

УДК 621.373.826

БЕСПРОВОДНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СЕТЬ СВЯЗИ МЕЖДУ МОБИЛЬНЫМИ МОРСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

С. Н. Кузнецов, директор по ИТ АО «Мостком»; ksn@mостком.ru

Б. И. Огнев, аспирант РГРТУ, директор по развитию АО «Мостком»; develop@mостком.ru

Е. Г. Чуляева, д.т.н., заведующая кафедрой ГП РГРТУ; elenachuljaeva@yandex.ru

Рассмотрена задача организации беспроводной оптической многоузловой сети (MANET) связи между надводными кораблями. Целью работы является создание компьютерной модели такой сети связи, выбор алгоритма организации логической сетевой инфраструктуры и определение основных технических требований к терминалам оптической связи. Для моделирования сети мобильных надводных кораблей было разработано программное обеспечение «Эмулятор беспроводной оптической сети». Для организации сети связи использованы известные алгоритмы дискретной математики. Проведено моделирование организации сети, сформулированы технические требования к терминалам оптической связи как элементу указанной сети.

Ключевые слова: беспроводная оптическая связь, Free Space Optics, маршрутизация, терминал оптической связи, MANET, лазерная связь с подвижными объектами, защищённый канал связи.

DOI: 10.21667/1995-4565-2018-63-1-59-63

Введение

В настоящее время в условиях растущей потребности в увеличении пропускной способности каналов связи задача увеличения скорости передачи данных актуальна при проектировании систем связи между морскими надводными кораблями (НК). Причем высокоскоростная связь нужна не только между НК, но и в сценариях связи НК – берег и НК – летательный аппарат для решения самых разнообразных задач – от воздушной разведки (с передачей мультиспектральных снимков) до работы систем связи в режиме радиомолчания или в обстановке с повышенным уровнем помех (из-за работы средств РЭБ, к примеру). Использование радиосвязи, являющейся традиционной в данном сегменте, не удовлетворяет требованиям по скорости передачи информации. С другой стороны, применение высокоскоростной радиорелейной связи над водной поверхностью осложняется как условиями распространения радиосигналов над проводящей поверхностью, так и большими угловыми отклонениями НК (качка и маневрирование) относительно угловых размеров диаграмм направленности.

В силу указанных причин практически единственной альтернативой высокоскоростной связи между НК является беспроводная оптическая связь. Однако, благодаря ряду свойств данного вида связи и особенностей указанного при-

менения, она в настоящее время практически не используется. В данной работе рассмотрена концепция построения сети беспроводной оптической связи между НК, начиная от требований к терминалам оптической связи и заканчивая алгоритмами организации логической сетевой инфраструктуры.

Постановка задачи

Между кораблями, судами и береговыми объектам, несмотря на традиционное использование радиосвязи, на флоте продолжают использовать и развивать оптические системы связи [1]. Данный вид связи не подвержен воздействию преднамеренных помех, устойчиво работает в условиях магнитных бурь и, самое главное, имеет максимально доступную для беспроводных систем передачи скрытность, что становится всё более актуальным при походах через акватории других государств. В таких условиях обмен сообщениями происходит в опасной (с точки зрения перехвата и подавления широкоэмиттерных радиоканалов) близости кораблей и самолётов других государств. Поэтому средства оптической связи в современных условиях так же важны для флота, как и много лет назад. Согласно [1] «ни одно из технических средств не в состоянии заменить вахтенного сигнальщика». Из этого следует, что оптическая связь при всех ограничениях будет оставаться важной системой обмена информацией между кораблями.

Оптическая беспроводная связь имеет ряд особенностей, определяющих способы и ограничения ее применения.

Основным требованием при организации беспроводной оптической связи является наличие прямой видимости между приемопередатчиками (терминалами оптической связи, ТОС). Из-за кривизны поверхности Земли дальность прямой видимости существенно ограничивается. Так, при установке ТОС на высоте 20 м, дистанция прямой видимости составляет не более 16 км.

Кроме того, дистанция связи является ключевым параметром, определяющим доступность канала связи в условиях воздействия таких внешних факторов, как природные осадки и туман. Повышение надежности беспроводного оптического канала напрямую связано с уменьшением дистанции связи.

Существенным фактором, осложняющим организацию беспроводного оптического канала связи между НК, являются относительно малые углы расходимости излучения передатчиков и малые углы зрения приемников ТОС. Что касается передатчиков, то требование узких угловых диаграмм обусловлено необходимостью увеличения запаса по усилению (бюджета) линии связи. Снижение углов зрения приемников необходимо для минимизации их засветки посторонним излучением. Положительной стороной узких угловых диаграмм приемопередатчиков ТОС является практическое отсутствие влияния рядом установленных ТОС друг на друга и скрытность каналов связи (невозможность детектирования сигнала вне створа луча). Негативная сторона узких диаграмм состоит в необходимости специальных устройств для поиска, захвата и сопровождения (ПЗС) абонента в процессе установления и поддержания оптического канала связи.

