

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЦИКЛОВ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

А.Н. Зеленин

Кандидат технических наук, профессор*
Контактный тел.: (057) 345-00-83

В.А. Власова

Аспирантка*

E-mail: zлата_ne@bk.ru

*Кафедра «Сети связи»

Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166

У статті розглянуті деякі аспекти підвищення енерго-ефективності в бездротових сенсорних мережах (БСМ). Запропоновані співвідношення для розрахунку споживання енергії вузлом БСМ дозволяють оцінити витрати заряду батареї, використовуючи первинні параметри, при різних функціях, що виконуються, шляхом комбінації

Ключові слова: ініціалізація, енергоциклограма, енергоефективність, зв'язність

В статье рассмотрены некоторые аспекты повышения энергоэффективности в беспроводных сенсорных сетях (БСС). Предложенные соотношения для расчета потребления энергии узлом БСС позволяют оценить расход заряда батареи, используя первичные параметры, при различных выполняемых функциях путем комбинации

Ключевые слова: инициализация, энергоциклограмма, энергоэффективность, связность

This article discusses some aspects of energy efficiency in wireless sensor networks (WSN). The correlation are proposed for calculating the energy node WSN allow estimating consumption of battery power, using the initial parameters for the various functions performed by combination

Keywords: initialization, energy cycle diagram, energy efficiency, connectivity

1. Введение

Эффективность использования энергии имеет первостепенное значение для беспроводной сенсорной сети (БСС), т.к. ее срок службы должен быть достаточно большой. Много работ посвящено именно этой проблеме. Все сходятся во мнениях – каждый алгоритм, протокол, каждая процедура (маршрутизация, позиционирование и т.п.), каждый сетевой аспект (такой как, например, топология) должны быть оптимизированы по энергопотреблению наряду с оптимизацией выполнения основной функции. Основные аспекты этих вопросов рассмотрим далее. Существует множество подходов и системных решений для повышения энергоэффективности БСС, но большинство авторов пренебрегают вопросами экономии энергии при разных этапах работы на протяжении ее жизненного цикла, таких, например, как этап инициализации (разворачивание сети).

2. Оценка энергозатрат узлов в рамках циклов

Выделим аспекты, которые нуждаются в многокритериальной оптимизации при инициализации БСС:

1) *Энергетическая эффективность в сравнении со связностью.* Потребление энергии имеет решающее значение для большинства сенсорных сетей на этапе инсталляции. Он требует значительного времени. На этом этапе важно не израсходовать значительную часть энергии, поскольку самоконфигурирование значительно увеличивает количество информации и связанные с этим накладные расходы (потребление

энергии). Обычно потребление энергии и задействование наибольшего числа узлов являются компромиссом. С одной стороны, можно потратить много энергии и настойчиво искать соседние узлы, тем самым сформировать наиболее полную топологию. Однако, если узлы не могут принять участия в инициализации (например, слишком удалены или повреждены), то такой подход – напрасная трата энергии. С другой стороны, минимизация транзакций для поиска соседей и пониженные уровни передачи уменьшают не только потребление энергии, но и связность.

2) *Обнаружение соседей.* На начальном этапе работы можно сократить время обнаружение соседей в своей окрестности, что позволяет быстро настроить топологию. В то время как в спящем режиме узел не может иметь информацию о своих соседях (по крайней мере, оперативную), то необходим первоначальный обмен информацией, который довольно энергозатратен. Таким образом, обнаружение соседей должно проходить на завершающем этапе развертывания, чтобы избежать повторного поиска в окрестности в то время, как некоторые узлы еще только присоединяются. При выходе из режима сна все соседи должны быть доступны. Таким образом, обнаружение происходит после пробуждения всех узлов.

На рис. 1 [1] показана последовательность состояний узлов при инициализации сети. При получении управляющего сигнала изменяется соответствующее фактическое состояние.

Использование управляющих сигналов позволяет переключать узлы из пассивного режима («сон») в активный (обмен информацией) и обратно. Это повышает энергоэффективность за счет энергосберега-

ющего режима ожидания. При запуске/перезапуске сети (режимы инициализации, эксплуатации, переконфигурирования и пр.) предоставляются функциональные возможности проверки связи с соседями установлением краткосрочных соединений. Таким образом, в БСС поддерживается актуальная информация о целостности сети.

