



шение материала АД31 ГОСТ 18482-79 происходит при  $\omega_{\max} = 3800 \text{ с}^{-1}$ , а разрушение материала АМг6 ГОСТ 18482-79 наблюдается при  $\omega_{\max} = 5800 \text{ с}^{-1}$ . Достижения величин угловых скоростей, при которых происходит разрушение материала Д16 ГОСТ 18482-79 для рассматриваемого ТТ получить не удалось.

Таблица 2 – Значения угловой скорости и величины нормальных напряжений

$\zeta$ , град	$m_x^A$	$m^A$	$\omega_{\max}$ , 1/с	$\sigma$ , МПа
-2	0,1	0,1	1350	18,23
-5	0,3	0,3	2350	55,22
-10	0,3	0,3	3400	115,62
-15	0,3	0,3	3800	144,39
-45	0,3	0,3	5800	336,41

**Выводы.** При движении космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере (для выполнения условий прочности конструкции) требуется учитывать следующие величины: начальную угловую скорость  $\omega_{x0}$ , величину угла  $\theta_1 - \theta_2$ , величину параметров  $m_x^A$ ,  $m^A$ , значение угла входа  $\zeta$ . Из проделанной работы можно определить, что наиболее опасными являются случаи:  $\theta_1 - \theta_2 = 0^\circ$  ( $\omega_{x0} > 0$ ) и  $\theta_1 - \theta_2 = 180^\circ$  ( $\omega_{x0} < 0$ ), наблюдающиеся при значительных начальных величинах угловой скорости и немалых углах входа в атмосферу.

#### Литература

1. Любимов, В.В. Внешняя устойчивость резонансов в динамике полета космических аппаратов с малой асимметрией. – Самара, Издательство СНИЦ РАН 2013.
2. Заболотов, Ю.М. Вторичный резонансный эффект при движении КА в атмосфере [Текст] / Ю.М. Заболотов, В.В. Любимов // Космические исследования. – 1998.- Т. 36, №2. – С.206-214.
3. Любимов, В.В. Асимптотический анализ вторичных резонансных эффектов при вращении космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере [Текст] / В.В. Любимов / Известия вузов. Авиационная техника. 2014. - № 3. С.23-28.
4. Белоконов, В.М. Ускоренный расчет траекторий снижения в атмосфере неуправляемых КА с учетом их движения относительно центра масс [Текст] / В.М. Белоконов, И.В. Белоконов, Ю.М. Заболотов // Космические исследования. – 1983. – Т.21, Вып. 4. – С.512-521.
5. Шилов, К.Е. Численное моделирование резонансных эффектов при вращении тела с различными величинами асимметрии в атмосфере [Текст] / К.Е. Шилов, В.В. Любимов // Сборник трудов научного молодежного семинара «Математическое моделирование в аэрокосмических системах». Под общей редакцией руководителя семинара, д.т.н. Любимова В.В. Самара. Издательство СНИЦ РАН 2014.



Д.С. Михайлов

## АЛГОРИТМ ЖАДНОГО ПРОДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

(Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва)

Задача маршрутизации является, пожалуй, самой важной и самой сложной функцией, которую выполняют сети. Для нахождения нужного маршрута, узлы должны обмениваться информацией о связях друг с другом. Задачи такого типа оказали сильное влияние на развитие коммуникационных технологий, интернет [1], беспроводных, а также самоорганизующихся сенсорных сетей [2].

Самоорганизующаяся сеть - автоматизированная технология, которая разработана, чтобы сделать планирование, проектирование, управление, оптимизацию и доступ к мобильным сетям проще и быстрее. Функциональность такой сети и ее поведение было определено в общепринятых нормах мобильной индустрии, а именно такими организациями, как 3GPP (Third Generation Partnership Project) и NGMN (Next Generation Mobile Networks). Клиентские устройства соединяются на лету, образуя собой сеть. Каждый узел сети пытается переслать данные предназначенные другим узлам.

Для самоорганизующихся сетей создан стандарт связи ZigBee (IEEE 802.15.4) [3]. ZigBee — это логическая сеть и программный стек, обеспечивающие функции безопасности и маршрутизации.

Пусть имеется сеть, состоящая из N количества узлов. Задача маршрутизации заключается в нахождении оптимального маршрута для передачи пакета от начального узла X в определенный узел Y.

Существует два основных класса схем маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях – географическая маршрутизация и маршрутизация на основе виртуальных координат.

Географическая маршрутизация опирается на физическую информацию о местоположении узлов, которая может быть получена при помощи систем ГЛОНАСС или при помощи алгоритмов локализации, таких как RSSI (Received Signal Strength Indication) или TDOA (Time Difference Of Arrival) [4]. Наиболее известным протоколом географической маршрутизации является протокол GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing), использующий при передаче пакетов технологию “жадной маршрутизации”, а возникновение пустоты предполагает обход ее периметра по правилу правой руки [5].

