

スマートフォンの通信遅延における ユーザのウェアネスと QoE の関係に関する基礎検討

白井 丈晴¹ 藤田 真浩² 荒井 大輔³ 大岸 智彦³ 西垣 正勝^{2,a)}

受付日 2017年3月13日, 採録日 2017年9月5日

概要: 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り当てるために 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る. 制御信号の輻輳への対策として, 通信端末が発するすべての通信に対し, プロトコルエラーとならない程度の短時間のランダムな遅延を付与し, 端末が制御信号を発生させるタイミングを分散する端末制御方式がすでに提案されている. 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. しかし, 端末制御方式によって付与される通信遅延による利用者の体感品質 (QoE) の低下が懸念される. そこで本論文では, ユーザの心理的側面からアプローチすることによって, 他の対策 (設備投資の増加や補償金の支払い等の方法) よりも低コストで, 通信遅延によるユーザの QoE の劣化を緩和する方式の提案・評価を行う. 提案方式は, 「ユーザが注目してしまうようなコンテンツ」をコンシェルジュのようなキャラクターが表示することによってユーザの注意をそらし, ユーザに通信遅延の発生を気付かせない方式となっている. 提案方式の有効性を示すために, クラウドソーシングを利用した 500 名規模のユーザ評価実験を行った.

キーワード: スマートフォン, 通信遅延, QoE, 認知心理学

A Study on the Relationship between User Awareness and QoE in Communication Delay on Smartphone

TAKEHARU SHIRAI¹ MASAHIRO FUJITA² DAISUKE ARAI³ TOMOHIKO OGISHI³
MASAKATSU NISHIGAKI^{2,a)}

Received: March 13, 2017, Accepted: September 5, 2017

Abstract: Network delay may occur on the LTE (Long Term Evolution) network due to signaling spikes. This decreases quality of experience (QoE). In this paper, we propose a method for mitigating the effect of such a delay. Our method acts as “a concierge” to divert the attention of users away from delay. The biggest advantage of our method is that it can be implemented at lower cost compared to other methods (e.g. capital investment or financial compensating). To evaluate our method, we conducted comprehensive user experiments using crowdsourcing. The results show the effectiveness of our method.

Keywords: smartphones, communication delay, QoE, cognitive psychology

¹ 静岡大学大学院総合科学技術研究科
Graduate School of Integrated Science and Technology,
Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432–8011, Japan
² 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka Uni-
versity, Hamamatsu, Shizuoka 432–8011, Japan
³ 株式会社 KDDI 総合研究所
KDDI Research, Inc., Fujimino, Saitama 356–0003, Japan
a) nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

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, 通信のための無線リソースを端末に割り当てるために, こうした通信そ

のものとは別に、事前に端末と LTE 網間、ならびに LTE 網内で制御信号が複数発生する。端末が LTE 網に接続するごと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時的にで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]。特に、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定期的に（たとえば、毎日特定の時刻になるたびに、あるいは、スリープ状態にあった端末がアライブ状態になるたびに）通信が発生させるものが存在し、こ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。この結果、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 網には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]。

こうした制御信号スパイクが発生しないように、キャリアとして、平素の制御信号流量最大値に合わせて設備投資を行う場合が考えられるが、人が集まるイベントの開催（突発的な人口集中による制御信号スパイクの発生）や緊急地震速報等の発報（発報によって多数の端末のスリープがいっせいに解除されることによる制御信号スパイクの発生）のようなイレギュラーな場面には対応しきれていない。実際にこのような事態は多く発生している [4]。このような事態に対し、さらに設備投資を行って通信の劣化を防ぐ方法やユーザに補償金を支払い通信の劣化を許容してもらう方法があるが、どちらもさらにコストがかかることになる。こうした課題に対処するため、著者らはすでに、通信端末が発するすべての通信に対し、プロトコルエラーとならない程度の短時間の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）[5]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、ラッシュアワー等の「平素の制御信号の流量が上昇する時間帯（制御信号流量が設計容量の限界に近づく可能性がある状況）」や、集客イベントの開催時や緊急地震速報の発報時等の「制御信号の流量の突発的な上昇が見込まれた時点（制御信号流量が設計容量を超える可能性がある状況）」において、各端末に最大 8 秒の遅延をランダムに付与する。

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。そこで本論文では、QoE がユーザの主観に大きく左右されることに鑑み、ユーザの心理的側面からこの課題にアプローチし、他の対策（設備投資の増加や補償金の支払い等

の方法）よりも低コストで、通信遅延によるユーザの QoE の劣化を緩和する方式の提案・評価を行う。提案方式は、端末制御方式が各端末に遅延を付与した時点で発動し、端末のディスプレイにコンシュルジュ（イラストと発話内容）を表示する。コンシュルジュによってユーザの注意をそらし、ユーザに通信遅延の発生を気付かせない方式となっている。提案方式の有効性を示すために、クラウドソーシングを利用した 500 名規模のユーザ評価実験を行った。

以降、2 章で関連研究について述べ、3 章で提案方式について説明する。4 章で実験方法を説明し、5 章および 6 章で実験結果について詳述する。7 章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

2.1 遅延がユーザに与える影響

通信遅延がユーザに与える影響について調査した先行研究について紹介する。

SmartBear 社によって行われた調査 [6] では、Web サイトにおけるユーザの待ち時間の許容範囲として、3 秒が 1 つの目安になっていることが報告されている。Web ページが 3 秒以内に表示されなければ 57% のユーザがそのサイトを閲覧することを諦めてしまい、待ち時間が 1 秒増加するごとに閲覧数は 11%、ユーザの満足度は 16% 減少するという結果も報告されている。モバイルサイトの場合、この傾向はさらに顕著になっており、ユーザの 60% が 3 秒以内に表示されることを期待していて、5 秒以内に表示されなければ 74% のユーザが別のサイトに移ってしまうという結果が報告されている。

Kuo ら [7] は、モバイル付加価値サービスのサービス品質を評価するためのモデルを設計した。このモデルを用いて、サービス品質、知覚価値、顧客満足度、購入後の行動の間の関係について議論した。その結果、サービス品質は顧客満足度に正の影響を与えることが分かった。特にサービス品質（「顧客サービスとシステムの信頼性」、「コンテンツの品質」、「接続速度」）の 3 つの次元が顧客満足度に有意な正の効果をもたらした。これら調査結果から、通信遅延がユーザの満足度に対して多大な影響を及ぼすことが分かる。

