

インタフェース操作によるユーザ心理状況 推定と動的帯域割当方式の研究

山崎達也[†]

近年、通信サービスに対する主観的評価指標であるユーザ体感品質（QoE: Quality of Experience）が注目されており、帯域等の通信リソースの制御においても、各ユーザが実感する満足度を反映するためには QoE を指標として用いることが期待されている。しかしながら、QoE は心理状況、嗜好や環境等の様々なユーザ状況の要因に依存しているため、指標として用いる場合にはユーザの状況を把握する必要がある。そこで本研究ではユーザに負荷をかけずに心理状況を把握し通信リソース制御に用いる方式を提案する。具体的には、マウスやキーボードといったインタフェース機器の操作状況を用いることで心理状況を推定する。その結果よりネットワークの経路を動的に変化させることで各ユーザ状況に応じた帯域割当を実現する。

Study on User Mental Situation Inference Based on Interface Operation and Dynamic Bandwidth Allocation Methods

Tatsuya Yamazaki[†]

These days, QoE (Quality of Experience) is attracting attention as a subjective evaluation index for communication services. QoE is expected to be utilized as the index to reflect user satisfaction communication for resource control such as network bandwidths. QoE, however, depends on the various user situation factors including mental situation and preference of the user and user environments, so that the user situation factors need to be grasped when we use them as the index. In this study, we propose a method to grasp the user mental situation without bothering the user and a scheme to control the network resources by using the mental situation. More concretely, operation status of user interface devices such as a mouse and a keyboard is monitored to infer the user mental situation. The monitored operation status is used to allocate appropriate bandwidths dynamically according to the user situation by changing the network paths.

[†] 新潟大学工学部工学科
School of Engineering, Faculty of Engineering, Niigata University

1. はじめに

近年、帯域等の通信リソースを制御する際の指標として、ユーザが主観的に知覚するユーザ体感品質（QoE: Quality of Experience）を用いることが注目されている[1]。例えば QoE の低いユーザには帯域を多く割当てるといった制御を行うことで、ユーザの QoE の低下を防ぐことができると考えられる。したがってリソース制御の指標として QoE を用いることで、ユーザの状況に合わせたユーザ目線のサービスの実現につながると考えられる。しかし QoE はユーザが主観的に評価する品質であるため、心理状況や嗜好、属性などのユーザの要因に依存する。そのため同一ユーザであっても、そのユーザの状況の変化によって QoE の評価も変わってくる。したがって通信リソース制御の指標として用いる場合にはユーザの状況を把握する必要がある。また、いかにしてユーザ状況を把握するかが課題の一つである。

一方、現在のネットワーク回線はベストエフォート形サービスのものが主流となっているため、ユーザ個人に対するリソース制御は行われていない。そのためユーザの状況に応じてリソース制御を行うためには、ユーザ個人に対して動的にネットワーク構成を変更させる必要がある。近年、ソフトウェアの操作だけで動的にネットワークの構成、機能、性能などを設定、変更できる、SDN (Software-Defined Network) [2]が盛んになってきている。SDN を用いることにより、物理的に接続されたネットワーク上で仮想的なネットワークを構築することが可能となる。

本稿では、心理状況とインタフェース機器の操作状況の関連を明らかにするために実施した、被験者実験の概要と結果を示す。さらに、実験結果に基づき、ユーザの状況に応じて動的に帯域割当を変化させる手法について述べ、計算機シミュレーション実験による実装例を示す。

2. 操作状況比較実験

人間は間違える動物である。間違えてしまうことは仕方ないことかもしれないが、それが心理的な焦りに起因する場合がある。黒田は、ヒューマンエラーが焦燥ミスから引き起こされていることを報告している[3]。心理的に平常な状況と焦燥的な状況で、どのようにインタフェース機器の操作状況が異なるかを比較する実験を行う。焦燥状況時では、早く作業を行いたいという気持ちから、平常時と比べ素早い操作や誤った操作が増えると考えられる。