Технология жадной маршрутизации, согласно которой пакет для передачи данных направляется соседнему узлу, который находится ближе к месту назначения, чем узел, держащий пакет [5]. Технология “жадной маршрутизации” позволяет добиться передачи пакетов по наиболее короткому пути, но при ее использовании возможно возникновение ситуации, получившей название про-



блема “локального минимума” [5]. Проблема “локального минимума” заключается в том, что нет соседнего узла, который находится ближе к пункту назначения, чем текущий узел, держащий пакет для передачи. В случае возникновения пустоты предполагается обход периметра пустоты по правилу правой руки [6].

Цель данной работы – модернизация, уже существующего алгоритма жадного продвижения, путем ввода понятия потенциала по аналогии с электростатическим полем. В новом алгоритме пакет будет передаваться узлу, у которого потенциальная энергия наименьшая. Таким образом решение о передаче пакета конкретному узлу будет зависеть не от расстояния до конечного узла, а от значения потенциальной энергии.

Как и говорилось ранее, модернизация метода жадного продвижения с помощью потенциальной энергии позволяет решить такую важную проблему самоорганизующихся сетей, как проблема локального минимума.

Электростатика и метод изображения дают возможность улучшить значение маршрутизирующего потенциала, что позволит решить проблему локального минимума, которая, как говорилось ранее, возникает при использовании метода жадного продвижения. Согласно этому методу для учета влияния пустот должны добавляться новые индуцированные заряды, расположенные внутри пустот. Тогда в зоне расположения сенсоров результирующее поле будет являться суммой потенциалов конечного заряда и индуцированных зарядов. Следуя теореме единственности легко доказать, что это решение является точным [7].

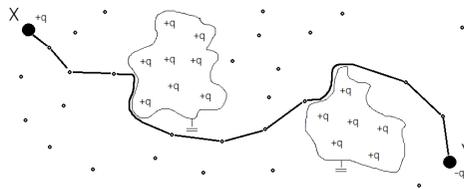


Рис. 1. Графическое представление маршрута между узлами с пустотами

Область, содержащая пустоты, можно описать с помощью системы распределенных зарядов. Такое описание возможно с помощью функции Грина G. Функция Грина G – это потенциальная энергия данной системы заземленных проводников, в которой имеется единичный положительный заряд, расположенный в фиксированной точке [7].

Теорема 1. Функция  $\varphi$ , обратная функции Грина, будет являться точным решением для маршрутизирующего потенциала заданной конфигурации сенсоров, если на границах пустот расположить заземленные проводники, а в конечной точке маршрута разместить отрицательный заряд.

Теорема 2. Маршрутизирующая функция обратная функции Грина позволяет избежать проблемы локального минимума.



Однако полученное решение сложно применить на практике, так как значение потенциального поля будет зависеть от конечной точки маршрута. Поэтому на основе данного решения следует найти приближенное.

Основные условия такого решения:

1. Потенциал пустот будет задаваться системой индуцированных точечных положительных зарядов,
2. Индуцированные заряды располагаются по центру пустот, пустоты могут делиться на несколько частей для минимизации покрытия.
3. Внутри пустот напряженность индуцированного потенциального поля должны быть больше, чем для поля, создаваемого отрицательным зарядом в точке назначения.
4. Вне пустот поле, создаваемое конечным зарядом, должно быть доминирующим, то есть его напряженность должны быть много больше, чем суммарное поле, создаваемое индуцированными зарядами в пустотах.
5. Потенциальное поле в бесконечно удаленной точке должно быть исчезающе малым.

Для того, чтобы данные условия выполнялись предположим, что потенциальное поле, создаваемое зарядом, в конечной точке маршрута обратно пропорционально расстоянию от него ( $\varphi \sim -\frac{Q}{R}$ ), а значение потенциального поля, создаваемого индуцированными зарядами в пустотах, зависит от квадрата расстояния ( $\varphi \sim \frac{q_i l^{n-1}}{r_i^n}$ ).

Допустим, что итоговое решение уже известно. Решение можно представить в виде совокупности пар величин  $(R_i, r_i^D)$ , где  $i$  – порядковый номер пустоты. Таким образом, общий потенциал  $\varphi$  можно представить в виде:

$$\varphi = -\frac{Q}{|R - R_0|} + \sum_{i=1}^m \frac{q_i l^{n-1}}{(R - R_i)^n} \quad (1)$$

Осталось вывести зависимость в формуле (1) между Q и  $q_i l^{n-1}$ , которую можно найти с помощью граничных условий.

