

CM 勉強会

Microwave vs. Millimeter-Wave Propagation Channels:
Key Differences and Impact on 5G Cellular Systems

唐 率欽

2020.06.11



Abstract

第 5 世代のセルラーシステム

- マイクロ波帯とミリ波帯(0.5~100GHz) で展開される予定
- 伝搬特性がシステム性能に影響を与える
- マイクロ波より、ミリ波の伝搬特性が十分に理解していない

主旨

- マイクロ波帯とミリ波帯の伝搬特性の主な違いを説明
- 5G システム設計にどのように影響するか例を示す

Introduction

研究問題

- (5G)セルラーシステムの高データレート要件 (20Gb/s)
- ミリ波帯 (30-300GHz) 広帯域幅
- マイクロ波とミリ波の伝搬特性はシステムに異なる影響
 - システム性能
 - 機器設計
 - 信号処理要件
 - 基地局(BS)
 - ユーザ機器(UE)
- ミリ波は十分に測定されていない、理解が不十分

- ミリ波とマイクロ波伝搬チャンネルの基本的な違い？
- 物理的な原因？
- 具体的な影響？

Introduction

チャンネルモデル

■ 物理的な基礎：伝搬路特性は周波数依存性

- アンテナ利得は周波数に依存しない
 - 自由空間経路損失は周波数によって二次的に増加
- アンテナ利得は周波数に依存
 - 自由空間経路損失は周波数によって二次的に減少
- 鏡面反射、壁反射
 - 反射係数が周波数によって状況不明
- 透過
 - 周波数の増加によって減少
- ミリ波
 - 回折効率は周波数の増加によって減少
 - 同程度の波長では散乱が増加（表面粗さ、葉の大きさ）
- 環境の種類
 - 都心部は郊外に比べて頻度依存性が低い

Introduction

大規模伝搬

■ パスロス

- カバレッジ距離と干渉レベル (SINR) を制御
- 大気 (酸素、雨) には信号パワーの周波数依存性減衰を発生
 - 大雨・雹・霧でミリ波帯の損失が大きくなる
- 極めて指向性の高い高利得アンテナを利用する
 - 天候の影響や周波数による自由空間の損失を克服

■ パスロスモデル (複雑さ、精度)

- アンテナの高さ、シナリオ (都市部、農村部など)
- マイクロ波帯とミリ波帯では経路損失モデルが異なる
 - 原因: 周波数依存性、アンテナ利得
- シャドウフェージングの標準偏差 σ [dB]
 - 信号強度と予測された信号強度とのRMS誤差

SINR: signal-to-interference-plus-noise ratio

RMS: root mean square (二乗平均平方根)

大規模伝搬

ミリ波経路損失モデル

■ ABG モデル

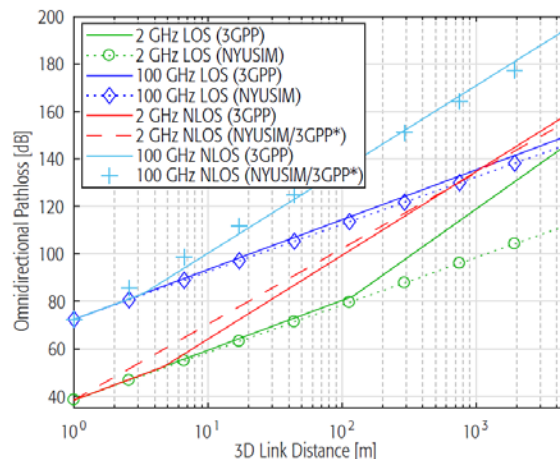
- 3つのパラメータを使用
- 2つはリンク距離と周波数に依存

■ CI モデル (計算複雑度が低く、より良い安定性と精度)

- 1mの近距離自由空間参照を使用
- 1つのパラメータである経路損失指数(PLE)のみ

■ 都市型マイクロセルシナリオ (ABG :3GPP/ITU CI:NYUSIM)

- 1mの自由空間損失が 2 GHzと100 GHzを比較して約 34 dB



大規模伝搬

LoS の確率の依存性

- BS と UE の距離
- 伝搬環境における周囲の物理的構造物
- キャリア周波数に依存しない
- 3GPP/ITU モデル
 - 適用範囲：0.5~100 GHz
- NYUSIM モデル
 - 大距離で UEs の LoS 確率をより正確に予測する新しいモデルを提案している

大規模伝搬

シャドウフェージング

■ 環境シャドーイング

- UE が BS 領域に出入りする際

■ オブジェクトによってシャドウイング

- マルチパス成分が他の人や物体に遮られる

■ セルフシャドウイング

- UEを持った人

■ 影響

- シャドウフェージングの分散が周波数とともに増加
- 町で BS から同じ距離の受信信号強度の変動が大きい。
- シャドウイングの分散が距離とともに増加

大規模伝搬

透過損失

- 屋内環境で透過損失があるチャネルモデルが重要
- sub-6 GHzの透過損失が一定、ミリ波では増加
- 都市部と郊外では透過損失の種類が大きく異なる
 - 低損失モデルでは3~100GHzで12~32dB
 - 高損失モデルでは3~100GHzで30~60dB

大規模伝搬

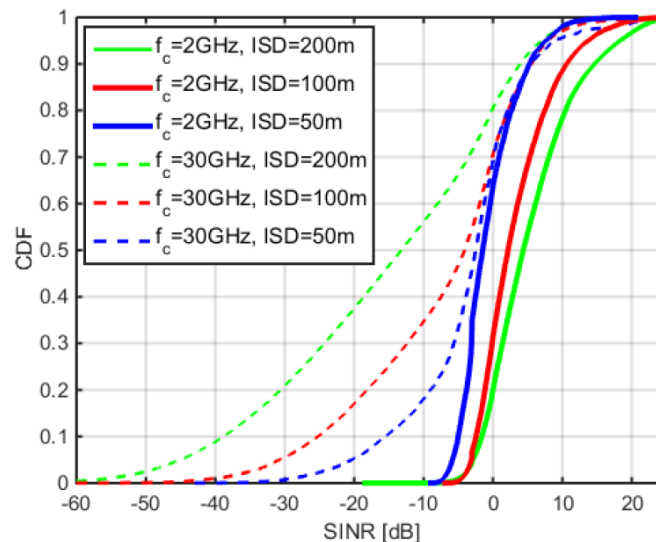
セルの範囲とセル間干渉

■ セルを小さくする

- スペクトルリソースを異なる地域で再利用
- セル内のユーザーあたりのスループットを向上させる

■ セル範囲

- 3GPP/ITUではマイクロ波帯とミリ波帯の両方で 200m
- 2 GHz : ISD (サイト間距離) が小さくなるとSINR が減少
- 30 GHz : ISD が小さくなるとSINR が増加



帯域幅依存性

より大きな帯域幅

- 遅延分解能が増加 → MPCs問題

パラメータの変化

- 遅延広がり (DS)、角度広がり (AS)

- より多くの測定が必要

→ より広い帯域場合はビームフォーミング係数を調整する必要

Kファクタは遅延分解能とともに増加する

クラスタ

■ クラスタ数とハイブリッドビームフォーミングの性能

- マイクロ波より、ミリ波の支配的なMPCの数少ない
 - ビーム幅によって角度分解能が制限され
 - 複数のMPCがアンテナのビーム幅に落ちても1つのMPCとして現れる
 - チャンネルがスパースなのかどうか不明
- sub-6 GHzのクラスタ現象
 - 電波が物理的な物体と相互作用する場合（高層ビル群など）
- クラスタを抽出
 - 多次元パワースペクトルとクラスタリングアルゴリズムを解析
- 異なるモデルではクラスタが異なる
 - 例：3GPP/ITUチャンネルモデルでは同じ遅延を持つMPCのグループとして定義する

クラスタ

■ クラスタの定義

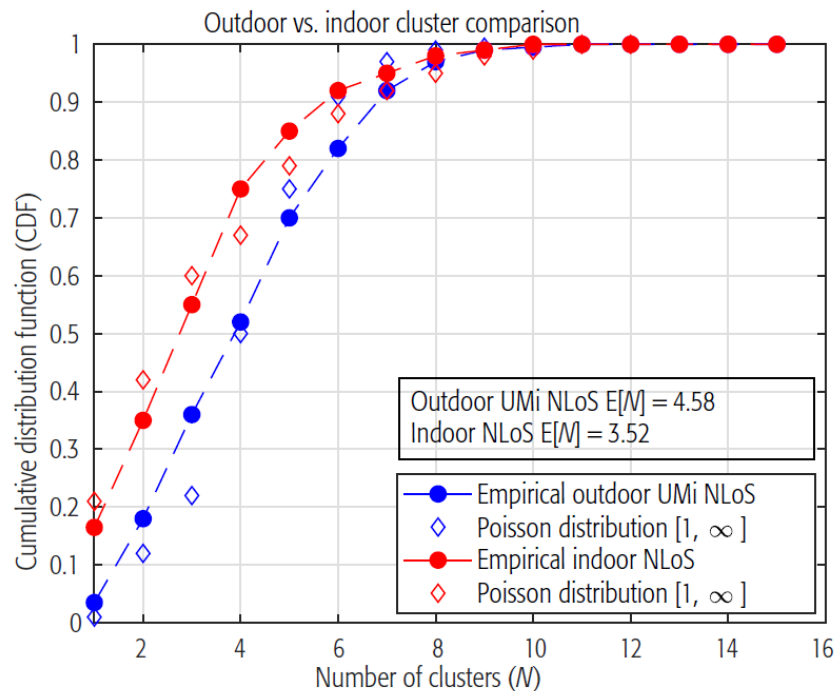
- 異なるモデルではクラスタが異なる
- 3GPP/ITUチャネルモデル
 - 同じ遅延を持つMPCのグループとして定義
- COST 259/273/2100モデル
 - すべてのパラメータが遅延、到着角(AoA)、出発角(AoD)に類似しているMPCのグループとして定義
 - シナリオ、環境に依存するランダム変数として定義
- NYUSIM モデル
 - 時間的に近い距離を移動するMPCのグループが異なる角度から到着することができる時間クラスタの概念を定義

クラスタ

■ ポアソン分布

- 与えられた平均値を持つクラスタのランダムな数をモデル化するために使用される
- UMi non-LoS (NLoS) シナリオの平均クラスタ数
 - 屋内 : 3.52
 - 屋外 : 4.58

累積分布関数

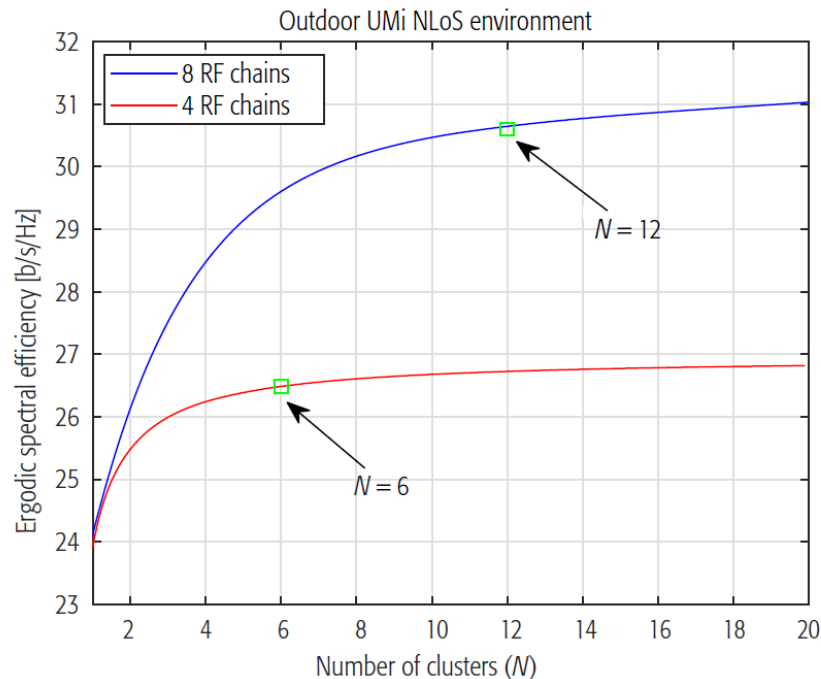


クラスタ

ハイブリッドビームフォーミング

- 各アンテナ素子には専用のアップ/ダウンコンバータRFチェーンを搭載
 - コストとエネルギー消費量を大幅に向上させている
- 少数のチェーンを介してアナログとデジタルのビームフォーミングを組み合わせる
- クラスタ数の増加とともに対数的に飽和する