ユーザの心理的状況の違いがインタフェース機器操作にどのような影響を及ぼす影響を把握するため、被験者実験を実施した。実験では、デスクトップパソコン（以下、PC）を用いて、ブラウザを使用して指定した場所から目的地までの交通手段を調

べ、その次に指定した PDF ファイルを探してダウンロードするという作業を用意した。作業は 2 回繰り返して行うことになっているが、1 回目と 2 回目で被験者が感じる心理的状況が異なるようにした。1 回目は、できるだけ早く正確に作業を行って欲しいという旨の説明を与えたが、作業完了までの制限時間は設けなかった。次に、2 回目の説明では、1 回目の作業でかかった時間を告げ、制限時間としてそれより 1 分短い時間を設定するという旨の説明を与えた。さらに 2 回目の作業中には、作業開始から経過した時間を 30 秒ごとに読み上げて知らせるようにした。これは 2 回目の作業時に、被験者がタイムプレッシャーを感じるようにと意図したものである。図 1 は以上の実験プロトコルを示している。

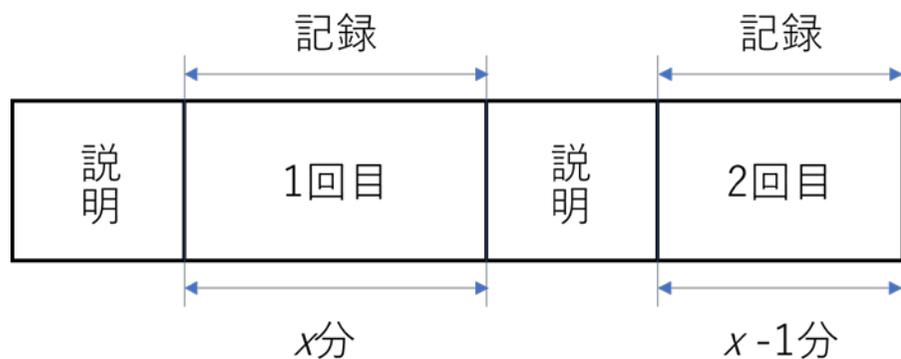


図 1 実験プロトコル。

1 回目と 2 回目の心理的状況の相違を検証するために、以下の三つの事象を計測した。

- (1) Back キー押下頻度
- (2) 打鍵間隔
- (3) ポインタの瞬間的高速移動頻度

(1)は、キーボードの中の Back キーに着目し、焦燥状況ではミスタイピングが増え、それに伴い Back キーを押す回数も増えると考えられるため、対象とした。(2)は、焦燥状況では早くタイピングを行おうとすると考えられ、それに伴い入力される 2 キー間の時間間隔である打鍵間が短くなると考えられるため、対象とした。(3)は、画面上に表示されるマウスのポインタの動きを計測し、その中で瞬間的に高速で動く回数を対象とするものである。これは、前ページへの移動のためブラウザの戻るボタンに急いでポインタを合わせようとするなど、焦燥状況ではマウスによるブラウザ操作の速度向上を行いたいという心理が働くと考えたからである。

実験には、平均年齢 21.6 歳（年齢最小値 20 歳，年齢最大値 24 歳）の大学生 23 名（男性 22 名，女性 1 名）の被験者が参加し、実験者側が準備した端末、マウス、キーボードを用いてデータ収集を行った。なお、実験中のマウスポインタの動きをより効果的に記録するために、マウスのマウスホイール機能を停止した状態で行った。被験者には、実験開始前に普段使用している機器と大きな違いがないかを質問し、機器の操作性の影響がないことを確認している。

3. 実験におけるデータ収集とデータ解析

図 1 に示す実験プロトコルに従い実験を進め、1 回目と 2 回目の各実験中にマウスポインタの位置とキーボード入力を継続的に記録した。操作状況を記録するために独自のアプリケーションを作成し、マウスポインタの位置は 0.1 秒ごとに画面上における座標データとして、キーボード入力で押下されたキーの種類と、1ms の精度の押下時刻を記録した。この操作状況を記録するアプリケーションは、実験中はバックグラウンドで動作しており、被験者の操作の邪魔にはならないようになっている。

