

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：94301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730059

研究課題名(和文) モバイル向けプリフェッチに基づくオフローディング手法

研究課題名(英文) Wi-Fi Offloading Method Based on Prefetching

研究代表者

玉井 森彦 (Tamai, Morihiko)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：90523077

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：モバイルデータトラフィックの増加に伴い、セルラネットワーク(3G/4G)への負荷の集中による無線通信品質の低下が発生している。これに対処するため、3G/4Gの負荷をWi-Fiへ逃すWi-Fiオフローディング手法が活用されてきている。本研究では、モバイル端末がWi-Fiを利用可能なタイミングにおいて、近い将来Wi-Fiエリアの範囲外に移動した際にユーザが要求するアプリケーションのデータを予測し、それをWi-Fi経由であらかじめプリフェッチしておくことでオフローディングを達成する方式を考案した。

研究成果の概要(英文)：The explosive growth of mobile data traffic causes immense pressure on the cellular networks (3G/4G), resulting in the deterioration in the quality of wireless communication. To cope with the problem, mobile network operators deploy Wi-Fi access points (Wi-Fi APs) to offload the traffic from 3G/4G to Wi-Fi. However, since the coverage of a Wi-Fi AP is relatively small, Wi-Fi connectivity is far from ubiquitous. To increase opportunities of offloading, we propose a prefetch-based Wi-Fi offloading method. In this method, while a mobile terminal is connected to a Wi-Fi AP, the application data that will be requested over 3G/4G after the user leaves the AP are predicted, and these contents are prefetched in advance over Wi-Fi. Because the available battery amount is one of the most critical resources of mobile terminals, our method tries to increase the offloaded amount within the constraint on the battery amount consumed by prefetching.

研究分野：モバイルコンピューティング

キーワード：Wi-Fiオフローディング プリフェッチ スマートフォン

1. 研究開始当初の背景

スマートフォン利用者の増加、モバイル端末が表示可能なコンテンツの高品質化などに伴い、3G/4G へのトラフィックの負荷の集中が発生している。これにより、3G/4G 回線の一時的な通信断や通信遅延の増加などの問題が発生している。この問題を解決する方法の一つとして、3G/4G へ流れるトラフィックを無線 LAN (Wi-Fi) へ逃がす、Wi-Fi オフローディングが注目されている。現在普及している一般的なモバイル端末では、3G/4G による通信に加え Wi-Fi も利用可能であることから、無線通信事業者は各社、ショッピングモール内やカフェ等に Wi-Fi アクセスポイント (AP) を設置したり、ユーザに AP を貸し出したりすることで、できるだけ Wi-Fi を利用した通信が可能となるよう環境整備を進めている。

2. 研究の目的

Wi-Fi オフローディングを達成する方法として大きく次の 3 つが考えられる。(1) 通信要求の発生時に Wi-Fi が利用可能であれば、Wi-Fi による通信を行う方式。(2) 通信要求の発生時に Wi-Fi が利用可能でない場合、通信を待機させておき、将来 Wi-Fi が利用可能になったタイミングで通信を行う方式。(3) 将来どのような通信要求が発生するかを予測し、Wi-Fi が利用可能なタイミングであらかじめ通信を完了しておく方式。

(1) の方式では、通信要求の発生時にのみ Wi-Fi オフローディング可能であるため、オフローディング可能データ量が比較的少ないという欠点がある。(2) の方式では、(1) に比べオフローディング可能な機会が増加するが、通信を待機させる必要があるため、アプリケーションによっては望ましくない遅延が発生するという問題がある。例えば、ソフトウェアのアップデートやデータのバックアップなど、通信要求が発生してから、直ちに通信を完了する必要がないものは (2) の方式を利用することができるが、一方で、Web ブラウザにより発生する通信などについては、ユーザをコンテンツの表示まで待たせることになるため、望ましくない。

本研究では、Web コンテンツのような即応性の求められるアプリケーションから発生する通信についてもオフローディングを達成することを目的とし、(3) のように、将来発生する通信要求を予測 (例えば、ユーザがどの Web ページを将来閲覧するかを予測) し、Wi-Fi が利用可能になったタイミングで、あらかじめ通信を完了 (データをプリフェッチ) する方式を提案する。

3. 研究の方法

提案方式を実現するにあたって、次のような点を考慮して方式設計を行った。まず、(1) プリフェッチに使用可能なバッテリー量に対する制約を考慮することが重要であり、それは次のような理由による。あるデータのプリフェッチを行ったとして、それを将来ユーザが消費した場合 (例えば、Web コンテンツを閲覧した場合)、キャッシュヒットしたとよび、消費しなかった場合キャッシュミスしたとよぶことにする。キャッシュヒットするデータ量を向上させるための方法として、将来ユーザが消費すると考えられるデータをかたっぱしからプリフェッチすることが考えられる。しかし予測が外れることもあるため、キャッシュミスするデータ量も増加し、それらのデータをプリフェッチするのに消費される電力 (主に Wi-Fi による通信が占める) は無視できないものとなる。したがって、やみくもにプリフェッチする方法をとることは望ましくない。そこで利用可能バッテリー量に制約を設け、その制約のもとでプリフェッチするデータを決定する方式を考案した。

次に、(2) プリフェッチを実行するタイミングをどう決定するか、という問題を考慮する必要がある。例えばあるユーザについて、そのユーザがよく閲覧するニュースサイトのトップページと、そこからリンクされている個々の記事をプリフェッチすることを考える。トップページの更新は、ニュースサイトであれば一日のうち何回も行われることが普通である。そのような場合、あるタイミングでプリフェッチを行ったとして、ユーザが将来それを閲覧するタイミングにおいては、プリフェッチしたデータがすでに古いものになってしまうかもしれない。従って、ユーザにできるだけ最新のデータを提供するという観点から、より適切なタイミングでプリフェッチを実行しておくことが望ましい。

最後に、(3) プリフェッチを実行するタイミングにおいて、どのデータを優先的にプリフェッチするか、という問題を考慮する必要がある。データ量の大きいものをプリフェッチすると、それがキャッシュヒットした際にはオフローディングの効果は大きいですが、逆にキャッシュミスした場合に無駄に消費されるバッテリー量も大きくなる。従って、利用可能バッテリー量の制約のもと、期待されるオフローディング量をできるだけ大きくできるようなデータの集合を求めることが望まれる。以上で述べた 3 点について、以下では、本研究においてどのように考慮を行ったかについて簡潔に述べる。

(1) に関して、プリフェッチに利用可能なバッテリー量 (バッテリー制約) をどのように求めるか、また、その制約をどのように満足す

るのか、という点について述べる。あるタイミングでプリフェッチを実行するとして、プリフェッチされたデータは、最終的にキャッシュヒットして消費されるか、キャッシュミスするかのいずれかである。キャッシュヒットした場合において、仮に、そのデータをプリフェッチしていなかったことを考えると、そのデータは 3G/4G 経由でダウンロードされることになる。このとき、3G/4G の通信により消費されるバッテリー量を $B1$ とする。また、キャッシュヒットしたデータを Wi-Fi 経由でダウンロードした時に消費されたバッテリー量を $B2$ とする。すると、キャッシュヒットしたことにより、 $B1 - B2$ に相当する量のバッテリーが節約されたことになる。ただし、実際に節約されるのは $B1 > B2$ という条件が満足される場合に限られるが、スマートフォン等のモバイル端末において、3G/4G での通信による消費電力と Wi-Fi での通信による消費電力は、3G/4G の方が大きいことが既存研究などで実験により明らかにされており、 $B1 > B2$ は成り立つと考えてよい。この、キャッシュヒットにより一定量のバッテリー量が節約されるという性質に着目し、この節約された分のバッテリー量をプリフェッチに利用可能な「貯蓄分」として考える。この貯蓄分のバッテリー量の範囲内でプリフェッチを行うという制約を設けることで、プリフェッチにより無制限にバッテリー量が消費されてしまうことを防ぐ。すなわち、ある時点においてプリフェッチを行う際、現在の貯蓄分のバッテリー量に対し何割かのバッテリー量を確保し、そのバッテリー量を用いて Wi-Fi 経由で可能なだけデータをプリフェッチする。プリフェッチされたデータは、最終的にキャッシュヒットした場合にはバッテリーの貯蓄分を増加させるため他のデータのプリフェッチに利用可能となり、一方キャッシュミスした場合には、それに相当するバッテリー量（データを Wi-Fi 経由でダウンロードするために消費されたバッテリー量）が貯蓄分から減少する。こうして、貯蓄分の範囲内でプリフェッチに利用可能なバッテリー量を決定することで、バッテリー量制約を満足するようにする。なお、貯蓄分が 0 となってしまうと以降全くプリフェッチできなくなってしまうため、モバイル端末が充電されたタイミングで、その充電分の何割かを貯蓄分として確保するようにする。