Одновременное требование широких углов захвата системы связи и узких рабочих углов ТОС приводит к необходимости использования оптического маяка или системы панорамного освещения, позволяющей каждому ТОС найти всех возможных абонентов в видимом горизонте.

Кроме того, если для стационарных применений наведение ТОС друг на друга возможно в ручном режиме (с их фиксацией на достаточно стабильной опоре), то для НК при их маневрировании, а также в условиях качки, система ПЗС абсолютно необходима.

Еще одной серьезной задачей, которую необходимо решать при организации сети беспроводной оптической связи, является разработка способов ее развертывания. В данном случае это сеть нескольких мобильных объектов с возможностью организации на каждом из них не-

скольких связей точка-точка с другими объектами. В силу мобильности связываемых объектов и нескольких направлений связи на каждом объекте, это должна быть мобильная динамическая (или самоорганизующаяся сеть), называемая в зарубежной литературе MANET (mobile ad hoc network) [2].

Способы решения

Исходя из сформулированных выше требований к оборудованию, в качестве ТОС должны применяться устройства беспроводной оптической связи, обеспечивающие автоматический поиск и захват (идентификация и установление связи) абонента в широком угловом секторе по горизонту (отработка маневрирования НК) и, как минимум, $\pm 30^\circ$ по углу места (качка НК). Кроме того, необходимо сопровождение абонента в указанных условиях.

С точки зрения организации связи, система управления ТОС (СУТОС) каждого НК должна в каждый момент времени определять оптимальную конфигурацию направлений связи и режим использования портов, подключенных к каждому ТОС. Для выполнения указанных задач СУТОС должна иметь информацию о местоположении и ориентации главной оси НК в пространстве. Определение оптимальной сетевой конфигурации в MANET является достаточно сложной задачей [1, 2], решение которой существенно зависит от сценариев применения. Так, в [2] рассматривается общий случай конфигурирования сети с использованием ее на различных типах наземного рельефа, применением воздушных мобильных объектов и различных типов связи (RF).

В рассматриваемом случае организации беспроводной оптической связи между морскими НК задача значительно упрощается за счет известных размеров области связности (до 20 км) с безусловным наличием прямой видимости между НК.

В качестве базового варианта для решения задачи построения сети необходимы следующие процедуры:

- на основе информации о размещении НК и их ориентации определяются все возможные линии связи между ними;

- проводится построение оптимального (покрывающего) дерева связей между НК исходя из того, что весом ребра графа является длина линии связи между НК, соответствующими его узлам;

- оставшиеся доступные связи назначаются в качестве резервных или параллельных каналов связи.

С учетом возможных сценариев построение дерева связей может быть осуществлено не

только на основе полной информации о размещении и ориентации НК (которая может быть недоступна), но и по двум другим вариантам:

– от заранее назначенного центрального узла (НК-флагмана, например);

– параллельно, путем построения отдельных каналов связи между соседними НК с постепенным объединением их в общую сеть.

В качестве описанных выше методов построения покрывающего дерева можно использовать хорошо известные алгоритмы дискретной математики - Крускала, Прима и Борувки [4-7].

Экспериментальные исследования

Для моделирования сети мобильных НК было разработано программное обеспечение «Эмулятор беспроводной оптической сети» (ПО ЭБОС).

ПО ЭБОС позволяет размещать на плоскости несколько НК с заданным количеством ТОС на каждом из них, задавая также положение и ориентацию каждого НК.

Схематически модель НК с одним ТОС представлена на рисунке 1.

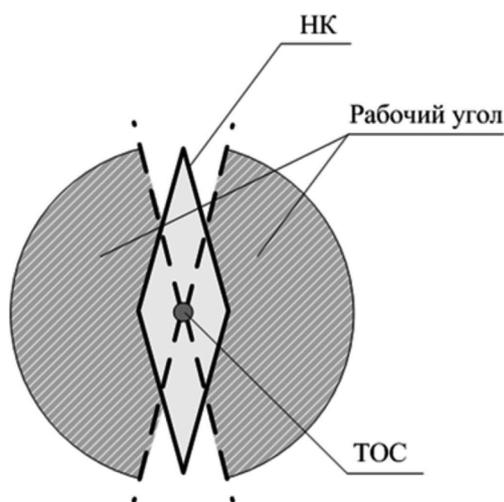


Рисунок 1 – Модель НК с одним ТОС

Базовым элементом в модели является НК с установленными на него двумя ТОС, имеющими рабочие углы, оси которых направлены в противоположные стороны. Под рабочими углами понимаются сектора обзора в горизонтальной плоскости, определяющие направления, в которых может быть установлена (включая все три фазы установления связи поиск-захват-сопровождение) связь.

