

# 移動透過通信支援のための ネットワーク情報収集システムの実装

王 博丞†, 近堂 徹‡, 大東 俊博‡, 岸場 清悟‡, 相原 玲二‡

移動端末や 3G、LTE などの広帯域通信メディアの普及に伴い、複数のアクセス回線を選択しながら適切なネットワークを継続的に利用できることが望まれている。本研究では、移動透過通信機能を有する端末に対し、ハンドオーバー時に利用可能なネットワーク情報をリアルタイムに提供することを目的とした支援システムについて述べる。利用可能なネットワーク情報を収集するために、移動端末に無線ネットワーク情報を収集し、情報収集サーバにアップロードする機能を持たせる。情報収集サーバはそれらの情報をもとに利用可能ネットワークのエリアを推定する。さらに移動端末からの問合せに対し、ネットワークの電波強度などの通信状態を提供することで、移動端末のネットワーク発見を支援する。本稿では、プロトタイプシステムの実装とそれを用いた性能評価実験を行い、移動透過通信処理における本システムの有効性について検証する。

## Implementation of Information Collection System on Wireless Networks for IP Mobility Support

Bocheng Wang†, Tohru Kondo‡, Toshihiro Ohigashi‡, Seigo Kishiba‡, Reiji Aibara‡

Mobile users require to communicate anywhere while selecting the suitable communication media because of the spread deployment of wideband networks such as 3G, LTE and Wi-Fi network. The purpose of this paper is to propose an Information collection system of wireless networks, which is able to provide available network information for mobile nodes.

The proposed system is able to guess network available areas using individual network information which is collected from numerous mobile nodes. In this paper, we implemented the prototype system and verify its effectiveness for IP mobility..

### 1. はじめに

スマートフォンやタブレット等のネットワーク通信機能を有する移動端末の急速な普及に伴い、これらによる通信量が増加している。特に最近では、人が集中する公衆スペースやイベント会場などで多数の端末がひとつの基地局に集中し、通信ができない状態が断続的に発生することも少なくない。このような携帯電話網（アクセス回線）におけるインターネット接続の混雑を軽減することを目的として、通信キャリアによる公衆無線 LAN（Wi-Fi スポット）の整備が進んでいる[1]。これは公衆無線 LAN を活用することで、携帯電話網でのトラフィック集中を回避（トラフィックオフロード）し、利用者への安定したサービス提供を目指したものである。

その一方、通信メディアが多様化するなかで、Wi-Fi や第 3 世代移動通信（3G）ネットワーク、WiMAX、LTE(Long Term Evolution)などの複数の通信メディアを切り替えながら継続的に通信を行う移動透過通信への要求が高まりつつある。移動透過通信とは移動端末に対して現在の接続ネットワークにかかわらず常に固定的な識別子によって識別され、接続ネットワークが変更されても、通信が継続できることを

いう。このような場合、利用者が場所や時間によって変化する利用可能な通信メディアやその品質に応じて、適切な通信メディアを選択しながらネットワークを継続的に利用できることが望まれる。

ネットワーク情報の収集を目的として、スマートフォンを利用したアクセス回線やアクセスポイントの接続性や通信状態を収集、提示する研究が行われている。披田野らの研究[2]では、Wi-Fi へのトラフィックオフロード対応を目的とした 3G 等のモバイル回線の通信品質計測について提案が行われている。また、北口らの研究[3]では、3G や W-Fi を含むスマートフォンの位置情報を基に、周辺に存在するアクセス回線情報を提供し、ユーザ間で品質情報を共有する仕組みが提案されている。これらの研究はネットワークに接続した状態での電波状況や通信品質を測定しながらデータ収集を行うことを前提としたものである。

本研究では、移動透過通信機能を有する端末が複数ネットワークを継続的に移動しながら通信を行う場合を想定し、切り替える通信メディアを決める指標のひとつとして、利用可能なネットワークをリアルタイムに提供するための支援システム（以下、本システム）について述べる。各端末が自律分散的に利用可能なアクセスポイント情報を収集し、それらを集約することで電波強度や通信可能エリアを推測する。その結果を移動端末からの要求に応じて提供することで、ハンドオーバー時の接続ネットワークをあらかじめ端

