

# 無線LANの問題と今後の課題

太田昌孝

東京工業大学情報理工学研究科

MBA理事

[mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp](mailto:mohta@necom830.hpcl.titech.ac.jp)

# 無線LANの構造的問題

- IEEEが策定
- L2 (データリンク) 技術
  - L3 (IP) との連携が悪い
    - 広域 (高速) 移動体通信には適用できない
    - IPv6 はまともに動作しない

# 無線LANの問題

- ハンドオーバーがない
- 接続に時間がかかる
- セキュリティ確立等にさらに時間がかかる
- 基地局の自動選択
- (高速)移動できない
  - L1(物理層)の問題もある
- IPv6が(IPv4も)うまく載らない

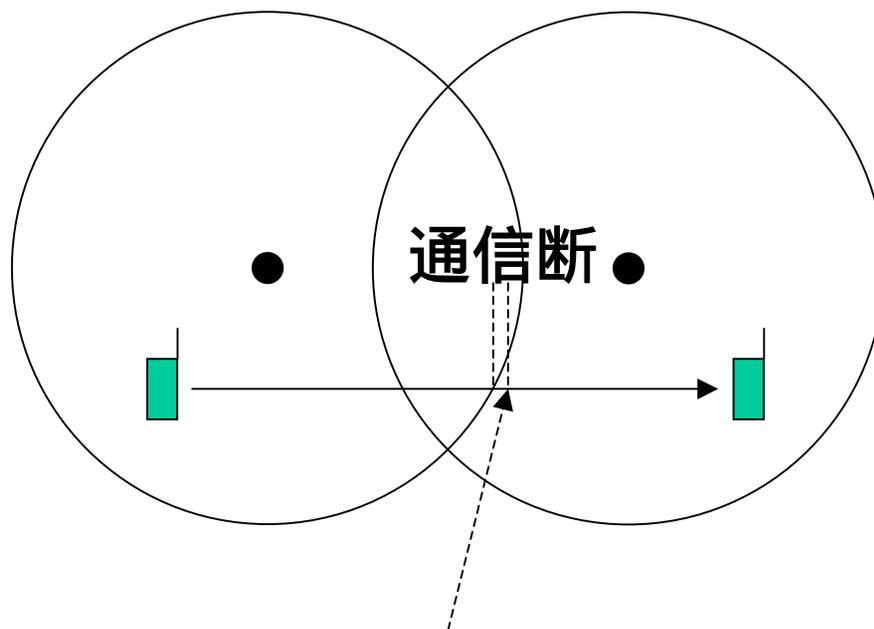
# 無線の意義

- 線が無い！
  - 無線の到達範囲内なら移動可能
  - 単なるホットスポットなら有線でも可能
    - アナログジャック付き公衆電話等
      - ケーブルの到達範囲内なら移動可能
- 無線LANでL2ハンドオーバー？
  - L2では広域移動はできない
    - L3ハンドオーバーは必須
      - L2ハンドオーバーは不要

# 無線LANの ハンドオーバーの実情

- 端末は基地局との通信が切れたら新たな基地局を探す
  - 秒～分単位の通信断
    - VoWiFiには致命的！
  - 実はそもそもハンドオーバーではない
    - 最初に接続相手の基地局を見つける仕組み
    - (移動などにより)環境が変化したら
      - 新規まき直しで再接続

