

УДК 656.061

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МНОГОКАНАЛЬНОГО АПК В МОРСКОМ СЕГМЕНТЕ Е-НАВИГАЦИИ

Папулов Д.С., аспирант ФГБОУ ВО «ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова»

Разработка системных комплексов Е-навигации нацеливает национальные морские администрации проводить комплексную работу по систематизации целей и средств исключающих аварийность, потери ресурсов, времени на обработку грузов и обслуживание пассажиров, а также комплексирование мер по безопасности мореплавания.

Моделирование ситуаций с помощью математического аппарата, в частности применение технозадач с использованием теории массового обслуживания, уравнения Эрланга, сетей Петри решает эти задачи.

Ключевые слова: технозадача, Е-навигация, транспортный поток, алгоритм морских перевозок, многоканальный комплекс, формула Эрланга, сеть Петри для потока судов.

CONCEPTUAL FOUNDATIONS MULTI-CHANNEL APK IN THE MARINE SEGMENT OF E-NAVIGATION

Papulov D., the post-graduate student, FSEI HE «Admiral Ushakov Maritime State University»

Development of system of complexes of E-navigation aims of the national Maritime administration to conduct a comprehensive work on systematization of targets and means of eliminating accidents, loss of resources, time for cargo handling and passengers service, but also the aggregation of measures on safety of navigation.

Simulations using the mathematical apparatus, in particular the application of Tehnosila using Queuing theory, erlang's equations, Petri nets achieve these goals.

Keywords: technospace, E-navigation, traffic flow, the algorithm of Maritime transport, multi-complex formula of Erlang, the Petri net for the flow of ships.

Творческая работа в области е-Навигации, ведется под идеологическим руководством ИМО, одновременно этой работой занимается Европейская комиссия в проекте MarNIS (Maritime Navigation Information Services), и национальные морские администрации. Считается, что е-Навигация нацелена на решение следующих задач:

- минимизация навигационных ошибок, аварий и происшествий;
- защита людей, морской среды и ресурсов;
- повышение безопасности;
- снижение расходов со стороны судоходства и прибрежных государств;
- предоставление услуг, выгодных для коммерческого судоходства.

Расширение задач вводит новое понятие – е-Судоходство (e-Maritime – enhanced Maritime). Идеологическая основа е-Судоходства предполагает предоставление услуг, для транспортной среде, морским властям различных уровней и морскому сообществу. Для реализации этой концепции необходимо выполнить следующее:

- повышение навигационной безопасности и минимизация транспортных аварий и происшествий на основе реализации всех преимуществ е-Навигации;
- мониторинг и регулирование транспортных потоков;
- защита людей, морской среды и ресурсов;
- улучшение условий безопасности;
- уменьшение рабочей нагрузки на экипажи судов;
- уменьшение расходов судоходных компаний, портов и прибрежных государств;
- обеспечение взаимодействия с другими видами транспорта;
- повышение эффективности работы других организаций, связанных с судоходством.

В целом е-Навигация является интегральной частью е-Судоходства. В настоящее время заканчивается разработка стратегического структурного плана Европейского союза реализации проблем е-Навигации.

Однако не решены основополагающие задачи е-навигации, не позволяющие двигаться дальше:

- наличие векторных электронных навигационных карт для всех районов Мирового океана ЭКНИС;
- надежная электронная система позиционирования с дублированием (ГНСС+ Е-ЛОРАН);
- согласованная инфраструктура связи между судами и береговыми службами;
- отсутствие единого алгоритма математического обоснования решений технозадач в связующих системах единого информационного поля Е-навигации.

Алгоритм работы морских сегментов Е-навигации исследуется с помощью решения различных математических задач прикладного характера.

В частности с помощью комплексных решений технозадач из теории массового обслуживания, теории вероятностей и сетей Петри. Рассмотрим многоканальный АПК, в котором выполняются следующие требования.

- На вход системы поступает простейший поток заявок;
- Каждый канал обслуживает одну заявку;
- Время обслуживания подчиняется показательному закону;
- Если хотя бы один канал свободен, то заявка принимается на обслуживание;
- Заявка теряется, если поступает в тот момент, когда все каналы заняты, т.е. другими словами это система с отказами.

Рассмотрим следующие критерии эффективности работы АПК:

- 1) вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$;
- 2) относительная пропускная способность ρ_0 ;
- 3) абсолютная пропускная способность μ .

Обозначим состояния системы соответствующими вероятностями (табл. 1):

Таблица 1

| Состояние СМО | Описание состояния | Вероятность |
|---------------|---------------------|--------------------|
| | Все каналы свободны | $P_0(t)$ |
| | 1 канал занят | $P_1(t)$ |
| | | |
| N | Все каналы заняты | $P_n(t) = P_{отк}$ |

Формула Эрланга

Чтобы получить выражение для исходных критериев необходимо составить систему дифференциальных уравнений, связывающую вероятности предыдущих и последующих состояний СМО (уравнений Колмогорова) и, затем, решить эту систему [1].

$$\begin{cases} \frac{dP_k(t)}{dt} = -(\lambda + \mu)P_k(t) + \lambda P_{k-1}(t) + \mu P_{k+1}(t), & k = \overline{1, n}, \\ \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t). \end{cases} \quad (1)$$

На практике часто представляет интерес установившийся процесс, описываемый стационарным решением указательной системы дифференциальных уравнений при $t \rightarrow \infty$.

При этом, для всех индексов k , от 1 до n производные равны нулю и система дифференциальных уравнений превращается в систему алгебраических уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases} -\lambda P_0 + \mu P_1 = 0, \\ \lambda P_{k-1} - (\lambda + \mu)P_k + \mu P_{k+1} = 0, & k = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2)$$

Решением подобной системы уравнений для случая n обслуживающих каналов является формула Эрланга, выражающая предельные вероятности состояний P_k :

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!}}, \quad (3)$$

где ρ – нормированная интенсивность входного потока заявок (загрузка обслуживающего канала).

Формула Эрланга дает вероятность того, что k каналов из n заняты обслуживанием заявок.

Критерии эффективности работы многоканального АПК:

С помощью формулы Эрланга найдем выражения для введенных критериев.

Вероятность отказа в обслуживании – вероятность того, что в момент прихода заявки все обслуживающие каналы будут заняты (в формуле Эрланга $k = n$):

$$P_n = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!}} = P_{отк}. \quad (4)$$

Относительная пропускная способность – вероятность обслуживания:

$$\pi_0 = 1 - P_{отк} = 1 - P_n. \quad (5)$$

Абсолютная пропускная способность – количество заявок в единицу времени:

$$\pi = \lambda \pi_0 = \lambda (1 - P_n). \quad (6)$$

Пример оценки эффективности работы многоканального АПК:

Рассмотрим работу участка якорной стоянки с n -числом судов:

Участок включает 3 судна со средним временем обработки одного судна – 3 минуты.

заявки приходят в канал в среднем через 2 минуты.

Требуется определить вероятность отказа, а также относительную и абсолютную пропускную способность обработки на участке.

Решение:

Три судна на участке означает, что $n=3$.

1. Определим среднюю скорость поступления заявок (от судов): $\lambda = 1/2$ [мин⁻¹].

2. Определим среднюю скорость обслуживания: $\mu = 1/3$ [мин⁻¹].

3. Найдем величину загрузки обслуживающего канала: $\rho = \lambda/\mu = 3/2 = 1,5$.

Если бы на участке было только одно судно с такой загрузкой $\rho > 1$, то, как известно из теории, он не справился бы с таким потоком заявок, и число отказов неограниченно возрастало бы (если учитывать очередь, то она возрастала бы до бесконечности $L \rightarrow \infty$).

4. Найдем вероятность отказа в обслуживании для трех судов, используя формулу Эрланга:

$$P_{отк} = P_3 = \frac{\rho^3}{3!} \cdot \frac{1}{\sum_{i=0}^3 \frac{\rho^i}{i!}} = 0,17647 \quad (7)$$

Это означает, что в среднем из 100 поступающих заявок в канал, 17 (точнее: из 1000 – 176) могут быть не приняты (отправлены назад, например, в список ожидания), так как в это время все 3 канала заняты обработкой других заявок [2].