実験によって収集されたデータより、前節で対象とした三つの事象の定量化を行う。なお、実験中に被験者に課していた PDF ファイルのダウンロードに関しては、ダウンロード中に約 80% の被験者がマウスから手を離してダウンロード完了を待ってしまうという無操作の状況となったため、この期間のデータは分析対象から外した。

(1) Back キー押下頻度

Back キー押下頻度は Back キー押下回数を数え、Back キー押下回数 / (作業時間 - ダウンロード時間) として、実験中の単位時間当たりの発生数とした。

(2) 打鍵間隔

図 2 に打鍵間隔の求め方の例を示す。逐次打鍵されたキーの時刻が記録されているので、連続した二つの打鍵時刻の差 t を求める。図 2 中では、 key_2 と key_1 の打鍵時刻の差が t_1 として示され、以下同様に t_n まで求められていることを示す。次に t がある閾値の場合、その差分の基となる打鍵は連続していると判断し、連続が途絶えるまでを連続の打鍵の 1 グループとする。連続打鍵のグループ内の t の平均 m を求め、それをグループ内の打鍵間隔とする。図 2 中では、閾値を 1.0 秒とし、 t_1 から t_3 までは閾値以下であったが、 t_4 は閾値を超えていたため t_1 から t_3 までの平均を m_1 として求めたことを示す。以下同様に m_i まで求められていることを示す。最終的に、すべてのグループの m をさらに平均化し、当該被験者の打鍵間隔 T とする。

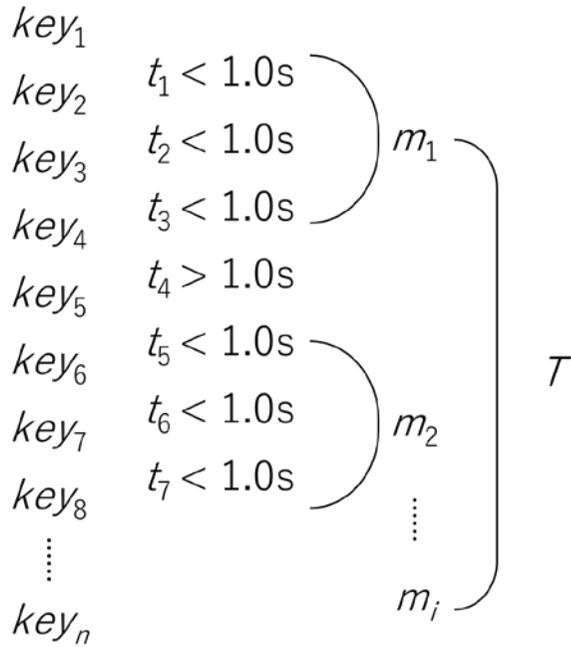


図2 打鍵間隔の算出方法

(3) ポインタの瞬間的高速移動頻度

0.1 秒ごとに収集したマウスポインタの位置の座標データを用いて、ポインタの移動距離 s を式(1)で求める。式(1)において、 $(x_{present}, y_{present})$ はある任意の座標データを表し、 $(x_{previous}, y_{previous})$ はその一つ前に得られた座標データ、すなわち 0.1 秒前の座標データを表している。 s の値が大きいくほど、被験者は急いで作業を進めようとしていたと考えられる。そこで本実験では、 s が 300 より大きいものを瞬間的高速移動と定義して、作業時間内に観測された回数を瞬間的高速移動回数とした。300 は画面上で約 7.5cm 移動することを示している。ポインタの瞬間的高速移動頻度は、作業時間内に発生した瞬間的高速移動の割合として、式(2)で求める。ただし、ダウンロード時間は作業時間には含まないものとする。

$$s = \sqrt{(x_{present} - x_{previous})^2 + (y_{present} - y_{previous})^2} \dots (1)$$

$$\text{瞬間的高速移動頻度} = \frac{\text{瞬間的高速移動回数}}{\text{作業時間} - \text{ダウンロード時間}} \dots (2)$$

4. 実験結果

計測対象とした以下の三つの事象に関して、1 回目の作業と比べ 2 回目の作業で以下の三項目が観測されたかどうかを検証した。

- (1) Back キー押下頻度の増加
- (2) 打鍵間隔の短縮
- (3) ポインタの瞬間的高速移動頻度の増加

観測された項目数ごとの被験者の割合を図3に示す。二項目以上が該当した被験者の割合は 65%であった。また、複数の項目に該当したかどうかとは別に、項目ごとの該当者数と該当者の観測データの平均変化率と標準偏差を表1に示す。表1中の平均変化率は、1 回目のデータを基準として 2 回目のデータを百分率で表したもので、Back キー押下頻度とポインタの瞬間的高速移動頻度は、2 回目の方が増加するため 100%を超えるが、打鍵間隔は 2 回目の方が短くなるため 100%より小さい値となる。

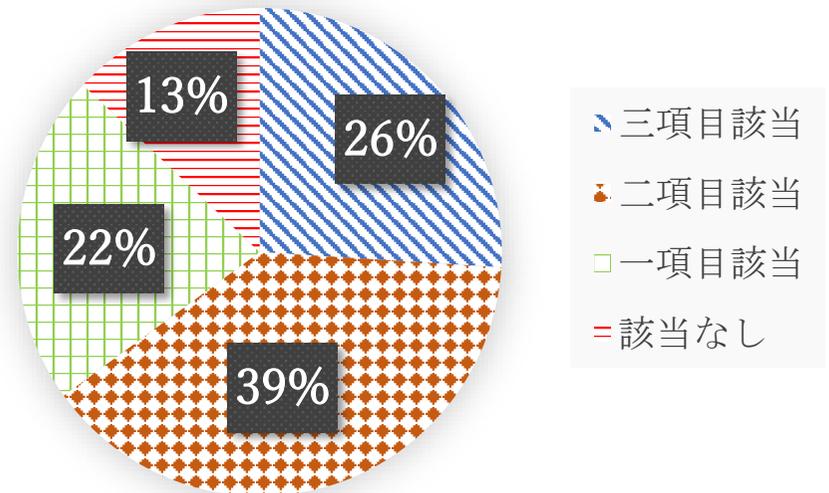


図3 インタフェース機器操作の焦燥状況に関する項目の該当割合

表 1 インタフェース機器操作の焦燥状況に関する項目の統計データ

| | Back キー押下頻度 | 打鍵間隔 | ポインタの瞬間的 高速移動頻度 |
|----------|-------------|------|--------------------|
| 人数(名) | 14 | 14 | 13 |
| 平均変化率(%) | 269 | 83 | 122 |
| 標準偏差 | 162.0 | 12.0 | 16.9 |

5. 心理状況推定による動的帯域割当

前節で述べた実験結果より、インタフェース機器の操作状況よりユーザの焦燥している心理状況が推測できる可能性があることが明らかになった。例えば、ある一定間隔ユーザの操作状況を観測して、前節の(1)から(3)の項目の二項目以上が該当したら、焦燥状況と判定することが可能と考えられる。

ユーザの心理状況が推定できたとして、次に心理状況に応じた動的な帯域割当を検討する。本研究では動的な帯域割当を行うために、SDNによる制御が可能なネットワークを想定する。SDNとは、ネットワークの構成、機能、性能などをソフトウェアの操作だけで動的に設定、変更できるネットワーク、またはそのためのコンセプトを示す[2]。SDNにより、物理的に接続されたネットワーク上に仮想的なネットワークを構築し、動的に目的に応じたネットワーク構成を変更することが可能となる。

SDNによる制御可能なネットワークの構成例を図4に示す。図4では、外部のネットワークとユーザ (Users) 間に SDN の機能をもつ複数のスイッチ (Switches) が設置されていることを示す。各スイッチは SDN のコントローラ (Controller) と接続され、コントローラからの制御で経路選択が変更され、ユーザへの帯域割当を変えることができる。

