

向社会的なネットワーク利用を説得的に促す公衆 Wi-Fi の設計と実装

江口直輝^{†1} 崔赫秦^{†2} 中村優吾^{†3} 福嶋政期^{†4} 荒川豊^{†5}
九州大学 九州大学 九州大学 九州大学 九州大学

1. はじめに

インターネット技術の高速化により、多様な ICT サービスの享受が可能となり、多くの人々がデジタルデバイスを日常的に利用している状況にある。それに伴い、インターネットを利用する環境も整備され、オフィスやワーキングスペース、家庭などの共用スペースが提供する Wi-Fi の利用が増加しており、ユーザの利便性を向上させている。同時に、ストリーミングサービス、高解像度の動画、オンラインゲームといったデジタルコンテンツの多様化に伴い、これらのサービスはかつてないほどの高帯域幅を必要としている。結果として、個々のデバイスが消費するデータ量は飛躍的に増加しており、それに伴い必要とされる帯域幅も増大している。

しかし、そのような環境では限られたネットワーク資源を複数のユーザで共有するため、あるユーザが動画ストリーミングなどの高帯域幅を必要とするコンテンツを利用すると、他のユーザの Quality of Experience(QoE) が低下する可能性がある。さらに、SNS や動画ストリーミングなどのサービスプロバイダーなどはユーザの継続的な興味関心を得るために、中毒性のあるコンテンツを意図的に設計する側面があり、ユーザの意思・自制心でサービスの利用を止めることは困難である [1][2]。

近年、スクリーンタイムといったアプリケーションの利用時間を管理・制限するものや、アプリケーションの通知を一時的に制限するものなど、デジタルデバイスの使用に自制を促す機能を備えたシステムの研究が報告されている [3][4]。これらのツールは個々のデバイスにインストールすることで利用できるようになるが、PC やスマートフォンといったマルチデバイスに対して同時に制限することは困難である。つまり、一つのデバイスに制限を設定しても、ユーザが所有する他のデバイスには影響しないため、ユーザは制限していないデバイスでコンテンツを利用できる状態である。

そこで、マルチデバイスを制限する方法として、Wi-Fi を利用したアプローチを検討する。既存の Wi-Fi において特定のサイトを制限する URL フィルターや特定のアプリケーションの通信を優先する QoS 制御を備えているものが存在する。しかし、URL フィルターは特定のサイトの利用を完全に制限するか全く制限しないかといった選択肢しか存在しない。そのため、カフェのように自由にインターネットの利用をして良い場所においては、完全に制限するような強制的介入ではなく、ユーザの選択を尊重することを前提とした向社会行動を促進する段階的な説得介入が求められる。また、QoS 制御は静的な設定しかできないため、常にその環境に適している設定であるとは限らず、その環境のコンテキストに応じて動的に設定を変更できる必要がある。

そこで本研究では、デジタルコンテンツの過度な利用によりネットワーク全体の QoE を低下させているユーザに対して、他のユーザの QoE に配慮する向社会行動を促すために、段階的かつ動的に説得介入できる機能を有する Wi-Fi を設計・開発した。具体的には、3つのモード、1) システムが介入することなく通常の通信を提供するモード、2) キャプティブポータルを用いて個々のユーザに介入できるモード、3) QoS 制御により、帯域幅を制限するモードを提供し、これをユーザのコンテキストに応じて動的に切り替えるシステムを実現した。この説得介入による行動変容は、ユーザは自らの意思決定で行われるため、ユーザの行動規範を再構築でき、結果として持続的により良い選択ができるようになることが期待できると考える。

本稿では、2章において本研究における関連研究について記述し、3章では提案システムの想定環境やシステム要件について記述し、4章では提案するシステムの構成と動作検証について記述し、最後に5章でまとめる。

