Алгоритмы канального уровня

Сайт курса:
http://www.sumkino.com/wsn/course

Садков Александр
Аспирант РФ
axel@wl.unn.ru
http://www.wl.unn.ru

План

- Протоколы доступа к среде и их классификация
- Свойства протоколов канального уровня
- Протоколы по расписанию
- Протоколы с конкуренцией
- Примеры протоколов канального уровня в WSN

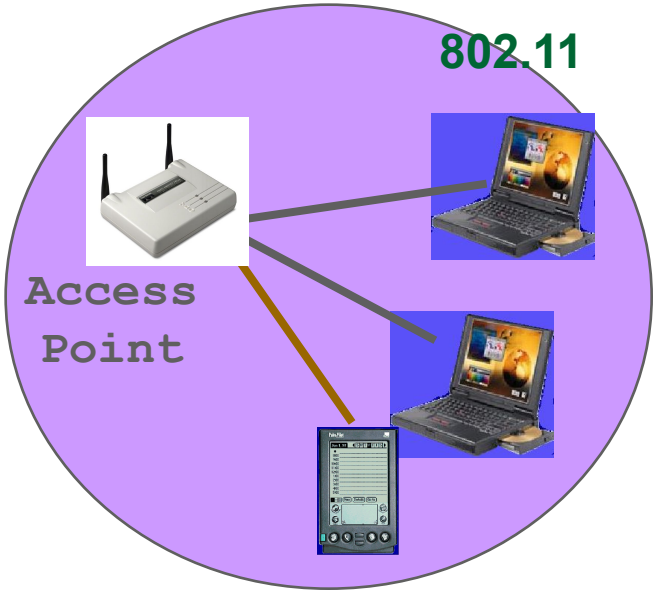
Протоколы доступа к среде и их классификация

Протоколы доступа к среде

- Любая среда передачи (радио эфир, Ethernet и т.д.) ограчиненна в виду того, что одновременно ей может воспользоваться только однин или ограниченное число пользователей.

- Протоколы канального уровня (MAC) занимаются управлением доступа к единой среде передачи данных.

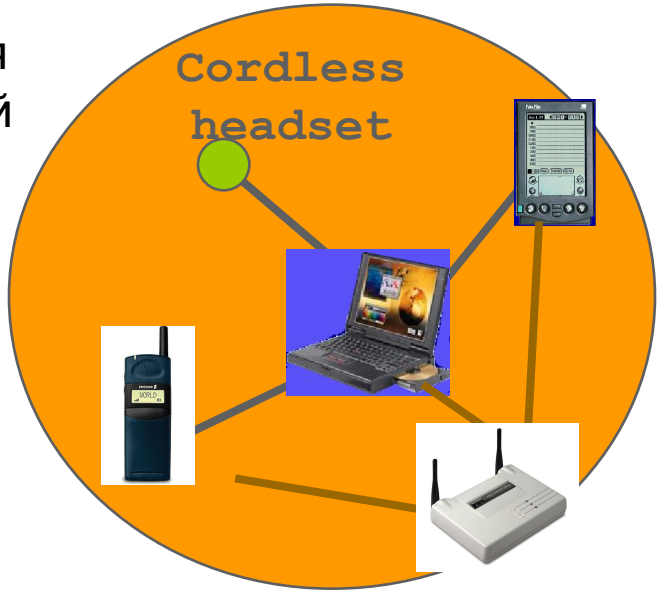
Протоколы доступа к среде



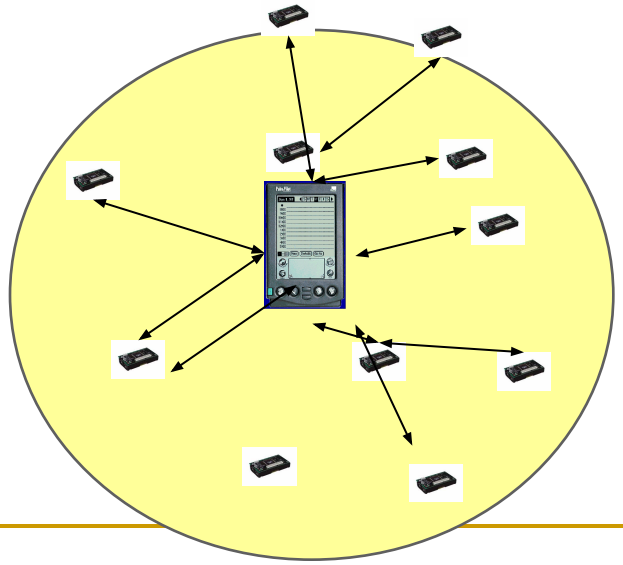
Разработан для замены проводов в локальных сетях

Разработан для замены кабелей

Bluetooth

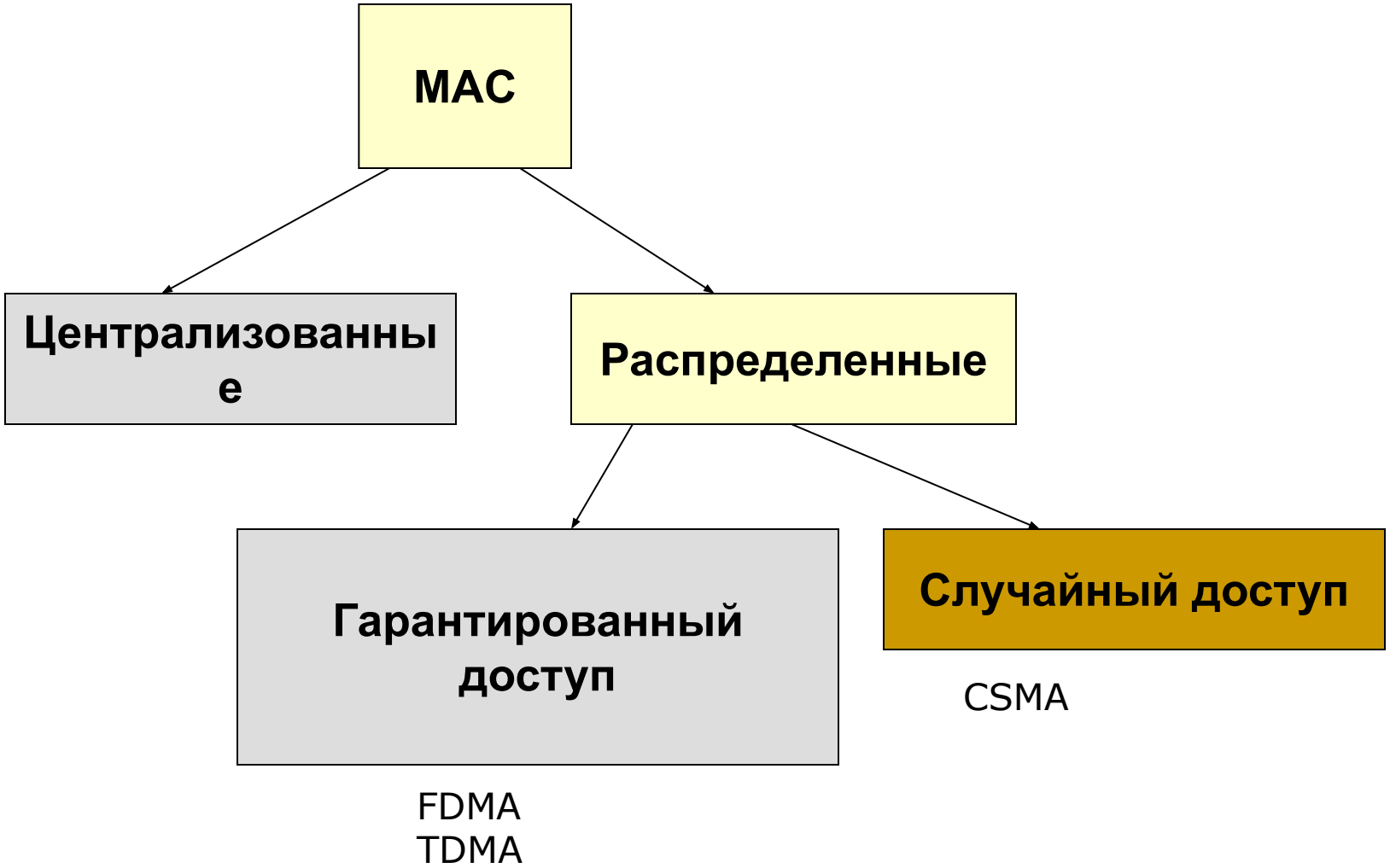


Zigbee/802.15.4



Разработан для маломощных автономных устройств

Классификация MAC протоколов



Классификация MAC протоколов

- Протоколы на основе конкуренции
  - Узлы конкурируют за доступ к среде передачи
  - Примеры: ALOHA (Pure and Slotted), CSMA
- Протоколы по расписанию
  - Узлы передают в различных подканалах
  - Примеры: FDMA, TDMA, CDMA

Свойства протоколов канального уровня

Свойства MAC протоколов

- Избежание коллизий
  - Основная задача MAC протоколов
- Энергетическая эффективность
  - Важное свойство в сенсорных сетях. MAC контролирует трансивер.
- Масштабируемость и адаптивность
  - MAC протоколы должны уметь адаптироваться.
- Эффективность использования канала
  - Не так важно в сенсорных сетях.

Свойства MAC протоколов

- Задержка
  - Важность зависит от конкретного приложения.
- Пропускная способность
  - Зависит от приложений. *Goodput*.
- Справедливость
  - В сенсорных сетях может быть неоднородное распределение трафика.

Наиболее важными факторами в серсорных сетях являются энергетическая эффективность, избежание колиизий и адаптивность.

