

# モバイルデータオフローディングプロトコル(MDOP)の 提案

西岡 哲朗<sup>1</sup> 木谷 友哉<sup>1</sup> 太田 剛<sup>1</sup> 峰野 博史<sup>1</sup>

概要：近年の様々なモバイル端末の普及によって、携帯電話回線の基地局を使うモバイルデータ通信の需要が急激に増加しており、今後も継続してモバイルデータ通信の需要は指数関数的に増加すると予想される。携帯電話キャリアは Wi-Fi アクセスポイントを公共施設などに設置することでモバイルデータ通信量を固定回線へと迂回させてモバイルデータオフローディングを行っているが、Wi-Fi アクセスポイントの接続可能範囲が狭く、屋外など Wi-Fi アクセスポイントから離れたモバイル端末はオフローディングの対象に含まれない。そこで遅延耐性のあるモバイルデータを対象とし、遅延耐性通信 (DTN:Delay Tolerant Network) を用いてモバイルデータオフローディングを実現するモバイルデータオフローディングプロトコル (MDOP:Mobile Data Offloading Protocol) を提案する。MDOP はモバイルデータ通信の負荷を通信路、空間、時間の三つの次元で分散する特徴を持ち、それぞれ時間的オフローディング、空間的オフローディング、通信路的オフローディングを実現する。本稿では、移動端末や基地局の状況に応じてどのように各オフローディング手法を切り替えるかを検討した。

## A proposal of Mobile Data Offloading Protocol

TETSUROU NISHIOKA<sup>1</sup> TOMOYA KITANI<sup>1</sup> TSUYOSHI OHTA<sup>1</sup> HIROSHI MINENO<sup>1</sup>

### 1. はじめに

昨今のスマートフォンの普及やウェアラブルデバイスや高度交通システム (ITS: Intelligent Transportation System) などの M2M システムの普及で、携帯電話回線の基地局 (モバイルデータ通信基地局) を介したモバイルデータ通信の需要は高まる一方である。モバイルデータ通信量は今後 2018 年に 2013 年の 13 倍に達するという試算が公表 [1] されているなど、モバイルデータ通信量の負荷分散 (モバイルデータオフローディング) は必須である。

モバイルデータ通信量は、時間と場所に応じて集中する局所性を持っていると考える。時間における局所性とは特定の時間にモバイルデータ通信の需要が急激に高まることを指し、場所における局所性とは、ユーザが特定の場所に集中し、一部のモバイルデータ通信基地局の需要が急激に高まることを指す。以降、それぞれを時間的局所性、空間的局所性として定義する。例えばある期間においてイベントが開催されユーザ端末 (UE: User Equipment) が一箇所に

に密集した場合は、時間的局所性としてイベントを開催している時間帯、また空間的局所性として開催地周辺におけるモバイルデータ通信の需要が高まる。モバイルデータ通信の時間的局所性、空間的局所性が著しい場合にはモバイルデータ通信基地局の負荷が極度に高まり、ユーザの通信を妨げる恐れがある。

これまでのモバイルデータ通信をオフローディングする手法 (モバイルデータオフローディング手法) の例として、店舗等に Wi-Fi アクセスポイント (Wi-Fi AP) を設置し、モバイルデータ通信網での通信を固定通信網へ迂回させる手法が一般的である。しかし一台の Wi-Fi AP が通信できる範囲は狭いため、屋外など Wi-Fi AP の通信範囲外にいる UE にはオフローディングが適用されてこなかった。

更に広い範囲をオフローディングの対象とするための手段として遅延耐性通信 (DTN: Delay Tolerant Network) の利用が挙げられる。DTN はデータを送信する UE が一時的にデータを蓄積し、送信時刻を遅延させる通信手法である。そこで DTN による送信時刻の制御を用いて、データの通信によるモバイルデータ通信量の削減、及び時間的、

<sup>1</sup> 静岡大学 大学院 情報学研究科

空間的局所性を解消するモバイルデータオフローディング  
プロトコル (MDOP: Mobile Data Offloading Protocol) を  
提案する。

## 2. 関連技術及び研究

### 2.1 ネットワークの自動選択を用いるモバイルデータ オフローディング

文献 [4] はネットワーク選択技術である ANDSF (Access Network Discovery and Selection Function)[2] と Wi-Fi AP の規格である Passpoint[3] を統合する手法を提案している。

ANDSF は UE やネットワークの状態に基づいて、UE が接続するネットワークを選択する手法である。まず UE は接続するネットワークを選択するために UE\_Location という UE の状態を表す情報を ANDSF サーバへ送信する。ANDSF サーバは UE から受信した UE\_Location に基づいて、UE がネットワークを選択するための情報を UE へ送信する。UE は ANDSF サーバから受信した情報に基づいて接続するネットワークを選択する。UE\_Location には下記の情報が含まれる。

- 地理的な位置情報 (緯度, 経度)
- UE が接続しているネットワーク (接続しているモバイルデータ通信基地局の識別子)

また ANDSF サーバから UE に送信される情報には下記の 3 つの情報が含まれる。 [5].

- Access Network Discovery Information (ANDI)
- Inter-System Routing Policy (ISRP)
- Inter-System Mobility Policy (ISMP)

ANDI は UE が ANDSF サーバに提供した位置情報から Wi-Fi AP の位置情報や接続に必要な認証情報を含む。また ISRP と ISMP はそれぞれ UE が接続するネットワークを選ぶためのネットワーク選択ポリシーである。UE はネットワークポリシーに従って、接続すべきネットワークをモバイルデータ通信や固定回線通信から選択する。ISRP は時間と場所に応じて接続すべきネットワークが定められている。一方、ISMP はデータなどのデータ種類に応じて個々のトラフィックが使用するネットワークを定めるネットワーク選択ポリシーである。

Passpoint[3] は UE が接続すべき Wi-Fi AP の選択と接続処理を自動で行う制御方式であり、Wi-Fi Alliance によって定義されている。そのためユーザは手動で UE を Wi-Fi AP に接続させる必要がなく、UE が Passpoint 対応の Wi-Fi AP の通信可能エリア内に入るだけで Wi-Fi AP に自動接続される。

ANDSF と Passpoint を統合することで、UE は Wi-Fi AP を含む様々なネットワークの中へ自動的に接続することができる。そのためユーザが意識することなくモバイルデータオフローディングが可能である。一方で、コンテン

ツが遅延を許容する場合などは考慮されていない。

### 2.2 DTN を用いるモバイルデータオフローディング

モバイルデータ通信と Wi-Fi AP の併用に加え、リアルタイム性を要求しないデータに対しては DTN を適用することが可能である。DTN では送信先となるデバイスと通信できない間はデータをストレージに一旦蓄積し、送信先のデバイスとの通信が可能になるときにデータを送信する。そのためデータを一旦蓄積することで、通信路が一時的に断絶されている場合でもデータを送信できるという特徴をもつ。特にデータを蓄積したデバイスの移動を利用して物理的にデータを運搬し、送信先デバイスに遭遇する際にデータを送信する蓄積運搬型転送 (Store-Carry-Forward) の研究はこれまで盛んに行われてきた。人や車による移動性を蓄積運搬型転送に適用すれば、モバイルデータ通信を使用しないデータ通信が可能である。以下に DTN を用いたモバイルデータオフローディングの先行研究例を示す。

MADNet[6] は蓄積運搬型転送を用いて、データを近隣の Wi-Fi AP まで運搬、通信することで、モバイルデータオフローディングを行う研究である。UE がデータのアップロードを行う際には UE の移動性を用いて Wi-Fi AP までデータを運搬し、Wi-Fi を用いてデータのアップロードを行う。UE の移動性がない場合はモバイルデータ通信を用いて直ちにデータをアップロードする。一方、UE がデータをダウンロードする場合は MADNet が UE の近隣にある Wi-Fi AP の候補をユーザに提示し、データをダウンロードするのに用いる Wi-Fi AP (Pickup point) をユーザが指定する。Pickup point として指定された Wi-Fi AP にはデータが予めダウンロードされ、後に UE が Pickup point へ移動すればデータが UE に Wi-Fi を用いてダウンロードされる。MADNet ではユーザがデータをダウンロードするのに用いる Wi-Fi AP を選ぶ一方、UE の移動経路情報を用いて自動的に Wi-Fi AP を選択する方法はとられていない。

文献 [7] ではデータの生存時間 (TTL: Time To Live) を考慮し、データを送信する通信路として DTN とモバイルデータ通信を切り替える手法を提案している。データは基本的に DTN で通信が行われるが、TTL で指定された時間が経過するとモバイルデータ通信を用いてデータを通信する。文献 [8] は基地局の負荷とデータの優先度に応じて、優先度の低いモバイルデータ通信を遅延させるモバイルデータオフローディングを提案している。更に基地局の負荷を取得する方法として、基地局の負荷情報をリアルタイムに取得する手法と、過去の基地局の負荷情報をモデル化したものを用いる手法の 2 つを提案している。基地局の負荷情報をリアルタイムに取得する手法では、基地局から頻繁に負荷情報を取得するためモバイルデータ通信を圧迫してしまうデメリットがある。一方、過去の基地局の負荷

表 1 関連研究

| 方式名                | 固定回線へ迂回 | データ QoS 考慮 | 基地局負荷考慮 | 遅延耐性 |
|--------------------|---------|------------|---------|------|
| ANDSF&Hotspot[4]   | ○       | ○          | ○       | -    |
| MADNet[6]          | ○       | -          | -       | ○    |
| Mayer, C et al.[7] | ○       | -          | -       | ○    |
| Paul et al.[8]     | -       | ○          | ○       | ○    |
| MDOP               | ○       | ○          | ○       | ○    |

情報をモデル化したものを用いる手法では、基地局の過去の負荷情報から平日同士では時刻ごとの負荷が類似している特徴があることが分かり、リアルタイム負荷情報を取得することなく基地局負荷情報の推定が可能である。ただしモデル化した基地局負荷情報を用いる手法は、リアルタイムに基地局の負荷情報を取得する場合よりも負荷情報の正確さが劣る。

以上に挙げた関連研究を表 1 にまとめる。

### 3. MDOP

#### 3.1 概要

モバイルデータ通信の全体量の削減、及びモバイルデータ通信量の時間的、空間的局所性を解消するためにモバイルデータオフローディングプロトコル (MDOP: Mobile Data Offloading Protocol) を提案する。図 1 に MDOP のアーキテクチャを示す。

MDOP はアプリケーション層の直下に位置し、アプリケーション層から受け取ったコンテンツのうち遅延を許容するものを対象としたモバイルデータオフローディングを行う。オフローディングには DTN を利用し、コンテンツが許容できる遅延の範囲内でコンテンツを蓄積する。遅延を許容するコンテンツにはコンテンツを生成したアプリケーションが宛先到着の期限である許容遅延時間を指定する。指定された許容遅延時間に基づいて、MDOP はモバイルデータ通信量の削減を行う通信路的オフローディングと、空間及び時間的局所性を低減する時間的、空間的オフローディングを行い、モバイルデータ通信の負荷を通信路、空間、時間の三次元 (3D) 的に分散する。

今回は DTN として他 UE へのマルチホップ通信を行わない単純な蓄積運搬を用いる場合を想定するが、将来的には様々な DTN ルーティングプロトコルと連携する方針である。

#### 3.2 動作概要

図 2 に示すように、MDOP が動作する構成として UE、コンテンツサーバ、MDOP サーバの 3 つの要素が必要となる。

UE はアプリケーションの要求に応じてコンテンツをコンテンツサーバと送受信する。UE がコンテンツをコンテンツサーバへ送信する際、UE は MDOP サーバから制御情報を取得し、送信するコンテンツに対して通信路・通信

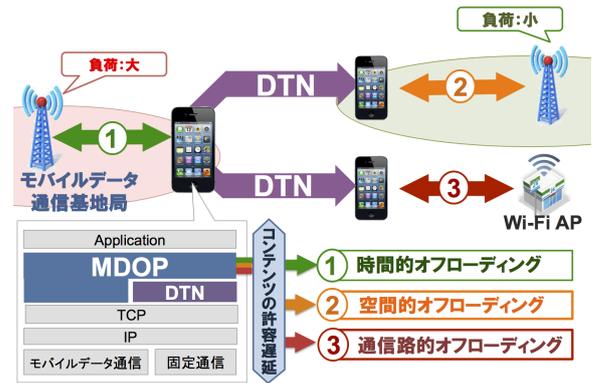


図 1 MDOP のアーキテクチャ

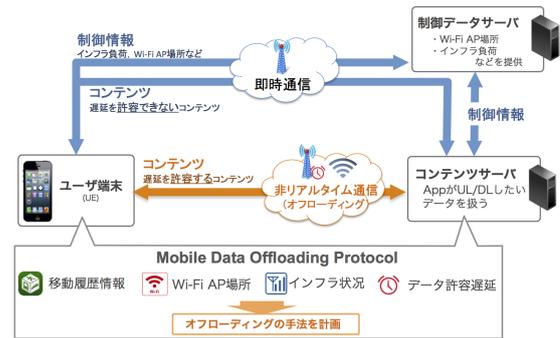


図 2 MDOP の動作概要

時刻を定め、モバイルデータオフローディングを行う。一方で UE がコンテンツをコンテンツサーバから受信する際には、UE はコンテンツサーバへコンテンツの要求を行い、MDOP サーバが仲介してモバイルデータオフローディングを行う。

コンテンツサーバは UE からアップロードされたコンテンツの受信と、UE からリクエストされたコンテンツの送信を行う。

MDOP サーバはモバイルデータオフローディングを行う時に必要な情報を提供する。UE から得た UE の情報に基づいて、UE 周辺で使用可能なネットワークとモバイルデータ通信基地局の負荷情報を UE へ送信する。

MDOP では制御情報などコンテンツ以外のデータ通信はオフローディングの対象としないため、コンテンツ以外のデータは通信時刻を遅延させずに直ちに使用可能なネットワークを用いて通信を行う。

#### 3.3 コンテンツ

アプリケーションによって生成されるデータをコンテンツとする。MDOP では、このうち遅延を許容できるコンテンツを対象としたオフローディングを行う。つまりクラウドサービスにおけるコンテンツの同期や、一部の製品 [9] で既に実現されつつある高度交通システム (ITS: Intelligent Transportation System) など、定期的に発生するコンテン

ツによるデータ通信をオフローディングの対象とする。その一方で VoIP やリアルタイムなビデオストリーミングなど、遅延を許容できないコンテンツはオフローディングの対象としない。

遅延を許容するコンテンツには、一定時間を過ぎてしまうと無価値になってしまうものがある。例えば本日 17 時の天気予報の情報は、本日 17 時より後に天気予報の利用者へ届いたとしても情報としては無価値である。そこでアプリケーションはコンテンツに許容遅延時間を定め、コンテンツが宛先に到着するまでの制限時間を明らかにする。なお今回は単純化のためにモバイルデータ通信基地局や Wi-Fi AP からコンテンツサーバの間における有線回線の遅延時間については考慮しない。

### 3.4 コンテンツのオフローディング

UE がコンテンツをコンテンツサーバへアップロードする場合を考える。アプリケーションからコンテンツとコンテンツに対する許容遅延時間が MDOP に与えられたと仮定した場合の MDOP の動作を図 3 に示す。MDOP がアプリケーションからコンテンツを受け取ると、UE は自らの状態を示す制御情報 (UE\_Info : User Equipment's information) を MDOP サーバに送信し、MDOP サーバは UE\_Info の内容に基づいて、UE が現在使用できるネットワークの情報 (ANDLI : Access Network Discovery and Load Information) を UE に送信する。UE は MDOP サーバから受信した ANDLI に基づき、コンテンツを送信する時刻と場所、そして使用する通信路経路を決定する。

一方、UE がデータをコンテンツサーバからダウンロードする場合の動作例を図 4 に示す。アップロードと同様、UE 内の MDOP はアプリケーションからコンテンツサーバ宛のコンテンツ要求データとコンテンツの許容遅延時間を与えられたと仮定する。まず UE はアプリケーションから要求されたコンテンツのリクエストと許容遅延時間を UE\_Info と共に MDOP サーバに送信する。UE\_Info とコンテンツのリクエストを受け取った MDOP サーバはリクエストのみをコンテンツサーバに送信し、コンテンツサーバからコンテンツを得る。コンテンツサーバからコンテンツを受信した MDOP サーバは、コンテンツ要求データと共に受信しておいた UE\_Info を基にコンテンツのオフローディングポリシーを決定し、UE へコンテンツを送信する。

### 3.5 オフローディングポリシー

MDOP が実行するオフローディングポリシーは以下の 3 つである。

- 通信路的オフローディング
- 空間的オフローディング
- 時間的オフローディング

本節では、それぞれのオフローディングポリシーについて述

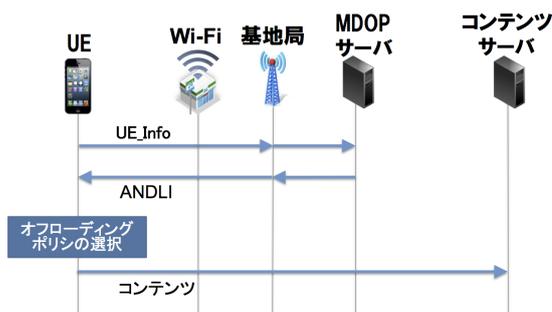


図 3 コンテンツアップロード時のコールフロー

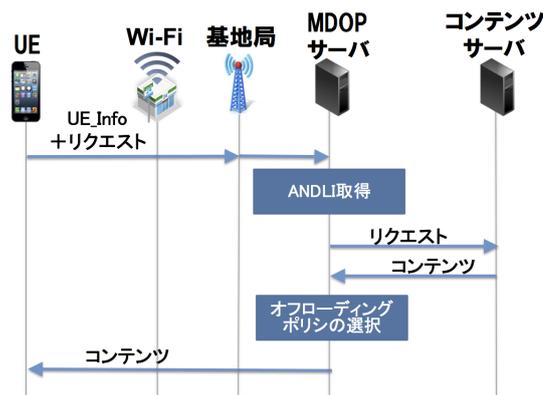


図 4 コンテンツダウンロード時のコールフロー

べる。

通信路的オフローディングは Wi-Fi AP を用いてモバイルデータ通信を固定回線通信へ迂回させ、モバイルデータ通信量を削減するオフローディングポリシーである。コンテンツを通信する UE が Wi-Fi AP の通信可能エリア外にいる場合は、UE が Wi-Fi AP の通信可能エリア内に移動するまでの間、コンテンツの通信を遅延させる。つまり通信路的オフローディングを実行するためには、コンテンツの許容遅延時間内に、UE が Wi-Fi AP の通信可能エリア内まで移動することが求められる。図 5 に通信路的オフローディングの動作フローを示す。コンテンツの送信者は、UE が Wi-Fi AP と通信可能となる時刻を求めするために UE の今後の移動経路を予測し、コンテンツの許容遅延時間内に通信可能となる Wi-Fi AP を探索する。コンテンツの許容遅延時間内に通信が可能となる Wi-Fi AP が存在する場合は、通信可能エリア内に UE が移動する時刻を予測して、その時刻にデータを送信するようスケジュールする。ただし、推定された時刻になっても Wi-Fi AP と接続できず送信に失敗した場合は、送信に失敗したコンテンツの通信路的オフローディングをキャンセルする。

空間的オフローディングは UE の移動を用いてモバイルデータ通信量の空間的局所性を取り除くオフローディングポリシーである。UE が現在接続しているモバイルデータ通信基地局と比べて負荷が低い基地局がある場合、コンテンツの送信者は UE が負荷が低い基地局エリアまで移動して

からコンテンツを送信することで、負荷が高い基地局の負荷を他の基地局へ分散する。空間的オフローディングを実行するための条件として下記項目があげられる。

- 使用中の基地局の負荷が周辺の基地局の負荷より低い
- コンテンツの許容遅延時間以内に、負荷が低い基地局へ移動できる

図 6 に空間的オフローディングの動作フローを示す。コンテンツの送信者は、現在の基地局と比べて低負荷な基地局が周辺にあるかを探するため、現在接続しているモバイルデータ通信基地局の負荷情報と周辺の基地局負荷情報を取得する。低負荷な基地局が見つかった場合は、その基地局のエリア内へ UE が移動する時刻を求めため UE の移動経路の予測も行。コンテンツの送信者は取得した各基地局の負荷情報と予測した UE の移動経路を用いて、低負荷な基地局のエリアに UE が移動するまでの時間を求める。求められた時間がコンテンツの許容遅延時間内であれば、コンテンツの送信者は負荷の低い基地局エリア内へ UE が移動するまでコンテンツの送信を遅延する。一方、低負荷な基地局へ UE が移動するまでの時間が遅延許容時間を超過する場合や、UE が予想された時刻通りに低負荷な基地局のエリアまで移動出来なかった場合は、空間的オフローディングをキャンセルする。

時間的オフローディングはコンテンツの遅延耐性のみを用いてモバイルデータ通信の時間的局所性を取り除くオフローディングポリシーである。コンテンツの送信者は UE が使用しているモバイルデータ通信基地局が一時的に高負荷な場合にコンテンツの送信を遅延させ、モバイルデータ通信基地局の負荷が下がってから通信を再開する。つまり時間的オフローディングを実行するには、現在 UE が接続しているモバイルデータ通信基地局の高負荷状態がデータの許容遅延時間内に解消される必要がある。図 7 に時間的オフローディングの動作フローを示す。時間的オフローディングを用いるコンテンツの送信者は UE が現在接続している基地局の高負荷状態がデータの許容遅延時間内に解消されるかを確認する必要がある。そこでコンテンツの送信者は、MDOP サーバから受信した情報のうち、各基地局の負荷情報から現在接続している基地局が一時的に高負荷となる時間帯（ピーク時間）を求める。求められた結果から現在の基地局の負荷がピーク時間内であると判定した場合は、コンテンツの許容遅延時間内にピークが解消されると予想される時刻までの間、コンテンツ送信者はコンテンツの送信を遅延する。一方、ピーク時間帯ではないと判定した場合や、基地局の負荷がコンテンツの許容遅延時間内に下がらないと判定した場合は時間的オフローディングをキャンセルする。

### 3.6 オフローディングポリシーの選択

本節ではコンテンツの送信者が 3 つのオフローディング

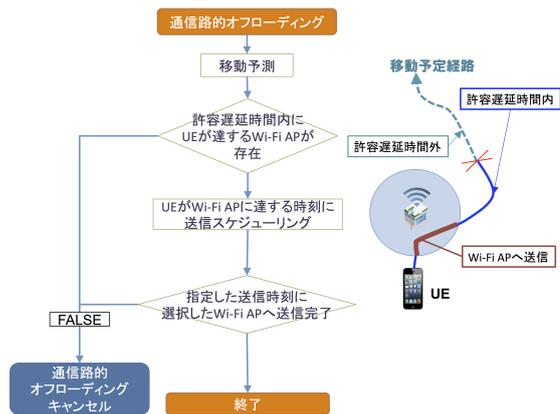


図 5 通信路的オフローディングの動作フロー

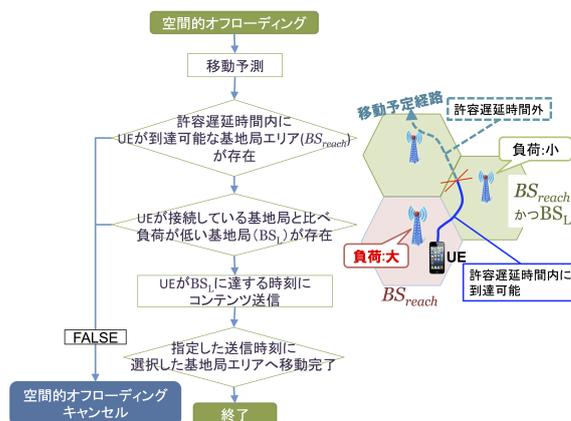


図 6 空間的オフローディングの動作フロー

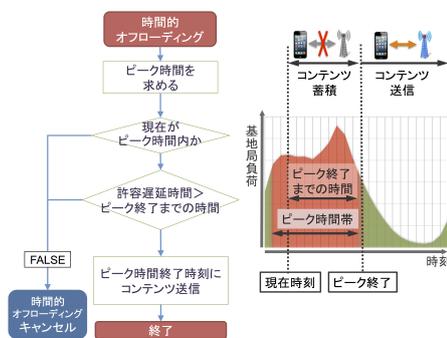


図 7 時間的オフローディングの動作フロー

ポリシーである通信路的、空間的、時間的オフローディングの中から、1 つのオフローディングポリシーを選ぶ方法を示す。各オフローディングポリシーはそれぞれ実行可能な条件が異なるため、コンテンツの送信者は制御情報に基づいて、実行できるオフローディングポリシーを判定して実行する必要がある。図 8 にオフローディングポリシーを選択する際の状態遷移図を示す。コンテンツの送信者はコンテンツを送信する際、通信路的、空間的、時間的オフローディングの順番で各オフローディングポリシーを選択し、コンテンツのオフローディングを試行する。各オフローディングポリシーはコンテンツのオフローディングが実行可能かを判断し、も

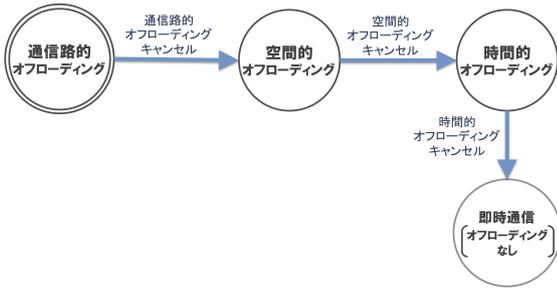


図 8 オフローディングポリシーの選択アルゴリズム

表 2 各オフローディングポリシーが求める制御情報

| ポリシー名        | 必要な情報                              |
|--------------|------------------------------------|
| 通信路的オフローディング | Wi-Fi AP の位置                       |
| 空間的オフローディング  | UE が使用中の基地局の負荷推移<br>UE 周辺の基地局の負荷推移 |
| 時間的オフローディング  | UE が使用中の基地局の負荷推移                   |