† 広島大学 大学院 総合科学研究科  
Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University  
‡ 広島大学 情報メディア教育研究センター  
Information Media Center, Hiroshima University

末が把握することを目的とする。

本稿の構成は以下の通りである。2 章では移動透過通信の概要について説明し、ハンドオーバー処理におけるインターネット接続状況把握の必要性について述べる。3 章では提案システムについて、4 章では実装について説明する。そして、5 章では実装したシステムを用いた性能評価について示す。多数の移動端末を想定した場合の処理負荷やハンドオフ時の途絶時間に関する比較評価から、本提案システムの有効性について述べる。

## 2. 移動透過通信技術

### 2.1. 移動透過通信の概要

モバイル端末や公衆無線インフラなど、ネットワーク環境の整備普及に伴い、ネットワーク移動における通信途絶や切断に対する解決策として移動透過技術が研究、開発されてきている。IP 層での移動透過通信技術としては、Mobile IP[4]や MAT[5], Mobile PPC[6]などが提案され、切り替え（ハンドオーバー）時の途絶時間を短縮するための試みもなされている。

ハンドオーバーに係る処理はそれぞれの方式により異なるが、シングルインタフェースの場合、おおよそ以下の手順となる。まず、端末の移動に伴い、ネットワークを一旦切断して近隣のネットワークを探索する。その後見つかったネットワークの中から、通信で利用するネットワークへ接続し、IP アドレス付与等の処理が行われる。その後、IP 移動透過通信プロトコルによる切替え処理が行われることで一連のハンドオーバーが完了する。文献[7]では、ネットワークのアクセスポイント探索および接続処理には約 60～400 ミリ秒、IP アドレスの取得処理には約 2～5 秒となることが示されており、そのあとに切替え処理が必要となる。

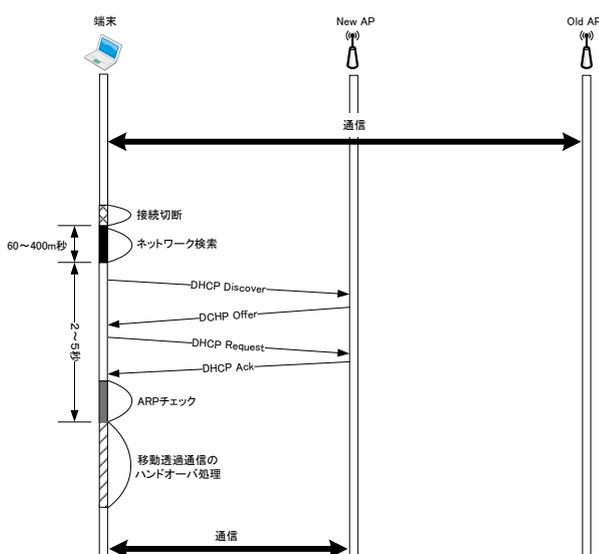


図1. ハンドオーバー処理シーケンス

なお、複数インタフェースを利用する場合は、ネットワーク探索から接続を未使用のインタフェースで行うことで、途絶時間を最小化することができる。

### 2.2. インターネット接続状況把握の必要性

前節に示した通り、移動透過通信では切替え時の途絶時間を如何にして短くし、処理のオーバーヘッドを削減するかが重要となる。移動端末の周辺で利用できるネットワーク情報や移動先ネットワークの接続品質等の情報が事前に把握でき、切替え処理の一部を事前に行うことができれば、効率的にハンドオーバー処理を行うことも可能となる。

## 3. 移動透過通信支援のための情報収集システム

### 3.1. システム概要

前節に示した通り、移動透過通信では切替え時の途絶時間を如何にして短くし、処理のオーバーヘッドを削減するかが重要となる。

本研究で述べる移動透過通信を支援するためのシステムでは、幅広い地域に存在する無線ネットワークの情報を事前に収集し、それに応じて通信可能範囲を推測したうえで、その情報を移動端末に提供することを考える。

### 3.2. 情報収集端末

情報収集端末（以下、端末）は、自身の位置情報とともに無線インタフェースで取得できるネットワーク情報をサーバにアップロードする。本研究では、情報収集の利便性を考えた上で、現在一般的に普及しているスマートフォンやタブレットなどに専用アプリケーションをインストールして利用することを提案する。

処理の流れは次の通りである。端末にインストールされたアプリケーションは、任意の時間間隔で無線インタフェースの情報を取得する。時間間隔はバッテリー消費等を考慮し、プログラムで修正できる必要がある。収集する情報としては、Wi-Fi アクセスポイントの SSID と電波強度、3G や LTE などのアクセス回線情報を対象としているが、今回は Wi-Fi 情報に対象を絞った収集を行う。一定周期で取得した Wi-Fi 情報は、https プロトコルで情報収集サーバへアップロードする。専用アプリケーションにはネットワーク及びサーバへの接続性をテストする機能を用意し、ネットワークに接続されている場所では取得した情報を直接サーバにアップロードし、ネットワークに接続されていない場所では端末のストレージ領域に一時的に保存し、再びネットワーク接続を検出した際に、保存された情報を一括してアップロードする。

### 3.3. 情報収集サーバのデータベース構造

情報収集サーバへ収集した情報から各 Wi-Fi ネットワークの利用可能エリアを予測することで、移動端末からの問合せに対してエリア情報を即座に提供する。このために、サーバでは 2 種類のデータベースを持つ。蓄積情報データベース（蓄積 DB）では端末からのデータを逐次保存する。推測情報データベース（推測 DB）では蓄積 DB に保存され

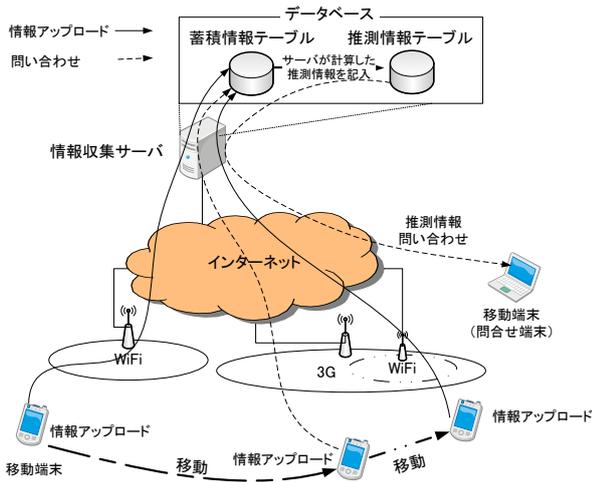


図 2. システム構成図

たデータを、端末からの問い合わせに対して高速に返答できるようにデータを圧縮した形で保存する。以下にそれぞれについて説明する。

① 蓄積情報データベース (蓄積 DB)

蓄積 DB は情報収集端末からアップロードされたデータの保存場所となる。全てのデータが一度この DB に格納され、3.4 節で述べるエリア推定プログラムによって接続可能エリアの推測処理を行う場所に利用される。保存されたデータはサーバの設定より保存時間が調整できる。蓄積 DB の構造は表 1 に示す通りである。

② 推測情報データベース (推測 DB)

推測 DB は、サーバが推測処理を実施した結果の保存場所となる。推測 DB の構造を表 2 に示す。この保存データを用いて、端末からの問い合わせに対してエリア情報を返答する。推測 DB のデータは、推測処理が行われるごとに以前のデータを削除し、新しいデータに差し替えられる。詳細については 3.4 節で説明する。

表 1. 蓄積情報データベース構造

フィールド	型	意味
BSSID	Text	Wi-Fi アクセスポイント(AP)の識別情報。基本的には AP の MAC アドレス
SSID	Text	ブロードキャストされる Wi-Fi 名称
Level	Integer	受信信号強度(RSSI)値。単位は dBm
Latitude	Double	緯度。単位は度 (小数点第 6 位)
Longitude	Double	経度。単位は度 (小数点第 6 位)
DateTime	DateTime	情報を取得した時点の時刻情報 [形式] YYYY-MM-DD hh:mm:ss
Location State	Integer	情報の取得方式。Wi-Fi ロケーションサービスの場合: 0, GPS の場合: 1

表 2. 推測情報データベース構造

フィールド	型	意味
BSSID	Text	Wi-Fi アクセスポイント(AP)の識別情報。基本的には AP の MAC アドレス
SSID	Text	ブロードキャストされる Wi-Fi 名称
PointsSet	Text	囲まれた多角形の通信可能範囲の頂点の経度・緯度情報の集合 [形式] (Latitude1,Longitude1;...Latitude4,Longitude4)
CenterPoint	Text	通信可能範囲の中心点の経度・緯度 [形式] (Latitude, Longitude)
DateTime	DateTime	情報を取得した時点の時刻情報 [形式] YYYY-MM-DD hh:mm:ss

3.4. 利用可能エリア推定

前節で示す通り、本システムでは、蓄積 DB に保存されたデータから利用可能エリアを推定し、その結果を推測 DB に保存する。通信に使用する無線周波数や利用目的により最適な利用可能エリア推定アルゴリズムは変わるが、今回は四角形のエリア推定アルゴリズムの設計を行った。以下にアルゴリズムについて説明する。

まず一定時間内にアップロードされた同一 BSSID の情報を蓄積 DB から検索し、RSSI (Received Signal Strength Indication: 受信電波強度)が閾値以上のものを抽出する。閾値を設定することで、一定の電波強度以上の情報のみを利用し、接続時の品質劣化を防ぐ。なお今回は、1 ヶ月以内にアップロードされた情報、および RSSI の閾値を -70dBm に設定して抽出処理を行うようにした。その後、抽出したレコードの緯度・経度を互いに比較する。経度と緯度それぞれについて最大値と最小値を求め、その結果を組み合わせることで四角形の座標を計算し、それらの点を頂点にした矩形の範囲に含まれる座標をすべて利用可能エリアと判断する。計算例を図示したものを図 3 に示す。

なお、推測計算処理は任意の時間間隔で行うことができるが、今回は 1 時間毎に計算を行うように設定した。

3.5. 端末からの問い合わせ処理

端末からの問い合わせ処理は、Web サービスとして https のクエリに適切なパラメータを設定して問い合わせを行うことができるように設計した。

処理手順は以下の通りである。端末は、インターネットが接続できる環境で自身の中心位置情報と検索半径 (単位: m) をキーとして、https のプロトコルでサーバにクエリを送信する。サーバは送られてきたキーを検索条件に推測 DB を検索し、該当範囲に含まれた Wi-Fi の接続可能エリアや電波強度と BSSID の情報を含む XML ファイル [8] を生成し、利用者へ返信する。端末は XML ファイルを受信、パースすることで設定した範囲内の利用可能ネットワーク情報

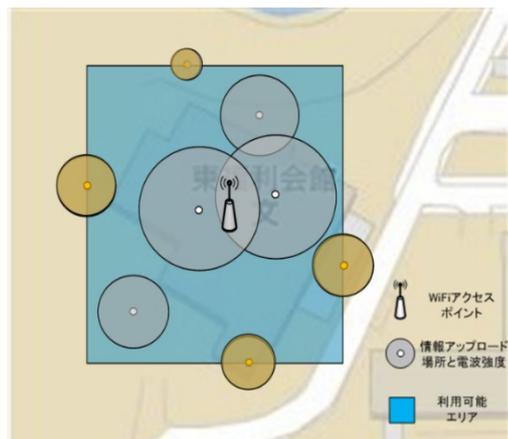


図 3. エリア推測処理の計算例

が取得できる。

本システムでは、XML ファイルで端末へ返送するほか、Google MAP API[9] を利用した地図上への表示にも対応している。

#### 4. システム実装

前節で示した情報収集端末および情報収集サーバの実装について述べる。端末にインストールする情報収集アプリケーションは Android アプリケーションとして実装した。原稿執筆時点ではバージョン 3.2 系および 4.0 系に対応し、実際に動作確認が取れている機種を表 3 に示す。

情報収集サーバは Linux 上の LAMP 環境に構築した。データベースには MySQL を利用し、蓄積 DB テーブルと推測 DB テーブルを同一サーバ上に構築している。その上で、推測計算を行うプログラムを Java で実装している。情報収集サーバのスペックおよび開発環境について表 4 に示す。

表 3. 動作検証を行った端末機種一覧

機種名	バージョン
TOSHIBA REGZA Tablet AT3S0	Android 3.2.1
TOSHIBA REGZA Tablet AT570	Android 4.0.3
Lenovo A1 2228-3CJ	Android 2.3.4
Google Nexus7	Android 4.2

表 4. 実装に利用したサーバの機器仕様

項目	仕様
CPU	Intel Pentium 4 3.60GHz
メモリ	2GB
OS	CentOS 5.6 (Kernel 2.6.18-274.18.1.el5)
DB	MySQL (Ver.14.14 Distrib 5.5.16)
Java	JDS 1.7.0_05JRE 1.7.0_05-b06

#### 5. 性能評価

多数の端末に対して安定的にサーバを運用するために、アップロード要求の負荷集中に対する耐性や推測処理負荷を把握しておくことが重要となる。そこで本章では、多数の移動端末をエミュレートした実験環境を用意し、実装した情報収集サーバに対する性能評価について述べる。

##### 5.1 アップロード処理性能測定

端末数の増加に伴うサーバのアップロード処理性能を明らかにするために、端末数とアップロード成功率の関係について調べた。

実験環境を図 4、使用した機器を表 5 に示す。3.2 節で示した収集アプリケーションを実験 PC 内部で複数プロセス起動するように修正し、複数の端末をシミュレートできるようにしている。性能評価では、定義した地図上を各端末が独立して移動するシナリオを用いる。図 5 に評価で用いる AP 設置マップを示す。このマップは 280 平方メートルの地域に 20 台の AP を設置し、マルチ SSID 等により、異なる 45 の BSSID/ESSID が設定されているケースを想定している。このエリアを 20x20 の枠で分割し（各枠の横・縦約 14 メートル）、AP の中心（番号が書かれているマス目）から図 6 で示す電波強度となるよう定義した。なお、実際にシミュレータで決定する RSSI は想定値の範囲内でランダムに決定する。

測定方法は以下の通りである。ランダムで初期位置が決められた移動端末について 3 秒毎に移動判定を行う。この判定では、各端末は 1/2 の確率で同じマス目に留まるか、上下左右に移動する。移動になった場合の方向についてはランダムに決定する。移動後に到着した枠の Wi-Fi 情報をアップロードする。複数の AP 情報が発見された場合はすべての情報をアップロードする。そして、アップロード動作での成功・失敗とアップロード処理が完了するまでの時間を記録する。これを 15 分間実施することを 1 回の測定とした。端末数を 10 台、20 台、50 台、100 台、200 台、500 台と設定し、それぞれについて 4 回測定を行った。

表 5. 評価実験に使用した機器仕様

	情報収集サーバ	実験 PC
CPU	Intel Pentium4 3.60GHz	Intel Corei5 2.40GHz
メモリ	2GB	8GB
OS	CentOS 5.6 (2.6.18-27.4.1.8.1.el5)	Windows 7 Ultimate 64bit

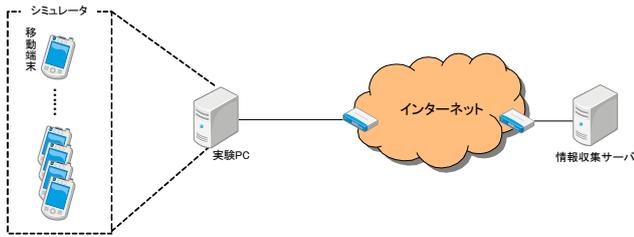


図 4. 実験構成図

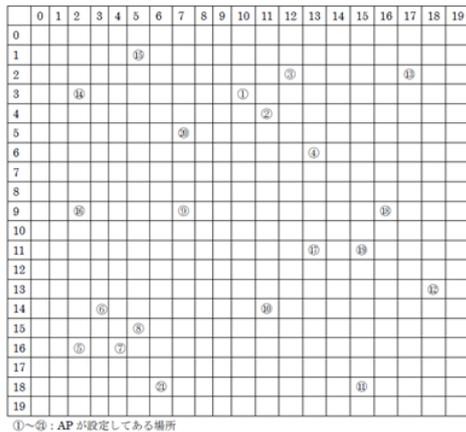


図 5. シミュレーションにおける AP 配置

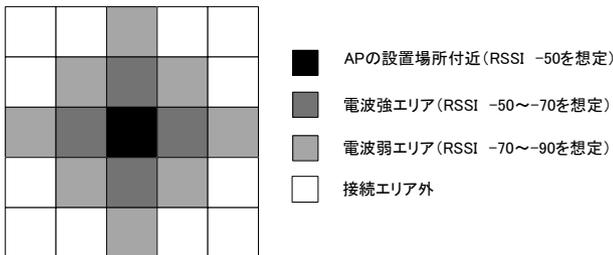


図 6. AP の電波強度とエリアの設定

実験結果を図 7 に示す。横軸は端末数、縦軸は端末あたりの平均成功率を表している。この結果から、100 台未満の場合はほぼ 100% のアップロード成功率となっている。100 台を超えると成功率が低下してくるが、この理由は大きく分けて 2 つ考えられる。ひとつめはサーバの処理負荷が影響していること、ふたつめは実験用 PC の負荷の影響である。今回の実験では、1 台の実験用 PC でマルチスレッドにより 100 台以上の移動端末をエミュレートしているため、実験用 PC にも大きな負荷がかかっていることが予想される。これについては、複数台の実験 PC を用意して、より負荷のかからない状態での計測を行う必要がある。

### 5.2 推測処理性能測定

次にサーバ側での推測処理性能について調べる。この実験では、5.1 節の実験にて蓄積されたデータに対してサーバで推測計算を行う場合の処理性能について調べた。実験では、45 個の SSID に関する蓄積情報がデータベース内に

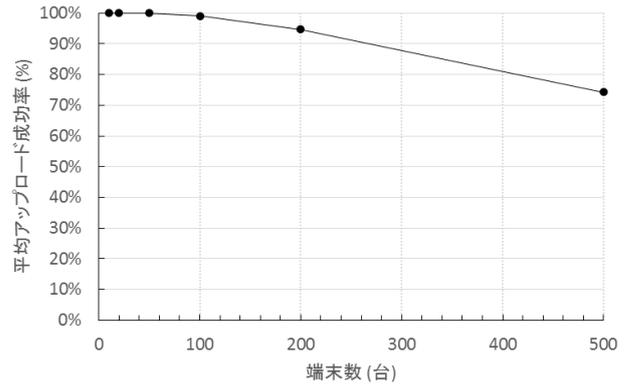


図 7. 端末数と平均アップロード成功率

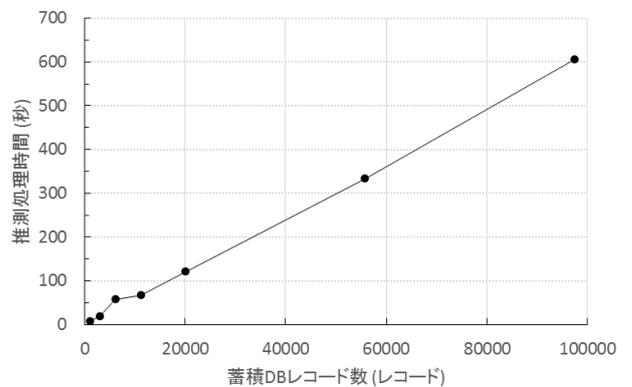


図 8. 推測処理時間の変化

格納された状態で、レコード数が 1000 から 97000 まで変化したときの推測計算に要する時間を求めた。

実験結果を図 8 に示す。この結果から、レコード数の増加に比例して推測処理に時間を要しており、97000 レコードのときにおおよそ 10 分かかっていることがわかる。これは今回用いたアルゴリズムが、単純比較による範囲計算を行っているためであり、より効率的なアルゴリズムの実装のほか、推測計算の分散化を行うことで、より短い時間での推測が可能になると考えられる。

