

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АБОНЕНТОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Е.Г. Литуненко, А.М. Грузликов, Ю.М. Скородумов, Н.В. Колесов,
М.В. Толмачева (Санкт-Петербург)

Введение

Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) имеют широкий спектр применения, возможность работать в экстремальных условиях окружающей среды позволяет АНПА решать задачи по сбору информации в интересах геологоразведочных, поисковых, океанографических и других исследований. Создание и разработка АНПА является сложной задачей, например, необходимо обеспечить длительную автономность аппарата за счёт использования аккумуляторных батарей, но при этом необходимо соблюсти ограничения по весу.

Ограничения по ресурсам АНПА делает невозможным миссии, где критичным является фактор времени. Это задачи поиска и обследования затонувших объектов, патрулирование и т.д. Для выполнения данных задач используется мультиагентный подход, с обменом информацией между агентами для координации совместных действий [1]. В сети АНПА информационное взаимодействие между аппаратами осуществляется с использованием средств звукоподводной связи (ЗПС). Особенностью среды использования средств ЗПС является зависимость коэффициента затухания гидроакустического сигнала от частоты, многолучевое распространение, обнаружение сигнала в условиях априорной неопределенности помехо-сигнальной обстановки. Указанные особенности приводят как к существенному ограничению скорости обмена (килобиты в секунду), так и к ограничению радиуса обмена информацией между аппаратами. Как следствие, необходимо разработать алгоритм организации взаимодействия абонентов сети с учётом изменяющейся прямой информационной видимости, в том числе построение маршрутизации обмена с использованием узлов в качестве ретрансляторов.

Дополнительным фактором, влияющим на эффективность выполнения миссии гидроакустической сети, является требование по энергоэффективности и отказоустойчивости, где под энергоэффективностью понимается задача минимизации временных ресурсов для обмена сообщениями, а отказоустойчивость понимается как доставка сообщения до адресата с учётом изменения топологии информационного взаимодействия из-за перемещения или отказов аппаратов.

В работе описана организация информационно-технического взаимодействия абонентов сети, предложена модель гидроакустической сети, приведен алгоритм маршрутизации сообщений между узлами с учётом изменения топологии сети, приведено описание построения имитатора предназначенного для отработки алгоритмов взаимодействия.

Модель информационного взаимодействия абонентов сети

Абоненты сети осуществляют обмен информацией в соответствии с программой, определяемой внешней системой управления (при ее наличии) или предварительно сформированной на уровне программного обеспечения согласно заданной миссии. Под миссией понимается изменение положения абонентов в соответствии с заданной программой движения и правила (периодичность) информационного обмена.

Алгоритм обмена определяет последовательность, информационное содержание и маршрут передачи сообщений с учётом пространственного разделения каналов в соответствии с диаграммой направленности приёмных антенн. Излучение осуществляется с использованием ненаправленного излучателя, т.е. сообщения получают все абоненты, находящиеся в зоне прямой гидроакустической видимости.

Отправка сообщений производится в режиме «точка – точка» (известному узлу в прямой видимости – прямого доступа) и в режиме широкоэвещательной рассылки (всем узлам). Построение таблиц маршрутизации на узлах сети производится динамически, по результату информационного взаимодействия. Каждое принятое узлом сообщение (пакет данных) может быть использовано для актуализации/обновления его локальной таблицы маршрутизации. В свою очередь, каждое излучение абонента, направленное на поиск абонента, приводит к блокировке отсылки узлом «другой» полезной информации – тем самым снижается энергоэффективность функционирования сети в целом.

Пусть в сети находится N абонентов. Абонент i задаётся уникальным идентификатором и в момент времени t находится в точке с координатами $\{x_t^i, y_t^i, z_t^i\}$. Временная ось разделена на равные интервалы длительностью T , в каждом из которых осуществляется синхронное излучение и приём сообщений. При моделировании считается, что координаты аппаратов постоянны на периоде T и изменяются при переходе на следующий период. Считаем, что для каждого абонента сети, зона видимости на приёме и на излучении совпадает и равна R , причем данное значение не зависит от ориентации приёмной и излучающей антенны.

Каждый абонент i в соответствии с заданной миссией осуществляет перемещение и формирует поток сообщений с выбранным адресатом в соответствии с заданным законом. Каждая передача одного сообщения укладывается в период T .