情報セキュリティ技術に対するユーザの安心感の構造についての調査 [8] では、オンラインショッピングにおけるユーザ（情報セキュリティ技術の知識のないユーザ）の安心感について調査している。調査結果として、「善意の認知」、「能力や誠実さの認識」、「ユーザの心象」、「企業に対する第三者の評判情報の認知」が安心感の要因としてあげられている。このうち、「能力や誠実さの認識」の要因は、ユーザが主観的に「オンラインショッピングサイトが信頼に足る能力と誠実さを持っている」と判断している場合に、そのユーザはオンラインショッピングに安心感をいだく傾向にあることを示している。通信遅延により Web の応答

時間が伸びてしまい、ユーザに「このオンラインショッピングサイトは設備投資が不十分である（能力と誠実さの欠如）」と判断されてしまうと、ユーザの安心感を損ねてしまう可能性があるといえる。

2.2 ユーザの QoE と遅延の関係

近年、ネットワーク品質の評価指標として、サービス品質 (QoS, Quality of Service) に加え、ユーザの体感品質 (QoE, Quality of Experience) が重要視されている。顧客満足度の高いサービスを提供するうえで、QoE のような主観的な評価基準を考慮することは重要である。本節では、ユーザの心理的要素が QoE に与える影響について調査した先行研究について紹介する。

文献 [9] は、ユーザの心理状況が QoE に与える影響について調査した研究である。時間的制約を受けている状態の被験者群 (以降、制約群) とタスクに集中する必要のない状態の被験者群 (以降、ながら群) とそのどちらでもない被験者群 (以降、対照群) に、Web 上で簡単な計算問題を 90 秒の制限時間で解くゲームを回答させ、サイト表示時の遅延に対する QoE 評価を行っている。ながら群では、ニュース番組を見ながら計算問題のタスクに回答させることで、集中しなくてよいような状況を作っている。挿入する遅延時間は、0~8 秒、10 秒、12 秒の計 11 種類である。結果として、ながら群、対照群、タスク群の順に 90 秒を短く感じ、遅延秒数が 1 秒増えるごとの QoE 評価の低下率も、ながら群、対照群、タスク群の順に小さくなることが報告されている。

文献 [10] は、ダウンロードコンテンツのジャンルとそれらのユーザの興味度によって許容待ち時間の変化を調査した研究である。結果として、ユーザの興味度が高いジャンルは許容待ち時間が長くなることが分かった。また、映画のように再生時間が長いコンテンツに対して、ユーザの許容待ち時間が長くなるという調査結果も報告されている。

文献 [11] は、通信速度に対する先入観がユーザの QoE に与える影響を調査した研究である。被験者に 3G, LTE, Wi-Fi 回線を使用していると認識させる実験用アプリケーションを利用し、ユーザの認識と実際の通信速度 (0.5, 1, 2, 5, 10 Mbps) のギャップが QoE にどのように影響するか実験している。結果として、実際には同じ通信速度であっても、被験者が 3G 回線を使用していると認識している場合には、LTE 回線、Wi-Fi 回線と認識している場合と比べて通信の満足度が低下していた。このことから、文献 [11] の著者らは、通信回線種別に対する先入観が通信速度に対するユーザの QoE に影響を与えていると結論付けている。

このように、ユーザの QoE は、ユーザの心理状況等の主観的要素によって変化するため、さまざまな観点からの QoE 評価研究は非常に重要であるといえる。

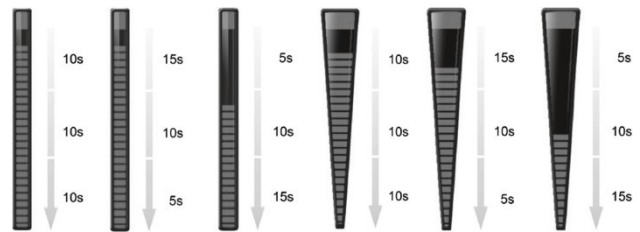


図 1 赤信号のデザイン

Fig. 1 Design of red light.

2.3 遅延の影響を緩和するインタフェース

通信の進行状態を表示する手法として、プログレスバーが代表的であり、通信遅延による QoE の低下を緩和する効果があるといわれている。また、データのダウンロード画面に 1 コマ漫画を表示するようなスマートフォンアプリもある [12]。

どのようなプログレスバーがよりユーザにストレスを感じさせないかを調査した文献 [13] では、単色のバーと色が変化するバー、バーに波模様のアニメーションを表示するバーの 3 種類のバーを比較している。結果として、波模様のアニメーションのバーが一番ユーザにストレスを感じさせない方式であるということが報告されている。

文献 [14] では、異なる形状、異なる表示速度によるプログレスバーに対する、ユーザの時間の感じ方の変化を調査した結果が報告されている。ここでは赤信号が青に変わるまでの表示デザインによって、時間の感じ方に変化があるか実験を行っている。図 1 に実験で用いたデザインを示す。各デザインの横に書かれた秒数は、表示速度を表している。たとえば、左から 2 番目のデザインでは、バーの最初の 1/3 は 15 秒、次の 1/3 は 10 秒、最後の 1/3 は 5 秒の速度で表示する形となる。結果として、デザインによってユーザの時間の感じ方が変化し、右から 2 番目のデザインが一番短く感じるデザインと評価された。

文献 [15] では、遅延中の時間つなぎの方式の比較評価を行っている。方式としては、ローディングバーを表示する方式とプログレスバーを表示する方式、それらとともにトリビアを表示させるものを比較評価している。結果として、トリビア付きのプログレスバーがユーザ満足度を高く保つ効果があることが示された。また、表示されるトリビアへの興味度合いによってトリビアを含む方式の効果が変動することも示している。

このように、遅延を長く感じさせないようなインタフェースに関する研究は行われている。しかし上記の研究では、ユーザは遅延があったことについてはこれを知覚してしまう。より QoE を高く保つためには、通信遅延を短く感じさせるだけでなく、遅延があったことに気づかせない方式が有効であると考えられる。そこで本論文では、ユーザに遅延があったこと自体を気づかせない方式について模索する。

3. 遅延による QoE 低下を緩和する方式

通信遅延はユーザの QoE に多大な悪影響を与えることが予想されるため、通信遅延による QoE の低下を緩和する方法を模索することは重要である。本章では、既存方式として、通信遅延を被ったユーザに補償金を支払う方式（以降、補償金方式）を紹介する。そして、提案方式として、通信遅延に気づかせない方式を提案する。

