

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/38-136

Ссылка для цитирования этой статьи:

Литуненко Е.Г., Колесов Н.В., Грузликов А.М., Скородумов Ю.М. Информационно-математическая модель сети подводных аппаратов // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2022. №2

Выполнено при поддержке гранта РНФ № 22-29-00339

УДК 621.396

DOI: 10.24412/2541-9269-2022-2-02-06

ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕТИ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Литуненко Е.Г.¹, Колесов Н.В.¹, Грузликов А.М.¹, Скородумов Ю.М.¹

¹ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Россия, г. Санкт-Петербург

MATHEMATICAL MODEL OF INFORMATION INTERACTION IN A NETWORK OF AUTONOMOUS VEHICLES

E.G. Litunenko¹, N.V. Kolesov¹, A.M. Gruzlikov¹, Yu. M. Skorodumov¹

¹Concern CSRI Elektropribor, JSC, Russia, Saint Petersburg

Аннотация. Рассматривается информационно-математическая модель сети подводных аппаратов, представляющая собой набор субоптимальных алгоритмов планирования последовательности информационных сообщений. Приведено описание математической и имитационной моделей сети.

Ключевые слова: математическая модель, сеть подводных аппаратов, субоптимальные алгоритмы

Abstract. The mathematical model of information interaction in a network of underwater vehicles, which is a set of suboptimal algorithms for scheduling a sequence of information messages, is presented. The description of the network mathematical model and the simulation model are given.

Keywords: mathematical model, submersible network, suboptimal algorithms

Введение

Подводные аппараты занимают важное место в современном мире. Они служат для проведения различных океанографических исследований, строительства подводных сооружений и их технического обслуживания и т.д. Развитие подводной инфраструктуры обуславливает необходимость обеспечения сетевого взаимодействия между подводными объектами, в том числе и подвижными подводными аппаратами. Сама проблема сетевого взаимодействия не является новой. В наземном варианте ее решения хорошо известны и достаточно эффективны, однако звукоподводная связь, используемая подводными аппаратами, имеет существенные особенности. К

таким особенностям можно отнести, прежде всего, низкую скорость информационного обмена между абонентами сети и ограниченность ресурсов, что влияет на время автономной работы и дальность распространения сигнала. Эти причины обуславливают актуальность разработки алгоритмов сетевого взаимодействия для подводных абонентов, которые бы учитывали все особенности как самих абонентов, так и водной среды. В настоящем реферате рассматривается один из аспектов информационного взаимодействия подводных аппаратов – планирование информационных обменов.

Постановка задачи

Предполагается, что существует подводная сеть, состоящая из идентичных узлов, функционирующих по одному и тому же алгоритму. Сеть стационарна, что гарантирует постоянство средних значений интенсивностей потоков обменов (заявок), обслуживаний и очередей [1]. В результате взаимного обмена сообщениями каждому узлу известны координаты всех остальных узлов, что позволяет ему строить минимальные по расстоянию маршруты доставки сообщений. Доставка сообщений происходит с использованием некоторого известного алгоритма маршрутизации, опирающегося на таблицы маршрутизации [2]. Для любого сообщения маршрут всегда существует, т.е. аппараты не расходятся слишком далеко друг от друга. Каждый абонент сети является принимающим, передающим и ретранслирующим.

С заданным периодом абоненты сети передают пакеты сообщений, которые состоят из собственных сообщений, сгенерированных передающим абонентом, а также из сообщений, полученных от других абонентов на предыдущем периоде, которые необходимо ретранслировать. В общем случае различным упорядоченностям сообщений, передаваемых узлом, будет соответствовать различная оперативность доставки сообщений. Далее в качестве критерия оперативности будет использоваться либо суммарное время Δ_s доставки всех сообщений из передаваемой последовательности, либо среднее по сообщениям время $\bar{\Delta}$ доставки. При этом под временем доставки Δ сообщения, находящегося на k -й позиции в очереди рассматриваемого узла, будем понимать сумму времени ожидания в очереди $e_{[k]}^w$ передающего узла и времени переноса $e_{[k]}^t$ сообщения (время от момента начала передачи сообщения до момента конца его приема) между передающим узлом и узлом-адресатом

$$\Delta_{[k]} = e_{[k]}^w + e_{[k]}^t \quad (1)$$

В случае многошагового маршрута, когда требуется ретрансляция сообщений через несколько абонентов сети, выражение для времени доставки сообщения принимает вид:

$$\Delta_{[k]} = \sum_{i=1}^{r_{[k]}} (e_{[k],i}^w + e_{[k],i}^t), \quad (2)$$

где $r_{[k]}$ – общее число шагов маршрута, по которому передается сообщение, находящееся на k -й позиции в очереди, i – порядковый номер шага маршрута.

Преобразуем это выражение, выделив из общей суммы слагаемое, характеризующее первый шаг

$$\Delta_{[k]} = e_{[k]}^w + e_{[k]}^t + \sum_{i=2}^{r_{[k]}} (e_{[k],i}^w + e_{[k],i}^t), \quad (3)$$

Ясно, что в случае многошагового маршрута предсказать размер и содержание очередей сообщений в узлах-ретрансляторах на маршруте следования передаваемого сообщения невозможно. В связи с этим при дальнейшем анализе воспользуемся не точным значением для $\Delta_{[k]}$, а его оценкой $\hat{\Delta}_{[k]}$, где время ожидания на каждом последующем шаге, кроме первого, заменим на его верхнюю границу. Для этого обозначим через \bar{n} верхнюю границу для длины очередей, а через E верхнюю границу длительности сообщений. В результате их произведение составит верхнюю границу времени ожидания на любом шаге для рассматриваемого сообщения. Тогда получаем

$$\hat{\Delta}_{[k]} = e_{[k]}^w + e_{[k]}^t + (r_{[k]} - 1)\bar{n}E + \sum_{i=2}^{r_{[k]}} e_{[k],i}^t. \quad (4)$$

Понятно, что это выражение представляет собой верхнюю границу для времени доставки сообщения, находящегося на k -й позиции в очереди рассматриваемого узла.