Энергетическая эффективность MAC протоколов

Энергетическая эффективность один из самых главным факторов в сенсорных сетях. Основные источники потерь энергии:

- Коллизии
  - Атбрибут «конкурентных» протоколов.
- Пассивное прослушивание канала
  - Для маломощных трансиверов, затраты энергии на прием сообщения могут быть больше чем на его передачу.
- Overhearing
  - Может быть доминирующим фактором при большой нагрузки и плотности узлов.
- Control Packet Overhead
  - Уменьшают эффективную *goodput.*

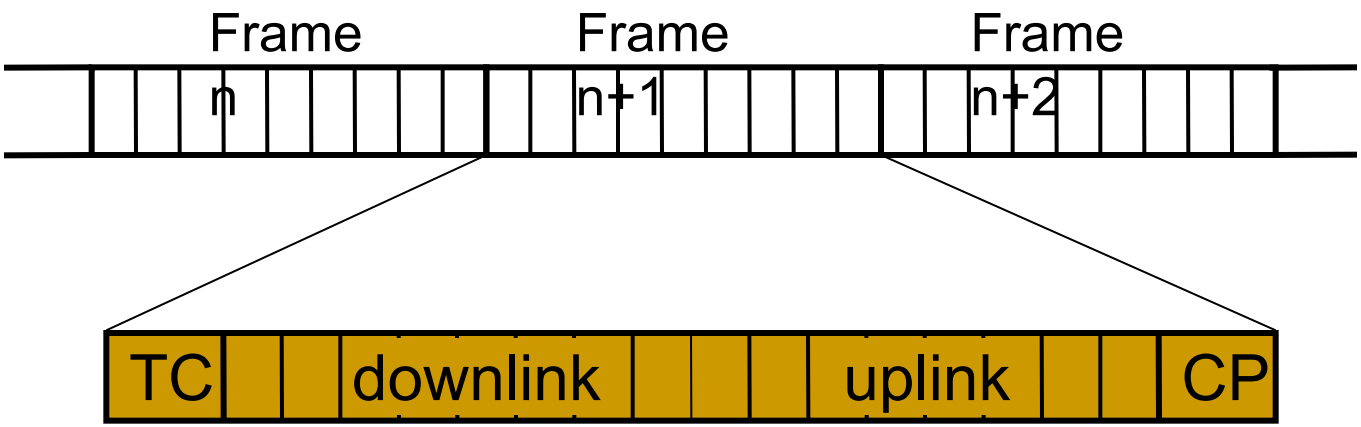
Протоколы «по расписанию»

Протоколы по расписанию

Передача информации запланирована заблаговременно.

- Нет конкуренции
- Нет приема «чужих» пакетов (overhearing)
- Поддержка чувствительного к задержкам трафика (Voice).
- Высокое QoS

Time Division Multiply Access: TDMA



- Каждый фрейм делится на слоты.
- Нет прямого взаимодействия между узлами
- Базовая станция рассылает расписание
- Необходима жесткая синхронизация

Time Division Multiply Access: TDMA

Недостатки и достоинства

Основное достоинство TDMA схему, это высокая энергетическая эффективность.

Недостатки:

- Необходимость организации кластерной структуры.
  - Кластерхэды взаимодействуют по-другому принципу(FDMA, CDMA).
- Ограниченная масштабируемость и адаптивность.
- Необходима жесткая синхронизация узлов во времени.

Bluetooth

- Узлы кластеризуются в пикосети (*piconets*).
  - Каждая пикосеть имеет master и максимум 7 slave узлов.
  - Master опрашивает(poll) каждый узел на передачу.
- Пикосети могут объеденяться в Scatternet

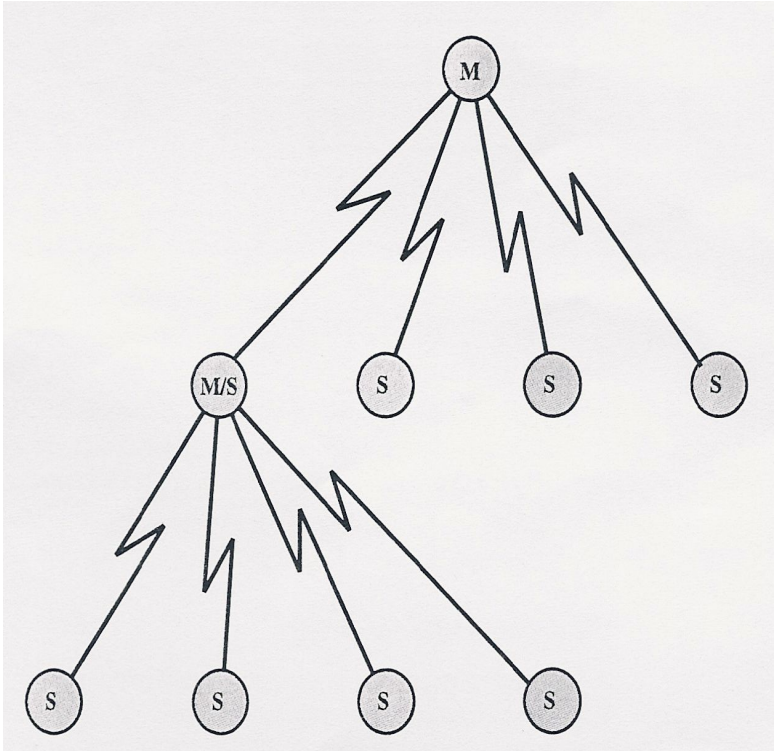


Figure 15.4 Master/Slave Relationships

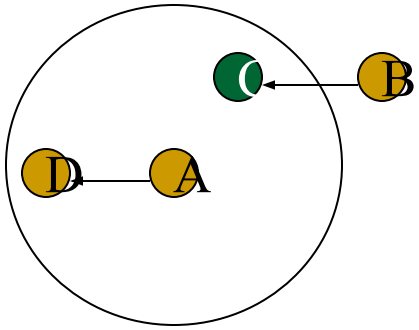
Протоколы на основе конкуренции

Протоколы на основе конкуренции

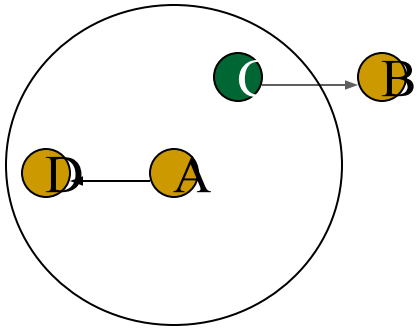
- ALOHA :
  - packet radio networks
  - send when ready
  - 18-35% channel utilization
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access):
  - “listen before talk”
  - 50-80% channel utilization

Проблема скрытого и обнаруженного терминалов

- Радио эфир является общим ресурсом
- Классический CSMA работает неэффективно из-за проблем «скрытого» и «обнаруженного» терминала.



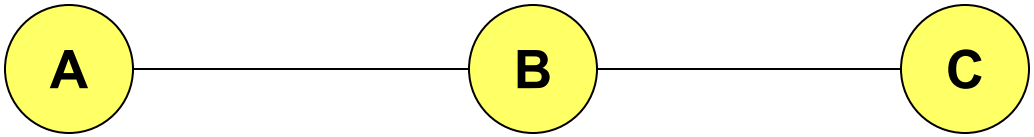
«Скрытый» терминал



«Обнаруженный» терминал

Протокол MACA

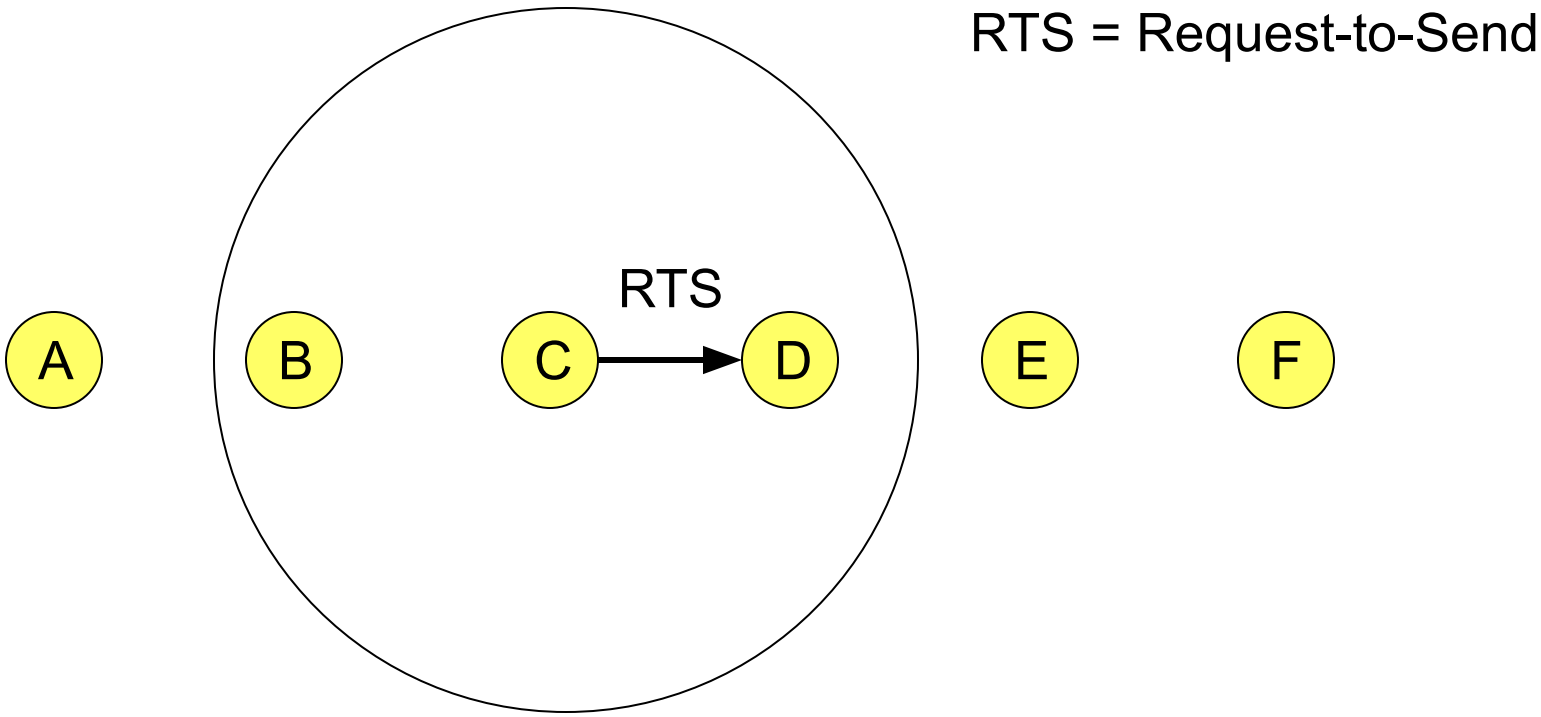
- Протокол MACA (Ethernet) – решение проблемы скрытого терминала.
- RTS-CTS-DATA схема.
- Когда узел слышит сигнал CTS, он ничего не передает в течении времени передачи данных.
  - Время передачи данных содержится в пакетах RTS, CTS.



