
多端末環境下におけるIEEE802.11と LTEのスループット性能に関する一検討

高木由美(神戸大), 金田 茂(大阪大/STE),
田中義三(住友電工), 太田 能(神戸大),
高井峰生(UCLA), 岡田洋侍(住友電工)

背景

■ モバイル通信の普及

■ PHY技術としては OFDM が主流

◆ Wireless LAN: IEEE802.11 a/g/n

◆ Wireless WAN: 3GPP LTE

■ MAC技術は大きく異なる ⇒ 通信性能にどのような影響？

◆ IEEE802.11: CSMA/CA

- 送受信端末間で全サブキャリアを使って送信
- 基地局・ユーザ端末間は上り/下りで無線資源(チャネル)共有
- フレーム毎の固定オーバーヘッド+コンテンションのオーバーヘッド

◆ LTE: OFDMA^{*1}/SC-FDMA

- 送受信端末間で一部のサブキャリアを使って送信
- 基地局・ユーザ端末間は上りと下りで無線資源(チャネル)分割
- トランスポートブロック毎の固定オーバーヘッド+スケジューリングのオーバーヘッド

1*: OFDMにおけるサブキャリアを異なる端末に割り当て複数の端末のデータを同時に送信する方式

本研究の目的

■ 効率的無線資源利用の観点から2方式を比較

- ◆ 比較方式: IEEE802.11g (DCF), LTE
- ◆ 同一条件: 通信帯域幅, 送信電力
- ◆ シミュレータ: Scenargie [7]
- ◆ 評価シナリオ
 - シングルセル(セル間干渉なし)
 - 多端末環境: ~480端末
 - トラヒック: CBR / 上りのみ, 下りのみ, 上り・下り混合
 - モデルの単純化 (Constant Bit Rate)
 - 利用形態の多様化

■ 評価項目

◆ 端末数 対 スループット特性

異なる利用形態での両方式のスループット特性比較
方式毎のPHY/MAC制御オーバーヘッドの影響を明らかにする

IEEE802.11 概要 (1/2)

■ IEEE802.11とは[1]

- ◆ IEEEによる無線LAN通信規格
- ◆ 上り/下りに限らず CSMA/CA によりチャネル獲得(DCF)
- ◆ 端末は全サブキャリア(帯域)を利用してフレーム送信

■ フレーム構成

- ◆ 1フレームあたりの PHY/MAC ヘッダは固定
→ ペイロード(フレームボディ)小のときオーバヘッドは相対的に大

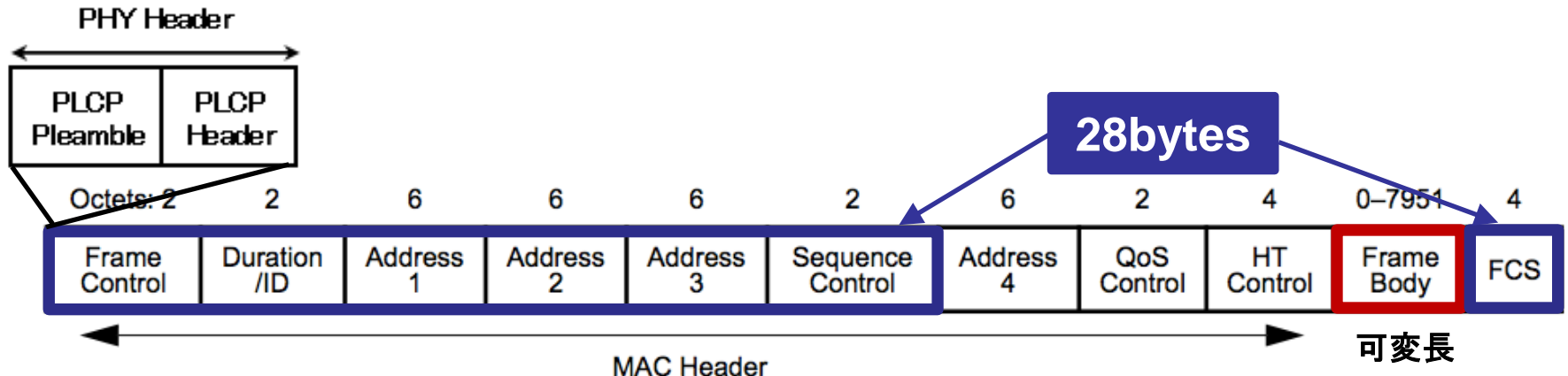


図1: IEEE802.11における標準MACフレーム構成

(出典: IEEE Standard 802 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Feb. 6, 2012)

IEEE802.11 概要 (2/2)

■ 多重アクセス方式 (DCF)

- ◆ コンテンションウィンドウ内でバックオフタイマをランダムに設定
- ◆ バックオフタイマはチャネルアイドル時に同時進行で減少
- ◆ バックオフタイマが0になるとフレーム送信
- ◆ フレーム衝突時はコンテンションウィンドウを拡大, フレーム再送