3. Прием сигнала активизации разрядностью $(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C с энергией i_r , проверка адресата.
4. Включение МК за время t_{mc} с потреблением i_{mc} и АЦП с потреблением i_{adc} .
5. Измерение значения контролируемого параметра за время t_m с потреблением i_{adc} .

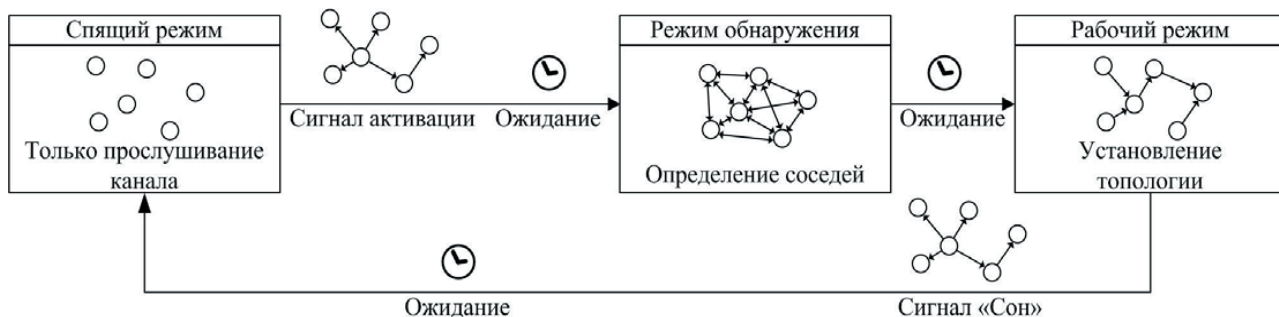


Рис. 1. Состояние узлов при инициализации

Рассмотрим режим работы сети с точки зрения потребления энергии. В БСС применяются циклы сбора данных с длительностью τ , в течение которых запрашиваются данные о значении контролируемого параметра n раз. Между запросами датчик находится в спящем режиме с минимальным потреблением энергии i_s . Во время запроса БС рассылает сигнал активизации мотам с конкретными адресами R_{adr} , которые находятся в необходимой области. Приемник мотов улавливает этот сигнал, проверяет получателя и, если сигнал адресуется ему, переходит в активный режим, включая питание микроконтроллера (МК) и АЦП за время t_{mc} и t_m (это время включения АЦП и измерения). МК обрабатывает информацию с АЦП за время t_c . Активируется приемник за время t_r для прослушивания канала на наличие несущей (возможна передача соседними мотами и одновременная передача с ними приведет к коллизии) на время t_1 . При отсутствии несущей активируется передатчик за время t_t и передается информация – активизация мота, выбранного для ретрансляции с адресом R_{adr} , символы синхронизации R_s , свой адрес R_{adr} , контрольная сумма R_{crc} , другая служебная информация R_{ser} со скоростью C , в ответ мот-ретранслятор передает квитанцию о готовности принять сообщение. Мот-отправитель снова прослушивает канал, активизирует передатчик и передает служебную информацию (адреса отправитель-получатель, биты синхронизации, контрольная сумма и т.д.) и непосредственно результат измерения контролируемого параметра R_{adc} (в простейшем случае количество символов результата измерения равно разрядности АЦП). После завершения передачи активируется приемник на время t_p для получения подтверждения (квитанция) о безошибочном приеме. После получения квитанции мот переходит в спящий режим.

Удобнее всего рассмотреть эти режимы на энергоциклограммах.

1. Ждущий режим, минимальное потребление энергии: i_s .
2. Включение приемника за время t_r с расходом энергии i_r .

