

端末による LTE 制御信号スパイク制御方式における インセンティブと QoE の関係に関する基礎検討

白井丈晴^{†1} 小林真也^{†2} 鈴木富明^{†2} 藤田真浩^{†2}
荒井大輔^{†3} 大岸智彦^{†3} 峰野博史^{†2} 西垣正勝^{†2}

LTE 網に接続可能なスマートフォン等の端末の急速な普及により、通信の前に端末に無線リソースを割当てるために LTE 網内で発生する制御信号も増加している。制御信号が、設備の容量を超えた場合には、LTE 網全体の通信品質の低下を招く恐れがあり、こうした制御信号の輻輳への対策は重要である。著者らは既に、端末に短い遅延を付与することで通信タイミングを分散し、制御信号の輻輳の発生を抑制する端末制御方式を提案している。端末制御方式では、LTE 通信の混雑時において、個々のユーザ端末に 8 秒以内のランダムな通信遅延を付与することで、制御信号が発生するタイミングを端末間で分散し、これにより制御信号の輻輳の発生を抑制している。試算では、全端末の 60%以上がこの方式を使用すれば、輻輳を適切に防ぐことができる。端末への制御用アプリケーションの追加で実現できる端末制御方式は、制御信号の流量制御のための新たな設備を既設 LTE 網に追加することと比較し、安価に実現可能であり、有効な選択肢となり得る。しかし、ユーザに通信遅延を課す方式であるため、QoE (体感品質) が許容レベルに達せず、端末制御方式が機能するために必要となる利用ユーザ数 (全端末の 60%以上) を確保できないという懸念がある。本稿では、この課題を解決するため、報奨金というインセンティブによって遅延に対するユーザの許容度がどのように変化するかを調査する基礎評価実験を行った。本実験により、適度な報奨金を与えることによって、60%以上の端末に端末制御方式が利用される見込みを示す。

A Study on the Relationship between Incentive and QoE in User-Equipment-Based Network Access Timing Control Scheme

TAKEHARU SHIRAI^{†1} SHINYA KOBAYASHI^{†2} TOMIAKI SUZUKI^{†2}
MASAHIRO FUJITA^{†2} DAISUKE ARAI^{†3} TOMOHIKO OGISHI^{†3}
HIROSHI MINENO^{†2} MASAKATSU NISHIGAKI^{†2}

On the LTE network, network congestions may occur due to “signaling spikes”. To solve this problem, User-Equipment-based Network Access Timing Control scheme (UENAC) has been proposed. This scheme adds a variable transmission delay that is 8 seconds or shorter when LTE network congestion occurs, so that access timing is decentralized among many user equipments and thus signaling spikes can be suppressed. Through the simulation, it was estimated that the UENAC used by more than 60 percent of all LTE user equipments can appropriately distribute signaling spikes. The UENAC is a countermeasure on the user equipment side. Since revision of standard specification for LTE networks and/or renovation of the existing LTE network are costly and time-consuming, the UENAC would be an effective choice from this perspective. However, there is a concern that the delay may interfere with user’s QoE (quality of experience) too much to use the UENAC. To investigate this issue, this paper carries out basic experiment that evaluates how much their QoEs are improved by getting a reward received for accepting the delay. The result indicates that an adequate reward will be able to make the operation of the UENAC feasible.

1. はじめに

LTE (Long-Term Evolution) 等の高速なモバイルネットワークに接続可能なスマートフォンの普及が進んでいる (以降、本論文では LTE に接続可能な機器を単に端末と呼ぶ)。端末が LTE 網を介して通信をする際、その通信に先立って、通信のための無線リソースを端末に割当てるための制御信号が、端末と LTE 網間、LTE 網内で複数発生する。端末が LTE 網に接続するたびに発生する制御信号は、スマートフォンの急速な普及により増加しており、LTE 網の設計容量を超える制御信号が瞬間的にも発生した場合には、LTE 網の品質劣化が発生することから、通

信キャリアにとって大きな課題となっている[1]。さらに、スマートフォンで実行されるアプリケーションの中には、更新確認やメッセージの到達確認のために利用者の操作とは関係なく定期的に通信を行うものが存在し、さらには、その通信タイミングが多数の端末間で同期する場合がある。通信タイミングが同期した場合、多数の端末が同時刻にネットワーク接続することとなり、その瞬間、LTE 網に大量の制御信号が発生する。こうした瞬間的な制御信号の発生は「制御信号スパイク」と呼ばれ、LTE 網全体に悪影響を与える深刻な問題として知られている[2][3]。

従来、こうした制御信号スパイクへの対策を目的に、LTE 網への接続タイミングが不必要に同期する事が無いよう、アプリケーション開発者向けのプログラミングガイドラインが発行されている[4][5]。また、利用者の端末の操作無く発生する通信に、通信用チップが遅延を付与し、制御信号スパイクの発生を抑制する技術も提案されてい

^{†1} 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University
^{†2} 静岡大学大学院情報学研究所
Graduate School of Informatics, Shizuoka University
^{†3}(株)KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories

る[6]. しかし, 前者は, あくまでもガイドラインであり, 全てのアプリケーション開発者が従うとは限らない. また, 後者は, 利用者の端末操作の有無の判定にディスプレイの状態(ディスプレイがオフであればバックグラウンド)を用いており, 例えば緊急地震速報など, 多数の端末のディスプレイが同時にオンとなり, さらに通信を発生させるような場面では, 制御信号スパイクが発生するという課題がある.

こうした課題に対処するため, 著者らは既に, 通信端末が発する全ての通信に対し, アプリケーションがエラーとならない短い時間間隔でランダムな遅延を付与し, 制御信号が発生するタイミングを分散する方式(以下, 端末制御方式)[7]を提案している. 端末制御方式では, 付与する遅延を最大8秒としており, この遅延により制御信号スパイクが抑制できることをシミュレーションにより示している.

端末制御方式は, 制御信号スパイクを抑制する技術としては有効であるが, 付与する通信遅延が, 利用者の体感品質(QoE, Quality of Experience)に与える影響が懸念される. Webシステムにおける応答時間の目安としては8秒ルール[8]の存在が知られているが, 最近では, 回線速度の向上によりユーザの許容時間は3秒程度まで短くなっているとも言われている. そこで本論文では, ユーザにインセンティブを与えることによって, 端末制御方式におけるユーザのQoEを制御する方式の可能性を模索する. 本稿では, その第一歩として, 「報奨金」というインセンティブによって遅延時間に対するユーザの心的許容度がどのように変化するか, 基礎実験を通じて調査する.

以降, 2章で端末制御方式について述べる. 3章で基礎実験の実験方法について説明し, 4章で実験結果について詳述する. 5章で本論文をまとめる.

2. 端末制御方式

2.1 制御信号とスパイク

LTEでは, 3GPP規格[9]の一部であるRRC (radio resource control) と呼ばれる無線リソース制御によって端末の無線通信制御を行っている. 端末は電源が投入されるとLTE網に登録され, RRCの「状態」が割り当てられる. RRCの状態は, RRC_IdleとRRC_Connectedの2値を持つ. RRC_Connected状態の端末は, 一定時間以内に送信または受信を行わなければ, RRC_Idle状態に遷移する. 端末が無線通信を行う際には, RRC_Idle状態からRRC_Connected状態に遷移する. この際, 端末に無線リソースを割り当てるための制御信号がLTE網内で複数発生する.

したがって, ある特定の時間やイベントに呼応して外部と通信を行うアプリケーションが多くの端末にインストールされていた場合, その特定の時間の到来(例えば, 毎日

24時にソフトウェアアップデートの更新情報の有無の確認する仕様となっているアプリケーション)やイベントの発生(例えば, ディスプレイがオンとなると同時に, 最新の天気予報を取得するようなアプリケーションが存在し, これが緊急地震速報によって同時に実行される場合)をトリガにして, RRC_Idle状態にあった多数の端末が一斉にRRC_Connected状態に遷移することによって, 制御信号スパイクが発生する.

2.2 端末制御方式の仕組み

端末制御方式[7]では, 端末のすべての通信に対して, 通信開始時にランダムな待機時間を強制することによって, 制御信号の送信タイミングをずらし, 制御信号スパイクを抑制する.

2.2.1 遅延時間

端末制御方式では, 端末の通信開始時にランダムな待機時間を強要するが, この待機時間によって通信およびアプリケーションの動作に障害があってはならない. 著者らは, モバイルアプリケーションにおけるネットワークタイムアウトに着目し, Android端末において, 典型的な通信のためのAPIやDNSクエリのタイムアウトを調査し, 待機時間が8秒以下であれば多くのアプリケーションでタイムアウトが発生しないことを確認した. これより, 端末制御方式における待機時間の最大を8秒に設定している[7].

2.2.2 適用条件

端末制御方式は, スパイクが発生していない状況においては, 通信時間に無用の遅延を挿入する結果となってしまう. したがって, 端末制御方式においては, スパイクの発生を予測し, その期間のみ本方式を適用するという運用が肝要となる. 著者らは, 以下の2つの条件において端末制御方式を適用することを想定している[7].

1つ目の条件は, 緊急地震速報のような制御信号のスパイクの原因となる可能性のあるイベントの発生時である. 具体的には, 端末が緊急地震速報によるLTEページングを受信したことを検知した時点で端末制御方式をアクティベートする.

2つ目の条件は, 定常的な制御信号のスパイクの発生である. 通信トラフィックはユーザの生活リズムに合わせて周期的に変動しており, 通信事業者は常にトラフィックを監視している. その中で制御信号が定常的に増加する時間帯においては, 端末制御方式をアクティベートする.

2.2.3 試算

著者らはシミュレーションによって, 全ユーザ端末に対する端末制御方式を適用した端末台数の割合を変化させた場合に, 制御信号スパイクがどれくらい抑制されるか評価

している[7]. 文献[10]および文献[11]に示されている実データを用いてのシミュレーションを通じ、平素の通信量の2倍程度の許容マージンを持ってLTE網の設備投資がなされているならば、全ユーザ端末のうちの60%が最大8秒の遅延を許容することで、制御信号スパイクを十分に抑止できることが確かめられた。また、もし全ユーザ（すなわち、すべての端末）が遅延を許容したとすると、最大3秒の遅延で制御信号スパイクを抑止できるというシミュレーション結果であった。

3. 実験方法

本稿では、端末制御方式におけるユーザのQoEを、インセンティブによって制御する方式に関する基礎評価実験を行った。基礎実験では、インセンティブとして報奨金を用い、遅延時間に対する被験者の心的許容度の変化を調査した。本章でこの実験について詳述する。また、端末制御方式がユーザに要求する遅延時間に対する妥当な報奨金額がどの程度になるか考察を行う。

3.1 実験概要

今回は基礎実験ということで、通信をするアプリケーションとしては最も一般的であるウェブブラウザに焦点を当てた実験を行う。基礎実験では、ブラウザの拡張機能であるアドオンを利用し遅延付加モジュールを実装することで、通信時に8秒以下のランダムな遅延を与えるようにしている。遅延付加モジュールには通信記録のロギング機能も実装されている。今回はGoogle Chromeのアドオンを利用して遅延付加モジュールを設計したため、普段からGoogle Chromeを利用していることを条件に被験者を選出した。

被験者は静岡大学情報学部の学生10人であり、普段利用しているGoogle Chromeブラウザに遅延付加モジュールであるアドオンをインストールしてもらった。事前アンケートにより被験者の大半が普段はスマートフォン上でのブラウジングを行わないことがわかったので、本実験では各被験者の所属研究室および自宅で被験者自身が専有するPCを利用して実験を行うことにした。今回は、報奨金額が異なる2つのインセンティブ設定A、Bを用意した。Aは累計1時間分の遅延を許容した場合に300円、Bは600円の報奨金が与えられるという設定である。実験期間を前半と後半に分け、被験者1~5にはA→Bの順で、被験者6~10にはB→Aの順で実験を行なってもらった。実験期間は、前半が2014年11月25日15時~28日15時の3日間、後半が2014年12月2日15時~5日15時の3日間である。実験終了後にアンケート調査を行い、各被験者の許容した遅延時間に応じて実際に報奨金を支払った。

表1 累計1時間分の遅延を許容した場合に求める報酬額のアンケート結果

	50円	100円	200円	300円	400円	500円
人数	1人	3人	1人	1人	2人	2人

3.2 インセンティブの設定

「モノ」の価値は人によって異なり得るため、本実験では、インセンティブとして「報奨金」を利用することとした。

時間あたりの報奨金額を決める上で、被験者に「累計1時間分の遅延時間を許容した場合、報奨金をどの程度要求するか」という事前アンケート調査を行った。結果を表1に示す。この結果の平均をとり、今回は「累計1時間分の遅延時間を許容した場合、300円を報奨金として与える」という設定を基準にした。また、アンケート結果の最高額が500円であったことから、報奨金の設定を基準額の2倍である600円にすれば被験者の全員が遅延を許容する形となる。そこで、報奨金額300円の設定Aの実験結果と600円の設定Bの実験結果を比較することで、累計1時間の遅延時間に対する妥当なインセンティブの大きさを分析することができると考えた。

3.3 制御信号スパイクの発生状況

LTE通信の流量の変動に応じて制御信号の流量も変動し、LTE網の許容流量以上の制御信号が発生した時点で制御信号スパイクが発生することになる。今回の実験では、LTE網における制御信号の流量の変動を正規分布でモデル化し、通信キャリアが正規分布の 1.0σ 範囲を基準にLTE網の設備投資を行なっている（ 1.0σ 範囲内の制御信号流量の増加であれば輻輳なく通信が行われるように設備投資がなされている）と想定した。また、制御信号の流量が増えるほど制御信号スパイクは深刻になることに鑑み、正規分布の 1.5σ 範囲の制御信号流量の増加を基準に制御信号スパイクのレベルを2種類に場合分けした。具体的には、正規分布の $1.0\sim 1.5\sigma$ 範囲内の制御信号流量の増加を「軽度」の制御信号スパイク、制御信号流量の増加が正規分布の 1.5σ 範囲を超えた場合を「強度」の制御信号スパイクという形でモデル化を行った。強度の制御信号スパイクは「全ユーザ端末の通信を長遅延内（今回の実験では0~8秒の範囲）で分散させなければ対処できない状況」に該当し、軽度の制御信号スパイクは「全ユーザ端末の通信を短遅延内（今回の実験では0~3秒の範囲）で分散させることによって対処が可能な状況」に該当する。

今回の実験においては、被験者のWebブラウザが通信を行う度に、「制御信号スパイクが発生していない状況（なし）」、「軽度の制御信号スパイクが発生した状況（軽度）」、「強度の制御信号スパイクが発生していない状況（強度）」

のいずれかが重み付きランダム選択によって選ばれる。「なし」、「軽度」、「強度」の発生確率は、正規分布の確率分布に従い、それぞれ 68%、19%、13%とした。なお、実際には通信キャリアはある程度大きな許容マージンをとって LTE 網の設備を強化しているため、現実において制御信号スパイクが発生することは稀有である。しかし今回は、遅延がユーザの QoE に与える影響を調査することが目的であるため、ある程度の頻度で制御信号スパイクが発生する条件となるように実験を設計している。

3.4 遅延時間の設定

今回の実験では、遅延時間に対する被験者の心的許容度を被験者の自己申告によって測定する。具体的には、Web ブラウジングの際に、被験者自身に、自分にとって許容可能な遅延時間（遅延設定）を選んでもらう。遅延設定はいつでも自由に変更可能である。端末制御方式は最大 8 秒の待機時間を各端末にランダムに与える方式である[7]が、被験者の操作が煩雑になることを防ぐため、今回は「nothing」「short」「long」の 3 種類の遅延設定を用意した。「nothing」は、被験者が遅延を許容しない場合の設定である。「short」は、3 秒以内の遅延を許容する場合の設定である。「long」は、8 秒以内の遅延を許容する場合の設定である。「short」の設定で遅延時間を 3 秒としたのは、Web システムにおける応答時間の目安(元来は 8 秒ルール[8]が知られているが、近年の回線速度の向上により、ユーザの許容秒数が 3 秒程度になっていると言われている)を参考にしたことによる。

「nothing」の遅延設定を選択している被験者は、端末制御方式の利用を許諾していないユーザに該当するため、制御信号スパイクが発生した状況であっても通信遅延を付与することはできない。すなわち、軽度のスパイクが発生した状況においては、「short」または「long」の遅延設定を選択している被験者の通信のみを遅延させることによって、ユーザ全体として通信が分散されるように運用がなされる形となる。また、「short」の遅延設定を選択している被験者は、短時間（今回の実験では 3 秒以内）であれば遅延を許容するユーザに該当するため、強度のスパイクが発生した状況であっても長時間（今回の実験では 3~8 秒）の通信遅延を付与することはできない。すなわち、強度のスパイクが発生した状況においては、「short」の遅延設定を選択している被験者に短時間の通信遅延を、「long」の遅延設定を選択している被験者に長時間の通信遅延をそれぞれ付与することによって、ユーザ全体として通信が分散されるように運用がなされる形となる。

以上をまとめたものが表 2 である。被験者が「nothing」の遅延設定を選択している場合は、制御信号スパイクの発生の有無に依らず、Web ブラウザからの通信は即座に（遅延なしで）開始される。「short」の設定が選ばれている場合は、制御信号スパイクが発生していない状況では遅延は

付加されないが、軽度または強度のスパイクが発生した状況においては、Web ブラウザからの通信開始時に 1, 2, 3 秒のいずれかの遅延がランダムに付加される。「long」の設定では、Web ブラウザからの通信開始時に適用される遅延は、それぞれ、制御信号スパイクが発生していない状況では遅延なし、軽度のスパイクが発生した状況では 1, 2, 3 秒のいずれかの遅延時間がランダムに選択され、強度のスパイクが発生した状況では 4, 5, 6, 7, 8 秒のいずれかの遅延時間がランダムに選択される。

表 2 遅延時間

スパイク 遅延設定	なし	軽度のスパイクが 発生	強度のスパイク が発生
nothing	0 秒	0 秒	0 秒
short	0 秒	1, 2, 3 秒から ランダムに選択	1, 2, 3 秒から ランダムに選択
long	0 秒	1, 2, 3 秒から ランダムに選択	4, 5, 6, 7, 8 秒か らランダムに選択

3.5 遅延付加モジュール

Google Chrome のアドオンでは、JSON 形式で書かれる manifest ファイルや HTML, JavaScript 等の言語を用いることで、ブラウザに拡張機能を追加することができる[12]。manifest ファイルには、アドオンの情報や設定を記述する。HTML や JavaScript を用いて、アドオンの要素を作成する。

本実験で遅延付加モジュールとして作成したアドオンの構成を図 1 に示す。それぞれの要素について説明する。



図 1 遅延付加モジュールの構成



図 2 アドオンのブラウザアクション

background ページは、アドオンを有効にした場合に動作する拡張プロセスである。HTML で書かれており、アドオンが有効になっている間、動作する。遅延付加モジュールでは、background ページでブラウザにおける通信を監視して、通信開始時に遅延設定に応じた遅延時間を強制する。通信の監視には、chrome.webRequest.onBeforeRequest [13] を利用した。background ページは通信ログの記録も行う。記録する情報は、通信発生時の日時、遅延設定 (nothing/short/long)、制御信号スパイクの発生状況 (なし/軽度/強度)、実際に付加された遅延時間の 4 つである。ログの保存は、DOM Storage の 1 つである JavaScript の localStorage [15] を利用した。

manifest ファイルにブラウザアクションの表示とアイコン画像の設定を記述することによって、アドオンが有効にされた場合に Google Chrome のアドレスバーの右側に図 2(a)のアイコン画像が表示されるようにしている。また、ブラウザアクションのバッジ表示機能を用いて現在の遅延設定をアイコン画像上に表示することで、被験者自身が現在選択している遅延設定 (nothing/short/long) を確認できるようになっている。また被験者は、このアイコンをクリックすることにより、HTML で記述された popup ページを呼び出し、遅延設定を変更することが可能である。popup ページでは、実験開始時からその時点までに被験者に付加された遅延時間の総計をポイントという形 (1 秒につき 1 ポイント) で確認することもできる。

今回は、被験者の便宜を配慮して、遅延設定変更用のアドオンも用意し、それらアドオンのブラウザアクションのクリックによっても遅延設定を変更できるようにした。図 2(b)のアイコンが遅延設定アップアドオンのブラウザアクションであり、被験者がこのアイコンをクリックする度に、遅延設定が nothing→short→long と変更される。図 2(c)のア

アイコンは遅延設定ダウンロードオンのブラウザアクションであり、クリックの度に遅延設定が long→short→nothing と変更される。

option ページは、遅延付加モジュールの各種管理機能を提供するために作成された HTML ページである。遅延設定の変更、ポイントの確認に加え、実験結果のログを csv 形式ファイルとして出力するコマンドを備える。

4. 実験結果と考察

遅延付加モジュールの通信ログおよびアンケート結果から報奨金と遅延に対する QoE の関係について考察する。

4.1 各遅延設定の許容率

実験中の Web ブラウザの全利用時間において、「nothing」、「short」、「long」のそれぞれの遅延設定が選択されていた時間の比率を「各遅延設定の許容率」と定義する。全被験者のログファイルを確認したところ、実験初日のみ遅延設定を頻繁に変更している傾向が見られた。追加アンケートを実施し、その理由を尋ねたところ、各遅延設定がどの程度の遅延を与えるのかということを実験初日に確認したという回答が多かった。そのため、表 3 の許容率算出の際には、前半、後半それぞれの実験期間において、実験 2 日以降のログデータに対して各遅延設定の許容率を算出した。表 3 にその結果を示す。

表 3 各遅延設定の許容率

被験者	設定 A における許容率(%)			設定 B における許容率(%)		
	nothing	short	long	nothing	short	long
1	0	100	0	0	100	0
2	34.8	65.2	0	0	90.8	9.2
3	0	0	100	0	0	100
4	8.6	91.4	0	4.1	0	95.9
5	0	0	100	2.6	0	97.4
6	0	0	100	0	0	100
7	0	100	0	0	94.1	5.9
8	0	0	100	0	47.1	52.9
9	36.0	0	64.0	10.2	40.9	48.9
10	0	0	100	0	0	100
平均	7.9	35.7	56.4	1.7	37.3	61.0

2.2.3 節で述べたように、文献[7]のシミュレーション結果から、(i) 全ユーザの 60%が最大 8 秒の遅延を許容するか、(ii) 全ユーザが最大 3 秒の遅延を許容することで、制御信号スパイクが抑止可能であることが分かっている。今回行った実験では、遅延設定を short (最大 3 秒の遅延) と long (最大 8 秒の遅延) に分類しているため、これを考慮した

形で(i)および(ii)を記述すると、端末制御方式が実現可能といえる条件は以下となる。

- ・ ケース(i) :
 「long」または「short」を選択しているユーザが、全ユーザの 53.3%以上。かつ、「long」を選択しているユーザが、全ユーザの 33.3%以上。
- ・ ケース(ii) :
 全ユーザが「short」（または「long」）を選択。

表 3 より設定 A, B の両方でケース(i-1)または(i-2)の条件が満たされていることが確認できる。このことより、累計 1 時間の遅延に対して 300 円程度の報奨金を用意することによって、端末制御方式が適切に機能する状況が実現可能であることが示唆される。また、設定 A (報奨金 300 円) よりも設定 B (報奨金は 600 円) のほうが、「nothing」および「short」の許容率が低下し、「long」の許容率が上昇していることから、ユーザは報奨金が高額になるほど通信時の遅延をより許容できることが確かめられた結果が得られている。特に、設定 B においては、あと僅かでケース(ii)の条件が満たされる結果が得られているため、累計 1 時間の遅延に対して 600 円程度の報奨金を用意することによって、全ユーザが端末制御方式の利用を許諾する状況が実現できる可能性が示された。

4.2 アンケート結果

表 4 に実験終了後に実施したアンケートの項目を、表 5 に各被験者のアンケート結果を示す。

項目 6 の回答より、無報酬ならば short を利用すると回答する被験者が多いことがわかる。すなわち、ユーザは、報酬が無ければ短時間の遅延しか許容できないということがいえる。これより、ユーザの遅延許容度を増加させるためには、報奨金のようなインセンティブを利用することは有効な手段であることがわかる。

被験者 9 の項目 7 の回答から、大きな遅延を連続して同じユーザに与えないようにするという運用によって、端末制御方式におけるユーザの QoE の低下を防ぐことができる可能性があると考えられる。また、被験者 3 および被験者 8 の項目 7 の回答より、普段利用している回線の速度が遅くなるほど、遅延に対する心的許容度が大きくなることがわかる。

今回、数名の被験者が「実験協力なので short を利用する」という回答を寄せている。このことから、ユーザに遅延を許容させるための要因として、「人の善意」というものが働いている可能性があると考えられる。例えば災害時には人の善意が働くことが期待されるため、緊急地震速報などが原因となる制御信号スパイクに対しては、多くのユーザが遅延を許容するのではないかと考えられる。また、災

害時以外にもこれを活用することができるなら、遅延に対するユーザの許容度を引き上げることが可能となるかもしれない。

項目 1 の回答からは、通常のユーザはある意味で「面倒くさがり」であり、必要性が感じられない限り、遅延設定の変更はしないということが分かる。

項目 4 の回答より、実験中に利用した遅延付加モジュールのユーザインタフェースについては、全体的に良い評価を得られている。このため、今回の遅延付加モジュールの作り込みには、ユーザの遅延許容度の測定に何らかの悪影響を与えるような不備はなかったと判断している。

表 4 アンケート項目

項目 1	どのような状況で遅延設定を変更したか。
項目 2	普段の利用と比較して、何らかの影響が出たと感じたか。(5段階評価:5ほど影響が大きい)
項目 3	具体的にどのような変化が出たと感じたか。(項目 2 で 5 または 4 を選んだ人のみ回答)
項目 4	アドオンのユーザインタフェースは使いやすかったか。(5段階評価:5ほど使いやすい)
項目 5	具体的にどのような点が使いにくいと感じたか。(項目 4 で 2 または 1 を選んだ人のみ回答)
項目 6	無報酬で同じような実験を行った場合、遅延設定をどのように選択するか。
項目 7	どのような条件ならば、遅延を許容しても良いと思うか。

5. まとめと今後の課題

本稿では、端末制御方式におけるユーザの QoE をインセンティブによって制御する可能性を模索した。報奨金というインセンティブをユーザに与えた場合のユーザの遅延時間に対する心的許容度の変化を調査するための基礎実験を通じ、累計 1 時間の遅延に対して 300 円程度の報奨金があれば、端末制御方式が機能するために必要となるユーザ数である 60%の利用者を確保可能であることが確かめられた。

今後の課題として以下の 3 点が挙げられる。

- 報酬金額を 300 円以下にした場合の QoE の調査。
- スマートフォンユーザに対する QoE の調査。
- 報奨金以外のインセンティブについての検討。

表5 アンケート結果

被験者	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5	項目6	項目7
1	問題を感じなかったため、ずっと short	1	-	3	-	short ならやってもよい	現在見ているページでなければ多少の遅延は許容できる
2	最初は long, 通信頻度によって設定を変更した	3	-	5	-	おそらく short を利用する	嫌になる遅延は感じなかったため、今回の遅延程度なら許容可能
3	設定変更が面倒だったので、long のみ	1	-	3	-	nothing を選択する	普段利用している回線が遅いため、遅延は気にならなかった
4	普段は short で急いでいる時は nothing にした	2	-	5	-	実験協力なので short を利用する	遅延が発生することが前もってわかる状況
5	ずっと long を利用した	4	設定していることを忘れていた時に遅く感じた.	3	-	short を選択すると思う	別にすべき作業がある状況なら許容できる
6	ポイントを貯めたかったからずっと long	1	-	4	-	実験に参加しない	気になる遅延は許容できない
7	作業する時は long から short に変更した	1	-	5	-	特に変わらない	遅延の長さはそれほど気にならなかったもので、特に条件はない
8	気まぐれにポイントを確認してより欲しくなったら設定を大きく、遅延によって嫌な気持ちになったら小さくした	5	いつもよりページの読み込みに時間がかかると感じた	4	-	実験協力なので long や short を利用する	もともと重くて時間のかかるページならば、8秒の遅延くらい気にならない
9	急いで利用したい場合以外は long を利用	5	「Delay を待機しています」と表示されている時はとても遅く感じた	3	-	long を利用し、煩わしいと感じたら nothing を利用する	特に急いでいないような状況なら5回に1回程度の遅延なら許容できると感じた
10	ポイントを貯めたかったので long を利用した	4	ネットの接続が遅いと感じた	4	-	おそらく short を利用する	インセンティブ設定が高ければ良い

参考文献

1) Yongmin Choi, Cha-hyun Yoon, Youg-sik Kim, Seo Weon Heo and John A. Silvestor, "The Impact of Application Signaling Traffic on Public Land Mobile Networks," IEEE Communications Magazine, pp.166-172, January 2014.
 2) Maruti Gupta, Satish C. Jha, Ali T. Koc and Rath Vannithamby, "Energy Impact of Emerging Mobile Internet Applications on LTE Networks: Issues and Solutions," IEEE Communications Magazine, pp.90-97, February 2013.
 3) Croline Gabriel, "DoCoMo demands Google's help with signalling storm," Rethink Wireless, January 2012. 入手先 <<http://www.rethink-wireless.com/2012/01/30/docomo-demands-googles-signalling-storm.htm>> (参照 2015-02-09)
 4) GSMA Technical Projects, Smarter Apps for Smarter Phones, GSMA Smarter App documents, April 2012, 入手先 <<http://www.gsma.com/technicalprojects/smarter-apps-for-smarter-phones>> (参照 2014-09)

5) GSMA Technical Projects, Background / Foreground modes, 入手先 <<http://smarterappsguidelines.gsma.com/general-development/ideal-mobile-application/background-foreground-modes/>> (参照 2014-09)
 6) Qualcomm, Managing Background Data Traffic in Mobile Devices, Qualcomm Incorporated, January 2012, 入手先 <<http://www.qualcomm.com/media/documents/managing-background-data-traffic-mobile-devices>> (参照 2015-02-09)
 7) Daisuke, A., Tomohiko, O., Masafumi, W., Shigehiro, A., Masakatsu, N. and Hiroshi, M., UE-based Network Access Timing Control Scheme for Avoiding Signaling Spikes, ICC (IEEE International Conference on Communications) 2015, to be appear
 8) Zona Research, The Economic Impacts of Unacceptable Web-Site Download Speeds, 入手先 <http://www.webperf.net/info/wp_downloadspeed.pdf> (参照 2015-01-23)
 9) 3GPP, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio

Resource Control (RRC); Protocol Specification, 3GPP TS 36.331, Rel. 10, V10.7.0, September 2012.

10) Jie Yang, Shuo Zhang, Xinyu Zhang, Jun Liu and Gang Cheng, Characterizing Smartphone Traffic with MapReduce, Proceedings of 16th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC) 2013, pp.1-5, June 2013.

11) 3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network, LTE Radio Access Network (RAN) enhancements for diverse data applications (Release 11), 3GPP TR 36.822, V11.0.0, September 2012.

12) What are extensions? - Google Chrome, 入手先
<<https://developer.chrome.com/extensions/index>>(参照 2015-01-24)

13) chrome.webRequest - Google Chrome, 入手先
<<https://developer.chrome.com/extensions/webRequest>>(参照 2015-01-24)

14) DOM Storage guide - Web developer guide | MDN, 入手先
<<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Guide/API/DOM/Storage>>(参照 2015-01-24)