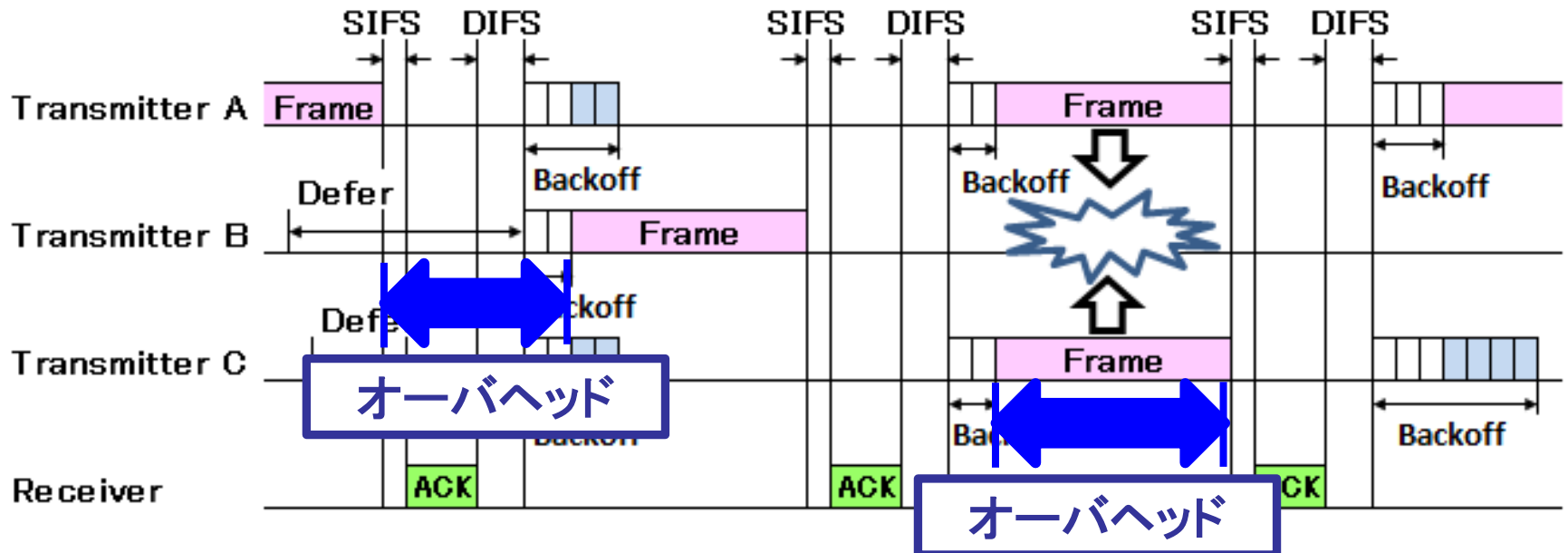


図2: IEEE802.11におけるバックオフ手順 (RTS/CTS なし)

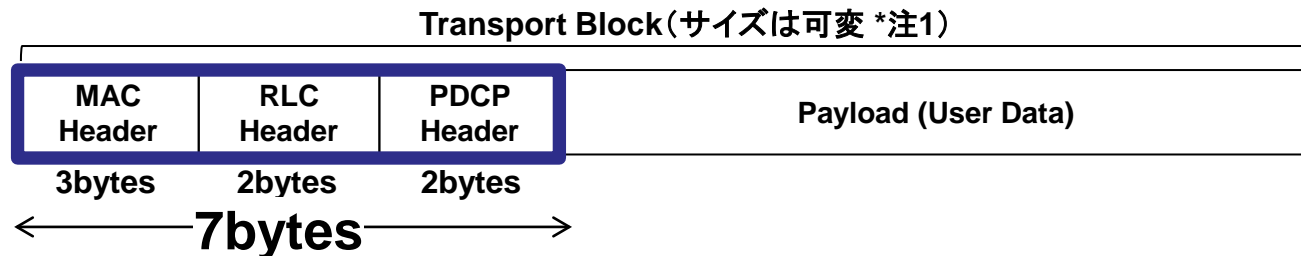
LTE 概要(1/3)

■ LTEとは

- ◆ 3GPPによる携帯電話用無線通信規格
- ◆ TDD, FDDが規格化(本研究ではFDDを検討)

■ フレーム構成

- ◆ レイヤ2以上のデータは Transport Block とよばれる単位で管理
→ 7バイトヘッダによるオーバヘッド
- ◆ Transport Block はリソースブロック(RB)単位に分割され, サブフレーム
(フレーム長1ms)に収容
→ パディングによるオーバヘッド