3.1 補償金方式

通信遅延による QoE の低下を緩和する方式として、補償金を支払う方法がある。過去に実際に通信障害が起こった際に、この方法が実施されたことがあり [16]、その際には、利用者の通信料金の請求額から 700 円の減算が行われた。著者らも、以前に、報奨金がユーザにとって「通信遅延を許容するにあたってのインセンティブ」となりうることを、評価実験を通じて確認している [17]。補償金方式は、通信遅延による QoE の低下を防ぐものではなく、通信遅延によって低下したユーザの QoE を補償金によって埋め合わせてもらうアプローチである。当然のことながら、この方法には、補償金を支払うコストがかかるという問題がある。

3.2 提案方式

本論文では、通信遅延による QoE 劣化の問題に対し、ユーザの心理的側面からアプローチする。具体的な方法としては種々考えられるが、今回は、通信遅延発生中に遅延の発生をユーザに通知せずに、「ユーザが目目してしまうようなコンテンツ」を端末画面に表示することで、ユーザの注意を通信遅延からそらす方法を採用する。通信遅延から注意をそらすことによって、ユーザは通信遅延があったこと自体に気づかなくなるため、QoE の低下をより軽減することが可能であると期待される。この方式は、文章を表示するだけなので、低コストで実現可能である。

提案方式においては、ユーザの注目を惹くコンテンツを用意することが重要となる。本研究では、コンシェルジュのようなイラストを利用して、そのコンシェルジュがユーザに話しかけるようなインタフェースを作成する。文章に関連するイラストの利用が、イラストに添えられた文章を読みたいと思う動機づけをユーザに与えることが知られている [18]。そのため、コンシェルジュのイラストと発話内容を関連付けることで、ユーザが自然にコンシェルジュの発話内容（ユーザの注目を惹く情報）を読む可能性が上がると期待できる。

遅延が生じた場合のみにコンシェルジュを出現させる方法をとった場合、ユーザはコンシェルジュの出現時に遅延が生じていることに気づいてしまう。そのため、コンシェルジュは平素から（遅延発生時以外にも）ユーザに話しか

けるように運用する必要がある。コンシェルジュはさまざまな情報を伝えることによってユーザを支援するエージェントであるため、そのような運用に適している。ただし、過度のコンシェルジュの出現は、逆に、ユーザの利便性を低下させてしまうため、そのバランスについては今後調査しなければならない。

4. 実験方法

4.1 実験目的

本実験で、提案方式の有効性（通信遅延によるユーザの QoE の低下を緩和できるか）を検証する。また、既存方式である補償金方式との比較評価を行う。挿入する遅延としては 10 秒 1 回、5 秒 1 回、5 秒 2 回の 3 種類を用意し、遅延時間と頻度による各方式の有効性の変化を調査する。

4.2 実験内容

実験用 Web ページを作成し、全被験者に閲覧を依頼する。当該 Web ページ内でのページ切替えの部分に遅延を加えることで、通信遅延の発生を再現し、これによって被験者の QoE 評価を行った。

QoE 評価は、通信の満足度を 7 段階評価（とても不満・不満・やや不満・普段と変わらない・やや満足・満足・とても満足）で被験者に尋ねることによって行った。満足度についてより詳細な分析を行うために、多面的感情状態尺度・短縮版 [19] を利用したアンケートもあわせて実施した。今回の実験では、通信遅延に関係がありそうな感情として、「敵意」、「倦怠」、「活動的快」、「集中」の 4 因子を用い、遅延経験後の感情について 4 段階評価（まったく感じていない、あまり感じていない、少し感じている、はっきり感じている）で答えてもらった。

4.3 実験群

本実験では、以下の 10 種の実験群を用意した。

- 遅延なし、かつ、適用方式なし（以降、遅延なし群）
- 10 秒 1 回の遅延あり、かつ、適用方式なし（以降、10 秒 1 回方式なし群）
- 5 秒 1 回の遅延あり、かつ、適用方式なし（以降、5 秒 1 回方式なし群）
- 5 秒 2 回の遅延あり、かつ、適用方式なし（以降、5 秒 2 回方式なし群）
- 10 秒 1 回の遅延あり、かつ、補償金方式を適用（以降、10 秒 1 回補償金群）
- 5 秒 1 回の遅延あり、かつ、補償金方式を適用（以降、5 秒 1 回補償金群）
- 5 秒 2 回の遅延あり、かつ、補償金方式を適用（以降、5 秒 2 回補償金群）
- 10 秒 1 回の遅延あり、かつ、提案方式を適用（以降、10 秒 1 回提案方式群）



図 2 提案方式に利用したイラスト

Fig. 2 Illustration used in proposed method.

- 5秒1回の遅延あり, かつ, 提案方式を適用 (以降, 5秒1回提案方式群)
- 5秒2回の遅延あり, かつ, 提案方式を適用 (以降, 5秒2回提案方式群)

遅延なし群, 方式なし群, 補償金群, 提案方式群では, 通信遅延が生じた際の振舞いが異なる. 提案方式群は, 通信遅延中にコンシェルジュが現れ, 文章 (コンシェルジュの発話) が表示される. 本実験では, コンシェルジュは雑学を表示する. 表示する雑学は「日本における『猫の日』は, 2月22日になっています. 1987年に制定されました。」と「2月22日が選ばれた理由は, 猫の鳴き声の『にゃん (2) にゃん (2) にゃん (2)』から名前を付けています。」の2つを採用した. 遅延が1回だけの実験群では前者のみを, 2回の実験群では前者と後者の雑学を順に表示した. 本実験で利用したコンシェルジュのイラストを図2に示す. 3.2節で述べた理由から, コンシェルジュの発話内容と関連付けたイラストを採用している. 今回は猫に関する雑学を表示するため, コンシェルジュのイラストは猫とした. 補償金群は, 通信遅延中には何も表示されないが, 「満足度の質問」のWebページにおいて, お詫びの一文と遅延に対する補償金額が表示される. 遅延なし群と方式なし群は, それぞれ統制群であり, 特別な表示はない.

今回の実験で10秒1回, 5秒1回, 5秒2回の遅延を採用した理由は以下のとおりである. まず, 文献 [6] の調査結果を参考にして, ユーザが「十分に嫌だ」と感じる遅延である10秒1回を採用した. そして, 10秒1回の遅延との対比のしやすさに考慮して, 5秒1回と5秒2回の遅延を採用した.

4.4 被験者

被験者はクラウドソーシングサービスであるランサーズ [20] を通じて, 各群 50 名以上となるように募集した. 2 つ以上の実験群の被験者を兼ねる被験者はいない (被験者間実験の形態をとっている). ランサーズでは, 著者ら (実験実施者) が作成した実験用 Web ページに遷移し, Web

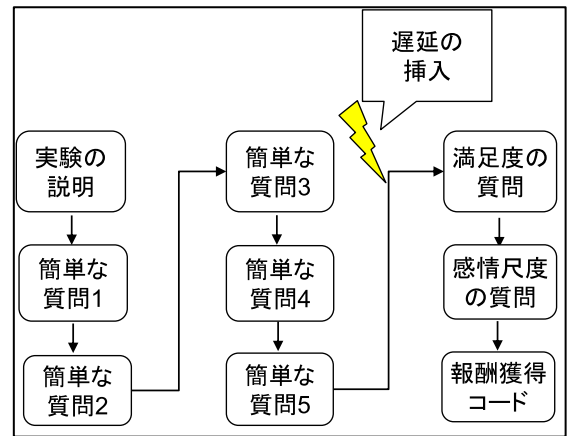


図 3 実験用 Web ページのフロー (10 秒 1 回群および 5 秒 1 回群)

Fig. 3 Flow of the experimental Web page for (10 seconds, once) group and (5 seconds, once) group.

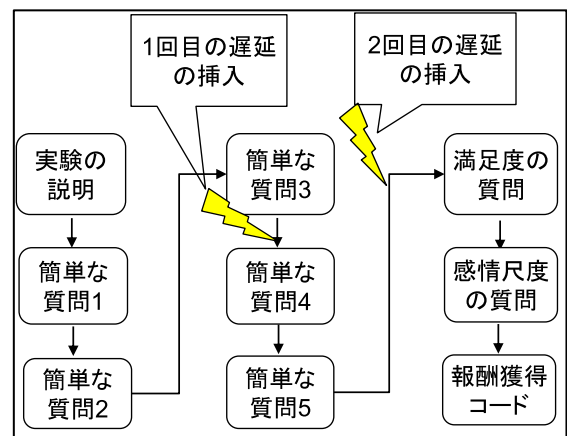


図 4 実験用 Web ページのフロー (5 秒 2 回群)

Fig. 4 Flow of the experimental Web page for (5 seconds, twice) group.

ページを閲覧してもらうというタスクを依頼した. 実験用 Web ページの最後まで到達すると報酬獲得コードが表示されるので, これをランサーズの Web ページで入力するとタスク完了となる. 各被験者には, タスクの報酬として 80 円を, さらに補償金群の被験者に対しては遅延の補償金を追加で支払った. 10 秒 1 回群と 5 秒 2 回群には 20 円, 5 秒 1 回群には 10 円を補償金として支払った. なお, 今回のタスクが学術目的での依頼であることを伝えたくて, タスクを依頼した.

4.5 実験用 Web ページ

実験に用いる Web ページは HTML と JavaScript, PHP を用いて作成した. 今回の実験用 Web ページは全 9 ページで構成されており, 図 3, 図 4 に示されたフローでページが遷移する. まず, 実験ページの説明を行い, その後 5 つの「簡単な質問」を行うアンケートページが続く. アンケートページを表示する際, 各遅延設定に応じて遅延を挿入する. 10 秒 1 回群と 5 秒 1 回群では質問 5 から次ペー

ジに遷移する際に、5秒2回群では質問3から質問4に遷移する際と質問5から次ページに遷移する際にそれぞれ遅延を挿入した。その後、被験者が通信の満足度（とその理由）および多面的感情状態尺度の質問に答えると、報酬獲得コードが表示され終了となる。

ユーザの通信環境によって、ユーザが体感する通信品質やユーザが期待する通信品質は異なりうる。このような被験者ごとの通信回線速度による影響を排除するために、実験用 Web ページは、実際にはインターネット上の Web ページの遷移は行わずに、実験開始時に全ページのデータを端末に一括してダウンロードさせたうえでページの表示のみを切り替える仕組みになっている。被験者にはインターネット上で Web ページの遷移を行っているかのように思わせるため、10秒および5秒の遅延発生箇所以外のページ切替えにおいても0.4秒の遅延を挿入している。

今回の実験用 Web ページで出題した「簡単な質問」は以下の5問である。ただし、紙面スペースの都合上、各質問は要約している。

- ① 年代 (10代以下・20代・30代・40代・50代・60代以上)
- ② 性別 (男性・女性)
- ③ 平素のスマートフォンの利用において、通信速度に満足しているか (満足していない・あまり満足していない・どちらでもない・まあまあ満足している・満足している)
- ④ スマートフォンで Youtube 等の動画視聴サイトを見る時、動画が途切れることがどの程度あるか (ほとんどない・あまりない・たまにある・まあまあある・かなりある・スマートフォンで動画視聴サイトは見ない)
- ⑤ あなたのインターネットに関する知識レベルはどの程度か (低い1・2・3・4・5・6・7高い)

質問①、②において被験者の基本的な情報を、質問③～⑤において被験者のスマートフォン利用に関する情報を質問している。質問④は、各被験者の平素の通信速度を知るための質問である*1。これらの質問の回答によって被験者を属性ごとに分け、各被験者の満足度と属性との間の相関(交互作用)の分析を試みる。

5. 実験結果と考察

分析に先立って、著者ら(実験実施者)が全被験者の回答(満足度の理由)の確認を行った。以下の3つの基準に該当する被験者は、回答の信頼度が低い被験者であると判断して、今回の分析からは除外した。

- 実験中の通信の満足度ではなく、平素の通信の満足度を答えていると見なされる被験者(例、「外出中に動

*1 今回の実験の満足度ではなく、平素のスマートフォン利用における満足度であることに注意されたい。5.3節では、両者の混同を避けるために、両者を「平素満足度」と「実験満足度」と呼び分ける。

表 1 10秒1回群の被験者数

Table 1 Number of subjects in (10 seconds, once) group.

		遅延なし	方式なし	補償金	提案方式
全被験者		53	56	52	51
性別	男性	21	21	27	20
	女性	32	35	25	31
普段の通信満足度	満足	37	32	32	29
	不満足	8	12	11	9
Youtubeの途切れ	ない	20	20	23	25
	ある	27	29	27	24
ネットの知識量	低い	26	19	16	23
	高い	9	12	10	10

表 2 5秒1回群の被験者数

Table 2 Number of subjects in (5 seconds, once) group.