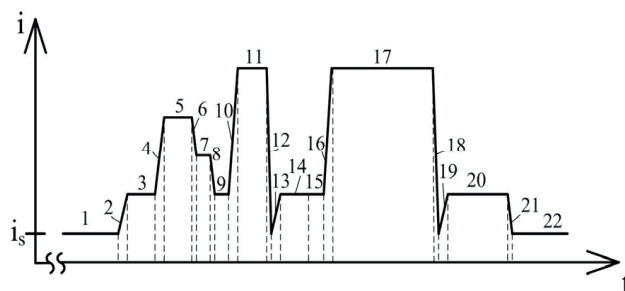


Рис. 2. Циклограмма энергопотребления мота

6. Выключение АЦП.
7. Обработка МК результатов измерения с АЦП за время t_c с потреблением i_{mc} .
8. Выключение МК.
9. Прослушивание канала на наличие несущей в течение t_1 с потреблением i_r .
10. Включение передатчика за время t_t с потреблением i_t .
11. Передача пакета активизации ретранслятора разрядностью $(R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C с энергией i_r .
12. Выключение передатчика.
13. Включение приемника за время t_r с расходом энергии i_r .
14. Работа приемника в течение t_p и получение квитанции разрядностью $(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C .
15. Прослушивание канала на наличие несущей в течение t_1 с потреблением i_r .
16. Включение передатчика за время t_t с потреблением i_t .
17. Передача информации о результате измерения разрядностью $(2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C и потреблением i_t .
18. Выключение передатчика.
19. Включение приемника за время t_r с потреблением энергии i_r .
20. Работа приемника в течение t_p и получение квитанции разрядностью $(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C .

21. Выключение приемника.

22. Ждущий режим с потреблением энергии i_s .

Тогда потребление энергии мотом за 1 цикл с заданным количеством опросов можно представить в виде:

$$i_i = \left\{ \tau - n \cdot \left[4t_r + t_{mc} + t_m + t_c + 2 \cdot (t_1 + t_t + t_p) + (10 \cdot R_{adr} + R_{adc} + 5 \cdot (R_s + R_{crc} + R_{ser})) \cdot C \right] \right\} \cdot i_s + \\ + n \cdot t_r \cdot i_r + n \cdot (2 \cdot R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot t_{mc} \cdot i_{mc} + n \cdot t_m \cdot i_{adc} + n \cdot t_c \cdot i_{mc} + n \cdot t_r \cdot i_r + \\ + n \cdot t_1 \cdot i_r + n \cdot t_t \cdot i_t + n \cdot (2 \cdot R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot t_r \cdot i_r + n \cdot t_p \cdot i_r + \\ + n \cdot (2 \cdot R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot t_1 \cdot i_r + n \cdot t_t \cdot i_t + \\ + n \cdot (2 \cdot R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t + \\ + n \cdot t_r \cdot i_r + n \cdot t_p \cdot i_r + n \cdot (2 \cdot R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r, \quad (1)$$

или после несложных математических преобразований:

$$i_i = \left\{ \tau - n \cdot \left[4t_r + t_{mc} + t_m + t_c + 2 \cdot (t_1 + t_t + t_p) + (10 \cdot R_{adr} + R_{adc} + 5 \cdot (R_s + R_{crc} + R_{ser})) \cdot C \right] \right\} \cdot i_s + \\ + 2n \cdot (2t_r + t_1 + t_p) \cdot i_r + 3n \cdot (2 \cdot R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot (t_{mc} + t_c) \cdot i_{mc} + n \cdot t_m \cdot i_{adc} + \\ + 2n \cdot t_t \cdot i_t + n \cdot (4 \cdot R_{adr} + R_{adc} + 2 \cdot (R_s + R_{crc} + R_{ser})) \cdot C \cdot i_t, \quad (2)$$

где i_i – ток, потребляемый мотом за 1 цикл; τ – длительность цикла; n – количество запросов за цикл; t_{mc} – время включения МК; t_t – время включения передатчика; t_r – время включения приемника; t_m – время измерения; t_p – время ожидания сигнала приемником; t_1 – время прослушивания канала; t_c – время обработки информации МК; i_s – ток, потребляемый в режиме сна; i_{mc} – ток, потребляемый МК; i_t – ток, потребляемый передатчиком; i_r – ток, потребляемый приемником; i_{adc} – ток, потребляемый АЦП; R_{adc} – количество символов результата измерения; R_{adr} – количество символов адреса; R_s – количество символов синхронизации; R_{ser} – количество служебных символов; R_{crc} – разрядность контрольной суммы; C – скорость передачи информации.

Для мота-ретранслятора справедлив следующий принцип потребления энергии при ретрансляции от k соседей без агрегации.

Если данный мот выбран в качестве ретранслятора соседним мотом, то после получения сигнала активации, активизируется приемник, принимается сигнал, отправляется квитанция, активизируется следующий мот-ретранслятор, включается передатчик и передается информация.

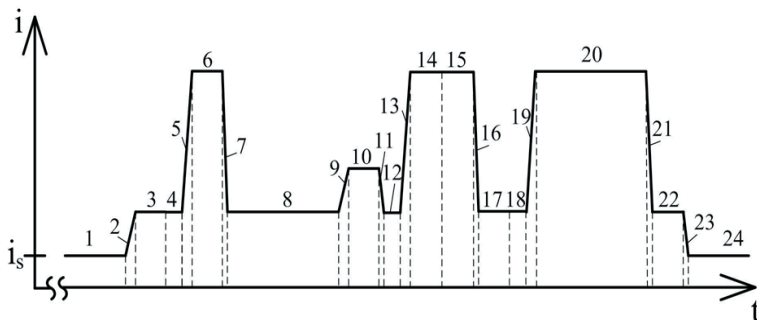


Рис. 3. Циклограмма энергопотребления мота при ретрансляции

1. Ждущий режим, потребление энергии i_s .

2. Включение приемника за время t_r с расходом энергии i_r .

3. Прием сигнала активизации разрядностью $(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C с энергией i_r , проверка адресата.

4. Прослушивание канала на наличие несущей в течение t_1 с потреблением i_r .

5. Включение передатчика за время t_t с потреблением i_t .

6. Передача сигнала готовности к приему разрядностью $(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C и потреблением i_r .

7. Выключение передатчика.

8. Работа приемника в течение t_p и прием информации о результате измерения разрядностью

$(2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C и потреблением i_r .

9. Включение МК за время t_{mc} с потреблением i_{mc} .

10. Обработка МК полученной информации за время t_c с потреблением i_{adc} .

11. Выключение МК.

12. Прослушивание канала на наличие несущей в течение t_1 с потреблением i_r .

13. Включение передатчика за время t_t с потреблением i_t .

14. Передача квитанции разрядностью

$(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C и потреблением i_r .

15. Передача сигнала активизации ретранслятора разрядностью

$(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C и потреблением i_r .

16. Выключение передатчика.

17. Работа приемника в течение t_p и получение сигнала готовности к приему разрядностью $(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C .

18. Прослушивание канала на наличие несущей в течение t_1 с потреблением i_r .

19. Включение передатчика за время t_t с потреблением i_t .

20. Передача ретранслируемой информации разрядностью $(2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C и потреблением i_r .

21. Выключение передатчика.

22. Работа приемника в течение t_p и получение квитанции разрядностью $(2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C .

23. Выключение приемника.

24. Ждущий режим с потреблением энергии i_s .

Потребление энергии при ретрансляции k сообщений:

$$\begin{aligned}
 i_i = & \left\{ \tau - n \cdot k \left[5t_p + t_{mc} + t_c + 3 \cdot (t_l + t_t + t_p) + (16R_{adr} + 2R_{adc} + 8 \cdot (R_s + R_{crc} + R_{ser})) \cdot C \right] \right\} \cdot i_s + \\
 & + n \cdot k \cdot t_r \cdot i_r + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_l \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_t \cdot i_t + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t + n \cdot k \cdot t_r \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_p \cdot i_r + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_{mc} \cdot i_{mc} + n \cdot k \cdot t_c \cdot i_{mc} + n \cdot k \cdot t_r \cdot i_r + \\
 & + n \cdot k \cdot t_l \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_t \cdot i_t + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t + n \cdot k \cdot t_r \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_p \cdot i_r + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_l \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_t \cdot i_t + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t + \\
 & + n \cdot k \cdot t_r \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_p \cdot i_r + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r,
 \end{aligned} \tag{3}$$

где k – количество соседей, которые ретранслируют сообщения через данный мот.

После несложных математических преобразований получим:

$$\begin{aligned}
 i_i = & \left\{ \tau - n \cdot k \left[5t_p + t_{mc} + t_c + 3 \cdot (t_l + t_t + t_p) + (16R_{adr} + 2R_{adc} + 8 \cdot (R_s + R_{crc} + R_{ser})) \cdot C \right] \right\} \cdot i_s + \\
 & + 5n \cdot k \cdot t_r \cdot i_r + 3n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + 3n \cdot k \cdot t_l \cdot i_r + 3n \cdot k \cdot t_t \cdot i_t + \\
 & + 3n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t + 3n \cdot k \cdot t_p \cdot i_r + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot k \cdot t_{mc} \cdot i_{mc} + n \cdot k \cdot t_c \cdot i_{mc} + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Также в БСС существует возможность агрегировать информацию от соседей. Тогда длина посылки увеличится, но уменьшится количество квитанций, ожиданий и т.п. Однако, если получатель при проверке обнаружит ошибку, отправителю придется заново передавать всю посылку. В некоторых алгоритмах предусмотрено частичная пересылка данных (пакета), которые были приняты с ошибками.

Пояснения к рис. 4 аналогичны пояснениям к рис. 3, за исключением:

8. Работа приемника в течение t_p и прием информации о результатах измерения k мотов разрядностью $k \cdot (2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C и потреблением i_r .

20. Передача ретранслируемой информации разрядностью $k \cdot (2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser})$ со скоростью C и потреблением i_r .

Потребление энергии при такой ретрансляции:

$$\begin{aligned}
 i_i = & \left\{ \tau - n \left[5t_r + t_{mc} + t_c + 3 \cdot (t_l + t_t + t_p) + (16R_{adr} + 2R_{adc} + 8 \cdot (R_s + R_{crc} + R_{ser})) \cdot C \right] \right\} \cdot i_s + \\
 & + 5n \cdot t_r \cdot i_r + 3n \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + 3n \cdot t_l \cdot i_r + 3n \cdot t_t \cdot i_t + \\
 & + 3n \cdot (2R_{adr} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t + 3n \cdot t_p \cdot i_r + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_r + n \cdot t_{mc} \cdot i_{mc} + n \cdot t_c \cdot i_{mc} + \\
 & + n \cdot k \cdot (2R_{adr} + R_{adc} + R_s + R_{crc} + R_{ser}) \cdot C \cdot i_t.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Данные соотношения являются ориентировочным для оценки среднего потребления энергии i -ым мотом. Идеологически они сходны с [2], но уточненные для первичных параметров (начальных условий, которые не выражаются через более простые). Таким образом, они позволяют конкретизировать такие параметры, как время приема/передачи, состояний перехода (включение/отключение, прослушивания канала), обработки и т.п. Т.к. моты в зависимости от положения могут выполнять различные

задачи, то можно говорить о том, что имеют место комбинации формул (2), (4) и (5) для моделирования энергопотребления сети при заданных начальных условиях, как для каждого отдельного мота, так и для оценки суммарного внутрисетевого, внутрикластерного потребления. Если преобразовать результаты расчетов по данным соотношениям в относительные единицы (например, на 1 бит информации), то появляется возможность сравнивать принципы организации передачи данных в БСС.

Комбинацию формул (2) и (5) можно назвать относительно универсальной моделью потребления i -го мота, т.к. число узлов-ретрансляторов в сети является сравнительно большим.

Стоит отметить, что протоколы MAC-уровня могут существенно влиять на потребление энергии и оперативность при инициализации сети. MAC- протоколы с гарантированным доступом сложнее и более требовательны, чем протоколы со случайным доступом. При случайном доступе у узла выключен передатчик, приемник прослушивает канал на наличие несущей и, если ее нет, передает информацию [3]. Эта концепция имеет хорошие показатели энергоэффективности если в сети нет большого трафика. Также можно настроить расписание передачи в соответствии с известной нагрузкой канала.

Есть варианты создания кластерных структур для оптимизации процесса инициализации [1], но они являются довольно сложными и трудно реализуемыми на узлах с ограниченными ресурсами. Кроме того, глава кластера неэффективно расходует энергию в сравнении с узлами в кластере, что ограничивает использование в гомогенных сетях.

В общем случае БСС являются гомогенными одно-ранговыми сетями с многоячейковой топологией. Все узлы равноправны и выступают в роли ретрансляторов информации. Поэтому актуальны задачи:

- поиск эффективных маршрутов. Эффективным можно считать маршрут, если для доставки информации от отправителя до получателя было затрачено минимум суммарной энергии.

- обеспечение максимального времени жизни сети. Время жизни – это срок работы сети до момента, когда заряд источников питания определенного числа узлов истощится, связность сети нарушится и сеть уже не сможет выполнять свои транспортные функции. Для увеличения времени жизни сети необходима целостная концепция функционирования сети – настройка расписания передачи для уменьшения длительности цикла сбора информации, равномерное распределение трафика и т.п.