し実行できなければオフローディングをキャンセルする。オフローディングポリシーがオフローディングをキャンセルした場合、未だ試行していない他のオフローディングポリシーを選択しなおして試行する。最終的にいずれのオフローディングポリシーも実行が不可能と判定された場合は、現在 UE が使用可能なネットワークを用いて直ちにデータが送信される。

### 3.7 制御情報

本節では MDOP が必要とする情報を挙げ、それらの情報を取得するための制御情報について述べる。表 2 に各オフローディングポリシーにおいて UE が MDOP サーバに求める情報を示す。図 9 に MDOP サーバと UE の間でやり取りされる制御情報を示す。制御情報には UE から MDOP サーバには UE の情報 (UE\_Info) が送信される。UE\_Info は ANDSF において使用されている UE\_Location を拡張したものであり、以下の情報を含む。

- UE の位置情報 (緯度, 経度)
- 接続中の基地局 ID (CGI などの基地局セル識別子)

UE の位置情報は UE の物理的な位置情報 (緯度, 経度) を示す。また接続中の基地局 ID は、基地局の負荷情報をサーバから得る為に UE が現在接続しているモバイルデータ通信基地局の識別子を示す。

MDOP サーバが UE\_Info を受信すると、UE\_Info に応じたネットワーク探索情報 (ANDLI : Access Network Discovery and Load Information) を、制御情報の送信者に送信する。ANDLI も UE\_Info のように、ANDSF の制御情報の一つである ANDI (Access Network Discovery Information) を踏襲した制御情報である。MDOP サーバが送信する ANDLI には下記の情報が含まれる。

- 接続中基地局の負荷
- 周辺基地局の負荷
- 周辺の Wi-Fi AP 位置

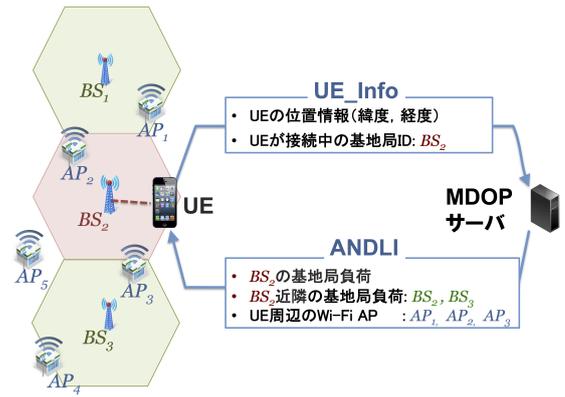


図 9 制御情報

接続中基地局の負荷情報は UE\_Info から得た接続中の基地局 ID に該当する基地局の現在における負荷情報と、過去一日間における基地局負荷の推移を表す。同様に、周辺基地局の負荷情報は接続中の基地局に隣接する基地局の負荷情報と推移を表す。また Wi-Fi AP 位置情報は UE の現在位置情報に基づいて周辺の Wi-Fi AP の位置を示す。

## 4. 実現に向けた検討

### 4.1 UE の移動予測手法

MDOP は UE の将来の移動を示す移動予定経路を元に、オフローディングポリシーを決定する。特に空間的、通信路的オフローディングでは、UE の今後の移動を予測し、これから UE と接続可能になるモバイルデータ通信基地局や Wi-Fi AP を求める必要がある。そこで UE の移動予定経路を求めるための移動予測の方法について検討を行う。

文献 [10] では UE の移動履歴から将来の移動予測を行う移動経路予測手法を提案している。UE は、UE の現在位置を今までの UE 移動履歴と照らし合わせ、今後の UE の移動経路として最も可能性が高い経路を予測し移動予定経路とする。

また文献 [8] ではユーザの移動をモデル化し、各時間帯にユーザが特定の場所にいる確率を分析した。分析した結果、図 10 に示す累積分布のとおり、各時間帯において特定の場所にユーザが留まる確率は 40% から 60% であると分かった。つまり MDOP の空間的オフローディングにおいて、UE が他基地局のエリアへ移動するか否かを予測できる可能性がある。

文献 [11] では道路上を移動する UE の移動履歴から機械学習を用いて今後の移動予定経路情報を予測している。機械学習によって移動予定経路を予測した結果、移動履歴の経路に生じるばらつきに従って変動するものの、最低でも 50% 以上の精度を保てたと報告している。機械学習による移動予定経路の予測では、道路地図に基づいて詳細に今後の UE の移動が予測されるため、通信路的オフローディングで求められる、UE 周辺の Wi-Fi AP の通信可能エリ

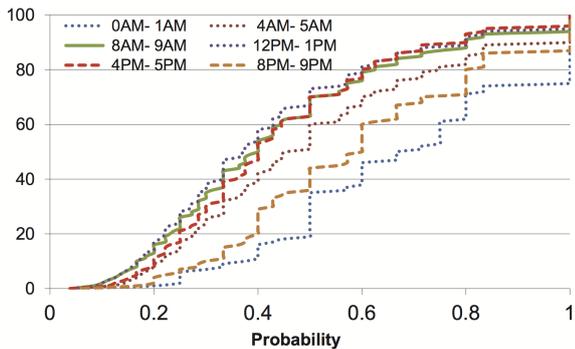


図 10 特定の場所にユーザがいる確率の累積分布 [10]

