

## IEEE 802.11 マルチホップネットワークを用いたデータ伝送時の消費電力量解析

大阪大学 大学院情報科学研究科  
○通飯 航 長谷川 剛 村田 正幸

NS 研究会 2011/9/2

### はじめに - 研究背景 -

- ▶ 小型の無線端末を利用したインターネットアクセスが一般に浸透している
- ▶ 無線端末は通常バッテリー駆動である
- ▶ 無線端末の消費電力のうち 10% から 50% を無線通信が占めている [1]

消費電力を考慮したネットワーク制御を考慮する必要がある

- ▶ 本研究では、無線マルチホップネットワークでの消費電力を考える

[1] Atheros Communications. Power Consumption and Energy Efficiency Comparisons of WLAN Products. Technical report, Atheros, May 2003.

NS 研究会 2011/9/2

### はじめに - 消費電力を考慮するにあたって -

- ▶ 無線マルチホップネットワーク
  - ▶ データ伝送において、端末同士が直接通信するだけでなく、他の端末を経由することによってもデータ伝送が可能である
  - ▶ データレートと通信可能距離はトレードオフの関係にある
    - ▶ 高いデータレートをを用いると、フレーム送出時間は短くなるが、通信可能距離が短くなるためにホップ数が増える

伝送にかかる時間やホップ数は消費電力に大きな影響を与える

NS 研究会 2011/9/2

### はじめに - 消費電力を考慮するにあたって -

- ▶ IEEE 802.11 無線 LAN 規格
 

802.11g 屋外におけるデータ [2]		
データレート [Mbps]	最大通信距離 [m]	最大送信電力 [mW]
1	610	100
6	396	100
11	304	100
18	183	50
54	76	20
- ▶ 各データレートにおいて以下の値が異なる
  - ▶ 最大通信距離
    - ホップ数に影響
  - ▶ 最大送信電力
    - ビットエラー率に影響
- ▶ 変調方式
  - ▶ データレートによって変調方式は異なる
  - ▶ シンボルが密接になるとシンボルエラーが起こりやすくなる
  - ▶ エラーが起こりやすいと再送回数が増える

ホップ数、ビットエラー・シンボルエラー率、再送回数は消費電力に影響を与える

[2] Cisco Aironet 802.11a/b/g 無線 CardBus アダプタ [http://www.cisco.com/web/Products/wireless/adapter/products\\_ds.html](http://www.cisco.com/web/Products/wireless/adapter/products_ds.html)

NS 研究会 2011/9/2

### 研究の目的と方法

- ▶ 目的
  - ▶ IEEE 802.11 マルチホップネットワークを用いた無線伝送における消費電力量を解析する
  - ▶ データレートの選択による消費電力量の違いを明確にし、消費電力量を削減できる可能性があることを示す
- ▶ 方法
  - ▶ IEEE 802.11 の MAC プロトコルの動作に基づき、送信側端末の状態に応じた消費電力量を算出する
  - ▶ 実在する無線 LAN のネットワークインターフェースの仕様に基づいて解析結果の数値例を示す

NS 研究会 2011/9/2

### 解析の概要と前提

- ▶  $S_{data}$  [Bytes] のデータをフレーム単位に分割し、 $L$  [m] 離れた端末まで伝送する際の消費電力量に着目

- ▶ 以下のようなモデルを仮定
  - ▶ データフレームのロス
    - 衝突によるロスは考慮しない
    - シンボルが1つでも誤ればそのシンボルを含むフレームは破棄される
  - ▶ データフレーム以外は損失せず、他の送信端末は存在しない
  - ▶ 送受信端末間に無数の中継端末が一直線上に存在し、任意の距離だけ離れた中継端末でホップさせることが可能

NS 研究会 2011/9/2

### データフレーム交換のモデル

- CSMA / CA
  - キャリアセンスや衝突回避を行うプロトコル
- RTS / CTS
  - アクセス制御の方式
  - 隠れ端末問題を解決できる

※ 回目の送信で送信成功する場合のフレーム交換の流れ

※ ACKフレームおよび RTS/CTSフレームは損失しないと仮定する

7 NS 研究会 2011/9/2

### フレーム伝送時における送信側端末の状態

- フレームロスが起きない場合の伝送
  - 待機中: DIFS, 3 SIFS, バックオフ
  - 送信中: RTS, データフレーム
  - 受信: CTS, ACK
  - 1つのフレームに対して、上記の状態が1回存在する
- フレームロスが起きる場合の伝送
  - 待機中: DIFS, 2 SIFS, バックオフ, RTT
  - 送信中: RTS, データフレーム
  - 受信: CTS
  - 各フレームに対して、上記の状態がx-1回ずつ存在する

※ x 回目に送信成功する場合、x-1 回フレームロスが起こる

8 NS 研究会 2011/9/2

### 1 ホップのデータ伝送時の消費電力量

- 消費電力量を求める
  - データ伝送におけるノードの状態
    - 送信中, 受信中, 待機中に分けられる
  - 各状態において必要な電力と、それにかかる時間の積の和

T: 時間  
S: データサイズ/フレームサイズ  
p: フレーム損失率  
n<sub>f</sub>: データフレーム数  
d<sup>(k)</sup>: IEEE 802.11 において用いることのできる k 種類の内、使用しているデータレート (1 ≤ k ≤ K)

平均待機時間, 待機電力

$$E_t^{(k)}(n_f) = n_f \left[ \frac{1}{1-p} \left\{ T_{DIFS} + (1-p)T_{BO} + (3-2p)T_{SIFS} + p \left( T_{RTT} - \frac{S_f}{d^{(k)}} \right) \right\} P_r + \frac{S_{data}}{S_f} \left( \frac{S_{RTS} + S_f}{d^{(k)}(1-p)} P_t + \frac{1}{d^{(k)}} \left( \frac{S_{CTS} + S_{ACK}}{1-p} \right) P_r \right) \right]$$

平均送信時間, 送信電力, 平均受信時間, 受信電力

9 NS 研究会 2011/9/2

### マルチホップのデータ伝送時の消費電力量

- 総消費電力量
  - 1 ホップの際の消費電力量とホップ数の積

L: 目的ノードまでの距離  
r<sup>(k)</sup>: 通信可能距離  
P<sub>t</sub><sup>(k)</sup>: 送信電力

$$E_t^{(k)}(n_f, L) = n_f \left[ \frac{1}{1-p} \left\{ T_{DIFS} + (1-p)T_{BO} + (3-2p)T_{SIFS} + p \left( T_{RTT} - \frac{S_f}{d^{(k)}} \right) \right\} P_r + \frac{S_{data}}{S_f} \left( \frac{S_{RTS} + S_f}{d^{(k)}(1-p)} P_t + \frac{1}{d^{(k)}} \left( \frac{S_{CTS} + S_{ACK}}{1-p} \right) P_r \right) \right] \times \frac{L}{r^{(k)}}$$

ホップ数

10 NS 研究会 2011/9/2

### 送信電力と通信距離の関係

- データシートから算出可能と仮定

データレート [Mbps]	最大通信距離 r <sup>(k)</sup> [m]	最大送信電力 P <sub>t</sub> <sup>(k)</sup> [mW]
1	610	100
6	396	100
11	304	100
18	183	50
54	76	20

r<sup>(k)</sup>: 通信可能距離  
P<sub>t</sub><sup>(k)</sup>: 送信電力

距離の α 乗で電波が減衰すると仮定すると、送信電力と通信距離の関係は以下ようになる

$$P_t^{(k)} = \hat{P}_t^{(k)} \times \left( \frac{r^{(k)}}{\hat{r}^{(k)}} \right)^\alpha \Rightarrow r^{(k)} = \hat{r}^{(k)} \times \left( \frac{P_t^{(k)}}{\hat{P}_t^{(k)}} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