В вертикальной плоскости рабочие углы ТОС должны покрывать возможные наклоны НК в диапазоне $\pm 30^\circ$ по углу места.

Согласно предлагаемой модели как объект сети каждый НК характеризуется количеством ТОС и их рабочими углами.

С использованием данной модели задавая количество, расположение и ориентацию НК, возможно построение графа возможных связей между НК.

На рисунке 2 приведены 8 НК, расположенных в поле моделирования с обозначенными углами обзора ТОС и всеми возможными линиями связи.

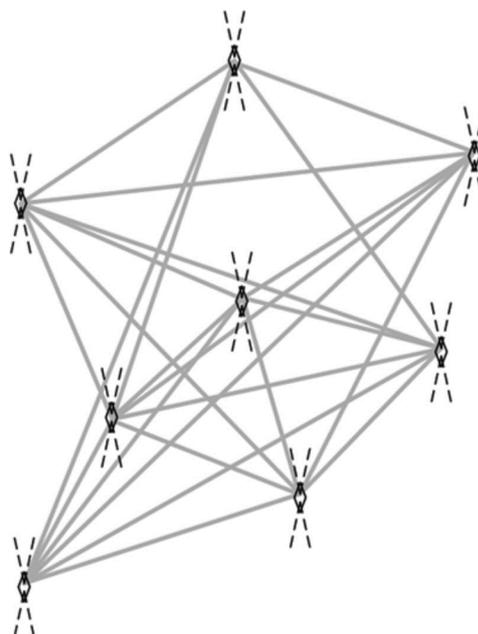


Рисунок 2 – НК на плоскости моделирования ПО ЭБОС

Как видно из рисунка 2, набор возможных связей между НК довольно большой. Определение набора направлений связи должно быть оптимальным с точки зрения минимизации межузловых расстояний для получения максимальной надежности связи в сети в целом. На первом этапе исследований в качестве базового алгоритма построения оптимальной сети связи был выбран алгоритм Крускала. При этом в качестве базовой характеристики (веса) ребра графа сети использовалось расстояние между НК.

Построение остова по алгоритму Крускала (исходя из знания полной картины расположения и ориентации НК) осуществлялось согласно блок-схеме, приведенной на рисунке 3. Алгоритм был модифицирован в части поиска «безопасного ребра». При анализе каждой линии связи – кандидата на подключение к сети учитывалось не только наличие принадлежности только одного узла к компоненте связности сети («безопасность»), но и наличие свободных ТОС.

Применение указанного алгоритма позволило построить сеть связи, приведенную на рисунке 4 (темными линиями выделены основные линии связи).



Рисунок 3 – Блок схема алгоритма

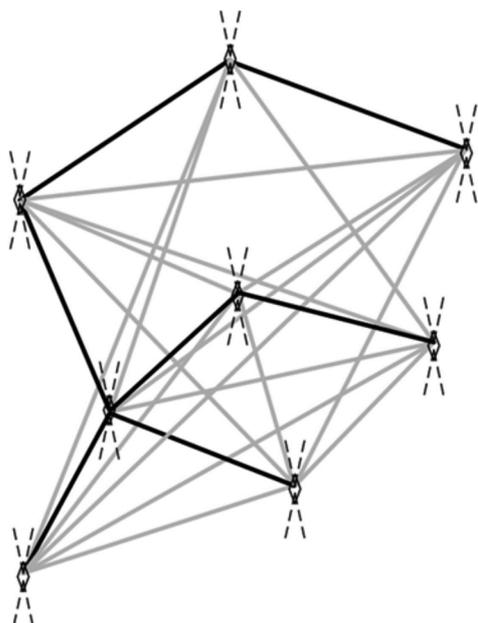


Рисунок 4 – Остовное дерево связи НК, полученное по алгоритму Крускала

Реализация алгоритмов Прима и Борувки для двух других сценариев построения сети связи (от центрального узла и параллельно, путем построения отдельных каналов связи между соседними

НК с постепенным объединением их в общую сеть) дало то же остовное дерево, что приведено на рисунке 4. Это подтверждает корректность работы выбранных алгоритмов и возможность их применения для решения поставленной задачи в любом из предложенных сценариев.

Оставшиеся возможные (по количеству не задействованных в остовном дереве связи ТОС) направления связи могут быть распределены по двум направлениям:

- для резервирования уже установленных линий связи (параллельные соединения) с объединением их в один канал связи с балансированием нагрузки;

- для организации обходных путей (незадействованных петель) с целью повышения связности и, как следствие, надежности работы сети в целом.

Таким образом, моделирование сети связи показало возможность создания беспроводной оптической сети связи между произвольно расположенными НК с учетом их расположения и использования терминалов оптической связи, обладающих конечными рабочими углами.

