

# ユビキタスコンピューティング

## 2回目(次世代無線通信)



佐藤一郎

国立情報学研究所・ソフトウェア研究系 /  
科学技術振興事業団・さきがけ研究21

E-mail: [ichiro@nii.ac.jp](mailto:ichiro@nii.ac.jp)

講義ノート: [http://research.nii.ac.jp/~ichiro/  
lecture/ubiquitous2001/index.html](http://research.nii.ac.jp/~ichiro/lecture/ubiquitous2001/index.html)

Ichiro Satoh

## ▶ 講義内容

次世代携帯電話と携帯電話ソフトウェアを概説

1. 第3世代携帯電話
2. 第4世代携帯電話
3. 無線LAN
4. 携帯電話ソフトウェア
5. モバイルインターネット

Ichiro Satoh

## ▶ 基地局の配置

基地局を配置するときは周波数を有効利用しながら、満遍なくサービスエリア(セル)を敷き詰める必要がある

基地局の配置を計画するとき、地図上ではセルを六角形に表記する。電波が六角形の内側だけに飛ぶわけではなく、あくまでも概念モデル。

セルの配置はシミュレーションにより決定

- 奥村カーブ(1967)
- 秦の式(1980)

Ichiro Satoh

## ▶ セルモデルの拡張

### 既存セルモデルの問題

- 周波数の有効利用しながら、移動端末の増加に対応

### 基本的な解決策

- セルを小範囲化させて収容端末数を増加

### トレードオフ

- 基地局の設置コストが上昇
- 基地局同士の干渉を防ぐため電波強度が上げられない(→音質の劣化)
- ハンドオーバーが増加
- 高速移動への対応

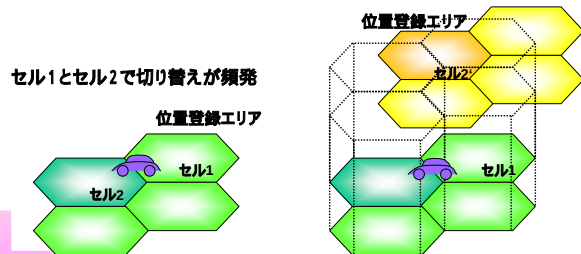
### 新しい方法

- 多重セル構造(オーバーレイセル)
- マイクロセル

Ichiro Satoh

## ▶ オーバーレイセル

- セル境界付近では受信レベルが下がるため頻繁な位置登録(基地局切り替え)が発生
- 同一形状のセルの繰り返しによる平面的なセル構成に対して、セルを多層化してサービスエリアの切り替えを柔軟にする



Ichiro Satoh

## ▶ マイクロセル

### マイクロセル

- 都市部など利用者密度の高いエリアはセル半径が小さくする(半径数百メートル)
- 都市部の道路やハイウェイなどに配置

### ピコセル

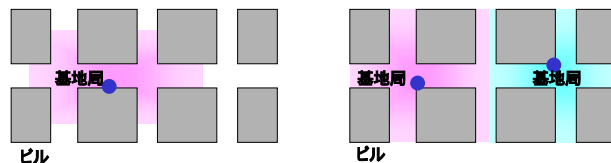
- 主として屋内に構成される小範囲セル(半径が数十メートル)

従来型セル(マクロセル)は半径1キロメートルから数キロメートル程度

Ichiro Satoh

## ▶ ストリートマイクロセル

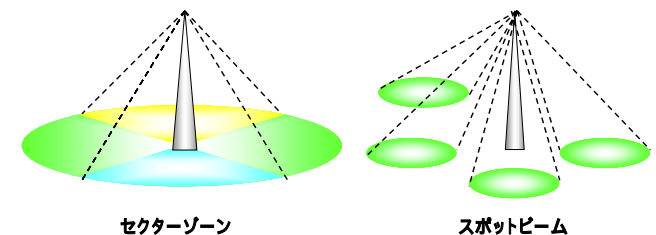
- 道路やビルに沿った形で基地局を配置
- PHS(到達距離は数百メートル)はストリートマクロセル



Ichiro Satoh

## ▶ セル分割

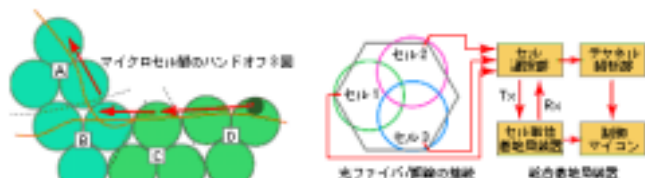
基地局のアンテナ指向性を調整してセルを小範囲化



Ichiro Satoh

## ▶ 高速移動とマイクロセル

- 高速移動ではセルの切り替え(ハンドオーバー)のコストが大きい
- 複数セルをクラスタリングしてMSC切り替えを削減



Ichiro Satoh

## ▶ 第3世代携帯電話

### 第3世代(IMT2000)の特徴

- 固定網並の高品質な音声サービス
- 144-384kbps、最大2Mbps
- 屋内から屋外までの多様な運用環境
- 高速モビリティ(耐フェージング)
- 周波数資源の有効活用(2GHz帯)
- 衛星も含めたグローバル化
- パーソナル及びターミナルモビリティ

Ichiro Satoh

## ▶ IMT-2000

International Mobile Telecommunication 2000

- 第3世代携帯電話の名称
- グローバルローミング
- 高いサービス品質
- 目標: 2000MHz付近で、2000Kbps程度の速度を2000年頃商用化
- 無線周波数の有効利用

### 実現技術の総称

| ITU勧告名   | 該当する規格           | サービス地域          |
|----------|------------------|-----------------|
| ■ IMT-DS | 名称W-CDMA         | NTTドコモ、J-フォン、欧州 |
| ■ IMT-MC | 名称cdma2000       | KDDI、北米         |
| ■ IMT-SC | UWC-136 (GSMベース) |                 |

Ichiro Satoh

## ▶ W-CDMA

### CDMA変調

- 信号を帯域上に拡散し複数のユーザが同一の広帯域無線チャネルを共有
- ユーザごとにそれぞれ異なる拡散コードを設定して拡散・抽出を実現
- FH方式(周波数ホッピング方式)とDS方式(直接拡散方式)

### 遠近問題の解決

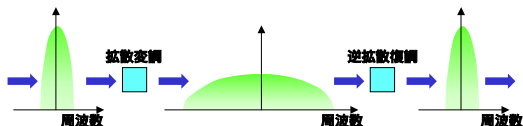
- 基地局から遠距離にいるユーザの受信信号が近傍ユーザの信号うち消される
- 送信電力制御技術により信号強度を一定に保つ

Ichiro Satoh

## ▶ スペクトル拡散

CDMA方式はスペクトラム拡散技術に基づき、変調後の信号の帯域幅を大きく拡散させることによってノイズや干渉の影響を受けにくくする

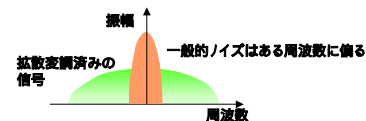
- 拡散パターンは通信相手と共有する拡散コードを利用
- 拡散符号により重なり合った電波から信号を抽出



Ichiro Satoh

## ▶ スペクトル拡散

- 送信信号帯域幅 > 情報帯域幅
- 生成される無線周波数は、送信情報と関係なく決定される
- 情報信号と帯域幅は独立
- 拡散方法はユーザ毎に独立
- FH方式(周波数ホッピング方式)とDS方式(直接拡散方式)

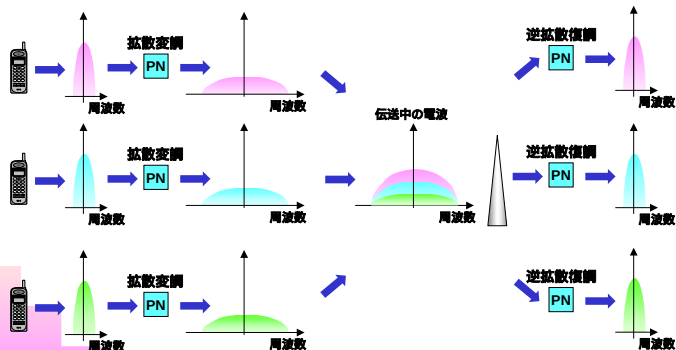


現実にはホワイトノイズは存在しない(数学的な仮定に過ぎない)。スペクトル拡散はホワイトノイズが存在しないから実現できる

Ichiro Satoh

## ▶ スペクトル拡散

- ユーザごとにそれぞれ異なる拡散コードを設定して拡散



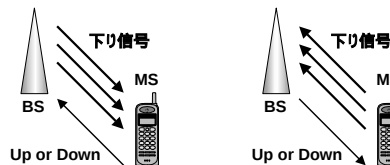
Ichiro Satoh

## ▶ 送信電力制御

TPC (Transmitter Power Control)

周波数を共有するため他の携帯電話または基地局の干渉が発生

- 品質を保ちながら可能な限り出力を低くして送信して干渉最小化
- 0.625msに信号強度チェックと送信電力制御コマンドを送信
- 測定値が目標値より大きい場合は移動機に送信電力を下げるコマンドを送信
- 測定値が目標値より小さい場合は移動機に送信電力を上げるコマンドを送信
- 受信した移動機及び基地局はコマンドにしたがって送信電力を変更

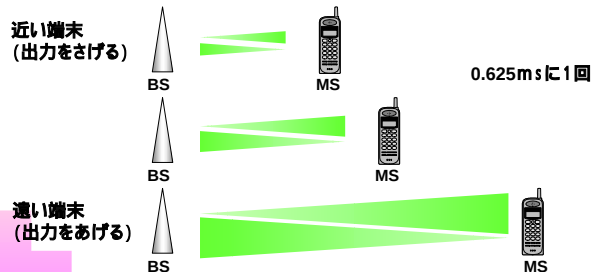


Ichiro Satoh

## 送信電力制御

送信電力制御による遠近問題(信号減衰)を解決

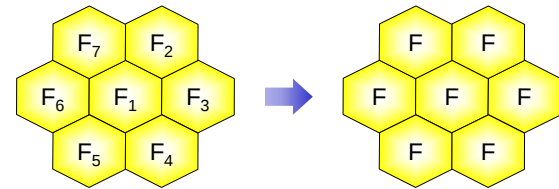
- 基地局から遠距離にいるユーザの受信信号は近傍ユーザの信号やノイズの影響を受ける。
- 送信電力を変化をさせて到着側の信号強度を一定に保つ。



Ichiro Satoh

## CDMAのセル

- すべてのセルが同じ周波数を共有(→周波数配置設計は不要)
- スペクトル拡散により幅広い周波数に拡散
- 上り回線と下り回線で送信方法が相違



Ichiro Satoh

## CDMAのセル配置

- CDMA方式では周波数配置の問題がないため、正則配置からのずれに強い
- 正則配置よりもトラフィック分布に従って基地局を配置する方が効果的
- 同一周波数を隣接セルでも用いることから、セル数に応じて収容数が増加
- マイクロセルでは指向性の高いアンテナが利用可能

### セルブリージング問題

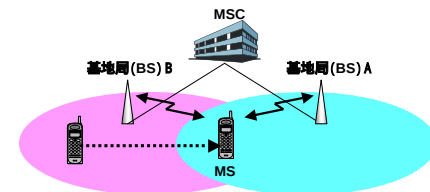
- TPCにより収容数により電波利用範囲が変動

Ichiro Satoh

## ハンドオーバー

### ソフトハンドオーバー

- 基地局の接続切り替えを穏やか(ソフト)に行う
- 隣接セルが同一周波数をもてるため複数基地局との同時通信



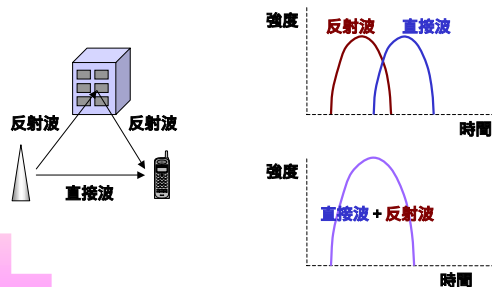
従来方式(PDC)は隣接セル間で通信周波数が違うために連続的の切り替えが困難

Ichiro Satoh

## レイク通信

マルチパス現象を対策

- 弱い電波をノイズとして除去し、強い電波を利用 (PDC)
- 先に届いた電波と後に届いた電波を合成 (CDMA)



