複数携帯端末によるエネルギー消費を考慮した協調受信機構の設計

小川 亮二[1]　斉藤 裕樹[3]　狐崎 直文[2]　戸辺 義人[2]

概要：スマートフォンの普及に伴い，携帯通信回線によるデータ通信量が増加し，LTE に代表される次世代移動通信規格が登場した．しかし現状では，使用する携帯電話キャリアや場所によって低速な回線を使用する端末，高速な回線を使用する端末が混在し，情報取得スループットに関して端末毎の格差が生じている．また，携帯端末のエネルギー消費要因として無線通信は無視できない大きさであるため，携帯通信システムのエネルギー消費の低減が求められている．近い将来，個人または複数人で携帯端末を同時に複数使用する場面が増えることを想定し，本研究では，複数の携帯端末同士が協調して通信帯域を共有し Web コンテンツを分散受信する，エネルギー消費を考慮した携帯端末間協調プロトコル MDEL (Multiple-Device Loader) を提案する．本論文では，MDEL システムの設計方針，一部のシステムポリシーに従った実験を目的とした Android 端末への実装，および評価結果を述べる．

Design of Energy-Aware Cooperative Receiving Scheme Using Multiple Mobile Phones

Ryoji Ogawa[1]　Hiroki Saito[3]　Naofumi Kitsunezaki[2]　Yoshito Tobe[2]

1. はじめに

1.1 研究背景

近年スマートフォンの利用増加に伴い，携帯通信回線による動画像など大容量の Web コンテンツの閲覧が一般的になり，トラヒック量は増加の一途を辿っている．例えば Youtube などの動画閲覧サービスや Facebook などの SNS サービスをスマートフォンやタブレット端末を用いて閲覧したり，クラウドストレージに置かれたドキュメントやファイルをダウンロードする場合など，一度に大容量のデータを携帯通信回線で取得する場面が増えてきた．こうした大容量通信のニーズに対し，LTE，WiMAX に代表される次世代移動通信システム (4G) が登場し，都市部や人が集中する場所において大容量通信にも耐えうる高速な通信回線を利用することが可能となった．我が国での 4G 回線契約加入者数は 15%にも増加しているが [1]，現状では携帯通信回線を利用する上でいくつかの問題がある．

1 青山学院大学大学院理工学研究科
2 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科
3 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科

A. 回線帯域の差

4G 対応端末の普及率は上昇しているが，4G 未対応のスマートフォン利用者数は未だ多く，利用者 1 台 1 台の通信帯域には大きな差があるため，通信を利用したコンテンツ取得をする際のスピードに差が発生し得る．例えば，同じ空間で家族や友人と同じ目的の Web コンテンツを閲覧する場合など，利用できる回線帯域が小さい者は回線帯域が広い者に比べストレスを感じることが多くなる．

B. トラヒックによる帯域制限

携帯通信回線を提供する通信キャリアは，大勢の利用者が同一の基地局に集中する場合に通信帯域を制限するベストエフォート方式によってサービスを提供している．例えば，スポーツ観戦場やイベント会場など人が集中する場所で利用者が同一の基地局に集中的にアクセスをすると，ベストエフォート方式により動的に帯域制限が行われ，トラヒックが存在する限り利用者の通信状態が悪化するという問題がある．

C. 場所や通信キャリアによる通信可能範囲の差

通信キャリアが設置する基地局の場所や数はキャリアご

とに異なり通信回線の周波数帯域も異なるため，複数の利用者が同じ空間に居ても，利用者の立つ場所や利用するキャリアによって携帯通信が利用可能な場合とそうでない場合が存在する．例えば，複数の人が地下や建物の中の同じ空間で携帯端末を利用するといった場面では，A 社の回線利用者は問題なく通信を利用できるが，B 社の回線利用者は電波状況が悪く通信を利用できないという問題が考えられる．

こういった端末毎の情報取得スループットの差や局所的なトラヒックという問題は，従来，携帯通信回線に加えて WiFi 回線の帯域を有効利用するといった手法 [7], [8], [13] で解決されてきた．しかし，公共の WiFi 回線には特定のサービス加入を要する利用制限があり，無料で利用できる物はコンビニエンスストアや喫茶店など特定の場所にしか設置されていないため，外部の WiFi 回線を利用できる場所は限られている．そこで，同じ空間で利用される携帯端末同士が協調ネットワークを作ることで，いかなる場所においても電波が届く範囲で携帯通信回線以外の通信回線を利用することができる．携帯端末で用いられる一般的な無線接続環境として WiFi，Bluetooth，NFC などが広く利用されているが，大容量の Web コンテンツを取得するといった利用場面では通信帯域が広帯域な WiFi を利用することが望ましい．しかし，携帯電話端末は小型であるためにバッテリー容量に乏しく，大きなバッテリー消費を伴う長時間の連続稼働は難しい．特に，無線通信を利用する際のバッテリー消費は激しいため [2]，複数の通信回線を利用する際のバッテリー消費コストを考慮する必要がある．Huang らは WiFi，LTE，3G(UMTS) 回線の帯域毎消費エネルギー (mW/Mbps) については，それぞれ 137.01 mW/Mbps，51.97 mW/Mbps，122.12 mW/Mbps であったが，通信に伴う基本消費エネルギーについては，それぞれ 132.86 mW，1288.04 mW，817.88 mW であったと報告している [3]．LTE は高速な反面，駆動電力が大きく，WiFi は通信をしていない時の消費エネルギーは LTE に比べて低いという特徴を持つ．したがって，単一の通信回線のみを利用する場合に比べ，複数の通信回線を利用する場合は通信帯域の変化とバッテリー消費のコストバランスの関係は複雑であるため，複数の通信回線を用いる上でエネルギー消費を考慮することは非常に重要である．

1.2 研究目的

本研究では，高速な端末や低速な端末が混在する中で発生する情報取得スピードの差や局所的なトラヒックの低減を目指し，携帯端末同士が協調し合い複数の通信回線を利用し携帯通信回線を有効利用するための通信プロトコル MDEL(Multiple-Device Loader) を提案する．

本稿は以下の構成となっている．第 2 章で関連研究について述べ，本研究の新規性を示す．第 3 章で提案システムの概要，およびシステムの要求ポリシー，帯域割り当て方法について述べる．第 4 章では実際に提案システムを用いた場合とそうでない場合を実験評価によって比較し，有用性を示す．最後に第 5 章では，まとめを述べる．

2. 関連研究

携帯端末の受信性能の向上やバッテリー消費，また携帯端末をノードとする分散ネットワークに関する研究は数多くなされている．小坂らは，Web コンテンツをブロック刻みにし，携帯通信回線と WiFi 回線を束ねるマルチパス通信によって，Web サーバと携帯端末の中継する WebProxy サーバから効率良くコンテンツを取得する手法を提案している [5] が，協調動作が外部サーバに依存すると，そのサーバが停止したり接続不可能になった場合に協調動作が行えなくなるという問題がある．Keller らはストリーミング配信される動画を複数の携帯端末間で携帯通信回線によって協調受信し，コンテンツを再生するために必要なピースを WiFi や Bluetooth 回線によって補完し合う手法を提案している [6]．この研究では，扱うコンテンツは UDP 通信を伴うストリーミング配信によるコンテンツを利用対象としているが，本研究ではデータの欠損が許されない確実なコンテンツ取得環境が要求される場面において，TCP を利用した HTTP 通信によるコンテンツ取得を想定しているため，利用場面が異なる．また，小西らはコンテンツの分散取得手法として，1 つの Web コンテンツを HTTP Partial GET によって複数の携帯端末で協調受信し 1 台に集める通信回線共有手法を提案している [12]．

スマートフォンの通信時の消費電力を考慮した研究も数多くなされている．Ding らは，fingerprint 法による WiFi アクセスポイントの RSSI(Received Signal Strength Indicator) を検知し，3G と WiFi をスイッチングすることでエネルギー消費を低減する手法を提案している [7], [8]．協調受信時のエネルギー消費を考慮した研究として，高松らは，協調ダウンロードを Bluetooth のすれ違い通信を利用して実現し，すれ違い通信を行う期間やタイミングを確率的にスケジューリングすることで消費電力を低減する手法を提案している [11]．Bojic らは，複数の携帯端末間でコンテンツを分散受信し共有する際に，どのコンテンツをどの端末から受信するのか，バッテリー残量と電波強度の 2 つのステータスを評価して決定する手法を提案しているが [9], [10]，受信スケジューリングの際にエネルギー消費をバッテリー残量の情報のみで評価しており，その精度には正確性が欠ける．LTE，WiFi などの通信回線は，帯域毎の消費エネルギーが通信量によって変化したり，通信時の基本消費エネルギーが大きく異なるため [3]，スケジューリングの際はこれらを詳細に考慮する必要がある．

提案手法である MDEL では，従来研究を踏まえた上で以下の点が特徴である．

(1) 低帯域な携帯回線に加え，広帯域な WiFi 回線を用いて端末間協調ネットワークを形成する
(2) 協調動作は外部のサーバに依存せず，端末間で完結する
(3) 複数端末への受信割り当ては，端末の通信帯域に加えエネルギー消費を考慮する
(4) 取得するコンテンツは，HTTP GET で取得可能なものを対象とする

また，システムの利用場面として，同じ空間で同じ目的のコンテンツを取得する者が複数居る場合，複数の端末の帯域を 1 台の端末に集中させる場合，複数の端末の中で 1 台または一部の端末のみしか通信が利用できない場合など，近距離で複数の端末を利用できる状況を想定している．

3. 設計

3.1 システムの概要

本研究で設定するシステムの要件は以下のとおりである．

(1) 複数の端末で利用可能な通信帯域を有効利用する
(2) 複数回線を用いる上でのエネルギー消費を低減する

MDEL では，システムの要件に対していくつかのポリシーを設定し，利用者がひとつのポリシーを選択することで利用者の要求を満たすような利用を可能にする．システムは利用者の通信回線の種類と通信帯域，そしてバッテリー残量を考慮し，ポリシーに一致するように帯域割り当てを行う．帯域割り当てを行った後，参加端末それぞれが行うコンテンツ取得をスケジューリングし，取得されたコンテンツは端末間で共有される．また，コンテンツを取得する最中に端末の通信状況が変化した場合などにも，動的に帯域割り当てを行い，再スケジューリングすることで最低限の通信帯域保証を可能にすることを目指す．帯域割り当ての例として，処理時間を短縮するスケジューリングのイメージを図 1，図 2 に示す． 低速な端末と高速な端末が同一の

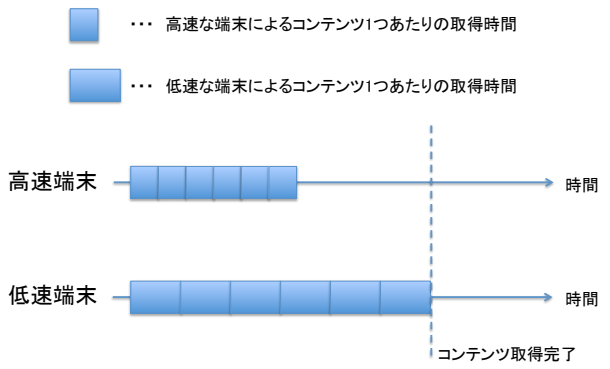

図 1 コンテンツ取得スケジューリングを行わない場合

コンテンツを要求する場合，両端末の取得時間には大きな差が存在するが (図 1)，取得するコンテンツを分担し，さらに WiFi 回線を利用してコンテンツを共有することで取得時間を短縮することができる (図 2)．

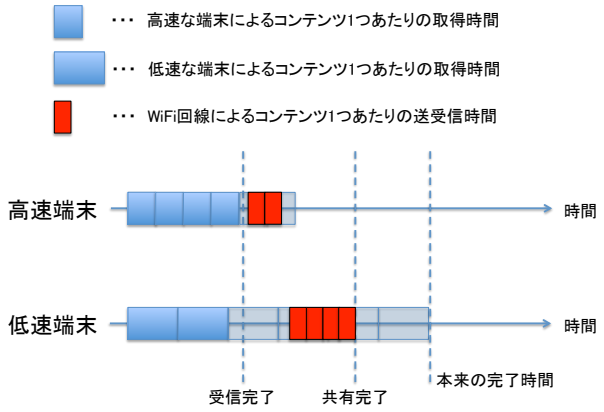

図 2 コンテンツ取得スケジューリングを行う場合

3.2 端末の持つ役割

協調動作をするために，MDEL では Leader と Cooperator という 2 つの役割に分割して設計を行う．Leader と Cooperator，コンテンツを有する ContentsServer を結ぶ MDEL の利用形態を図 3 に示す．

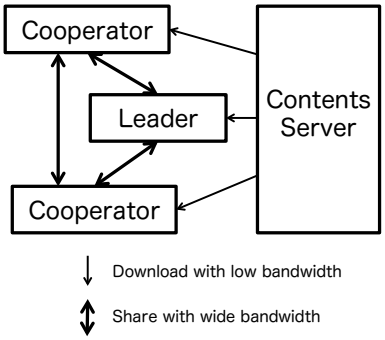

図 3 MDEL の利用形態

Leader

Leader は，協調動作を行うネットワークを形成するにあたり，WiFi 接続のためのアクセスポイントとしての役割を担う．また，端末間で定められるポリシーの最終的な決定，MDEL の参加端末の携帯通信回線に関わる受信能力の情報を考慮し帯域割り当てをし，端末間全体のコンテンツ取得スケジューリングを行い，Cooperator へどのコンテンツを取得するか指示をする役割を持つ．