		遅延なし	方式なし	補償金	提案方式
全被験者		53	55	53	54
性別	男性	21	27	23	15
	女性	32	28	30	39
普段の通信満足度	満足	37	40	35	32
	不満足	8	8	11	16
Youtubeの途切れ	ない	20	24	15	14
	ある	27	27	35	37
ネットの知識量	低い	26	19	18	21
	高い	9	15	18	10

表 3 5秒2回群の被験者数

Table 3 Number of subjects in (5 seconds, twice) group.

		遅延なし	方式なし	補償金	提案方式
全被験者		53	54	54	53
性別	男性	21	27	24	24
	女性	32	27	30	29
普段の通信満足度	満足	37	37	36	40
	不満足	8	10	6	6
Youtubeの途切れ	ない	20	22	23	22
	ある	27	31	27	27
ネットの知識量	低い	26	15	19	20
	高い	9	14	16	11

画等データ量の多いものを利用していないので、不便を感じない)」

- 実験とは関係のない別の要因が満足度に関わっていると見なされる被験者(例、「たまに通信が途切れることもあるが元々外でインターネットを見ることができなかつたことを考えるとそこまで不満ではない)」
- 満足度と理由に矛盾がある被験者(例、「遅延は気にならない」という理由を答えているが、満足度は「とても不満」を選択している被験者)

表 1、表 2、表 3 の「全被験者」の行に、(信頼度の低い被験者を除外した後の)各実験群の被験者数を示す。

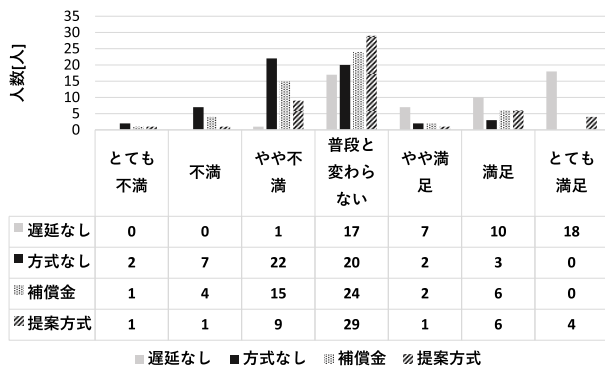


図 5 10 秒 1 回群の満足度の分布

Fig. 5 Distribution of satisfaction in (10 seconds, once) group.

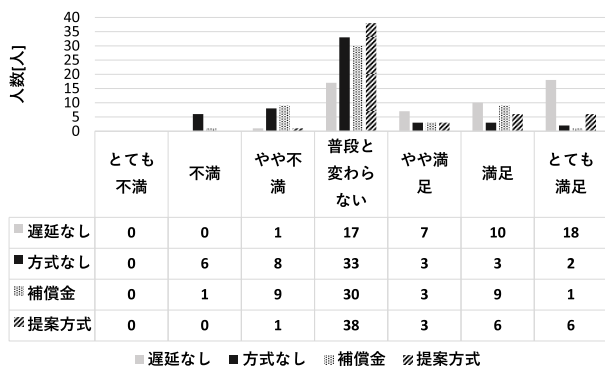


図 6 5 秒 1 回群の満足度の分布

Fig. 6 Distribution of satisfaction in (5 seconds, once) group.

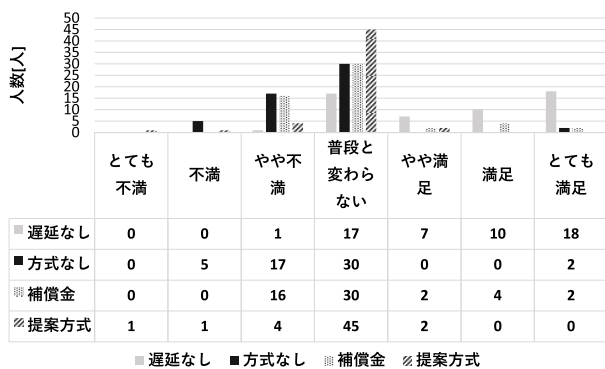


図 7 5 秒 2 回群の満足度の分布

Fig. 7 Distribution of satisfaction in (5 seconds, twice) group.

5.1 被験者の満足度の分布

10 秒 1 回群の満足度の分布, 5 秒 1 回群の満足度の分布, 5 秒 2 回群の満足度の分布をそれぞれ図 5, 図 6, 図 7 に示す. 図から, 方式なし群と比べて, 補償金群と提案方式群の満足度の分布が右側 (良い評価) に寄っていることが分かる. また, どの遅延群においても, 提案方式群は「普段と変わらない」と評価した被験者数が一番多いことが分かる. このことから, 提案方式群は被験者に遅延を気付かせないようにすることができたのではないかと考えられる. 実際に, 満足度の理由においても, 「遅延が起こっていることに気付かなかった」, 「豆知識が面白く, 見入っていた」というような理由を回答した被験者が存在した.

一方, 方式なし群においても, 5 秒 1 回群では「普段と変わらない」の度数が多くなっていることが分かる. 満足度の理由を確認すると, 多くの被験者が「普段でも 5 秒程度の遅れはある」, 「いつもよりスムーズに (ページが) 切り替わった」という回答をしていた. 今回の被験者にとっては, 5 秒の表示遅れは日常でも存在する遅延であるとともに, 0.4 秒の切替え時間は平素の通信速度よりもむしろ短いものであったため, 「普段と変わらない」の度数が多くなったと考えられる.

5.2 被験者の満足度の検定

以下の手順で図 5~7 の結果に対する検定を行った. まず, 満足度を {とても不満, 不満, やや不満, 普段と変わらない, やや満足, 満足, とても満足} = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} と数値化した. 図 8, 図 9, 図 10 に各実験群における実験満足度の平均と標準誤差を示す. 次に, 各実験群間の満足度の平均の差を検定するために, 分散分析と下位検定 (Tukey-Kramer 法) を行った. 分散分析と下位検定は統計ソフト R を用いて行った. 各統計処理において, 有意水準は 5% とした. 分析結果を表 4 に示す.

