarrow j\in i^{oo}\}$ або

$$\gamma^+ = I \in {}^*\Omega \cup (i \times i^{oo}(\gamma))$$

Твердження 1 дозволяє переходити від КР $\gamma$, заданого багатошаровим орієнтованим графом, до еквівалентного КР із $\gamma$ у вигляді двошарового орієнтованого графа.

Надалі будуть корисні деякі властивості узгоджених систем, зведені у твердженні 2.

**Твердження 2**

(а) $A_{1,2}(\Omega) \Rightarrow (\forall J \subseteq \Omega)\ (A_{1,2}(\Omega \backslash del(J,\Omega)))$;
(б) $A_1(J)\ \ \&\ \ A_1(I) \Rightarrow A_1(J\cup I)\ \ \&\ \ A_2(J\cup I)$;
(в) $I \subseteq del(J,\Omega) \Rightarrow del(I,\Omega) \subseteq del(J,\Omega)$;
(с) $del(j,\Omega_1) \cup del(j,\Omega_2) \cap \Omega_1 \cap \Omega_2 \subseteq del(J,\Omega_1\cup\Omega_2)$;
(д) $\Omega_1 \subseteq \Omega \Rightarrow del(j,\Omega) \subseteq del(j,\Omega_1)$;

**Ефективною системою** будемо називати таку узгоджену систему $S$, вартісна оцінка якої позитивна $E(S)>0$

**Оптимальною системою** назвемо таку узгоджену систему, для якої виконуються наступні аксіоми:

$$I \geqslant J \Leftrightarrow E(I) \geqslant E(J) \tag{A3}$$

$$I \in \Omega^{opt} \Leftrightarrow (\forall J \in \{J \subseteq \Omega : A_{1,2}(J)\})(I > J) \tag{A4}$$

Тут:

$E: p(\Omega) \rightarrow D$ – функція, що кожній підмножині множини $\Omega$ ставить у відповідність дійсне число;

$\Omega^{opt}$ – множина ефективних систем, які можна побудувати в КР $<\Omega,\gamma>$;

$I \geqslant J$ позначає той факт, що множина $I$ не уступає по ефективності множині $J$. Легко помітити, що оптимальна система ефективна, але не навпаки. Таким чином, задача інформаційно-вартісного аналізу може полягати в побудові $\Omega^{opt}<\Omega,\gamma>$, або деякого $\Omega_1\in\Omega^{opt}$.

Очевидно, якщо $A_{1,2}(\Omega)$, то методи інформаційно-вартісного аналізу шляхом повному переборі варіантів, дають оцінку $O(2^{\|{}^*\Omega\|})$.

Щоб зменшити негативні наслідки експонентної складності задачі інформаційно-вартісного аналізу, розглянемо деяку, що має зміст (що дозволяє спростити алгоритм, істотно не впливаючи на адекватність), аксіоматизацію **вартісної функції** E.

Будемо виходити з того, що справедливі аксіоми А5 – А9 .

$$E(J) = E({}^{<*>}J) + E(J^{<oo>}) \tag{A5}$$

$$J_1 < J_2 \subseteq {}^*\Omega \Rightarrow E(J_1) < E(J_2) \quad \text{(A6)}$$

$$J = J_1 \cup J_2 \subseteq {}^*\Omega \Rightarrow E(J) \geqslant E(J_1) + E(J_2) - E(J_1 \cap J_2) \quad \text{(A7)}$$

$$J \subseteq \Omega^{oo} \Rightarrow E(J) < 0 \quad \text{(A8)}$$

$$J = J_1 \cup J_2 \subseteq \Omega^{oo} \Rightarrow E(J) \geqslant E(J_1) + E(J_2) - E(J_1 \cap J_2) \quad \text{(A9)}$$

В А7 знак $>$ є присутнім у випадку наявності **системного ефекту** $E\sigma$ між ${}^*J_1$і ${}^*J_2$.

В А9 знак $>$ є присутнім у випадку наявності елементів, що забезпечують інші елементи і мають загальні експлуатаційні витрати, що не залежать від кількості елементів, яких вони забезпечують.

Позначимо: $\Delta(j, \Omega) = E(\Omega \backslash del(j, \Omega)) - E(\Omega)$

Наступні твердження дозволяють за певних умов, що в них сформульовані, перейти до задачі меншої розмірності, вирішивши питання про включення або не включення в оптимальну систему деякої множини елементів. Це називається **редукцією**.

**Редукція включення** полягає у виявленні елементів, аналіз властивостей яких дозволяє зробити висновок про їх належність оптимальному рішенню. Наприклад, якщо корисність ситуаційного елементу більше або дорівнює загальній вартості забезпечуючи елементів.

**Редукція виключення** полягає у виявленні елементів, аналіз властивостей яких дозволяє зробити висновок про їх неналежність оптимальному рішенню. Наприклад, якщо корисність ситуації менше або дорівнює загальній вартості тих елементів, що забезпечують виключно цей елемент, тобто беруть участь в забезпеченні даного елементу і не беруть участі в забезпеченні інших.

В загальному випадку неможливо визначити оптимальну структуру системи шляхом редукції, оскільки умови редукції можуть не виконуватись. В таких випадках пропонується допоміжна задача з поліноміальною складністю, яка дозволяє продовжити редукцію.

**Крок 1.Попередній аналіз з метою зменшення розмірності.**

**Вхідні дані:**

– $< \Omega, \gamma >$. Для поліпшення характеристик роботи алгоритму замість $\gamma$ будується транзитивне замикання $\gamma^1$(твердження 1);

– оцінка вартості всіх елементів $\Omega$ окремо і вартості системного ефекту кожної множини елементів, що може його дати відповідно до результатів обстеження. Вважається що синергетизм позитивний.

**Вихідні дані :**

– уточнене КР $< \Omega^1, I, \gamma^1 >$, де :

$\Omega^1 \subseteq \Omega$ – множина елементів, що ще можуть бути включені в систему на подальших кроках алгоритму;

$I$ – множина елементів, приналежність яких оптимальній системі вже доведена;

$\gamma^1 \subseteq \Omega^1 \times \Omega^1 \subseteq \gamma$ – уточнене відношення забезпечення в який виключені зв'язки між елементами множини $(\Omega \backslash \Omega^1) \cup I$;

$E^1(j),\ E^\sigma(J)$ – уточнені оцінки вартості елементів і оцінки синергетизма, у яких врахована наявність у системі елементів $I$;

можливі висновки про оптимальність уточненого КМ.

**Алгоритм:**

Послідовна перевірка умов сформульованих у твердженні 2.

**Крок 2. Перехід від моделі з позитивним синергетизмом до моделі без синергетизма.**

**Вхідні дані:**

$$\Omega^1 = \Omega^1 \cup \Omega^\sigma,\ \Omega^\sigma = \{S_J : J \subseteq {}^*\Omega^1,\ E^\sigma(J) > 0\},$$

$$\gamma^1 = \gamma^1 \cup \bigcup_{j \in \Omega^1} j \times \Omega^{\sigma_J},\ \Omega^{\sigma_J} = \{S_J :\ j \in J, J \in \Omega^\sigma\},$$

$$\gamma^2 = \gamma^1 \cup J^o \times S_J$$

$$J \in {}^*\Omega^1$$

**Алгоритм:**

Послідовне додавання вершини $S_J$ для кожної множини $J \in \Omega^\sigma$ с розширенням відносини $\gamma^1$ елементами $J^o \times S_J$.

Крок 3. Побудова допоміжної задачі про максимальний потік на мережі.

**Вихідні дані:**

– $V$ – множина вершин мережної задачі, що формується як $\Omega^1 \cup \{s\} \cup \{t\}$, де $s$, $t$ – вершини, що вводяться штучно і є відповідно джерелом і стоком мережної моделі;

– $W = s \times \Omega^{1oo} \cup \gamma^{2+} \cup {}^{<*>}\Omega^1 \times t$ – множина дуг мережі з штучно введеними дугами від джерела і до стоку, $\gamma^{2+}$ – результат транзитивного замикання відношення $\gamma^2$;

– $d : W \to D$ – обмеження зверху на величину потоку в дугах, що задаються в такий спосіб:

$$\forall i \in \Omega^{1oo},\ d(s,i) = -E(i)$$

$$\forall i \in \Omega^{1oo}, j \in {}^{<*>}i,\ d(i,j) = \infty$$

$$\forall i \in {}^{<*>}\Omega^1,\ d(i,t) = E(i)$$

**Алгоритм:**

множина вершин визначається як множина елементів $\Omega^1$ з додатковими двома вершинами джерела і стоку;

дуги мережі відповідають відношенню $\gamma^2$ Додаються дуги від джерела до всіх елементів $\Omega^{1oo}$ і від ${}^*\Omega^1$ до стоку;

величини пропускних можливостей дуг визначаються згідно наведених вище формул

**Крок 4. Пошук максимального потоку в мережній моделі .**

**Вихідні дані:**

$\Omega^+ \subseteq {}^{<*>}\Omega^1$ – множина таких вершин, для яких $f(i,t) < d(i,t)$, тобто потік ненасичений;

$\Omega^- \subseteq \Omega^{1oo}$ – множина вершин, що є початками дуг, для яких $f(s,i) < d(s,i)$;

$\Omega^o \subseteq \Omega^{1oo} \backslash \Omega^-$ – множина вершин, що є початками дуг, для яких $f(s,i) = d(s,i)$;

**Алгоритм:**

Для реалізації даного кроку можна застосовувати відомі алгоритми визначення максимального потоку на мережі. З огляду на деякий характерний вид отриманої на попередньому кроці мережі (наявність уній фактично двох шарів - шар що забезпечуючи елементів і шар ситуаційних елементів) застосуємо вдосконалений алгоритм алгоритму Форда-Фалкерсона що має оцінку складності O ($v^3$) [5].

**Крок 5. Остаточне формування складу ефективної системи.**

**Вихідні дані:**

$\{I_j\}, j = 1, n$ – множина ефективних систем, що відповідають заданому КМ;

$E(\{I_j\}, j = 1, n)$ – ефективність знайденого сімейства систем.

Алгоритм:

$I = \Omega^1 \backslash J$, де $J = {}^{oo}\Omega^{1-} \cup g({}^{<*>}J, f)$, де

$$g({}^{<*>}J, f) = {}^{oo}(\{i \in \Omega^o : (\exists j \in {}^{<*>}J)(f(i,j) > 0)\})$$

Тут $f(i,j) = x(i,j)$ - величина потоку у відповідній гілці мережної моделі.

Легко помітити рекурсію, що міститься в алгоритмі. Глибина даної рекурсії не перевищує $\|\Omega^o\|$, тому що функція $g$ вимагає перегляду множини елементів, потужність якого не перевищує потужності множини $\Omega^{o\cdot}$

**Твердження 3** Алгоритм синтезу оптимальної ситуаційної структури системи з позитивним синергетизмом конструктивний: якщо існує не порожня ефективна система, то вона буде знайдена алгоритмом; створене алгоритмом множина елементів є ефективною системою; алгоритм закінчує свою роботу за кінцеве число кроків.

## Висновки

Запропоновано алгоритм вирішення задачі вибору оптимальної функціональної структури КІС. Для представлення всієї функціональності, що може бути реалізована в системі, використовується діаграма варіантів використання UML. Для вирішення задачі використовується оригінальний алгоритм, а для зменшення її розмірності метод редукції.

## Література

1. Автоматизированные системы управления гибкими технологиями / Скурихин В.И., Павлов А.А., Путилов Э.П., Гриша С.Н.. – К.: Техніка.-1987. – 166 с.

2. UML: специальный справочник /Рамбо Дж., Якобсон А., Буч Г.:– СПб.: Питер. – 2002. – 656 с.
3. Экстремальное программирование /Бек К.: – СПб.: Питер. – 2002. – 225 с.
4. Системы автоматизированного планирования и диспечирования групповых производственных процессов /Павлов А.А., Банашак З.,Гриша С.Н., Мисюра Е.Б. – К.: Тэхника; Вроцлав : Изд-во Вроцлав. политехн. ин-та. – 1990. – 198 с.
5. Алгоритмы построение и анализ /Кормен Т., Лейзерсон Ч., Рив ест Р.– М.: МЦНМО. – 2002. – 960 с.