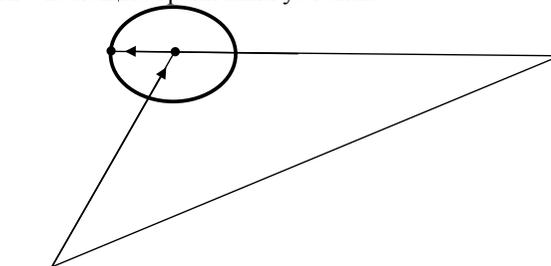


Рис. 2. Графическое представление граничных условий

Граничные условия в точке A (см. рис.3) заключаются в том, что потенциальные поля, созданные в конечной точки маршрута и в пустотах, должны отличаться по значению только знаком.



$$q_i l^{n-1} = \frac{Q r_c^{n+1}}{n(|R_i - R_g| + r_c^2)^2} \quad (2)$$

Полученная формула дает возможность улучшить метод жадного продвижения. Есть только одно исключение. Это случай, когда радиус вектор конечной точки попадет в одну из пустот. В таком случае, описывающая окружность помимо пустоты должна учитывать и соседние узлы из-за сложных выступов границ пустоты. В данной ситуации описать мы не сможем описать пустоту одним зарядом, а должны разбить пустоту на две или более части. Так чтобы точка назначения оказалась вне соответствующих окружностей.

### Литература

1. D. Meyer, L. Zhang, and K. Fall, editors. RFC4984. The Internet Architecture Board, 2007
2. Morteza M. Z. A Survey on Centralised and Distributed Clustering Routing Algorithms for WSNs, 2015
3. Соколов М.А. Программно-аппаратное обеспечение беспроводных сетей на основе технологии ZigBee/802.15.4 // Электронные компоненты. 2004. №12. С. 80-87
4. Bachrach, J., and Taylor, C. Localization in sensor networks. Ch. 9, Handbook of Sensor Networks. Stojmenovic (Editor), John Wiley 2005.
5. B. Karp and H. T. Kung., "Greedy perimeter stateless routing (GPSR) for wireless networks," Proc. 6th annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 2000, pp. 243–254.
6. Y. Zou and K. Chakrabarty, "Sensor Deployment and Target Localization Based on Virtual Forces," IEEE INFOCOM, 2003 – ВПК и правила обхода дыр
7. Shannon C. E. A mathematical theory of communication //ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review. – 2001. – Т. 5. – №. 1. – С. 3-55.

К.В. Павлов, И.А. Стефанова

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРОГА СЛЫШИМОСТИ ПРИ МАСКИРОВКЕ СЛУХА

(Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики)

На современном этапе развития нашего общества пользователем доступны носители большого объема информации и высокоскоростные каналы передачи данных. Однако наблюдается постоянный рост объемов передаваемой информации. Поэтому задача оптимального сжатия аудиоданных остается актуальной, и по сей день.

Различают сжатие без потерь (*lossless*), позволяющее восстановить исходный сигнал в полном объеме и сжатие с частичными потерями (*lossy*), при котором полное восстановление исходного сигнала уже невозможно.



Сжатие без потерь основано на принципе сокращения статистической избыточности, то есть более рационального размещения данных в файле, что позволяет уменьшить его размер. Однако даже при использовании достаточно сложных процедур обработки устранение статистической избыточности звуковых сигналов позволяет в конечном итоге уменьшить требуемую пропускную способность канала связи лишь на 15–25% по сравнению с ее исходной величиной.

Сжатие с потерями разработано на основании алгоритмов сокращения психоакустической избыточности, то есть удаления из файла звуковой информации, незначительно влияющей на восприятие звука человеческим ухом. Этими методами можно обеспечить сжатие цифровых аудиоданных в 10 – 12 раз без существенных потерь в качестве воспроизведения информации.

Значимое явление для сжатия звуковых сигналов, известное из исследований слуха человека, состоит в том, что звук не может быть воспринят человеческим слухом, если этот звук маскируется другим, более громким звуком, расположенным вблизи него на оси частот [1].

Анализируя спектр сигнала и принимая во внимание семейство кривых маскировки можно рассчитать границу маскирования того или иного участка спектра и выбрать требуемое число разрядов для кодирования спектральных компонентов этого участка.

Существующие в настоящее время форматы сжатых звуковых файлов [3] учитывающие психоакустическую избыточность, например *MPEG*, *Dolby AC-3*, используют упрощенное аналитическое описание кривой маскировки. Его не полное соответствие экспериментальным данным не позволяет обеспечить оптимального сжатия.

Для того, чтобы можно было определить степень сжатия с устранением психоакустической избыточности найдем аналитическое описание кривых маскировки. Кривые для математического моделирования будем брать из источника [1].

С помощью, полученных функций в дальнейшем можно будет собрать модель процесса устранения избыточных частотных компонент и определить, какие составляющие можно убрать из спектра исходного сигнала, без ухудшения качества восприятия звука.

Для аппроксимации кривых будем использовать линейную регрессию общего вида [2]. В этом случае заданная совокупность точек приближается функцией вида:

$$F(x, K1, K2, \dots, Kn) = K1 * F1(x) + K2 * F2(x) + \dots + Kn * Fn(x).$$

Таким образом, функция регрессии является линейной комбинацией функций  $F1(x), F2(x), \dots, Fn(x)$  с соответствующими коэффициентами  $K1 \dots Kn$ .

При этом критерием точности соответствия функции к экспериментальным данным является коэффициент детерминации  $R^2$ . Причем, чем ближе этот коэффициент к 1, тем точнее приближение: