

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

### Power Consumption Analysis of Data Transmission over IEEE 802.11 Multi-hop Networks

中野研究室 通阪 航

## 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]

データ伝送時の消費電力量削減が求められる

- ▶ 本研究では、IEEE 802.11 に基づく無線マルチホップネットワークにおけるデータ伝送の消費電力量を対象とする

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

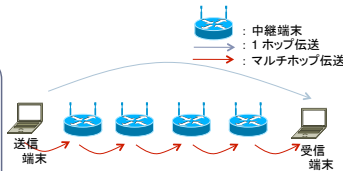
▶ 2

修士論文発表会 2013/02/15

## はじめに - マルチホップ伝送における消費電力 -

- ▶ IEEE 802.11 では利用可能な複数のデータレートがあり、それぞれ最大送信電力、最大通信距離などが異なる
- ▶ 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
- ▶ 送信にかかる時間とホップ数がトレードオフとなる

消費電力量に与える影響を明らかにするためには、これらのトレードオフを考慮する必要がある



▶ 3

修士論文発表会 2013/02/15

## 研究の目的と方法

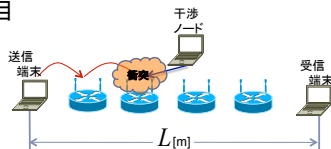
- ▶ 目的
  - ▶ IEEE 802.11 マルチホップネットワークを用いた無線データ伝送時におけるデータレート選択が消費電力量に与える影響を明らかにする
  - ▶ データレートを適切に選択することで消費電力量を削減できる可能性があることを示す
- ▶ 方法
  - ▶ CSMA/CA を用いたデータ伝送における、干渉の影響を考慮した詳細なフレーム交換の動作に基づき、消費電力量を解析的に導出する
  - ▶ 実在する無線 LAN のネットワークインターフェースの仕様に基づいて解析結果の数値例を示し、データレートや送信電力と消費電力量の関係を明らかにする

▶ 4

修士論文発表会 2013/02/15

## 解析の概要と前提

- ▶  $L$  [m] 離れた端末までマルチホップでのデータ伝送時に必要な消費電力量に着目



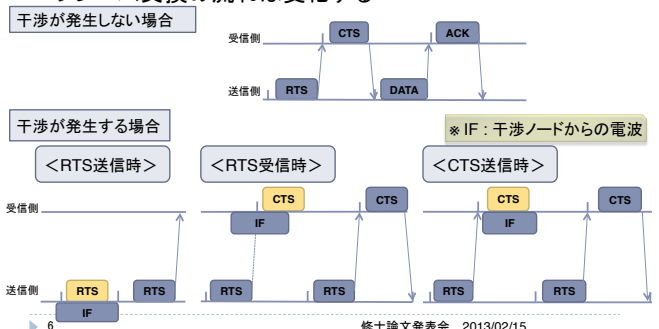
- ▶ 解析における仮定を以下に示す
  - ▶ RTS/CTS を用いた CSMA/CA にてデータ伝送を行う
  - ▶ フレーム損失は干渉の影響によってのみ発生する
  - ▶ 干渉ノードからの干渉電波の受信はポアソン到着過程に従い、干渉電波を受信する時間の長さは一般分布に従う
  - ▶ あるノード A からの電波がノード B に届く場合、ノード B からの電波もノード A に届く

▶ 5

修士論文発表会 2013/02/15

## データフレーム交換のモデル

- ▶ 各ノードが干渉を受けるタイミングによって、フレーム交換の流れは変化する



▶ 6

修士論文発表会 2013/02/15

## 干渉による端末への影響

### 干渉電波の影響を受ける確率

- 干渉ノードからの影響を受ける確率は到着率  $\lambda$ 、サービス率  $\mu$  の M/G/∞ 待ち行列モデルに基づき算出
  - RTS送信時  $P_{i(RTS)} = 1 - e^{-\lambda_b T_{RTS} + \rho_b}$
  - RTS受信時  $P_{r(RTS)} = 1 - e^{-\lambda_b T_{RTS} + \rho_b}$
  - CTS送信時  $P_{i(CTS)} = 1 - e^{-\alpha \rho_b}$

### 伝送に成功する確率

- 最終的に伝送に成功するまでに RTS 送信時に干渉の影響を受ける事象が  $i$  回、RTS 受信時に干渉の影響を受ける事象が  $j$  回、CTS 送信時に干渉の影響を受ける事象が  $k$  回起こる場合の確率

$$P(i, j, k) = p_{i(RTS)}^i (1 - p_{i(RTS)})^{j+k+1} p_{r(RTS)}^j (1 - p_{r(RTS)})^{k+1} p_{i(CTS)}^k (1 - p_{i(CTS)})$$

7

修士論文発表会 2013/02/15

## シングルホップ伝送時の消費電力量

### 伝送成功までにかかる時間

- 最終的に伝送に成功するまでに RTS 送信時に干渉の影響を受ける事象が  $i$  回、RTS 受信時に干渉の影響を受ける事象が  $j$  回、CTS 送信時に干渉の影響を受ける事象が  $k$  回起こる場合の確率

$$T(i, j, k) = T_{snd}(i, j, k) + T_{rcv}(i, j, k) + T_{idle}(i, j, k)$$

### 伝送に必要な消費電力量

- 送信、受信、アイドル各時間と各状態に必要な電力の積

$$Q(i, j, k) = T_{snd}(i, j, k) J_{snd} + T_{rcv}(i, j, k) J_{rcv} + T_{idle}(i, j, k) J_{idle}$$

