



точных датчиков давления для авиакосмической отрасли. Система автоматизированного контроля калибровки, отладки и настройки чувствительных элементов датчиков давления позволила многократно сократить время, затрачиваемое на отладку и настройку чувствительных элементов датчиков давления, проводимую на участке испытаний датчиков, а также избежать издержек и дополнительных трудозатрат при калибровке в широком диапазоне температур измерительных систем, в состав которых входят датчики давления. Система также позволяет в перспективе модифицировать уже имеющиеся и добавлять дополнительные компоненты, не затрагивая основной логики системы.

### Литература

1. Датчики давления [Электронный ресурс] : ОАО ЭОКБ «Сигнал» им. А.И. Глухарева URL: <http://dimes.ru/index.php/2012-01-31-07-30-06.html>
2. Вольтметр универсальный В7-78/1 Руководство по эксплуатации. АК ИП ЗАО "ПриСТ", 100с.
3. Измерители комплексных коэффициентов передачи и отражения «Обзор – 304», «Обзор – 804» Руководство программиста Команды SCPI. Второе издание РП 6687–075–21477812–2010, 273с.
4. Львов П.А. Методика компенсации температурной погрешности интеллектуальных датчиков давления / А.Ю. Николаенко, А.А. Львов, П.А. Львов, et.al. // Вестник СГТУ. 2014. № 4 (77). – С. 154-160.
5. Львов, А.А. Компенсация температурной погрешности интеллектуальных датчиков давления / А.Ю. Николаенко, А.А. Львов, П.А. Львов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»: в 2-х т., 2014, Т. 2. – С. 57-59.

К.Н. Ловцов, Н.С. Сухов, В.Б. Цеханский

### МЕТОД НАИМЕНЬШЕГО ДЕЙСТВИЯ В ЗАДАЧЕ МАРШРУТИЗАЦИИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ (Самарский университет)

Самоорганизующиеся сети — это беспроводные децентрализованные сети, не имеющие постоянной структуры. На данный момент являются развивающимся классом сетей, имеющих ряд преимуществ перед традиционными сетями. Наибольший интерес представляют самоорганизующиеся сети типа MANET [10], где в качестве узлов выступают мобильные устройства. Но в виду своей динамичности, имеет такой недостаток, как сложность построения маршрута. Маршрут – это последовательность узлов, по которым происходит пересылка данных между узлом-отправителем и узлом-получателем.

Построение маршрута в сетях MANET может производиться двумя способами: используя сведения о соединениях узлов в сети и используя географические данные о местонахождении узлов в пространстве, получаемые посредст-



вом GPS. Протоколы маршрутизации, использующие данные подходы делятся на топологические и географические соответственно [11].

При использовании топологических протоколов маршрут составляется при помощи широковещательной рассылки служебных сообщений, с информацией о текущей топологии сети. Узел отправитель является первым в этой цепи, затем соседние узлы, узнав о расположении своих доступных соседей, осуществляют рассылку. И так до тех пор, пока не будет найден узел-получатель.

Географические протоколы совершают рассылку пакетов узлам, находящимся, в определенной области в пространстве, относительно узла отправителя. Область, в которую отправляются служебные сообщения, определяется протоколом.

Однако, количество возможных маршрутов может быть несколько и необходимо выбрать оптимальный. В зависимости от задачи, отдается предпочтение разным свойствам маршрута, таким как скорость отправки, краткость пути, надежность доставки и т.д.

Для выбора наилучшего маршрута в сетях MANET, как и в проводных сетях, используется понятие «метрики». Метрика – это численная характеристика маршрута, при этом выбирается тот маршрут, у которого значение метрики принимает минимальное значение. При составлении метрик, могут учитываться следующие параметры [1]:

- количество хопов(пересылок) между узлом отправки и узлом назначения
- задержка
- остаток энергии в узлах
- пропускная способность канала
- надежность передачи и т.д.

Основные топологические (topology-based) протоколы маршрутизации в сетях MANET: AODV [2], DSR [3], DSDV [4], OLSR (начиная с версии 2, протокол использует метрику, основанную на проверке состояния канала связи (link-based)) [5], которые используют данные параметры в следующих метриках [6] [7]:

1) Link Quality Level (LQL) – уровень качества соединения применяется для количественной оценки надежности, используя дискретное значение, от 0 до 7, где 0 означает, что качество соединения неизвестно, 1 – высший уровень качества, 7 – низший.

2) Expected Number of Transmissions (ETX). Метрика ETX – это количество передач, которые узел рассчитывает произвести, чтобы успешно доставить пакет к месту назначения.

3) Expected Transmission Time (ETT) – ожидаемое время передачи, является расширением ETX. ETT всего пути – сумма ETT для отдельных соединений, составляющих этот путь.

4) Weighted Cumulative Expected Transmission Time (WCETT). Взвешенное совокупное ожидаемое время передачи (WCETT) является расширением ETT.



5) Metric of Interference and Channel switching (MIC). Метрика помех и коммутации каналов (MIC) Учитывает помехи между различными потоками и внутри одного потока.

6) Interference-Aware Routing Metric (IAR) – основывается на загруженности канала, путем сбора информации на MAC уровне.

7) Airtime Link Cost (ALC) – метрика времени передачи по беспроводному каналу. Введена стандартом IEEE 802.11s, обязательна для совместимости всех устройств в рамках данного стандарта.

Более подробно метрики представлены в Таблице 1:

Для географических протоколов в качестве метрики используется количество хопов между узлами. Наиболее распространенный протокол – GPSR [8].

Недавно были представлены другие алгоритмы маршрутизации, например, в работе [9] был предложен алгоритм, основанный на потенциальном принципе, в качестве метрики было выбрано значение электрического потенциала на маршруте. Выбирается маршрут, у которого сумма минимальна.

Также в работе [12] новый подход для создания протокола маршрутизации, основанный на методе окрестностей, который также имеет свою метрику.

В качестве величины для минимизации используется  $\sum_i \frac{1}{\sqrt{N_i - 1}}$ , где  $N_i$  – количество соседей в  $i$  – той окрестности.

Таблица 1 – Основные метрики и их количественное представление

Метрика	Величина, подлежащая минимизации	Обозначения
ETX	$ETX = \frac{1}{D_f * D_r}$	$D_f$ - вероятность получения пакета соседним узлом $D_r$ - вероятность получения пакета подтверждения
ETT	$ETT = ETX * \frac{S}{B}$	$S$ – средний размер пакета $B$ – пропускная способность соединения
WCETT	$WCETT_p = (1 - \alpha) * \sum_{i \in p} ETT + \alpha * \max_{i j \neq k} X_j$	$X_j$ - сумма ETT соединений, в каналах $j$ $\alpha$ – настраиваемый параметр, $0 \leq \alpha \leq 1$
IAR	$IAR = \frac{1}{1 - \alpha_{ub}} * \frac{S}{B}$ $\alpha_{ub} = \frac{T_{Wait} + T_{Collision} + T_{Backoff}}{T_{Wait} + T_{Collision} + T_{Backoff} + T_{Success}}$	Где – это время, потраченное на: Wait – ожидание Collision – преодоление коллизий Backoff – ожидание повторной отправки Success – время успешной отправки пакета
ALC	$ALC = \left( O + \frac{B_t}{r} \right) (1 - ef)$	$O$ – накладные расходы доступа к каналу, включающие заголовки пакетов, кадры протоколов доступа и т.д – в единицах времени. $B_t$ – количество битов в тестовом пакете $r$ - скорость передачи данных в канале (Мбит/с) $ef$ - вероятность возникновения ошибки (измеряется экспериментально на пакетах длиной $B_t$ )



### Литература

1. Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks (RFC 6551). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://datatracker.ietf.org/doc/rfc6551/>
2. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing (RFC 3561). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
3. The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4 (RFC 4728). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc4728>
4. Perkins C. E., Bhagwat P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers //ACM SIGCOMM computer communication review. – ACM, 1994. – Т. 24. – №. 4. – С. 234-244.
5. The Optimized Link State Routing Protocol Version 2 (RFC 7181). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc7181>
6. Kisara V. A new routing metric for wireless mesh networks. – 2010.
7. Zhao L., Al-Dubai A. Y. Routing metrics for wireless mesh networks: a survey //Recent Advances in Computer Science and Information Engineering. – Springer Berlin Heidelberg, 2012. – С. 311-316.
8. Karp B., Kung H. T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks //Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking. – ACM, 2000. – С. 243-254.
9. В.Б. Цеханский, К.Н. Ловцов, Н.С. Сухов. Потенциальное поле и принцип жадного продвижения. //Труды Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии». – 2016. – С. 459-461.
10. Han L. Wireless Ad-hoc Networks //Wireless personal Communication journal. – 2004. – Т. 4.
11. Latiff L. A. et al. Directional routing protocol in wireless mobile ad hoc network. – INTECH Open Access Publisher, 2010.
12. А.М. Сухов, Д.Ю. Чемоданов. Метод окрестностей в сенсорных сетях //ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ. – 2014. – №. 4. – С. 42-48.