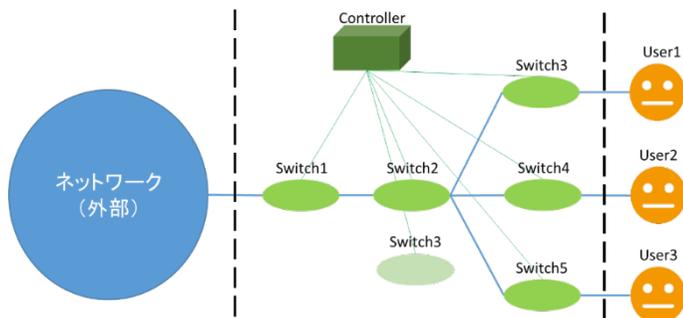


図 4 SDN による制御可能なネットワークの構成例

計算機シミュレーションにより、心理状況に応じた動的帯域割当の実験を行った。シミュレーションでは、SDN の要素技術の一つである OpenFlow (version 1.3.0) [4]を用いた。また、OpenFlow コントローラのフレームワークとして Trema (version 0.8.4) [5]を利用し、OpenFlow スイッチには Open vSwitch (version 2.4.0) [6]を用いてソフトウェア実装した。Trema の最大の特徴は実行速度よりも開発効率に重きを置いていることであり、他のフレームワークに比べて大幅に短いコードでコントローラを実装することができる。また Trema は、ネットワークエミュレータツールの機能を内部に持っている。通常 OpenFlow のテストを行う場合には、実際に物理的な OpenFlow スイッチやパケットを送信するホスト等が必要になる。しかし Trema では、仮想スイッチと仮想ホストを組合せた任意の仮想環境上でコントローラを実行することができる。シミュレーションに用いたマシンのスペックは以下の通りである。

- OS: ubuntu 14.04
- メモリ: 3.8GB
- ディスク: 487.9GB
- CPU: Intel Core 2 Duo CPU E8400 @ 3.00GHz × 2

シミュレーションでは、ネットワーク利用ユーザ数を3名の場合と4名の場合で動的に帯域割当を行うシナリオを構成した。図5、図6にユーザが3名の場合のネットワーク構成を示す。図5は全てのユーザが平常の状況である場合を示し、図6は User1 だけ焦燥状況にあり、それに応じてネットワーク構成が変更されていることを示す。本シミュレーションでは、ユーザ3人に与えられる帯域の合計が 80Mbps になるようにスイッチ1とスイッチ2またはスイッチ3の間の帯域を制限している。

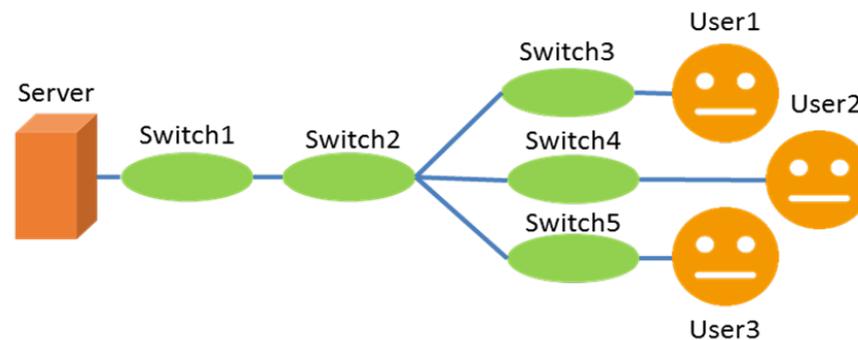


図 5 ユーザ数 3 名の場合 (全員平常状況)

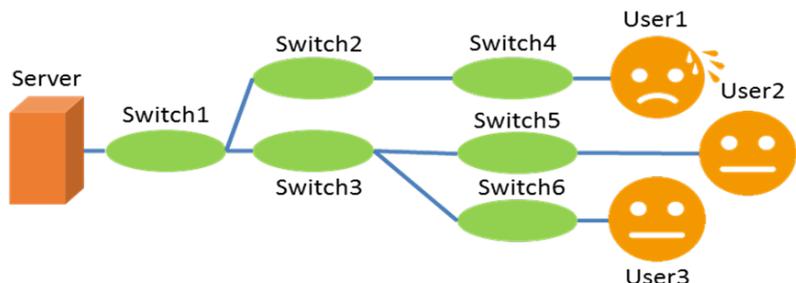


図 6 ユーザ数 3 名の場合 (User1 は焦燥状態で、他は平常状況)