5. Найдем относительную пропускную способность (вероятность обслуживания):

$$\pi_0 = 1 - P_3 = 1 - 0,17647 = 0,82353.$$

Это означает, что в среднем из 100 поступающих на участок судов примерно 82 будут обработаны.

6. Определим абсолютную пропускную способность:

$$\pi = \lambda \cdot \pi_0 = 0,5 \cdot 0,82353 \cdot 60 = 24,7059 [\text{судов} / \text{час}]$$

Заметим, что если бы заявки приходили на обработку не случайным образом, а регулярно, т.е. строго каждые 2 минуты, то все суда на участке успевали бы обрабатываться, и даже еще оставалось бы время, т.е. никаких отказов бы не было! Это следует из того, что среднее время обработки одного судна на участке из трех судов равно:

$$\mu_3 = (1/3) \cdot 3 = 1 [\text{мин}^{-1}] \rightarrow T_3 = 1 / \mu_3 = 1 [\text{мин}]$$

Возможности оценки характеристик АПК с использованием аналитических моделей теории массового обслуживания ограничены по сравнению с теми требованиями, которые предъявляют практические задачи, возникающие при исследовании и проектировании реальных систем.

Сети Петри

Это аппарат для моделирования динамических дискретных систем (преимущественно асинхронных параллельных процессов). Сеть Петри определяется как четверка $\langle P, T, I, O \rangle$, где P и T – конечные множества позиций и переходов, I и O – множества входных (*Input*) и выходных (*Output*) функций[3].

Иначе говоря, сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, в котором позициям соответствуют вершины, изображаемые кружками, а переходам – вершины, изображаемые утолщенными черточками.

Функциям I соответствуют дуги, направленные от позиций к переходам, а функциям O – от переходов к позициям.

Как и в системах массового обслуживания, в сетях Петри вводятся объекты двух типов: динамические – изображаются метками (маркерами) внутри позиций и статические – им соответствуют вершины сети Петри.

Модели в виде сетей Петри также называют N-схемами (от англ. net – сеть).

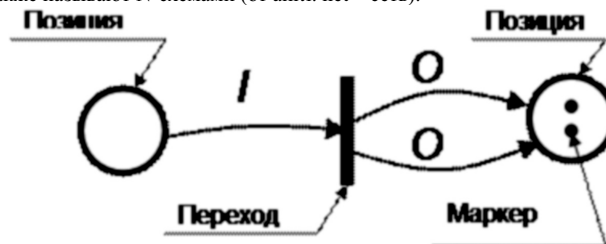


Рис. . Фрагмент сети Петри и основные понятия

Маркировка

Распределение маркеров по позициям называют маркировкой. Маркеры могут перемещаться в сети. Каждое изменение маркировки называют событием, причем каждое событие связано с определенным переходом. Считается, что события происходят мгновенно и одновременно при выполнении некоторых условий.

Каждому условию в сети Петри соответствует определенная позиция. Совершению события соответствует срабатывание (возбуждение или запуск) перехода, при котором маркеры из входных позиций этого перехода перемещаются в выходные позиции. Последовательность событий образует моделируемый процесс[4].

Таким образом представленная модель обработки данных позволяет решить задачу по прикладному применению методики обработки потока судов в портах, а обработка с помощью сетей Петри моделирует реальную ситуацию движения судопотока.

Литература:

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344 с.
2. Омату С., Халид М., Юсоф Р. Нейроуправление и его приложения. — М.: ИПРЖР, 2000. — 272 с.
3. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. — М.: ИПРЖР, 2002. — 480 с.
4. Цапко С.Г. Применение сетей Петри для имитации функционирования сложных систем с заложенным принципом резервирования. //Международная научно-техническая конференция «Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров». — Пенза, 1999. — стр. 111-113