Рассмотрим формат протокола информационного обмена и алгоритм для динамической маршрутизации сообщений на примере передачи сообщения от абонента 1 к абоненту 6 при отсутствии информации в таблице маршрутизации для следующей конфигурации прямой гидроакустической видимости абонентов (рис. 1):

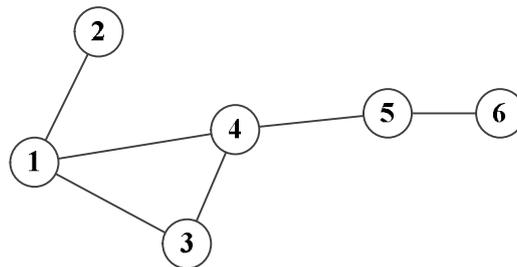


Рис. 1. Исходные данные по прямой видимости абонентов сети

Определим следующий формат протокола информационного обмена (табл. 1).

Таблица 1. Формат протокола информационного обмена между абонентами сети

№	Поле	Назначение
Параметры пакета (заголовок, hdr)		
1	src	Номер узла, инициировавшего отправку сообщения (истинный отправитель)
2	dst	Номер целевого узла (истинный получатель)
3	s	Номер текущего отправителя
4	d	Номер текущего получателя
5	ttl	Максимальное число элементарных актов передачи пакета по маршруту
6	t	Локальное время отправки сообщения, мс
7	len	Число байт в области данных пакета
8	crc	Контрольная сумма
Данные пакета		
9	type	Тип передаваемых данных
10	data	Данные

Поля с номерами (идентификаторами) текущего отправителя (hdr.s) и получателя (hdr.d) позволяют реализовать инкапсуляцию сообщения при ретрансляции.

Алгоритм работы динамической маршрутизации для конфигурации (рис. 1) при отсутствии информации сводится к последовательности заполнения полей заголовка согласно табл. 2.

Таблица 2. Поля заголовка при передаче сообщения от абонента 1 к абоненту 6

№ аб.	Поля заголовка					Интервал времени	Информация по видимости узлов
	src	dst	s	d	ttl		
1	1	6	1	0xFF	0xFF	T	2 (1), 3(1), 4(1)
2	1	6	2	0xFF	0xFE	$2T$	1(2)
3	1	6	3	0xFF	0xFE		1(3), 4(3)
4	1	6	4	0xFF	0xFE		1(4), 5(4)
5	1	6	5	0xFF	0xFD	$3T$	4(5), 6(5)

Алгоритм работы динамической маршрутизации для конфигурации (рис.1) при наличии информации по маршруту сводится к последовательности заполнения полей заголовка согласно табл. 3.

Таблица 3. Поля заголовка при передаче сообщения от абонента 1 к абоненту 6

№ аб.	Поля заголовка					Интервал времени	Информация по видимости узлов
	src	dst	s	d	ttl		
1	1	6	1	4	0xFF	T	1 (2, 3, 4)
4	1	6	4	5	0xFE	$2T$	4 (1, 3, 5)
5	1	6	5	6	0xFD	$3T$	5 (4, 6)

Для повышения энергоэффективности функционирования сети с сохранением её отказоустойчивости необходимо определить периодичность актуализации таблицы маршрутизации и планирования последовательности излучений с учётом наличия у абонента следующей информации:

- по собственным координатам (для оценки собственного перемещения);
- угол приёма данных от абонента;
- время приёма/излучение сообщения и число используемых при обмене ретрансляторов – позволяет сделать оценку по дистанции.

Для решения рассматриваемой задачи, разработано программное обеспечение для проведения имитационного моделирования и отработки алгоритмов взаимодействия, включая отладку программного обеспечения алгоритма маршрутизации в АНПА.

Программное обеспечение имитационного моделирования сети

Программное обеспечение для проведения имитационного моделирования создано в среде Qt Creator по принципу клиент-серверной модели с использованием ТСР/ІР протокола.

В качестве сервера реализована модель сети, в которой осуществляется оценка по критериям:

- энергоэффективности – суммарное число сообщений переданных абонентами за один сеанс имитационного моделирования;
- отказоустойчивости – число не доставленных сообщений.

Клиентами являются абоненты сети со следующими исходными данными:

- параметры движения абонента;
- информация по передаче сообщения некоторому адресату сети.

На параметры движения абонента накладывались ограничения для обеспечения их пространственного разрешения излучений и связности сети, т.е. любое сообщение могло быть доставлено с использованием ретрансляции.

При получении информации по излучению, модель сети транслировала сообщения всем абонентам, находящимся в зоне прямой видимости, включая угол приёма сигнала.

Параметрами оптимизации являются алгоритмы планирования последовательности передачи сообщений от абонентов, а также правила обновления таблицы маршрутизации. В частности рассмотрены варианты планирования передачи сообщений путем сведения сети к проблеме flow-shop планирования и применения алгоритмов оптимизации полиномиальной сложности [2-5].

Экранная форма среды имитационного моделирования приведена на рис. 2.