### 5.3 ハンドオーバー処理における有効性に関する評価

本システムの性能と効果を把握するため、端末がアクセスポイントを切り替えるときの通信切断時間（切替時間）について考察を行う。各アクセスポイントが異なるネットワークであることを前提とすると、移動端末がアクセスポイントに接続する時間は、利用可能なネットワークの検索時間と接続時間（IP アドレスの取得を含む）であり、ここではそれぞれ 6 秒、2 秒と仮定した。本システムを利用した場合、ネットワーク検索時間が不要となるため、接続時間を 2 秒とした。この条件でシミュレーションを行い、各移動端末がネットワークに接続している時間を求め、全移動端末で平均した結果を図 9 に示す。理想的なハンドオー

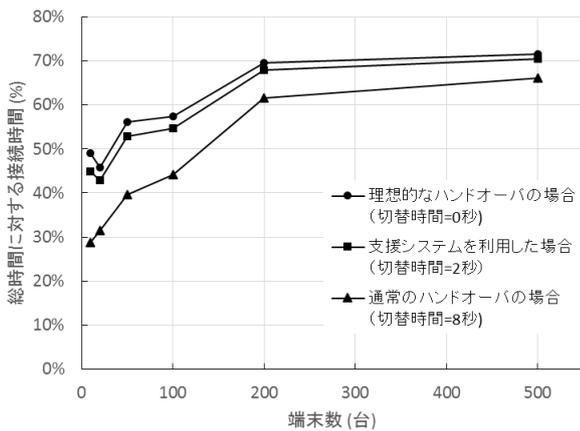


図9. 総実験時間に対する接続時間の割合

バの場合、支援システムを利用した場合、通常のハンドオーバーの場合を示している。アクセスポイントを切り替える際の切替時間は、それぞれ0秒、2秒、8秒としている。

## 6. 終わりに

本研究では、移動透過通信機能を有する端末が複数のアクセス回線を切り替えながら継続的通信を行う場合を想定し、切り替える通信メディアを決める指標のひとつとして、利用可能なネットワークをリアルタイムに提供するための支援システムについて述べた。プロトタイプシステムの実装では、情報収集アプリケーションとして Android で動作するアプリケーションと LAMP 環境で動作する情報収集・推測プログラムを構築した。性能評価では、サーバの処理負荷について調べるとともに、本システムが移動透過通信にもたらすメリットについて調べた。ハンドオーバー時の接続ネットワークをあらかじめ端末側で把握することで、切り替え時に発生するネットワーク発見時間を省略し、途絶時間を軽減することが可能であることを示した。

今後の課題としては、本システムの有効性を示すため、移動端末がアクセスポイントを切り替える際の利用可能ネットワーク検索時間と接続時間について詳細な調査が必要である。また、多数の移動端末の情報を収集し、推測処理を行うため、多数収集サーバの分散化について検討する必要がある。

**謝辞** 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費助成金基盤研究(B)(課題番号 23300026)および基盤研究(C)(課題番号 24500083)の助成を受けたものである。

## 参考文献

[1] 総務省, “無線 LAN ビジネス研究報告書”, [http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/kenkyu/lan/index.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/lan/index.html)

[2] 披田野千絵, 山本寛, 阿野茂浩, 山崎克之, “スマートフォンによる動的な通信品質計測方法の提案と Wi-Fi へのトラフィックオフロード対応の検討”, 電子情報通信学会研究報告, IEIC E-IA2012-33, pp.35-40, 2012

[3] 北口善明, 永見健一, 菊池豊, “スマートフォンにおけるアクセス回線の品質情報共有”, 電子情報通信学会研究報告, IE

ICE-IA2012-21, pp.53-58, 2012

[4] C. Perkins, “IP Mobility Support for IPv4”, RFC5944, <http://tools.ietf.org/html/rfc5944>.

[5] 相原玲二, 藤田貴大, 前田香織, 野村嘉洋, “アドレス変換方式による移動透過性インターネットアーキテクチャ”, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3889-3897, 2002

[6] 竹内元規, 鈴木秀和, 渡邊晃, “モバイル端末の移動透過性を実現する MobilePPC の提案と実装”, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3244-3257, 2006

[7] Arunesh Mishra and Minh Shin and William Arbaugh, “An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process”, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol.33 Issue 2, pp93-102, April 2003.

[8] W3C, XML document, <http://www.w3.org/TR/xml11/>

[9] Google, Inc, Google MAP API, <https://developers.google.com/map/>