2. 関連研究

2.1. 適用型 QoS

QoS や QoE に関する研究は多数報告されている。Liu らは Mobile Edge Computing (MEC) において、ユーザやサービスに関連するコンテキストを考慮することで、より精度の高い QoS 予測スキームを提案しており、ユーザ満足度を向上させることを可能とした [5]。Rao らはビデオ会議

Design and Implementation of Persuasive Public Wi-Fi to Derive Prosocial Network Usage

^{†1} NAOKI EGUCHI, KYUSHU University

^{†2} HYUCKJIN CHOI, KYUSHU University

^{†3} YUGO NAKAMURA, KYUSHU University

^{†4} SHOGO FUKUSHIMA, KYUSHU University

^{†5} YUTAKA ARAKAWA, KYUSHU University

における QoS と QoE の関係性について、高帯域幅かつ安定した帯域幅がユーザに好まれることを明らかにした [6]. Xiaolan らは、マルチパス TCP を使用するライブストリーミングで多様な QoS の要求を満たすために、機械学習を応用した QoS 認識輻輳制御フレームワークを提案している [7]. Bo らは 5G ネットワークにおいて、QoS の高低を要求に応じて切り替えるようにすることで、消費エネルギーの削減とシステムの性能維持を実現した [8]. しかし、既存の研究は QoS の最適化や QoE を向上させることに焦点を当てており、デジタルコンテンツをより快適に利用できるようにするためのアプローチである。そのため、QoE を意図的に低下させることで不必要なデジタルコンテンツの利用の抑制するために効果があるかについては未だ明らかになっていない。

2.2. デジタルウェルビーイングの支援

近年、デジタルコンテンツの不必要な使用を制限する研究が多数報告されている。例えば、1 日で使用できるアプリの使用時間を超えるとアプリがロックされるアプリ [9] やアプリを利用するために起動時に 30 桁の入力を必要とするような利用障壁を設けるアプリ [10] が提案されている。さらに、スマートフォンをグレースケールにすることで視覚効果による魅力在意図的に損なわせて、コンテンツの利用体験を低下させる手法も存在する [11][12]。また、我々の研究グループは、視覚的魅力が高く中毒性のあるデジタルコンテンツを起動すると、画面がグレースケールになる Color-wall を開発した [13]。しかし、これらのデジタルディストラクション(情報機器による注意散漫)に関する先行研究は、デバイスに制限がかけられたとしても、アプリをインストールしていないデバイスでコンテンツを利用できるため、マルチデバイスに対応していないことが課題であった。また、既存の DSCTs(Digital Self-Control Tools) はマルチデバイスに適用できるものが少なく、今後の課題であると言及されている [14]。そのため、今後はマルチデバイスに対応した不必要なデジタルコンテンツの利用を抑制するシステムが求められる。

本研究では、先行研究において明らかになっていなかった、ユーザのコンテキストに応じた動的な QoS/QoE がデジタルコンテンツの利用抑制に対してどの程度効果があるのか明らかにすることが目的である。さらに Wi-Fi を用いた説得介入により、マルチデバイス環境における効率的な介入制御方法についても検証する。

3. 提案システム

本章では、本研究における向社会行動の定義や、提案システムのシナリオ及び要件について記述する。

3.1. 本研究における向社会行動

向社会行動とは、報酬を期待せず、自発的な意志で他人や集団に利益をもたらす行動のことである。この概念は、共用スペースにおける Wi-Fi の利用において適用できる。例えば、あるユーザが動画ストリーミングなどの高帯域幅を必要とするデジタルコンテンツを利用することで、ネットワーク全体の QoE が著しく低下することが懸念される。本研究では、このような状況において、他者の QoE 向上に配慮し、デジタルコンテンツの利用を自ら控える行動を向社会行動と定義する。その結果、ネットワーク資源が効率的に分配され、全てのネットワーク利用者の QoE 向上が実現できると考える。

3.2. シナリオ

本システムは、オフィスやコワーキングスペースなどの共用で Wi-Fi を利用する際に、運用することを想定している。そこで、共用スペースに設置された本システムがユーザに対してどのように向社会行動を促進するのか、シナリオの一例を説明する。

ある日、A くんはカフェに設置してある Wi-Fi に接続してプログラミングに励んでいた。しばらくすると集中力が切れてしまい、動画ストリーミングサービスを利用し始めた。しかし、動画ストリーミングは帯域幅を多く必要としているため、A くんは限られたネットワーク資源を一人で占有している。その結果、他のユーザのデバイスの通信速度が著しく低下し、QoE が低下している状態であった。この時、システムは A くんの利用コンテンツを検出して、それが帯域幅を多く占有するものであると判断したため、A くんデバイスにコンテンツの利用を控えるように促す警告画面を表示した。しかし、A くんは動画の閲覧に夢中であったため、それを無視してコンテンツの利用を続けた。そこで、システムは A くんが継続的にコンテンツを利用していることを検出したため、A くんに対する通信速度を意図的に低下させることで、動画ストリーミングの利用に適度な違和感を与えるようにする。その結果、A くんが閲覧している動画コンテンツの画質が低下したり遅延によるローディングが発生し、コンテンツの利用体験が低下したため、自らの判断でメイン作業であるプログラミングをするようにした。その結果、A くんは集中力低下による注意散漫が引き起こすデジタルコンテンツの利用を自ら抑制した上、他のユーザが享受できる QoE が改善された。

3.3. システム要件

本節では、シナリオで示したシステムの動作を実現するためのシステム要件について記述する。

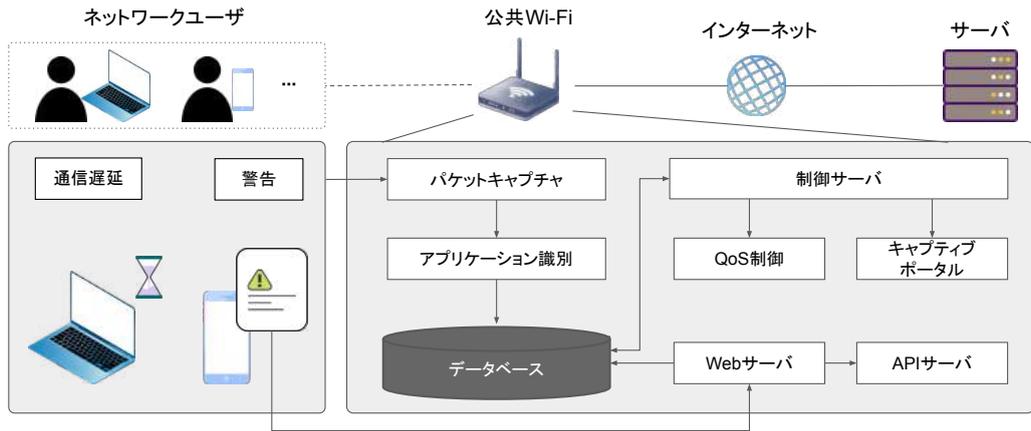


図1 提案システムの概要図

● **Context Awareness** による段階的介入

本研究における Context Awareness とはユーザのデジタルコンテンツの使用状況をリアルタイムで認識し、その情報を基に説得介入することである。そのため、まずユーザがどのようなデジタルコンテンツを利用しているか正確に識別することが求められる。そして、識別した結果に基づいて、高い受容性でかつ向社会行動の促進に効果的な介入戦略を検討する必要がある。

● **警告画面を用いた介入**

ユーザのデジタルコンテンツの利用を制限するためには、公衆ネットワーク利用時の向社会行動について提示することや自身が使用しているコンテンツを自己認識させることが向社会行動を促進できると考える。これは、公衆 Wi-Fi に接続する際に一般的に用いられているキャプティブポータルの Web 認証後の画面において実現できる。キャプティブポータルはセキュリティやアクセス制御の観点から認証セッションがあり、セッションのタイムアウト時間になると Wi-Fi が切断されるため、再度接続し直して認証を行う必要がある。その認証時に、ユーザのコンテキストに基づいて適切な介入する。しかし、一般的なキャプティブポータルはユーザ認証後に設置施設のサービス案内や広告といった情報をネットワークユーザ全体に提供する手段として設計されているため、個々のユーザに対してパーソナライズされたフィードバックを提供することは想定していない。そのため、ユーザのコンテキストとそのユーザのデバイス情報を紐づけることで、ユーザのコンテキストに基づいて介入できるようにする必要がある。

● **動的な帯域制御**

ユーザがキャプティブポータルを用いた説得介入によって自主的に行動を改善できない場合、さらに強い介入を行う必要がある。本研究では高帯域幅を必要とするデ

ジタルコンテンツを利用しているユーザの通信速度を意図的に低下させ、適度な不快感を与えることで自主的にコンテンツの利用を控える行動を取るという仮説を立てた。具体的には、動画ストリーミングを利用しているときに、動画の画質が低下することやローディング時間が増加することで、コンテンツの利用体験が低下し、デジタルコンテンツの利用を自ら控える行動を取ると考えた。これにより、デジタルコンテンツの利用を自ら抑制させることができ、他のネットワークユーザの QoE 向上が期待できる。

3.4. システム設計

システム要件に基づいたシステム設計について記述する。提案システムの概要図を図1に示す。

3.4.1 デジタルコンテンツの識別

ユーザが利用しているデジタルコンテンツをリアルタイムかつ正確に識別するには、システムを通過するネットワークパケットをリアルタイムで取得し、そのパケット情報を分析することで実現できる。本システムにおいては、Deep Packet Inspection(DPI)を用いることでそれを可能とした。また、識別したデジタルコンテンツの情報はユーザに割り当てられたプライベート IP アドレス毎にデータベースに格納する。このデータベースから得られるユーザ毎の情報に基づいて、個々の介入を実現する。

3.4.2 キャプティブポータルによる個々のユーザに対する介入

キャプティブポータルの Web 認証後のリダイレクトページに介入画面を表示させるために、システムに Web サーバを構築する必要がある。また、個々のユーザに対して警告などの介入を行うためには、キャプティブポータルの認証後の画面で、そのデバイスのプライベート IP アドレスを取

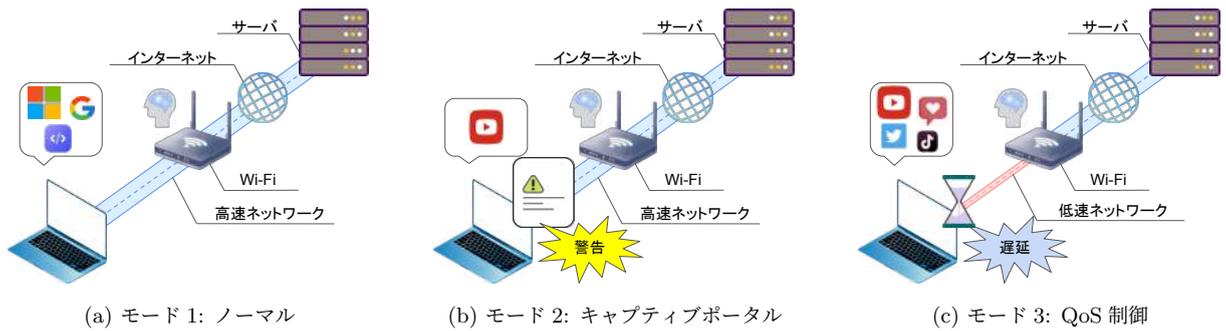


図2 提案システムの3つのモード

得ることができれば、システム内のデータベースに格納されているユーザ毎のコンテキスト情報に基づき説得介入ができる。しかし、同一ローカルネットワーク上のデバイス間での名前解決を容易にする Multicast Domain Name System(mDNS) により、ブラウザから直接そのデバイスのプライベート IP アドレスを取得できない。そのため、本システムに API サーバを実装し、特定のポートにアクセスすると、アクセス元の IP アドレスを返り値にするようにした。つまり、認証後の介入画面から、本システムのあるポートにアクセスすることでブラウザで IP アドレスが取得できる。このように、個々のユーザに対しての介入を可能とする。

3.4.3 QoS 制御による帯域制御

システムがユーザの帯域幅を設定するには QoS 制御を用いることで実現できる。また、帯域幅をユーザごとに任意のタイミングで動的に変更することができるようにする必要がある。例えば、ユーザが高帯域幅を必要とするデジタルコンテンツを利用しているか否かで、帯域幅を動的に変更するようにする。このとき、データベースに格納されたユーザのコンテキスト情報をもとに、ユーザごとに帯域幅を設定できるようにすることで個々の介入が可能となる。

3.4.4 段階的な介入の制御

本システムは、キャプティブポータルの介入と QoS 制御を活用し、ルータが段階的な説得介入できる。キャプティブポータルにおいてはユーザのコンテキストに応じた介入画面を、QoS 制御においてはユーザごとに帯域幅を動的に変更する必要がある。それら 2 つの機能の動的な設定の変更は、設定の一貫性を保つため 1 つのサーバで集中管理をする。

以上のような各コンポーネントが協調動作することで、以下 3 つのモードを提供する。

- モード 1

システムがユーザに対して干渉することなく、ユーザが通常の通信速度でインターネットを利用できるモードである (図 2a)。この際、システムはユーザに対して

高い QoE を提供し続けることができ、各々のメイン作業に集中できる環境を提供できる。

- モード 2

キャプティブポータルを用いて、デジタルコンテンツの利用を控える行動を促進させるような介入画面を表示できるモードである (図 2b)。具体的には、キャプティブポータルの認証セッションが切断し、再度ネットワークに接続する際に表示される Web 画面を用いて介入する。このとき、ユーザが利用しているデジタルコンテンツやネットワーク全体の QoE の状態に応じて、介入画面のメッセージや介入の強弱を変えることができる。

- モード 3

QoS 制御により意図的に帯域幅を制限し、ユーザの QoE を低下させることができるモードである。具体的には、キャプティブポータルを用いた警告を行ってもデジタルコンテンツの利用を控えない場合に、そのユーザの帯域幅を制限することで、コンテンツの利用体験を低下させ、自ら利用を控えるように誘導する。さらに、高帯域幅を必要とするコンテンツを利用するユーザの帯域幅を制限することでネットワーク全体の QoE を向上させることができる。

以上のような 3 つのモードによる段階的な介入により、帯域幅を占有するデジタルコンテンツの利用を控えるように Wi-Fi が説得することできる。本システムはネットワーク管理者が望むコンテキストに応じて、最適な設定にカスタマイズすることができる。

3.5. 提案システムの動作例

3 つのモードを用いて本システムはユーザに説得介入することができる。そこで、システムがネットワークユーザに対して具体的にどのように動作するのか具体例を 3 に示す。

前提として、提案システムは利用アプリケーションの取得 (Capture)、帯域幅を多く使用するアプリケーションの識別 (Analyze)、介入方法の策定 (Plan)、介入の実行 (Execute)