Протокол MACAW (Wireless)

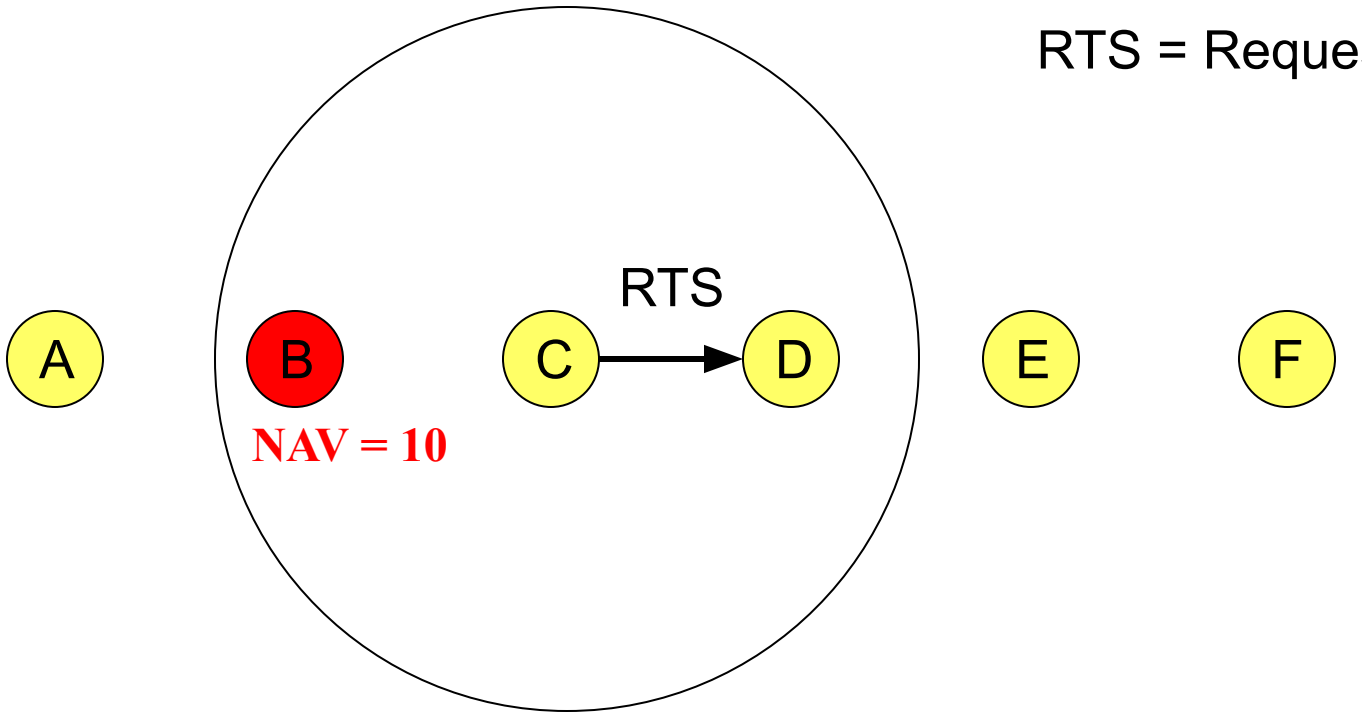
- Передача информации в беспроводных каналах связи часто связана с высоким уровнем ошибок.
- RTS-CTS-DATA-ACK схема.
- Если узел не получает ACK, он передает информацию повторно.

802.11



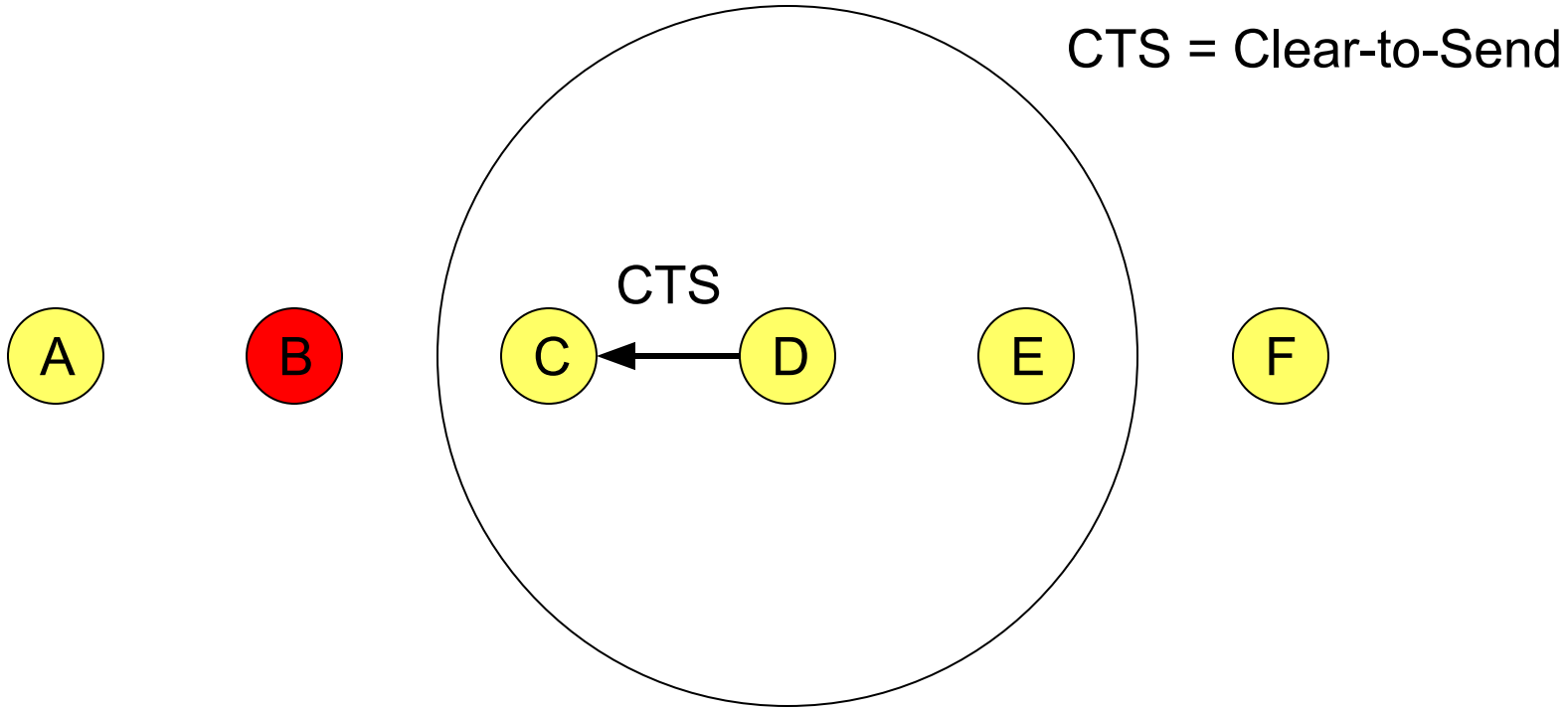
802.11

RTS = Request-to-Send

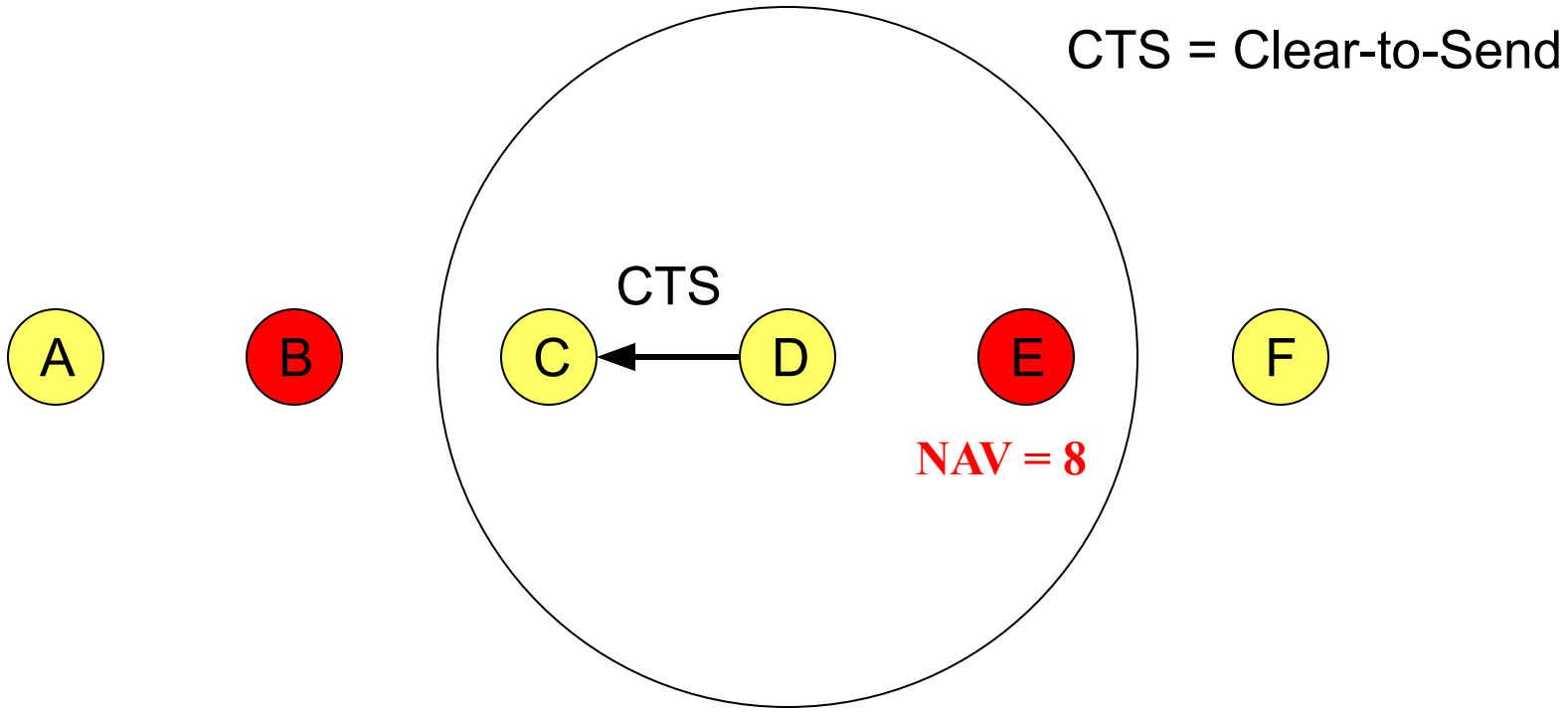


NAV = оставшееся время передачи

802.11

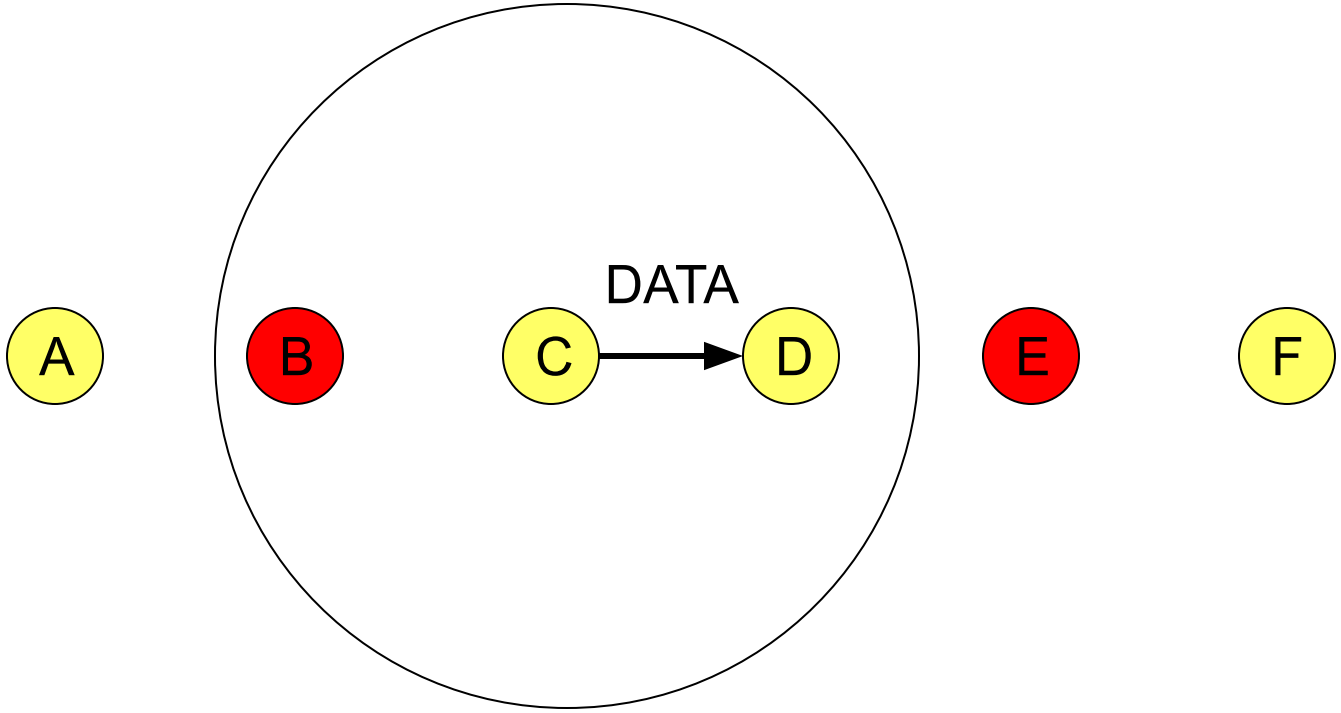


802.11

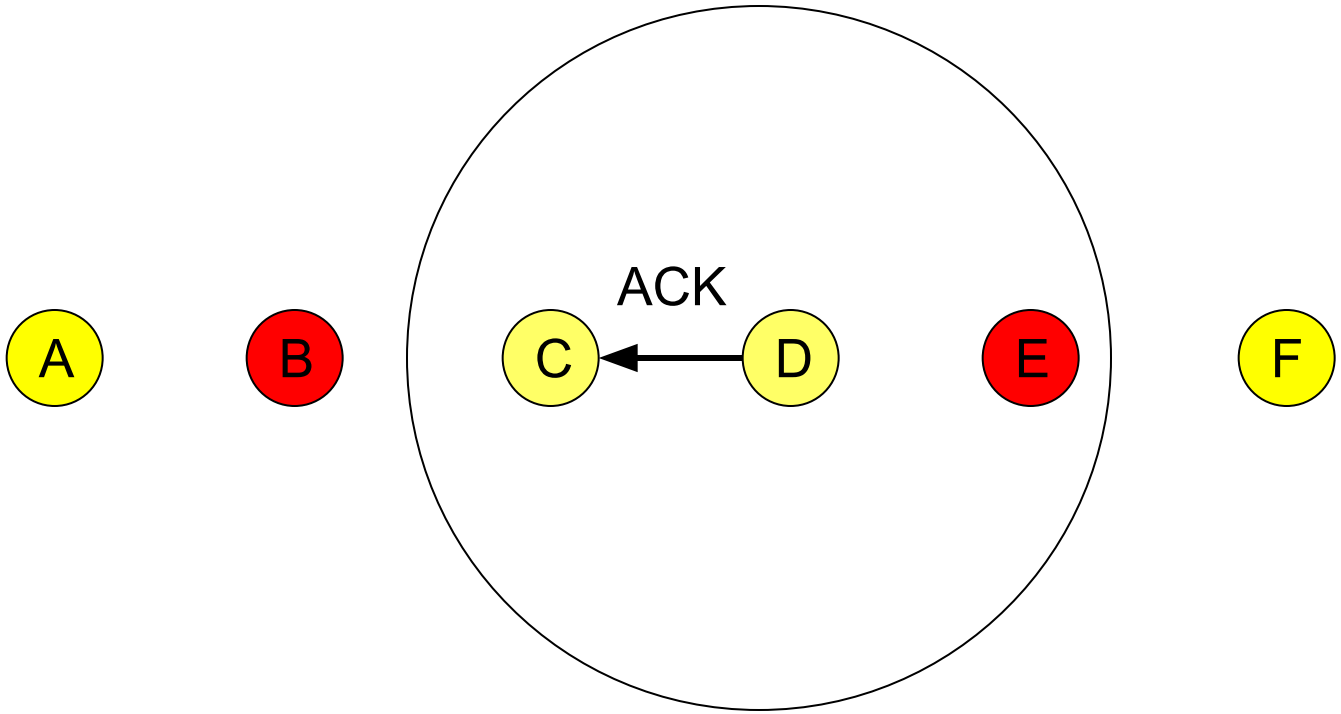


802.11

- DATA пакет следует за CTS. Успешный прием данных подтверждается посылкой пакета ACK.



802.11



CSMA/CA избежание коллизий

- Полудуплексное радио не может быть использовано для алгоритма обнаружения коллизий.

- CSMA/CA: Беспроводные протоколы канального уровня часто используют алгоритмы избежания коллизий вкупе с механизмом обнаружения несущей.
  - Обнаружение несущей: когда узел хочет начать передавать пакет, он предварительно слушает канал.
  - Избежание коллизий: узел обнаружевший сигнал RTS или CTS ничего не передает в течении определенного времени. Когда канал становиться свободен, узел ждет случайно выбранный промежуток времени перед началом передачи.

CSMA/CA

- Физическое обнаружение несущей.
- Виртуальное обнаружение несущей на основе NAV (Network Allocation Vector)
- NAV постоянно обновляется на основе полученных (overhead) пакетов RTS/CTS/DATA/ACK.
- Узлы ничего не передают пока присутствует несущая (физическая/виртуальная)
- Backoff ипользуется для уменьшения вероятности коллизий.

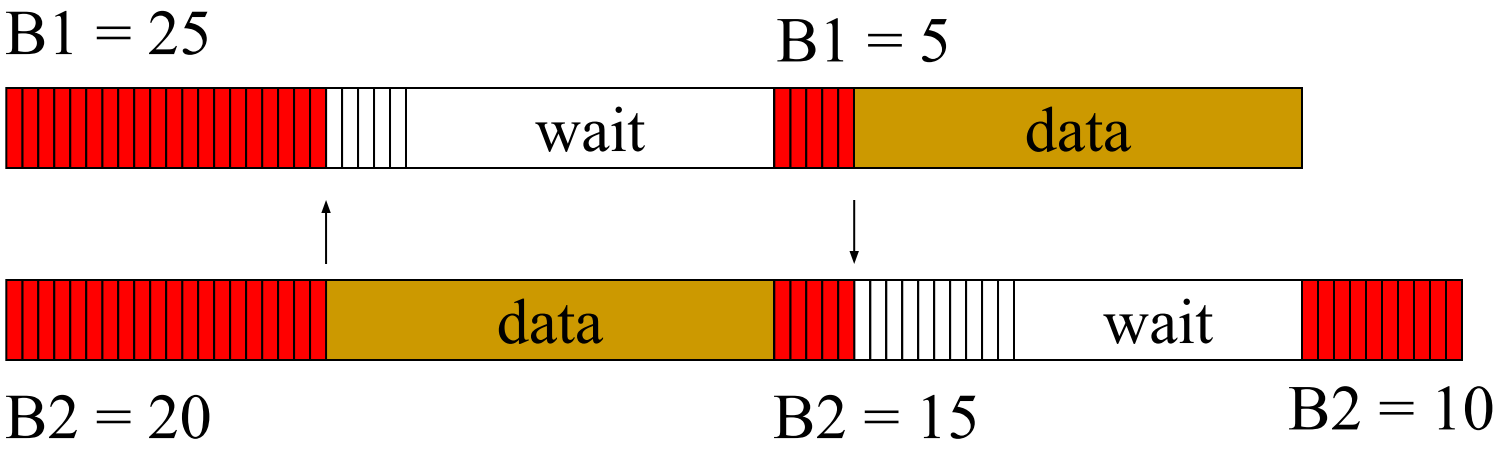
Backoff Interval

- Во время передачи пакета, выбирается backoff интервал в диапазоне [0,*MaxBackoff*]. Где *MaxBackoff*- можно задавать произвольно, в зависимости от задач.

- Выбранный backoff интервал отсчитывается назад (уменьшается) пока канал свободен.
  - Отсчет прекращается, когда канал занят.

- Когда backoff интервал становится равным 0 посылается RTS пакет.

Backoff Interval: Пример



MaxBackoff=31
B1-backoff интервал на узле 1
B2-backoff интервал на узле 2

Backoff Interval

- Backoff интервал является частью накладных расходов MAC протоколов.
  - Выбор большого MaxBackoff приводит к увеличению накладных расходов.
  - Выбора маленького MaxBackoff приводит к увеличению коллизий.

- Так как количество узлов готовых передавать одновременно изменяется во времени нужны механизмы управления максимальным backoff интервалом.
  - IEEE 802.11 DCF: максимальное значение backoff интервала MaxBackoff может изменяться во времени в зависимости от количества коллизий.

Backoff Interval

- Когда узел не получает CTS пакет на посланный RTS, то он увеличивает MaxBackoff
  - MaxBackoff удваивается (вплоть до максимального значения)
- Когда узел успешно передает данные, он сбрасывает значение MaxBackoff до минимально возможного.
- График значений MaxBackoff имеет пилообразную форму.

Примеры протоколов канального уровня для WSN

CSMA vs TDMA в сенсорных сетях

Параметр	TDMA	CSMA
Масштабируемость	Плохо	Хорошо
Адаптивность	Плохо	Хорошо
Высокая плотность	Лучше	Плохо
Низкая плотность	Плохо	Лучше
Задержки	Хорошо	Плохо
Энергетическая эффективность	Хорошо	Плохо

CSMA vs TDMA в сенсорных сетях

Параметр	TDMA	CSMA
Энергия для синхронизации	Плохо	Хорошо
Пропускная способность	Хорошо при многих источниках	Хорошо для одного источника
Multihop пропускная способность	Плохо	Лучше
Использование канала	Равны	Равны
Сложность алгоритмов передачи	Плохо	Хорошо
«Честность»	Хорошо	Плохо

MAC протоколы для WSN

MAC протоколы для WSN

- Началось в 2000 с одной статьи
- Экспоненциальный рост к 2004 уже более 16 статей

Кслассификация

- По количеству используемых каналов
- По способу организации передачи между узлами
- По способу уведомления о передачи.

MAC Протоколы для WSN

Протокол	Каналы	Организация	Уведомление
2000			
SMACS	FDMA	frames	schedule
2001			
PACT	single	frames	schedule
PicoRadio	CDMA+tone	random	wakeup
2002			
STEM	data+ctrl	random	wakeup
Preamble sampling	single	random	listening
Arisha	single	frames	schedule
S-MAC	single	slots	listening
PCM	single	random	listening
Low Power Listening	single	random	listening

MAC Протоколы для WSN

2003

Sift	single	random	listening
EMACs	single	frames	schedule
T-MAC	single	slots	listening
TRAMA	single	frames	schedule
WiseMAC	single	random	listening

2004

BMA	single	frames	schedule
Miller	data+tone	random	wakeup+list
DMAC	single	slots	listening
SS-TDMA	single	frames	schedule
LMAC	single	frames	listening
B-MAC	single	random	listening

MAC Протоколы для WSN

- Энергетическая эффективность это основной критерий в сенсорных сетях.

- Что вызывает нежелательные затраты энергии?
  - Коллизии
  - Системные пакеты (Control Packet Overhead)
  - Прием нежелательного трафика (Overhearing unnecessary traffic)
  - Большое время ожидания передачи

Протоколы канального уровня в сенсорных сетях должны обеспечивать сохранение энергии по всем параметрам.

Свойства MAC протоколов

- Избежание коллизий
  - Основная задача MAC протоколов
- Энергетическая эффективность
- Масштабируемость и адаптивность.
  - Размер сети, ее плотность и топология.
- Задержки
- Использование канала
- Пропускная способность
- Справедливость

} Вторично в WSN

S-MAC: Co-ordinated Adaptive Sleeping

Ye, Heidemann (USC), Estrin (UCLA)

S-MAC: Co-ordinated Adaptive Sleeping

Комбинирование основных достоинств протоколов «по расписанию» (TDMA) и «конкурентных» протоколов (CSMA).

- Синхронизированное расписание.
  - Расписание подобрано таким образом, что когда узлы хотят передачть информацию, они просыпаются синхронно
- Несинхронизированная передача.
  - Когда узел проснулся и хочет передать информацию, он делает это с посощью алгоритма CSMA/CA.

S-MAC: Co-ordinated Adaptive Sleeping

- Основной компромисс: жертвуя задержками/справедливостью улучшаем энергетическую эффективность.

- S-MAC пытается уменьшить затраты энергии за счет:
  - Пассивный прием – периодическое засыпание.
  - Коллизии – использование RTS/CTS
  - Overhearing – выключение радио, когда передача не предназначается для этого узла.
  - Служебные пакеты – передача сообщений

Координированный сон

- Проблема: пассивное прослушивание канала приводит к болшим потерям энергии.
- Решение: периодическое засыпание.

- Выключение трансивера во время сна
- Уменьшение duty cycle до ~10%

Выбор расписания

- Каждый узел хранит таблицу с расписанием всех своих соседей.

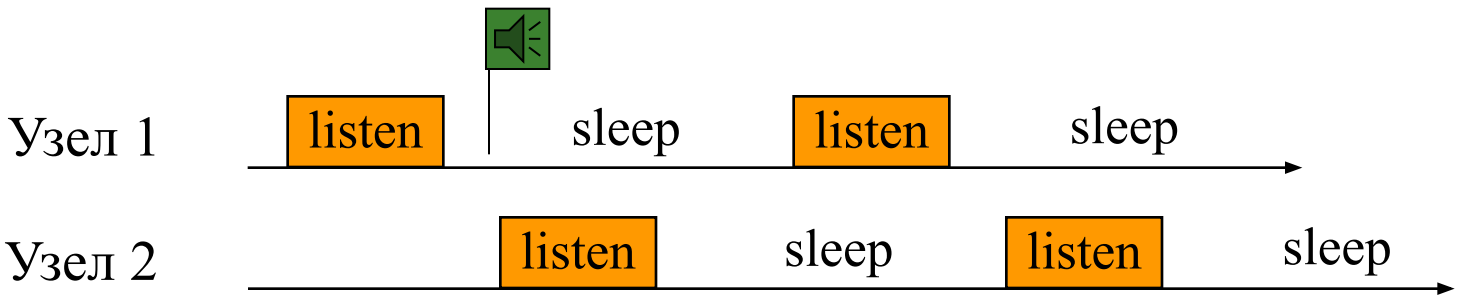
- При составлении первичного расписания происходит следующее:
  - Узел слушает определенное количество времени.
  - Если он не получает информацию о расписании своих соседей, он выбрает свое расписание случайным образом и рассылает его.
  - Данный узел называется синхронизатором (SYNCHRONIZER)
  - Если узел получает расписание другого узла, то он просто следует этому расписанию.
  - Этот узел называется ведомым (FOLOWER) и через случайный промежуток времени рассылает свое расписание.

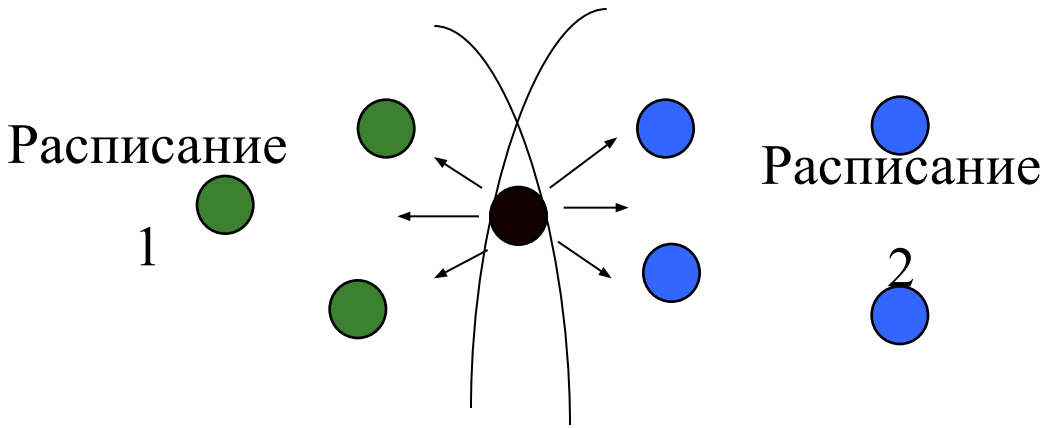
Выбор расписания

- Требуется периодическая синхронизация .
- Синхронизатор периодически рассылает синхронизационный пакет (SYNC) своим соседям.
- Узел, при получении синхронизационного пакета, подстраивает свое расписание.

Координированный сон

- Расписание может отличаться

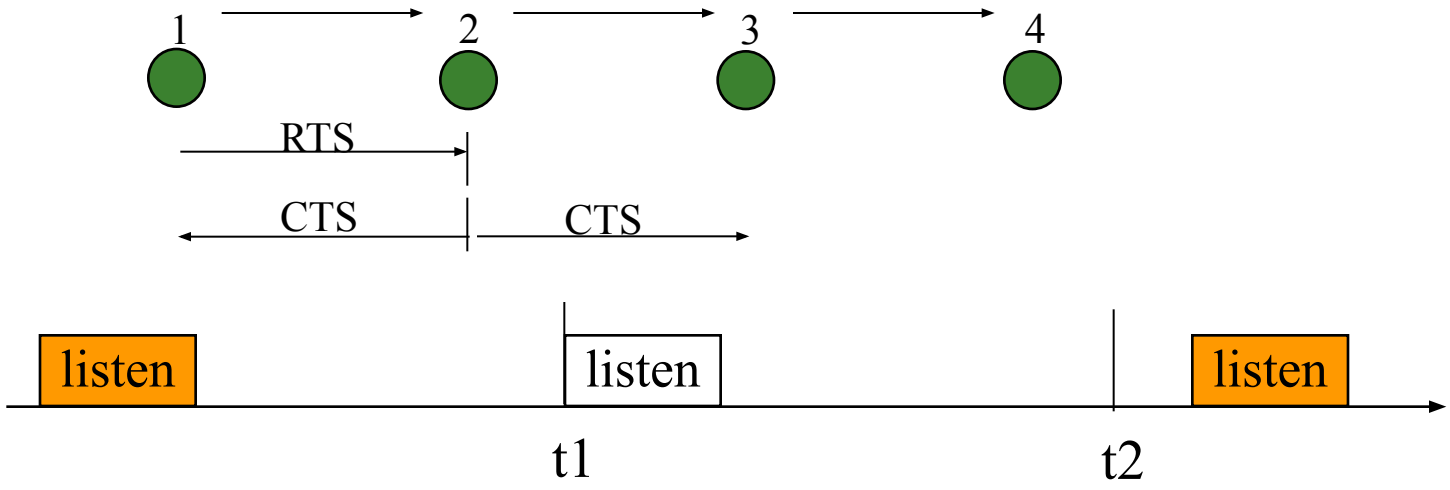




Граничный узел:
два расписания

Адаптивное прослушивание

- Проблема: Высокая задержка при multi-hop передаче.
- Решение: Пробуждение на короткий период времени при окончании каждой передачи.



Уменьшает задержку в двое.