# ハンドオーバー



基地局の(瞬時の)切り替え

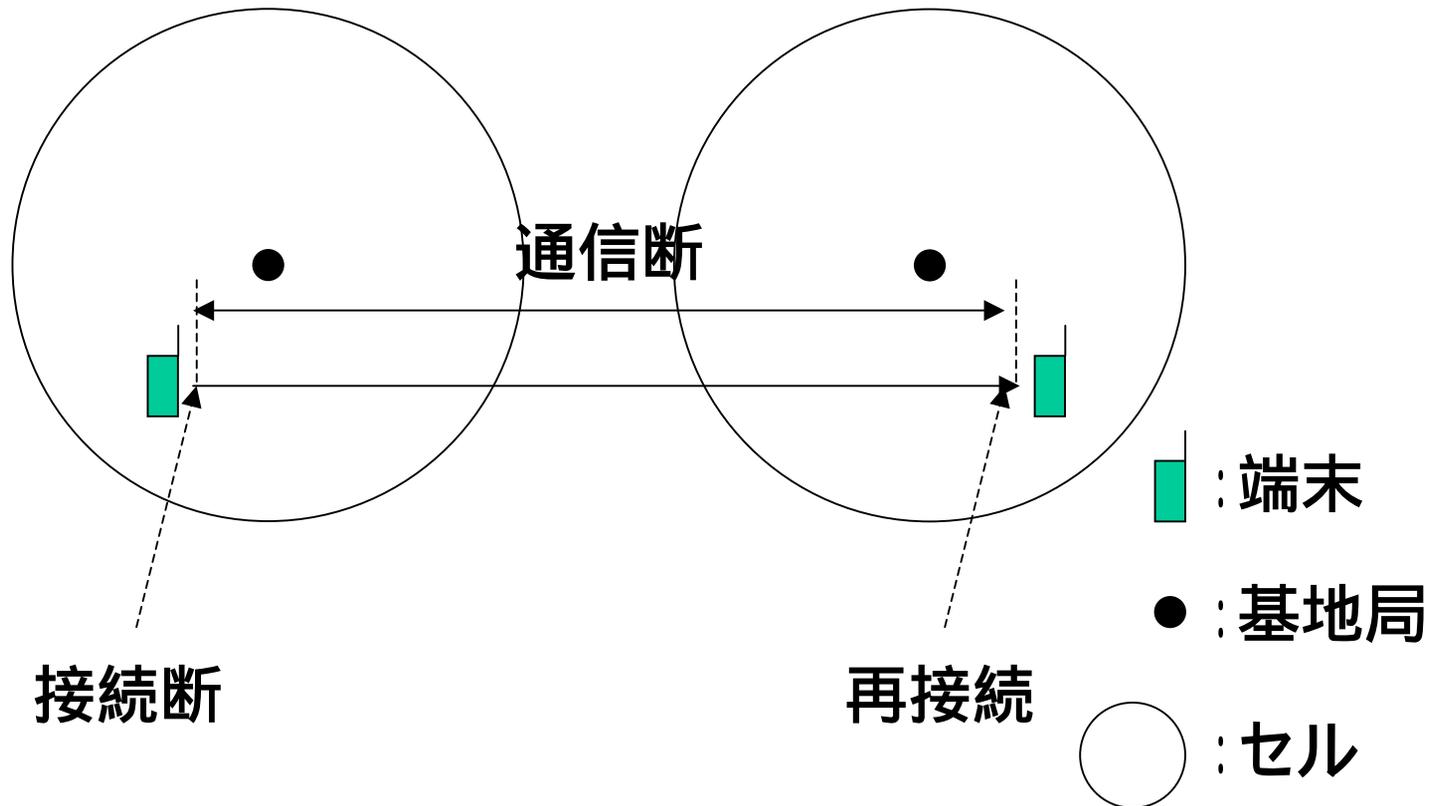
■ : 端末

● : 基地局

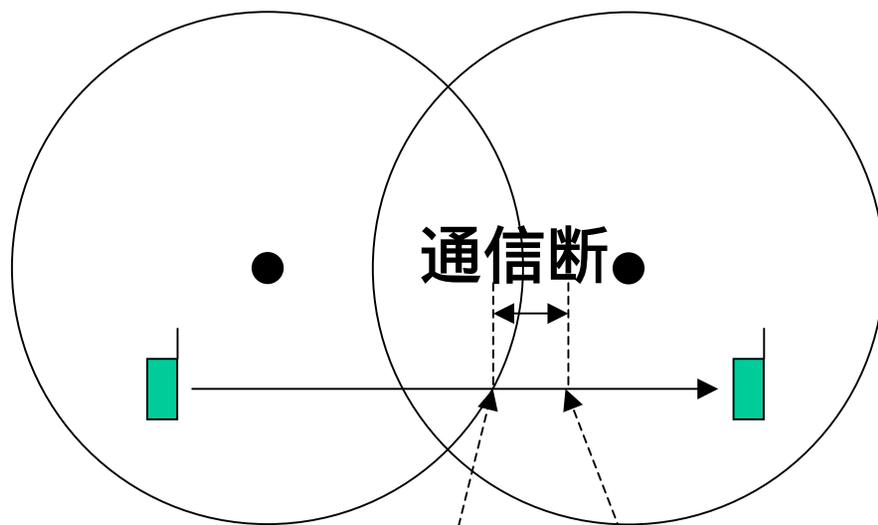
○ : セル

# 無線LANの再接続

(移動中の通信維持は想定外)



# 無線LANの再接続 (移動しながらの場合)



■ : 端末

● : 基地局

○ : セル

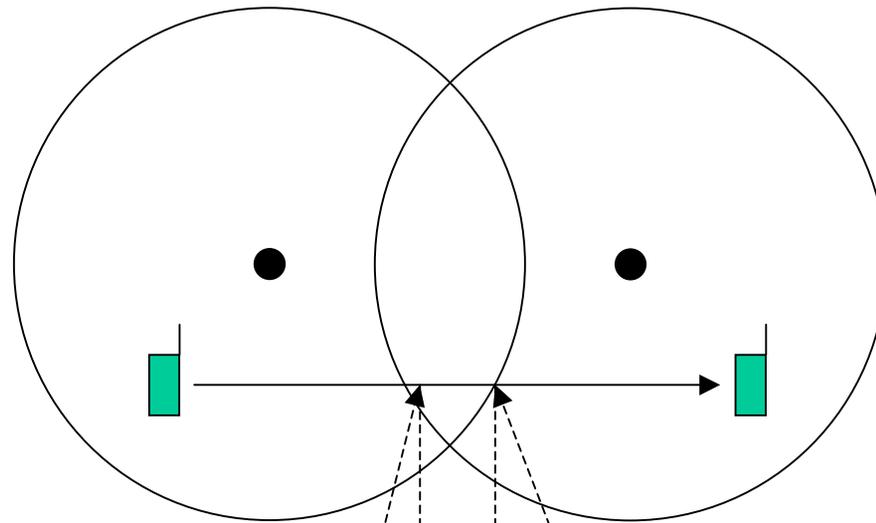
接続断

再接続

# 無線LANと スムーズハンドオーバー

- 今の基地局と接続断する前に新たな基地局と接続しておく
  - 同時に複数の基地局と接続できる必要
    - 現状の規格ではL2では無理
  - 同時に複数の周波数で通信できる必要？
    - 現状のハードウェア単体では無理？
- L3 (Mobile IP) で実現済み
  - 無線LANハードウェアは2セット用意等