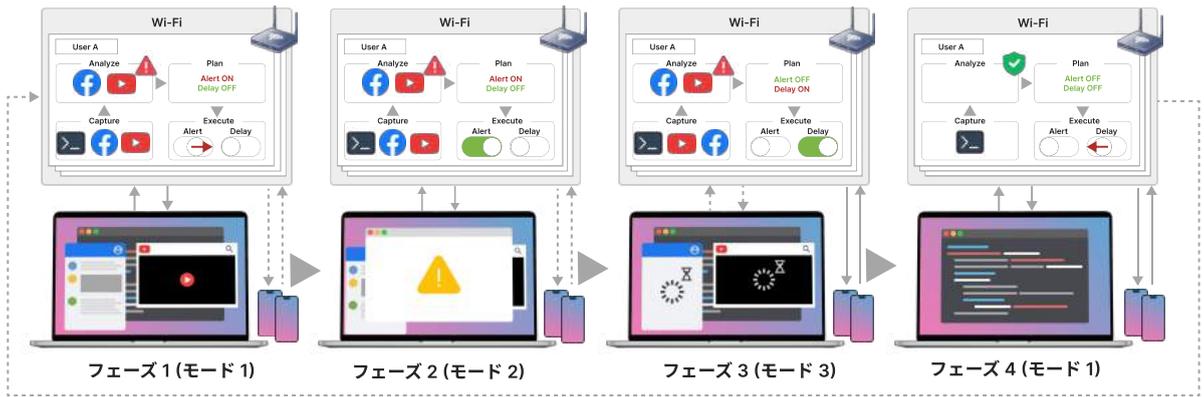


図3 提案システムの動作例

の4つで構成されている。

まず、Aくんは本システムに接続して高帯域幅を必要とするような動画ストリーミングやSNSを利用している(図3 フェーズ1)。この時、同じネットワークに接続している別のデバイスの通信速度は著しく低下し、QoEが低下している状態である。しばらくすると、キャプティブポータル認証セッションが切れたためWi-Fiに再接続することにした。このときシステムは帯域幅を多く占有するコンテンツの利用を検出していたため、警告画面を表示した(図3 フェーズ2)。しかし、その警告画面の内容に従わず、Aくんが継続してコンテンツを利用するとことをシステムが検出し、Aくんに対する帯域幅を制限した(図3 フェーズ3)。その結果、Aくんが利用していた動画コンテンツの画質の低下や遅延を感じるようになった。一方で、高帯域幅を使用していたAくんの帯域幅が制限されることで、他のネットワークユーザのQoEは向上した。また、Aくんは自身が享受するQoEが低下し、快適にコンテンツを利用できなくなったことで、自らデジタルコンテンツの利用を控え、元々のメイン作業であったプログラミングを行うようにした(図3 フェーズ4)。

4. システム実装と動作検証

本節ではシステムの設計及び実装について示す。本システムを実装するにあたり、Oracle社が提供する仮想マシンのVirtualBox^{*1}上に構築にシステムを構築した。キャプティブポータルの機能を提供するルータとして、オープンソースのソフトウェアファイアウォールであるPfsense^{*2}を用いた。また、QoS制御を行うルータとしてオープンソースのネットワークOSであるVyos^{*3}を用いた。これら2つ

表1 nDPIを用いた検出プロトコル

| Protocol | Packets | Bytes | Flows |
|--------------|---------|----------|-------|
| Yahoo | 1383 | 914528 | 35 |
| Facebook | 148 | 103454 | 10 |
| Twitter | 5990 | 6613286 | 38 |
| YouTube | 32047 | 35533417 | 16 |
| WhatsApp | 30 | 3498 | 1 |
| Apple iCloud | 31 | 13579 | 1 |
| Apple iTunes | 1018 | 473104 | 31 |
| Instagram | 15253 | 17458995 | 24 |
| Line | 521 | 278154 | 19 |
| Tver | 34529 | 40891719 | 45 |

のOSををゲストOSとして仮想マシン内に配置している。PfsenseのキャプティブポータルにはDHCPサーバの動作が伴うため、キャプティブポータルを表示するデバイスにはPfsenseが配布するDHCPを使用する必要がある。仮想マシン内のWAN側にPfsenseを配置し、LAN側にVyosを配置した。またその際に、Vyosはブリッジモードで動作させることで下位ネットワークにPfsenseが配布するIPアドレスを使用できるようにした。

以上のようなネットワーク構成により、キャプティブポータルを用いた警告とQoS制御を用いた帯域幅の制限を実現した。

4.1. 利用サービスの検出

ホストOSとゲストOSは物理NIC(Network Interface Card)を共有している状態であるため、システムに接続したデバイスのパケットはすべてホストOSにて取得可能である。ルータを通過するパケットはパケットキャプチャツールのtcpdumpで監視し、生成されたPCAPファイルは

*1 <https://www.virtualbox.org/>
 *2 <https://www.pfsense.org/>
 *3 <https://vyos.io/>



図4 キャプティブポータルへの介入

ntop 社が提供する nDPI(ntop Deep Packet Inspection)^{*4} を使用してサービスの識別を行った。実際に、数分間の PCAP ファイルを nDPI で識別したプロトコルの表 1 に示す。さらに、nDPI の設定ファイルにドメインベースのルールを追加することで、デフォルトでは識別できないコンテンツ (Tver) が識別できるようになることを確認した。以上のような分析を IP アドレスごとに行い、その結果をデータベースに格納し、個々のユーザに対して介入する際に用いられる。

4.2. 利用状況に応じた警告表示

Pfsense にはネットワークに接続しようとするユーザが認証後に、管理者画面にて設定した Web サイトを表示させることができる。例えば本システムではキャプティブポータルにてデジタルコンテンツの利用を控えるように促す警告画面 (図 4 パターン 1) だけではなく、ユーザに帯域幅を制御する能力を持つことを意識させた介入 (図 4 パターン 2) もできると考える。これにより帯域幅とデジタルコンテンツの継続的な利用を天秤にかける選択肢を与え、自らの意思でネットワーク全体の QoE を向上させるような向社会行動を実行することができる。と考える。

4.3. QoS 制御の管理

QoS 制御を行う Vyos は IP アドレスごとにダウンリンクの最小帯域幅や最大帯域幅を設定することができ、これらは Vyos が提供するコマンドラインを用いて設定可能である。実際に 3 台のデバイスをシステムに接続し、1 台のデバイスに対して帯域幅の制限を行った結果を図 5 に示す。接続して 10 分経過したところで、Device 1 に対して最小帯域幅と最大帯域幅を実測値で共に 20Mbit/s になるように設定し

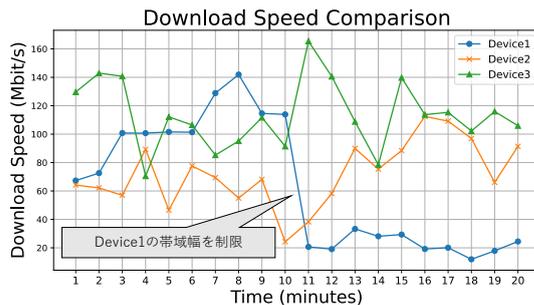


図5 デバイス別の通信速度

た。その結果、Device 1 のみのダウンロード速度が低下したことを確認した。さらに、Device 2 においては Device 1 に対して帯域制御を行う前は他の 2 台のデバイスと比較してダウンロード速度が低い値を示していたが、Device 1 に対して帯域制限を行った後は、ダウンロード速度が向上しているように見受けられる。つまり、帯域幅を多く使用するデバイスの帯域幅を制限することで他のデバイスの通信速度が改善し、他のネットワークユーザの QoE を向上できる可能性があることを示唆している。このように、マルチデバイス環境下においても単一デバイスに対して帯域幅を制限することができ、かつ設定する帯域幅の値に応じて提供する QoE も意図的に変化させることができる。

5. まとめ

本論文では、Wi-Fi を利用してネットワーク全体の QoE に配慮するような向社会行動を促進するために、ユーザーに段階的かつ動的に説得介入する機能を有するシステムを提案した。本システムは提供する QoE のレベルに基づいて 3 つのモードで動作し、キャプティブポータルを用いた警告内容や帯域幅の設定はネットワーク管理者がユーザに求めるコンテキストに応じて柔軟に変更することができる。また、システム設計に基づいて提案システムのプロトタイプを開発し、各機能の動作の検証を行った。その結果、使用した技術で各機能がシステム要件を満たすように動作することを確認した。今後は、本システムを用いた介入実験を行い、ユーザの受容性や介入効果について検証する予定である。

謝辞 本研究の一部は、JST さきがけ (JPMJPR21P7)、科研費 (JP21K11847) および、東北大学電気通信研究所の共同研究プロジェクトプログラムの支援を受けて実施したものである。

参考文献

[1] Kugler, L.: Getting Hooked on Tech, *Commun. ACM*, Vol. 61, No. 6, p. 18–19 (online), 10.1145/3204447 (2018).

*4 <https://www.ntop.org/products/deep-packet-inspection/ndpi/>

- [2] Longstreet, P. and Brooks, S.: Life satisfaction: A key to managing internet social media addiction, *Technology in Society*, Vol. 50, pp. 73–77 (online), <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.05.003> (2017).
- [3] Monge Roffarello, A. and De Russis, L.: The Race Towards Digital Wellbeing: Issues and Opportunities, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–14 (online), 10.1145/3290605.3300616 (2019).
- [4] Wiederkehr, L., Pitt, J., Dannhauser, T. and Bruzda, K.: Attention Enhancing Technology: A New Dimension in the Design of Effective Wellbeing Apps, *IEEE Transactions on Technology and Society*, Vol. 2, No. 3, pp. 157–166 (online), 10.1109/TTS.2021.3070221 (2021).
- [5] Liu, Z., Sheng, Q. Z., Xu, X., Chu, D. and Zhang, W. E.: Context-Aware and Adaptive QoS Prediction for Mobile Edge Computing Services, *IEEE Transactions on Services Computing*, Vol. 15, No. 1, pp. 400–413 (online), 10.1109/TSC.2019.2944596 (2022).
- [6] Rao, N., Maleki, A., Chen, F., Chen, W., Zhang, C., Kaur, N. and Haque, A.: Analysis of the Effect of QoS on Video Conferencing QoE, *2019 15th International Wireless Communications Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 1267–1272 (online), 10.1109/IWCMC.2019.8766591 (2019).
- [7] Ji, X., Han, B., Xu, C., Song, C. and Su, J.: Adaptive QoS-aware multipath congestion control for live streaming, *Computer Networks*, Vol. 220, p. 109470 (online), <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109470> (2023).
- [8] Chang, B., Zhao, G., Zhang, L., Imran, M. A., Chen, Z. and Li, L.: Dynamic Communication QoS Design for Real-Time Wireless Control Systems, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 20, No. 6, pp. 3005–3015 (online), 10.1109/JSEN.2019.2957569 (2020).
- [9] Kim, J., Jung, H., Ko, M. and Lee, U.: GoalKeeper: Exploring Interaction Lockout Mechanisms for Regulating Smartphone Use, *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 3, No. 1 (online), 10.1145/3314403 (2019).
- [10] Kim, J., Park, J., Lee, H., Ko, M. and Lee, U.: LocknType: Lockout Task Intervention for Discouraging Smartphone App Use, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–12 (online), 10.1145/3290605.3300927 (2019).
- [11] Bowles, N.: Is the answer to phone addiction a worse phone, *The New York Times* (2018). Available: <https://www.nytimes.com/2018/05/16/technology/phone-addiction-essays.html>.
- [12] Elliott, I. K.: Devices of mass distraction: Can they be kept at bay by going grey? An investigation into greyscale as an effective strategy in reducing phone use (2019).
- [13] Nakamura, Y., Tanaka, H. and Arakawa, Y.: Color-wall: Adaptive Color Filter to Reduce Digital Distractions during PC Work, *Adjunct Proceedings of the 2022 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and the 2022 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 193–197 (2022).
- [14] Monge Roffarello, A. and De Russis, L.: Coping with Digital Wellbeing in a Multi-Device World, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), 10.1145/3411764.3445076 (2021).