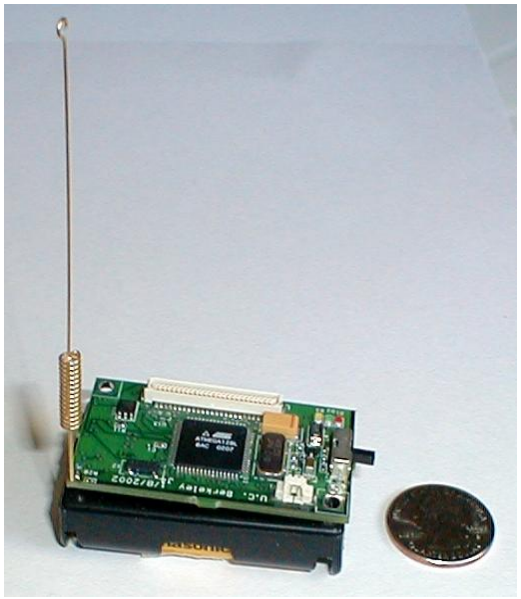
Избежание коллизий

- S-MAC основан на конкуренции
- Алгоритм похож на IEEE 802.11 ad hoc mode
  - Физическое и виртуальное обнаружение несущей
  - Случайный выбор backoff интервала
  - RTS/CTS для решения проблемы скрытого терминала
  - RTS/CTS/DATA/ACK последовательность

Избежание приема нежелательных пакетов

- Проблема: Прием пакетов предназначенных для других узлов.
- Решение: Засыпать, когда соседние узлы передают.
- Кто должен спать?
  - Все непосредственные соседи применика и передатчика
- Как долго?
  - Каждый пакет содержит поле с информацией о длительности передачи

S-MAC: практические эксперименты



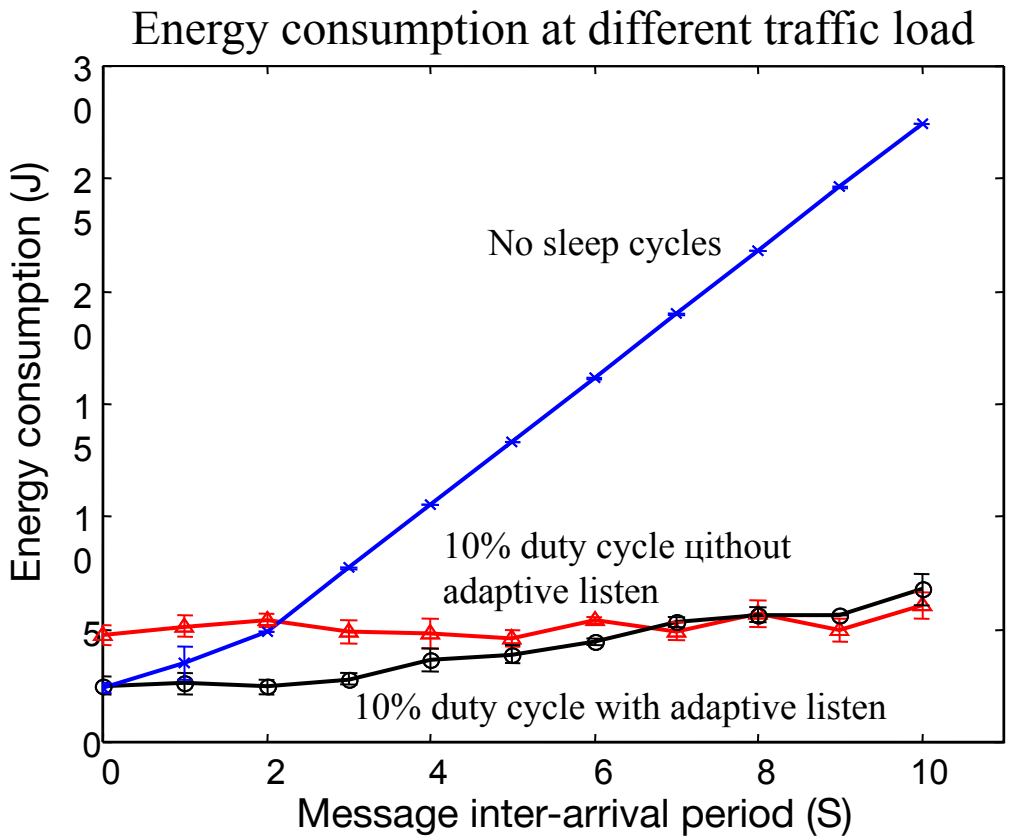
- Платформа
  - Mica Motes (UC Berkeley)
    - 8-bit CPU at 4MHz,
    - 128KB flash, 4KB RAM
    - 20Kbps radio at 433MHz
  - TinyOS
- Конфигурация S-MAC
  - Низкий duty cycle с адаптивным прослушиванием
  - Низкий duty cycle без адаптивного прослушивания
  - Автивный режим (без засыпания)

S-MAC: практические эксперименты

- 11 узлов расположены цепочкой, с источником на одном конце и базовой станцией на другом.

- При небольшом трафике S-MAC имеет существенное преимущество.

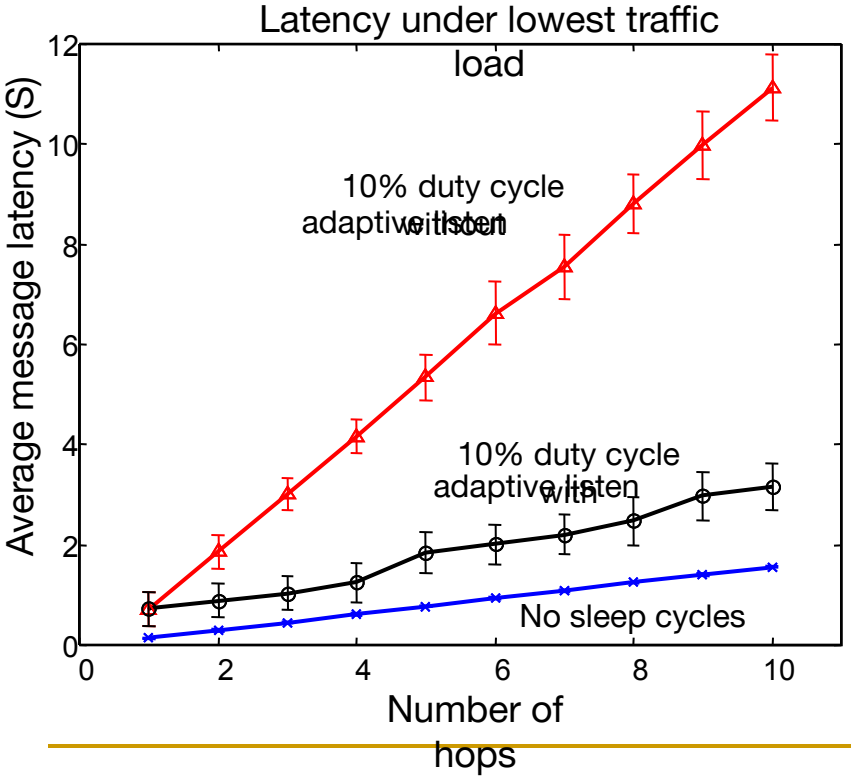
- Адаптивное прослушивание канала приобретает большее значение при большом трафике.

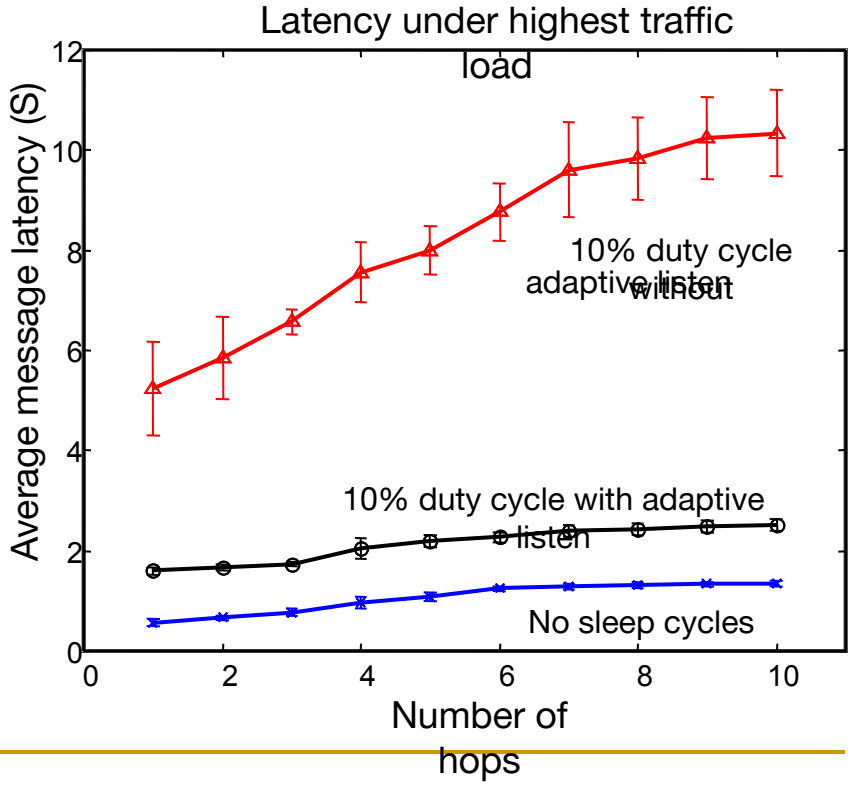


* Wei Ye, John Heidemann “Medium Access Control in WSN”

S-MAC: практические эксперименты

- Адаптивное прослушивание значительно сокращает задержки, выхванные периодическим засыпанием.

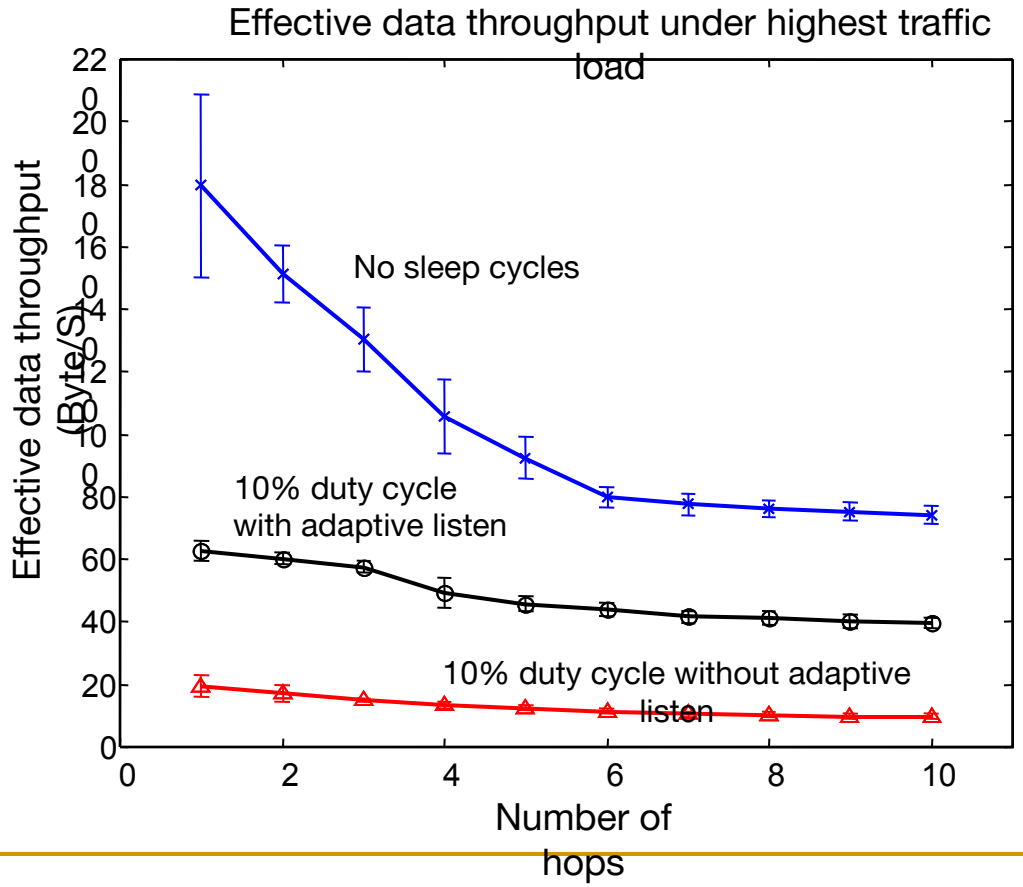




* Wei Ye, John Heidemann “Medium Access Control in WSN”

S-MAC: практические эксперименты

- Адаптивное пролушивание увеличивает пропускную способность.
  - Меньшее время для передачи одного объема данных.



