

データオフローディングアルゴリズムの動的な変更を可能にする ソフトウェアアーキテクチャの研究

M2018SE007 川出淳平

指導教員：沢田篤史

1 はじめに

携帯電話基地局を使用するモバイルデータ通信を Wi-fi などの別の通信方法を使用して通信を行うデータオフロードという技術がある。近年、スマートフォンなどのモバイル端末の増加により、携帯電話基地局を使用するモバイルデータ通信量が急激に増加している。その結果、通信量が携帯電話基地局の許容量を越えてしまい、スループットが大幅に悪化してしまう可能性がある。データオフロードはこの問題を解決する方法として注目されている。データオフローディングアルゴリズムは複数存在しており、Haoran らが提案した ENSRA アルゴリズム [3] や Man らが提案した DAWN アルゴリズム [4] などそれぞれ別の問題を解決するためのアルゴリズムとなっている。複数の問題を解決するためには複数のデータオフローディングアルゴリズムを使用しなければならない。しかし、データオフローディングアルゴリズムを統一的に扱う機構がないことで様々な状況に柔軟に対応できないことが問題となっている。

本研究の目的はモバイル端末が状況に応じた最大の通信速度、最小の消費電力、通信コストを達成するオフロードを行うためにアルゴリズムの切り替えを行うソフトウェア基盤を作成することである。本研究ではオフローディングアルゴリズムとして、ENSRA アルゴリズム、DAWN アルゴリズム、OTSO アルゴリズムを使用する。これらのアルゴリズムを動的に切り替えることで、複数の状況で最適なオフロードを行うことができるアーキテクチャを設計する。アルゴリズムを切り替えるために、既存アルゴリズムの調査、ユーザのモバイル端末やネットワーク環境の条件の整理、コンテキストごとの評価の作成を行った。これらの結果からデータオフローディングアルゴリズムの切り替えを行うための決定木の設計を行う。この決定木をポリシーとした江坂らが提案した PBR パターン [5][6] に基づくアルゴリズムを設計することで、バッテリー残量や残通信容量といったコンテキストに応じてデータオフローディングアルゴリズムを柔軟に切り替えることが可能となる。

2 データオフロードの課題

近年、携帯電話基地局を使用するモバイルデータ通信量が大幅に増加している。シスコによると、2017 年には月間 11.5 エクサバイトだった世界中のモバイル端末によるデータ通信量は、2022 年には月間 77.5 エクサバイトになると予測されている [1][2]。その結果、通信量が携帯電話基地局の許容量を越えてしまい、スループットが大幅に悪化してしまう可能性がある。それを解決する技術としてデータオフロードがある。データオフロードとは携

帯電話基地局を使用して通信する予定のモバイルデータを、別の方法で通信を行う技術である。本研究では設備コストが低いことから、最も多くのモバイル端末が対応している Wi-fi をデータオフロードする対象として選択する。

データオフローディングアルゴリズムには様々な特徴のものが存在しているが、それらは別々に使われており、統一的に扱う機構は存在しない。その結果、消費電力と通信コストの両方を削減することはできないといったように、1つのデータオフローディングアルゴリズムで複数の状況に対応できないことが問題となっている。

既存のオフローディングアルゴリズムを以下に示す。

• ENSRA アルゴリズム [3]

ENSRA アルゴリズムは消費電力を削減することを目的としたオフローディングアルゴリズムである。消費電力が増加する原因の1つとして、頻繁なネットワークの切り替えが挙げられる。頻繁なネットワークの切り替えは、時間をフレームという長い時間とタイムスロットという短い時間に分割することで解決している。タイムスロットで未送信データサイズを計算し、フレームで接続ネットワークの選択を行うことで少ない回数で消費電力の少ないネットワークに接続できるようにしている。

• DAWN アルゴリズム [4]

DAWN アルゴリズムは遅延許容時間を考慮して、パケットごとにかかる通信コストの削減を目的としたデータオフローディングアルゴリズムである。通信コストは携帯電話基地局を使用時の方が Wi-fi 使用時よりもかかると定義する。通信コストを最小限に抑えるために、遅延許容時間内ならばできる限り Wi-fi を使用することを焦点をおいている。しかし、未送信データサイズが多くなり、遅延許容時間をオーバーしそうならば通信コストが多かかっても通信速度の速いネットワークに接続する。

• OTSO アルゴリズム

OTSO アルゴリズムは携帯電話基地局のモバイルデータの通信量を減らすためのオフローディングアルゴリズムである。OTSO アルゴリズムを搭載したモバイル端末が Wi-fi の環境下に入った場合、必ずその Wi-fi に接続する。このアルゴリズムは仕組みがとても単純なので、多くのモバイル端末に搭載されている。

本研究の目的は様々な状況に対応するために、上記のアルゴリズムを統一的に使用することができるアーキテクチャを設計することである。このアーキテクチャを使

用することで、モバイル端末が状況に応じた最大の通信速度、最小の消費電力と通信コストを達成するオフロードを実現することができる。

3 データオフローディングアルゴリズムの柔軟な切り替え手法

本研究では消費電力やパケットごとにかかる通信コストの削減などといった複数の目的を達成するために、複数のオフローディングアルゴリズムを状況に応じて使い分けるための機構を構築する。そのためにはこの機構が動作するユーザのモバイル端末とネットワーク環境を定義する必要がある。

本研究ではユーザとネットワーク環境を以下のように想定している。

- バッテリーを使用しており、通信の使用などにより減少する。
- 通信容量は月ごとの契約で上限があり、携帯電話基地局のネットワークを使用することで減少する。
- 図1のように1つの大きな携帯電話基地局のネットワークがあり、その中に複数の小さなWi-fiのネットワークがある。
- 携帯電話基地局のネットワークは1~16のすべてで使用でき、Wi-fiのネットワークはWi-fi APがある数字のマスの中だけで使用できる。
- ユーザは図1の1~16の範囲内を移動し、その外へと移動することはない。
- ユーザは図1の縦横に接しているマス等を等確率で移動する。

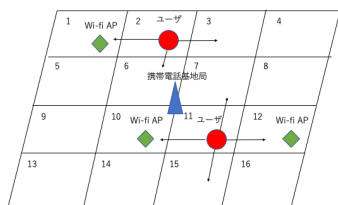


図1 ネットワーク環境

次に使用アルゴリズムの決定方法について説明する。まず図2のようにバッテリー残量と残通信容量を3段階で評価する。

	バッテリー残量	残通信容量
十分ある	80%以上	5GB以上
余裕がある	80%~40%	5GB~1GB
余裕がない	40%以下	1GB以下

図2 バッテリー残量と残通信容量の評価

この評価を用いて図3の決定木を動作させる。

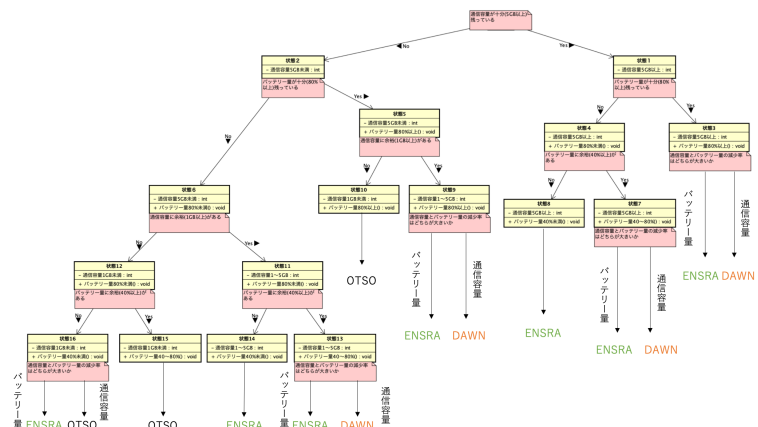


図3 決定木

基本的にバッテリー残量と残通信容量の量を図2と照らし合わせて使用するデータオフローディングアルゴリズムを決定する。バッテリー残量と残通信容量の重要度が同程度の場合があり、その場合はバッテリー量と通信容量減少率によって決定する。減少率はそれぞれの残量と直前3分間の減少量から計算する。

