

Література

1. Жовтобрюх М.А., Русанівський В.М., Скляренко В.Г. Історія української мови: Фонетика. — К., 1979. — 367 с.
2. Шамхатов О.О., Кримський А.Ю. Нариси з історії української мови та хрестоматія з пам'яток письменської Староукраїнщини XI-XVIII в. — К., 1924. — С.5-134.
3. Плющ П.П. Історія української літературної мови. — К., 1971.
4. Русанівський В.М. Джерела розвитку східнослов'янської літературної мови. — К., 1985.

УДК 004.89:614.841.4

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКТОВАНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА ДОМИНИРОВАНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Доктор технических наук Снитюк В.Е.,
Кучер П.П.

В статье рассмотрена задача комплектования аварийно-спасательной техники, которая становится особенно актуальной в условиях ресурсного дефицита. Предложена формализованная постановка задачи комплектования и разработан метод ее решения, базирующийся на применении принципа доминирования и элементов генетического алгоритма. Определены направления усовершенствования метода, исходя из предоставления протекции перспективным потенциальным решениям задачи.

In this paper the problem of rescue technics acquisition which becomes especially actual in resource deficiency conditions is considered. The formalized statement of acquisition problem is offered and its decision method which is based on application of a domination principle and genetic algorithm elements is developed. Directions of method improvement, proceeding from patronage granting to perspective potential decisions are defined.

Введение. Ориентация на зарубежные формы и организацию аварийно-спасательных работ, а также необходимость перехода от унифицированных форм оказания помощи при пожарах, катастрофах или авариях к некоторой степени их универсализации являются определяющими причинами разработки технологий интеграции ранее отдельно существовавших служб (101, 102, 103, 104). На целесообразность создания службы 112 как аналога американской 911 обратил внимание и президент Украины в своем поручении премьер-министру. Одной из важных задач, сопровождающих процесс такой интеграции, является комплектование аварийно-спасательной техники (КАСТ). Актуальность ее решения обусловлена тем, что в большинстве случаев аварийно-спасательная техника (АСТ) размещается на шасси пожарного автомобиля. Многообразие функций современной АСТ и ее номенклатура указывают на необходимость выбора приемлемого варианта КАСТ как решение задачи оптимизации.

Ранее отдельные аспекты решения задачи КАСТ уже рассматривались авторами. Так, в частности, в работе [1] осуществлена постановка задачи КАСТ как задачи многокритериальной оптимизации, в качестве критериальных функций указаны функциональность, надежность, производительность и цена. Там же рассмотрены проблемы построения интегральной целевой функции и выполнен анализ традиционных методов решения подобных задач, в качестве одного из основных методов решения задачи указано на эволюционное моделирование. Учитывая субъективный характер приоритетов критериальных функций, в статье [2] для их объективизации предложено использовать элементы теории нечетких множеств, что позволило определить приоритеты того или иного варианта комплектования и, соответственно, осуществить выбор.

Рассматриваемая далее задача КАСТ имеет общие аспекты с задачей упаковки в контейнеры [3]. Главное отличие заключается в ее многокритериальности. Если традиционно задачу об упаковке решают по критерию веса или размера (об), то в задаче КАСТ критериев много и, кроме них, существуют ограничения на габаритные размеры элементов АСТ. Очевидно, что составляющие интегральной функции являются в некотором смысле антагонистичными и, кроме того, целевая функция в таком же смысле антагонистична ограничениям на габариты. Среди недостатков ранее рассмотренных методов решения задачи

КАСТ значится и их привязка к фиксированному числу рассматриваемых вариантов, свидетельствующая об ограниченности метода, поскольку количество элементов АСТ различных классов и, следовательно, число их комбинаций довольно значительно, что не позволит произвести оценку каждого варианта комплектования каждым экспертом.

Предложение использовать технологии эволюционного моделирования гипотетически интересно, но конструктивные реализации нагалакиваются на проблемы определения компромисса между целевыми функциями и ограничениями. Предложим метод, позволяющий избежать указанных выше проблем, введя принцип доминирования и используя основные элементы генетического алгоритма.

