



研究ノート

## マイクロ波フォトンクスと仮想無線空間

小 牧 省 三\*

Virtual radio free space and the microwave photonics

Key Word : microwave photonics, mobile communications, Photonic networks

### はじめに

近年、携帯電話、コードレス電話をはじめとする移動通信に対する需要が高まり、急速に加入者数が増加している。これに対処する方法として、現在の移動通信で用いられているセルラー方式のゾーンの小小型化を図ったマイクロセル方式の導入が進んでいる。マイクロセル方式では従来のマクロセル(半径数km～十数km)を、マイクロセルと呼ばれる半径100～300メートル程度のエリアに分割することによって、地理的な周波数の繰り返し利用回数を増加し、加入者の収容能力を高めている。また、携帯機—基地局間の距離を小さくできるので送信出力を低減可能であり、携帯機の小型化も可能となる。しかし、この方式では単位面積あたりのセル数がセル半径の2乗に比例して増加するため、いくつかの問題点が新たに発生する。たとえば、各セルに配置しているマイクロセル基地局全体の設備コストの増大、多数の基地局と制御局間を接続する方法、携帯機がセル間を移動する機会が増大することによる効率的なセル間接続制御が問題となる。

これらの問題を解決する方法として、制御局—基地局間を光と電波を融合した仮想無線空間で接続し基地局の汎用性・柔軟性を高める方法が提案されている。この技術について基本構成と動作、特徴、各種応用例ならびに技術的課題等を述べる。

### 仮想無線空間の必要性

日本において、1976年に導入されたセルラ方式は、一定距離毎に同一周波数を繰り返し利用しているため、単位周波数あたりの収容可能な顧客数が増大し、公衆通信としての機能を持つに至っている。しかし、近年の急速な加入者数の増加とともに、無線周波数が逼迫してきており、今後の需要を見た場合、必ずしも十分とはいえない状況に至っている。また携帯機を構成する回路については、部品・回路・実装等の技術面のアプローチにより小型化が可能であったが、エネルギー基礎部品である電池については、小型化・軽量化に対する技術的ブレークスルーを見い出し得ていないため、現在の送信電力を維持するにぎりぎり、携帯機小型化の限度にきている。

これらの問題点を解決する有望な方法として、移動通信のゾーンの小型化を図ったマイクロセル方式が、新しく浮上してきた。この方式では、ゾーンをさらに小さくすることにより、(i)周波数繰り返し回数をさらに増大でき、収容加入者数が大幅に増大する。(ii)同時に、携帯機—無線基地局間の距離を短くでき、携帯機送信電力が小さくなり、電池の小型化・携帯機の小型化が可能になるという特徴がある。

しかし、このような、マイクロセル方式も万能ではなく、セルを小さくしたことにより、下記に示すいくつかの問題点が新たに発生してくる。

- セルが小さいため、携帯機がセルをまたがって移動する頻度が高くなる。このため、通話路切り替え制御・無線周波数再割当の回数が増加し、かつ複雑になる。
- 新サービス発生時の基地局更改あるいは新設に対し迅速性が低下し、投資規模が大きくなる。
- セルが小さくなると、加入者が特定のセルに集中する確率が高くなり、呼の集中を考慮して設備

\*Shozo KOMAKI  
1947年4月3日生  
1972年大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻修士課程修了、  
同年NTT電気通信研究所入社。  
1990年大阪大学工学部通信工学科。  
現在、大阪大学大学院工学研究科・通信工学専攻・光電波通信工学講座、教授、工学博士(大阪大学)、無線通信・光通信ならびにこれらを融合した通信システムに関する研究  
TEL 06-6879-7714  
FAX 06-6879-7715  
E-Mail komaki@ieee.org



を配備すると、設備余剰・周波数余剰が発生しやすい。

上記の欠点を防止する一方法として、図1に示す移動通信と光通信技術を複合的に使用するFRExリンク(Fiber & Radio Extension Link)の適用が考えられる。この方法は、各セルに配置している無線基地局を光ファイバあるいは無線中継装置等の広帯域中継伝送路により集中局まで、電波の形式を保存したまま仮想電波空間で接続し、チャンネル割当制御機能のある程度まとめて集中配備する方法である。このため、無線基地局の汎用化が可能であり、セル間接続制御の高速化、設備余剰の削減ならびにサービス更改時の迅速性を向上できる。

基本構成と動作

FRExリンクの基本構成を図2に示す。図により、上り回線(移動局→基地局→制御局に向けたリン

ク)について動作の概略を説明する。まず、移動局から発射した電波は、マイクロセルの中央に存在する基地局で受信される。このとき、セル内の複数の移動局から発射された電波を受信し、全ての無線周波数の信号をまとめて一つの変調信号とみなしてレーザダイオードの光強度を変調する。制御局に伝送された光信号は光検波ダイオードを使用して受信光の強度を検波することにより元の無線信号を取り出すことができる。また、下り回線(制御局→基地局→移動局)も、上記と逆の同様な操作により伝送できる。

応用例

FRExリンクは、マイクロセル移動通信に対しても種々の分野で適用されている。地下駐車地下街、屋内駐車上等の電波の届きにくい場所やトンネル内等に利用されている。これらの例では、アナログ・

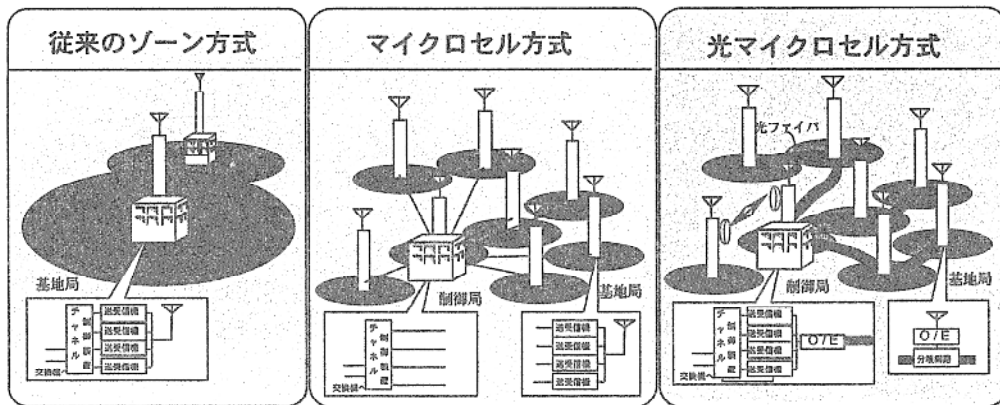


図1 マイクロセル方式と光マイクロセル方式(FRExリンク)

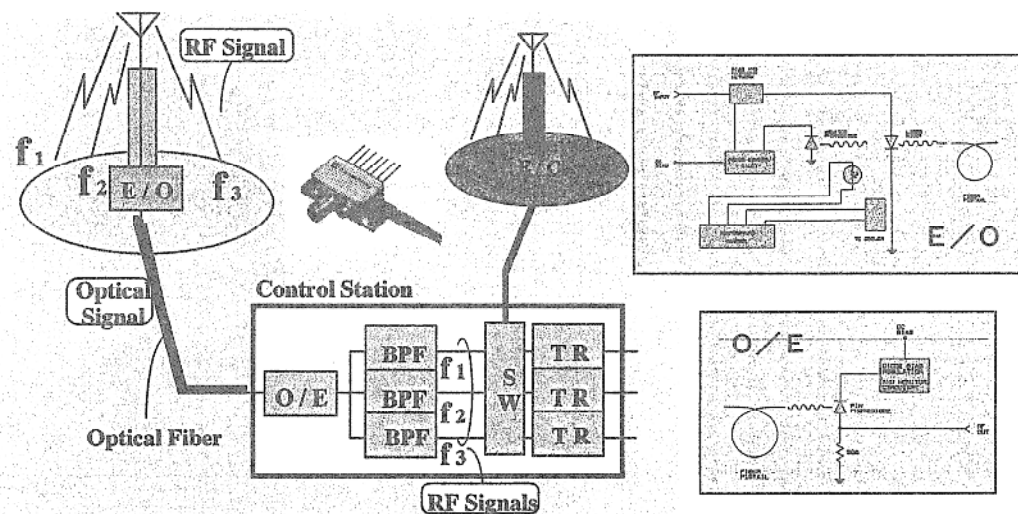


図2 FRExリンクの基本構成

デジタル携帯電話のみならずポケットベル等の各種サービスが適用可能であり、基地局設備の小型化と設備余剰の削減に寄与している。図3にはPHSへ適用した例を示す。

近年、映像通信、高速データ通信、LAN間接続などの広帯域通信の需要が増大してきている。このため、加入者系においても広帯域伝送路が必要となっており、各加入者まで光ファイバを引くといういわゆるFTTH(fiber to the home)が検討されている。しかし、これを実現するにはかなりの費用と時間を必要とするため、電柱のところまで光ファイバを引きそこから各加入者まで既存の銅線で配線するFTTH-π方式あるいはFTTC(fiber to the Curb)という方式が検討されている。FRExリンクはこのような領域にも適用可能であり、これはFTTA(fiber to the Air)と呼ぶことができる。(図4参照) この方式では、広帯域な容量を確保するため準ミリ波も

しくはミリ波の使用が可能である。この周波数帯を用いた場合に問題となる降雨による電波の減衰はセルの半径を数百メートルまで小さくすることで、その影響を無視することが可能となる。このFTTA方式は、FTTH方式のように各家庭に光ファイバもしくはケーブルを敷設する必要がなくなると同時に分配という機能に適した無線信号の特徴が発揮され、映像分配やマルチキャスト機能面ではFTTCに勝る特徴を期待できる。また、広帯域加入者の転居・移動等への迅速・柔軟対応が可能になるばかりでなく、時代と共に変化する加入者容量・加入者インタフェースに迅速に適用可能となる。さらに、将来の広帯域移動通信への拡張性にも優れている。

技術的課題と解決策

FRExリンクは種々の利点を有しているが、これを実現するためには種々の技術的課題が存在する。

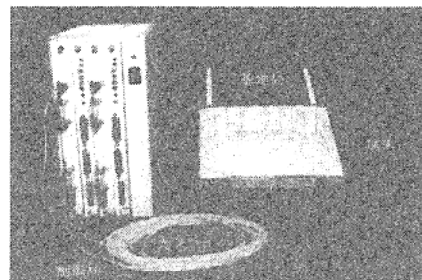
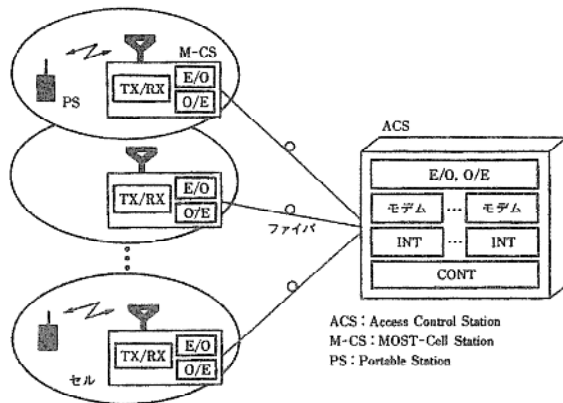


図3 FRExリンクの適用例 (NTT, PHS用)

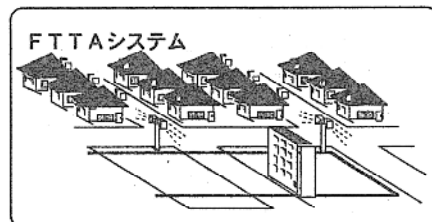
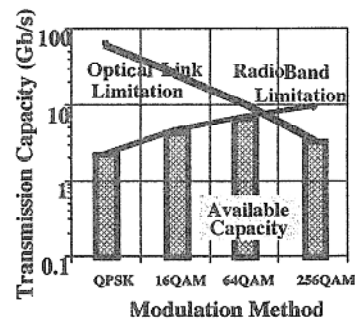
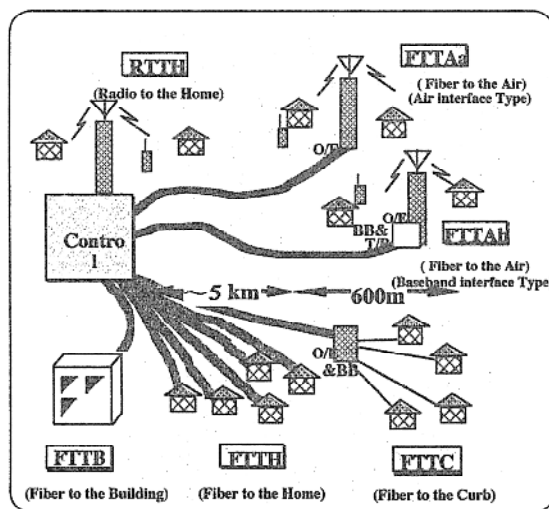


図4 各種FTTx方式の比較とFTTA方式の伝送可能容量

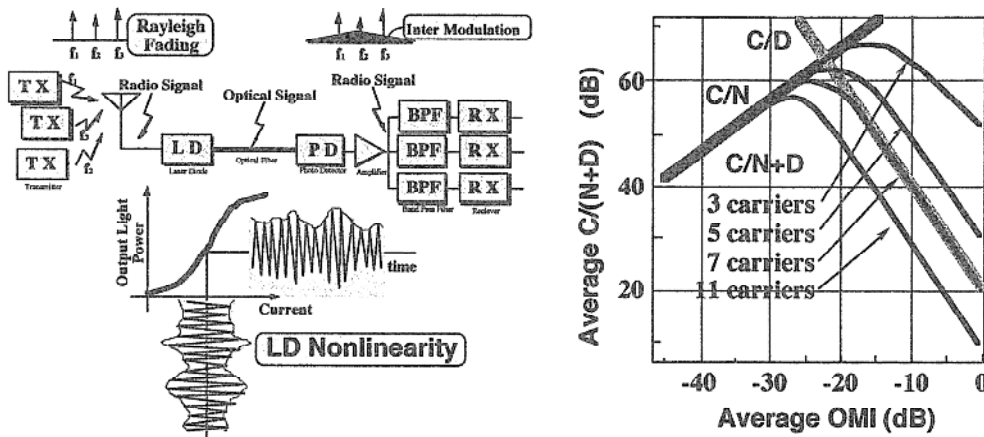


図5 FRExリンクの相互変調歪みと雑音特性

その中でも大きな課題として、非線形歪による相互変調劣化がある。

同一のマイクロセル内に複数個の移動機が存在する場合、基地局から制御局方向への光リンク(上り回線)において、レーザーダイオード(LD)等の非線形性により発生した不要波成分が、光ファイバを通してそのまま制御局へと運ばれ、無線信号に戻されるため、これがチャンネル間干渉信号となる。この不要波成分を相互変調または混変調ひずみと呼んでいる。LDに複数の信号が入力されたときに、LDの入力電流対光出力の非線形性に起因して発生する。LDの非線形特性はべき級数表示することが多く、無線通信のような帯域利用形態では主に3次の相互変調を検討すれば十分である。

一般に、基地局での受信レベルは、基地局と各移動機との距離、遮蔽物の有無等により大幅に変化するため、通常考えられている一定レベルの信号が並んだ場合とは状況が異なる。すなわち、相互変調歪の大きさも各移動機の実受信レベルとの関係で大きく変化し、特に、希望波のレベルが小さく、他の端末からの受信波のレベルが大きい場合に相互変調歪が、顕著となる。このように、フェージングによる移動機間の受信レベル差を考慮にいれた非線形歪の検討が必要となる。図5にフェージングによるレベル差を考慮し信号対雑音電力比 $C/(N+D)$ を計算した結果であり、最適な光変調指数(OMI)が存在することが図に示されている。

#### 4.2 非線形ひずみによる劣化の解決策

非線形ひずみによる劣化を軽減する方法としては、  
● 基地局での受信レベルが均一になるように移動

機の送信電力を制御する(ATPC:)

- 基地局において受信キャリア毎にレベルを補正する(レベル等化)
- LDの非線形性の逆特性を持つマイクロ波帯ひずみ発生器を挿入(プリディストータ)
- マイクロ波段で多重化された信号を周波数変調したのちO/E変換する(一括FM法)
- 相互変調ひずみが最小になるようにキャリアの配置を切り替える(周波数切替IM3軽減法)

などが考えられる。一括FM法は、レーザーダイオードの非線形性の影響を防止するため、無線段で多重した後に、より高い周波数の搬送波に周波数変調をかける方式であり、振幅一定の周波数変調波をレーザーダイオードで光強度に変換するため非線形性による影響を受けなくなるという特徴を有する。しかし、無線周波数を直接周波数変調する場合は搬送周波数が極端に高くなるため、無線周波数を一旦低い周波数に変換したのち周波数変調を行なうこととなる。この場合、基地局装置が複雑になると共に無線周波数の異なる新サービスへの対応の柔軟性が損なわれ易いという欠点がある。周波数切替IM3軽減法は、あるユーザの周波数に発生するIM3のレベルは全てのキャリアの周波数と受信レベルの組み合わせによって決まることに着目し、全キャリアの周波数を適宜切り替えることによりIM3の発生分布を最適化し、切り替え後の受信 $C/(N+D)$ 特性を改善しようというものである。近年、周波数繰返し利用の向上、符号分割通信方式の適用を目的として送信電力制御を行うものが増加しており、レベル差による相互変調の増加はある程度解消されつつある。

仮想無線空間ネットワーク

FRExリンクでは、各セルで発生した電波を光ファイバ内に閉じ込められて全てが制御局まで集められる。しかし、電波はその形式によってあらかじめ決められた目的地に運ばれることが望ましい。特に光ファイバという広帯域な媒体を多種類の電波で共有し、経済性を高めたり、新サービスをオーバレイする場合は特にこの機能が必要である。この様な目的のため、光ファイバ内で電波を自由にルーティングする仮想無線空間ネットワーク(無線ハイウェイ)の検討を行っている。これにより、仮想無線空間を任意の場所に自由に開くことが可能となる。図6にこの概念図を示す。広域利用と同時に、屋内・構内利用でも同様に適用できる。無線ハイウェイの具体的実現法としては、光CDMAをはじめとして各種の方法を検討し、実験を行っている。

む す び

本資料では、制御局-基地局間を光と電波を融合したシステムにより接続する方式について基本構成と動作、方式面から見た優れた特徴、各種の応用例を述べた。さらに、技術的課題とその改善策を述べた。この方式は、電波の行き先を自由に光ファイバ内で可変接続できる無線ハイウェイに拡張でき、その概念を示した。最後に、大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻、塚本勝俊助教授・岡田実助手をはじめとする小牧研究室の諸氏に深謝します。なお、

仮想空間という概念は、寺田浩詔大阪大学名誉教授(現：高知工大)の提案であることを申し添え、ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) W. I. Way, "Subcarrier multiplexed light-wave system design considerations for subscriber loop applications", Journal of Light-wave Tech., Vol.7, No.11, Nov. 1991.
- 2) S. Komaki, K. Tukamoto, S. Hara, and N. Morinaga, "Proposal of Fiber and Radio Extension Link for Future Personal Communications", ICCT '92 China, pp.33.0.1-33.03.4, Sept. 1992, or Microwave and Optical Technology Letters, vol.6, No.1, pp50-55, Jan 1993.
- 3) Special Issue on Fiber-optic Microcellular Radio Communication System and their Technologies", IEICE Trans. on Comm., Vol.E76-B, No.9, Sep. 1993.
- 4) 光・マイクロ波半導体応用技術, サイエンスフォーラム社刊, Feb., 1996.
- 5) 塚本, 大塚, "光・電波融合ネットワークの現状と将来", 電子情報通信学会誌, 解説, Vol180, No.8, p.p.859-868, Aug. 1998.
- 6) マイクロ波と光技術, オプトロニクス誌, No.182, FEB. 1997.

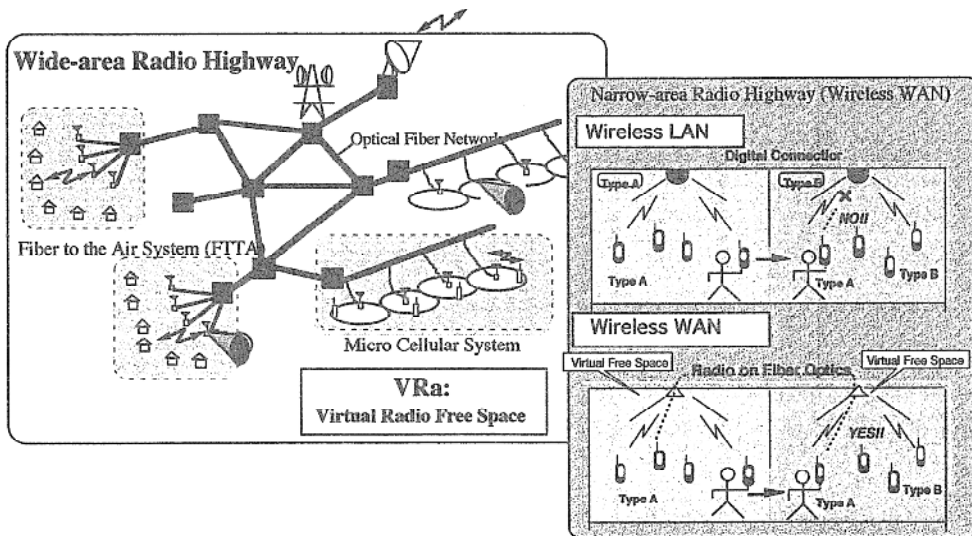


図 6 無線ハイウェイと仮想無線空間