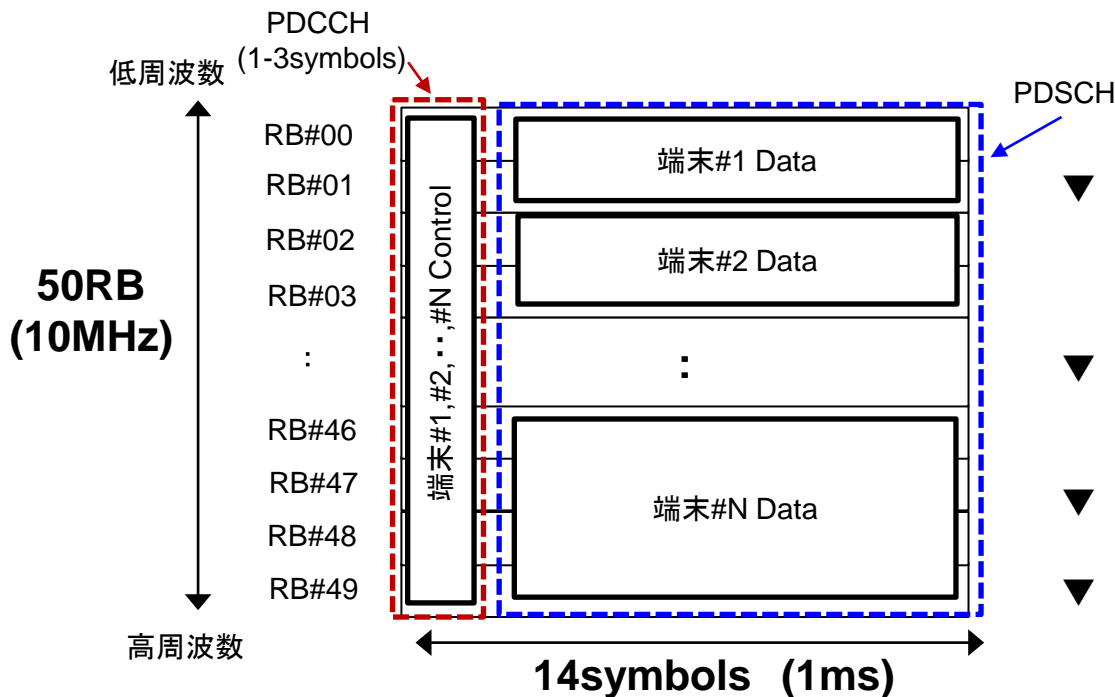
LTEにおけるMACデータフレーム構成

*注1) 50RB用した場合, Transport Blockのサイズは, 173bytes (QPSK, MCS=0) ~ 4,587bytes (64QAM, MCS=28)となる.

LTE 概要(2/3)

■ 多重アクセス方式: Downlink

- ◆ 基地局はサブフレーム(1ms)毎に, PDCCH で無線リソーススケジューリング情報を全端末に送信
- ◆ 各端末は自分宛のスケジューリング情報を元に, 自分宛のデータを PDSCH から取り出し



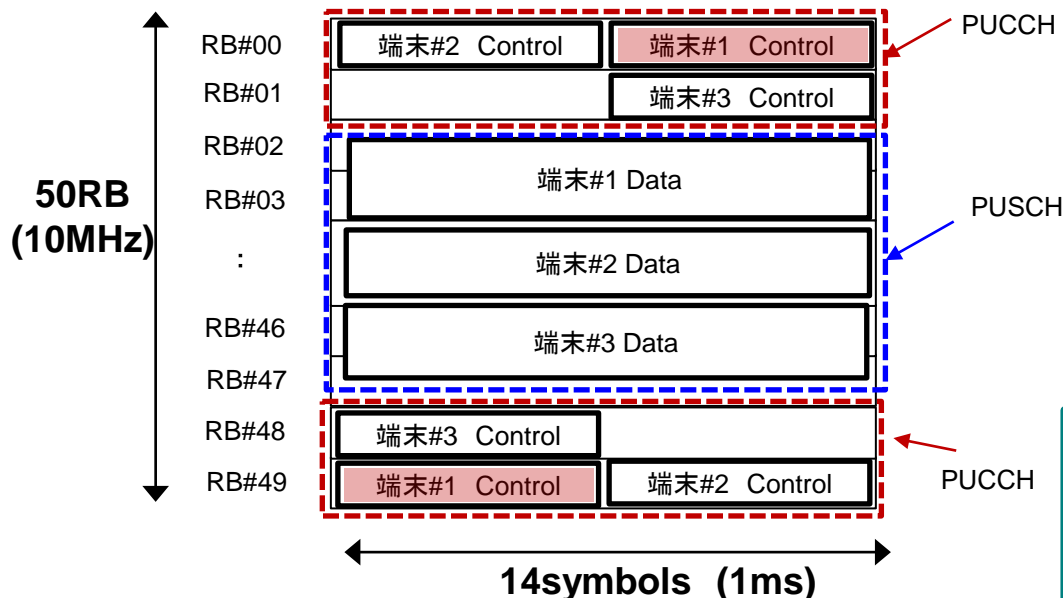
- ▼ PDCCH(Physical Downlink Control Channel)は周波数軸では50RB使用し, 時間軸では1~3symbol(基地局設定依存)のリソースを使用する.
- ▼ PDSCH(Physical Downlink Shared Channel)はPDCCH使用リソース以外のリソースを使用する.
- ▼ 無線リソースはRB単位で端末に割り当てられる.
- ▼ PDCCHにはUplinkの端末毎のスケジューリング情報も格納する.