Исходя из рассмотренных свойств ТОС и способов организации связи, можно сформулировать основные технические требования к реализации ТОС:

- в режиме поиска необходима панорамная подсветка НК для нахождения его абонентами (ТОС, установленными на других НК);

- необходимо автонаведение ТОС в режиме сопровождения (после установления связи), обеспечивающее компенсацию всех видов качки НК и его эволюций;

- требуется блок центрального управления (БЦУ) всеми ТОС, установленными на одном НК, с целью конфигурирования сети, маршрутизации, резервирования линий связи и балансировки потоков данных, а также обмена служебной информацией о состоянии сети с БЦУ других НК и интеграцией с локальной сетью НК.

Заключение

Рассмотрены вопросы организации беспроводной оптической многоузловой сети связи между надводными кораблями. Предложена модель терминала оптической связи, с использованием которой проведены модельные эксперименты по построению дерева связи в группировке надводных кораблей. Для трех стандартных алгоритмов построения остовного дерева в трех возможных сценариях построения сети связи получена одна и та же оптимальная конфигурация, что говорит о возможности построения сети связи в рамках поставленной задачи. На основе

проведенных исследований сформулированы требования к составу и функциям технических средств обеспечения беспроводной оптической сети связи между надводными кораблями.

Библиографический список

1. **Катанович А. А., Николашин Ю. Л.** Корабельные оптические системы связи. М.: Судостроение, 2009. 248 с.
2. **Dwivedi A., Harshavardhana P., Velez P. G., Tebben D. J.** Dynamic Topology Optimization for Assuring Connectivity in Multihop Mobile Optical Wireless Communications Networks JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, 2011. Vol. 30, № 2.

3. **Kaushal H., Kaddoum G.** Free Space Optical Communication: Challenges and Mitigation Techniques. arXiv:1506.04836v1 [cs.IT] 16 Jun 2015.

4. **Белоусов А. И., Ткачев С. Б.** Дискретная математика. М.: МГТУ, 2006. 744 с.

5. **Cheriton D., Tarjan R. E.** Finding minimum spanning trees. SIAM Journal on Computing, 1976. № 5. С. 724–741.

6. **Eppstein D.** Spanning trees and spanners Handbook of Computational Geometry, J.-R. Sack and J. Urrutia, eds., Elsevier, 1999. С. 425–461.

7. **Mareš M.** Two linear time algorithms for MST on minor closed graph classes. Archivum mathematicum 2004. T. 40 С. 315–320.

UDC 621.373.826

WIRELESS OPTICAL COMMUNICATION NETWORK BETWEEN MOBILE SEA OBJECTS

S. N. Kuznetsov, IT director, Mostcom JSC; ksn@mocckom.ru

B. I. Ognev, post-graduate student, RSREU, development director Mostcom JSC; develop@mocckom.ru

E. G. Chulyaeva, PhD (technical sciences), full professor, head of the department, RSREU, Ryazan; elenachuljaeva@yandex.ru

The task to organize wireless optical multi-node network (MANET) between surface ships is considered. The aim is to create computer model of such communication network, to choose the algorithm of logical network infrastructure organization and to determine the main technical requirements to optical communication terminals. The software «Wireless optical network emulator» was developed for simulation of the network of moving surface ships. For the organization of a communication network the well-known algorithms of discrete mathematics are used. The simulation of the network is carried out; technical requirements to optical communication terminals as an element of the specified network are formulated.

Key words: *Wireless Optical Communication, Free Space Optics, optical communication terminal, MANET, Laser Mobile Communications, secure communication channel.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2018-63-1-59-63

References

1. **Katanovich A. A., Nikolashin Y. L.** Korabelnye opticheskiye sistemy svyazi. *Sudostroenie*. 2009, pp. 248. (in Russian).

2. **Dwivedi A., Harshavardhana P., Velez P. G., Tebben D. J.** Dynamic Topology Optimization for Assuring Connectivity in Multihop Mobile Optical Wireless Communications Networks JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, 2011. Vol. 30, no. 2.

3. **Kaushal H., Kaddoum G.** Free Space Optical Communication: Challenges and Mitigation Techniques. arXiv:1506.04836v1 [cs. IT] 16 Jun 2015.

4. **Belousov A. I., Tkachev S. B.** Diskretnaya matematika. Bauman Moscow State Technical University. 2006. 744 p. (in Russian).

5. **Cheriton D., Tarjan R. E.** Finding minimum spanning trees. SIAM Journal on Computing, 1976, no. 5. pp. 724–741.

6. **Eppstein D.** Spanning trees and spanners Handbook of Computational Geometry, J.-R. Sack and J. Urrutia, eds., Elsevier, 1999, pp. 425–461.

7. **Mareš M.** Two linear time algorithms for MST on minor closed graph classes. Archivum mathematicum 2004, T. 40, pp. 315–320.