# 無線LANの スムーズハンドオーバー



■ : 端末

● : 基地局

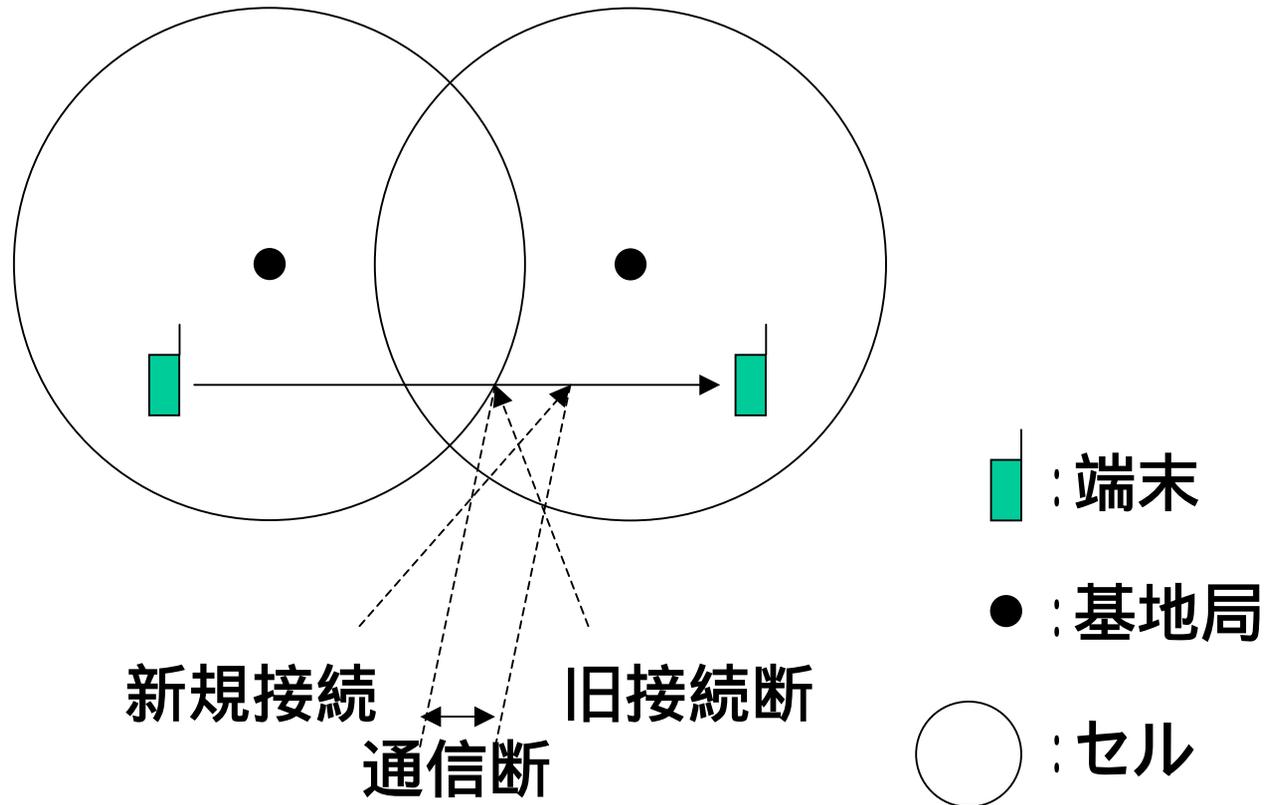
○ : セル

新規接続

旧接続断

2つの接続

# 新規接続の確立に 時間がかかると、、、



# 接続確立までの手順(1)

- 基地局の発見
  - 基地局からのビーコン
    - アクティブに要求しても、あまり意味はない
  - 複数のチャンネルをスキャン
- 自分の使える基地局であることの確認
  - SSID ?
- 最適な基地局の選定
  - 複数回のビーコン強度 ?

# 接続確立までの手順(2)

- 基地局への接続要求
  - 接続要求パケットの送出
- 接続パラメーターの設定
  - セキュリティ等
- L2 接続完了確認
- IPアドレスの割当
  - PPP ? DHCP ?

# 802.1xでは接続までに 7.5回のパケット交換

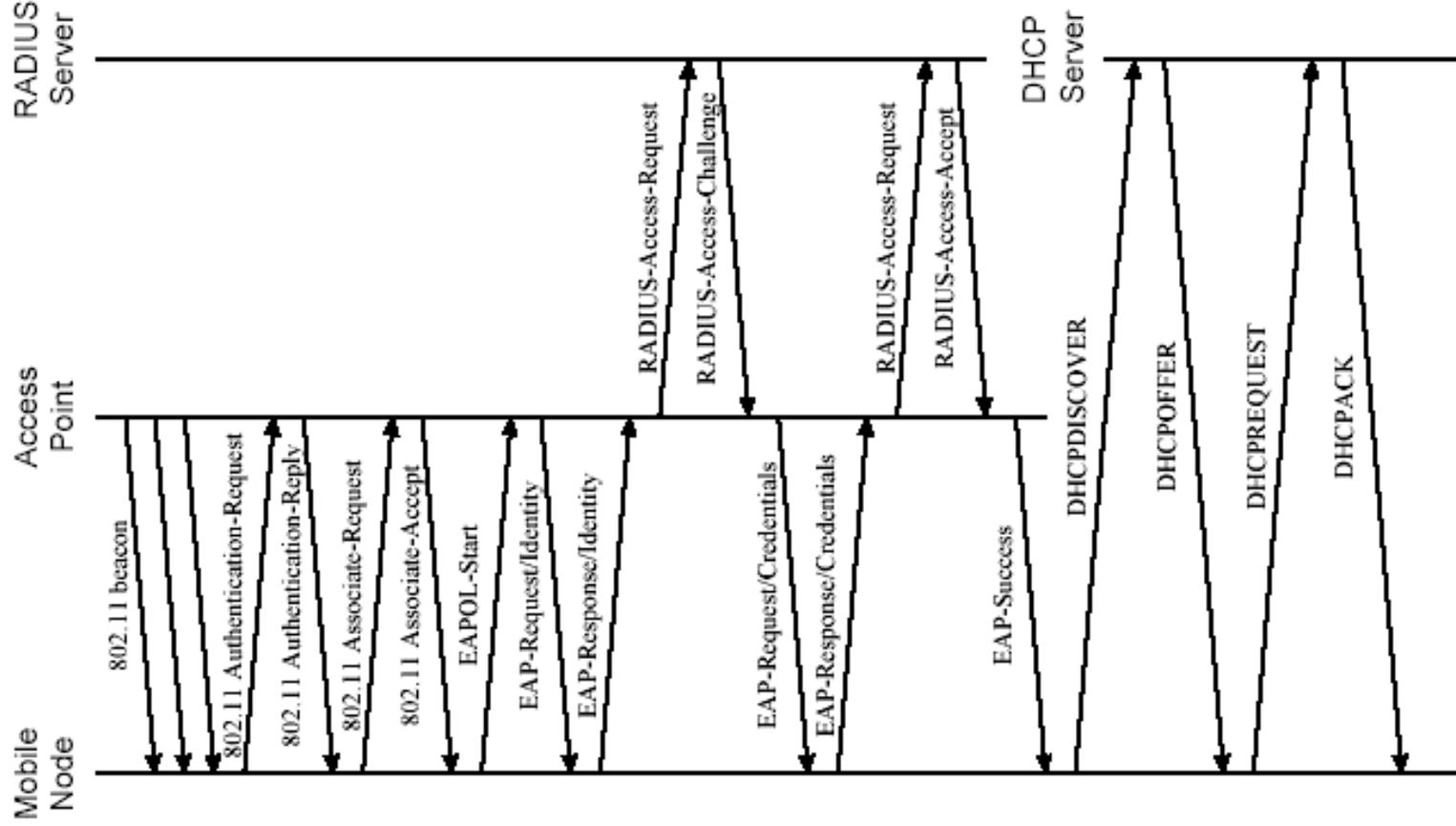


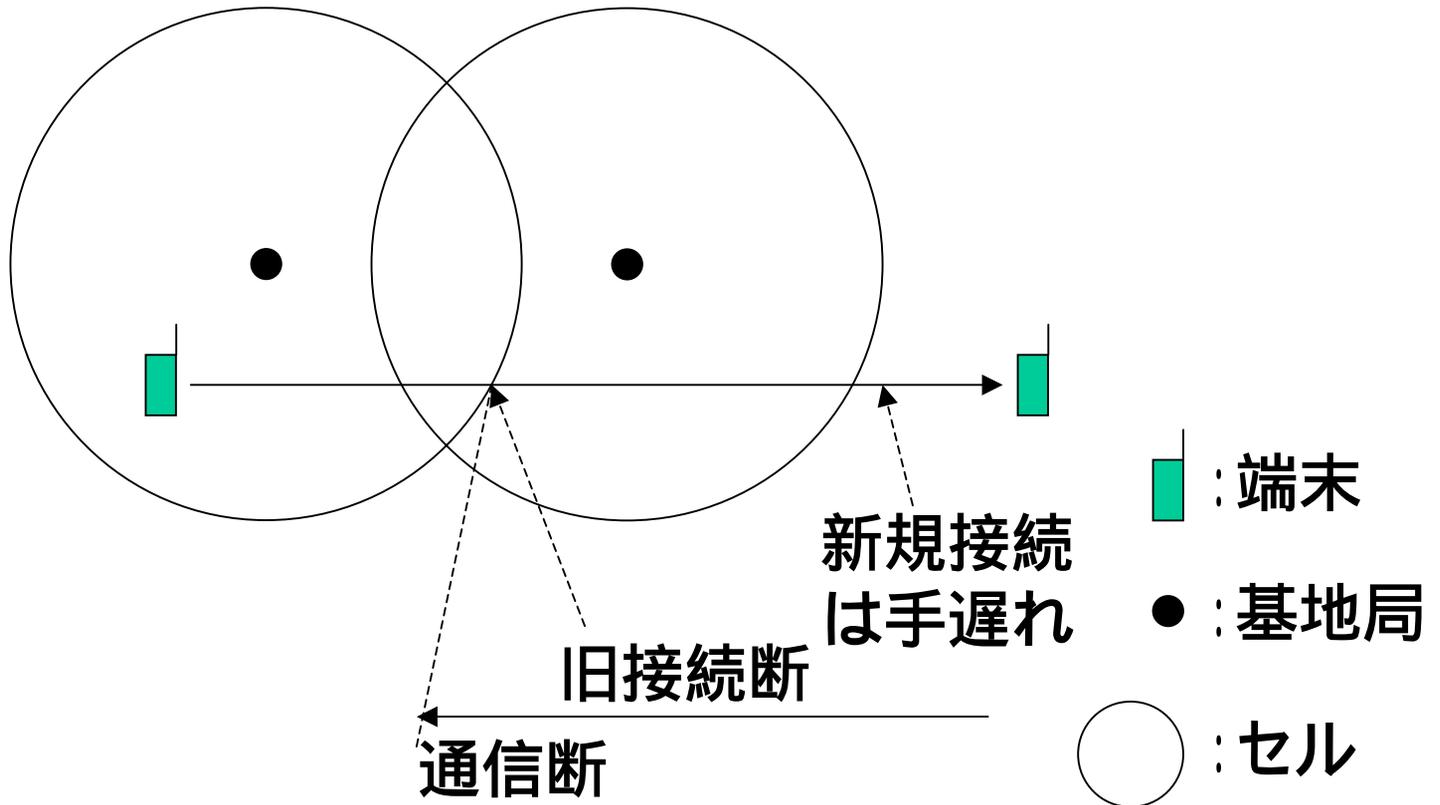
Fig. 3. Diagram of IEEE802.11, IEEE802.1x and DHCP

# FMIPv6

(Fast Mobile IPv6)

- 旧基地局でパケットをバッファして、新基地局との接続確立後、転送
  - パケットは落ちないが、、、
  - 基地局間の連携は非常に面倒
  - 高速移動には対応できない
  - 接続確立のために遅延が発生
    - VoWiFiには致命的

# 新規接続の確立に 時間がもったかかると、、、



# 高速な接続のために(1)

- ビーコン間隔を短く
- ビーコンに多様な情報を詰める
  - ID、接続パラメーター
- 接続要求に多様な情報を詰める
  - ID、接続パラメーター、IPアドレス要求、、、
- 接続確認に多様な情報を詰める
  - L2、L3の確認、接続パラメーター

# 高速な接続のために(2)

- 現状のWLAN規格では
  - インフラ、アドホックモード共に、接続は遅い
  - L2接続とL3接続は完全に分離
    - L2ビーコンやL2接続要求にL3情報は載らない
- 擬似アドホックモードを利用して自前で
  - 非標準だが広く利用可能(11a, 11gでも)
- 1.5回のパケット交換で接続完了
  - 理論的に最小の手間

# MIS Pでの接続確立

## 1.5回のパケット交換

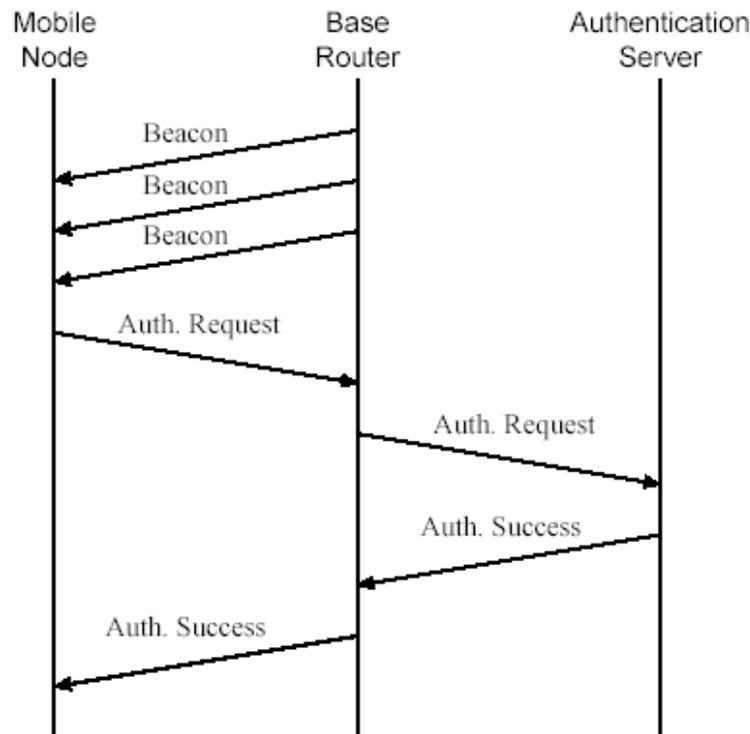


Fig. 2. Diagram of MIS protocol and MISAUTH protocol

[www.mbassoc.org](http://www.mbassoc.org)で仕様は公開

# (高速)移動とWLANのL1

- 電波は、反射や回折が大きいと
  - フェージングが発生
    - 波長程度の周期で特性が大きく変動
- 物理層のチャネル特性は
  - パケット先頭のトレーニングシーケンスで測定
- (高速で)移動すると
  - チャネル特性が(高速で)大きく変動

# 11a、11gの トレーニングシーケンス

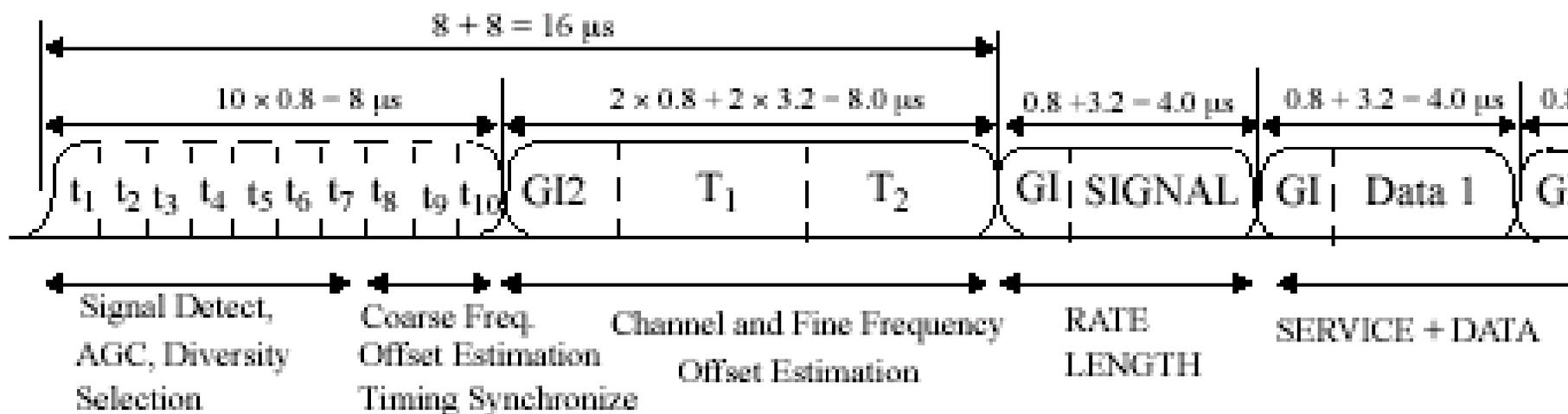


Figure 110—OFDM training structure

# 高速移動の問題

- 高速で移動すると
  - パケットの途中でチャネル特性が大きく変動
  - 時速360 Kmで、秒速100 m
  - 11 Mbpsで1500 Bのパケットは1.09 m秒
    - パケット送受信中に10.9 cm移動
  - 54 Mbpsで1500 Bのパケットは222  $\mu$ 秒
    - パケット送受信中に2.22 cm移動
- 2.4 G、5 Gの波長は12.5 cm、6 cm

# 高速移動に対応するために

- MTUを短くする
- パケット途中にトレーニングシーケンスを挿入すべき
  - パケット途中でチャンネル再測定
- 途中のトレーニングシーケンスなしでも
  - チャンネル特性の変動を推定してゆくことは、ある程度可能

# WLANとブロードキャスト/マルチキャストの低信頼性

- WLANの物理層は低信頼
  - ノイズ、他のパケットとの衝突、、、
- ユニキャストではACKがない場合再送
  - ブロードキャスト/マルチキャストはACKを返すことは不可能
    - そもそも受信者が一人もいないかも
- WLANのブロードキャスト/マルチキャストは低信頼(当然)

# IPとWLAN(1)

- IPアドレスとMACアドレスの対応が必要
  - イーサネット上では
    - IPv4ではARP
      - ブロードキャストを利用(片道)
    - IPv6ではND
      - マルチキャストを多用(往復)
- WLANのアドレス解決はイーサネット用のメカニズムをそのまま利用
  - ARPやNDではパケット落ちが頻発

# IPとWLAN(2)

- パケットが落ちると
  - 再送まで待たされる
    - IPv6のNDの再送間隔は非常識に長い
      - IPv6 / NDは移動体通信には向かない
- アドレス解決には別のプロトコルが必須
  - ブロード(マルチ)キャストを頻繁に繰り返す
  - L2ビーコンに載せられればいいのだが、、、
    - WLANではL2とL3が完全に分離されている

# WLAN技術で4Gを！

## PDMA (Packet Division ...)

- ハンドオーバー問題や高速移動問題は解決するとして、、、
  - さらにWLANの特徴を出す
- WLANの全セルで同じ周波数を共有
  - セル間はCSMA / CAでパケット単位で調整

# 有線通信で何が起きたか？

- 当初は電話網経由のインターネット利用
  - 低速、高価、従量制課金、帯域の無駄、、、
- インターネットでは
  - パケット多重のみで十分
- ブロードバンド化の進展とともに
  - WANへのLAN(イーサネット)技術の進出
  - 電話網系多重化技術(SONET / SDH、ATM等)は消失へ

# ベストエフォートと保証

- 電話アプリケーション主体の電話網では
  - 接続すれば、QoSはほぼ保証される
  - 接続できるかどうかは、ベストエフォート
- (現状の)インターネットでは
  - 接続は、ほぼ保証される
  - 接続した後のQoSは、ベストエフォート
- 電話はある種のQoS保証通信に特化した極めて「特殊」なアプリケーション

# 従来の「極めて」「特殊」な セルラーネットワーク

- 電話網としてのセルラーネットワーク
- 電話アプリケーションの「特殊」な性質
  - 連続通信
    - ある程度の時間連続してトラフィックが発生
  - 双方向通信
    - 連続して双方向にトラフィックが発生
  - (半)固定帯域
    - 通信に帯域を固定的に割り当て
- 今後電話トラフィックの比重が減ると、、、

# 一般のセルラーネットワーク

- 電話の持つ「特殊」な性質は仮定できない
- 一般の通信
  - 不連続通信
    - トラフィックは発生時期は、一般に予測不能
  - 片方向通信
    - トラフィックは、一般に片方向にのみ発生
  - 帯域不定
    - トラフィックの発生量は、一般に予測不能

# 一般のパケットセルラー ネットワークの性質

- トラフィックはパケット単位で発生
- データパケットの発生は、一般に予測不能
- 基地局は比較的煩雑(数十分の1秒～数秒間隔?)にビーコン(パケット)を発生
- 移動局はたまに(数十秒間隔?)基地局への登録(新規、更新、取消)を行う
- それ以外のトラフィックを発生したくない

# 一般のパケットセルラー ネットワークと移動速度

- 基地局は(セルの大きさ) / (移動速度)より十分頻繁にビーコンをだす必要がある
  - 基地局でのアンテナダイバーシティには不足
- 移動局は一般にあまりパケットを出さない
  - 基地局は移動局の位置を推測不能
    - アクティブアンテナ技術は利用できない
  - 移動局は異なる基地局の出現は検出可能
    - セクターアンテナ技術は利用できる

# インターネットの性質とセルラー インターネットワーキング

- インターネットはパケットネットワーク
- トラフィック特性は、なんでもあり、一般
  - 混雑時にはパケット落ち、それに端末が反応
  - インターネット電話トラフィックは、電話網上の電話トラフィックと同様の性質を持つが、、、
    - 連続、双方向通信、(半)固定帯域
      - ただし、粒度はパケット単位なので、荒い
- セルラーインターネットワーキングには
  - 一般のトラフィックに対応できる仕組みが必要

# CSMA / CAと802.11規格群

- パケット送出前にランダムに待つ
  - 二重化、多重化とも、通信スロットをパケット単位で完全に動的に確保
    - いかなるトラフィックパターンにも対応できる
      - 電話のトラフィックパターンにも対応できる
- 帯域が足りない場合
  - 何度か遅延を増やして再送、最終的に落とす
    - インターネットに好適

Immediate access when medium is free  $\geq$  DIFS

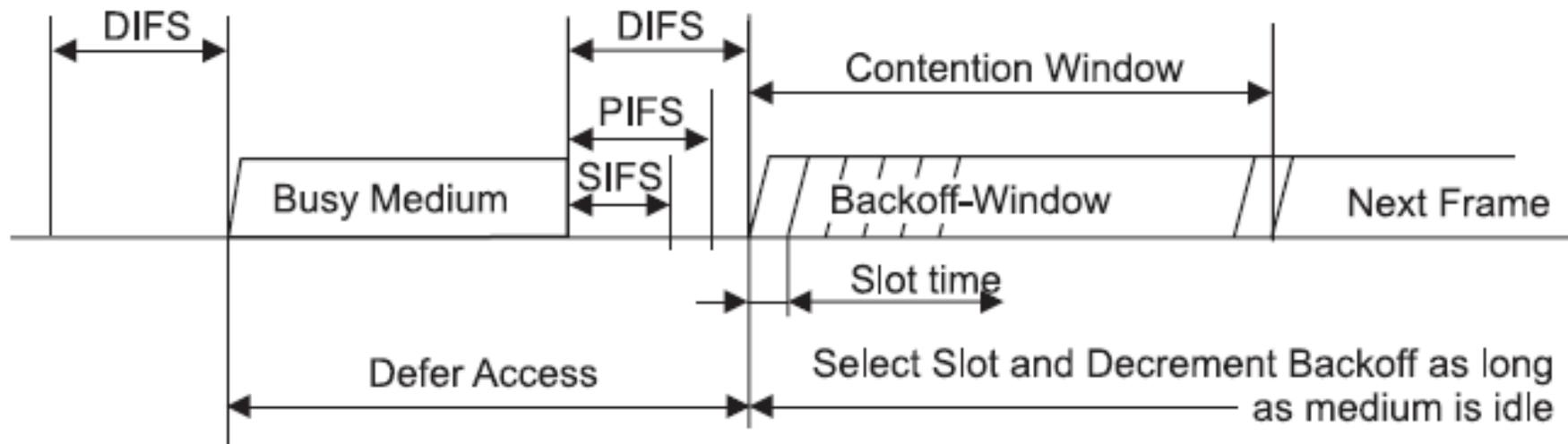
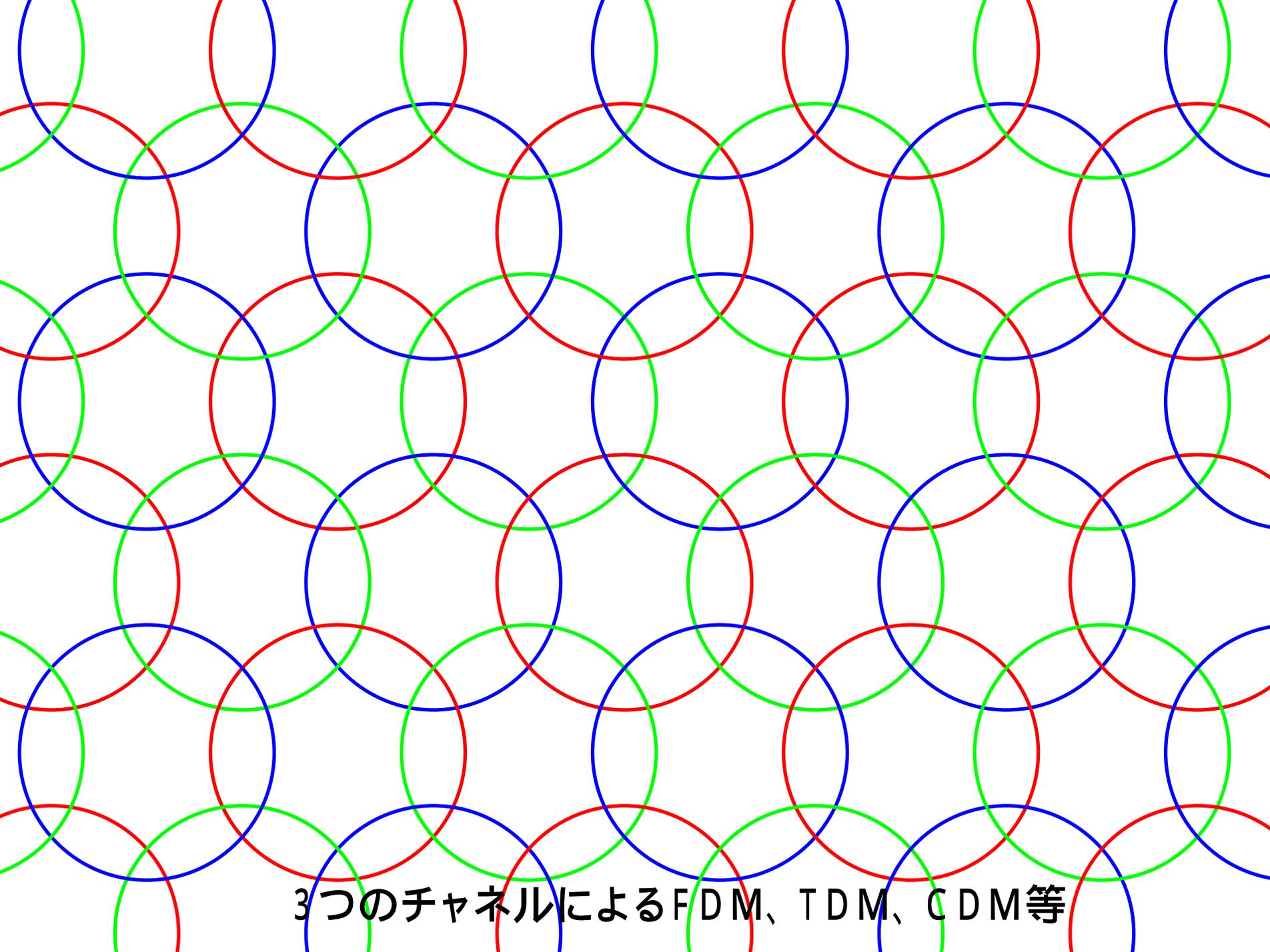


Figure 49—Some IFS relationships

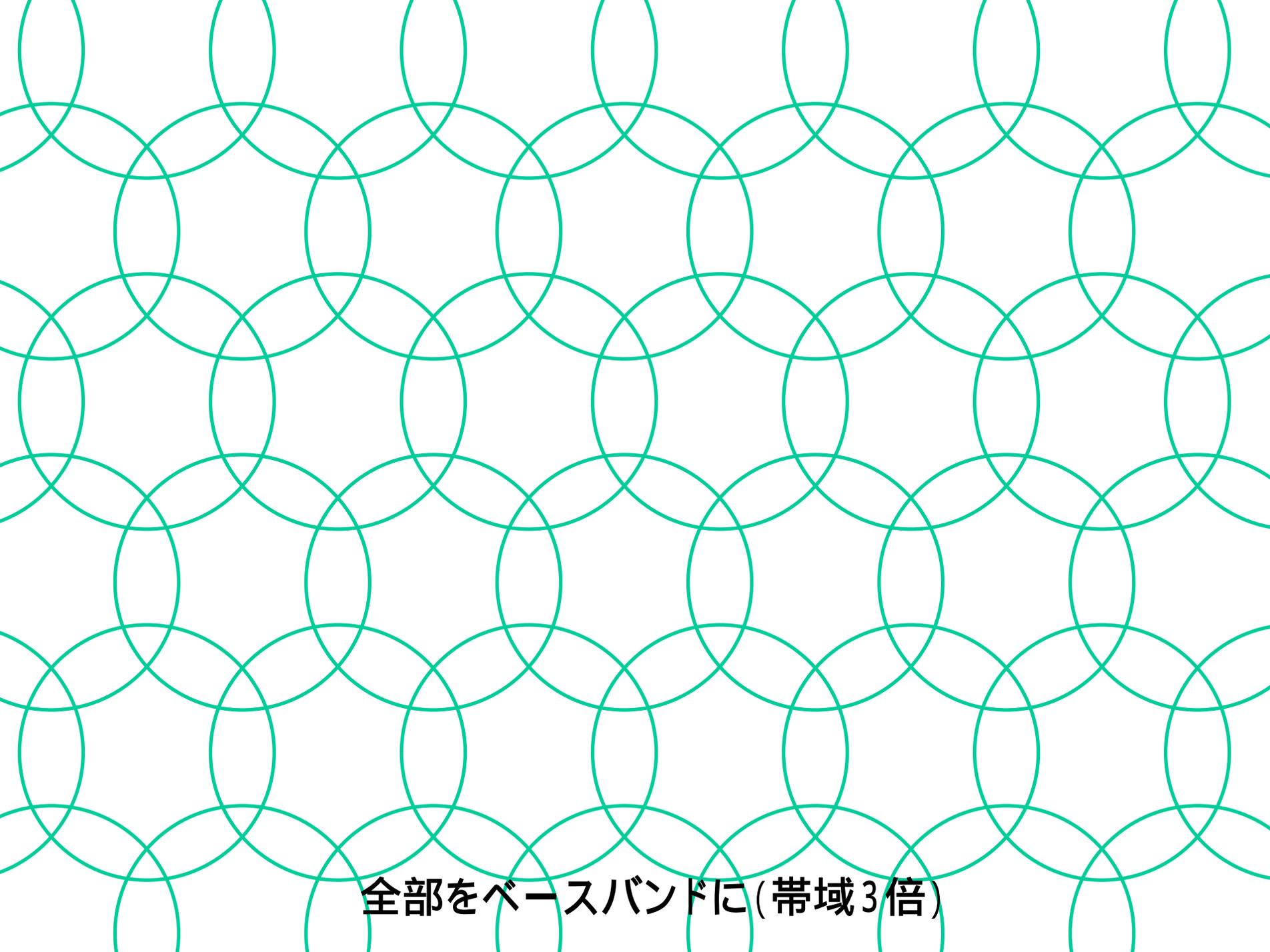
IEEE 802.11規格書より

# P D M A ( P a c k e t D i v i s i o n M u l t i p l e A c c e s s )

- 通信スロットをパケット単位で完全に動的に確保する方式(CSMA / CA等)を、セル間の調整に利用する通信パラダイム
  - 全セルで全通信帯域を共有
    - セル間での通信帯域の動的な有効利用が可能
    - セル設計が不要
- CSMA / CA等のオーバヘッドは問題



3つのチャネルによるFDM、TDM、CDM等



全部をベースバンドに(帯域3倍)

# P D M Aの特徴

- セル間のスムーズハンドオーバーが容易
  - 単一高周波回路で、Make - before - Break
    - 実は、そもそもの研究の契機
- ビーコン検出も素早い
  - 周波数スキャンの必要がない
- C S M A / C Aの調整はセル間だけでなく
  - 事業者間の調整も自動的に行う
    - 全事業者が全通信帯域を共有可能

# 非常時通信とQoS保証

- 802.11規格群では、一般の packets より短めの待ち時間の packets により
  - 高優先度の送出を実現
  - いかにか一般の packets のトラフィック多くても
    - 高優先度 packets のために、一定の通信帯域が確保される
      - 基地局ビーコンや移動局登録に利用可能
      - 非常時通信に利用可能
      - QoS保証通信に利用可能

# P D M Aの電波政策上の特徴

- 利用可能な全ての電波帯域を全事業者、全利用者で共有
  - 限られた電波資源を(C S M A / C A等自体の無駄を除けば)最大限に利用可能
  - 事業者間調整が不要
  - 事業者への電波割り当ても不要
    - 周波数オークションも無意味
- 通常の通信は定額制電波利用料
  - QoS保証通信には、従量制電波利用料

# おわりに

- 無線LANはL3以上との連携が悪い
  - (高速)移動、ND、VoWiFi、、、
- CSMA / CA技術は筋がいい
- うまく使えば将来も有望