図5: LTEにおける下りサブフレーム構成

LTE 概要 (3/3)

■ 多重アクセス方式: Uplink

- ◆ Random Access Procedure で端末間コンテンション解決後, 基地局は端末に PUCCH を割当
- ◆ 端末はPUCCHにより Scheduling Request を, PUSCHにより Buffer Status Report を送信し, 無線リソースを基地局に要求
- ◆ 基地局は PDCCH で無線リソーススケジューリング情報を全端末に送信
- ◆ 各端末は PUSCH を使ってデータを送信



- ▼ PUCCH (Physical Uplink Control Channel) は, 周波数軸では端末毎に1RB 使用し, 時間軸では端末毎に14symbolの リソースを使用する.
- ▼ PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) はPUCCH使用リソース以外のリ ソースを使用する.
- ▼ 無線リソースはRB単位で端末に割り当て られる.

接続端末台数が増加
↓
PUCCH増加, PUSCH減少

図6: LTEにおける上りサブフレーム構成

比較方法

■ 設定条件

- ◆ キャリア周波数：ほぼ同一
- ◆ 帯域割当：LTEは上下で全帯域を等分
 - 片方向セッション時はIEEE802.11の利用可能帯域幅は2倍
- ◆ ピークデータレートを統一：
 - 変調方式：64QAM, 符号化率：3/4
 - ピークデータレートはフレーム・CSMA/CA等のオーバーヘッドを含まない

表1: 主なシミュレーション設定条件

	IEEE802.11g	LTE	
	Downlink/Uplink	Downlink	Uplink
Frequency	2.4GHz	2.5GHz	2.5GHz
Bandwidth	20MHz	10MHz	10MHz
PHY Data Rate	54Mbps	37.8Mbps	37.8Mbps
Tx Power	20dBm	20dBm	20dBm

- Queue Max Packets Size : 1,000 packets

シミュレーションシナリオ

■ ショートメッセージ シナリオ

◆ CBR: 160Bytes, 50pps = 64kbps (G.711 VoIP相当)