提案方式群の結果に注目すると, 10 秒 1 回群と 5 秒 1 回群では, 方式なし群と提案方式群との間, ならびに, 遅延なし群と提案方式群の間に有意差が確認された. このことから, 提案方式群は, 方式なし群よりは満足度を向上させることができているが, 遅延なし群と同等のレベルにまで満足度を高めるには至っていないことが分かる. ただしこれは, 被験者にとって平素の Web ページ閲覧の際のページ切替えの時間が 0.4 秒よりも長いものであったため, 遅延なし群の満足度の平均が「4 (普段と変わらない)」よりも過度に高くなってしまったためであると推察される. 実際, 提案方式群の満足度の平均値が「4 (普段と変わらない)」以上となっていることから, 10 秒 1 回と 5 秒 1 回の通信遅延に対しては, 提案方式は通信遅延による影響を緩和する効果があると結論付けてよいと考えられる. 一方, 5 秒 2 回群では, 方式なし群と提案方式群の間で有意差は見られなかった. これより, 現状の提案方式は通信遅延の頻度が多くなると効果が薄れてしまうということが示唆された. また, 提案方式群は, 5 秒 1 回群, 10 秒 1 回群, 5 秒 2 回群の順番で満足度の平均値が高くなっていることが分かる. このことから, 提案方式の効果は遅延の秒数よりも頻度によって減衰しやすいことが分かる.

補償金群の結果に注目すると, どの実験群においても方式なし群との間には有意差が確認できなかった. 満足度の理由を確認してみても, 「補償金で遅延の不快感を補償された」という理由を答えていた被験者は少なかった. このことから, 補償金方式は通信遅延によるユーザの QoE の低下を緩和する効果は提案方式ほど高くないことが示唆される.

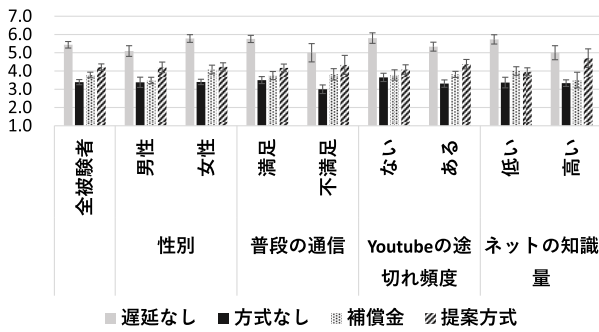


図 8 10 秒 1 回群の属性ごとの満足度 (平均と標準誤差)

Fig. 8 Average and standard error of satisfaction level in (10 seconds, once) Group.

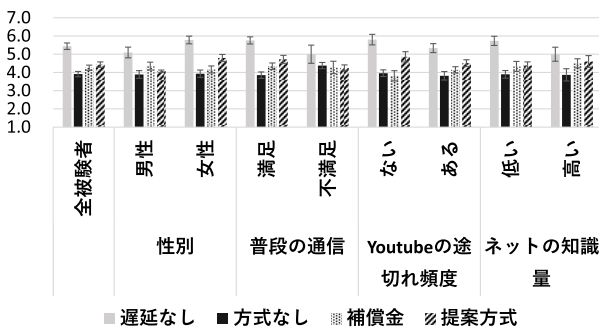


図 9 5 秒 1 回群の属性ごとの満足度 (平均と標準誤差)

Fig. 9 Average and standard error of satisfaction in (5 seconds, once) group.

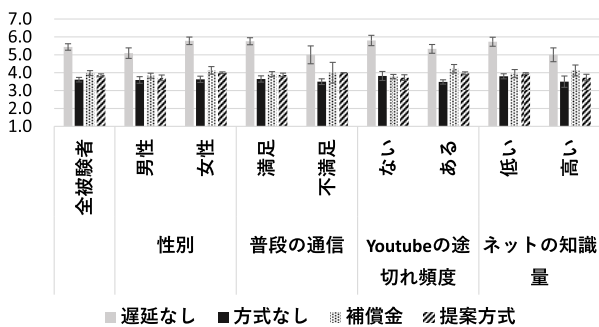


図 10 5 秒 2 回群の属性ごとの満足度 (平均と標準誤差)

Fig. 10 Average and standard error of satisfaction level in (5 seconds, twice) group.

5 秒 2 回提案方式群で「とても不満」, 「不満」, 「やや不満」と回答した被験者の理由を確認すると, 「豆知識に興味がなかった」, 「アンケート以外のことを表示されたため」というような理由が見受けられた. このことから, コンシェルジュの発話内容が「被験者にとって関心のあるコンテンツ」であったならば, より満足度を向上させることができた可能性がある. たとえば, キャリアのプリインストールアプリとして提案方式を提供することで, ブラウザの検索履歴等からユーザのニーズを把握し, 関心のあるコンテンツを提供することができたならば, 提案方式の効果をさらに高めることが可能であると考えている.

表 4 分散分析結果 (満足度, 全被験者)

Table 4 Result of variance analysis of satisfaction level.

方式	平均値	標準誤差	分散分析		多重比較		
			F値	p値	vs②	vs③	vs④
①遅延なし	5.438	0.178			s.	s.	s.
②方式なし	3.390	0.146	F(3,204)=	0.000****	-	n.s.	s.
③補償金	3.781	0.143	32.528		-	-	n.s.
④提案方式	4.213	0.147			-	-	-
(a)10秒1回の実験の分散分析結果(全被験者)							
方式	平均値	標準誤差	分散分析		多重比較		
			F値	p値	vs②	vs③	vs④
①遅延なし	5.438	0.178			s.	s.	s.
②方式なし	3.909	0.146	F(3,207)=	0.000****	-	n.s.	s.
③補償金	4.257	0.143	19.382		-	-	n.s.
④提案方式	4.431	0.147			-	-	-
(b)5秒1回の実験の分散分析結果(全被験者)							
方式	平均値	標準誤差	分散分析		多重比較		
			F値	p値	vs②	vs③	vs④
①遅延なし	5.438	0.178			s.	s.	s.
②方式なし	3.611	0.127	F(3,206)=	0.000****	-	n.s.	n.s.
③補償金	3.983	0.133	39.322		-	-	n.s.
④提案方式	3.854	0.080			-	-	-
(c)5秒2回の実験の分散分析結果(全被験者) ****p<0.001							

5.3 被験者の属性と満足度に対する分析

4.5 節で説明した「簡単な質問」の回答によって, 被験者を下記①~⑤の属性に分類した. ①~⑤の各番号は, 4.5 節の質問番号と対応している. ただし, ①年代については, 偶然にも今回の実験のほとんどの被験者が 30 代に集中してしまったため, 分類の属性としては除外した.