(2) に関して、プリフェッチの実行タイミングをどのように求めるかについて述べる。ある時点であるデータのプリフェッチを行ったとしても、それをユーザが消費するよりも前にそのデータのオリジナルが更新されてしまうと、データの鮮度が古くなってしまいうため、ユーザがデータを消費するタイミングにできるだけ近いタイミングでプリフェッチを行うことが望ましい。これを実現するためには、次の 2 点を予測すればよい。ユ

ーザがデータを消費するタイミング。ユーザがデータを消費するタイミングの直前で、最後にユーザが Wi-Fi を利用可能であるタイミング（すなわち、ユーザがその Wi-Fi エリアを退出するタイミング）。については、アプリケーションごとにユーザが毎日どの時刻にそのアプリケーションを起動したかのログを蓄積し、そのログから統計的に次にそのアプリケーションを起動する時刻を推定するようにする。についても同様に、ユーザが毎日どの時刻に Wi-Fi エリアに侵入、退出したかについて Wi-Fi エリアごとにログを蓄積し、そのログから統計的にこのタイミングの直前で最後に滞在する Wi-Fi エリアからの退出時刻を推定するようにする。このタイミングの推定を行った後、そのタイミングの直前で対象のアプリケーションのデータをプリフェッチすることで、プリフェッチしたデータが過度に古くなってしまいうことがないようにする。

(3) に関して、利用可能バッテリー量の制約のもと、いかにオフローディングの効果が高くなるようにプリフェッチするデータの集合を選定するかについて述べる。あるデータをプリフェッチすることで、それが最終的に総オフロード量の増加にどの程度貢献するかについて、その期待値を期待オフロード量とよぶことにする。期待オフロード量を、プリフェッチする対象のデータに対し、そのデータ量と、それが将来消費される確率（キャッシュヒット率）との積により定義する。なお、あるデータのキャッシュヒット率を求めることは、そのみで大きな研究課題となるが、特に Web ブラウザで閲覧されるコンテンツについては、あるコンテンツの閲覧確率についてユーザの興味などから推定値を算出する方法が既存研究において考案されており、そのような方法を利用して求めることを想定する。期待オフロード量の定義を用いて、次のような最大化問題を考える。すなわち、利用可能バッテリー量制約のもと、プリフェッチするデータの集合 S について、 S に属すデータの期待オフロード量の総和が最大化されるような S を求める。この問題は、ナップサック問題として扱うことが可能であるため、ナップサック問題の解法を用いて S を求めることで、(3) の課題を解決する。

4. 研究成果

提案手法の有効性を明らかにするため、トレースデータを用いたシミュレーションにより評価を行った。用いたトレースデータは、LiveLab

(<http://livelab.recg.rice.edu/traces.html>) で公開されているもので、iPhone 3GS により 1 年 4 ヶ月に渡って 25 名の実験参加者から収集されたデータに基づく。このトレースデータから、モバイル端末の Wi-Fi AP