エルゴードスペクトル効率

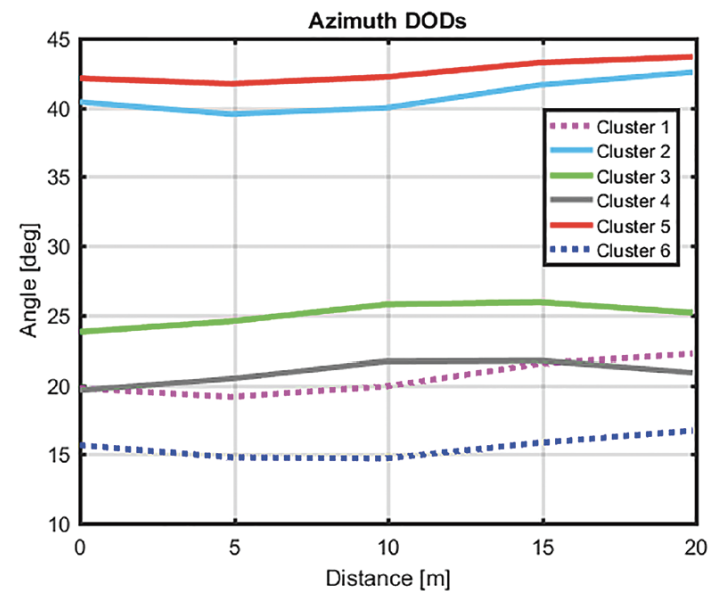
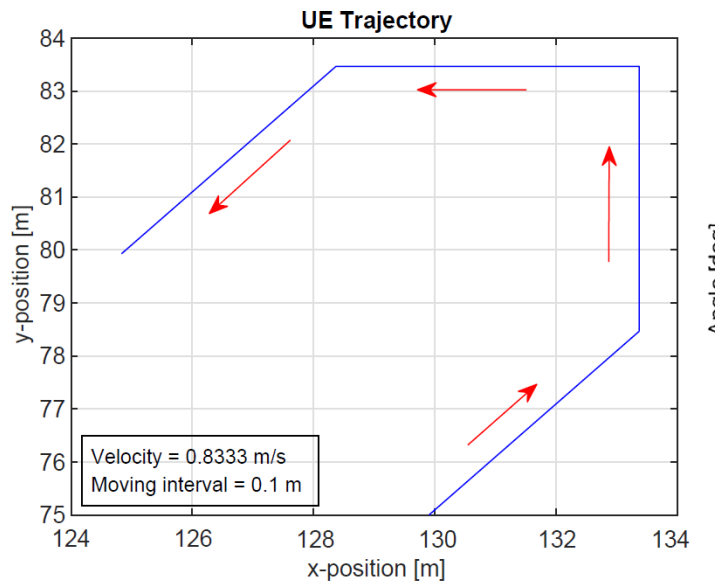


空間的整合性

空間一貫性

- UEが移動する際のビームトラッキングアプローチの性能予測のために、パラメータが連続的に変化する伝搬モデルが必要
- GPPは空間的一貫性モデルI (SC-I) とII (SC-II) を定義

28GHz の NLoS UMi シナリオのための SC-I の実現例



アンテナ特性

アンテナは適応性が必要（モバイルUE）

- 最強の散乱体または散乱体のクラスターへの利得の指示
- ビーム管理操作
 - ビーム掃引
 - 時間間隔で送受信ビームのセットによってカバーされる
 - ビーム測定
 - 受信ビームの品質を測定
 - ビーム決定
 - UEは最優ビームを選択
 - ビーム報告
 - ビーム品質の測定結果をBSに報告

UEとBS同期

- UEは移動中にビーム方向を合わせる