Cooperator

Cooperator は，Leader の指示に従いコンテンツの取得を行う．Leader と共に WAN 回線でコンテンツの取得を行い，通信帯域の変化やコンテンツ取得の進捗状況を Leader に報告する．取得完了後，コンテンツを要求する端末へコンテンツを LAN 回線で送信する．Cooperator 自身もコンテンツを要求する場合は，不足するコンテンツを他端末から LAN 回線で受信する．

3.3 協調動作の流れ

MDEL の協調動作は，他の端末から送られるメッセー

ジ，各状態における動作などの条件によって状態を遷移し，振る舞いを変える．協調動作の流れを状態遷移図として表したものを図 4 に示す．

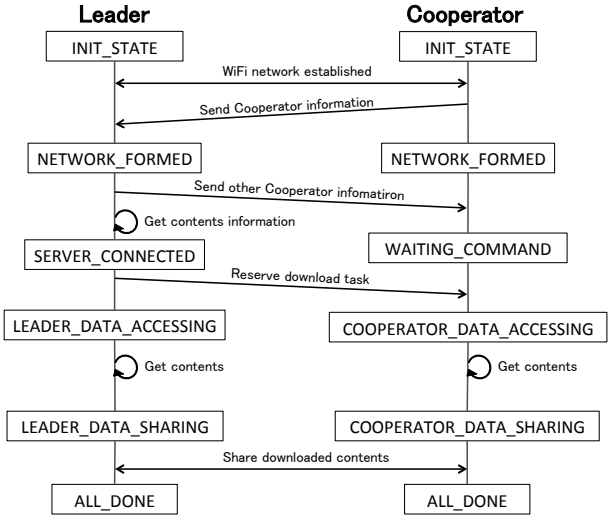

図 4　MDEL の状態遷移図

3.3.1　ネットワーク形成

まず, MDEL に参加する端末の中でコンテンツを要求する 1 台が WiFi 回線による P2P グループを作り, GroupOwner となる．他の Peer となる端末は GroupOwner へ接続をリクエストし，ネットワークを形成する．この時点で，GroupOwner となった端末は Leader，Peer となった端末は Cooperator の役目を担う．

3.3.2　DLtask スケジューリング

コンテンツ取得は，WAN 回線で受信する段階と LAN 回線で共有する段階の 2 段階で行われる．ネットワーク形成後，Leader，Cooperator はそれぞれ携帯通信回線を利用したスピードテストを行い自身の受信性能に関する情報を取得し，Cooperator は以下の情報を Leader に送信する．

(1) コンテンツ要求の有無
(2) WAN 回線受信時の通信帯域性能
(3) バッテリー残量

Leader は，取得するコンテンツの URL を元に目的のコンテンツを有する Web サーバへ接続し，コンテンツサイズの情報を取得し，Coopertor から受け取った 3 つの情報を Leader 自身についても考慮して帯域割り当てを行い，最適なコンテンツ受信組み合わせ (*DLtask*) をスケジューリングする．なお，帯域割り当てにはポリシーごとに異なるアルゴリズムを利用する．利用ポリシーについては詳細を 3.4 で述べる．

3.3.3　WAN 回線によるコンテンツ取得

スケジューリングされたコンテンツ受信組み合わせの内，Cooperator が担う *DLtask* の情報は Cooperator へ通知され，通知を受けた Cooperator はコンテンツの取得を開始する．また，全 Cooperator へ通知を終えた Leader 自身もコンテンツの取得を開始する．Cooperator はコンテンツ取得がひとつ完了する度に，逐次 Leader に完了通知をする．もし一部の Cooperator がコンテンツ取得中に通信帯域が変動し接続が不安定になった場合には，Cooperator は接続状況が悪化した旨を Leader に通知し，Leader は自身が有する Cooperator のコンテンツ取得進捗情報から，コンテンツ受信組み合わせを再スケジューリングし，更新される *DLtask* を再度通知する．Cooperator は，通知される *DLtask* に従い引き続きコンテンツ取得を続ける．

3.3.4　LAN 回線によるコンテンツ共有

全端末が WAN 回線によるコンテンツ取得を完了すると，Leader は最終的に帯域割り当てによって得られる全端末の *DLtask* に基づき，Cooperator それぞれに端末それぞれがどの端末へコンテンツを送信し，どの端末からコンテンツを受信するのかをスケジュールした情報 *SHtask* を通知する．Leader，Cooperator は *SHtask* の情報を元に，他端末へコンテンツ送信要求を送る．要求を受けた端末は，要求元へ自らが有するコンテンツを送信する．全コンテンツを完成させた Cooperator は，完了通知を Leader に送信する．全端末から完了通知を受け取った Leader は，Leader 自身も全コンテンツを完成させている場合，全工程が完了した旨を全 Cooperator へ通知する．

3.4　帯域割り当て

3.4.1　目的関数

帯域割り当てを行うにあたって，所要時間関数 T とエネルギー消費関数 J を定式化し，これらを求めることで最適解を探索する．

WAN 回線の通信帯域を B_w，ある端末が取得するコンテンツサイズを X，LAN 回線で他の端末とデータを送受信する際の通信帯域を B_l とした時，LAN 回線によるデータの送受信を考慮した場合，他の端末が取得するコンテンツサイズ Y を含めたコンテンツ取得所要時間 T_X は (1) 式で表される．

$$T_X = 8(\frac{X}{B_w} + \frac{X+Y}{B_l}) \tag{1}$$

エネルギー消費関数については，ビットあたりの消費エネルギー量として *J/bit* という値を用いる．

まず，エネルギー消費関数 J_X をコンテンツサイズについて定式化する場合，WAN 回線によるデータ受信時の *J/bit* を α，LAN 回線によるデータ送受信時の *J/bit* を ω_s，ω_r とすると，コンテンツ取得が完了するまでに消費するエネルギー量 J_X は (2) 式で表される．

$$J_X = 8(\alpha X + \omega_s X + \omega_r (X+Y)) \tag{2}$$

次に，エネルギー消費関数 J_X をパケットサイズを考慮して定式化する場合を考える．コンテンツ取得の際に端末はデータをパケット単位で受信するが，パケットのサイズに

よって J/bit 値の大きさは異なる．ここで，あるコンテンツ 1 つのサイズを M，MTU サイズを N，N で受信する際の J/bit を α_1，N 未満で受信する際の J/bit を α_2，総コンテンツ数を n，WAN 回線で取得するコンテンツ数を x とした時，N で受信するパケット数は (3) 式で表される．

$$\lfloor \frac{M}{N} \rfloor \tag{3}$$

また，N 未満で受信するパケットのサイズは (4) 式で表される．

$$M - N\lfloor \frac{M}{N} \rfloor \tag{4}$$

1 つのコンテンツを WAN 回線で取得する際の消費エネルギー量 J_M は (5) 式で表される．

$$J_M = 8\{\alpha_1 N\lfloor \frac{M}{N} \rfloor + \alpha_2(M - N\lfloor \frac{M}{N} \rfloor)\} \tag{5}$$

同様に，LAN 回線によるコンテンツ取得を含め，全コンテンツの取得完了までに消費するエネルギー量 J_X は，(6) 式で表される．

$$\begin{aligned} J_X = 8[&\sum_{i=1}^{x}\{\alpha_1 N\lfloor \frac{M_i}{N} \rfloor + \alpha_2(M - N\lfloor \frac{M_i}{N} \rfloor)\} \\ &+ \sum_{i=1}^{x}\{\omega_{s1} N\lfloor \frac{M_i}{N} \rfloor + \omega_{s2}(M - N\lfloor \frac{M_i}{N} \rfloor)\} \\ &+ \sum_{i=n-x}^{n}\{\omega_{r1} N\lfloor \frac{M_i}{N} \rfloor + \omega_{r2}(M - N\lfloor \frac{M_i}{N} \rfloor)\}] \end{aligned} \tag{6}$$

3.4.2 ポリシー

ユーザが選択するシステムの利用ポリシーとして，大きく 3 つに区分する．

a. 通信帯域向上ポリシー

b. バッテリー消費低減ポリシー

c. 最低帯域制約型ポリシー

区分したポリシーそれぞれについて説明し，参加端末数が 3 であると仮定した場合のアルゴリズムを示す．なお，アルゴリズム中で使用する共通なパラメータとして，A,B,C は参加端末数，x,y,z はコンテンツ数，Opt は最適な $DLtask$ の組み合わせを表す．

a1. 通信帯域向上

参加する端末のバッテリー残量は考慮せず，コンテンツ取得時間を短縮するために最適な $DLtask$ スケジューリングをすることによって通信帯域を向上させる．図 5 にアルゴリズムを示す．

バッテリー消費低減ポリシーには，以下の内容が含まれる

b1. 参加端末全体のバッテリー消費量最小化

参加する端末全体のバッテリー消費の合計が最も少なくなる $DLtask$ スケジューリングを決定する．図 6 にアルゴリズムを示す．

b2. 参加端末全体のバッテリー消費量均等化

Algorithm 1

T_{min} : minimum total download time
max : max download time when $\{x, y, z\}$

for each x, y, z to all task combination number :
  $max \leftarrow max(T_A^x, T_B^y, T_C^z)$
  if: $T_{min} > max$
  then:
    $T_{min} \leftarrow max$
    $Opt_{xyz} \leftarrow \{x, y, z\}$
  end if
end loop

return Opt_{xyz}

図 5 ダウンロード時間最小化アルゴリズム

Algorithm 2

J_{min} : minimum total energy consumption
sum : total energy consumption when $\{x, y, z\}$

for each x, y, z to all task combination number :
  $sum \leftarrow sum(T_A^x, T_B^y, T_C^z)$
  if: $J_{min} > sum$
  then:
    $J_{min} \leftarrow sum$
    $Opt_{xyz} \leftarrow \{x, y, z\}$
  end if
end loop

return Opt_{xyz}

図 6 バッテリー消費量最小化アルゴリズム

参加する端末全体のバッテリー消費量を均等化する $DLtask$ スケジューリングを決定する．図 7 にアルゴリズムを示す．

Algorithm 3

min : minimum normal distribution

for each x, y, z to all task combination number :
  J_A^x, J_B^y, J_C^z : assumption of energy consumption
  for each i to device number(A, B, C):
    $J_i^x \leftarrow$ calculate energy consumption
  end loop
  norm $\leftarrow$normal distribution(J_A^x, J_B^y, J_C^z)
  if(min > norm) :
    min $\leftarrow$ norm
    $Opt_{xyz} \leftarrow \{x, y, z\}$
  end if
end loop

return Opt_{xyz}

図 7 バッテリー消費量均等化アルゴリズム

b3. 参加端末全体のバッテリー残存量均等化

参加する端末全体のバッテリー残存量を均等化する $DLtask$ スケジューリングを決定する．図 8 にアルゴリズムを示す．

最低帯域制約型ポリシーには，以下の内容が含まれる

c1. 最低帯域制約付き消費エネルギー最小化

c2. 最低帯域制約付き参加端末全体の消費エネルギー均

Algorithm 4
E_A, E_B, E_C : *battery level*
descending sort $\{E_A, E_B, E_C\}$

for each i to device number(A, B, C):
  $J_j \leftarrow$ *calculate energy consumption*
  while $(E_i - J_j) \leq E_{i+1}$:
    $j++$
    $J_j \leftarrow$ *calculate energy consumption*
  end while
  $Opt_i \leftarrow j$
end loop

return Opt_{xyz}

図 8　バッテリー残像量均等化アルゴリズム

等化

c3.　最低帯域制約付き参加端末全体のエネルギー残存量均等化

いずれも，コンテンツ取得の所要時間に制限を設けることで，最低帯域制約を施しながら参加端末のバッテリー消費を考慮したポリシーとなっている．最低帯域制約を施すアルゴリズムを図 9 に示す．ポリシー c1-c3 は，*Algorithm5* と *Algorithm2-4* を組み合わせたものとなっている．

Algorithm 5
T_{limit} : *total download time limitation*
L_{xyz} : *sub combination list*
time : download time when $\{x, y, z\}$

for each x, y, z *to all task combination number :*
  time $\leftarrow max(T_A^x, T_B^y, T_C^z)$
  if: $T_{limit} >$ *time*
  then:
    $L_{xyz} \leftarrow \{x, y, z\}$
  end if
end loop

for each x, y, z *in* L_{xyz} :
  do : ***Algorithm 2 or 3 or 4***
end loop

return Opt_{xyz}

図 9　最低帯域制約アルゴリズム

3.5　実装

本提案システムのプロトタイプの実装にあたり，システム動作環境として Android 端末を使用し，プログラミング言語は Java を使用した．システムの WiFi 接続には WiFi-Direct を利用するため，Android4.0(API level 14) において導入された WiFi Peer-to-Peer API を利用する．MDEL はメッセージ交換によって動作を変える．メッセージは文字列をキーとした HashMap によって記述され，代表的な例を以下に示す．

message key　{IP address，Command，DLtask}

MDEL のクラスモジュールを表したものを図 9 に示す．各クラスの役割について述べる．

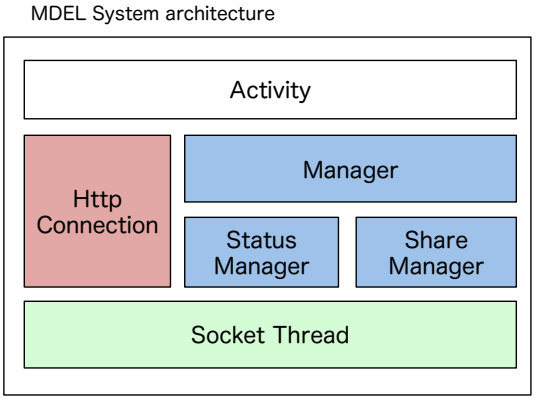

図 10　MDEL のクラスモジュール

Activity

Activity は，アプリケーションの画面表示に使用される．

Manager

MDEL における中心的なクラスであり，各クラスは Manager が有するシステムの動作管理用の変数を参照して動作する．主に，端末の *DLtask* や *SHtask* などのリストを有する．

StatusManager

MDEL の状態遷移を管理するクラス．端末間でやり取りされるメッセージを解釈し，システムの状態に応じて動作を決定する．Web コンテンツを取得する際は HttpConnection クラスを，LAN 回線によるコンテンツ送受信を行う際は ShareManager クラスを利用する．

ShareManager

LAN 回線によるコンテンツ送受信を行うメソッドを管理するクラス．

HttpConnection

WAN 回線によるコンテンツ取得を行うメソッドを管理するクラス．

SocketThread

メッセージ交換，およびコンテンツの送受信を行うための TCP Socket 通信を実装するクラスであり，Activity の UI スレッドとは別スレッドで動作し，常にメッセージ受信を監視する．メッセージを受信した場合は StatusManager へメッセージオブジェクトを渡し，コンテンツを受信した際は ShareManager へコンテンツデータオブジェクトを渡す．

4.　実験評価

提案手法の有意性を確認するため，以下の実験における通信帯域向上ポリシーを選んだ場合のスループットの比較を行う．

実験 1　MDEL を用いない，端末単体によるコンテンツ取得

実験 2　MDEL を用いた，複数端末によるコンテンツ取得

4.1 実験環境

実験を行う場所として，人通りが少なく WiFi の干渉や電波強度の変動が少ないと思われる公園を選んだ．取得するコンテンツは，HTTP GET で取得が可能な Web サーバが有する画像コンテンツとし，サイズは 960 × 640 サイズ，175 KB の JPEG 画像 30 枚とする．使用する端末は，低帯域な端末を端末 A，やや広帯域な端末を端末 B として Galaxy S4 を使用する．仕様詳細を表 1 に示す．端末単体

表 1 使用端末仕様

端末	Samsung Galaxy S4 端末A	Samsung Galaxy S4 端末B
OS	Android 4.2.2	
CPU	1.9 GHz quad-core Krait 300	
WiFi 対応規格	IEEE 802.11.a/b/g/n/ac	
SIMカード	NTT DOCOMO 200kbps制限	NTT DOCOMO 500kbps制限

での実験 1 では，コンテンツを取得し始めてから完了するまでの時間を 30 回測定し，MDEL を利用する実験 2 では，コンテンツを取得し始めてから共有を経て全コンテンツ取得が完了するまでの時間を 30 回測定した．

4.2 評価

実験 1 および実験 2 の実験結果の所要時間 (s) と，画像のコンテンツサイズ (KB) から通信スループット (kbps) を算出し，その平均値と標準偏差を求め，グラフに表したものを図 6 に示す．端末単体における通信スループットと MDEL における通信スループットを比較すると，MDEL を利用した場合の通信スループットの平均的な増加率は端末 A においては約 160 %，端末 B においては約 7 %であった．

4.3 考察

MDEL を利用した際の通信スループットには大きなばらつきが生じたが，これはコンテンツ共有の際に，WiFi 回線が不安定であり高速な通信をした場合と低速な通信をした場合が大きくばらついたことに起因すると考えられる．

