

УДК 656.61.052.1 : [528.9 : 004]

Шкалирование пространства функциональных обязанностей в системе "Судоводитель – ЭКНИС"

М.М. Еремин, В.И. Меньшиков, А.В. Серов, В.В. Ковальчук
Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

Аннотация. Предложены два варианта шкалирования пространства функциональных обязанностей в эргатической системе "Судоводитель – ЭКНИС", привлекаемых для решения задач управления состоянием безопасности навигации.

Abstract. In the paper two variants of scaling of functional duties space in the system "Navigator – EMNIS" have been considered. The variants are to solve some tasks of safety navigation management.

1. Введение

В современном морском судовождении происходит активное внедрение информационных, информационно-вычислительных и экспертных систем и, в частности, электронных картографических навигационно-информационных систем (ЭКНИС). Обычно программное обеспечение ЭКНИС содержит конечное число модулей, решающих конечное число навигационных задач, которые так или иначе связаны с решением общей задачи – обеспечением безопасности плавания (безопасности навигации) судна. Естественно, что программное обеспечение ЭКНИС, обладая большим быстродействием, чем вахтенный судоводитель, решает навигационные задачи быстрее и точнее, чем "человеческий элемент". Однако для получения исходной информации ЭКНИС должна быть сопряжена с датчиками навигационной информации. Отказы этих датчиков и систем их сопряжения с ЭКНИС существенно влияют на надежность решения навигационных задач. Надежность решений навигационных задач дополнительно зависит как от типа протоколов опроса датчиков информации, так и топологии систем сопряжения программного обеспечения ЭКНИС с датчиками информации. При некоторых условиях могут возникнуть такие ситуации, при которых "правильность" принятия решения по выбору управления состоянием навигации с ориентацией исключительно только на "человеческий элемент" будет больше, чем "правильность" принятия решения, основанного на рекомендациях программного продукта ЭКНИС. В связи с этим возникает очевидная необходимость шкалирования функциональных обязанностей программного продукта технического средства и "человеческого элемента", образующих эргатическую систему "Судоводитель – ЭКНИС". От правильного решения такой задачи, в конечном счете, зависит безопасность мореплавания и безопасность эксплуатации судна в целом.

2. Шкалирование пространства функциональных обязанностей с привлечением отношения порядка

Для исследования особенностей распределения пространства функциональных обязанностей в системе, включающей ЭКНИС, датчики навигационной информации, систему сопряжения и "человеческий элемент", будем рассматривать ее как эргатическую систему, надежность которой при управлении состоянием навигации складывается из аддитивных вероятностных компонент.

Пусть, с одной стороны, вероятность "правильного" принятия решения для задачи по поддержанию состояния безопасности навигации с ориентацией на рекомендации программного обеспечения ЭКНИС в рамках эргатической системы без учета ошибок "человеческого элемента" (технический вариант решения) равна

$$P(t) = K_{gk} K_{gm} P_d(t_1) P_m(t_2) P_{ms}(t_2) = P_m P_d, \quad (1)$$

где K_{gk} – коэффициент готовности датчиков навигационной информации, необходимых для решения текущей навигационной задачи; K_{gm} – коэффициент готовности программного обеспечения ЭКНИС; $P_d(t_1)$ – вероятность безотказной работы датчиков навигационной информации с системами сопряжения за время решения текущей навигационной задачи; $P_m(t_2)$ – вероятность отсутствия отказа технических средств ЭКНИС за время решения текущей навигационной задачи t_2 ; $P_{ms}(t_2)$ – вероятность отсутствия сбоев в программном обеспечении ЭКНИС за время решения текущей навигационной задачи t_2 ; P_m – вероятность исправности ЭКНИС; P_d – вероятность исправности датчиков навигационной информации.

Тогда, с другой стороны, вероятность "правильного" принятия решения для той же задачи по управлению состоянием безопасности навигации, но с ориентацией только на способности "человеческого элемента" без учета отказов технических средств можно определить так:

$$Q(t) = K_{gk} P_d(t') Q_r(t') Q_v(t'') = P_d Q_{rz}, \quad (2)$$

где $Q_r(t')$ – вероятность получения правильных навигационных данных с датчиков навигационной информации за время t' ; $Q_v(t'')$ – вероятность правильных вычислений за время t'' ; Q_{rz} – вероятность безошибочного решения текущей навигационной задачи "человеческим элементом".

Возможность "правильного" одномерного шкалирования пространства функциональных обязанностей программного продукта ЭКНИС и "человеческого элемента" можно обеспечить, если зафиксировать отношения порядка между вероятностными показателями (1) и (2). Пусть вероятностные показатели надежности решения задачи по выбору управлений состоянием безопасности навигации связаны отношениями вида

$$P(t) < Q(t) \text{ или } P(t) > Q(t), \quad (3)$$

где символы "<", ">" определяют отношение порядка.

Во всех практических случаях любая эмпирическая система отношений A содержит, по крайней мере, одно из отношений порядка (3). При этом сама система A всегда является неприводимой системой отношений и в данном случае будет представлять собой упорядоченное множество задач, обеспечивающих безопасность навигации и решаемых в рамках эргатической системы "Судоводитель – ЭКНИС". Действительно, упорядоченность системы A достигается за счет определения показателей (1) и (2) на множестве действительных чисел с естественным отношением порядка. Поэтому, если далее учитывать отношения (3), то систему A , способную одномерно шкалировать пространство функциональных обязанностей в эргатической системе "Судоводитель – ЭКНИС", можно записать так

$$A = \{A_0; <, >\},$$

где A_0 – множество задач, решаемых в эргатической системе "Судоводитель – ЭКНИС", "<" и ">" – бинарные отношения порядка, удовлетворяющие условиям:

- для всех $a_1, a_2 \in A_0$ или $a_1 = a_2$ или $a_1 < a_2$ или $a_2 < a_1$;
- для всех $a_1, a_2, a_3 \in A_0$ из $a_1 < a_2$ и $a_2 < a_3$ следует $a_1 < a_3$.

Введенные ограничения на элементы из множества A_0 могут показаться достаточными для введения термина "шкала порядка". Однако только этих ограничений недостаточно, поскольку топология на A_0 , определенная отношением порядка "<" или ">", не будет совпадать с относительной топологией множества $m(A_0)$, индуцированной естественной топологией на R . Поэтому необходимо дополнительно принять предположение о том, что формируемая шкала единственна с точностью до монотонно возрастающих непрерывных отображений множества $m(A)$ в R . С учетом последнего предположения уже можно отображение

$$m : A \rightarrow R \quad (4)$$

принять за шкалу порядка, которая позволяет шкалировать пространство функциональных обязанностей как программного продукта технического средства, так и "человеческого элемента" в эргатической системе "Судоводитель – ЭКНИС". Однако практическое решение задачи шкалирования с привлечением отображения (4) осложняется тем, что существуют трудности в учете надежности характеристик "человеческого элемента". Даже привлечение специальных методик расчета надежности "человеческого элемента" в системах "человек – техника" (Губинский и др., 1969) не способно обеспечить нужной достоверности оценкам вероятностного показателя вида (2).

3. Особенности пространства функциональных обязанностей в системе "Судоводитель – ЭКНИС"

Пусть множество состояний пространства функциональных обязанностей эргатической системы "Судоводитель – ЭКНИС" T является точечным с двумя состояниями t_i и t_k . Эти состояния, в свою очередь, разбивают конечное пространство функциональных обязанностей L , подлежащее исполнению в эргатической системе "Судоводитель – ЭКНИС", на подмножества $L_0(t_i)$, $L_1(t_i)$ и $L_0(t_k)$, $L_1(t_k)$. Будем считать, что состояния t_i и t_k сравнимы только в том случае, если в одном из исходных состояний t_i подпространство $L_p(t_i)$ является собственным подпространством $L_s(t_k)$:

$$L_p(t_i) \subset L_s(t_k), \quad (5)$$

где p, s – булевы переменные. Если же подпространства тождественны

$$L_p(t_i) = L_s(t_k),$$

то естественно предполагать, что выделенные состояния адекватны, и из двух адекватных состояний выбирать такое состояние, которое по параметрам будет являться предпочтительным, например, по показателям (1) и (2). Пусть, далее, состояния пространства функциональных обязанностей в эргатической системе "Судоводитель – ЭКНИС" таковы, что для них выполняется условие (5). Тогда из того, что

$$\begin{aligned} L_0(t_i) &= L \setminus L_1(t_i), \\ L_0(t_k) &= L \setminus L_1(t_k), \end{aligned} \quad (6)$$

следует

$$L_0(t_k) \subset L_0(t_i). \quad (7)$$

Рассмотрим два варианта отношений состояний t_i и t_k из множества T , и пусть в первом случае реализуется состояние t_i . Из направленного графа (рис. 1) непосредственно следует, что выбранное состояние разбивает пространство функциональных обязанностей L на части $L_0(t_i)$ и $L_1(t_i)$. Поэтому, учитывая (5), можно получить

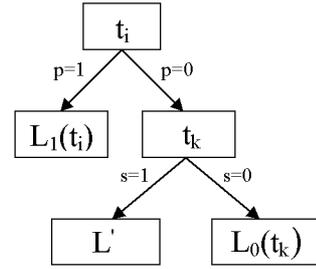


Рис. 1

$$\begin{aligned} L_1(t_i) \cap L_1(t_k) &= L_1(t_i), \\ L_1(t_i) \cap L_0(t_k) &= \emptyset. \end{aligned}$$

Следовательно, по ветви, определяемой булевой переменной $p = 1$, фиксировать состояние t_k вообще нецелесообразно. Тогда фиксируем состояние t_k по ветви, определяемой булевой переменной $p = 0$. Очевидно (рис. 1), что это состояние разобьет множество $L_0(t_i)$ на два подмножества: первым в силу (7) будет $L_0(t_k)$, а вторым – подмножество полученное так

$$L' = (L \setminus L_1(t_i)) \setminus L_0(t_k). \quad (8)$$

Во втором случае пусть реализуется состояние t_k . Построенный направленный граф показывает (рис. 2), что это состояние разбивает пространство функциональных обязанностей L , подлежащих исполнению в эргатической системе, на подмножества $L_1(t_k)$ и $L_0(t_k)$ соответственно.

Тогда из выражения (7) для ситуации, изображенной на рис. 2, имеем

$$\begin{aligned} L_0(t_k) \cap L_0(t_i) &= L_0(t_k), \\ L_0(t_k) \cap L_1(t_i) &= \emptyset. \end{aligned} \quad (9)$$

Фиксируем состояние t_i по ветви булевой переменной $s = 1$. В этом случае получим как подмножество $L_1(t_i)$, так и подмножество, равное

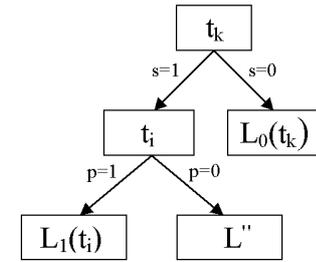


Рис. 2

$$L'' = (L \setminus L_0(t_k)) \setminus L_1(t_i). \quad (10)$$

Сравнивая (6) и (10), убеждаемся, что

$$L' = L'' = L^*. \quad (11)$$

Таким образом, выражение (11) и направленные графы (рис. 1 и 2) подчеркивают одно достаточно простое и важное для эргатических систем физическое свойство, которое, в свою очередь, способно обеспечивать повышение эффективности использования таких систем. Это свойство заключается в том, что эффективная эксплуатация системы возможна лишь при тождественности пространств функциональных обязанностей, выполняемых как программным продуктом ЭКНИС, так подготовленным "человеческим элементом".

4. Шкалирование пространства функциональных обязанностей с привлечением отношения предпочтения

Получив условия эффективного функционирования эргатической системы "Судоводитель – ЭКНИС", перейдем к построению шкалы, которая способна на базе отношения предпочтения разделить общее пространство функциональных обязанностей (11) программного продукта ЭКНИС и "человеческого элемента". Для этой цели предположим, что состояния пространства функциональных обязанностей системы обладают весами:

$$C_1 = C(L^*) + C(L_1(t_i)) + C(L_0(t_k)) + c(t_i) + c(t_k) \sum_{\substack{y \in L_0(t_i) \\ j \quad 0 \quad i}} p(y_j), \quad (12)$$

$$C_2 = C(L^*) + C(L_1(t_i)) + C(L_0(t_k)) + c(t_k) + c(t_i) \sum_{\substack{y \in L_1(t_i) \\ j \quad 1 \quad i}} p(y_j), \quad (13)$$

где C_1 и C_2 – вес состояний, представленных графически соответственно, а $C(L^*)$ – вес состояния, индицирующего пространство функциональных обязанностей L^* .

Если вычесть (12) из (13), то можно получить, что состояние, представленное на графе (рис. 1), будет иметь меньший вес, чем состояние на графе (рис. 2), но только в том случае, когда

$$c(t_k) / \sum_{\substack{y \in L_0(t_i) \\ j \quad 0 \quad k}} p(y_j) = \Phi_0(t_k) \geq c(t_i) / \sum_{\substack{y \in L_1(t_i) \\ j \quad 1 \quad i}} p(y_j) = \Phi_1(t_i). \quad (14)$$

Полученное условие (14) является условием предпочтения двух сравнимых состояний $t_i, t_k \in T$. Поэтому введем обозначение $t_i \prec t_k$, которое будет означать, что состояние пространства функциональных обязанностей t_i предпочтительнее состояния t_k . Если далее принять, что одновременно выполняются условия (5) и (14), то это предположение приводит к отношению, которое можно записать в нестрогой формулировке так:

$$(L_p(t_i) \subset L_s(t_k)) \& (\Phi_p(t_i) \leq \Phi_s(t_k)) \Rightarrow (t_i \prec t_k).$$

Вновь, как и ранее, дополнительно принимая предположение о том, что формируемая шкала единственна с точностью до монотонно возрастающих непрерывных отображений множества $m(A)$ в R , получим отображение (4), которое можно использовать в качестве шкалы предпочтений, которая позволяет шкалировать обобщенное пространство функциональных обязанностей (11) в эргатической системе "Судоводитель – ЭКНИС".

Определим условие транзитивности состояний пространства функциональных обязанностей эргатической системы. Пусть, кроме заданных состояний t_i и t_k на T существует еще одно – третье состояние t_m . Кроме того, пусть эти три состояния, являясь попарно неэквивалентными и сравнимыми, показывают нарушение свойства транзитивности у отношения предпочтения, т.е.

$$t_i \prec t_m, \quad t_m \prec t_k, \quad t_k \prec t_i.$$

Тогда вводя весовые показатели

$$\begin{aligned} \Delta c_{km} &= c(t_m) - c(t_k), & \Delta c_{im} &= c(t_m) - c(t_i), \\ \Delta p &= \sum_{\substack{y \in L(t_i) \\ j \quad q \quad s=1}}^{\substack{L(t_i) \\ s=0 \quad k}} p(y_j), & \Delta p &= \sum_{\substack{y \in L(t_i) \\ j \quad q \quad m \quad p \quad i}} p(y_j) \end{aligned}$$

и учитывая (14), составим систему неравенств

$$(\Delta c_{im} \setminus c(t_i)) < (\Delta p_{im} \setminus \sum_{\substack{y \in L(t_i) \\ j \quad p \quad i}} p(y_j)), \tag{15}$$

$$(\Delta c_{km} \setminus c(t_k)) < (\Delta p_{km} \setminus \sum_{\substack{y \in L(t_i) \\ j \quad s=0 \quad k}} p(y_j)). \tag{16}$$

Невыполнение хотя бы одного из неравенств (15) или (16) в системе приводит к транзитивности отношения предпочтения. Для составления индикатора транзитивности отношения предпочтения в пространстве T усилим неравенство (16), изменив его знак на противоположный. Тогда достаточное условие транзитивности отношений предпочтений в пространстве T можно записать так:

$$(\Delta c_{max} \setminus c_{min}) < (\Delta p_{min} \setminus \sum p(y_j)_{max}),$$

где Δc_{max} – максимальная разность весов между двумя состояниями, c_{min} – минимальный вес, Δp_{min} – минимальная разность суммарных вероятностей событий, принадлежащих различным исходам сравнимых состояний, $\sum p(y_j)$ – максимальная сумма вероятностей событий, принадлежащих одному исходу сравнимого состояния.

5. Заключение

Эффективность управления состоянием навигации зависит от распределения функциональных обязанностей между программным продуктом технических средств судовождения и "человеческим элементом", которые включены в контур управления судна.

Практическое решение задачи шкалирования пространства функциональных обязанностей с привлечением шкалы порядка осложняется тем, что существуют определенные трудности в учете надежности характеристик "человеческого элемента".

Повышение надежности функционирования эргатической системы "Судоводитель – ЭКНИС" можно связать со шкалированием пространства функциональных обязанностей, основанным на отношении предпочтения, причем результаты такого шкалирования могут обладать свойством транзитивности.

Литература

Губинский А.И., Бодров В.А., Мозин В.А. Практические методы количественной оценки надежности системы "человек – техника". *Материалы ко второму Всесоюзному симпозиуму по надежности комплексных систем "человек – техника"*. Л., ЛГУ, с.34-37, 1969.