

平成 27 年度研究開発成果概要書

課題名 : 将来ネットワークの実現に向けた超大規模情報ネットワーク基盤技術に関する研究  
採択番号 : 1680301  
個別課題名 : 無数の端末を接続するための高エネルギー効率および超高密度無線ネットワークに向けて  
副題 : Towards Energy-Efficient Hyper-Dense Wireless Networks with Trillions of Devices

(1) 研究開発の目的

昨年度 (H26 年度) には課題アおよびイに焦点を当て、自己組織型ネットワーク (SON) に関連した広範囲に渡る様々な問題について検討を行なった。具体的には、SON で用いるためのハンドオーバー、セル割り当て、基地局電力制御を含む無線リソース管理 (RRM) アルゴリズムを設計し、MATLAB ソフトウェアを使用して提案 RRM アルゴリズムの性能評価を行った。

H27 年度は、より効率的な RRM アルゴリズムの開発を目標とする。課題アでは、H26 に開発したハンドオーバーアルゴリズムにネットワーク遅延、ジッターなどの新しい判断基準を追加してハンドオーバーの精度向上を図る。課題イでは、小セル基地局オンオフ切り替えを用いる超高密度ヘテロジニアスネットワーク (HDHN) への棲み分け原理に基づく動的チャネル割り当てアルゴリズムの導入を図る。

(2) 研究開発期間

平成 25 年度から平成 28 年度 (4 年間)

(3) 実施機関

国立大学法人 東北大学 (実施責任者 教授 安達文幸)

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 33 百万円 (平成 27 年度 10 百万円)  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題ア : HDHN における端末状態移動推定アルゴリズムとセル選択・ハンドオーバーアルゴリズムの開発

ア A 端末移動状態推定アルゴリズム

ア B. セル選択・ハンドオーバーアルゴリズム

課題イ : HDHN における自己組織化アルゴリズムの開発

イ A. 自己組織化ネットワーク (SON) パラメータの初期構成の最適化法

イ B. 大集団ゲーム理論に基づく自己組織化アルゴリズム

課題ウ : HDHN テストベッドによる開発アルゴリズムの評価

ウ A. Android スマートフォンなどを利用した受信レベルデータ収集

ウ B. USRP および WARP ボードを利用した実験検討

## (6) これまで得られた成果（特許出願や論文発表等）

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	45	22
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

## (7) 具体的な実施内容と成果

課題ア： HDHN における端末状態移動推定アルゴリズムとセル選択・ハンドオーバーアルゴリズムの開発

（課題ア A） 端末移動状態推定アルゴリズム  
H26 年度で完了済み。

（課題ア B） セル選択・ハンドオーバーアルゴリズム

基地局間干渉が存在しない環境下での小セル基地局（SBS）オンオフ切替を用いる HDHN におけるハンドオーバー回数および総消費電力を評価し、受信信号電力、トラフィック付加および距離に基づくハンドオーバーアルゴリズムは端末スループットの低下をおよそ 11% に抑えて総消費電力を 38% 程度削減できることを示した（端末数が 160 で BS 数が 10 の場合）。更に、端末が不均一にネットワーク上に存在する環境下での SBS オンオフ切替の評価を行なって、端末分布密度に比例して SBS を配置させることで平均端末スループットを向上できることを示した。

次に、ファジィ理論を利用した新しい多目的意思決定ハンドオーバーアルゴリズムを提案した。SBS オンオフ切替とこの新しいハンドオーバーアルゴリズムを用いる HDHN におけるハンドオーバー回数および総消費電力の評価を H28 年度に実施する予定である。

ハンドオーバーアルゴリズムに用いる端末移動速度推定にも取り組んだ。まず滞在時間に基づく速度推定における Cramer-Rao 下界 (CRLB) を求め、次いで確率幾何学を小セル配置に適用してより現実に近い HDHN ネットワークモデルにおける CRLB を導出した。また、バイアスのない端末移動速度推定法も導出した。

【発表論文 8,11,13,15】

課題イ： HDHN における自己組織化アルゴリズムの開発

（課題イ A） 自己組織化ネットワーク (SON) パラメータの初期構成の最適化法

ゲーム理論を利用した SBS オンオフ切替を用いる HDHN への棲み分け動的チャネル配置 (IACS-DCA) の導入に関する検討を行った。端末が接続先基地局を決定するために必要なトラフィック負荷情報を報知しているビーコン信号を干渉測定に利用することで、制御トラフィックを増加させることなく IACS-DCA の導入を可能とした。全ての BS が同一チャネルを使用する場合（最悪干渉環境）に比べ、平均端末スループットを 30% 程度向上できることを示した（チャネル数が 6、BS 数が 51、端末数が 400 の場合）。

【発表論文 9,12】

（課題イ B） 大集団ゲーム理論に基づく自己組織化アルゴリズム

HDHN では基地局間距離が近くなるため近隣基地局はほぼ同じ強さの干渉を受けることを利用し、隣接 BS に同一チャンネルを配置してしまう確率を低減する no-regret 機械学習アルゴリズムに基づく、新しい IACS-DCA を提案した。この no-regret 機械学習に基づく IACS-DCA は、SBS オンオフ切替を用いる HDHN の端末スループットを 16%程度向上できることを示した（チャンネル数が 4、BS 数が 11、端末数が 30 の場合）。

【発表論文 3,10,18,22】

課題ウ： HDHN テストベッドによる開発アルゴリズムの評価

(課題ウ A) Android スマートフォンを用いた受信レベルデータ収集

米国フロリダ国際大学 (FIU) の共同研究者と協力して、接続可能な距離にある全基地局からの受信信号強度 (RSS) と全基地局の位置情報、端末の位置情報を取得するアンドロイドアプリケーションを開発した。

(課題ウ B) USRP および WARP ボードを用いた実験検討

ヴァージニア工科大学 (VT) の共同研究者と協力して、無線伝送実験装置 (LTECORNE : <http://cornet.wireless.vt.edu/lte.html>) を用い、第 4 世代移動通信システム (LTE) のスループット特性に及ぼす干渉の影響に関する測定を行い、IACS-DCA のために送信するビーコン信号がデータ通信に干渉して大きな影響を与える可能性があることを明らかにした。また、フロリダ国際大学 (FIU) の共同研究者と協力して、センサーネットワーク実験装置 (Time Domain P410 UWB kits) を用いて室内および屋外環境におけるチャンネル応答特性の測定を行い、屋外よりも屋内環境の方がより多くの遅延波が存在することを明らかにした。今後、VT と FIU で得られた測定結果をもとに、より現実に近い HDHN ネットワークモデルを用いてスペクトル効率 (スループット) およびエネルギー効率 (電力消費) に関する評価を進める。