

Аналитическая методология и алгоритмизация решения задач по обеспечению безопасности плавания в процессе управления судном при нечетких исходных условиях

Д.К. ЕФИМОВ, академик Российской академии транспорта

Всякое управление движением в ограниченном навигационном пространстве есть преодоление сложностей, которые объективная действительность противопоставляет поставленной цели. Если бы не существовало сложных ситуаций, не требовалось бы и управление движением.

При управлении судном (УС) могут быть использованы многие классические законы и методы, а также такие способности человека как:

- интеллект — способность мышления и рационального познания действительности;
- интуиция — способность постижения истины путем непосредственного ее усмотрения без обоснования с помощью доказательств;
- эвристика — продуктивное творческое мышление в процессе открытия нового решения при возникшей проблемной ситуации.

Интеллект, интуиция и эвристика составляют основные положения интеллектуально-эвристической деятельности судоводителя в процессе непосредственного УС.

При УС в ограниченном навигационном пространстве необходимо определить координаты судна в зависимости от времени, получить прогноз о развитии навигационной обстановки и выработать правильное решение по осуществлению управления.

При описании процесса УС следует помнить, что управление движением — это более общий термин, чем термины «слежение», «ориентация», «наведение», «разведение», «регулирование», «стабилизация», «координирование», «планирование» и др., и включает в себя любое из этих понятий.

Таким образом, деятельность специалиста-судоводителя может быть сфор-

мулирована в следующей интерпретации:

- в основе решения сложных задач судовождения в процессе непосредственного УС лежит вероятностная модель процесса с его экстраполированием;
- внимание концентрируется не на вариантах решения, а на анализе условий протекания процесса УС, выявлении наиболее актуальных факторов и установлении связи между ними;
- при наличии многочисленных и разнообразных воздействий внешней среды специалист-судоводитель решает задачу на основе системы обобщенных оценок, которая оставляет в стороне многие несущественные особенности процесса УС;
- внутренняя модель процесса создается у специалиста-судоводителя под влиянием предыдущей теоретической и практической деятельности, опыта;
- при поступлении информации от различных источников нервная система специалиста-судоводителя вырабатывает сигналы, экстраполирующие ожидаемое их изменение во времени, пространстве, движении, ритме, темпе, тембре звука, форме и т.п.;
- в самом простейшем случае процесс УС математически представляется в виде тензора четвертого ранга;
- при определенных условиях нервная система специалиста по УС справляется с большим числом помех и сбоев, с неопределенностью во многих ситуациях и способна выдавать

правильное решение на основе профессионального искусства;

- в сложных условиях специалист-судоводитель прогнозирует не только цель действия, но и вероятность ее достижения. Оценка вероятности выдается, как правило, в виде эмоционального ощущения успеха, если вероятность успеха велика, или в виде тревоги, если вероятность успеха оказывается низкой.

Интеллектуально-эвристическая деятельность судоводителя, направленная на предотвращение морских происшествий при непосредственном УС, проявляется как поиск, выявление и устранение или контроль опасностей в процессе непосредственного движения судна. Иначе говоря, организуется активный поиск опасностей, и если опасность имеет место, то устраняется причина опасности или сводится к минимуму ее угроза.

В процессе непосредственного УС на формирование сознания специалиста по выработке и принятию решения оказывают влияние динамические навигационные параметры как факторы активного поиска опасностей. Эти факторы определяют функции принадлежности к нечеткому множеству опасностей в процессе УС.

Проявление функции принадлежности к опасности можно показать на основе анализа следующих навигационных параметров:

- $\xi_1 = q$ — относительный курсовой угол,
- $\xi_2 = \rho$ — относительная радиальная дальность,
- $\xi_3 = q$ — относительная скорость изменения курсового угла, пеленга,
- $\xi_4 = \rho$ — относительная радиальная скорость,
- $\xi_5 = \rho$ — относительное радиальное ускорение,

$\xi_s = \tau_{min}$ — время до момента наступления минимального сближения,

$\xi_s = \rho_{min}$ — минимальное сближение.

Вектор случайных факторов активного поиска опасности

$$\xi_s = (\xi_1, \xi_2, \dots)$$

требует особого пояснения, которое удобно выполнить на основе теоремы теории вероятности (закон «0» или «1»). В данном случае известные предельные вероятности с необходимостью равны нулю или единице, т.е. вероятность сходимости ряда из всего количества независимых случайных величин может принимать только два эти значения. Пусть ξ_1, ξ_2, \dots — случайные величины опасности, а $f(\sigma) = f(\sigma^{(1)}, \sigma^{(2)}, \dots)$ — разрывная функция топологических образов принадлежности к этим величинам, представленная последовательными итерированными предельными переходами топологических переменных $(\sigma) = (\sigma^{(1)}, \sigma^{(2)}, \dots)$, такова, что условная вероятность

$$P \{ f(\xi_1, \xi_2, \dots) = 0 / \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n \}$$

соотношения $f(\xi_1, \xi_2, \dots) = 0$ при известных n первых величинах $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ остается равной абсолютной вероятности

$$P \{ f(\xi_1, \xi_2, \dots) = 0 \} \quad (1)$$

для каждого n . При этих условиях абсолютная вероятность (1) равна нулю или единице.

В частности, условия этой теоремы выполняются, если случайные величины опасности $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ независимы и значение функции $f(\sigma)$ остается постоянным при изменении лишь конечного числа величин $\sigma^{(n)}$. Обозначим опасность

$$A = \{ \xi; f(\xi) = 0 \}.$$

Наряду с этим событием рассмотрим алгебру B всех событий, которые могут быть определены через какие-либо отношения между конечным числом величин ξ , например, в виде критериев конъюнкции или дизъюнкции. Тогда, если безопасное событие B принадлежит B , по условиям теоремы

$$P(A/B) = P(A). \quad (2)$$

При $P(A) = 0$ теорема доказана, т.е. вероятность опасности при условии безопасности равна нулю.

Пусть $P(A) > 0$, иными словами, вероятность опасности больше нуля. Тогда из теоремы Байеса и соотношения (2) следует:

$$\frac{P(A/B)P(B)}{P(A)}$$

$$P(B/A) = P(B)$$

Итак, $P(B)$ и $P(B/A)$ — две счетно-аддитивные функции множеств, совпадающие на B , следовательно, они должны оставаться равными друг другу на каждом множестве топологического расширения $\sigma(B)$ алгебры B . Поэтому, в частности,

$$P(A) = P(A/A) = 1,$$

т.е. вероятность опасности при условии опасности равна единице.

Цель управления движением судна — свести вероятность опасности к нулю, а вероятность безопасности — к единице в условиях потенциально опасной ситуации.

Перечень общих принципов подхода к исследованию сложных процессов принятия решений при управлении судном

Анализ исследования сложных процессов принятия решений при УС позволяет выделить некоторые из основных принципов:

- Возможное решение следует искать лишь среди неуплощаемых альтернатив, т.е. альтернатив, улучшение которых по одним показателям приводит к их ухудшению по другим.
- Рациональным считается выбор некоторой пары стратегий, обладающей устойчивостью, одностороннее нарушение которой невыгодно ни той, ни другой стороне.
- Рациональным является выбор, при котором учитываются наихудшие условия из множества возможных альтернатив.
- Проблема нечетких множеств и нечетких описаний может быть решена с помощью альтернатив на качественном уровне с помощью теории лингвистических переменных.
- Практическая уверенность позволяет в каждом отдельном случае принимать решение в соответствии с той важностью, которую имеет желаемый результат практической деятельности.

Итак, вектор динамических факторов активного поиска опасности представляет полный ансамбль функций в задаче предсказания опасности, однозначно определяет наличие опасности или ее отсутствие. Эти факторы через разрывную функцию принадлежности участвуют в выработке решения о необходимости предотвращения морского происшествия и последующего целенаправленного вмешательства в процесс УС.

Оценка состояния аварийного судна

Когда у экипажа, попавшего в аварийную ситуацию, все меры борьбы за живучесть судна будут исчерпаны, решение о его оставлении может принять только капитан. Сложность принятия такого решения заключается в том, что в настоящее время не существует четких критериев оценки состояния аварийного судна, а следовательно, и оценки целесообразности и необходимости принимаемого капитаном решения.