Препроцессинг исходных данные и формализованные постановки задач. Пусть множество $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ представляет ассортимент АСТ. Каждый элемент множества X принадлежит к одному из классов множества $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, где $k \ll n$. Предположим, что в комплект должно входить оборудование каждого из $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ классов, $m < k$, т.е. необходимо выбрать по одному элементу из множеств $\{X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_m}^1\} \subset C_1, \dots, \{X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_m}^m\} \subset C_m$. Каждому элементу множества X поставим в соответствие совокупность значений: $X_q \rightarrow \langle F_{1q}, F_{2q}, \dots, F_{pq}, a_q, b_q, c_q \rangle$, где F_{iq} — значение i -го критерия оценки q -го элемента, $i = \overline{1, p}$, a_q, b_q, c_q — его габаритные размеры, $q = \overline{1, n}$.

Каждый комплект АСТ K_i содержит элементы множества X , т.е. $K_i \subset X$, где K — максимальное число возможных вариантов, $i = \overline{1, K}$. При этом могут существовать такие комплекты, количество элементов в которых не совпадают, т.е. $\exists i, j, i \neq j: |K_i| \neq |K_j|$. И еще одно требование, не являющееся обязательным, но выполнение которого предпочтительно: в один комплект АСТ не входят два и больше элементов из одного класса, т.е. не существует таких $j, q, p: (X_{jq} \in K_i) \& (X_{pq} \in K_i)$. Такие ограничения значительно сужают пространство возможных решений, и их использование является рациональным при проведении предварительных расчетов.

Не ограничивая общность, предположим, что контейнер один, и он имеет форму прямоугольного параллелепипеда с габаритными размерами a, b и c . Очевидно, что имеют место некоторые эвристики, которые формально представим в виде ограничений:

1. Суммарный объем элементов комплекта АСТ не должен превышать объем контейнера т.е.

$$\forall i \sum_{j=1}^{k_i} (a'_j \cdot b'_j \cdot c'_j) \leq a \cdot b \cdot c, \quad i = \overline{1, K}. \quad (1)$$

2. Ни один габаритный размер ни одного элемента комплекта АСТ не должен превышать максимальный габаритный размер контейнера, т.е.

$$\forall i \max\{a_j, b_j, c_j\} \leq \max\{a, b, c\} \quad \forall j = \overline{1, k_i}. \quad (2)$$

Известно [2], что критериальными функциями, определяющими выбор того или иного комплекта АСТ являются F_1 — функциональность, F_2 — мощность, F_3 — надежность, F_4 — цена, F_5 — функция, интегрирующая в себе неучтенные характеристики. Первая задача заключается в поиске оптимального элемента АСТ в своем классе, т.е.

для $\forall C_l$ необходимо найти

$$\text{Arg max}_l \sum_{j=1}^5 \alpha_j^l F_j(X_l^j), \quad l = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где α'_j — коэффициенты, определяющие значимость F_j .

Прежде, чем указать на предпосылки решения задачи (3), определим некоторые понятия. Так, под надежностью $F_3(X_j)$ будем понимать:

– среднее время наработки на отказ, если оно известно;

– значение $\frac{N_0}{T}$, где N_0 — количество отказов, T — единица времени, если есть статистические данные;

– экспертные предположения, выраженные в количественной форме, если априорная информация отсутствует.

Функциональность определим следующим образом. Пусть N_f — максимальное количество функций,

выполняемое элементом АСТ соответствующего класса. Тогда $\frac{N_f(X_j)}{N_f}$, где $N_f(X_j)$ — количество фун-

кций, выполняемых элементом X_j АСТ, и определяет функциональность X_j . Под мощно-стью, как известно, понимают количество работы, выполненное за единицу времени. Поскольку некоторые элементы АСТ предназначены для выполнения нескольких функций, то необходимо это учесть и определить для каждого элемента АСТ интегральные характеристики.

На следующем этапе осуществим нормирование значений критериальных функций, используя преобразование

$$F_j^{*i} = \frac{F_j^i - F_{j\min}}{F_{j\max} - F_{j\min}}, \quad j = \overline{1,5}, \quad i = \overline{1,|C_q|}, \quad q = \overline{1,m}, \quad (4)$$

где $F_{j\max}, F_{j\min}$ — максимальное и минимальное значение j -й критериальной функции i -го элемента q -го класса оборудования. Нормирование позволит рассматривать безразмерные величины, сравнивать их и строить интегральную критериальную функцию элемента класса.

Такая функция может быть как линейной, так и нелинейной. В первом случае она имеет вид:

$$F_k(X_p) = \sum_{j=1}^5 \alpha_j^k \cdot F_j(X_p), \quad k = \overline{1,m}, \quad p = \overline{1,n}. \quad (5)$$

Для определения коэффициентов α_j^k достаточно иметь таблицу с кортежами

$$T = \langle Id, Class, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F \rangle, \quad (6)$$

где Id — идентификатор элемента АСТ, $Class$ — номер класса, $F_j, j = \overline{1,5}$ — значения критериальных функций (известных, рассчитанных или частично определенных экспертным путем), F — значение интегральной целевой функции, указанное экспертами. Если количество строк в таблице T больше пяти, то применяя метод наименьших квадратов и предполагая выполнение условий его использования, можно определить неизвестные коэффициенты критериальной функции элемента АСТ. Поскольку количество таких элементов значительно больше пяти, то в дальнейшем полученную критериальную функцию можно использовать для оценки их эффективности.

Если предполагаемая критериальная функция нелинейна, то ее идентификация усложняется. Гипотеза о нелинейности критериальной функции скорее всего подтвердится, если адекватность линейной модели

не будет установлена. Известно, что наиболее часто для идентификации нелинейных зависимостей используется метод Брандона [4], метод группового учета аргументов [5], нейронные сети [6] и другие. Реализация каждого из указанных методов имеет свои особенности. При выполнении соответствующих условий их результаты достаточно точны. Далее будем предполагать, что для каждого элемента АСТ известно значение целевой функции $F(X_p)$, $p = \overline{1, n}$.

Известно, что оптимальные частные решения подзадач, составленные вместе, отнюдь не являются оптимальным решением задачи в целом. Поэтому, решения задач (3) являются всего лишь информативным фактором и могут быть использованы при предварительном обсуждении и поиске опорного решения более общей задачи поиска оптимального варианта комплектования АСТ.

Определяя интегральную критериальную функцию комплекта АСТ, необходимо учитывать значимость U того или иного класса оборудования. Найти соответствующие коэффициенты u_k , $k = \overline{1, m}$ можно как зависимости от количества происшествий (N), при которых используется соответствующее оборудование, количества погибших (R), травмированных (P), величины соответствующего материального ущерба (M). Для этого необходимо использовать технологию аналогичную вышеприведенной для определения весовых коэффициентов критериальных функций элементов. Соответствующая таблица будет иметь такие кортежи:

$$T_i = \langle Id_i, N_i, R_i, P_i, M_i, V_i \rangle, \quad i = \overline{1, m}. \quad (7)$$

Интегральная критериальная функция для комплекта АСТ будет такой:

$$F(K_p) = \sum_{j=1}^m u_j \sum_{l=1}^n \left(\sum_{i=1}^5 \alpha_i^l \cdot F_i(X_l) \right) \cdot \chi[(X_l \in C_j) \& (X_l \in K_p)], \quad p = \overline{1, K}. \quad (8)$$

Вторая задача, заключающаяся в поиске оптимального варианта комплектования АСТ, формально представима в виде:

$$\text{найти} \quad \underset{p}{\text{Arg max}} F(K_p) = \underset{p}{\text{Arg max}} \sum_{j=1}^m u_j \sum_{l=1}^n \left(\sum_{i=1}^5 \alpha_i^l \cdot F_i(X_l) \right) \cdot \chi[(X_l \in C_j) \& (X_l \in K_p)]. \quad (9)$$

Метод определения оптимального варианта комплектования АСТ. Задача выбора оптимального или приемлемого варианта комплектования АСТ имеет комбинаторный характер. Для ее решения используем идеи и элементы генетического алгоритма [7]. Основным его элементом является хромосома — потенциальное решение задачи. Как было указано ранее [1], хромосома будет состоять из m фрагментов, каждый из которых будет разделен на три участка. Предположим, что все оборудование АСТ имеет уникальные габаритные размеры и, исходя из размеров, возможно осуществление его идентификации. Тогда каждый из фрагментов отвечает оборудованию определенного класса, а его составляющие — длине, ширине и высоте соответствующего прямоугольного параллелепипеда. Длину хромосомы-решения определим таким образом. Известно, что $|X| = n$, а $|C_j| = n_j$, $j = \overline{1, m}$. Тогда для кодирования элемента АСТ класса C_j необходимо $l_j = \lceil \log_2 n_j \rceil + 1$ позиций. Тогда длина хромосомы-решения

$$L = \sum_{j=1}^m l_j = \sum_{j=1}^m \lceil \log_2 n_j \rceil + m. \quad \text{Поскольку некоторые бинарные представления не будут иметь реальных}$$

аналогов, то возникает информационная избыточность и, как следствие, необходимость реализации соответствующей проверки. Очевидно, что в качестве вспомогательных операций необходимо предусмотреть преобразования

$$Z \rightarrow B, B \rightarrow Z \rightarrow \{a_i, b_i, c_i\}, \quad (10)$$

где Z — множество целых чисел, B — множество бинарных представлений, $\{a_i, b_i, c_i\}$ — габаритные размеры оборудования.

Хромосомы–решения будут такими:

12	3	-----	14
----	---	-------	----

, или

01100	0011	-----	01110
-------	------	-------	-------

.

Метод решения задачи КАСТ, базирующийся на использовании генетического алгоритма имеет такие шаги:

Шаг 1. Выполнить препроцессинг данных, определить основные параметры алгоритма.

Шаг 2. Задав структуру потенциального решения, формируем генеральную популяцию.

Шаг 3. Определить размер выборочной совокупности и сгенерировать ее элементы, имеющие такую структуру:

$$K_j = \langle \text{random}\{1, 2, \dots, n_1\}, \text{random}\{1, 2, \dots, n_2\}, \dots, \text{random}\{1, 2, \dots, n_m\} \rangle, j = \overline{1, H}.$$

Шаг 4. Для каждого потенциального решения — комплекта АСТ $K_j, j = \overline{1, H}$ найти значения интег-

ральной целевой функции (fitness-function) F_j и вычислить разность $V_j = a \cdot b \cdot c - \sum_{k=1}^m v_k$, указывающую

на объем свободного места после заполнения контейнера, $v_k, k = \overline{1, m}$ — объем, занимаемый k -м элементом.

Шаг 5. Выбрать два решения K_i и K_j с вероятностями, пропорциональными значениям их целевых функций. Рекомбинацию реализовать одним из следующих способов.

Шаг 5.1. Разыграть случайное число $\beta \in \{1, 2, \dots, \prod_{l=1}^m n_l - 1\}$, в соответствующей точке разорвать хромосомы–решения K_i и K_j и обменять их частями. Получим два решения-потомки K_i^* и K_j^* .

Шаг 5.2. Разыграть m случайных чисел $\beta_l \in \{1, 2, \dots, n_l\}, l = \overline{1, m}$ и разорвать хромосомы–решения K_i и K_j в соответствующих m точках и обменять фрагменты — элементы АСТ частями, получив решения K_i^* и K_j^* .

