

В. Я. Сарлаев, В. И. Меньшиков, М. М. Еремин

ВЫБОР РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ СОСТОЯНИЯМИ НАВИГАЦИОННЫХ ИЛИ ПРОМЫСЛОВЫХ СИТУАЦИЙ

Рассмотрена задача выбора экстремального многомерного решения из заданного конечного и допустимого множества, оптимального по Парето, которое принимается лицом, принимающим решения, в процессе диалога с программным продуктом экспертной системы. Такая система, повышая уровень как навигационной безопасности, так и безопасности ведения промысла, функционирует при условии «слабых» предположений относительно вида структуры предпочтений, выраженной через функцию полезности. Отмечается, что «слабые» предположения о виде функции полезности в программном продукте экспертной системы могут быть компенсированы, если предлагать лицу, принимающему решения, вопросы, сформулированные на двух уровнях: «На какое уменьшение по одному критерию можно согласиться, чтобы получить заданное приращение по другому критерию, при условии, что оценки остальных критериев остаются неизменными?» или «Что выбрать: уменьшение значения одного критерия на заданную величину и увеличение значения другого критерия на заданную величину или оставить прежние значения критериев при условии, что оценки остальных критериев остаются неизменными?». Предлагаются варианты математических моделей «человеко-машинных» диалогов между лицом, принимающим решения, и программным продуктом – экспертной системой – при обеспечении безопасности навигации и безопасного ведения промысла. В результате использования таких диалогов может быть получена либо единственная векторная оценка, соответствующая экстремальному решению ЛПР, с точки зрения структуры его предпочтений, либо некоторое подмножество экстремальных решений, которое также будет содержать эту оценку.

Ключевые слова: многомерное решение, конечное и допустимое множество, человеко-машинный диалог, экспертная система, структура предпочтений.

Введение

Одной из проблем выбора решений по управлению состоянием навигационной или промысловой ситуации является необходимость учета большого количества противоречивых факторов и частных критериев [1]. С такой необходимостью судовые специалисты сталкиваются тогда, когда возникает необходимость выбора одного решения из множества допустимых и когда это решение не может быть выбрано только исходя из информации об оценках каждого частного критерия. Особенностью такого выбора решений и последующего управления является то, что в решении задачи должно принимать участие лицо, принимающее решение (ЛПР), осуществляющее этот выбор, с такой системой предпочтений, которая способна обеспечить ему экстремальное решение с последующим наилучшим управлением состоянием навигационной или промысловой ситуации.

Одним из наиболее простых способов выбора экстремального решения и последующего наилучшего управления является способ, при котором экспертная навигационная или промысловая система отображает ЛПР необходимую ему информацию и дает рекомендации по выбору решения из всего допустимого множества или же из множества решений, оптимальных по Парето. Однако при осуществлении выбора таким способом, как правило, возникают трудности, связанные с необходимостью сравнивать альтернативные решения, отличающиеся друг от друга значениями оценок более чем сразу по двум критериям одновременно [1].

В настоящее время существует много различных методов решения таких задач. Общим для всех этих методов является то, что в качестве дополнительной информации при выборе решения должны использоваться ответы ЛПР на достаточно простые вопросы, которые задаются судовому специалисту программным продуктом экспертной системы. Однако при некоторых достаточно общих предположениях о структуре предпочтения ЛПР экспертная система может давать судовому специалисту рекомендации по выбору экстремального многомерного решения по управлению состоянием навигационной или промысловой ситуации. Далее будет предполагаться, что механизм выбора многомерного экстремального решения строится на предположении о том, что структура предпочтения ЛПР соответствует некоторой монотонно возрастающей функции полезности [2].

Модель выбора наилучшего решения по управлению состоянием навигационной или промысловой ситуации

Выбор многомерного экстремального решения может быть осуществлен даже на основе слабой гипотезы о виде структуры предпочтений и соответствующей этой структуре функции полезности. Однако в этом случае требуется существенное участие ЛППР в диалоге с экспертной системой. Использование рекомендаций от экспертной системы ЛППР целесообразно лишь тогда, когда множество решений, оптимальных по Парето, обладает слабой мощностью или же когда при содержательной интерпретации выбор экстремального решения осуществляется для сокращенного числа неподчиненных (паретовских) решений.

