

## 総務省 SCOPE

### 「アプリケーショントラフィックとユーザ特性を考慮した高効率無線ネットワークアーキテクチャの研究開発」

#### 1 研究内容（平成27年12月末日時点）

本研究開発は、(a)アプリケーショントラフィックを考慮した高効率無線通信プロトコルと、(b)ユーザ特性を考慮した周波数共有の2つのサブテーマで構成されている。

【a：アプリケーショントラフィックを考慮した高効率無線通信プロトコル】

##### 1) 全二重通信に関する検討

全二重通信に関しては、無線LANにおいて、アクセスポイント(AP)に無線全二重通信を適用し、アップリンクとダウンリンクのトラフィックを同時に送受信させる実現可能性の高い方法を検討した。すなわち、クライアント間の干渉を軽減するための、無線全二重通信MACプロトコルを設計した。(図1, 図2)。本方式は、クライアントが干渉を測定して、逐次干渉除去することにより、クライアント間の干渉を低減する。設計したMACプロトコルは、6つのフェーズを切り替えながら動作する。図1に、MACプロトコルのフェーズを示す。図2に、全二重データ通信が発生する場合のシーケンス図を示す。数値解析により、本MACプロトコルはCSMA/CA方式やRTS/CTS方式の半二重通信に比べてスループットが168%向上する(ノード数7, CSMA/CA半二重に対して)可能性があることを示した(図3)。より多くの方式との詳細な比較結果も得ており、国際会議に投稿中(現時点では未公開)である。その他、非FD端末が混在する環境下でのMACの基本構成を行った。

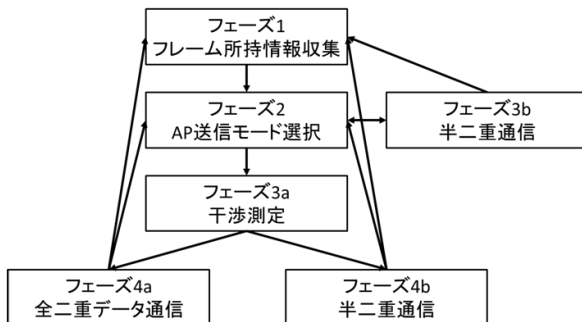


図 1

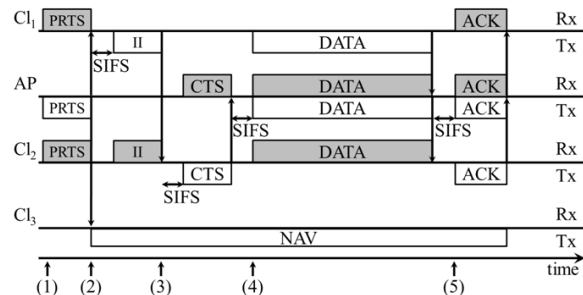


図 2

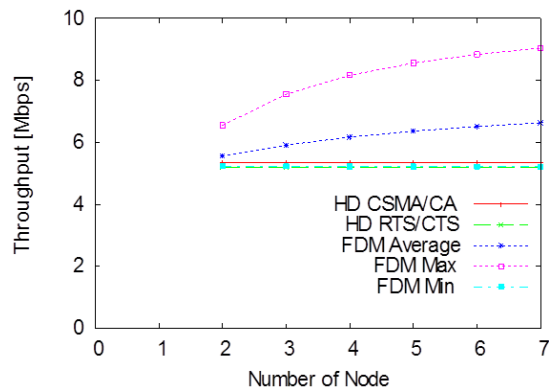


図 3

また、アプリケーショントラフィックを考慮すると、アップリンクとダウンリンクのサイズが異なる。これに対し、FDでは両者が対称であることが望ましい。そこで、アップリンクとダウンリンクの非対称性を考慮したメディアアクセス方式を現在開発中である。

## 2) 重畳符号化に関する検討

重畳符号化方式に関しては、まずその根本である原理に関して実情面からより詳細に検討した。重畳符号化や逐次干渉除去は、同時に到達する信号の振幅に差がなければ利得を得られないことから、端末の位置による制約が大きいためである。そこで、本研究開発では、干渉除去を中継通信と組み合わせて、アクセスポイントが宛先端末まで直接通信するよりも高速に通信できるように進展させた。すなわち、中継局をアクセスポイントと宛先端末の間に挟むことによって、端末の位置や振幅の大きさの異なる信号を作り出して干渉除去を活かす。図4に本方式を用いてアクセスポイントSから中継局Rを用いて端末Dまでデータを送信する場合のシーケンス図を示す。本方式を、シャノン=ハートレーの定理による通信路容量とネットワークシミュレータによるスループットで評価した。図5にその一部を示す。同図より、本方式は6Mbpsのビットレートで送信した場合、宛先端末まで直接送信する場合に比べ、40m地点で約24.7%高いスループットを達成することがわかる。

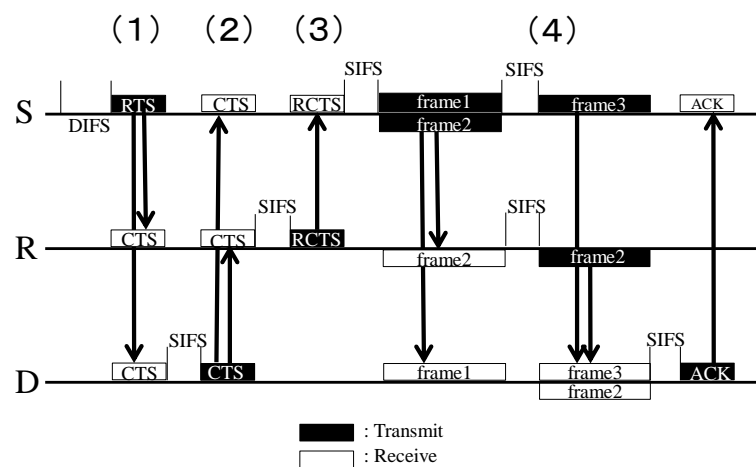


図4

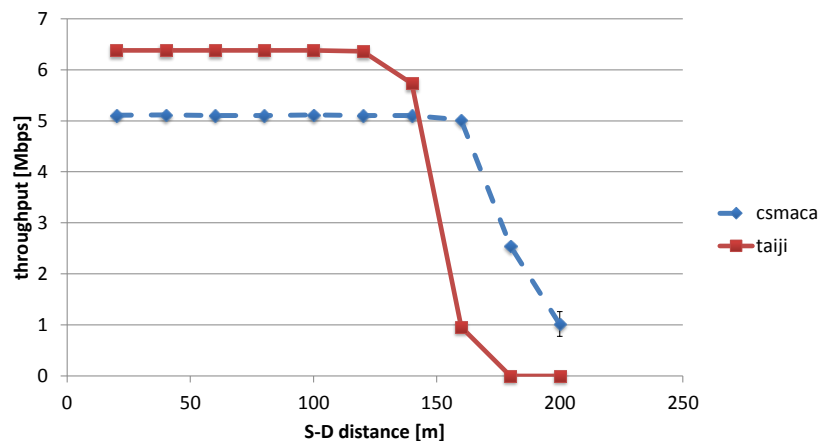


図5

## 3) 干渉除去が上位層に与える影響の検討

干渉除去が上位層に与える影響については、ノード数が2の時の中心に検討が進められていたが、今年度は、これをNノードに拡張し(図6)、Nノードの同時送信時における干渉除去の適用タイプを考慮した際のデータ送信完了時間を導出し、干渉除去を用いた無線ネットワークの有効性を数値計算により明らかにした。

SICを用いた無線ネットワークの例(N=3)

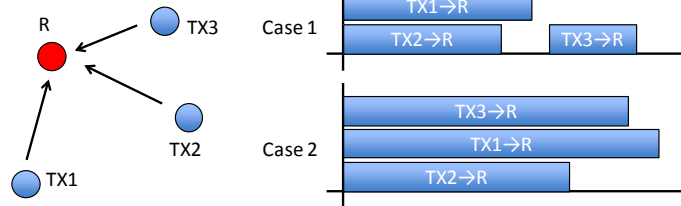


図 6

4) アプリケーションを考慮する無線通信

アプリケーションを考慮する無線通信方式として、本年度は無線によるシングルビューストリーミングについて検討した。MITが提案しているSoftcastではDCT係数を直接送信し、伝送中の誤りへの耐性を高めている。しかし、この方式はビデオ信号と同時に、すべてのビデオ信号の電力メタ情報を送信する必要がありオーバーヘッドが大きい。これに対し、ビデオ信号をGaussian Markov random field (GMRF)を用いてモデル化し、受信側はローレンツ関数を用いてフィッティングすることによって、電力メタ情報の送信を避ける方式の基本構成を考案した(図7)。初期評価の結果、Softcastに比べて97%のメタ情報削減と3.4dBの品質改善を達成できる可能性があることが分かった(図8)。

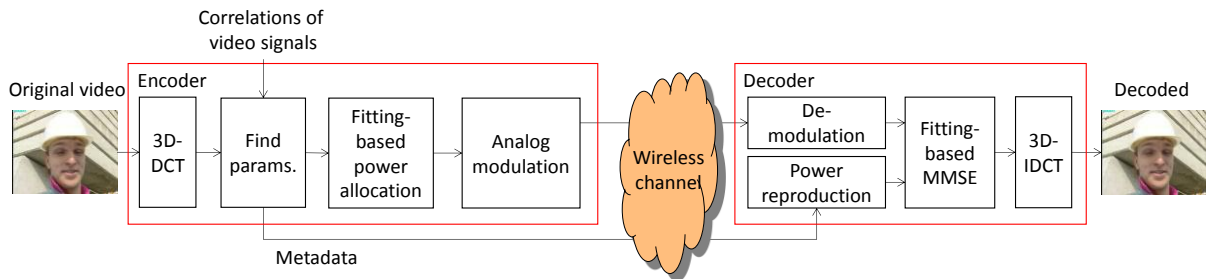


図 7

5) 干渉除去に基づく通信方式の実験装置の試作

無線全二重、重畳符号化方式、同時複数信号受信の根本となる自己干渉除去、逐次干渉除去の詳細な検討と実験のための装置を設計し、外注により製作した(図9)。自己干渉除去法は、自分が送信した信号を受信アンテナから取り除くことで、送信中でありながら、他の端末からの信号を同時に受信することができる。逐次干渉除去法は、複数の端末宛のフレームを同時に送信する重畳符号化で作成された重畳信号や、複数の端末から送信された信号を同時に受信することができる。設計に当たっては、無線全二重と複数信号の同時受信が可能となるように自己干渉除去と逐次干渉除去が配線によって切り替えられるよう工夫した(図10)。今後これを用いて実験する。なお、デジタルキャンセルについては未実装であり、これは来年度以降に実現する必要がある。

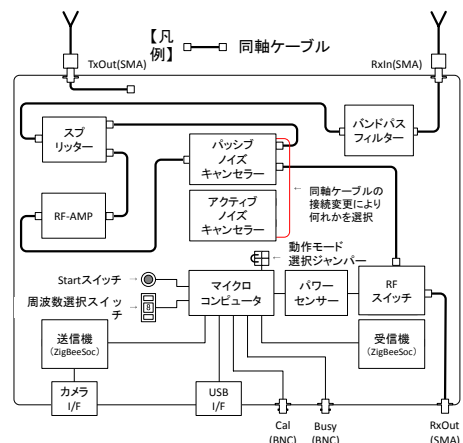
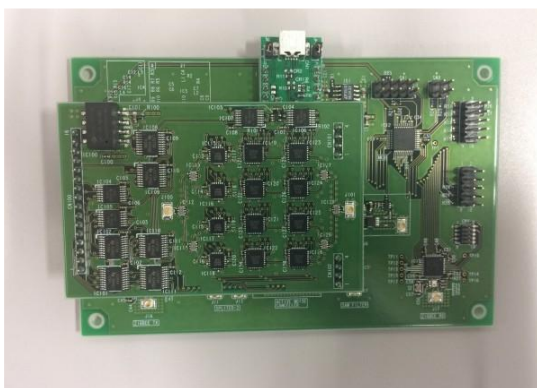


図 9

図 1 0

【b:ユーザ特性を考慮した周波数共用】

異なる事業者から提供される異種無線ネットワークにおいて、直接周波数をやり取りするわけではないが、提供される通信品質に応じて行動を変えるユーザの存在を考慮することで、間接的に周波数割り当てに影響を与えるモデル（図 1 1）を考え、そのインセンティブによって、各ネットワーク事業者及びエンドユーザ全てに有用なシステムを構築した。

ここで、モバイルネットワークを利用するユーザの行動としては、すぐに通信を始める、通信を継続しながら移動する、しばらく移動してから通信を始めるといった選択肢が考えられ、そこに通信品質や課金に関する複雑なモデルとなる。特に料金を考慮したモデルは近年ようやく研究が盛んになりつつあるところで、まだ確固たるモデルは示されていない。本研究では、一般的な定額課金制を想定しつつ、通信品質と移動性に関するユーザの嗜好を取り入れたモデルを確立するため、非集計行動モデルを導入した。

初年度においては、行動の選択肢を(1)プライマリシステムに接続、(2)セカンダリシステムに接続、(3)接続しないの3つとし、それぞれの効用  $V_i$  を、1Mbの転送に要する時間  $t_i$  とスループットに対する感度（どの程度重視するかを表す指標）  $\theta$ 、定数ASCを用いて、 $V_1(t_1) = \theta_1 t_1$ ,  $V_2(t_2) = \theta_1 t_2$ ,  $V_3 = \theta_2 ASC$  と設定した。このとき、ユーザが選択肢  $i$  を選ぶ確率は以下のように表される。