- ② 性別: 「男性」, 「女性」
- ③ 平素満足度 (平素の通信満足度): 「満足 (満足している, まあまあ満足している)」, 「不満足 (満足していない, あまり満足していない)」
- ④ Youtube の途切れ頻度: 「ない (ほとんどない, あまりない)」, 「ある (かなりある, まあまあある, たまにある)」
- ⑤ ネットの知識量: 「低い (1~3)」, 「高い (5~7)」

なお, 質問③における「どちらでもない」, 質問⑤における「4」の回答は中間値のため, また, 質問④における「スマートフォンで動画視聴サイトは見ない」の回答は N/A (利用不能) のため, 分類の際に省いている.

表 1~3 の「全被験者」以外の行に, 各実験群・各属性の被験者数を示す. また, 図 8~10 に, 各実験群・各属性の実験満足度の平均と標準偏差を示す.

各実験群と各属性の 2 要因での分散分析と下位検定 (Tukey-Kramer 法) を行った (5.4 節と同様, 統計ソフト R を用いて, 有意水準 5% で分析) が, 要因間の有意差や交互作用は確認できなかった.

5.4 被験者の満足度と感情尺度に対する分析

今回の実験で得られた満足度と多面的感情状態尺度の各因子に対しても同様の統計解析を行ったが, 要因間の有意差や交互作用は確認できなかった.

6. その他の考察

6.1 実験環境

今回の実験では、被験者をクラウドソーシングサービスで募集した。そのため、各被験者の実験環境の統制は不完全であり、実験に影響を及ぼす外的要因等が存在していた可能性は否定できない。ただし、全被験者の実験時間を確認したところ、ほぼすべての被験者が3~7分の範囲に収まっていた。これは、著者らが研究室内の学生に被験者を依頼して事前に行った予備実験における所要時間と一致している。予備実験においては、各被験者に実験用 Web ページの閲覧のみに集中して実験を実施してもらっていた。この予備実験とクラウドソーシングによる本実験の所要時間の比較からは、本実験の被験者においてもその多くは、他事をしながらぞんざいに実験用 Web ページを閲覧するようなことはなかったのではないかと推測は成り立つであろう。

6.2 補償金

過去に実際に発生した通信障害の際に支払われた補償金額（約 35 時間の通信障害に対して、700 円分の補償を行っている [16]）をそのまま今回の実験に利用すると、「遅延 10 秒で 0.005 円」という非常に小さい金額になってしまう。これでは、補償金としての役割を果たすことができないと推測される。このため今回の実験では、補償金額を「遅延 10 秒で 20 円、5 秒で 10 円」と設定した。今後は補償金額の影響についても調査すべきであると考えている。

また、提案方式が QoE の低下そのものを抑制する方式であるのに対し、補償金方式は低下してしまった QoE を補償金によって埋め合わせる方式である。すなわち、提案方式が QoE が低下する前にそれを抑制するのに対し、補償金方式では QoE が低下した後にとる方策である。このように、提案方式と補償金方式は、そのコンセプトは、それぞれ異なる方式であるといえる。しかし、著者らが調査した限りでは、提案方式のコンセプトを持つ既存方式は見つからなかった。このため本論文では、過去に実際に発生した事例である補償金方式を提案方式の比較対象として選んでいる。

6.3 コンテンツ

提案方式は、ユーザがどのような種類の Web コンテンツを閲覧しているかによって、その有効性が左右される。特に、動画配信サービスのようなリアルタイム性の高いコンテンツに対して提案方式を適用した場合、遅延発生時に動画再生を遮る形でコンシェルジュが出現してしまうと、ユーザは煩わしく感じるであろう。リアルタイム性の高いコンテンツに対する提案方式の有効性の検証は、今後の喫緊の課題の 1 つである。

6.4 持続可能性

提案手法の持続可能性を考えるうえで、2つの観点が重要であると考えられる。

1つ目は、「コンシェルジュが毎回、ユーザにとって新しい話題（または、必要な情報）を話すことができるか」という観点である。コンシェルジュがユーザにとって興味のない内容を何度もユーザに話してしまうと、ユーザはコンシェルジュの利用をやめてしまう可能性があると考えられる。

2つ目は、「ユーザがコンシェルジュの出現自体に慣れてしまうと、ユーザの QoE にどのような影響が生じるか」という観点である。これについては、コンシェルジュの出現頻度にも大きく左右される。提案方式は、端末制御方式 [5] によって各端末に遅延が付与される際にコンシェルジュを出現させる方式であるため、制御信号スパイクの発生頻度がコンシェルジュの出現頻度となるのだが、制御信号スパイクの発生頻度に関する正確なデータは公表されていない*2。

今後はこれら 2つの観点についても調査していく必要がある。

7. まとめと今後の課題

本研究では、スマートフォンの制御スパイクに起因する通信遅延によるユーザの体感品質（QoE, Quality of Experience）の低下を、ユーザの心理的側面からのアプローチによって緩和する方式の提案・評価を行った。提案方式は、通信遅延が発生した際にコンシェルジュのキャラクターと文章（発話内容）をスマートフォンの画面に表示し、ユーザの注意をそらすことによって、ユーザに通信遅延を気付かせない方法となっている。500 名規模のユーザ実験を通じ、提案方式が通信遅延による QoE 低下を緩和できていること、および、その効果は補償金方式よりも高いことを確認した。一方で提案方式は、遅延が複数回発生する場合には、QoE 低下の緩和効果が薄れてしまう可能性があることも示唆された。

今後の課題としては、提案方式の改良案の模索、提案方式のスマートフォン実機での実装があげられる。また、今回の提案方式以外にも、ユーザの心理的側面を利用して通信遅延による QoE 低下を緩和する方式が存在するものと思われる。その具体的な方法について模索していく。

謝辞 実験結果の分析にあたって、静岡産業大学漁田武雄教授、静岡大学荒木由布子准教授、竹内勇剛教授に大変多くのご助言をいただきました。提案方式で利用した猫の画像は、GATAG (<http://free-illustrations.gatag.net/>)

*2 深刻な制御信号スパイクの発生頻度は総務省が公開している報告書 [4] 等を調査すれば分かるが、実際にはこのような報告書には計上されないレベルのスパイクも発生しており、その実数は把握されていない。

で公開されているフリー素材です。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

[1] Choi, Y., Yoon, C., Kim, Y., Heo, S.W. and Silvestor, J.A.: The Impact of Application Signaling Traffic on Public Land Mobile Networks, *IEEE Communications Magazine*, pp.166-172 (2014).