Шаг 6. Поместить решения K_i^* и K_j^* в промежуточную выборку, предварительно с вероятностью $P_m \approx 0,005$ осуществив над K_i и K_j мутацию одним из следующих способов.

Шаг 6.1. Разыграть случайное число $\gamma \in \{1, 2, \dots, \prod_{l=1}^m n_l\}$ и инвертировать соответствующий бит.

Шаг 6.2. Разыграть случайные числа $\gamma_l \in \{1, 2, \dots, n_l\}, l = \overline{1, m}$ и инвертировать соответствующие биты.

Шаг 7. Выполнив шаги 5 и 6 H раз полностью сформировать промежуточную выборку. Среди элементов начальной выборки и промежуточной выборки определить лучшие H решений, исходя из значений целевой функции, и сформировать из них выборку следующего поколения.

Шаг 8. Если не выполнен критерий остановки, то перейти на шаг 4, иначе — конец алгоритма.

Реализация алгоритма имеет некоторые особенности. Представим их в виде замечаний.

Замечание 1. В предложенном методе реализован принцип доминирования, в соответствии с которым более приоритетным является решение, имеющее большую эффективность, несмотря на габаритные размеры комплекта АСТ.

Замечание 2. Значения V_j могут использоваться как значения целевой функции, т.е. целевая функция представима как разность

$$F^* = F_j - \eta / V_j, \quad (11)$$

где η — коэффициент, указывающий на вес функции штрафа в сравнении с эффективностью комплекта АСТ.

Замечание 3. Вычисление коэффициента η сопряжено с анализом дополнительных факторов предметной области и в зависимости от них значение η может быть разным.

Замечание 4. Реализация рекомбинации разными способами имеет свои особенности. Если большинство вариантов КАСТ, исходя из значений целевой функции, близки один к другому, то целесообразно использовать способ, реализуемый на шаге 5.2, поскольку это позволит усилить рассматриваемое разнообразие вариантов за меньшее время и определить оптимальное решение. Если же варианты КАСТ имеют некоторым образом выраженные оптимальные подмножества, то тогда рационально остановиться на шаге 5.1, что позволит избежать разрушений близких и оптимальных вариантов и уменьшить время вычислений, поскольку этот фактор для генетических алгоритмов важен.

Замечание 5. Шаги метода можно модифицировать, усилив его вычислительные характеристики. В частности, перспективным представляется поиск оптимального варианта с протекцией. Реализовать его можно таким образом. Осуществляем одноточечную рекомбинацию (шаг 5.1). Сравниваем $F(K_j)$ и $F(K_j)$ с $F(K_j^*)$ и $F(K_j^*)$. Если

$$\max_{p, q \in \{1, J\}} |F(K_p) - F(K_q^*)| < \delta, \quad (12)$$

где δ — достаточно малое заданное число, то элемент класса, которому соответствует точка рекомбинации, не оказывает значительного влияния на интегральную целевую функцию и от его дальнейшего участия в процедуре рекомбинации можно отказаться.

Заключение. Задача КАСТ является слабоструктурированной и сложноформализуемой, а в условиях финансового и ресурсного дефицита — безусловно актуальной. Приведенное в статье представление и решение задачи является лишь одним из возможных. Его адекватность следует из полиэкстремального характера целевой функции и табличного характера исходных данных. Известно, что использование классических методов, базирующихся на интегро-дифференциальном исчислении проблематично, если не невозможно. Потому эволюционные технологии, в основе которых лежит случайный, но направленный поиск являются едва ли не единственным способом решить поставленную задачу. Заметим, что в задаче КАСТ значительное внимание уделено построению целевой функции и предложенная структура открыта к внесению изменений и дополнений. В перспективе необходимо решить задачу визуального моделирования процесса упаковки АСТ, поскольку полученные результаты указывают только на возможность существования оптимального варианта комплектования АСТ, но не дают ответ на вопрос о том, каким образом можно осуществить его упаковку в контейнер.

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о значительном преимуществе разработанного метода по сравнению с известными методами главного критерия, идеальной точки и других, результаты которых носят по сравнению с разработанным методом, скорее предварительный характер.

Литература

1. Снитюк В., Кучер П. Информационно-аналитические модели и эволюционные аспекты решения задачи комплектования // Искусственный интеллект — 2009. — № 4. — С. 268-273.
2. Кучер П.П., Снитюк В.Е. Комплектование аварийно-спасательной техники — задача нечеткой многокритериальной оптимизации // АСУ и приборы автоматики. — 2009. — Вып.149. — С. 60-65.
3. Lodi A., Martello S., Vigo D. Recent advances on two-dimensional bin packing problems. Discrete Appl. Math., 2002. — Vol. 123. — Pp. 379-396.
4. Чавкин А. М. Методы и модели рационального управления в рыночной экономике / А. М. Чавкин. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 320 с.
5. Ивахненко А. Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А. Г. Ивахненко. — К.: Техника, 1975. — 312 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. — М.: Вильямс, 2006. — 1104 с.
7. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence / J. H. Holland. — London: Bradford book edition, 1994. — 211 p.

УДК 669.75.051/054

СЕНСИБІЛІЗАТОРИ ФОТОПРОВІДНОСТІ ПОЛІВІНІЛКАРБАЗОЛУ

Кандидат хімічних наук Березіна Н. О.

У статті розглянуто можливості використання телурорганічних сполук (ТОС) для сенсibilізації фотопровідності у полівінілкарбазолу (ПВК).

In the article the possibility of using telurorhanichnyh compounds (TOC) for the sensitization of photoconductivity in polivinylkarbazolu (PVCs).

Як було показано раніше, для сенсibilізації фотопровідності полімерів до видимої та ближньої ІЧ областей спектру запропоновано велику кількість органічних сполук різних класів: барвники (ксантенові, триарилметанові, акридинові, тіазинові, пірилієві та ін.), нітровані конденсовані ароматичні вуглеводні, ангідриди кислот, хінони [1, 2].

Однак досягнута в результаті їх використання світлочутливість органічних фотонапівпровідників недостатня для практичних цілей. Тому пошук нових класів сенсibilізаторів залишається актуальним.

Вже на зорі розвитку електрофотографічної техніки було з'ясовано, що селенові пластини значно збільшують свою як інтегральну, так і спектральну фоточутливість при додаванні декількох процентів телуру. Ця обставина спонукала нас дослідити можливості використання телурорганічних сполук (ТОС) для сенсibilізації фотопровідності у полівінілкарбазолу (ПВК).

В таблиці наведені формули ТОС, а також U_n – початковий потенціал поверхні зразка (зразки заряджали до однакового потенціалу 400 В, однак не для всіх це можливо); v_n^t – початкова швидкість темної розрядки, яку отримували диференціюванням початкової ділянки експериментальної кривої темної розрядки шару; $v_{\text{вф}}^n$ – швидкість світлової розрядки, отримана аналогічно при опроміненні зразків УФ випроміненням ртутної лампи ДРШ-250 з світлофільтром УФС-1 (інтенсивність $L = 0,8 \text{ Вт/м}^2$); $v_{\text{во}}^n$ – швидкість світлової розрядки при опроміненні зразків інтегральним світлом лампи розжарювання з теплофільтром ($L = 1 \text{ Вт/м}^2$). Для порівняння наведені дані для ПВК з еталонним сенсibilізатором 2,4,7-тринітрофлуореноном.

Аналіз отриманих результатів показав, що найкращі сенсibilізуючі властивості мають діарилтелурдигалогеніди (I-III), 10,10-дибромтелурксантон (XXII) і о-бензилзаміщений фенілтелуртригалогенід (VIII). Шари ПВК, які містять інші арилтелуртригалогеніди (IV-VII), подібно до перхлоратів телураксантенилія (XXIII-XXV), мають погані зарядні характеристики. Тетраорганозаміщені телура (IX-XI) є малоефективними сенсibilізаторами.