本研究で提案するアルゴリズムを適用するタイミングについて説明する。時間を2つのスケールに分割する。分割した時間はENSRAアルゴリズムと同じように、大きなスケールをフレーム、小さなスケールをタイムスロットと呼ぶ。フレームは1つ1分の大きさである。フレームの最初に決定木を用いたデータオフローディングアルゴリズムの選択が行われる。これによって選択されたデータオフローディングアルゴリズムは少なくとも1フレームの間変更されることはない。タイムスロットは1フレームの中に6つあり、それぞれの大きさは10秒ずつである。タイムスロットの最後にそのタイムスロットでのバッテリー量と通信容量の減少率を計算する。ここで計算した減少率の平均によって、決定木に使用するバッテリー量と通信容量の減少率が決定する。減少率は3分間の減少量から計算されるので、フレーム3つ分である。これは複数のフレームをまたぐことにより僅かな差による大小関係の変化を減らし、データオフローディングアルゴリズムの無駄な変更を防ぐことを目的としている。

ネットワークを変更した際には通信中だったデータが破損してしまうことが多くあり、それを補うために再送処理を行う。現在の通信では大半のものがTCP(Transmission Control Protocol)が使用されている[7]。TCPを用いた通信はパケットごとに行う。再送されるパケットサイズの平均は約300オクテットである[8]。これを送信するのに必要な時間は、通信速度が10Mbpsの場合、約0.002秒である。通信速度10Mbpsの場合、約0.002秒の間に送信できるデータサイズは0.02Mbであり、これは平均データサイズ約600オクテットのパケット約5個分である。これがネットワーク切り替えの際に発生する再送データサイズである。これらは通常のネットワーク切り替えの場合はTCPが自動的に再送処理を行うので考慮しなく

てよいが、アルゴリズム切り替えの際のネットワーク切り替えでは強制的に切り替えるので、この場合は再送時間と再送データサイズを考慮しなくてはならない。

4 モバイル端末の最適な通信を行うためのデータオフローディングアルゴリズム切り替え機構のアーキテクチャ

本研究ではモバイル端末の最適な通信を行うために、自己適用のための PBR パターンを適用したコンテキストウェアネスなアーキテクチャを提案する。これはバッテリー残量や残通信容量などのモバイル端末にあるユーザ情報や送信データをコンテキストとして、そのコンテキストの変化によって使用するデータオフローディングアルゴリズムを切り替えるアーキテクチャである。データオフローディングアルゴリズムをただ切り替えるのではなく、提案するアーキテクチャを使って切り替えることによって、動的により適切なデータオフローディングアルゴリズムに切り替えることができる。

4.1 アーキテクチャの静的構造

アーキテクチャの静的構造を図4に示し、構造について記述する。

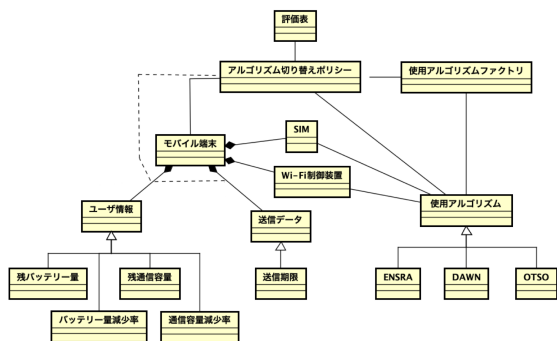


図4 アーキテクチャの静的構造

- スマートフォンはユーザ情報、SIM、Wi-fi 制御装置を所持
- ユーザ情報はバッテリー残量、バッテリー量減少率、残通信容量、通信容量減少率の4種類
- アルゴリズム切り替えポリシーはモバイル端末、評価表、使用アルゴリズムファクトリ、使用アルゴリズムと関係がある
- アルゴリズム切り替えポリシーはモバイル端末のユーザ情報と送信データを取得
- 使用アルゴリズムは ENSRA, DAWN, OTSO の3種類
- 使用するネットワークによって制御するモバイル端末の装置を変更
 - 携帯電話基地局を使用するなら SIM
 - Wi-fi を使用するなら Wi-fi 制御装置

4.2 アーキテクチャの動的振舞い

アーキテクチャの動的振舞いを図5に示し、時系列順に記述する。

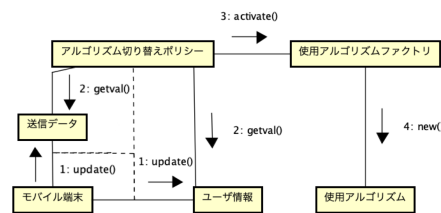


図5 アーキテクチャの動的振舞い

1. モバイル端末の動作や移動によりユーザ情報と送信データを更新
2. ユーザ情報と送信データの更新により起動したアルゴリズム切り替えポリシーがユーザ情報と送信データの値を取得
3. ユーザ情報と送信データの値からアルゴリズム切り替えポリシーが使用アルゴリズムファクトリを起動
4. 使用アルゴリズムファクトリが使用アルゴリズムを決定

5 評価

5.1 解析的な評価

本研究で提案したアルゴリズムを図1のネットワーク環境下に以下の条件を加えて解析的な評価を行った。

- 同通信速度の消費電力比 Wi-fi : 携帯電話基地局 = 8 : 10
 - 通信コストは 0.1 円 / Mb
 - 新たな送信データは 10MB / 分で生成
 - 各状況は 3 分ごと
 - バッテリー残量と残通信容量はともに「十分ある」、もしくは「余裕がある」
 - 前回の減少率は通信容量 < バッテリー量
- この条件の下、モバイル端末を図6の状況で動作させた。

	12で停止	12から11へ移動	11で停止
Wi-fiの有無	あり	なし	なし
通信速度 (Wi-fi: 携帯電話基地局)	10Mbps : 12Mbps	なし : 14Mbps	なし : 14Mbps
消費電力/分 (Wi-fi: 携帯電話基地局)	0.14W : 0.22W	なし : 0.22W	なし : 0.22W
未送信データサイズ	600MB		

図6 動作条件

その結果、図7のような結果が得られた。単一のアルゴリズムと比較した場合、合計消費電力と合計通信コストの削減に対しては優れた結果を出すこと

	提案アルゴリズム	ENSRAアルゴリズム	DAWNアルゴリズム	OTSOアルゴリズム
平均通信速度	8Mbps	12.7Mbps	8.7Mbps	12.7Mbps
合計消費電力	1.18W	1.54W	1.4W	1.54W
合計通信コスト	252円 (2520Mb)	402円 (4020Mb)	468円 (4680Mb)	402円 (4020Mb)
送信データサイズ	540MB	690MB	585MB	690MB

図 7 アルゴリズムごとの結果

ができたが、平均通信速度と送信データサイズに対しては悪い結果となってしまった。しかし、これは適切なタイミングで DAWN アルゴリズムを使用し、通信を行わない状態が発生したからである。

5.2 シミュレーションによる性能評価

シミュレータとして Android Studio を用いて、本研究のアルゴリズムの性能評価を試みた。端末上でデータオフローディングアルゴリズムを切り替える決定木の実装には成功し、それを用いて使用アルゴリズムの決定と接続ネットワークの選択を実現することができた。データオフローディングアルゴリズムの完全な実装と、消費電力など切り替えに使用するデータの取得が実現できず、シミュレーションとしては不完全な形となってしまった。

6 考察

本研究で提案したアーキテクチャを使用することで、ほとんどの場合で単一のデータオフローディングアルゴリズムと同等以上の結果を出すことができた。これは通信制御はデータオフローディングアルゴリズムが行い、接続するネットワークが変更されるアルゴリズム切り替える場合にのみオーバーヘッドが発生するからである。しかし、本研究ではそれ以外に発生するオーバーヘッドについて考慮していない。他に発生するオーバーヘッドとしては以下のものが考えられる。

- 3つのデータオフローディングアルゴリズムと決定木の容量
- 決定木を実行することで発生する消費電力と処理時間以上をシミュレータで評価する際に考慮する必要がある。

7 おわりに

本研究ではモバイル端末の最適な通信を行うためのオペレーティングシステムアーキテクチャの設計を行った。ENSRA アルゴリズム、DAWN アルゴリズム、OTSO アルゴリズムを切り替えるための決定木を図3のように設計し、この決定木をポリシーとした PBR パターンのアーキテクチャを設計した。アーキテクチャはモバイル端末のバッテリー残量や残通信容量などのユーザ情報と送信期限といった送信データをコンテキストとして、使用するアルゴリズムを切り替える。本研究で提案したアルゴリズムを用いた場合と、単一のデータオフローディングアルゴリズムのみを使用した場合を比較した。図1の12から11へ移動する場合の各情報を比較した結果、合計消

費電力と合計通信コストですべての単一のアルゴリズムよりも優れた結果を出すことができた。

今後の課題は以下が挙げられる。

- モバイル端末の通信速度やネットワーク全体のスループットを向上させるようなデータオフローディングアルゴリズムの調査
- 携帯電話基地局や Wi-fi AP からモバイル端末までの距離による通信速度の変化の調査
- 複数の携帯電話基地局を使用する広範囲での環境設定の決定
- 決定木の分岐に用いるしきい値の妥当性確認
- PBR パターンに追加要素を含めたアーキテクチャの設計
- 本研究のアーキテクチャに基づくアルゴリズムの実装
- シミュレータを用いた実験
- 実機を用いた実験

参考文献

- [1] Cisco Visual Network Index (VNI), “予測とトレンド, 2017~2022年, ホワイトペーパー, ” “https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html, ” 2019.
- [2] Cisco Visual Networking Index (VNI), “全世界のモバイルトラフィックに関する最新予測, 2017~2022年, ” “<https://www.cisco.com/c/dam/global/ja-jp/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.pdf>, ” 2019.
- [3] Haoran, Y., Man, H. C., Longbo, H., and Jianwei, H., “Power-Delay Tradeoff with Predictive Scheduling in Integrated Cellular and Wi-Fi Networks, ” IEEE, 2016.
- [4] Man, H. C., and Jianwei, H., “DAWN: Delay-Aware Wi-Fi Offloading and Network Selection, ” IEEE, 2015.
- [5] 江坂篤侍, “自己適応を目的としたソフトウェアアーキテクチャの構築と運用に関する研究, ” 南山大学 数理情報研究科 数理情報専攻 博士後期課程 博士論文, (2018).
- [6] 江坂篤侍, 野呂昌満, 沢田篤史, “インタラクティブシステムのための共通アーキテクチャの設計, ” コンピュータソフトウェア, Vol. 35, No. 4(2018), pp. 3-15.
- [7] 竹下隆史, 村山公保, 荒井透, 菊田幸雄, マスタリング TCP/IP 入門編 第5版, 2012.
- [8] 三屋光史朗, 長健二郎, 加藤朗, 村井純, “パケットサイズ分布からみた IP トラフィックの傾向, ” インターネットコンファレンス, 2000.