11 NS 研究会 2011/9/2

### 数値解析 - パラメータ設定 -

- データサイズ S<sub>data</sub> [KBytes] のデータを伝送する際の総消費電力量を算出する
- 各フレームのサイズ
  - 項目: S<sub>ACK</sub>, S<sub>RTS</sub>, S<sub>CTS</sub> (40 Bytes)
- 時間に関するパラメータ
  - 項目: T<sub>DIFS</sub> (34 μs), T<sub>SIFS</sub> (16 μs), T<sub>slot</sub> (9 μs), T<sub>RTT</sub> (5 RTT)

※ CW<sub>j</sub>: 回目の送信における値  
CW<sub>min</sub> = 15  
CW<sub>max</sub> = 2<sup>15</sup> CW<sub>min</sub>

※バックオフ時間 (T<sub>BO</sub>) は、以下のようにして求める  
CW<sub>j</sub> = min(2<sup>j-1</sup> CW<sub>min</sub>, CW<sub>max</sub>)  
T<sub>BO</sub> = CW × T<sub>slot</sub> (CW ∈ [0, CW<sub>j</sub>])

この解析におけるパラメータ

項目	値
L	1000 m
S <sub>data</sub>	100 KBytes
S <sub>f</sub>	1000 Bytes

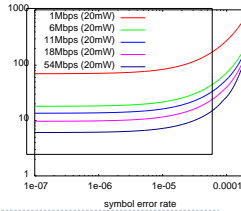
12 NS 研究会 2011/9/2

### 数値解析 - 各データレートにおける比較 -

- ▶ 各データレートにおいて送信電力を一定とした際のデータ伝送にかかる総消費電力量
  - ▶ 送信電力: 20 mW
  - ▶ 変調方式の違いが消費電力に影響を与えないと仮定

- ▶ 高データレートの伝送が優位
  - 通信可能距離が短いためにホップ数が増えることによる消費電力量への影響

VS  
 フレーム伝送時間が短くなることによる消費電力量への影響  
 こちらの影響の方が大きいとわかる



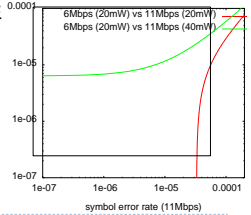
▶ 13

NS 研究会 2011/9/2

### 数値解析 - シンボルエラー率に着目した解析 -

- ▶ 2つのデータレートを用いた伝送の消費電力量が等しい時の、それぞれのデータレートにおけるシンボルエラー率の関係
  - ▶ グラフよりも左(上)側では11 Mbps が有利であることを示す

- ▶ 低データレートの伝送の優位性
  - ▶ 11 Mbps での送信電力を大きくすると 6 Mbps での伝送が有利になる状況が増える

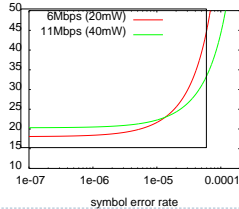


▶ 14

NS 研究会 2011/9/2

### 数値解析 - 変調方式の影響を考慮した解析 -

- ▶ 11 Mbps (QPSK) vs 6 Mbps (BPSK)
  - ▶ より高度な変調方式を用いてシンボルを送出するにはより大きな電力を必要とすると仮定
    - ▶ ここでは、QPSK で 1 シンボルを送出し、シンボルエラー率を保つには BPSK の 2 倍の送信電力が必要であるとし、総消費電力量を比較
- ▶ グラフの交差する点に着目
  - ▶ シンボルエラー率が約  $1.0 \times 10^{-5}$  より小さい場合、より低いデータレートでの伝送が有利
  - ▶ 約 5 - 10 % の省電力効果が見込める



▶ 15

NS 研究会 2011/9/2

### まとめと今後の課題

- ▶ IEEE 802.11 マルチホップネットワークにおけるデータ伝送時の消費電力量解析を行った
  - ▶ CSMA / CA や RTS / CTS などの制御方式や、最大通信距離、変調方式などを考慮
  - ▶ 環境によっては、意図的に低いビットレートを使うことによって消費電力量を低減できる可能性があることを示した
- ▶ 今後の課題
  - ▶ 他の変調方式 (QAM など)、また衝突によるフレーム損失も考慮した解析
  - ▶ 消費電力を考慮したデータレートの選択アルゴリズムの提案

▶ 16

NS 研究会 2011/9/2