[2] Gupta, M., Jha, S.C., Koc, A.T. and Vannithamby, R.: Energy Impact of Emerging Mobile Internet Applications on LTE Networks: Issues and Solutions, *IEEE Communications Magazine*, pp.90-97 (2013).

[3] Gabriel, C.: DoCoMo demands Google's help with signalling storm, *Rethink Wireless* (Jan. 2012), available from <http://rethink-wireless.com/2012/01/30/docomo-demands-googles-signalling-storm/> (accessed 2017-01-31).

[4] 電気通信サービスの事故発生状況 (平成 24 年度), 入手先 http://www.soumu.go.jp/main_content/000246841.pdf (参照 2017-01-31).

[5] Daisuke, A., Tomohiko, O., Masafumi, W., Shigehiro, A., Masakatsu, N. and Hiroshi, M.: UE-based Network Access Timing Control Scheme for Avoiding Signaling Spikes, *2015 IEEE International Conference on Communications*, pp.3604-3609 (2015).

[6] The Cost of Poor Web Performance [INFOGRAPHIC], available from <http://blog.smartbear.com/web-performance/the-cost-of-poor-web-performance-infographic/> (accessed 2017-01-31).

[7] Kuo, Y.F., Wu, C.M. and Deng, W.J.: The relationships among service quality, perceived value, customer satisfaction, and post-purchase intention in mobile value-added services, *Computers in Human Behavior*, Vol.25, No.4, pp.887-896 (2009).

[8] 西岡 大, 齊藤義仰, 村山優子: オンラインショッピングにおける情報セキュリティ技術に対する知識のないユーザの安心感の構造, コンピュータセキュリティシンポジウム (CSS) 2012 論文集, No.3, pp.555-562 (2012).

[9] 江口真人, 三好 匠, 矢守恭子, 山崎達也: ユーザの状況要因が QoE 評価に与える影響のモデル化, コミュニケーションクオリティ (CQ), Vol.110, No.287, pp.23-28 (2010).

[10] 高田 祐, 矢守恭子, 田中良明: 携帯端末によるコンテンツダウンロードにおける許容待ち時間の要因分析, コミュニケーションクオリティ (CQ), Vol.109, No.5, pp.77-80 (2009).

[11] 山本渉平, 三好 匠: 通信速度に対する先入観がユーザ体感品質に与える影響分析, 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, No.95, p.95 (2014).

[12] 週刊 D モーニング - マンガ雑誌「モーニング」の電子版, 入手先 <http://d.morningmanga.jp/> (参照 2017-03-13).

[13] Chris, H., Yeo, Z. and Hudson, S.E.: Faster progress bars: Manipulating perceived duration with visual augmentations, *CHI '10, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1545-1548 (2010).

[14] Huizhong, Z., Liu, G. and Fang, H.: Cross-Over Study of Time Perception and Interface Design, *HCI 2015, Human-Computer Interaction: Design and Evaluation*, pp.105-116 (2015).

[15] Niida, S., Satoshi, U. and Harada, E.T.: Design requirements for improving QoE of Web service using time-fillers, *IEICE Trans. Communications*, Vol.E96.B, No.8, pp.2069-2075 (2013).

[16] 一連の LTE 通信障害の原因と対策について, 入手先 http://www.kddi.com/corporate/news_release/2013/0610a/pdf/sanko.pdf (参照 2017-01-31).

[17] 白井文晴, 小林真也, 鈴木富明, 藤田真浩, 荒井大輔, 大岸智彦, 峰野博史, 西垣正勝: 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, 研究報告コンピュータセキュリティ (CSEC), Vol.2015-CSEC-68, No.34, pp.1-8 (2015-3).

[18] 島田英昭, 北島宗雄: 挿絵がマニュアルの理解を促進する認知プロセス: 動機づけ効果と精緻化効果, 日本教育心理学研究, Vol.56, No.4, pp.474-486 (2008).

[19] 寺崎正治, 古賀愛人, 岸本陽一: 多面的感情状態尺度・短縮版の作成, 日本心理学会第 55 回大会発表論文集, pp.350-356 (1991).

[20] Lancers, available from <http://www.lancers.jp/> (accessed 2017-01-31).



白井 文晴

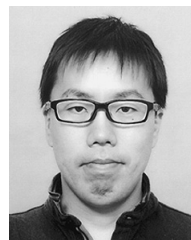
2015 年静岡大学情報学部情報科学科卒業。2017 年同大学院修士課程修了。同年 KDDI 株式会社入社。在学中、ユーザ心理と QoE に関する研究に従事。



藤田 真浩 (学生会員)

2013 年静岡大学情報学部情報科学科卒業。2015 年同大学院修士課程修了。現在、同創造科学技術大学院博士後期課程。情報セキュリティ、ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。2016 年度情報処理学会山下記念研究

賞受賞。



荒井 大輔

2004 年静岡大学情報学部卒業。2006 年同大学院修士課程修了。KDDI 株式会社入社。株式会社 KDDI 研究所出向。以来、IP ネットワークの運用管理に関する研究に従事。現在、KDDI (株)トラヒックマネジメント部に所

属。博士 (情報学)。



大岸 智彦 (正会員)

1992年東京大学工学部電気工学科卒業。同年国際電信電話株式会社入社。以来、通信システムの試験、IPネットワークの運用管理、IoT・センサの運用管理、コネクティッドカーの研究に従事。現在、(株)KDDI総合研究所コネクティッドカー2グループリーダー。1998年本会大会奨励賞受賞。博士(工学)。



西垣 正勝 (正会員)

1990年静岡大学工学部光電機械工学科卒業。1995年同大学院博士課程修了。日本学術振興会特別研究員(PD)を経て、1996年静岡大学情報学部助手。同講師、助教授の後、2010年より同創造科学技術大学院教授。博士(工学)。情報セキュリティ全般、特にヒューマニクスセキュリティ、メディアセキュリティ、ネットワークセキュリティ等に関する研究に従事。2013~2014年情報処理学会コンピュータセキュリティ研究会主査。2015~2016年電子情報通信学会バイオメトリクス研究専門委員会委員長。2016年より日本セキュリティマネジメント学会常任理事。