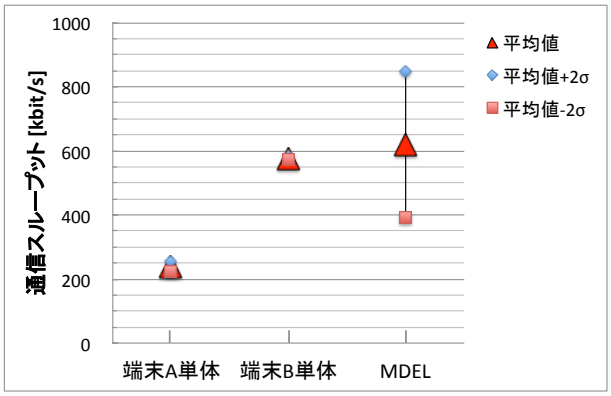

図 11 通信スループット (kbps) の比較

表 2 LTE 回線端末を用いた実験結果

実験	端末単体	MDEL
平均通信帯域	14.7 Mbps	8.79 Mbps

評価実験には，低速な 200 kbps の端末と 500 kbps の端末を使用したが，さらに LTE 回線が利用可能な端末を利用して実験 1，実験 2 を行ったところ，表 2 のような結果が得られた．端末単体に比べ，MDEL では通信スループットが 40 %ほど低下した．*DLtask* スケジューリングには全端末の通信帯域を考慮するため，取得するコンテンツ数が多い場合は，LTE 回線端末に *SHtask* が多少発生することがある．LTE 回線は WiFi 回線に比べ高速であるため，WiFi 回線によるコンテンツ取得が通信帯域の低下を招いていると考えられる．したがって，回線の帯域によっては WiFi 回線を利用せず単独でコンテンツを取得する場合も考慮する必要がある．

一方で，LTE 回線は駆動電力が大きく，また通信帯域が悪い場合，WiFi 回線よりもバッテリー消費は大きいため [3]，取得するコンテンツサイズや数によっては WiFi 回線を利用したほうがバッテリー消費を低減できる可能性がある．

5. おわりに

本稿では，複数の携帯端末のエネルギー消費や帯域制限を考慮した帯域割り当てによるユーザの利用目的に適したコンテンツ取得をする端末協調プロトコル，MDEL を提案した．いくつかあるポリシーの中で，通信帯域向上ポリシーを選んだ実験により，複数端末で同一のコンテンツを取得する際，端末単体でダウンロードをする場合と MDEL を利用する場合を比較し，MDEL を利用した場合に通信帯域が向上したことを確認した．

今後は，消費エネルギー低減ポリシーのシミュレーションおよび実装，それを踏まえた LTE 回線端末を利用した際の性能評価，MDEL を 3 台以上の端末で利用する際の性能評価を目指す．また，モバイルセンシングを想定した MDEL の利用方法について検討をする予定である．

参考文献

[1] 平成 25 年版情報通信白書 (総務省): 情報通信の現況・政策の動向 図表 4-5-2-14 第 3 世代携帯電話加入契約数の推移, http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/html/nc245230.html

[2] Perruci,G.P., Fitzek,F.H.P. and Widmer,J.: *Survey on Energy Consumption Entities on the Smartphone Platform*, Vehicular Technology Conference(2009).

[3] Huang,J., Qian,F., Gerber,A., Mao,Z.M., Sen,S. and Spatscheck,O.: *A Close Examination of Performance and Power Characteristics of 4G LTE Networks*, MobiSys(2012).

[4] Huang,J., Xu,Q., Tiwana,B., Mao,Z.M., Zhang,M. and Bahl,P.: *Anatomizing Application Performance Differences on Smartphones*, MobiSys(2010).

[5] 小坂良太 and 江崎浩: スマートフォンが持つ複数の無線回線の帯域集約手法

[6] Keller,L., Le,A., Cici,B., Seferoglu,H., Fragouli,C. and Markopoulou,A.: *MicroCast:Cooperative Video Streaming on Smartphones*, MobiSys(2012).

[7] Lee,K., Rhee,I., Lee,J., Chong,S. and Yi,Y.: *Mobile Data Ofloading: How Much Can WiFi Deliver?*, ACM CoNEXT(2010).

[8] Ding,A.Y., Han,B., Xiao,Y., Hui,P., Srinivasen,A., Kojo,M. and Tarkoma,S.: *Enabling Energy-Aware Collaborative Mobile Data Offloading for Smartphones*, SECON(2013).

[9] Bojic,I., Podobnik,V. and Petric,A.: *Swarm-oriented mibile services: Step towards green communication*, Expert Systems with Applications(2012).

[10] Kalic,G., Bojic,I. and KusekM.: *Energy Consumption in Android Phones when using Wireless Communication Technologies*, MIPRO(2012).

[11] Takamatsu,Y., Sun,W., Yamaguchi,Y., Yasumoto,K. and Ito,M.: *Energy-Aware Cooperative Download Method among Bluetooth-Ready Mobile Phone Users*, MobiQuitous(2010).

[12] 小西洋祐, 石原進, and 水野忠則: 通信回線共有方式を用いた高速 *Web* アクセスの実現, 情報処理学会論文誌 43.6 (2002): 1968-1976.

[13] Ristanovic,N., Boudec,J.Y.L., Chaintreau,A. and Erramilli,V.: *Energy Efficient Offloading of 3G Networks*, MASS(2011).

[14] Android Developers, API Guides WiFi Peer-to-Peer: http://developer.android.com/intl/ja/guide/topics/connectivity/wifip2p.html