

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.94

doi: 10.30987/2658-6436-2024-1-42-48

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Валерий Владимирович Меньших¹, Анна Викторовна Лихобабина²✉

^{1, 2} Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия.

¹ menshikh@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9235-4997>.

² podolskihanna@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0003-0223-867X>.

Аннотация. Рассматривается задача моделирования процессов подготовки (переподготовки) специалистов для своевременного учёта изменений, происходящих в сфере их профессиональной деятельности. При этом учитывается, что направляемые на подготовку (переподготовку) специалисты могут обладать различным набором первоначальных компетенций. Вследствие этого в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, могут существовать различные программы по подготовке (переподготовке), ориентированные на различный контингент обучающихся. Однако эти организации имеют ограниченные возможности по осуществлению деятельности рассматриваемого вида. Кроме того, указанные программы могут существенно различаться по затратам на их освоение как вследствие стоимости используемых ресурсов образовательной организации, так и стоимости командирования специалистов направляющей организацией. Поэтому в организациях, направляющих своих специалистов на подготовку (переподготовку), возникает необходимость выбора оптимального состава программ подготовки (переподготовки) специалистов, обеспечивающих получение каждым специалистом наибольшего количества новых компетенций при заданном ограничении на финансирование этой деятельности. Для решения данной задачи разработана математическая модель и обоснован выбор численного метода, основанного на использовании генетического алгоритма. С этой целью предложены применимые для решения данной задачи описание генов, хромосом и особей, правило формирования популяции, функция оценки приспособленности особей, операция селекции, кроссовер и способ мутации особей. Проведённые численные эксперименты показали высокую эффективность данного численного метода.

Ключевые слова: подготовка (переподготовка) специалистов, программы подготовки, компетенции, модель оптимизации выбора вариантов подготовки, численный метод, генетический алгоритм

Для цитирования: Меньших В.В., Лихобабина А.В. Моделирование процессов оптимизации выбора программ подготовки и переподготовки специалистов с использованием генетического алгоритма // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №1 (23). С. 42-48. doi: 10.30987/2658-6436-2024-1-42-48.

Original article

Open Access Article

SIMULATING OPTIMIZATION PROCESSES FOR THE SELECTION OF TRAINING AND RETRAINING PROGRAMS FOR SPECIALISTS USING A GENETIC ALGORITHM

Valery V. Menshikh¹, Anna V. Likhobabina²✉

^{1, 2} The Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Voronezh, Russia

¹ menshikh@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9235-4997>.

² podolskihanna@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0003-0223-867X>.

Abstract. The article considers the problem of modelling the processes of training (retraining) specialists to take into account changes in their professional field in a timely manner. It is considered that specialists sent for training (retraining) may have a different set of initial competencies. As a result, organizations engaged in educational activities may have various training (retraining) programs aimed at a different contingent of students. However, these

organizations have limited capacity to carry out the activities of this type. In addition, these programs may vary significantly in terms of their development cost, both due to the cost of resources used by the educational organization and the cost of sending specialists by the dispatching organization. Therefore, organizations forwarding their specialists for training (retraining) need to select the optimal composition of training (retraining) programs for experts, providing each specialist with the greatest number of new competencies within a given constraint on financing this activity. To solve this problem, a mathematical model is developed and the choice of a numerical method based on using a genetic algorithm is substantiated. For this purpose the authors propose descriptions of genes, chromosomes, and individuals, as well as rules for forming a population, an evaluation function for individuals' fitness, a selection operation, a crossover, and a method of individuals' mutation. The conducted numerical experiments show the high efficiency of this numerical method.

Keywords: specialists training (retraining), training programs, competencies, optimization model of training option choice, numerical method, genetic algorithm

For citation: Menshikh V.V., Likhobabina A.V. Simulating Optimization Processes for the Selection of Training and Retraining Programs for Specialists Using a Genetic Algorithm. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 1 (23). pp. 42-48. doi: 10.30987/2658-6436-2024-1-42-48.

Введение

Высокая динамика технологических, информационных и иных процессов в современных условиях приводят к необходимости постоянного совершенствования профессиональной подготовки и переподготовки специалистов, работающих в соответствующих сферах деятельности, что позволяет своевременно учитывать изменения в их профессиональной деятельности [1, 2]. Особую актуальность этот вопрос имеет для специалистов правоохранительных органов, которые должны своевременно и адекватно реагировать на появление новых угроз в сфере безопасности [3, 4].

Одним из способов такой подготовки является организация специальных программ подготовки и переподготовки специалистов [5 – 7].

При этом возникают следующие проблемы:

– цели программ подготовки сотрудников могут не в полной мере совпадать с целями организации, направляющей сотрудников, вследствие этого часть времени и ресурсов может быть направлена на получение сотрудниками недостаточно актуальных компетенций;

– каждая программа подготовки направлена на получение определённого набора компетенций, в то время как некоторые направляемые сотрудники уже могут обладать некоторыми из этих компетенций, что также приводит к непроизводительному расходованию времени и ресурсов;

– реализация каждой программы подготовки требует определённых финансовых затрат, а каждая организация, направляющая специалистов на подготовку (переподготовку), обладает ограниченными возможностями финансирования, что может приводить к тому, что не все направляемые сотрудники получают полный набор требуемых компетенций.

В связи с этим возникает задача такого распределения направляемых организацией сотрудников по имеющимся программам подготовки, чтобы максимизировать возможности получения ими новых необходимых компетенций в условиях ограничений на финансирование их подготовки (переподготовки).

В настоящее время указанная задача, как правило, решается эвристически. В данной работе разрабатывается математическая модель и численный метод решения задачи на основе использования генетического алгоритма [8, 9].

Модель процесса получения компетенций при реализации программ подготовки специалистов

Обозначим: $P = \{p_1, \dots, p_{|p|}\}$ – множество программ получения компетенций;

$K = \{k_1, \dots, k_{|k|}\}$ – множество актуальных компетенций, получение которых обеспечивается всеми программами; α_i – важность компетенции k_i с точки зрения организации,

направляющей специалистов; $l_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если полученная компетенция } k_i \\ \text{обеспечивается программой } p_j; \\ 0, \text{ если иначе;} \end{cases}$ c_{ij} – финансовые

затраты на получение компетенции k_i одним специалистом при подготовке по программе p_j ; \hat{C} – ограничение по финансированию подготовки всех специалистов; $S = \{s_1, \dots, s_{|S|}\}$ – множество специалистов, направляемых на подготовку;

$n_{ii} = \begin{cases} 1, \text{ если } s\text{-й специалист обладает компетенцией} \\ k_i \text{ до начала подготовки;} \\ 0, \text{ если иначе;} \end{cases}$

Введем переменные: $x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если специалист } s_i \text{ направляется} \\ \text{на подготовку по программе } p_j; \\ 0, \text{ если иначе;} \end{cases}$

Тогда $\sum_{i=1}^{|S|} x_{ij}$ – число специалистов, направленных на подготовку по программе p_j ,

$l_{ij} x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если после подготовки по программе } p_j \\ \text{специалист } s_i \text{ обладает компетенцией } k_i; \\ 0, \text{ если иначе;} \end{cases}$

$\sum_{j=1}^{|P|} l_{ij} x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если специалист } s_i \text{ после подготовки} \\ \text{обладает компетенцией } k_i \text{ при условии, что} \\ \text{он проходил подготовку по одной программе;} \\ 0, \text{ если иначе;} \end{cases}$

$\max \left(0; \sum_{j=1}^{|P|} l_{ij} x_{ij} - n_{ii} \right) = \begin{cases} 1, \text{ если специалист } s_i \text{ после подготовки} \\ \text{получил новую компетенцию } k_i; \\ 0, \text{ если иначе;} \end{cases}$

В таком случае эффективности подготовки специалиста S_t по одному направлению определяется выражением:

$$\sum_{i=1}^{|K|} \alpha_i \max \left(0; \sum_{j=1}^{|P|} l_{ij} x_{ij} - n_{ii} \right),$$

а всех специалистов:

$$\sum_{i=1}^{|S|} \sum_{i=1}^{|K|} \alpha_i \max \left(0; \sum_{j=1}^{|P|} l_{ij} x_{ij} - n_{ii} \right).$$

Финансовые затраты на подготовку всех специалистов определяются выражением:

$$\sum_{j=1}^{|P|} \sum_{i=1}^{|K|} c_{ij} l_{ij} \sum_{i=1}^{|S|} x_{ij}.$$

Обозначим $X = \{x_{11}, \dots, x_{|S||P|}\}$. В таком случае модель оптимизации распределения специалистов по программам обучения имеет вид:

$$X^* = \{x_{11}^*, \dots, x_{|S||P|}^*\} = \arg \max \sum_{i=1}^{|S|} \sum_{i=1}^{|K|} \alpha_i \max \left(0; \sum_{j=1}^{|P|} l_{ij} x_{ij} - n_{ii} \right) \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^{|P|} \sum_{i=1}^{|K|} c_{ij} l_{ij} \sum_{t=1}^{|S|} x_{ij} \leq \hat{C}; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{|P|} \sum_{t=1}^{|S|} x_{ij}^* = 1, \quad (3)$$

где \hat{C} – ограничение по финансированию подготовки всех специалистов; (3) – условие подготовки специалиста только по одному направлению.

В условиях ограничений на финансирование может оказаться, что после подготовки некоторые специалисты будут обладать не всеми требуемыми компетенциями. В этом случае:

$$1 - \text{sign} \left(\sum_{j=1}^{|P|} l_{ij} x_{ij}^* + n_{ij} \right) = \begin{cases} 1, & \text{если специалист } s_i \text{ после подготовки} \\ & \text{не обладает компетенцией } k_i; \\ 0, & \text{если иначе;} \end{cases}$$

$\sum_{i=1}^{|K|} \alpha_i \left(1 - \text{sign} \left(\sum_{j=1}^{|P|} l_{ij} x_{ij}^* + n_{ij} \right) \right)$ – величина, характеризующая недостаточность в компетентности

специалиста s_i после обучения, а $\sum_{t=1}^{|S|} \sum_{i=1}^{|K|} \alpha_i \left(1 - \text{sign} \left(\sum_{j=1}^{|P|} l_{ij} x_{ij}^* + n_{ij} \right) \right)$ – величина,

характеризующая недостаточность компетентности всех специалистов после обучения при заданном объеме финансирования \hat{C} .

Описание численного метода

Модель (1) – (3) представляет собой задачу нелинейного бинарного программирования. Эффективные методы решения этой задачи основаны на использовании различных эволюционных методов оптимизации и, в частности, генетического алгоритма, имеющего вычислительную сложность $O(n^3)$ в отличие от других оптимизационных алгоритмов, имеющих, как правило, экспоненциальную сложность [10].

Обратимся к описанию данного метода. Все реализации генетического алгоритма отличаются [10 – 11] описанием генов, хромосом и особей; правилом формирования популяции; заданием функции приспособленности особей; операцией селекции; описанием способа скрещивания особей (кроссовера); способом мутации особей.

Основная идея заключается в том, чтобы моделировать процесс выбора вариантов программ подготовки специалистов как эволюционный процесс, в котором хромосомы, представляющие собой наборы генов, описывают выбор одного варианта программы подготовки одного специалиста, каждая особь представляет собой один вариант распределения всех специалистов по программам подготовки.

В этом случае особи удобно задавать матрицами:

$$Q = (q_{ij})_{\substack{i=1, \dots, |S| \\ j=1, \dots, |P|}}$$

где $q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если специалист } s_i \text{ направлен на программу } p_j; \\ 0, & \text{если иначе;} \end{cases}$

Элементы матрицы представляют собой гены, а строки – хромосомы. При этом выполняется условие, что в каждой строке только одна 1:

$$\forall t \sum_{j=1}^{|P|} q_{tj} = 1. \quad (4)$$

Начальная популяция формируется случайным образом. Селекция заключается в том, что в новое поколение отбирается заданное количество особей, имеющих наибольшее

значение функции приспособленности и отвечающих финансовым ограничениям на подготовку специалистов.

Функция приспособленности описывается следующим образом:

каждой матрице Q соответствует матрица $R = (r_{ii})_{\substack{i=1,\dots,|S| \\ i=1,\dots,|K|}}$,

где $r_{ii} = \begin{cases} 1, & \text{если специалист } s_i \text{ получает компетенцию } k_i; \\ 0, & \text{если иначе;} \end{cases}$.

Будем считать, что до начала подготовки специалисты могут владеть определенным набором компетенций, который задан матрицей:

$$R^0 = r_{ii}^0_{\substack{i=1,\dots,|S| \\ i=1,\dots,|K|}},$$

где $r_{ii}^0 = \begin{cases} 1, & \text{если специалист } s_i \text{ имеет компетенцию } k_i; \\ 0, & \text{если иначе;} \end{cases}$.

Определим матричную операцию \oplus следующим образом:

$$\tilde{R} = R \oplus R^0, \quad \tilde{R} = (\tilde{r}_{ii})_{\substack{i=1,\dots,|S| \\ i=1,\dots,|K|}},$$

где элементы матрицы \tilde{R} определяются с помощью операции \otimes :

$$1 \otimes 1 = 1; 0 \otimes 0 = 0; 1 \otimes 0 = 0 \otimes 1 = 1 \vee 0.$$

Это означает, что $\tilde{r}_{ii} = 1$ тогда и только тогда, когда специалист s_i либо изначально имел компетенцию k_i и не получал ее по программе p_j , либо изначально не имел компетенции k_i и получил ее по программе p_j .

Следовательно, финансовые средства на получение специалистом s_i компетенции k_i были использованы эффективно.

В таком случае, в качестве функции приспособленности целесообразно использовать $\sum_{i=1}^{|K|} l_i \sum_{t=1}^{|S|} \tilde{r}_{it}$, в которой учтены наличие и важности компетенций, имеющихся у специалистов, а также целесообразность использования финансовых средств.

Финансовые ограничения на подготовку всех специалистов по программам, соответствующим особи, описываемой матрицей R , определяются следующим образом:

$$\sum_{j=1}^{|P|} \sum_{i=1}^{|K|} c_{ij} l_{ij} \sum_{t=1}^{|S|} r_{it} \leq \hat{C}.$$

Обратимся к описанию кроссовера. Пусть две особи заданы матрицами:

$$Q^1 = (q_{ij}^1)_{\substack{i=1,\dots,|S| \\ j=1,\dots,|P|}} \text{ и } Q^2 = (q_{ij}^2)_{\substack{i=1,\dots,|S| \\ j=1,\dots,|P|}}.$$

При описании их скрещивания необходимо, чтобы вновь получаемая особь удовлетворяла условию (4).

Определим операцию $Q = Q^1 \otimes Q^2$ следующим образом:

1) если $q_{ij}^1 = q_{ij}^2$, то $q_{ij} = q_{ij}^1 q_{ij}^2$;

2) если $q_{ij}^1 \neq q_{ij}^2$, то найдутся такие j_1 и j_2 ($j_1 \neq j_2$), что $q_{j_1}^1 = q_{j_2}^2 = 1$, $q_{j_2}^1 = q_{j_1}^2 = 0$.

В этом случае равновероятно выбирается либо $q_{ij}^1 = 1$ и $q_{ij}^2 = 0$, либо $q_{ij}^1 = 0$ и $q_{ij}^2 = 1$.

В соответствии с условием (4) каждая строка матрицы Q должна содержать в точности одну 1. Поэтому мутация моделируется изменением с заданной вероятностью местоположения единственной в каждой строке 1, что соответствует случайному изменению выбора программ подготовки для специалистов.

Заключение

Проведённые численные эксперименты показали высокую сходимость разработанного метода. В дальнейшем разработанный подход может быть использован для оптимизации процессов подготовки (переподготовки) специалистов в других заданных условиях. Например, при необходимости получения специалистами индивидуальных наборов компетенций и/или использования многоуровневых программ подготовки (переподготовки).

Список источников:

1. Johnson R. The Role of Continuous Professional Development in Enhancing Specialist Competence // *Journal of Education and Training*. 2020. 25(1). 50-65.
2. Martinez E. The Importance of Lifelong Learning for Specialists in a Changing Work Environment // *Journal of Career Development*. 2019. 36(1). 40-55.
3. Моделирование коллективных действий сотрудников органов внутренних дел / В. В. Меньших, А. Ф. Самороковский и др. – Воронеж: Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации. – 2017. – 236 с.
4. Menshikh V., Sereda E., Kopylov A. Selection of learning path of specialist team for actions in emergency situations // *Proceedings. 2021 1st International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education, TELE 2021* : 1. Lipetsk. 2021. P. 160-164.
5. Меньших В.В., Самороковский А.Ф., Серeda Е.Н. Модель формирования групп для ролевого обучения принятию управленческих решений // *Вестник Воронежского института МВД России*. – 2015. – № 2. – С. 107-114.
6. Меньших В.В., Серeda Е.Н., Копылов А.Н. Моделирование процесса выбора траекторий обучения сотрудников органов внутренних дел действиям при чрезвычайных обстоятельствах // *Вестник Воронежского института МВД России*. – 2016. – № 2. – С. 203-212.
7. Меньших В.В., Серeda Е.Н. Математическая модель оптимизации траектории обучения сотрудников органов внутренних дел действиям при чрезвычайных обстоятельствах // *Вестник Воронежского института МВД России*. – 2015. – №3. – С. 36-44.
8. Меньших А.В. Использование эволюционной схемы для выбора мер устранения угроз безопасности при временных ограничениях // *Вестник Воронежского института МВД России*. – 2020. – № 4. – С. 94-100.
9. Деб К., Прапад А., Агарвал С., Мейяриван Т., Быстрый и элитарный многокритериальный генетический алгоритм: NSGA-II // *Эволюционные вычисления*. – 2002. – Т. 6. – № 2. – С. 182-197.
10. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебник. – 2-е изд. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 446 р.

References:

1. Johnson R. The Role of Continuous Professional Development in Enhancing Specialist Competence. *Journal of Education and Training*. 2020;25(1):50-65.
2. Martinez E. The Importance of Lifelong Learning for Specialists in a Changing Work Environment. *Journal of Career Development*. 2019;36(1):40-55.
3. Menshikh V.V, Samorokovsky A.F, et al. Simulating Collective Actions of Employees of Internal Affairs Bodies. *Voronezh: Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*; 2017.
4. Menshikh V, Sereda E, Kopylov A. Selection of Learning Path of Specialist Team for Actions in Emergency Situations. In: *Proceedings – 2021 of the 1st International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education: TELE 2021*. Lipetsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc: 2021; vol. 1. p. 160-164.
5. Menshikh V.V., Samorokovsky A.F., Sereda E.N. The Model of Group Formation for Role Training to Make Managerial Decisions. *The Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2015;2:107-114.
6. Menshikh V.V., Sereda E.N., Kopylov A.N. Modelling the Trajectory Selection Processes for Training Police Officers to Act in an Emergency. *The Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2016;2:203-212.
7. Menshikh V.V., Sereda E.N. Mathematical Model of Optimization of Learning Path in Training Staff of Law Enforcement Bodies for Actions in Cases of Emergency. *The Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2015;3:36-44.
8. Menshikh A.V. The Use of Evolutionary Scheme for Choosing Measures of Eliminating Safety Threats Subject to Time Constraints. *The Bulletin of Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2020;4:94-100.
9. Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meiyarivan T. A Fast and Elitist Multi-Objective Genetic Algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2002;6(2):182-197.
10. Karpenko A.P. Modern Search Engine Optimization Algorithms. *Algorithms Inspired by Nature*. 2nd ed. Moscow: Bauman Press; 2017.

11.Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курей-
чик В.М. Генетические алгоритмы / Под ред.
В.М. Курейчика. – 2-е изд. М., 2010. – 368 с.

11. Gladkov L.A., Kureichik V.V.,
Kureichik V.M. Genetic Algorithms. Kureichik VM,
editor. 2nd ed. Moscow; 2010.

Информация об авторах:

Information about the authors:

Меньших Валерий Владимирович

доктор физико-математических наук, профессор
кафедры математики и моделирования систем
Воронежского института МВД России, заслуженный
деятель науки Российской Федерации, почетный
работник высшего профессионального образования
Российской Федерации, академик РАЕН

Menshikh Valery Vladimirovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
of the Department «Mathematics and System
Modelling» of the Voronezh Institute of the Ministry of
Internal Affairs of the Russian Federation, Honoured
Scientist of the Russian Federation, Honorary Worker of
the Higher Professional Education of the Russian
Federation, Academician of the Russian Academy of
Natural Sciences

Лихобабина Анна Викторовна

адъюнкт Воронежского института МВД России

Likhobabina Anna Viktorovna

Adjunct of the Voronezh Institute of the Ministry of
Internal Affairs of the Russian Federation

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

**Статья поступила в редакцию 28.11.2023; одобрена после рецензирования 09.01.2024;
принята к публикации 20.01.2024.**

**The article was submitted 28.11.2023; approved after reviewing 09.01.2024; accepted for
publication 20.01.2024.**

Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный
технический университет.

Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State
Technical University.