Итак, задача состоит в разработке такой информационно-математической модели сети подводных аппаратов, чтобы суммарное, либо среднее время доставки сообщений в сети подводных аппаратов было минимальным. Для этого далее предлагается идти по пути использования известных [3–7] и разработки новых алгоритмов планирования.

Алгоритмы планирования сеансов обмена

В простейшем случае сообщения, которые должен передать абонент, не сгруппированы и не имеют никакой предварительной упорядоченности, в таком случае верхняя граница суммарного времени доставки $\hat{\Delta}_s$ в системе связи n неупорядоченных сообщений минимальна, если сообщения упорядочены по убыванию длительностей

$$e_{[1]} \leq e_{[2]} \leq \dots \leq e_{[n]} \quad (5)$$

В некоторых случаях сообщения могут быть предварительно сгруппированы. Например, они могут быть сгруппированы по смыслу (если одно сообщение разбито на несколько), либо по маршруту (несколько

сообщений следуют по одному маршруту). В таком случае считая, что сообщения частично упорядочены путем разбиения на p непересекающихся групп со строгим упорядочением сообщений внутри них и размером $n_i, i = \overline{1, p}$. Предполагается, что при составлении общего плана должен сохраняться зафиксированный в группе порядок передачи сообщений, а прерывания групп сообщений запрещены. Обозначим через e'_i суммарную длительность i -й группы сообщений

$$e'_i = \sum_{j=1}^{n_i} e_{i,j}, \quad j = \overline{1, n_i}. \quad (6)$$

Верхняя граница $\hat{\Delta}_s^w$ для суммарного времени доставки сообщений в системе связи с p строго упорядоченными группами при запрете прерываний групп минимально, если группы в плане упорядочены по неубыванию длительностей

$$e'_{[1]} \leq e'_{[2]} \leq \dots \leq e'_{[p]} \quad (7)$$

Наконец, рассмотрим наиболее сложную ситуацию, когда прерывание процесса передачи группы разрешено.

В таком случае верхняя граница среднего времени доставки сообщений $\bar{\Delta}$ в системе связи с p строго упорядоченными группами при разрешении прерываний групп минимально, если группы в плане упорядочены по правилам

1. Для каждого сообщения j в i -й группе вычисляется условная верхняя граница среднего времени доставки (верхняя граница среднего времени доставки при условии размещения подгруппы сообщений, предшествующей $(j+1)$ -му сообщению в i -й группе, в начале формируемой очереди)

$$\bar{\Delta}_{i,j} = \frac{\sum_{h=1}^j \hat{\Delta}_{i,h}}{j}.$$

2. Для каждой i -й группы вычисляется

$$\bar{\Delta}_{i,h_i} = \min(\bar{\Delta}_{i,1}, \bar{\Delta}_{i,2}, \dots, \bar{\Delta}_{i,n_i}).$$

3. Выбирается такая группа i^* , что

$$i^* = \arg \min_i \bar{\Delta}_{i,h_i}.$$

и первые h_{i^*} сообщений составляют начало очереди.

4. Снова вычисляются величины $\bar{\Delta}_{i,h_i}$, но без учета сообщений, размещенных в очереди.

5. Третий и четвертый шаги повторяются до упорядочения всех сообщений.

Апробация алгоритмов и результаты

Все приведенные выражения представляют собой информационно-математическую модель на основе субоптимальных алгоритмов планирования информационных обменов в сети подводных аппаратов. Справедливость соотношений доказана математически и с помощью имитационной модели.

Имитационная модель разработана с помощью эмулятора mininet [8]. Он позволяет настроить как алгоритмы информационного взаимодействия, так и параметры передачи сигналов.

Заключение

В реферате рассмотрена информационно-математическая модель подводных аппаратов, построенная на основе субоптимальных алгоритмов планирования потока сообщений, передаваемых подводными аппаратами – абонентами подводной сети. Эффективность предложенных алгоритмов по критерию минимизации суммарного или среднего времени доставки сообщений доказана математически и с помощью имитационной модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-29-00339.

Литература

1. Hamilton A., Holdcroft S., Fenucci D., Mitchell P., Morozs N., Munafò A., Sitbon J. Adaptable Underwater Networks: The Relation between Autonomy and Communications // Remote Sensing. 2020. V.12. 3290. <https://doi.org/10.3390/rs12203290>
2. Туфанов И.Е., Щербатюк А.Ф. Некоторые результаты морских испытаний централизованной системы управления группой морских роботов // Управление большими системами. 2016. №59. С. 233–246.
3. Кебкал К.Г., Машошин А.И., Мороз Н.В. Пути решения проблем создания сетевой подводной связи и позиционирования // Гироскопия и навигация. 2019. Т. 27. № 2 (105). С. 106-135.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
5. Тель Ж. Введение в распределенные алгоритмы. М.:МЦНМО, 2009. 616 с.
6. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука, 1975. 282 с.
7. Малашенко Ю.Е., Назарова И.А., Новикова Н.М. Анализ двухуровневых потоковых сетей ресурсообеспечения // Изв. РАН. ТИСУ. 2020. № 3. С.81–94.
8. Mininet. An Instant Virtual Network on your Laptop. URL: <http://mininet.org> (Дата обращения: 13.07.2022)