* Wei Ye, John Heidemann “Medium Access Control in WSN”

S-MAC: достоинства и недостатки

- Достоинства
  - Значительно более эффективный чем обычный CSMA/CA
  - Планирует время сна и время активности для обеспечения энергетически эффективной передачи при удоволетворительных задержках.

- Недостатки
  - Алгоритмически сложнее
  - Существенные затраты на организацию (расписание)
  - Комбинирует обнаружение несущей, RTS/CTS и засыпание по расписанию в один MAC протокол, что может помешать при оптимизации под конкретные приложения.

B-MAC: Versatile Low-power medium access for sensor networks

Joe Polastre, Jason Hill, David Culler
(U.C. Berkeley)

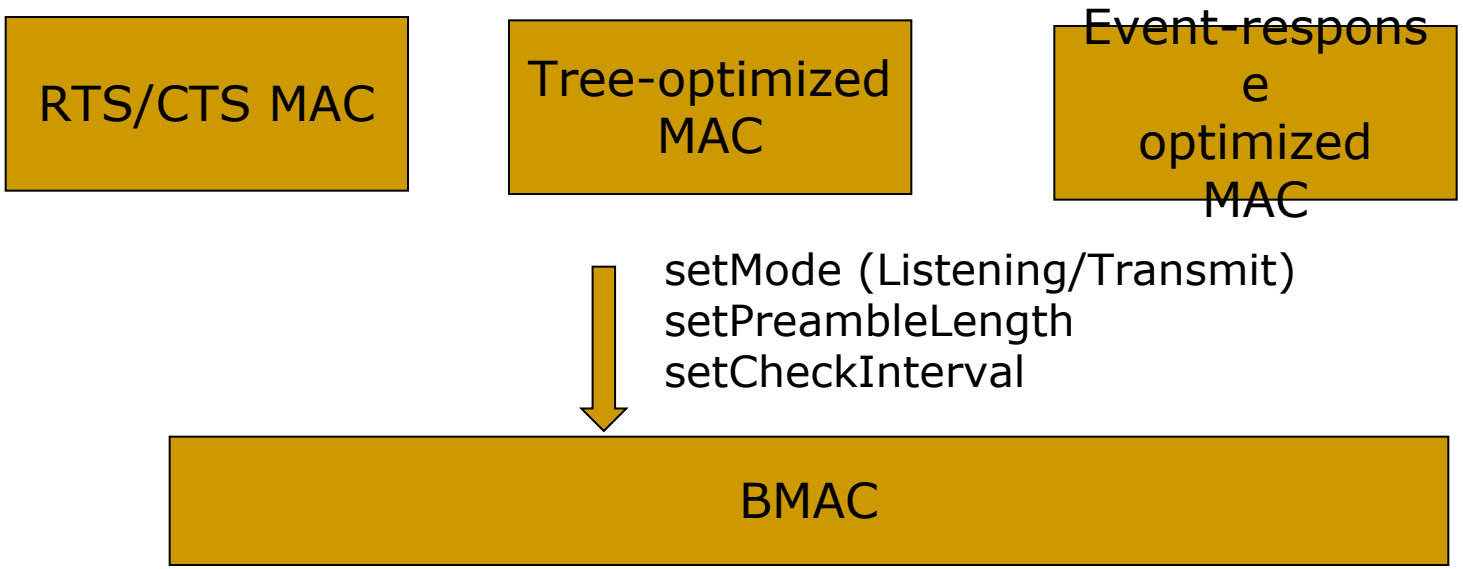
B-MAC

- Разделение канального уровня и контроля доступа к среде, дает лучшую оптимизацию под конкретные приложения.

- Сон без расписания (Unscheduled sleep)
  - Уменьшает количество служебной информации.
  - Но передатчику необходимо больше усилий, чтобы пробудить приемник от сна.

- Пробуждение без расписания (Unscheduled wakeup)
  - Временные интервалы между просыпаниями очень короткие
  - Может быть использован CSMA/CA или другие app-specific алгоритмы.

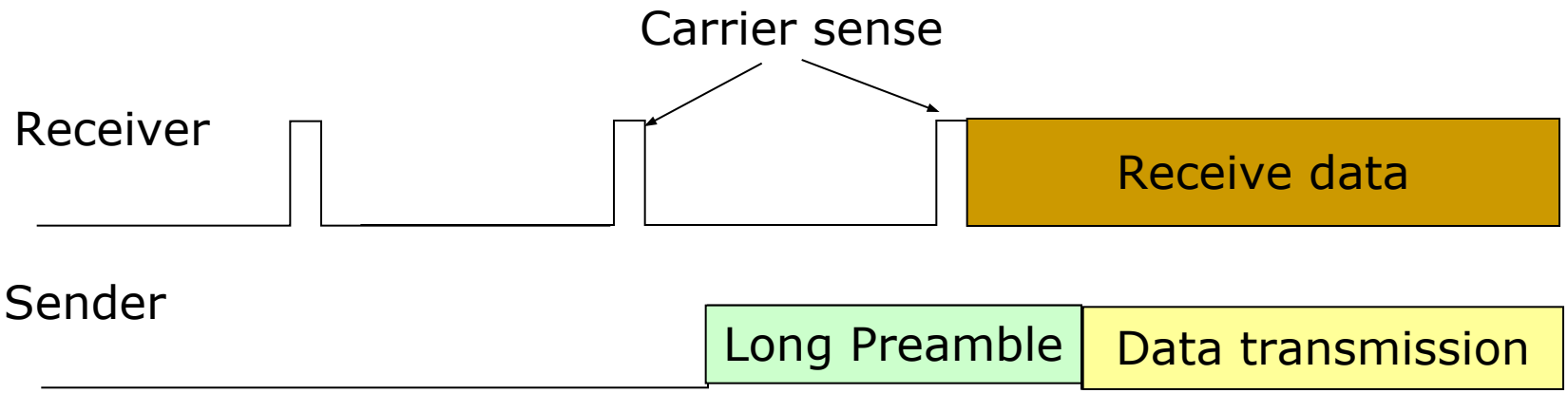
B-MAC



BMAC позволяет разделить

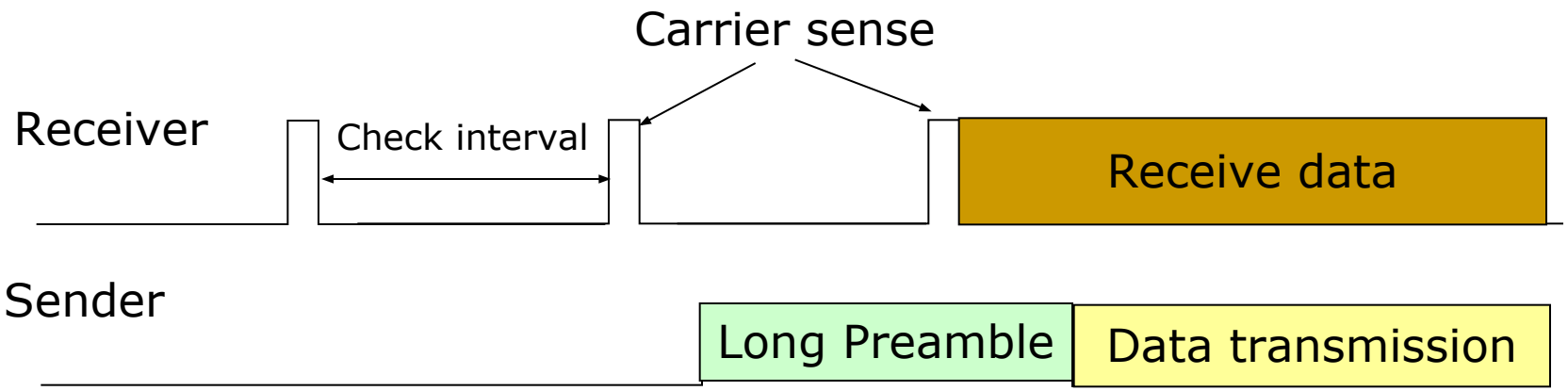
- Обнаружение несущей
- Достоверность доставки (link-layer reliability)
- RTS/CTS (для решения проблемы скрытого терминала)