Всесторонний анализ и оценку фактического состояния аварийного судна попытаемся осуществить на основе общей теории управления и принятия решений, краткое содержание которой изложим в трех подходах.

Первый подход: когда считается, что лучше иметь слишком большое, чем слишком малое множество успешных исходов. И не утверждается, что все решения внутри одного из допустимых множеств приемлемы как исходы, а утверждается лишь то, что вне этих допустимых множеств решения недопустимы.

Второй подход: когда решение принимается в условиях неопределенности, если, например, цель точно не определена, а результат операции оценивается многими показателями эффективности, мало критичными к выбору. В подобных ситуациях рекомендуется искать вариант выбора на основе рациональных решений, используя пять основных принципов: оптимальности, равновесия, гарантированного результата сжатия альтернатив, практической уверенности.

Третий подход — фактор типичности и уникальности. Следуя первому предположению, капитан ориентируется на статистику своего и чужого опыта. Однако, когда речь идет об очень важных решениях, где ошибок вообще быть не должно, капитан осознает, что эта ситуация неповторима, и решает задачу как уникальную. Действия выглядят нестандартными. В этом нестандартном поведении, как правило, скрыта индивидуальная рациональность принятого решения с учетом уникальной ситуации.

Основная идея этих трех подходов состоит в использовании информации о состоянии судна и той конкретной ситуации, в которой находится система «капитан — судно — среда».

Два варианта логического объединения критериев

Предположим, что критерии F_1, F_2, \dots, F_n могут принимать только два значения 0 или 1.

$F_i(x) = 1$, если i -я цель достигнута.
В противоположном случае

$$F_i(x) = 0.$$

Тогда обобщенный критерий может быть записан:

а) в виде конъюнкции (*conjunctio*) критериев F_i , если общая цель операции состоит в выполнении всех целей одновременно, т.е.

$$F_{conj} = \prod_{i=1}^n F_i(x);$$

б) в виде дизъюнкции (*disjunctio*) критериев, причем общая цель операции достигается, если достигается хотя бы одна частная цель, т.е.

$$F_{disj} = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - F_i(x)].$$

Корреляция, независимость и условные вероятности

Два случайных функциональных значения: опасность — A и безопасность — B взаимно зависимы.

Если известно, что значение опасности A приняло конкретную величину, то значение B можно предсказать точнее, чем при отсутствии этой информации.

Для пояснения зависимости полезно ввести понятие условного распределения вероятностей

$$P(B/A) = \frac{P(B, A)}{P(A)} \quad (3)$$

Здесь $P(B/A)$ есть вероятность B при условии, что задано значение вероятности опасности A .

В теории вероятности совместное распределение вероятностей $P(B, A)$ заменяется на условное распределение вероятностей $P(A/B)P(B)$.

Так как $P(A/B)P(B) = P(B, A)$, то формула (3) примет вид

$$P(B/A) = \frac{P(A/B)P(B)}{P(A)} \quad (4)$$

а это известная формула Байеса.

В выражении (4) $P(B)$ можно считать априорной вероятностью B без знания значения A , а $P(B/A)$ — апостериорной вероятностью B , если известно, что A принимает определенное значение.

Когда вероятности опасности A и вероятности безопасности B независимы,

то $P(A/B) = P(A)$ и выражение (4) переходит в значение

$$P(B/A) = P(B), \quad (5)$$

означающее, что, зная A , нельзя предсказать B . Это, конечно, является интуитивным основанием для независимости A и B и хорошим предположением к размышлению о причинах аварийных происшествий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптациями. — М.: Наука, 1964.
2. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. — М.: Мир, 1972.
3. Зайченко Ю.П. Исследование операций. — Киев: Вища школа, 1975.
4. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. Изд. 2-е. — М.: Наука, 1974.
5. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. — М.: Наука, 1981.
6. Родионов А.И. Вопросы алгоритмизации процесса расхождения судов морского флота. Судовождение. Научно-технический сборник. Вып. 6.: ЛВИМУ, 1966. — С. 90–94.
7. Советский энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1980.