Ichiro Satoh

## 第4世代携帯電話

第4世代移動通信システム(2006年)

- 伝送レートのBest Effort化(最大20Mbps)
- 時間・空間干渉抑圧技術による大容量化
- フェージングに強いマルチキャリア変調
- マルチメディアに適した高度アクセス技術
- IPパケットによるノン・リアルタイム伝送
- 利用環境に応じた周波数・電力有効利用
- 異なる要求品質(QoS)への対応は必須
- 無線LAN技術との融合

Ichiro Satoh

## アドホック通信

基地局を介さずに移動端末同士の通信



通信相手が電波到達範囲にいなくても、他の移動端末が中継



Ichiro Satoh

## 携帯電話のソフトウェア

最近の携帯電話の多機能化

- Webブラウザ、メール
- Java
- ダイヤル帳、スケジュール帳、電卓、メモ帳、ゲーム
- 漢字変換
- カラー液晶(TFT 4096色)
- 着信メロディ用PCM発信器(16和音)
- 待ち受け画面他のカスタマイズ
- 音声読み上げ機能



Ichiro Satoh

## ▶ 携帯電話ソフトウェアの進化

信頼性と多機能性を両立

携帯電話機能:

- 通信機能:
- 操作性:
- 信頼性:
- 携帯性:



コンピュータソフトウェア技術

- メール
- Webブラウザ
- Java
- 各種アプリケーション

Ichiro Satoh

## ▶ 携帯電話ソフトウェアの構成

通信処理部分とアプリケーション部分から構成



Ichiro Satoh

## ▶ 携帯電話ソフトウェアの特徴

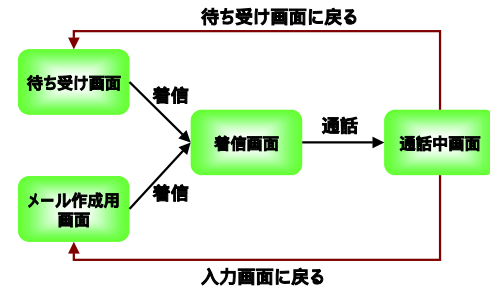
ソフトウェアから見たPCと携帯電話の比較

| 項目        | 携帯電話                           | PC                              |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------|
| ハードウェアの制約 | バッテリー(省電力)、少メモリ、低性能プロセッサ       | 常時電力供給、大容量メモリ、高速プロセッサ           |
| 操作性       | 一般ユーザがすぐに使えること、基本は電話、ボタン・表示が貧弱 | ある程度の知識が前提、用途は多様、フルキーボード、高解像度表示 |
| ネットワーク依存性 | 常時ネットワークと関係                    | 接続操作が必要                         |
| アプリケーション  | 統合されたアプリケーション、ネットワークと関連づけ      | 各アプリケーションは独立に動作                 |
| 信頼性       | バグがあったら製品回収                    | バグがあったらアップデート                   |

Ichiro Satoh

## ▶ 携帯電話ソフトウェアの実行

動作状態が複雑

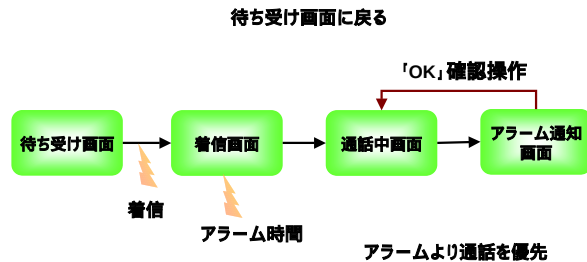


着信時の状態によって動作が相違

Ichiro Satoh

## ▶ 携帯電話ソフトウェアの実行

排他的な動作が多い



Ichiro Satoh

## ▶ ソフトウェア不良

通信部分だけでなく、アプリケーションソフトウェアも信頼性が要求される。  
「黒電話の信頼性をアプリケーションを作れ」

ただし、アプリケーションが多様化するにつれてソフトウェア不良が発生

- 2001年2月 ドコモ P503i (松下通信工業製) 23万台回収
- 2001年5月 ドコモ SO503i (ソニー製) 42万台回収

原因

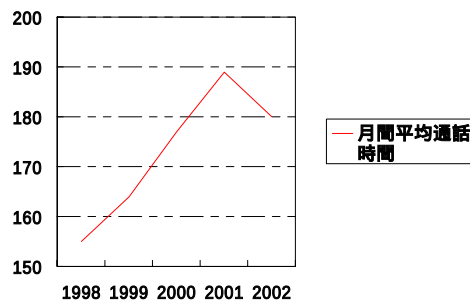
- 急激にソフトウェアが複雑化
- ハードウェアの制約が大きい
- ソフトウェアの開発体制が整っていない

Ichiro Satoh

## ▶ 通話時間の減少

携帯電話にかげり？

ドコモ： 加入者一人あたりの月間通話時間(単位:分)

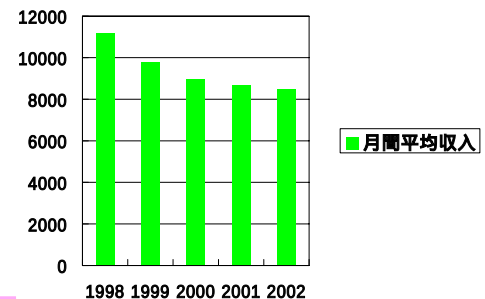


Ichiro Satoh

## ▶ 携帯電話収入の減少

携帯電話にかげり？

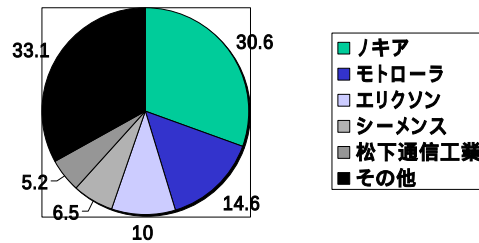
ドコモ： 加入者一人あたりの月間平均収入(単位:千円、各年度3月)



Ichiro Satoh

## ▶ 携帯電話機のシェア

2000年における携帯電話機の出荷台数のメーカー別世界シェア



Ichiro Satoh

## ▶ 課題

1. 10年後の携帯電話がどのようなものであり、そしてどのように使われているかを想像し、説明しなさい。
2. 近年、携帯電話のソフトウェアが複雑かつ大規模になっている。その理由を説明し、そしてその解決策を議論しなさい。

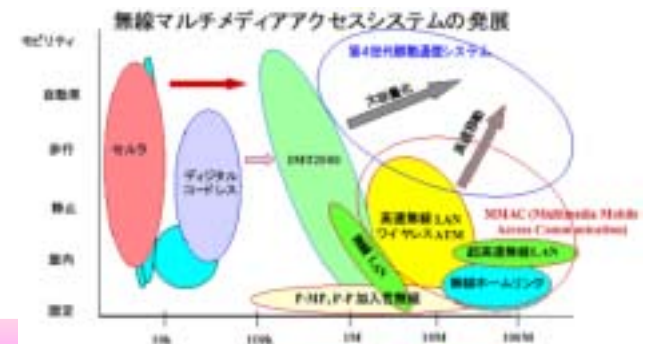
Ichiro Satoh

## ▶ 携帯電話の歴史

- 第1世代  
アナログ式携帯電話(セルラー式)  
音声のみ
- 第2世代  
デジタル式携帯電話(セルラー式 + TDMA) 例: PDC, GSM  
音声 + 低速データ通信
- 第3世代 (IMT-2000)  
デジタル式携帯電話(セルラー式 + CDMA)  
音声 + 高速データ通信
- 第4世代  
デジタル式携帯電話(セルラー式、アドホックネットワーク?)  
動画像通信

Ichiro Satoh

## ▶ 無線通信の広がり



Ichiro Satoh