図 5, 図 6 のネットワーク構成に対する帯域測定結果をそれぞれ図 7 と図 8 に示す。図 7 より、図 5 のネットワーク構成では 3 人同等に帯域割当が行われていることが分かる。図 6 に示すように User1 のみ焦燥状況の場合、焦燥状況の User1 に平常状況のユーザ 2 人から帯域が約 5Mbps ずつ焦燥状況のユーザへ分け与えられ、User1 は他のユーザに比べて約 2 倍の帯域が割当てられていることが図 8 に示されている。帯域測定には、iPerf (version 2.0.5) [7]を用いた。

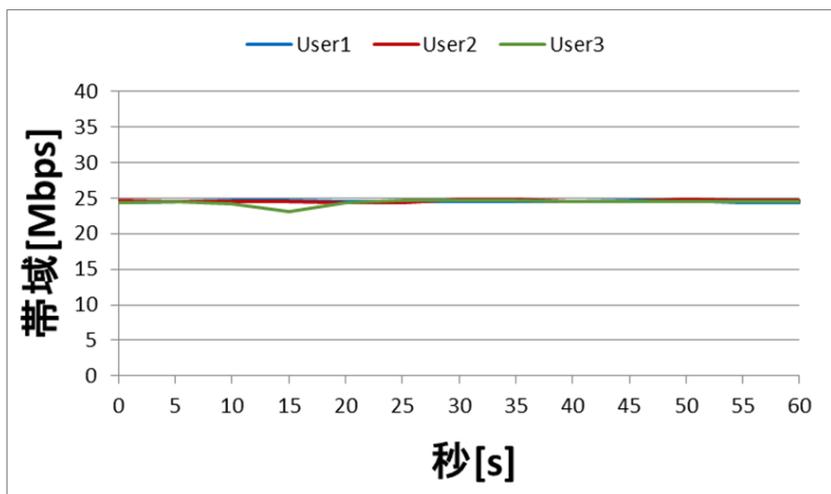


図 7 全員が平常状況の場合の帯域割当 (図 5 に対応)

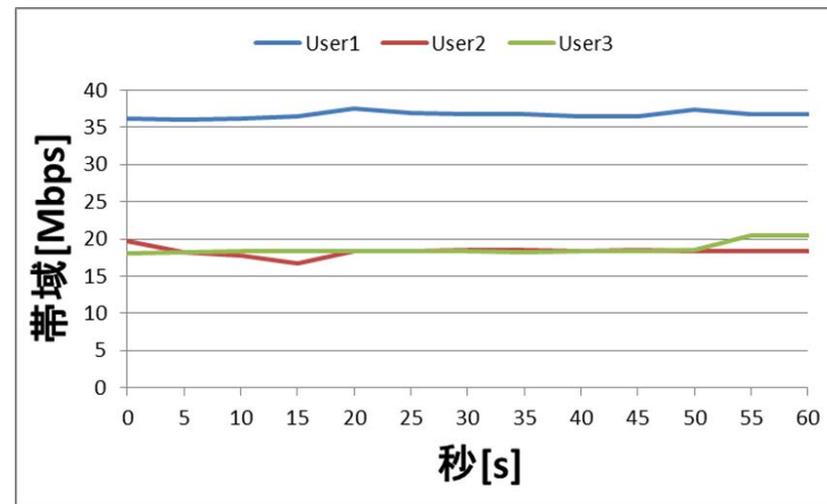


図 8 User1 は焦燥状態、他は平常状況の場合の帯域割当 (図 6 に対応)

次に、ユーザが 4 名の場合のネットワーク構成を図 9, 図 10 に示す。図 9 は全てのユーザが平常の状況である場合を示し、図 10 は User1 と User2 が焦燥状況にあり、それに応じてネットワーク構成が変更されていることを示す。本シミュレーションでは、ユーザ 4 人に与えられる帯域の合計が 120Mbps になるようにスイッチ 1 とスイッチ 2, スイッチ 3, またはスイッチ 4 の間の帯域を制限している。

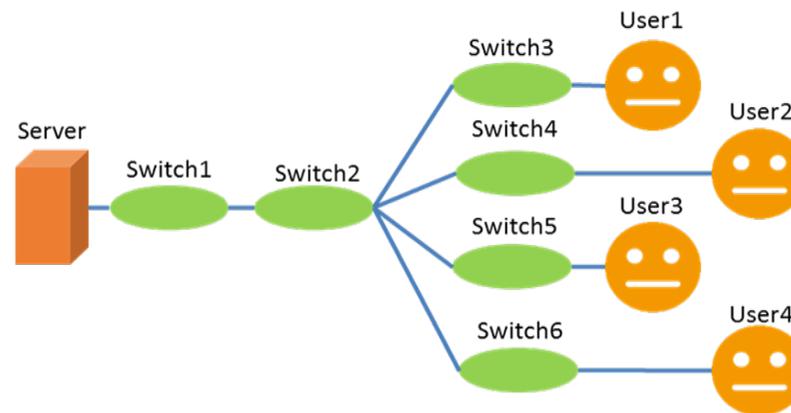


図 9 ユーザ数 4 名の場合 (全員平常状況)

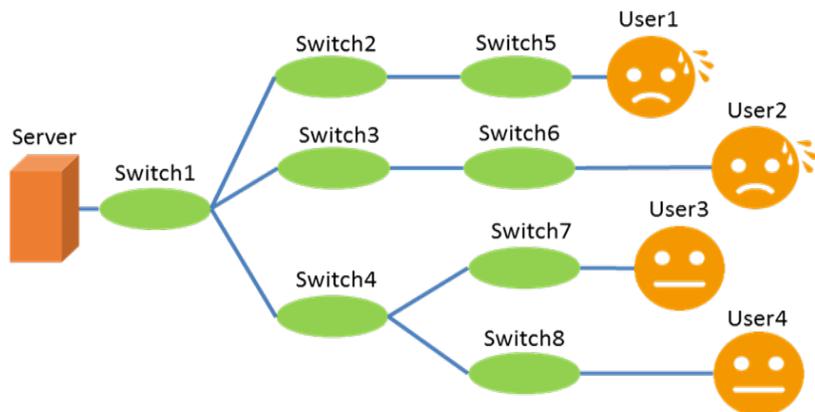


図 10 ユーザ数 4 名の場合 (User1 と User2 は焦燥状態で、他は平常状況)

図 9, 図 10 のネットワーク構成に対する帯域測定結果をそれぞれ図 11 と図 12 に示す. 図 11 より, 図 9 のネットワーク構成では 4 人均等に帯域割当が行われていることが分かる. 図 11 では各ユーザの割当帯域に多少の変動が見られる. これは, Switch1 と Switch2 の間で 4 人のユーザの packets が同時に到着し, 輻輳が生じたことが原因と考えられる. 実験全体を通じて各ユーザに割当てられた帯域を平均化した結果を, 表 2 に示す. 表 2 より, 平均的には各ユーザに均等に帯域が割当てられていることが分かる.

図 12 は, User1 と User2 が焦燥状況の場合, 焦燥状況のユーザは平常状況のユーザに比べて約 2 倍の帯域が割当てられることを示している.

表 2 図 11 の各ユーザに割当てられた平均帯域

| | User1 | User2 | User3 | User4 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 平均帯域 (Mbps) | 26.2 | 25.7 | 25.9 | 26.0 |

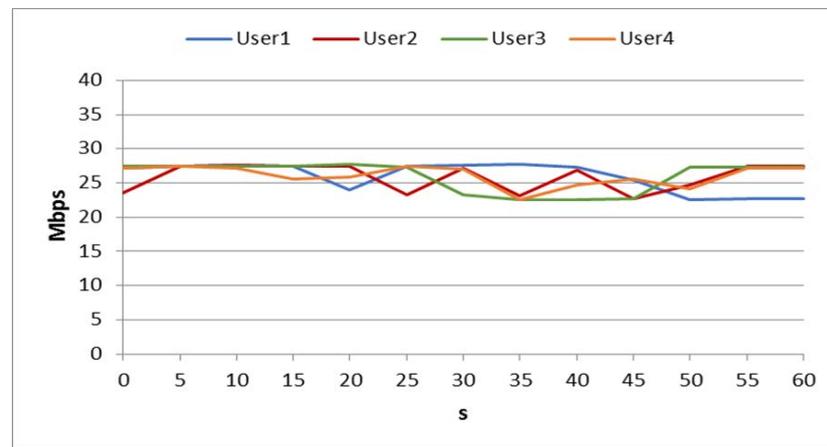


図 11 全員が平常状況の場合の帯域割当 (図 9 に対応)

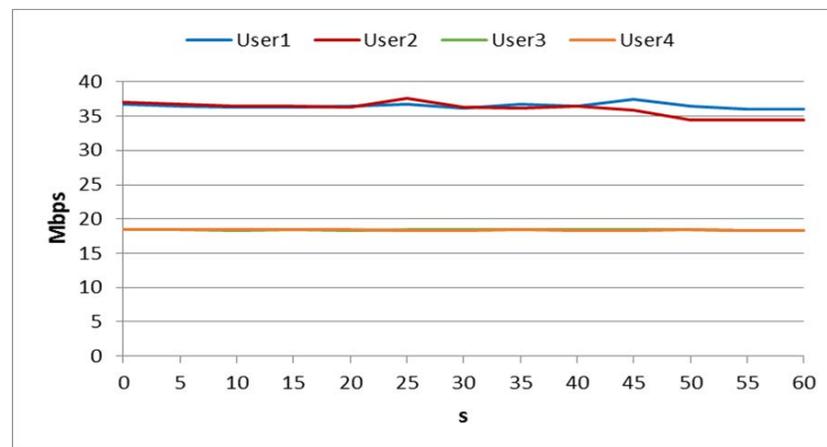


図 12 User1 と User2 は焦燥状態, 他は平常状況の場合の帯域割当 (図 10 に対応)

6. おわりに

本研究では、マウスやキーボードのようなインタフェースの操作状況からユーザの心理状況を把握することを提案し、被験者実験によりその可能性を検証した。実験では被験者に作業を課し、作業中のマウスポインタの位置とキーストロークのデータを収集し、これらのデータを解析することにより、ユーザの心理状況を推定することを試みた。特に作業を行う際に被験者に対してタイムプレッシャーを与え、ユーザが心理的に焦燥状況になることを想定し、その状況を検知するために Back キー押下頻度の増加、打鍵間隔の短縮、ポインタの瞬間的高速移動頻度の増加を分析した。これら三項目のうち二項目以上が該当した被験者の割合が 65%であったことから、複数の項目を用いることで心理状況を推測できる可能性があることを明らかにした。

さらに、ユーザの心理状況に応じて動的に帯域割当を行うために、SDN を用いてネットワークの経路を変化させることで動的に帯域割当を変更する方式を提案した。OpenFlow を用いた計算機シミュレーション環境を構築し、提案方式による動的帯域割当が機能することを確認した。

謝辞 本研究は、株式会社 QES の佐藤卓哉氏が新潟大学工学部情報工学科に在学中に行った卒業研究が基になっている。実験を主導した同氏に謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 阿部威郎, 石橋豊, 吉野秀明:次世代のサービス品質技術動向, 電子情報通信学会誌, Vol.91, No.2, pp. 82-86 (2008).
- 2) Software-Defined Networking (SDN) Definition, <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/sdn-definition>
- 3) 黒田勲: ヒューマンファクターを探る～災害ゼロへの道を求めて～, 中央労働災害防止協会 (1988).
- 4) Open Networking Foundation, <https://www.opennetworking.org>
- 5) Trema, <http://yasuhito.github.io/trema-book/>
- 6) Open vSwitch, <http://openvswitch.org/>
- 7) iPerf, <https://iperf.fi/>