SECTION II. INFORMATICS AND COMPUTER TECHNOLOGY

Борзова А.С., Муха В.В.

Алгоритмизация принятия решений при многовариантном выборе структуры цифрового управления логистическим процессом с использованием бикритериальной оптимизации

*Московский государственный технический университет гражданской авиации
(Россия, Москва)*

*Воронежский государственный технический университет
(Россия, Воронеж)*

doi: 10.18411/gqws-01-2022-11

Аннотация

В статье предлагается алгоритмизация принятия решений при многовариантном выборе структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе с использованием бикритериальной оптимизации. Многовариантность выбора является одной из характерных особенностей цифровизации логистического процесса. Разнообразие вариантов определяется структурой взаимодействия цифровых средств управления, используемых на уровне управляющего центра и объектов организационной системы. При этом возможны два фиксированных варианта структуры управления. Централизованное и децентрализованное. Необходимость выбора наилучшего варианта приводит к бикритериальной оптимизационной модели с ограничениями на множестве альтернативных переменных. Для алгоритмизации принятия управленческого решения на основе построенных оптимизационных моделей целесообразно использовать трехуровневый итерационный процесс рандомизированного поиска, совмещенный с экспертным оцениванием на основе визуальных образов.

Ключевые слова: логистический процесс, организационная система, цифровое управление, оптимизация, рандомизированный поиск, визуальное экспертное оценивание.

Рассмотрим логистический процесс в организационной системе как последовательную совокупность действий, осуществляемых управляющим центром при внутреннем движении результатов деятельности объектов организационной системы $O_i, i = \overline{1, I}$, участвующих в логистических цепочках, и доставки этих результатов потребителям. Таким образом, логистический процесс является управляемым и характеризуется с одной стороны внутрисистемными связями, а с другой – связями с внешней средой [1]. Локальные действия управляющего центра по перемещению результатов деятельности i -го объекта, представляет собой $r = \overline{1, R}$ элементов логистического процесса.

Современный логистический процесс в организационной системе строится исходя из принципов и тенденций развития общества, основным трендом развития которого является цифровизация [2,3].

В условиях перехода к цифровому управлению логистическим процессом возникает необходимость оптимального выбора структуры трехуровневого взаимодействия цифровых платформ, на промежуточном уровне которого формируются кластеры логистической цепочки [4,5].

Предложено формализовать выбор структуры гибкого кластерного взаимодействия цифровых средств с использованием альтернативных переменных. В случае варьирования количеством кластеров запишем дискретное число $M \leq 8$ в двоичной форме через альтернативные переменные

$$\begin{aligned} x_1 &= \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_3 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, \\ M &= x_1 + 2x_2 + 4x_3. \end{aligned} \quad (1)$$

Для определения объектов $O_i, i = \overline{1, I}$, управление логистическим процессом которых основано на объединении в m -й кластер введем следующие переменные

$$x_{im} = \begin{cases} 1, & \text{если цифровое средство управления} \\ & \text{логистическим процессом } i - \text{го объекта} \\ & \text{включается в } m - \text{й кластер,} \\ 0, & \text{в противном случае, } i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}. \end{cases}$$

Оптимальный выбор варианта структуры осуществляется с учетом целого ряда экономических, временных и надежностных показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$. В ряде случаев на множестве $j' = \overline{1, J'}$ удастся выделить два основных противоречивых показателя $\Psi_{j'_1}$ и $\Psi_{j'_2}$, компромисс между которыми с экспертами управляющего центра позволяет определить оптимальный вариант кластерной структуры.

Тогда имеем следующую модель бикритериальной оптимизации:

— при принятии решений:

$$\begin{aligned} \Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) &\rightarrow extr, \Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \\ \sum_{m=1}^M x_{im} &= 1, i = \overline{1, I}, \\ x_1 &= \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_3 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_{im} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}; \end{aligned} \quad (2)$$

— при фиксированных граничных требованиях:

$$\begin{aligned} \Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) &\rightarrow extr, \Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \\ \Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) &\leq \Psi_{j'}^0, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, \\ \sum_{m=1}^M x_{im} &= 1, i = \overline{1, I}, \\ x_1 &= \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_3 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_{im} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M}; \end{aligned} \quad (3)$$

— при вариативных граничных требованиях:

$$\begin{aligned} \Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) &\rightarrow extr, \Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr, \\ \Psi_{j'}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) &\leq \Psi_{j'}^0(x_{1j'}, x_{2j'}, x_{3j'}), j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2, \\ \sum_{m=1}^M x_{im} &= 1, i = \overline{1, I}, \\ x_1 &= \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_3 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_{im} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, i = \overline{1, I}, m = \overline{1, M} \\ x_{1j'} &= \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_{2j'} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, x_{3j'} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, j' = \overline{1, J'}, j' \neq j'_1, j' \neq j'_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Алгоритм принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом с использованием бикритериальной оптимизационной модели (2) построим путем объединения следующих итерационных алгоритмических схем [6]:

- вероятностного оценивания значений альтернативных переменных (1) при оптимизации по критериям $\Psi_{j'_1}$ и $\Psi_{j'_2}$, вариации которых вычисляются на основе имитационного моделирования [7];
- вероятностного оценивания степени привлечения к поиску оптимального структурного решения критериев $\Psi_{j'_1}'$, $\Psi_{j'_2}'$;
- поиска множества доминирующих структурных решений аддитивной свертке Ψ критериев $\Psi_{j'_1}'$, $\Psi_{j'_2}'$;
- верификационного моделирования на множестве доминирующих вариантов и выбора окончательного структурного решения по совокупности показателей $\Psi_{j'}, j' = \overline{1, J'}$.

Компромиссное решение предложено находить с использованием визуальной экспертной информации, основанной на графическом образе представления соотношения вероятностей привлечения к поиску критериев Ψ_{j_1}, Ψ_{j_2}

$$P_{j_1} = P(\tilde{j} = j_1), P_{j_2} = P(\tilde{j} = j_2), P_{j_1} + P_{j_2} = 1$$

в виде отрезка на плоскости с координатами (P_{j_1}, P_{j_2}) , соединяющего точки $(P_{j_1} = 1, P_{j_2} = 0)$ и $(P_{j_1} = 0, P_{j_2} = 1)$, с определенным его разбиением на $2B$ равных частей. Каждой из этих частей присваивается номер $b = \overline{1, B}$, причем все части, лежащие выше точки с координатами $(0,5;0,5)$, пронумерованы положительными числами $1, 2, \dots, B$, а части лежащие ниже этой точки, отрицательными $-1, -2, \dots, -B$.

На основе значений вероятностей $P_{j'_1}^{k_2}, P_{j'_2}^{k_2}, P_{j'_1}^{k_2} + P_{j'_2}^{k_2} = 1$ определяется номер критерия j'_1 или j'_2 и решается с использованием рандомизированной схемы [8] задача оптимизации $\Psi_{j'_1}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr$ или $\Psi_{j'_2}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) \rightarrow extr$ с использованием $\Psi_{j'_1}^{k_2}, \Psi_{j'_2}^{k_2}$.

Эксперт дает визуальную оценку степени неравнозначности влияния критериев $\Psi_{j_1}^{k_2}, \Psi_{j_2}^{k_2}$ на поиск оптимального управленческого решения (равнозначное влияние принимается на первой итерации $P_{j_1}^1 = 0,5; P_{j_2}^1 = 0,5$). Если эксперт указывает точку с номером $b_1^{k_2}$, значения вероятностей корректируются для $(k_1 + 1)$ -й итерации

$$P_{j'_1}^{k_2+1} = \frac{P_{j_1}^{k_2} + \beta^{k_2+1} \frac{b_1^{k_2}}{B}}{1 + \beta^{k_2+1} \frac{b_1^{k_2}}{B}}, P_{j'_2}^{k_2+1} = 1 - P_{j'_1}^{k_2+1},$$

где β – величина шага изменения значения вероятности

$$\beta^{k_2+1} = \beta^{k_2} \exp \left[\frac{1}{k_2} \text{sign}(b_1^{k_2-1} b_1^{k_2}) \right].$$

В случае положительного значения $b_1^{k_2} > 0$, вероятность значимости критерия Ψ_{j_1} увеличивается, а критерия Ψ_{j_2} уменьшается; при $b_1^{k_2} < 0$, вероятность значимости критерия Ψ_{j_1} уменьшается, а критерия Ψ_{j_2} увеличивается. Для изменения величины шага учитываются визуальные оценки экспертов на двух соседних итерациях.

Если на K_2 -й итерации выполняются условия

$$\left| P_{j'_1}^{K_2} - P_{j'_1}^{K_2-1} \right| \leq \delta, \left| P_{j'_2}^{K_2} - P_{j'_2}^{K_2-1} \right| \leq \delta,$$

где $\delta > 0$ – малое число, то окончательное управленческое решение определяется на основе аддитивной свертки критериев оптимизации

$$F(x_1, x_2, x_3, x_{im}) = P_{j'_1}^{K_2} \widehat{\Psi_{j'_1}}(x_1, x_2, x_3, x_{im}) + P_{j'_2}^{K_2} \widehat{\Psi_{j'_2}}(x_1, x_2, x_3, x_{im})$$

с использованием итерационного процесса $k_1 = 1, 2, \dots$.

Останов первого итерационного процесса осуществляется при $k_1 = K_1$, если выполняется одно из условий для каждой альтернативной переменной x :

$$P_x^{K_1} \geq 1 - \varepsilon' \text{ или} \quad (5)$$

$$P_x^{K_1} \leq \varepsilon''. \quad (6)$$

В случае выполнения условия (5) оптимальное решение $x^* = 1$, а условия (6) - $x^* = 0$.

Определяются:

$$\begin{aligned} x_1^* &= \begin{cases} 1, \text{ если выполняются условия (5), (6) и } P_{x_1}^{K_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases} \\ x_2^* &= \begin{cases} 1, \text{ если выполняются условия (5), (6) и } P_{x_2}^{K_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases} \\ x_3^* &= \begin{cases} 1, \text{ если выполняются условия (5), (6) и } P_{x_3}^{K_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае;} \end{cases} \end{aligned}$$

$$x_{im}^* = \begin{cases} 1, \text{ если выполняются условия (5), (6) и } P_{xim}^{K_1} \leq \xi, \\ 0, \text{ в противном случае, } i_m = \overline{1, I_m}, m = \overline{1, M}. \end{cases}$$

Алгоритмизация принятия решения при выборе на множестве варьируемых вариантов кластерной структуры цифрового управления логистическим процессом дает эффективный результат при использовании бикритериальной оптимизационной модели, приоритетные показатели для формирования которой предлагают эксперты управляющего центра. Введение альтернативных переменных, характеризующих кластерную структуру, позволяет перейти к построению двух взаимосвязанных итерационных процессов адаптивного поиска: вероятностных характеристик этих переменных с вычислением значений показателей по результатам имитационного моделирования информационного обмена между цифровыми платформы и вероятностей привлечения критериев к поиску на основе визуальных оценок эксперта.

1. Еловой И.А., Лебедева И.А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: (теория, методология, организация). Минск: Право и экономика, 2011. – 460 с.
2. Формирование цифровой экономики в промышленности: новые вызовы / под ред. А.В. Бабкина. - СПб: Издательство Политехнического университета, 2018. – 660 с.
3. Логунова И.В. Модель логистической системы предприятия в условиях цифровой экономики / И.В. Логунова, Д.В. Трощенко. Эконом инфо. - 2019. - Т16, N2-3. - С. 81-86.
4. Оптимизация цифрового управления в организационных системах. Коллективная монография / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, О.Н. Чопоров [и др.]; под общей редакцией Я.Е. Львовича. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2021. – 191 с.
5. Гелисханов И.З. Цифровые платформы в практике: сущность, модели, тенденции развития / И.З. Гелисханов, Т.Н. Юдина, А.В. Бабкина // Научно-технические вероятности СПбГПУ: Экономические науки. – 2018.-Т. ||, N6. – с. 22-26.
6. Львович И.Я. Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения: монография / И.Я. Львович, Я.Е. Львович, В.Н. Фролов. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2016. – 444 с.
7. Снапелев Ю.М. Моделирование и управление в сложных системах / Ю.М. Снапелев, В.А. Старосельский. – М.: Сов. радио, 1974. – 264 с.
8. Львович Я.Е. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде: монография / Я.Е. Львович, И.Я. Львович. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2010. – 140 с.