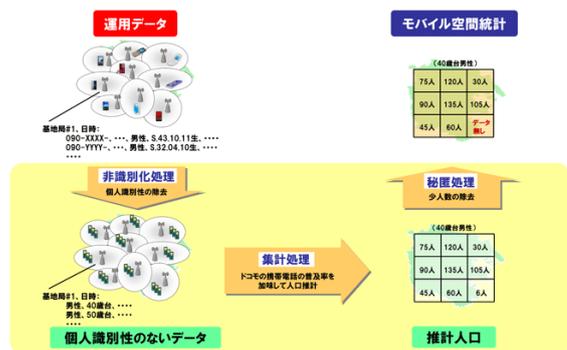


図 11 モバイル空間統計 [13]

ア内に UE が移動するか否かの判定に用いることが可能である。

移動履歴ではなくユーザがカーナビゲーションシステムなどに入力した情報から移動予定経路情報を取得する手法として、文献 [12] では VNI (Virtual navigation interface) が提案されている。VNI はカーナビゲーションシステムなどの様々な機器から、移動目的地、途中経路、方向に関するデータを共通のフォーマットで取得するラッパーである。UE が車両に搭載され、ユーザがカーナビゲーションシステム等で行き先を設定し、経路が選択されている場合には、VNI を用いることで UE は行き先までの移動予定経路情報を取得することができる。

#### 4.2 基地局負荷情報の取得

ユーザ端末やデータサーバがモバイルデータ通信基地局の負荷情報を取得する方法について検討する。オフローディングポリシーを決定するにあたって、現在使用中のモバイルデータ通信基地局またはその周辺の基地局の負荷情報は不可欠である。しかし現在のモバイルデータ通信にはユーザに対して基地局の負荷情報を取得する手段は定められていない。そのため基地局の負荷情報を取得する手段についていくつかの手法を検討する。

基地局の負荷情報を取得する方法として、スマートフォンユーザの位置情報統計から得られる人口推測技術の利用が挙げられる。スマートフォンユーザの位置情報統計技術は通信事業者や地図関連の企業が様々な企業が既に開発を行っている。例えばモバイル空間統計 [13] は、特定の携帯回線ユーザのスマートフォンから送信される匿名の制御情報から位置情報などを取得し、メッシュ状のエリア内における人口を推測する技術である。(図 11) モバイル空間統計のような人口推定技術を用いて過去の人口推移から特定のエリアにおける今後の人口の増減を推測し、基地局の負荷を予測することで、時間的、空間的オフローディングにおける送信時刻・送信先基地局の選択が可能となる。

また基地局負荷情報の履歴から現在の負荷状態を推測する手法として、文献 [8] では各時間帯における基地局の

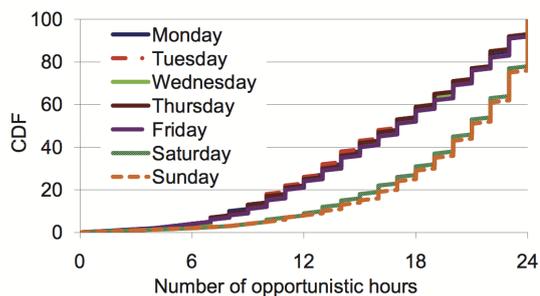


図 12 基地局負荷状況の累積分布 (曜日別)[8]

負荷情報から、負荷が低い時間帯の特徴を算出して現在の負荷情報を推測している。基地局の負荷情報を調査した結果、図 12 に示す累計分布の通り、一日の各時間帯における基地局の負荷は平日同士、休日同士のそれぞれで負荷が低い時間帯が類似する。このことから、過去の基地局の負荷推移の履歴を用いることで UE は基地局の負荷情報をリアルタイムに取得しなくても、現在の日時から負荷情報を推測することができる。

#### 4.3 マルチホップ DTN によるデータ運搬性能の向上

コンテンツの一部には不特定多数の他ユーザと共有が前提となるもの [9] が存在する。このようなコンテンツは他の UE を中継する DTN を用いてもセキュリティ上のリスクなどが小さいと考えられる。そのため UE 間のアドホック通信を用いて複数の UE を用いたマルチホップ DTN によるオフローディング性能の向上も考えられる。

シンプルなマルチホップ DTN ルーティングの一つに Epidemic Routing [14] がある。Epidemic Routing は UE 同士が遭遇する度に差分データを互いに送り合うことで、最終的に全てのノードにデータを流通させる手法であり、データの到達性能と小さい遅延時間という点で優れた性能を持つただし全てのデータが UE 間で通信されるため、UE の数が多い場合などではノード間の通信が混雑する恐れがある。

そこで PProPHET [15] では各ノードの他ノードとの遭遇回数をルーティングに考慮して、多くの UE と遭遇した UE

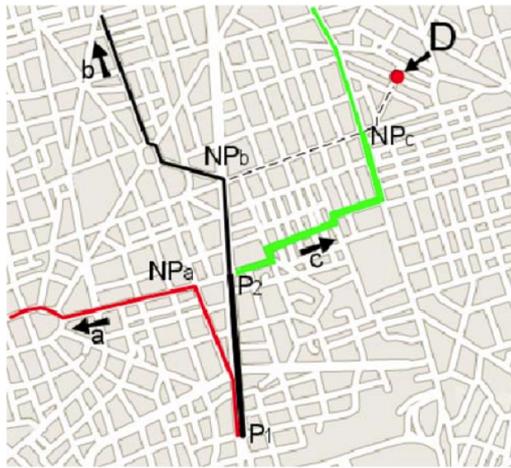


図 13 GeOpps におけるノード選択アルゴリズム [16]

が積極的にデータを中継する。他 UE との遭遇が少ない UE はデータを中継する機会が少なくなるため、Epidemic Routing と比べて不要なデータの通信を削減している。

一方、UE が車両に搭載されているという前提のもと、カーナビゲーションシステムから得られた移動予定経路情報を用いた GeOpps[16] を提案している。GeOpps では、データの宛先 ( $D$ ) に対して最も近くを通る移動予定経路情報を持つ UE へデータを送信する。図 13 のように  $P_1$  から出発する UE のうち  $D$  に対して最も近いのは  $c$  であるため、 $P_1$  において  $c$  にデータが送信される。

また文献 [17] では GeOpps が一台の UE でデータの到達を実現するのに対し、道路上を移動する複数台の UE を用いてルーティングする手法を提案している。すなわち道路上を移動する UE が移動予定経路情報を保持していると仮定し、各 UE 同士の遭遇を予測することで宛先に向けてデータをマルチホップで宛先まで到達させる手法である。

## 5. おわりに

昨今のモバイル端末の普及に応じてモバイルデータ通信の負荷が急速に高まっている背景を踏まえ、モバイルデータ通信をオフローディングする MDOP を提案した。MDOP はリアルタイム性が必要とされないデータデータに対して通信路、空間、時間という 3 つの観点で負荷低減、負荷分散を行うためのアルゴリズムと具体的な手法を示した。今後は移動予測の手法や基地局の負荷情報の取得などの検討を進め、MDOP のアルゴリズムや制御情報の仕様を明確にした上で MDOP のシミュレーション上による評価や実機実装などを進める。

## 謝辞

本研究は、科学研究費補助金 基盤研究 (B) 「モバイルデータ 3D オフローディングの研究 (26280028)」により実施したものである。

## 参考文献

- [1] Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2013–2018 . Technical report, Cisco, February 2014.
- [2] 3GPP Organizational Partners (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, TTC). *3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; Access Network Discovery and Selection Function (ANDSF) Management Object (MO)*.
- [3] Wi-Fi Alliance. Wi-fi certified passpoint. <http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-passpoint>, 2014.
- [4] 4G Americas. Integration of cellular and wi-fi networks. Technical report, 2013.
- [5] 飯星貴裕, 才田好則, 渡邊義和, 森田弦, 狩野秀一. Wi-fi の利便性向上を実現するスマートデバイス通信制御技術. Technical report, NEC, 2013.
- [6] Savio Dimatteo, Pan Hui, Bo Han, and Victor O. K. Li. Cellular traffic offloading through wifi networks. 2011.
- [7] C. Mayer and O. Waldhorst. Offloading infrastructure using delay tolerant networks and assurance of delivery. 2011.
- [8] Utpal Paul, Milind Madhav Buddhikot, and Samir R. Das. Opportunistic traffic scheduling in cellular data networks. *Dynamic Spectrum Access Networks (DYS-PAN), 2012 IEEE International Symposiums*, 2012.
- [9] Pioneer Corporation. スマートループとは. <http://pioneer.jp/carrozzeria/carnavi/smartloop/about/01.php>.
- [10] C.S. Brilingaite and A., Jensen. Online route prediction for automotive applications. *World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services*, 2006.
- [11] Theodoros Anagnostopoulos, Christos B. Anagnostopoulos, Stathes Hadjiefthymiades, Alexandros Kalousis, and Miltos Kyriakakos. Path prediction through data mining. *International Conference on Pervasive Services*, p. pp. 128135, 2007.
- [12] Pei-Chun Cheng, Kevin C. Lee, Mario Gerla, and Jrme Hrri. Geodtn+nav: Geographic dtn routing with navigator prediction for urban vehicular environments. *Mobile Networks and Applications*, Vol. 15, No. 1, pp. 61–92, February 2010.
- [13] NTT ドコモ. モバイル空間統計とは. [https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile\\\_spatial\\\_statistics/](https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile\_spatial\_statistics/), 2014.
- [14] Amin Vahdat and David Becker. Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks. *Duke Tech Report CS-2000-06*, 2000.
- [15] A. Lindgren, A. Doria, E. Davies, and S. Grasic. Probabilistic routing protocol using history of encounters and transitivity.
- [16] Ilias Leontiadis and Cecilia Mascolo. Geopps: Geographical opportunistic routing for vehicular networks. *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2007. WoWMoM 2007. IEEE International Symposium*, 2007.
- [17] 西岡哲朗, 木谷友哉, 太田剛, 峰野博史. DTN を用いたモバイルデータ 3D オフローディング手法の提案. 2014.