への接続、切断時刻、アプリケーションの利用時刻などを抽出し、提案手法を用いた場合のオフロード可能データ量についてシミュレーションによる計算を行った。

比較対象として、(1) オラクル(キャッシュヒットするデータを 100%予測可能とした場合の理想的な方式)、(2) 周期的(Wi-Fi エリアに侵入後、30 分周期でプリフェッチを行う方式)、(3) 接続時制約無し(Wi-Fi エリアに侵入直後、1 回のみプリフェッチを行う方式で、バッテリー量制約は設けない場合)、(4) 接続時制約あり((3) の方式で、バッテリー量制約を設ける場合)、(5) 提案手法制約なし(提案手法でバッテリー量制約を設けない場合)、(6) 3G/4G(常に 3G/4G のみでデータのダウンロードを行う方式)を用いた。

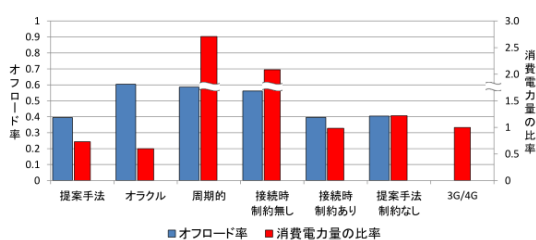


図 1 各方式のオフロード率と消費電力量の比率

各方式のオフロード率と消費電力量の比率を図 1 に示す。ここで、オフロード率とは 3G/4G のみ利用可能なタイミングにおいてユーザが要求したデータの総量(ただし、プリフェッチしておくことが不可能であるデータも含む)に対する、キャッシュヒットしたデータの総量の割合である。また、消費電力量に比率は、常に 3G/4G のみでデータをダウンロードする方式の消費電力量を 1 としたときの、各方式が消費した電力量の割合である。

図 1 より、提案手法は、オラクルに対し約 60%のデータ量をキャッシュヒットさせオフロード可能だったことが分かる。また、3G/4G のみを利用してデータのダウンロードを行う方式に比べ消費電力量を低く抑えられていることが分かる。したがって、提案方式はバッテリー量を過度に消費することなく、一定量のオフロードを達成できていることが分かる。また、オラクルを除いた他の手法と比較すると、オフロード率が比較的高く、かつ、バッテリー消費量は比較的低く抑えられていることが分かる。

本研究による研究成果は、1 件の国際会議(VTC2014-Spring)と、2 件の国内研究会にて論文発表と口頭発表している。うち、1 件の国内研究会での発表については、優秀プレゼンテーション賞を受賞している。

また、本研究の一部を主たる研究テーマと

した学生 1 名が、奈良先端科学技術大学院大学にて修士課程を修了し、修士(工学)の学位を取得している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

{ 雑誌論文 } (計 0 件)

{ 学会発表 } (計 3 件)

[1] Yoshihisa Onoue, Morihiko Tamai, Keiichi Yasumoto: "Energy-constrained Wi-Fi Offloading Method Using Prefetching," Proc. of the 2014 IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Spring), 5 pages, ソウル(韓国), 2014/5/10. (査読有)

[2] 尾上佳久, 玉井森彦, 安本慶一: "消費電力量制約付きプリフェッチに基づく Wi-Fi オフローディング手法の設計と評価," 信学技報, Vol. MoNA2013-42, pp. 5-10, 熊本大学(熊本県・熊本市), 2013/11/21. (査読無)

[3] 尾上佳久, 玉井森彦, 安本慶一: "消費電力量を考慮したプリフェッチに基づく WiFi オフローディング手法の提案," マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2013) シンポジウム論文集, pp. 538-547, ホテル大平原(北海道・河東郡), 2013/7/10. (優秀プレゼンテーション賞)(査読無)

{ 図書 } (計 0 件)

{ 産業財産権 }
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

{ その他 }
ホームページ等

[1] <http://morihit.net>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

玉井 森彦 (TAMAI, Morihiko)
株式会社国際電気通信基礎技術研究所・適応コミュニケーション研究所・研究員
研究者番号: 9 0 5 2 3 0 7 7

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし