

ПРИМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И МЕТОДА НАПРАВЛЕННОЙ МУТАЦИИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВАРИАНТОВ ПОДСИСТЕМ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

*Доронина Ю.В., Копп В.Я., Заморенова Д.В.,
Севастопольский национальный технический университет*

Рассматриваются принципы генерации вариантов на основе морфологического синтеза, операторов генетического алгоритма. Приведено практическое приложение исследований на примере разработки множества вариантов гидрометеорологической системы.

Ключевые слова: генерация вариантов, морфологический синтез, генетический алгоритм.

Введение. Рассматривается информационная автоматизированная система оперативного назначения. Проектирование такой системы, связанной с операциями сбора, обработки, контроля, анализа и хранения данных морских прибрежных наблюдений (АИГМС МПН) представляет собой трудоёмкую задачу в связи с необходимостью согласования различных функциональных нагрузок в отдельных подсистемах [1, 2]. При проектировании внутрисистемной организации необходимо иметь механизмы создания вариантов подсистем по различным функциональным нагрузкам.

Постановка задачи. На основе адаптации методики морфологического анализа и синтеза ставится задача генерации вариантов подсистем по различным функциональным мощностям. Цель метода – систематический обзор и синтез множества вариантов данного объекта. Под множеством вариантов подсистемы PS_i системы S понимается множество

$$X^{PS_i} = \{X_1^{PS}, X_2^{PS}, \dots, X_m^{PS}\}, i = \overline{1, n}, \bigcup X_j^{PS_i} = S, j = \overline{1, L}, \quad (1)$$

где m – конечное число генерируемых вариантов по подсистеме i ; L – конечное число подсистем. Для исходной технологической структуры $L=3$.

X^{PS_i} представляет собой морфологическое множество (множество структурных решений объектов, принадлежащих рассматриваемому классу) для подсистемы i [3].

Основные идеи методики генерации вариантов. Морфологический метод древовидного синтеза, который относится к методам морфологического последовательного детерминированного поиска [4], подразумевает построение морфологической таблицы, где общее число операций выбора в методе древовидного синтеза определяется по выражению

$$N = \sum_{i=1}^L A_i,$$

где A_i – альтернативы для реализации i -й обобщенной функциональной подсистемы или функции; L – число обобщенных функциональных подсистем (строк морфологической таблицы).

На первом этапе производится оценка функциональности вариантов. Пусть $F_e^{X^{PS_i}}$ – обобщенная функциональность варианта подсистемы X^{PS_i} . На первом этапе генерируются два варианта: с функциональностью, определенной технологическим процессом АИГМС $F_0^{X^{PS_i}}$ и вариант с максимальной функциональностью (максимальной на момент проектирования), планируемой функциональностью $F_{\max}^{X^{PS_i}}$. На втором этапе генерируются варианты $F_{\max}^{X^{PS_i}}$ и $F_0^{X^{PS_i}}$, функционально близкие к $F_{\max}^{X^{PS_i}}$ и $F_0^{X^{PS_i}}$ соответственно. На следующем этапе формируются i -е варианты, близкие по функциональной нагрузке к $F_{\max}^{X^{PS_i}}$ и $F_0^{X^{PS_i}}$. Множество A_i генерируется до тех пор, пока не исчерпаны все варианты функциональной нагрузки или пока $F_0^{X^{PS_i}}$ не перейдет в $F_{\max}^{X^{PS_i}}$ и наоборот. Формирование i -х вариантов может осуществляться на основе известных в литературе операторов генетических алгоритмов (ГА): кроссоверов и мутаций [5]. Мера сходства между описанием рассматриваемого варианта системы $S1$ и описанием поискового задания $S2$, представляющая собой переходы вида $F_0^{X^{PS_i}} \rightarrow F_0^{X^{PS_i}} | F_{\max}^{X^{PS_i}} \rightarrow F_{\max}^{X^{PS_i}}$ для случая эквивалентных мер определяется выражением

$$C(S_j^1, S_j^2) = \frac{2m(S_i \cap S_j)}{(1+u)(m(S_i) + m(S_j) - 2um(S_i \cap S_j))}, \quad (2)$$

где $-1 \leq u \leq \infty$; $m(S_i)$ – обозначение числа элементов множества S_i .

Случай 1. Пусть $C_1 = (c_{11}, c_{12}, \dots, c_{n1})$ исходная хромосома. Для каждого гена в хромосоме вводится значение его доминантности – d_i , где i номер гена в хромосоме. Доминантность означает вероятность того, что ген перейдет к потомку. Введем операцию направленной мутации. Для исходного варианта подсистемы X^{PS_i} функциональность определяется выражением:

$$F_0^{X^{PS_i}} = F_{\min}^{X^{PS_i}} = (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{ni} | d_{ni}), \quad n \in L, \quad d_i \in \{D_{\max}\},$$

где $\{D_{\max}\} = \sum_{j=1, i=1}^{L, n} d_{ji} = 1$, $F_{\max}^{X^{PS_i}} = \bigcup F_j^{PS_i} = F_S$.

Выбирается $\max d_j, j = \overline{1, L},$ такая, что $\exists (F_{0^+}^{X^{PS}}) = F_{\min}^{X^{PS}} = (c_{l_i} | d_{l_i}, c_{2_i} | d_{2_i}, \dots, c_{n_i} | d_{n_i}) \bigcup_{j=1}^L (c_j | d_j).$ Для случая, когда операция мутации применяется к функционально полному варианту $F_{\max}^{X^{PS}} = (c_{l_i} | d_{l_i}, c_{2_i} | d_{2_i}, \dots, c_{L_i} | d_{L_i}),$ то выбирается $\min d_j, j = \overline{1, L},$ такая, что $\exists (F_{\max^-}^{X^{PS}}) = (c_{l_i} | d_{l_i}, c_{2_i} | d_{2_i}, \dots, c_{L_i} | d_{L_i}) - (c_j | d_j).$ Сходимость алгоритма обеспечивается тем, что $\{D_{\max}\}$ конечно, и при $F_{0^+ \dots +}^{X^{BC}} \rightarrow F_{\max^-}^{X^{BC}}$ или $F_{\max^-}^{X^{BC}} \rightarrow F_{0^+}^{X^{BC}}$ ГА сходится.

Рассмотрим описанный алгоритм для генерации вариантов подсистемы сбора. Функциональность исходного варианта подсистемы сбора определяется следующими составляющими:

$$F_0^{X^{BC}} = \{P, PA, C, П\},$$

где P – регистрация данных вручную; PA – регистрация данных полуавтоматически (автоматизированно); C – сбор данных; $П$ – передача данных.

Функциональность $F_{\max}^{X^{BC}}$ подсистемы сбора определена следующими составляющими:

$$F_{\max}^{X^{BC}} = \{P, PA, C, П, A, UA, PA\} = \{F_0^{X^{BC}}, A, UA, PA\},$$

где A – регистрация данных автоматически; UA – управление автоматической регистрацией данных; PA – предварительный анализ данных.

Морфологическая таблица вариантов подсистемы сбора данных в АИГМС строится с учетом того, что на начальном этапе генерации вариантов веса критериев для $F_0^{X^{PS_i}}$ и $F_{\max}^{X^{PS_i}}$ равнозначны. Максимум доминантности обеспечивается наличием автоматического сбора данных (А) для $F_{0^+}^{X^{BC}}.$

$\min d_j = (UA), j = \overline{1, L}$ для $F_{\max^-}^{X^{BC}}.$ Сходимость достигнута на второй итерации.