### 伝送成功までに必要な消費電力量

- $N$  は再送上限回数

$$Q(N) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-i} \sum_{k=0}^{N-i-j} \left( \frac{(i+j+k)!}{i!j!k!} P(i, j, k) Q(i, j, k) \right)$$

8

修士論文発表会 2013/02/15

## マルチホップ伝送時の消費電力量

### 実在するネットワークインターフェースのデータシート [2] から通信距離を算出

#### 送信電力と通信距離の関係

$$L^{(k)} = \hat{L}^{(m)} \times \left( \frac{J_{snd}^{(m)}}{J_{snd}^{(k)}} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

$h$ : ホップ数  $\gamma$ : 減衰係数  
 $\hat{L}^{(m)}$ : 最大通信距離  $L^{(m)}$ : 通信可能距離  
 $J_{snd}^{(m)}$ : 最大送信電力  $J_{snd}^{(k)}$ : 送信電力

#### 通信距離に応じてホップ数が決定される

802.11g 屋外におけるデータ [2]

### 消費電力量 $Q_{mul}(N)$

$$Q_{mul}(N) = \sum_{n=1}^h Q_{mul}(n, N)$$

$n$  ホップ目の消費電力量

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

9 [2] Cisco Aironet 802.11a/b/g 無線 CardBus アダプタ

修士論文発表会 2013/02/15

[http://www.cisco.com/web/UP/product/hs/wireless/adapter/prodlist/cecbss\\_ds.html](http://www.cisco.com/web/UP/product/hs/wireless/adapter/prodlist/cecbss_ds.html)

## 数値解析 - パラメータ設定 -

### データサイズ $S_{data}$ のデータを伝送する際の総消費電力量を算出する

#### フレームサイズ

項目	サイズ
$S_{ACK}$	40 [Bytes]
$S_{RTS}$	40 [Bytes]
$S_{CTS}$	40 [Bytes]

#### CSMA/CA に関するパラメータ

項目	長さ	項目	長さ
$T_{DIFS}$	34 [ $\mu$ s]	$CW_{min}$	15
$T_{SIFS}$	16 [ $\mu$ s]	$CW_{max}$	$2^{10} CW_{min}$
$T_{slot}$	9 [ $\mu$ s]		

#### その他のパラメータ

項目	値
$L$	1000 [m]
$S_{data}$	100 [KBytes]
$S_f$	1000 [Bytes]

また、リレーノードは十分な数あり、送信電力と通信距離の関係の式から求まる距離の地点にリレーノードが存在し、そのノードにおいてホップすることが出来るとする

10

修士論文発表会 2013/02/15

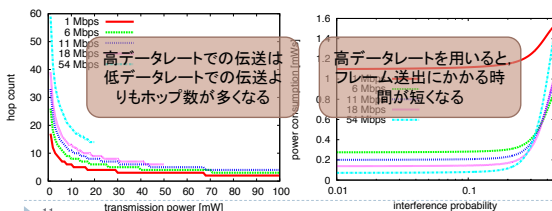
## 数値解析 - 送信電力に着目した解析 -

### 送信電力を変化させた場合の最小ホップ数 (左図)

- 高データレートほど通信距離が短くなりホップ数が増加する

### 送信電力を 20mW とした場合の消費電力量 (右図)

- 干渉の影響を受ける確率が大きくなると、低データレートの伝送によって消費電力を抑えることが可能となる



11

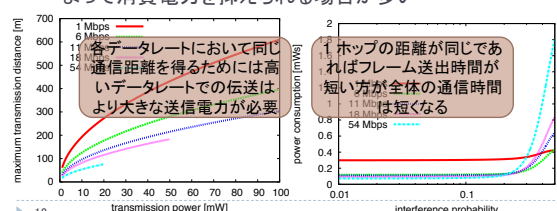
## 数値解析 - 通信距離に着目した解析 -

### 送信電力を変化させた場合の通信可能距離 (左図)

- 通信距離が同じであれば必要な送信電力はより低いデータレートの方が小さい

### 1 ホップの距離を 76m とした場合の消費電力量 (右図)

- 送信電力を固定させた場合よりも、低データレートでの伝送によって消費電力を抑えられる場合が多い



12

## まとめと今後の課題

- ▶ IEEE 802.11 マルチホップネットワークを用いた無線データ伝送時におけるデータレート選択が消費電力量に与える影響を明らかにした
  - ▶ CSMA/CA や RTS/CTS などの制御方式を用いた伝送で、干渉を受けた場合におけるフレーム交換の詳細な挙動、各データレートにおける通信距離などを考慮し解析を行った
  - ▶ 干渉が多い環境では、低データレートで伝送を行うことで、消費電力量を抑えることができることを示した
- ▶ 今後の課題
  - ▶ 上位プロトコルの影響を考慮した解析
  - ▶ 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