

## 無線ネットワークにおける端末間協調に基づく基地局選択法

菅沼 拓夫<sup>†</sup> 北形 元<sup>†</sup> 加藤 貴司<sup>†</sup> 白鳥 則郎<sup>†</sup>  
小野 良司<sup>\*</sup> 黒田正博<sup>‡</sup>

同一エリア内で異なる無線事業者の提供する複数の無線基地局が利用可能である環境下において、トラフィック集中や機器の故障等による障害などの問題発生時に、利用可能な無線基地局を切替え、トラフィックを効果的に分散するためのフレームワークの構築を進めている。本研究では、地理的に近接した無線端末において、各無線端末上にエージェントを配置し、各端末が現在接続している無線基地局の情報をエージェント間で交換し合うことにより、既存インフラに特別な仕組みを用意せずに無線基地局を効果的に選択する、端末主導の分散型基地局選択方法を提案する。

### A Base Station Selection Scheme for Wireless Network Based on Inter-terminal Cooperation

Takuo Suganuma<sup>†</sup>, Gen Kitagata<sup>†</sup>, Takashi Katoh<sup>†</sup>, Norio Shiratori<sup>†</sup>  
Ryoji Ono<sup>\*</sup> and Masahiro Kuroda<sup>‡</sup>

Recently with the rapid growth in wireless networking technologies, the hotspot in which we can connect multiple wireless access points provided by different service providers is available commonly. We have been developing a mechanism to be used in such environment, so as to avoid the problems of traffic congestion and system faults effectively, by switching the available wireless access points. In this work, we embed the agents on each wireless terminal that locates geographically close. By the negotiation among agents, the terminals can exchange the status information of wireless network they are connecting. In this paper, we propose a distributed and terminal-driven scheme for base station selection based on the information obtained by the negotiation among terminals. With this scheme the effective base station selection can be attained without any extension of access points and networks.

#### 1 はじめに

近年、異種無線デバイスを1枚のPCカードに搭載したハイブリッドモードの開発などにより、小型携帯端末から複数の無線システムを切り替えて利用する形態が現実のものとなりつつある。更に将来的には、ソフトウェア無線技術の進展により、異種無線システムが同時に使用可能になることが予想され、基地局の整備等によって同一エリア内で異なる無線事業者の提供する複数の無線基地局が利用可能となるであろう。このような環境下においては、特定の無線基地局へのトラフィック集中を

分散することにより、収容可能な無線端末数を最大化することができる。また災害時等で特定の無線事業者内ネットワークに障害が発生した場合、利用可能な別の無線事業者の提供する基地局に切替えることで障害を回避することができる。このように異なる無線事業者の提供する複数の無線基地局を効果的に利用することで、トラフィック集中や障害等のストレスに強い無線ネットワークを構成できる。

一方利用者の視点でみると、利用者は、利用可能な無線基地局の中から、接続料金などのコストの制約のもとで、無線資源状況を考慮しつつ、最大限自らの要求するQoSを満足する基地局を選択することが重要となってくる。これらのタスクは一般利用者には負荷が高いため、無線基地局を自動的に選択するための仕組みを導入する必要がある。

<sup>†</sup>東北大学電気通信研究所/情報科学研究所 / Research Institute of Electrical Communication/Graduate School of Information Science, Tohoku University

<sup>\*</sup>三菱電機(株)/Mitsubishi Electric Corporation

<sup>‡</sup>独立行政法人通信総合研究所/Communications Research Laboratory

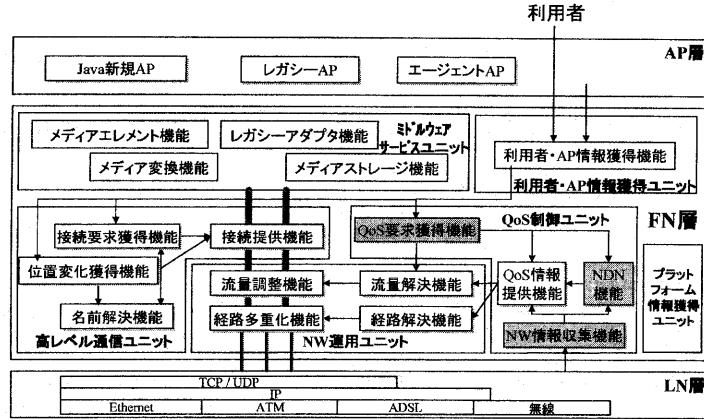


図 1: FN 層の内部構成

本研究では、同一エリア内で異なる無線事業者の提供する複数の無線基地局が利用可能である環境下において、トライフィック集中や障害などの問題発生時に、利用可能な無線基地局を切替え、それらの問題を効果的に回避するためのフレームワークの構築を目指す。

ここで、無線基地局を選択するために必要となる情報の収集／管理の方式において、無線事業者ネットワーク内に、端末接続状況等の無線ネットワークに関する情報を収集・提供するサーバを配置した異種無線システムの選択方法などが提案されている[1, 2]。しかしながらこれらの方法は、集中管理に起因する一点障害性やスケーラビリティの問題、更に管理組織の異なるドメイン間での連携に関して課題が残されている。

これに対し本研究では、地理的に近接した無線端末間ににおいて、各無線端末上にエージェントを配置し、各端末が現在接続している無線基地局の情報をエージェント間で交換しあうことにより、既存インフラに特別な仕組みを用意せずに無線基地局を効果的に選択可能とする、端末主導の分散協調型基地局選択方法を提案する。

## 2 やわらかいネットワークに基づく Never Die Network の概念

### 2.1 NDN の概念

従来のネットワークアプリケーションの多くは、TCP/UDPなどが提供するトランスポート通信サービスを静的/固定的に用いて構成されてきた。しかしながら、時々刻々と変化する利用者要求やネットワーク環境に柔軟に対応するには、従来の固定的なアーキテクチャに代わる、ソフトウェア工学的、利用者指向的な観点を考慮した新たなネットワークアーキテクチャを構成する必要がある。我々はこれまで、非均質ネットワークの相互間での機能的な差異を吸収すると共に、利用者／アプリケーションレベルでの変動とIPネットワークレベルでの変動を自律的に監視、調整、制御するアプリケーション層ミドルウェアである、やわらかいネットワーク層(FN層)を構築してきた[3, 4]。

NDN(Never Die Network)とは、サーバやネットワークに過度のアクセスが集中した場合や、攻撃、災害等で伝送路やノードの障害などネットワーク異常が発生した場合、ネットワーク・計算機資源を効果的に活用し、システムダウンすることなく自律的に可用性を最大にするネットワークである[7]。本稿では、やわらかいネットワークに基づき、アプリケーションレベルでNDNを実現するアーキテクチャについて議論する。具体的には、FN層の一機能としてNDN機能を構成している。図1にFN層の内部構成を示す。FN層においてNDNの概念は、QoS制御ユニット内のNDN機能を中心としたQoS要求獲得機能とネットワーク情報収集機能の連携により

表 1: 基地局負荷分散のためのハンドオフ手法の分類

ハンドオフモデル	制御方式	レイヤ	制御局	基地局	端末
マイクロハンドオフ	集中型	AP	◎		○
		DL/Net	◎	○	○
	分散型	AP		○	◎
		DL/Net	○		○
				○	○
				◎	
マクロハンドオフ	集中型	AP			
		DL/Net			
	分散型	AP			◎
			○		◎
			○		
		DL/Net	◎		

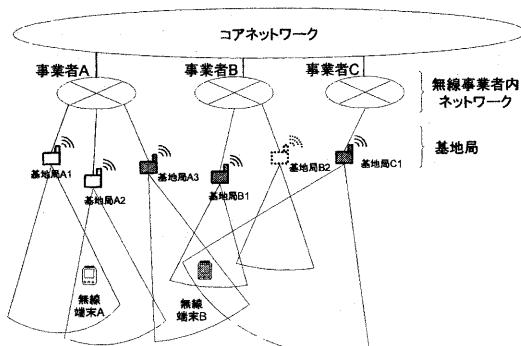


図 2: 本研究で想定するネットワークモデル

実現される。

## 2.2 無線ネットワークにおけるNDN機能

FN層を用い、無線ネットワークにおいてNDN機能を実現するためには、無線ネットワーク用に特化したネットワーク情報を収集する機能が必要である。具体的には、無線リンクの性能を示すSNR値などの物理レイヤの品質情報や、基地局識別子等のMACレイヤの情報である。これらはNDN機能にとって有用な情報を提供するため、無線ネットワークにおけるネットワーク情報を効果的に獲得するために、ネットワーク情報収集機能を拡張する。

また、無線ネットワークにおける無線端末としては携帯型PDA等を想定しているため、パフォーマンスの観点からFN層のすべてのユニットを無線端末上に装備することは現実的ではない。FN層の機能として、これらとのユニットを端末の機能・性能に合わせて動的に構成す

ることが可能であるため、必要十分なユニットを端末上に配置することでFN層の持つ機能を部分的に提供する。

## 3 端末主導型無線基地局選択法

### 3.1 想定するネットワークモデル

本研究で想定するネットワークモデルを図2に示す。各無線事業者の持つ無線事業者内ネットワークはコアネットワークに接続される。また、無線事業者内ネットワークには複数の基地局が存在する。ある物理的同一エリアでは、異なる無線事業者が提供する複数の基地局に対して接続することが可能である。無線端末利用者は、無線事業者との契約条件に基づき、利用可能な基地局を選択し接続する。

### 3.2 負荷分散のための基地局切替方式の分類

対象とする問題として、災害時やイベント時などにおける無線基地局への通信負荷集中を取り上げる。まず、基地局負荷集中時に基地局切替(ハンドオフ)を行うことで負荷を分散する手法について、表1のとおり手法の分類を行った。ここでマイクロハンドオフとは同一無線事業者の提供する基地局群において行われるハンドオフ、マクロハンドオフとは異なる無線事業者の基地局群で行われるハンドオフを示す(図2)。またレイヤとしてネットワーク層以下(DL/Net)とセッション層以上(AP)で分類した。表中の◎はハンドオフの判断を行うノードであり、○はハンドオフの判断のための情報提供を行うノードである。本研究では、将来的に、物理的同一エリア内に異なる無線事業者が提供する複数の無線基地局が配置されることが一般的となり、しかも災害時やイベント時等にはそれらを可能な限り活用してnever dieの性質を実現することが必要であるという観点から、

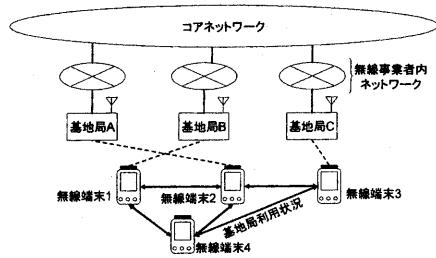


図3: 端末間協調型

‘←’に示された、端末主導によるマクロハンドオフ技術に焦点を当てる。

### 3.3 端末主導による基地局選択の技術課題

無線基地局を選択するために必要となる情報の収集／管理の方式において、集中管理型と分散管理型が考えられるが、前者に関しては、無線基地局側に基地局に関する情報を提供するサーバを導入した異種無線システムの選択方法などが提案されている[2, 1]。

これに対し本稿では、地理的に近接した無線端末間ににおいて、各無線端末上にエージェントを配置し、各端末が現在接続している無線システムの情報をエージェント間で交換しあうことにより、無線基地局を選択する端末主導の分散型基地局選択方式について議論する。本提案方式のメリットは、無線基地局側に特別な仕組みを追加する必要が無いため、既存の無線インフラとの親和性が高い点である。

端末主導による基地局選択を行う際の技術的課題として、(P1)通信量を考慮した端末間の効果的な情報交換技術、(P2)ハンドオフ抑制技術、の2点がある。これらを解決するために、各端末間の協調によりハンドオフの決定を行う手法を提案する。具体的には、(P1)に対しては、端末間の協調動作により生ずる端末間通信量に応じて、プロトコル主導と自律的動作主導とを切替えるプランニング技術により解決する。また(P2)に対しては、ハンドオフ競合による振動現象等で生ずる過度なハンドオフを抑制するための端末の集団的動作制御技術により解決する。

## 4 端末間協調に基づく無線基地局選択法

図3に本方式の概要を示す。各無線端末(以下、端末と略記)は、一つ以上のネットワークアクセス用無線デバイスを備え、利用者が契約する無線事業者の基地局に接続可能である。更に各端末は、基地局を介さずに端末間で直接通信可能な無線デバイスを備え、これを用いて接続中の無線基地局に関する情報を互いに交換可能である。また、各端末に他の端末と協調動作を行う端末間協調エージェント(以下、Agと略記)を配置し、無線デバイスの利用帯域などを取得し、他のAgへ通知する。各Agが、周囲のAgから得られた利用帯域情報を基に、空いている基地局を選択することにより、特定の基地局への集中を回避することが可能となる。

次に、Agの具体的動作手順を示す。

#### (1) 基地局発見フェーズ

ネットワークアクセス用無線デバイスを用いて、利用可能な無線システムと、基地局識別子、電界強度などを取得する。

#### (2) 基地局利用情報収集フェーズ

端末間直接通信用の無線デバイスを用いて、基地局に接続中の端末で稼働しているAgから、接続中の基地局識別子、無線デバイス種別、現在の利用帯域などの基地局利用状況を取得する。このとき、端末間通信の過度な増大を抑止するため、周囲に存在する端末の数、すなわち端末の混み具合に応じて、取得方法を切り替える。具体的には、混み具合が小さい場合は、各端末に対し基地局利用状況を明示的に要求することで詳しい状況を取得するプロトコル主導の協調動作を行い、逆に混み具合が大きい場合は、各端末が定期的に通知する基地局状況を受け取るのみとするなどの、自律的動作主導への切り替えを行う。これは、協調動作をルールセットとして記述し、状況に応じルールセットを適宜切り替えることで協調動作を容易に変更できるというエージェント技術の特徴により実現される。

#### (3) 基地局選択/切り替えフェーズ

(1), (2)において収集した情報を基に、表2に例示する基地局利用状況テーブルを作成し、現在の利用帯域が最大の基地局を選択する。更に基地局に接続後、継続して他のAgからの基地局状況を受け取

表 2: 基地局利用状況テーブルの例

端末識別子	基地局識別子	無線デバイス種別	現在の利用帯域
端末 1	基地局 A	802.11b	2Mbps
端末 2	基地局 A	802.11b	4Mbps
端末 3	基地局 B	802.11a	16Mbps
端末 4	基地局 C	PHS	32Kbps

り、より広い利用帯域が得られる基地局が存在する場合、ハンドオフを行う。ここで、他の Ag からの基地局状況をトリガーとして即座にハンドオフを行うと、多数の端末の同期的なハンドオフが発生し、特定の基地局、特にある端末が接続を終了した基地局へ集中する可能性がある。ある基地局への集中は結果として利用できる帯域幅の減少として Ag に観測され、再び他の基地局へのハンドオフが行われ、これにより振動現象が生じる。そこで本方式では、Ag が切り替え判断を行ってから実際に基地局切り替えを行なうまでランダム時間待機し、その間に他の Ag からの新たな基地局状況を受信した場合、基地局切り替えの是非を再判断することで、この問題を回避する。

#### 4.1 無線端末向けエージェントアーキテクチャ

我々はこれまで、有線ネットワークとデスクトップ端末を対象に、エージェントの組織構成を環境変動に応じて動的に変更することで、システム外部の変動を吸収し安定したサービスを提供するエージェントフレームワークを構築してきた。これは、リポジトリと呼ぶエージェント格納/管理機構をネットワーク上に配置し、利用者用のエージェント動作環境からの要求に応じ必要なエージェントをネットワーク経由で動作環境上に構成/再構成することで実現される[5, 6]。しかし、無線ネットワークにおいては、リポジトリへの接続性を常に確保できるとは限らない。そこで本稿では、個々のエージェントに種々の状況へ対応する知識を予め格納し、これを適宜切り替え可能とする、無線端末向けのエージェントアーキテクチャを新たに導入する(図4)。図4中の協調知識(Cooperation Knowledge:CK)と協調戦略コントローラ(Strategy Controller:SC)が、新たに導入した構成要素

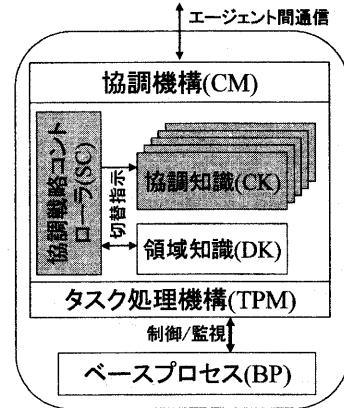


図 4: 無線端末向けエージェントアーキテクチャ

である。以下、本アーキテクチャの各構成要素の概要を述べる。

**ベースプロセス (Base Process:BP)** エージェントが制御する UNIX コマンド、Java クラス、アプリケーション等の既存プロセスである。

#### タスク処理機構 (Task Processing Mechanism:TPM)

エージェントの知識と BP との間のインターフェースを受け持つ。BP を直接起動/制御/監視する機構である。

**協調知識 (Cooperation Knowledge:CK)** エージェント間通信におけるプロトコル処理を行うための知識である。ルールとして記述する。協調知識はエージェント内に複数保持され、通信状況等に応じて最も適した協調知識が選択され、エージェント間

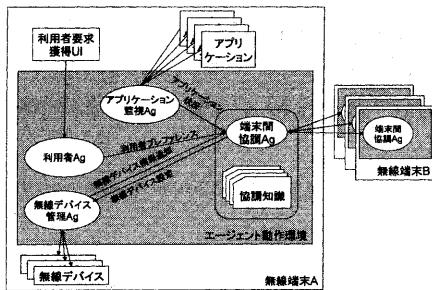


図 5: 無線端末内エージェント構成

の協調動作に用いられる。

#### 協調戦略コントローラ (Strategy Controller:SC)

ルールとして記述された CK を切り替え、異なるプロトコルへ対応する機構である。切り替えのトリガーは、CK からのプロトコルエラーのイベント、または後述の領域知識 (DK) からの指示による。

#### 領域知識 (Domain Knowledge-base:DK) システム

が対象とする領域に関する知識であり、エージェントの行動を決定する。エージェントの行動は(1) 他のエージェントにメッセージを送る、(2) TPM を介し BP の制御を行う、(3) SC を介し CK を切り替える、のいづれかである。

#### 協調機構 (Cooperation Mechanism:CM) ネットワーク

上の他のエージェントと通信を行う機構であり、受信したメッセージを CK へ伝達する。また逆に、CK から伝達されたメッセージを他のエージェントへ送信する。

## 4.2 エージェント構成

図 5 に、提案方式を実現するためのエージェント構成を示す。前述の端末間協調エージェントの機能は、図 5 中の端末間協調 Ag に実装する。アプリケーション監視 Ag、および無線デバイス管理 Ag は、それぞれアプリケーション状況と無線デバイスの監視／制御を行うエージェントであるが、これらは無線端末やアプリケーションに依存するため、端末間協調 Ag から分離している。また利用者 Ag は、利用者がどの無線システムを優先的に利用したいか等の要求を獲得し、他のエージェントが

理解できるメッセージへ変換するために必要なエージェントである。

## 5 実証システム

### 5.1 実証システムの構成

本実証システムでは、扱う携帯端末 (PDA) の全てを実機で構成することが困難であるため、仮想端末と実機を併用する。

100Mbps のスイッチングハブを介してビデオサーバと複数の基地局を接続し、それぞれの基地局の電波の届く範囲に PDA の実機を数台ずつ配置する。また、各基地局に対して 1 台ずつ仮想端末エミュレータを用意し、各エミュレータと仮想端末コントローラを接続する (図 6)。これらの機能を次に述べる。

ビデオサーバは一定のビットレートのストリーミングムービーを提供し、PDA (クライアント) がこの動画の再生を行う。各基地局に接続している PDA の数を仮想的に調節するために、仮想端末エミュレータが基地局とのセッション数を変化させる。このエミュレータの操作は仮想端末コントローラで行う。PDA および仮想端末エミュレータは基地局との通信用の他、端末間通信のための無線インターフェースを備える。配置された全ての端末間で通信が行える状態になっている。

### 5.2 実証シナリオ

一部の無線ネットワークに端末が集中したとき、PDA が基地局を適切に切り替えることで動画像や音声の再生品質を維持することを確かめる。基地局切替を行う場合と行わない場合の動画の品質 (平均フレームレート) を

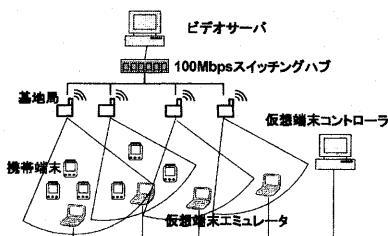


図 6: 実証システムの構成

## 参考文献

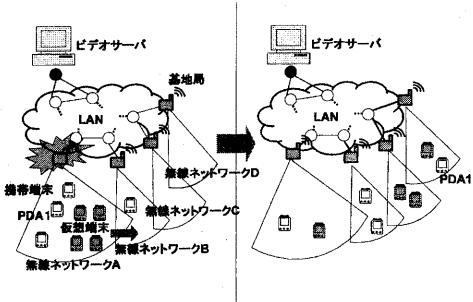


図 7: 実証シナリオ

比較して利用者の視点から評価を行う。実証の手順を以下に示す（図7）。

1. PDA1の利用者が無線ネットワーク A に接続し、動画のストリーミング再生を開始する。このとき利用者は高品質な動画を見ることができている。
2. 無線ネットワーク A に仮想端末を追加することで基地局が混雑する。その結果 PDA1 の動画像や音声が断続する（図7左）。
3. PDA1が無線ネットワークの状況を検知して自動的に基地局を切り替える。この切替によって動画像の品質を維持できることを確認する（図7右）。

現在、本実証システムの設計と実装を進めている。

## 6 むすび

同一エリア内で複数の無線事業者の提供する複数の無線基地局が利用可能である環境下において、トライフィック集中や障害などの問題発生時に、利用可能な基地局を切替え、それらの問題を効果的に回避するためのフレームワークの構築を進めている。本研究では、地理的に近接した無線端末間において、各無線端末上にエージェントを配置し、各端末が現在接続している無線システムの情報をエージェント間で交換しあうことにより、既存インフラに特別な仕組みを用意せず無線基地局を効果的に選択可能とする、端末主導の分散型基地局選択方法を提案した。今後は、実証システムの設計／実装を進め、実験により提案方式の有効性を確認する予定である。

- [1] 太田賢, 吉川貴, 中川智尋, 磯田佳徳, 杉村利明: “アドホックネットワークによるユビキタスインターネットアクセス”, 情報処理学会研究報告 2002-MBL-20-30, pp. 219-224, 2002.
- [2] 森谷優貴, 渥美幸雄: “無線 LAN ホットスポットにおけるマルチキャスト受信者集約方式の提案”, 電子情報通信学会技術報告 NS2002-115, pp. 37-42, 2002.
- [3] N. Shiratori, K. Sugawara, T. Kinoshita, and G. Chakraborty, “Flexible Networks: Basic Concepts and Architecture”, IEICE Trans. Commun., Vol.E77-B, No.11, pp.1287-1294, 1994.
- [4] N. Shiratori, T. Suganuma, S. Sugiura, G. Chakraborty, K. Sugawara, T. Kinoshita, and E.S. Lee, “Framework of a flexible computer communication network”, Computer Communications, Vol.19, pp.1268-1275, 1996.
- [5] 藤田 茂, 菅原 研次, 木下 哲男, 白鳥 則郎: 分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.5, pp.840-852, (1996).
- [6] S. Fujita, H. Hara, K. Sugawara, T. Kinoshita and N. Shiratori: Agent-Based Design Model of Adaptive Distributed System, Applied Intelligence, Vol.9, No.1, pp.57-70, (1998).
- [7] 菅沼 拓夫, 北形 元, 加藤貴司, 白鳥 則郎: “無線ネットワークにおけるNever Die Network サービス機構の構成”, 電子情報通信学総合国大会講演論文集, 2003.
- [8] 永井 克幸, 北形 元, 菅沼 拓夫, 白鳥 則郎, 小野 良司, 黒田 正博: “ストレス耐性ワイヤレスサービスにおける基地局選択法(1) —マルチエージェントに基づく端末間協調—”, 電子情報通信学総合国大会講演論文集, 2003.
- [9] 松島 悠, 北形 元, 菅沼 拓夫, 白鳥 則郎, 小野 良司, 黒田 正博: “ストレス耐性ワイヤレスサービスにおける基地局選択法(2) —実証システムの構成—”, 電子情報通信学総合国大会講演論文集, 2003.