Континуум эквивалентных мер $C(S_j^1, S_j^2),$ рассчитанный по формуле (2), имеет следующие оценки (при $u=1$):

$$C(S_1, S_2) = 4; C(S_1, S_3) = 2; C(S_1, S_4) = 1.33; C(S_3, S_2) = 5;$$

$$C(S_2, S_4) = 2,5; C(S_3, S_4) = 6.$$

Случай 2. Когда исходный вариант подсистемы соответствует функциональному максимуму $X^{PS_i} \rightarrow F_{\max}^{X^{PS_i}},$ причем $F_{\max}^{X^{PS_i}} = \bigcup F_j^{PS_i} = F_S, j = \overline{1, L},$ то для генерации вариантов с определенной доминантой (случай 1) может быть применена операция направленной мутации следующего вида:

$$\exists(F_{\max}^{X^{PS_i}}) = \begin{cases} (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{Li} | d_{Li}) - (c_j | d_j), d_j \in d^u(t), t \leq T^u \\ (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{Li} | d_{Li}) - (c_j | d_j), d_j \in d^o(t), t \in \overline{T_1 : T_2} \\ (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{Li} | d_{Li}) - (c_j | d_j, \{c_k^p\}), \text{при } (\max d_j), j, k \in L, p \in Y^{PS_{i+1}} \end{cases}$$

где $d^u(t)$ – доминанта, определенная во времени и представляющая собой доминанту устаревающих блоков, перестающую быть доминантой по истечении периода $t \leq T^u$, $d^o(t)$ – нерегулярная доминанта, определенная во временном интервале $t \in \overline{T_1 : T_2}$, при $\max d_j$ определен случай вложенной функциональности, когда от одной родительской хромосомы образуется от одного до нескольких потомков, которые могут относиться к хромосомам иной популяции $p \in Y^{PS_{i+1}}$ (cross-population selection). Сходимость алгоритма обеспечивается ограничением на суммарную оценку функциональности популяции

$$F^{\Sigma} = \sum_{i=1}^N F_i^{X^{PS_i}} \leq [F^D = (F_{\min} + F_{\max} + F_{\min^-} + F_{\min^+} + kF_{\max^-})],$$

где F^D – возможное достижимое значение функциональности популяции, k – коэффициент, определяемый особенностями предметной области.

Рассмотрим описанный алгоритм для генерации вариантов подсистемы обработки. Функциональность исходного варианта подсистемы обработки определяется следующими составляющими, описанными технологическим процессом АИГМС:

$$F_0^{X^{BO}} = \{O(KGM), O(TGM), O(G), O(M), O(GVK), AK, KA, KB, VB(KGM), VB(TGM)\},$$

где $O(KGM)$, $O(TGM)$, $O(G)$, $O(M)$, $O(GVK)$ – обработка данных в форматах КГМ, ТГМ, годовых, многолетних, ГVK; AK – комплексный анализ; KA – автоматический контроль; KB – контроль визуальный; $VB(KGM)$ – ввод данных в формате КГМ; $VB(TGM)$ – ввод данных в формате ТГМ.

Особенностью $F_0^{X^{BO}}$ является то, что исходная функциональность равна $F_{\max}^{X^{BO}}$, поскольку включает все возможные функции подсистемы обработки АИГМС. Поэтому, метод генерации вариантов в данном случае будет отличаться от генерации вариантов для подсистемы сбора АИГМС. Исследуем $F_0^{X^{BO}}$.

В некоторых признаках имеется вложенная интегральная функциональность, связанная с обобщением функций в технологическом процессе, нерегулярность и постепенное отмирание некоторых функций АИГМС в связи с технологической необходимостью. Например, функция ввода данных в таблицы вручную постепенно заменится автоматическим заполнением. Поскольку $F_0^{X^{BO}}$ включает ввод данных вручную из таблиц КГМ, что на настоящий момент времени является устаревшей функцией, то

генерація першого варіанта $F_{0-}^{X^{BO}} = F_{\min}^{X^{BO}}$ буде представлять собою реалізацію функціональності $F_0^{X^{BO}}$ без *ВВ* (*КГМ*), а також без функцій аналізу і обробки даних в ГВК, які не являються складовими функціями ЦГМД.

Континуум еквівалентних мір для варіантів підсистеми обробки даних $C(S_j^1, S_j^2)$, розрахований за формулою (2), має наступні оцінки (при $u=1$): $C(S_1, S_2) = 2,33$; $C(S_1, S_3) = 3$; $C(S_1, S_4) = 3,5$; $C(S_1, S_5) = 7$;

$C(S_1, S_6) = 2$; $C(S_2, S_3) = 2,33$; $C(S_2, S_4) = 9$; $C(S_2, S_5) = 4$; $C(S_2, S_6) = 4$; $C(S_3, S_4) = 3,5$;

$C(S_3, S_5) = 7$; $C(S_3, S_6) = 1$; $C(S_4, S_5) = 8$; $C(S_4, S_6) = 2,33$; $C(S_5, S_6) = 1,5$.

Случай 3. Складним випадком синтезу варіантів є ситуація, коли за вихідний варіант береться $F_0^{X^{PSi}} = F_{\min}^{X^{PSi}}$, априорно визначено максимум функціональності $F_{\max}^{X^{PSi}}$, то генерація описується операцією направленої кросс-популяційної мутації. Реалізується композиція **случаїв 1 і 2**.

Розглянемо описаний алгоритм для генерації варіантів підсистеми зберігання даних. Функціональність вихідного варіанта підсистеми зберігання визначається наступними складовими, описаними технологічним процесом з мінімальною функціональністю виду:

$$F_0^{X^{BCX}} = \{БЭТ, З(БЭТ)\},$$

де *БЭТ* – сховище даних у формі бібліотеки електронних таблиць; *З(БЭТ)* – блок формування запитів у бібліотеці електронних таблиць.

Функціональність $F_{\max}^{X^{BCX}}$ підсистеми зберігання визначається наступними складовими:

$$F_{\max}^{X^{BCX}} = \{БЭТ, З(БЭТ), БД, З(БД), АФ, Ф, \} = \{F_0^{X^{BCX}}, БД, З(БД), АФ, Ф\},$$

де *БД* – сховище даних у формі БД; *З(БД)* – блок формування запитів до БД (інтерфейс); *АФ* – аналіз при фільтрації; *Ф* – фільтрація даних.

Генерація варіантів підсистеми зберігання даних в АІГМС представляє собою трудомістку задачу в зв'язі з вкладеною ієрархічністю входять в технологічний процес функцій, наприклад, ієрархічну організацію інтерфейсів користувача з градаціями по типам запитів: наукових, стандартних і інших.

Континуум еквівалентних мір $C(S_j^1, S_j^2)$, розрахований за формулою (2), вироблявся по альтернативним варіантам і має наступні оцінки (при $u=1$):

$C(S_1, S_2) = 2$; $C(S_1, S_3) = 2 | \infty$; $C(S_1, S_4) = 0,67$; $C(S_1, S_5) = 0,5$; $C(S_1, S_6) = 0,67$;

$C(S_1, S_7) = 0,4 | 0,5$; $C(S_2, S_3) = \infty | 2$; $C(S_2, S_4) = 0,5$; $C(S_2, S_5) = 1$; $C(S_2, S_6) = 0,5$;
 $C(S_2, S_7) = 0,75 | 1$; $C(S_3, S_4) = 0,67 | 0,5$; $C(S_3, S_5) = 0,5 | 1$; $C(S_3, S_6) = 0,67 | 0,5$;
 $C(S_3^*, S_7) = (0,5 | 1)^*$; $C(S_3, S_7^*) = (0,4 | 0,33)^*$; $C(S_4, S_5) = 5$; $C(S_4, S_6) = 2$;
 $C(S_4, S_7) = 2,5 | 5$; $C(S_5, S_6) = 1,33$; $C(S_5, S_7) = 6 | \infty$; $C(S_6, S_7) = 2,5 | 5$.

Запись вида $C(S_j, S_7) = 6 | \infty$; означает, что для подсистем PS_5 и PS_7 мера близости варьируется в первом случае для 1 во втором для 0, то есть возможного наличия или возможного отсутствия признака соответственно. В случае полного совпадения признаков (при остаточном наличии в варианте при реструктуризации или декомпозиции) $C(S_j^1, S_j^2) = \infty$. Особым случаем можно считать расчет $C(S_j^1, S_j^2)$ для PS_3 и PS_7 в этих вариантах присутствует неоднозначность указанного вида. В этих вариантах расчет произведен попарно: $C(S_3^*, S_7) = (0,5 | 1)^*$; $C(S_3, S_7^*) = (0,4 | 0,33)^*$.

Таким образом, окончательно схема технологических отраслевых процессов может быть условно представлена следующим и подмножествами вариантов подсистем:

$$S = \{BC_k, BO_l, BCXm\},$$

где S – АИГМС, BC_k – подмножество вариантов подсистемы сбора, $k = \overline{1,4}$; BO_l – подмножество вариантов подсистемы обработки, $l = \overline{1,6}$; $BCXm$ – подмножество вариантов подсистемы хранения, $m = \overline{1,7}$.

Заключение, выводы, дальнейшие направления исследований. Показанные в статье принципы генерации вариантов подсистем АИГМС МПН могут быть внедрены при проектировании и совершенствовании отраслевой автоматизированной системы сбора, обработки, контроля и анализа гидрометеорологических данных в гидрометеорологических обсерваториях и архивах. Кроме того, принципы генетического алгоритма, связанные с направленной мутацией, а также принципы морфологического синтеза, могут быть применены в проектных процедурах других предметных областей, не связанных с гидрометеорологией, поскольку имеют достаточный уровень формализации.

Дальнейшие исследования проводились в направлении отсеивания вариантов, что позволило получить из множества вариантов размерностью $4 \times 6 \times 7$ – множество размерностью $2 \times 3 \times 2$ и пять вариантов полных систем АИГМС, полученных сочетанием подсистем по различным функциональным нагрузкам. Предполагается развитие предложенного метода в области автоматизированных производственных систем для генерации вариантов их компоновки и расширения функциональных свойств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доронина Ю. В. Автоматизация цикла гидрометеорологических данных / Ю. В. Доронина // Сб. научн. тр. УкрНИГМИ. – К., 1999. – Вып. 247. – С. 250–254.

2. Доронина Ю. В. Выбор оптимальной структуры ИС на основе иерархических моделей / Ю. В. Доронина, В. Я. Копп // Вестник СевНТУ Сер. «Информатика, электроника, связь»: сб. научн. тр. – Севастополь, 2011. – Вып. 114. – С. 67–71.

3. Морфологический синтез. Проблемы автоматизации структурно-параметрического синтеза [Электронный ресурс] / Материалы сайта «Синтез новых и рациональных систем на морфологических множествах». – Режим доступа:

www/ URL: <http://www.structuralist.narod.ru/dictionary/morphsyn.htm/> – Загл. с экрана.

4. Андрейчиков А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике [Текст] / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

5. Паклин Н. Непрерывные генетические алгоритмы – математический аппарат [Электронный ресурс] / Материалы сайта «BaseGroup Labs». – Режим доступа:

www/ URL: http://www.basegroup.ru/library/optimization/real_coded_ga/ – Загл. с экрана.

Дороніна Ю.В., Копп В.Я., Заморьонова Д.В. ЗАСТОСУВАННЯ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ І МЕТОДУ ДО НАПРАВЛЕНОЇ МУТАЦІЇ ДЛЯ ПОРОДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ПІДСИСТЕМИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

Розглядаються принципи генерації варіантів на основі морфологічного синтезу, операторів генетичного алгоритму. Приведено практичне застосування досліджень на прикладі розробки безлічі варіантів гідрометеорологічної системи.

Ключові слова: генерація варіантів, морфологічний синтез, генетичний алгоритм.

Doronina Y.V., Kopp V.Y., Zamoryonova D.V. APPLICATION OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND METHOD TO THE DIRECTED MUTATION FOR GENERATING SUBSYSTEM VARIANTS IN AUTOMATED HYDROMETEOROLOGICAL SYSTEM

Principles of generating variants of genetic algorithm operators on the basis of morphological synthesis are examined. Practical application of researches on the example of developing infinite numbers of variants of the hydrometeorological system is shown.

Keywords: generation of variants, morphological synthesis, genetic algorithm.