B-MAC



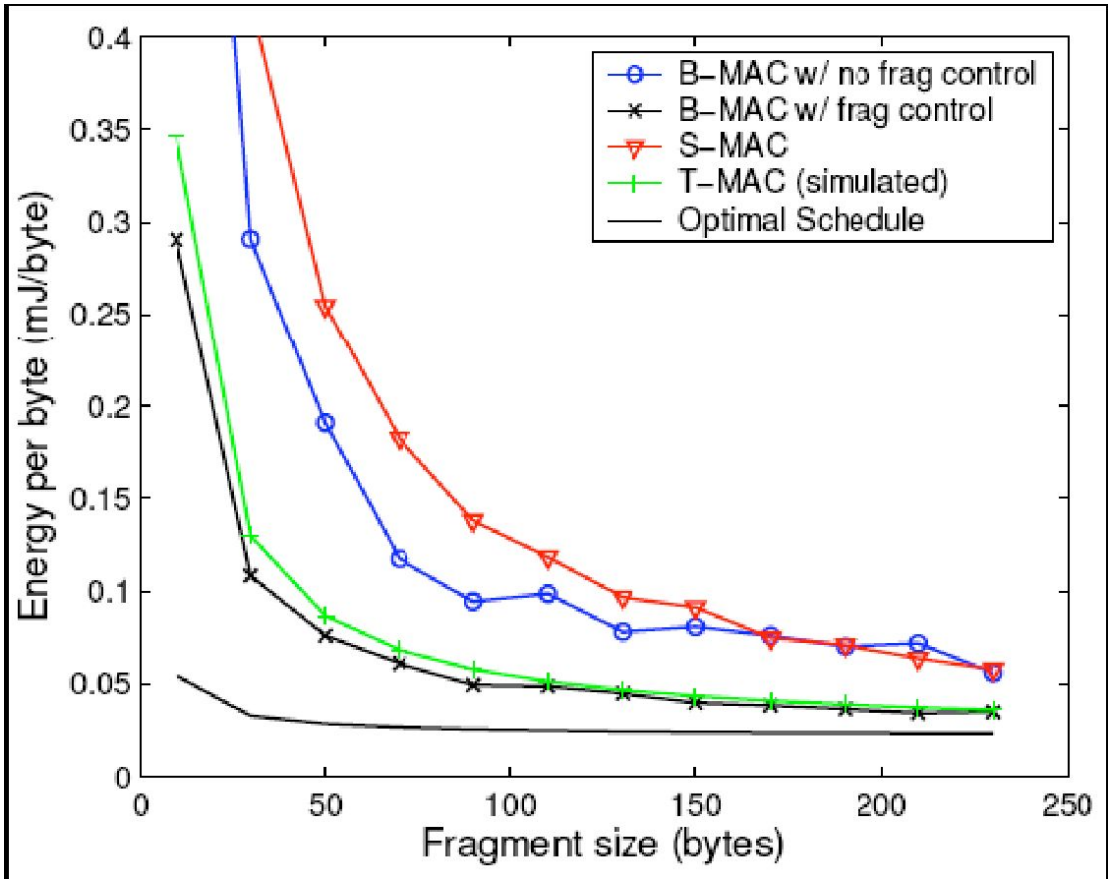
- Передатчик посылает длинную преамбулу, которая перекрывает время между двумя “carrier sense” промежутками.
- При передачи данных может быть использован алгоритм RTS/CTS или любой другой.

B-MAC

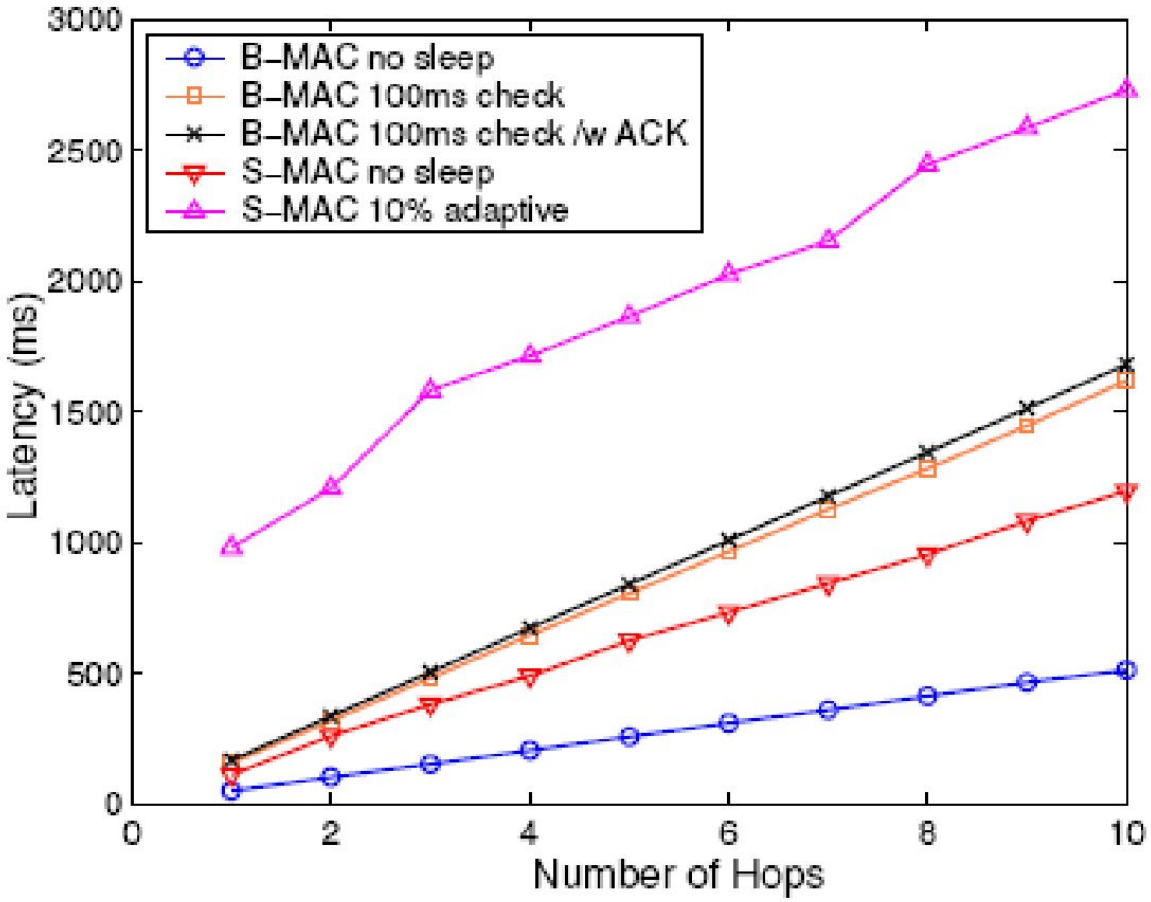


- CheckInterval должен быть достаточно короткий, чтобы обеспечить разумную длинну преамбулы.
- Время “carrier sense” должно быть достаточно коротким, чтобы не тратить много энергии.

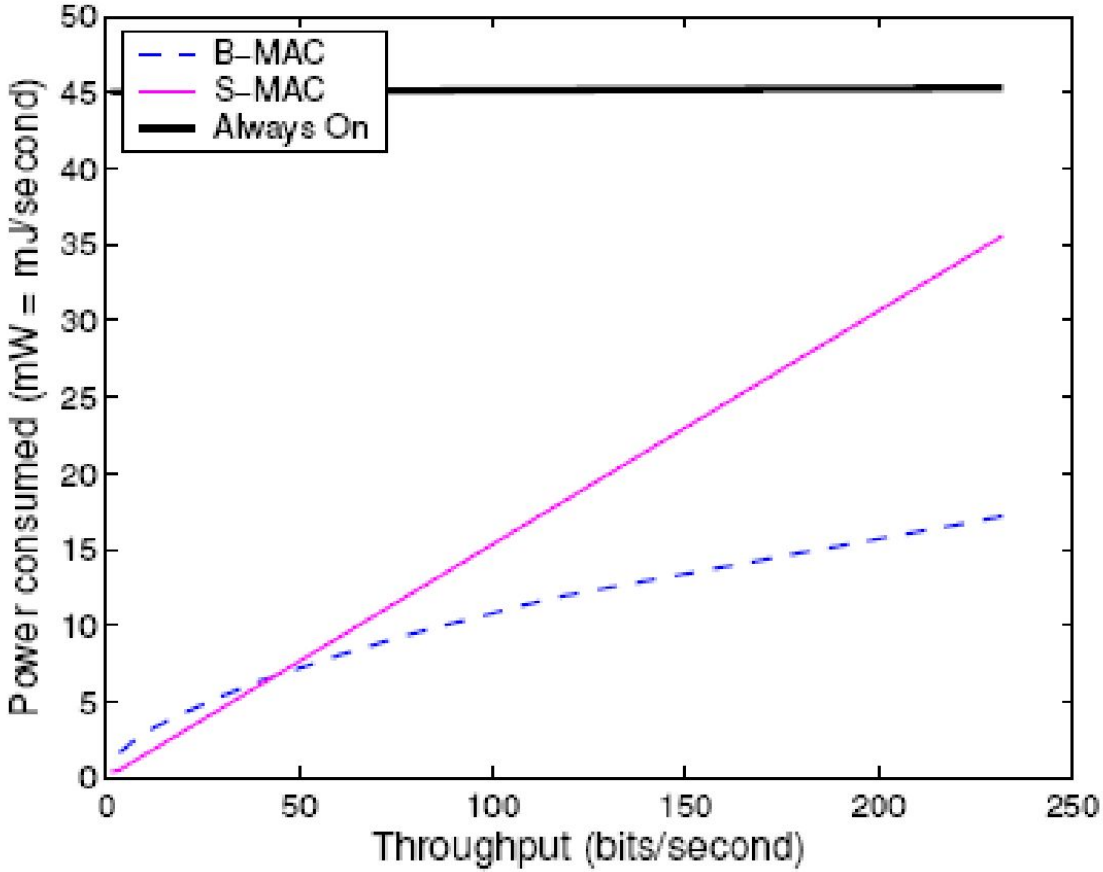
B-MAC


B–MAC w/ no frag control
B–MAC w/ frag control
S–MAC
T–MAC (simulated)
Optimal Schedule
Energy per byte (mJ/byte)
Fragment size (bytes)
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
0
50
100
150
200
250

B-MAC


B–MAC no sleep
B–MAC 100ms check
B–MAC 100ms check /w ACK
S–MAC no sleep
S–MAC 10% adaptive
Latency (ms)
Number of Hops
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
0
2
4
6
8
10

B-MAC


B–MAC
S–MAC
Always On
Power consumed (mW = mJ/second)
Throughput (bits/second)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0
50
100
150
200
250

Заключение

- Протоколы доступа к среде и их классификация
- Свойства протоколов канального уровня
- Протоколы по расписанию
- Протоколы с конкуренцией
- Примеры протоколов канального уровн в WSN

Литература

- Medium Access Control in Wireless Sensor Networks Wei Ye and John Heidemann
- Energy-Efficient Medium Access Control Koen Langendoen and Gertjan Halkes
- An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks Tijs van Dam,Koen Langendoen, Sensys 2003
- Medium Access Control with Co-ordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, IEEE/ACM Transactions on Networking, 2004.

The End

Design Discussion: MAC layer for event detection

- Given:
  - 1 High-powered camera sensor
  - Many (20) low-power camera sensors
- Requirement:
  - Low-power cameras are periodically sensing
  - Trigger high-power camera when low-power ones detect motion within time Delta.
- Discuss appropriate choice of MAC layer (TDMA/FDMA/CDMA/CSMA) for
  - Single hop vs multihop
  - Large vs Small Delta
  - Scheduled vs unscheduled sleep