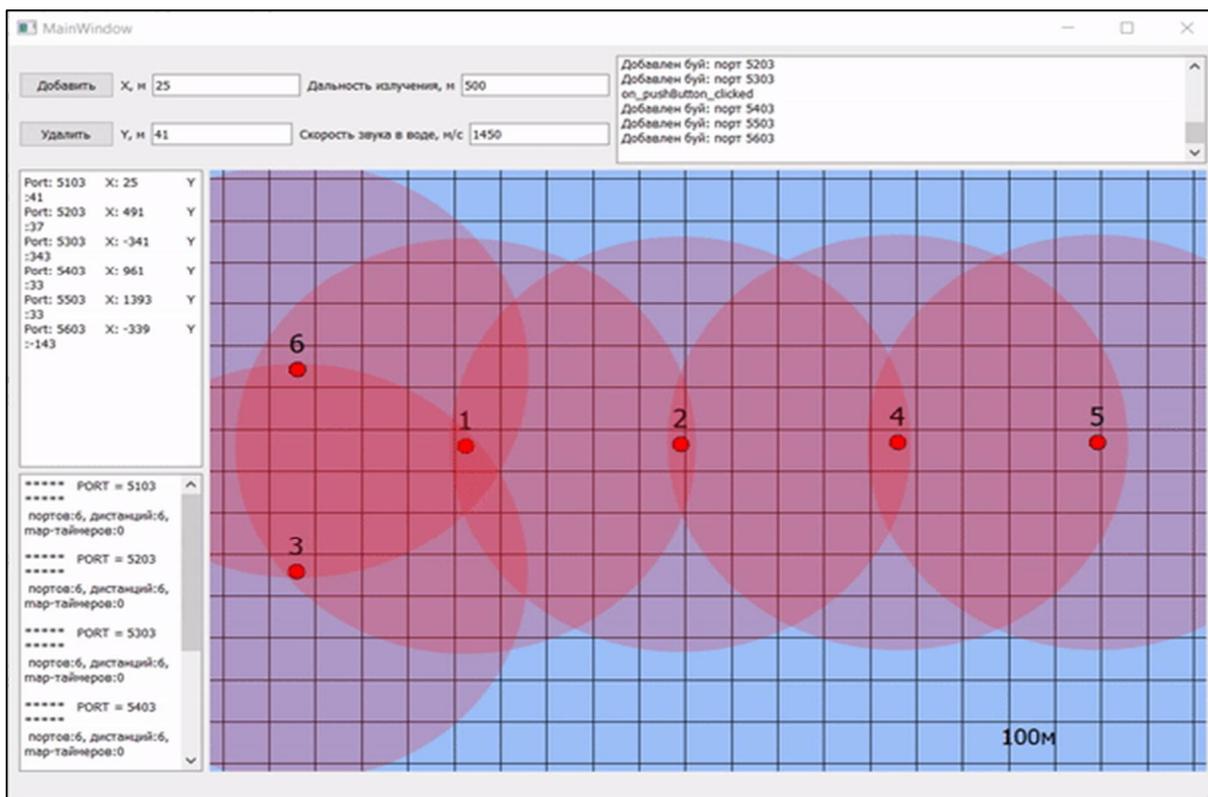


Рис. 2. Экранная форма имитационной среды моделирования сети

Для отработки программного обеспечения были проведены эксперименты с имитацией 6 абонентов сети при различных вариантах перемещений абонентов сети.

Заключение

В работе описано организация информационно-технического взаимодействия между абонентами сети с использованием средств звукоподводной связи (скорость обмена которых составляет килобиты в секунду), предложена модель гидроакустической сети, приведен алгоритм маршрутизации сообщений между узлами с учётом изменения топологии сети.

Имитационное моделирование с использованием разработанного программного обеспечения позволило отработать технические решения при различных исходных данных по размещению абонентов и их информационному взаимодействию.

Учитывая особенность организации звукоподводной связи, планируется проведение исследований и моделирования работы абонентов при их створе, т.е. в случае невозможности определения объектов пространственным способом.

Литература

1. **Федосов В.П. и др.** Сети связи для подводных автономных роботизированных комплексов. Таганрог: ЮФУ, 2018. 178 с.
2. **Brucker P.** Scheduling Algorithms – Springer, 2007.
3. **Gruzlikov A.M, Kolesov N.V, Skorodumov Yu.M., Tolmacheva M.V.** Using solvable classes in flowshop scheduling // Int J Advanced Manufacturing Technology, 2016.
4. **Грузликов А.М., Колесов Н.В., Скородумов Ю.М., Толмачева М.В.** Планирование заданий в распределенных системах реального времени // ТиСУ, № 2, 2017.
5. **Скородумов Ю.М.** Полиномиальные алгоритмы планирования заданий в распределенных системах / А.М. Грузликов, Ю.М. Скородумов // Материалы XXII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». 2020. С.342-344.