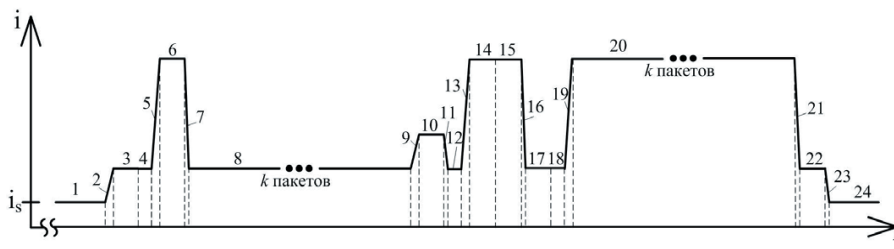


Рис. 4. Циклограмма энергопотребления мота при ретрансляции агрегированной информации

Все эти задачи активно решаются, но подходы к ним различны.

Задача поиска эффективного маршрута формулирует ряд подзадач:

- определение эффективного маршрута в рамках энергопотребления одного узла (т.е. ретрансляция к самому ближайшему узлу предпочтительнее);

- определение принципов эффективной маршрутизации в рамках оптимального энергопотребления всей сети (пересекается с задачей максимизации времени жизни сети).

Если первая задача достаточно просто решается методами обработки (сжатия) информации, то вторая требует балансировки трафика (выявление и исключение высокой нагрузки на отдельных узлах, которые находятся на пересечении нескольких маршрутов). Также актуален вопрос эффективности общесетевого энергопотребления при ретрансляции информации: до ближайшего узла? или до узла, находящегося на границе области покрытия узла-отправителя?

Топология сети – не менее важный вопрос при рассмотрении энергопотребления узлов. От выбора топологии существенно зависят потоки трафика и их равномерность распределения в сети.

Топология «звезда» – наиболее простая по конфигурации топология. Узлы напрямую соединены с базовой станцией (БС). Недостаток данной топологии заключается в малой гибкости и ограниченной сфере применения [4]. Из-за отсутствия ретрансляции – данная топология имеет высокие показатели энергоэффективности.

Топология «шина-звезда» (комбинированная) – основным преимуществом такой схемы являются простота подключения новых узлов, а недостатками – низкая надежность (выход из строя коммутатора парализует всю сеть) и невысокая производительность (невозможность одновременной передачи) [5].

Узлы-ретрансляторы имеют высокую нагрузку, из-за чего быстро выходят из строя, изолируя оконечные узлы.

Топология «многочейковая сеть» – все узлы являются маршрутизаторами. Сети с такой топологией надежны, но среднее энергопотребление узлов возрастает, и его расчет усложняется, так как необходимо рассматривать суммарный сетевой трафик, то есть учитывать как пакеты данных, источником которых является непосредственно сам узел, так и пакеты, которые он принимает и передает, выполняя функции ретранслятора. Следовательно, срок службы элементов питания узла будет существенно зависеть от его положения в топологии сети и направлений прохождения сетевого трафика. [4]

3. Заключение

Энергопотребление – ключевой вопрос повышения качества БСС, поэтому проблема его расчета является первостепенной при создании таких сетей. Предложенные соотношения для оценки потребления энергии узлов БСС в зависимости от длины сообщения, скорости, количества соседей и т.д. позволяют на этапе проектирования выполнять сравнение принципов построения сети для поиска наиболее эффективного.

Также можно получить оценку характеристик сети без дорогостоящего натурального моделирования и определить применимость модулей различных производителей для конкретной сети.

Литература

1. Meier A., NoSE: Efficient Maintenance and Initialization of Wireless Sensor Networks [Электронный ресурс]/ A. Meier, M. Woehrl, M. Weise, J. Beutel, L. Thiele // Electronics Laboratory. – 2009. Режим доступа: <ftp://ife.ee.ethz.ch/pub/people/andream/papers/MWWBT2009.pdf>.
2. Курпатов Р.О., Исследование и разработка энергоэффективного метода локализации элементов беспроводных сенсорных сетей [Текст]/ Р.О. Курпатов // Автореф. диссертации на соиск. ученой степени к.т.н. – М. – 2011. – 23 с.
3. Иваненко В.А., Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях [Текст]/ В.А. Иваненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 2/10 (50). – С. 9-12.
4. Баскаков С., Оценка энергопотребления беспроводных узлов в сетях MeshLogic [Текст]/ С. Баскаков // Беспроводные технологии. – 2010. – №1. – С. 28-31.
5. Олифер В.Г., Компьютерные сети. Принципы, технологии протоколы: Учебник для ВУЗов [Текст]/ В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 3-е изд. – СПб.: Питер. – 2006. – 958 с.: ил.