Пусть далее $U = (u^1, u^2, \dots, u^N)$ – допустимое множество альтернативных решений; $f_{\xi}(u^i) = x_{\xi}^i$ – оценка i -го решения по ξ -му критерию, $x_{\xi}^i > 0$, для всех $i = 1, 2, \dots, N$; $\xi = 1, 2, \dots, m$, где m – число критериев, которые учитывает ЛППР в процессе взаимодействия с экспертной на множестве X системой; $f(u^i) = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_m^i) = x^i$ – векторная оценка решения u в заданном пространстве критериев; X – множество векторных оценок, которое соответствует допустимому множеству решений U , т. е.

$$U \xrightarrow{f} X \subset E_m^+,$$

где E_m^+ – положительный октант m -мерного евклидова пространства.

Пусть далее $\langle P, X \rangle$ – структура предпочтения ЛППР на множестве X , при частичном строгом порядке, который задается следующим образом:

$$x^i P x^j \leftrightarrow \{(\forall \xi | \xi = 1, 2, \dots, m) [x_{\xi}^i \geq x_{\xi}^j] \text{ и } (\exists \xi_0 | 1 \leq \xi_0 \leq m) [x_{\xi_0}^i \geq x_{\xi_0}^j]\}.$$

Кроме того, будем считать, что $\langle N, X \rangle$ – отношение несравнимости, которое задается так:

$$x^i N x^j \leftrightarrow \{(\exists \xi_1, \xi_2 | \xi_1, \xi_2 = 1, 2, \dots, m) [x_{\xi_1}^i > x_{\xi_2}^j] \text{ и } [x_{\xi_2}^i < x_{\xi_1}^j]\}.$$

Тогда по заданной структуре $\langle P, X \rangle$ можно выбрать из множества X подмножество неподчиненных векторных оценок X° :

$$X^{\circ} = \{x^i \in X | (x^j \in X)[x^j P x^i]\}.$$

Предположим, что на множестве X ЛППР использует такие предпочтения, которые могут соответствовать функции полезности $\Pi(x)$, обладающей следующими качествами [3]:

– А: если $x^i P x^j$, то $\Pi(x^i) > \Pi(x^j)$;

– Б: функция полезности является выпуклой и задана уравнением $\Pi(x) = c$, где c – некоторое фиксированное число.

Такие требования вполне естественны и определяются рамками аксиоматик в теории полезности [3]. Учитывая особенности введенной функции полезности $\Pi(x)$, в процессе диалога с экспертной системой ЛППР должно отвечать на вопросы программного продукта первого типа, сформулированные так: «На какое уменьшение $\Delta x_{\xi_1}^i$ по критерию ξ_1 Вы были бы согласны, чтобы получить приращение $\Delta x_{\xi_2}^i$ по критерию ξ_2 , при условии, что оценки остальных критериев x_{ξ}^i ($\xi = 1, 2, \dots, m$); $\xi \neq \xi_1, \xi_2$) остаются неизменными?». Несмотря на жесткие требования к ответам, судовой специалист при решении текущих производственных задач на рабочем месте способен ответить на аналогичные вопросы. В том случае, когда ЛППР не в состоянии ответить на такого рода вопросы, программный продукт экспертной системы должен формулировать вопросы второго типа: «Что Вы предпочитаете: получить уменьшение значения критерия ξ_1 на $\Delta x_{\xi_1}^i$ и увеличение значения критерия ξ_2 на $\Delta x_{\xi_2}^i$ или оставить прежние значения $x_{\xi_1}^i, x_{\xi_2}^i$ при условии, что оценки остальных критериев x_{ξ}^i ($\xi = 1, 2, \dots, m$) остаются неизменными?».

Обоснование выработки рекомендаций экспертной системой в процессе диалога с судовым специалистом

Если ответ судового специалиста на вопрос программного продукта экспертной системы относится к первому типу, то система должна найти значение $\Delta x_{\xi_2}^i$ и составлять элемент

$$x_{\xi_1}^i = (x_{\xi_1}^i, \dots, x_{\xi_1}^j, \dots, x_{\xi_2}^i - \Delta x_{\xi_2}^i, \dots, x_m^i)$$

такой, что $\Pi(x_{\xi_1}^i) = \Pi(x^i)$.

Если при сравнении элементов $x_{\xi_1}^i$ и x^j с учетом структуры предпочтений $\langle P, N \rangle$ справедливо отношение $x_{\xi_1}^i P x^j$, то следует $\Pi(x_{\xi_1}^i) > \Pi(x^j)$ и, окончательно, $\Pi(x^i) > \Pi(x^j)$. Поэтому элемент x^j не может быть выбран и исключен из множества X° .

Если $x_{\xi_1}^i = x^j$, то $\Pi(x^i) = \Pi(x^j)$, следовательно, они равнозначны с точки зрения ЛПР и для этих элементов $x_{\xi_1}^i, x^j$ справедливо отношение $x_{\xi_1}^i P x^j$, а по причине, аналогичной указанной выше, можно исключить из множества X° элемент x^j .

В том случае, если для элементов $x_{\xi_1}^i, x^j$ справедливо отношение $x^j N x_{\xi_1}^i$ и найдется еще хотя бы пара координат ξ_1^*, ξ_2^* , такая, что $x_{\xi_1}^j > x_{\xi_1}^i$, а $x_{\xi_2}^j < x_{\xi_2}^i$, составить суждение о предпочтительности или равнозначности одного из элементов x^i, x^j относительно другого можно только получая дополнительную информацию о структуре предпочтения ЛПР.

Здесь следует отметить, что после каждого запроса, выполненного экспертной системой, число координат у векторов x^i, x^j увеличивается, по крайней мере, на единицу, а это гарантирует, что максимальное число итераций, необходимых для сравнения пары элементов x^i, x^j равно $(m - 1)$. Исключение менее предпочтительного или равнозначного элемента для пары x^i, x^j из множества X° уменьшает его мощность, а конечность множества X° гарантирует получение нужного решения.

Если ЛПР не способен ответить на вопросы первого типа, то программный продукт экспертной системы должен обладать способностью формулировать серию вопросов второго типа, позволяющих получить вектор

$$\nabla_x^t = (1, (\partial\Pi/\partial x_2) / (\partial\Pi/\partial x_1)|_{x=x^t}, \dots, (\partial\Pi/\partial x_m) / (\partial\Pi/\partial x_1)|_{x=x^t}),$$

который является коллинеарным к вектору-градиенту $\nabla_x^t(\Pi(x^t))$ в точке x^t .

Программный продукт экспертной системы, реагируя в процессе диалога с ЛПР на полученные от него значения приращений $\Delta x_{\xi}^i (\xi = 1, 2, \dots, m)$, вычисляет приближенные координаты

$$\nabla_x^{t\xi} = (\partial\Pi/\partial x_{\xi}) / (\partial\Pi/\partial x_1)|_{x=x^t} \approx (\Delta x_1^i / \Delta x_{\xi}^i)$$

и по этим координатам формирует множество вида

$$U^t = \{x^i \in X^{t-1} \mid (x^t, \nabla_x^t) > (x^i, \nabla_x^t)\},$$

которое будет содержать все элементы, но менее предпочтительные, с точки зрения структуры $\langle P, N \rangle$ ЛПР, чем элемент x^t . Справедливость такого утверждения следует из того, что функция полезности обязана отвечать качеству Б.

В тех случаях, когда $U^t = X^{t-1} \setminus x^t$, то очевидно, что x^t является искомым решением. Если $U^t \neq X^{t-1} \setminus x^t$, то множество U^t исключается из дальнейшего рассмотрения и процедура повторяется на оставшихся во множестве элементах. Множество U^t будет содержать лишь те элементы, для сравнения которых с элементом x^t еще не достаточно информации, и не будет включать элементы x^i , для которых значения ∇_x^t были уже определены. В свою очередь, множество X^{t-1} содержит те элементы, из которых невозможно выделить больше ни одного необходимого элемента.

Таким образом, по диалогу ЛПР с экспертной системой будет получена либо единственная векторная оценка, соответствующая экстремальному решению и последующему лучшему управлению, с точки зрения структуры предпочтения ЛПР, либо некоторое подмножество, которое также содержит эту оценку [4]. С учетом функции полезности $\Pi(x)$ задачу выбора экстремального решения, с точки зрения принятой структуры предпочтений ЛПР, можно записать так:

$$\max \Pi(x).$$

Если же вид функции $\Pi(x)$ неизвестен, но отвечает качествам А и Б, то в процессе диалога ЛПР с программным продуктом, получая от ЛПР ответы на поставленные вопросы, экспертная система предложит рекомендацию по решению экстремальной задачи x^*

$$\Pi(x^*) = \max \Pi(x),$$

которое принадлежит множеству X° .

Заключение

Одной из проблем выбора решений по управлению состояниями навигационной или промысловой ситуаций является необходимость учета большого количества противоречивых частных критериев. С такой необходимостью судовые специалисты сталкиваются тогда, когда возникает потребность выбора экстремального решения из множества допустимых решений и когда это решение не может быть выбрано только по информации об оценках каждого частного критерия.

Особенностью рассмотренной задачи является то, что в таком выборе обязательно должно участвовать ЛПР (судовой специалист), осуществляющее этот выбор, с системой предпочтений, которая через функцию полезности может быть использована в основе принятия экстремального решения и последующего лучшего управления.

Предлагаются варианты математического обеспечения «человеко-машинных» диалогов при выборе лучших управлений на рабочем месте судового специалиста при двух возможных предположениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладышевский М. А., Пасечников М. А., Пеньковская К. В.* Организационно-технические структуры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию судна / под общ. ред. В. И. Меньшикова. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2008. 212 с.
2. *Айзерман М. А., Малишевский А. В.* Некоторые аспекты общей теории выбора лучших вариантов // Автоматика и телемеханика. 1981. № 2. С. 65–83.
3. *Никайдо Х.* Выпуклые структуры и математическая экономика. М.: Мир, 1972. 519 с.
4. *Трофименко А. В.* Алгоритмы оценки оперативной обстановки руководителем при чрезвычайных ситуациях на основе многомерных альтернатив: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.: Ин-т ГПС МЧС России, 2006. 23 с.

Статья поступила в редакцию 06.10.2016

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сарлаев Валерий Яковлевич – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры судовождения; sarlaevvya@mstu.edu.ru.

Меньшиков Вячеслав Иванович – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры судовождения; kseniamgtu@rambler.ru.

Еремин Михаил Михайлович – Россия, 183010, Мурманск; Мурманский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры судовождения; ereminmm@mstu.edu.ru.



V. Y. Sarlaev, V. I. Menshikov, M. M. Eremin

CHOICE OF SOLUTIONS ON MANAGEMENT OF STATES OF NAVIGATION OR FISHING SITUATIONS

Abstract. The problem of the choice of extreme multidimensional solutions of a given finite and admissible set and Pareto optimal, which is received by a person decision maker (PDM) in the dialogue process with the software expert system, was considered. Such a system increasing the level of both navigational safety and the safety of the fishery operates under the condition

of "weak" assumptions about the type of structure preferences expressed through a utility function. It is shown that the "weak" assumptions about the form of the utility function in the software product of the expert system can be compensated, if the decision-maker is offered questions formulated on two levels as follows: "For what reduction by one criterion may you agree to receive a predetermined increment on other criteria, provided that other evaluation criteria remain unchanged?" or "What is to choose the reducing in the value of one criterion by a predetermined amount and the increasing the value of the other criterion by a predetermined value or leave the previous criteria values provided that the other evaluation criteria remain unchanged?". It offers the option of mathematical models of "man-machine" dialogues between a decision-maker and software expert system, while ensuring the safety of navigation and the safety of the fishery. As a result of using such dialogues either the only vector estimation, corresponding to the extreme decision of the person decision maker, in terms of its structure of preferences, or some subset of the extreme solutions, which will also contain this estimation, can be obtained.

Key words: multidimensional solution, the finite and the feasible set, man-machine dialogue, expert system, structure of preferences.

REFERENCES

1. Gladyshevskii M. A., Pasechnikov M. A., Pen'kovskaia K. V. *Organizatsionno-tekhnicheskie struktury, obespechivaiushchie bezopasnuiu ekspluatatsiiu sudna* [Organizational and technical structures ensuring the safe operation of the ship]. Pod obshchei redaktsiei V. I. Men'shikova. Murmansk, Izd-vo MGTU, 2008. 212 p.
2. Aizerman M. A., Malishevskii A. V. Nekotorye aspekty obshchei teorii vybora luchshikh variantov [Some aspects of the general theory of choice of the best ones]. *Avtomatika i telemekhanika*, 1981, no. 2, pp. 65–83.
3. Nikaido X. *Vypuklye struktury i matematicheskaya ekonomika* [Convex structures and economic theory]. Moscow, Mir Publ., 1972. 519 p.
4. Trofimenko A. V. *Algoritmy otsenki operativnoi obstanovki rukovoditelem pri chrezvychainykh situatsiyakh na osnove mnogomernykh al'ternativ*. Avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk [Algorithms of an estimation of operative conditions by the head at extreme situations on the basis of multidimensional alternatives. Abstract of the thesis of the candidate of technical sciences]. Saint-Petersburg, Institut GPS MChS Rossii, 2006. 23 p.

The article submitted to the editors 06.10.2016

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sarlaev Valery Yakovlevich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Navigation; sarlaevvya@mstu.edu.ru.

Menshikov Vyacheslav Ivanovich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Navigation; kseniamgtu@rambler.ru.

Eremin Mikhail Mikhailovich – Russia, 183010, Murmansk; Murmansk State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Navigation; ereminmm@mstu.edu.ru.