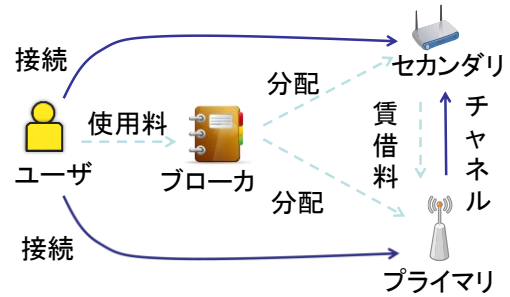


図 1 1

$$q_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}}$$

次に、このモデルでの事業者の戦略について検討した。セカンダリ事業者は収益向上の見込める額で追加周波数資源を要求し、プライマリ事業者はやはり収益向上を見込めるかどうかでチャンネルを賃貸するかどうかを決定する。このとき、チャンネルを得る／与えることによって接続ユーザ数がどの程度増加／減少するかを推測することが重要となる。本研究では、コグニティブ無線技術の考え方に基づいて、各基地局が局所的に得られる情報を基にして、これを推測する手法を提案する。

具体的には、まず、上記のパラメタ  $\theta$  をユーザの選択結果とそのときの特性変数の値から最尤法によって求める。次に、セカンダリシステムが周波数割り当て後の利益を推測し、提示するチャンネル価格を決定する。これを受けて、プライマリシステムが提示価格の和を最大化するセカンダリシステムの組を遺伝的アルゴリズムで探索し、得られる利益を推測してチャンネルを割り当てるかどうかを決定する。

以上の方式を計算機シミュレーションによって評価した結果を示す。

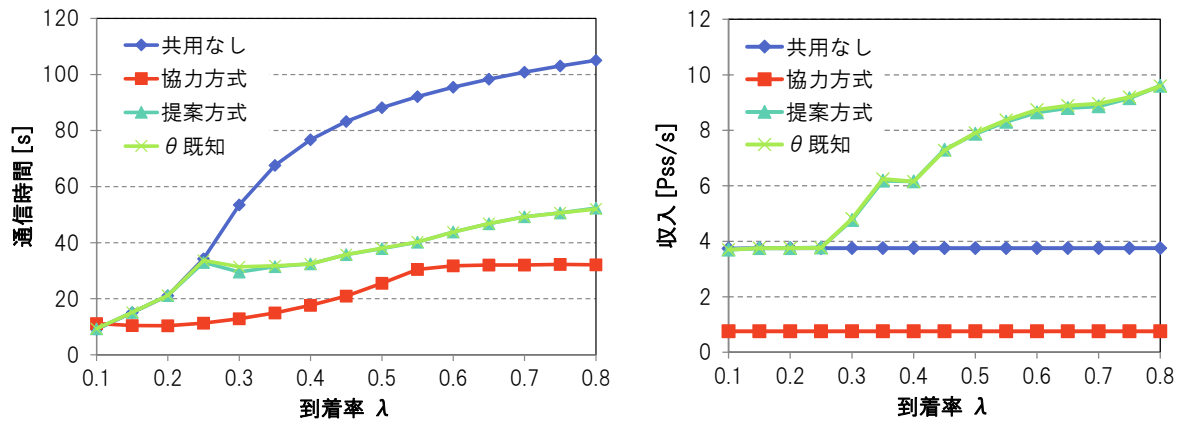


図 1 2

左は 10MB のファイルをダウンロードするのに要した時間の平均である。協力方式（利益を追求せずに全体のスループットを最大化する方式）と提案方式は周波数共用しない方式に比べて平均通信時間を短縮できていることがわかる。協力方式は全体の負荷を下げるよう動作するため、多くのセカンダリシステムにチャンネルが割り当てられ、最も通信時間が短くなる。

右はプライマリシステムの得る収益である。協力方式を用いると、周波数共用しない場合よりも収益が低下している。つまり、協力方式における通信時間短縮は、プライマリシステムの犠牲によって成り立っていると言える。一方、提案方式ではユーザ到着率の増加に伴って収益が向上しており、実用性の高い方式と言える。

また、提案方式はパラメタ  $\theta$  を推定しているが、この値が既知であるとして動作させたときの結果を合わせて表示している。これらはほぼ同じ値となっており、提案方式の推定手法が有効であることがわかる。

提案方式によって通信時間は約 45% に短縮されており、目標としていた 2 倍の性能向上を達成していることが確認できた。