■ ロングメッセージ シナリオ

◆ CBR: 1,460Bytes, 5.5pps = 64kbps

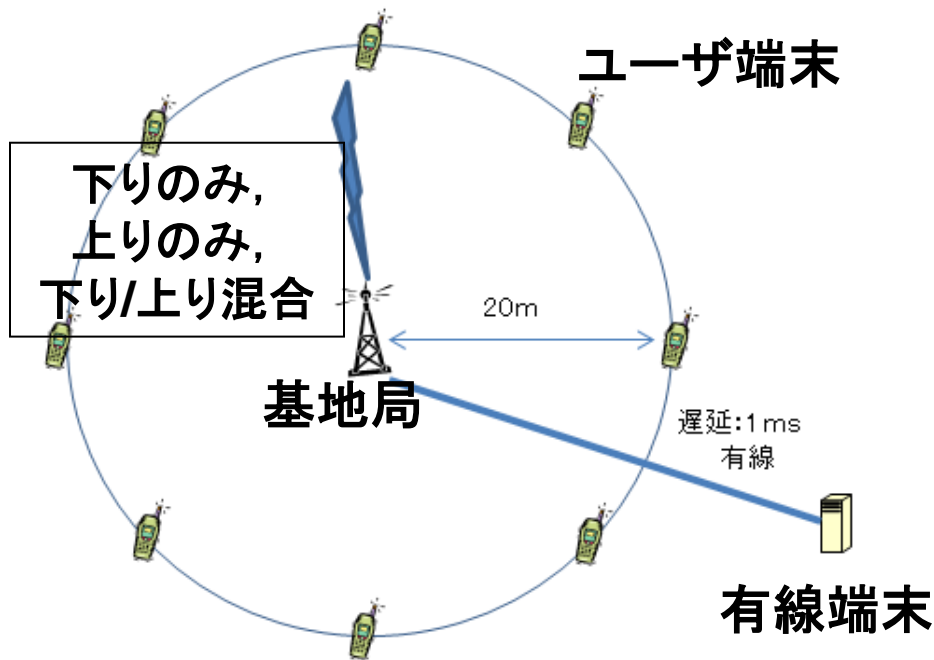


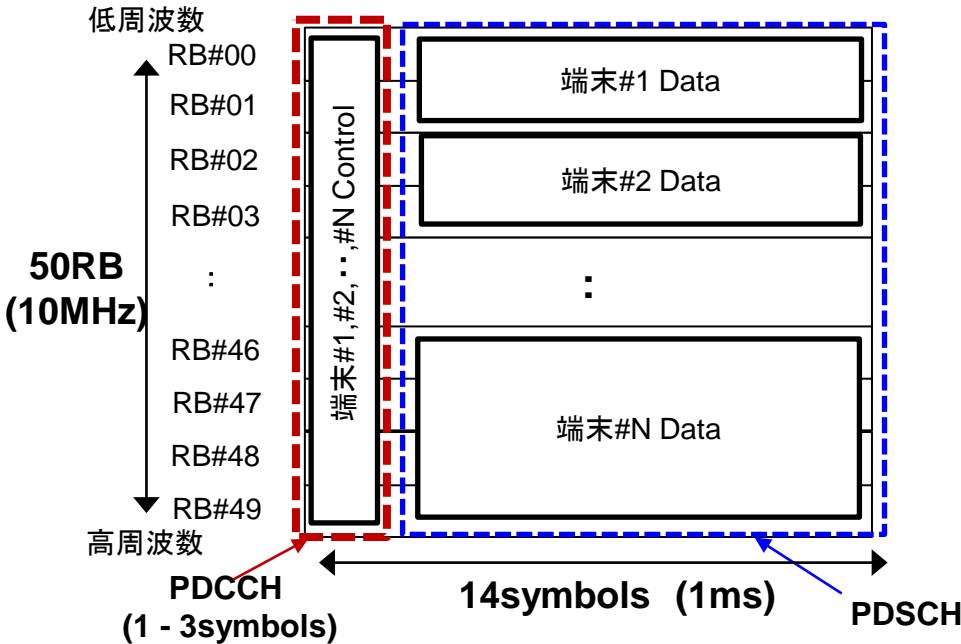
図7: 端末配置 (8ユーザ端末時)

- ・基地局 (AP 端末): 1 台
- ・有線端末: 1 台
- ・ユーザ端末: ~480 台
- ・ユーザ端末・基地局間距離: 20m
- ・モビリティ: なし
- ・チャンネルフェージング: なし
- ・伝搬モデル: Two-ray
- パスロスによるフレーム誤りなし

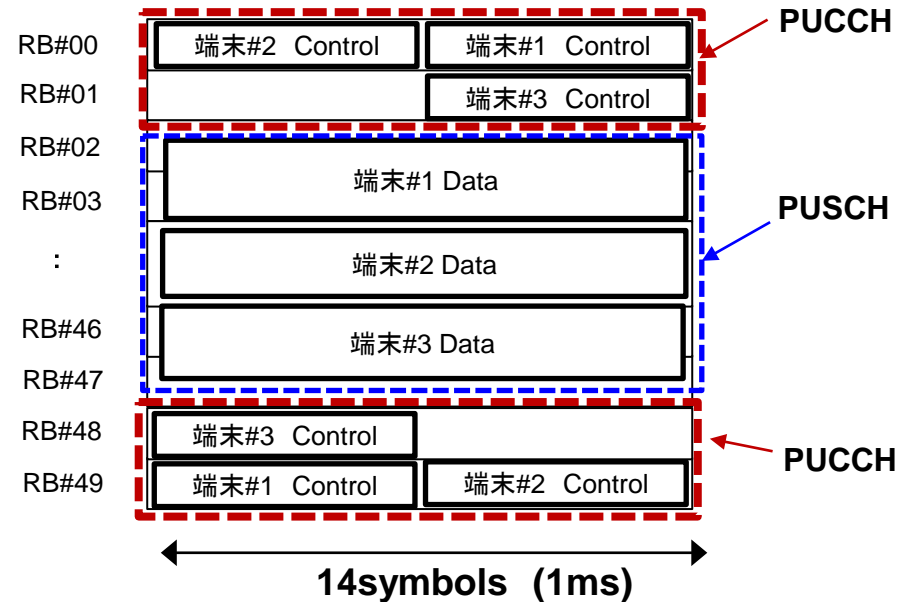
周波数の違いは無視できる

システムパラメータ設定 (LTE)

■ LTE Downlink



■ LTE Uplink



◆ 多端末収容

→ PDCCH: 最大値の

3シンボルに固定設定

◆ 1 Transport Block送信要求に1RB必要

→ PUCCHは端末数, T.B.生成レートとともに増加

必要最小限のRB

$$\left\lceil \frac{N_{UE} \times R_{PPS}}{2 \times 1,000} \right\rceil \text{ RB}$$

CBR: 1秒あたりの必要RB数
⇒ ユーザ端末数 × パケットレート

例) ユーザ端末数 $N_{UE} = 480$

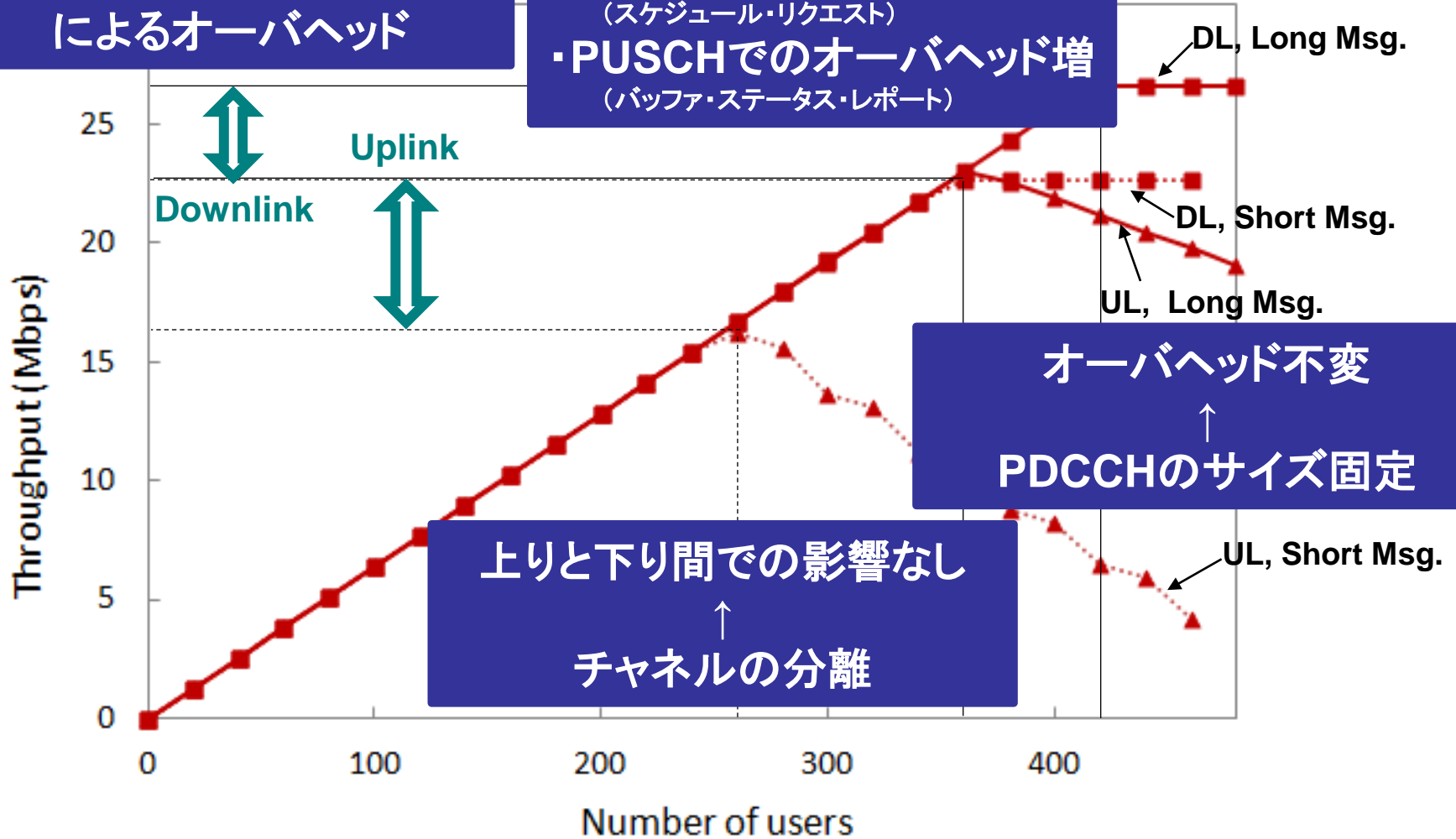
- 160 Bytes, 50pps/UE
→ 24 RB

- 1460 Bytes, 5.5pps/UE
→ 4RB

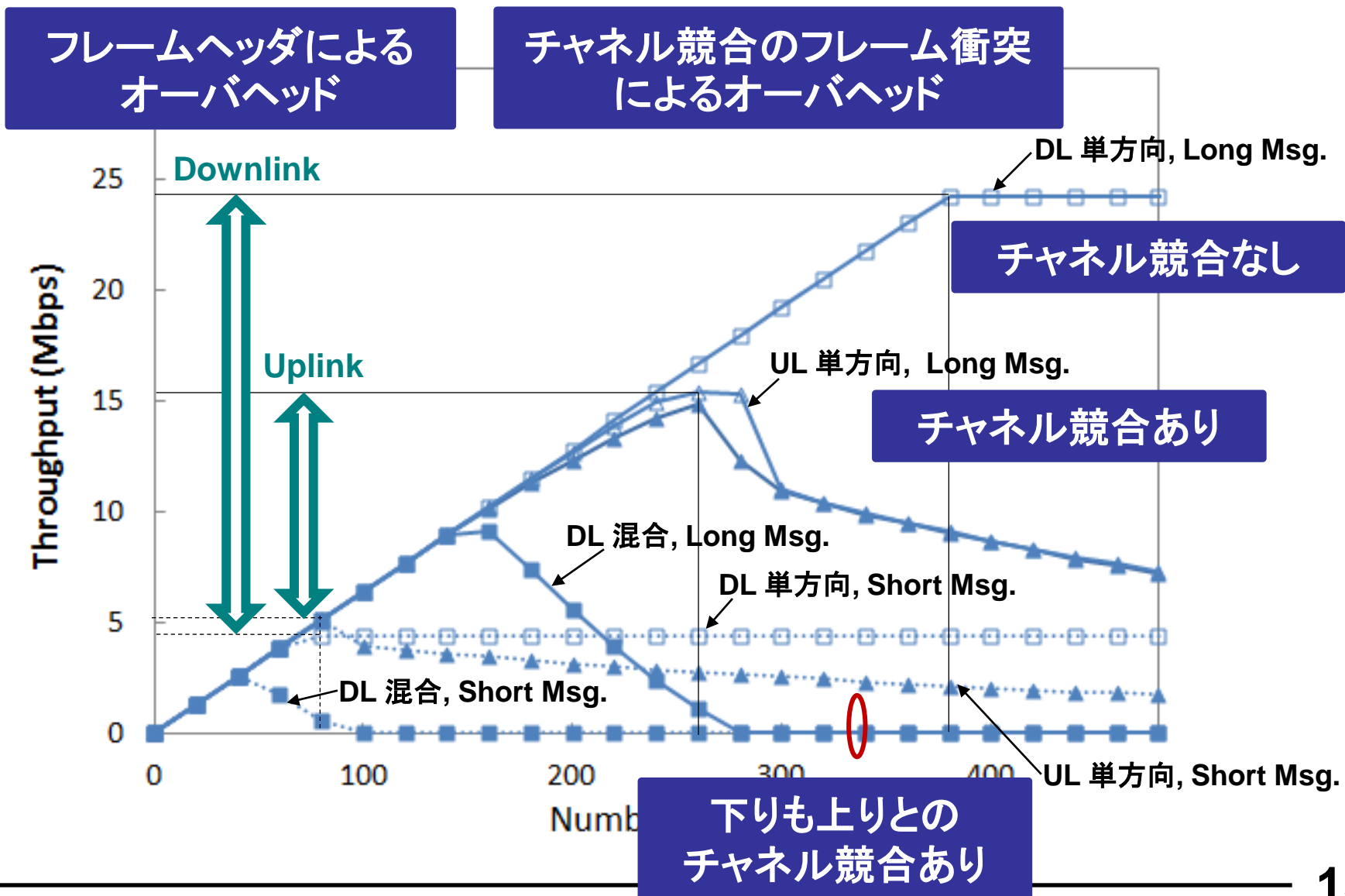
結果(1/3) LTE

フレームヘッダやパディング
によるオーバーヘッド

- ・PUCCHのサイズ増
(スケジュール・リクエスト)
- ・PUSCHでのオーバーヘッド増
(バッファ・ステータス・レポート)



結果 (2/3) 802.11g

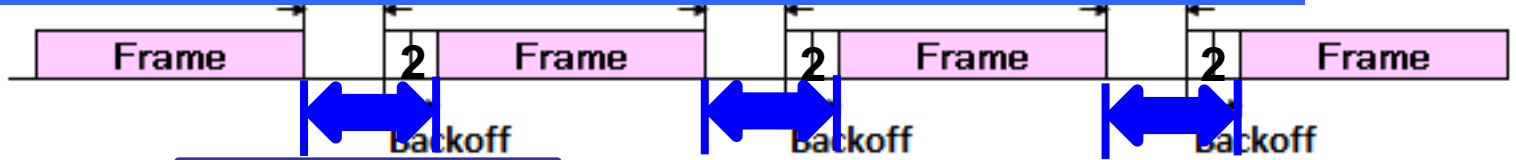


バックオフカウンタ同時進行性

端末数増加 ⇒ バックオフタイムが減少している時間の
オーバーヘッドが小さくなることがある

【1台】

Transmitter



【3台】

Transmitter A

Transmitter B

Transmitter C

送信フレーム間隔

SIFS+ACK+DIFS

SIFS+ACK+DIFS

スロットは同時に減少

CWmin = 4

【1台】

- CW = CWmin = 4
- 平均バックオフカウンタ値 = CW/2 = 2
- 送信フレーム間隔 = 2 slots (2, 2, 2, ...)

SIFS+ACK+DIFS除く

【3台】

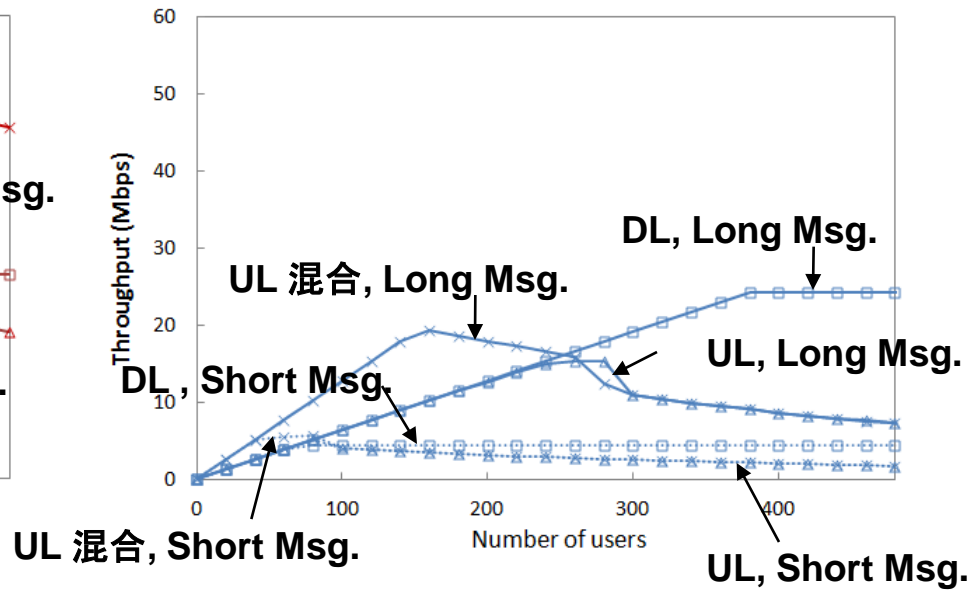
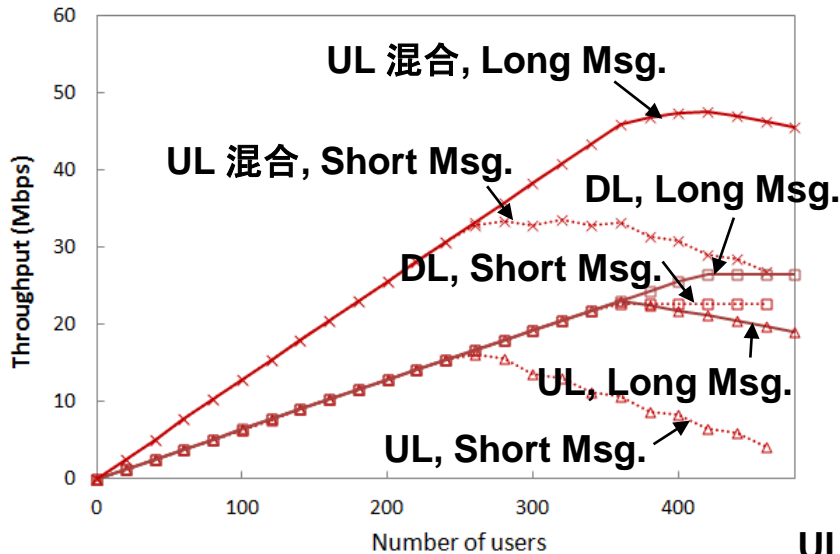
- CW = 2 × CWmin = 8 (コンテンションのため)
- 平均バックオフカウンタ値 = CW/2 = 4
- 送信フレーム間隔 = 1.66 slots (2, 1, 1, ...)

SIFS+ACK+DIFS除く

仮定・衝突がないようにインターリーブ
・送信成功してもCWがそのまま

フレーム送信間隔の短縮 ⇔ フレーム衝突 : トレードオフの関係

結果 (3/3) 最大スループット



	CBR	ショートメッセージ		ロングメッセージ	
		最大スループット	ユーザ端末数*1	最大スループット	ユーザ端末数*1
LTE	上り	16.2Mbps	260	23.0Mbps	360
	下り	22.6Mbps	360	26.5Mbps	420
	上り下り混合*	33.5Mbps	320	46.0Mbps	200
802.11g	上り	5.1Mbps	80	15.4Mbps	200
	下り	4.4Mbps	80	24.2Mbps	380
	上り下り混合*	5.7Mbps	80	19.3Mbps	160

27.8Mbps

2.3Mbps

*1: 最大スループットに最初に達するユーザ端末数 *2: 双方向の合計を対象

まとめ

■ LTEの結果

- ◆ 上り下り混合でも, 上りのみ, 下りのみの結果と変わらない
- ◆ ショートメッセージでもスループットの劣化は(802.11gと比べて)小さい

■ IEEE802.11gの結果

- ◆ IFS, バックオフ, ヘッダ, ACKなどのオーバヘッドの影響大
- ◆ バックオフの影響は, 上りの方が下りに比べて小
 - バックオフタイマ同時進行性によりチャンネル上のフレーム送信間隔が短くなる
- ◆ コンテンションの影響は, 特にロングメッセージで大きい
- ◆ 上り下り混合では, 多端末時に下りスループットはゼロに近づく
 - アクセスポイントは同一チャンネル上でユーザ端末と競合するため

■ IEEE802.11gよりLTEの最大スループットは高い

セル間干渉がない環境下ではLTEがIEEE802.11gより優れたスループット特性を示すことを確認

参考文献

- [1] IEEE 802.11 Standard, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Feb. 2012.
- [2] 3GPP TS36.211 Physical Channels and Modulation, March 2009
- [3] 3GPP TS36.300 Overall description, March 2009
- [4] 3GPP TS36.321 Medium Access Control (MAC) protocol specification, March 2009
- [5] 3GPP TS36.322 Radio Link Control (RLC) protocol specification, March 2009
- [6] 3GPP TS36.323 Packet Data Convergence Protocol (PDCP)specification, Mar.2009
- [7] Scenargie, <http://www.spacetime-eng.com/>