

スマートフォンにおける通信発生予測方式の提案

大西健夫^{†1} 城島貴弘^{†1}

概要: 近年のスマートフォンの普及により、携帯端末において様々なアプリケーションの利用が可能となっている。このようなアプリケーションの多くはモバイルネットワークを介して通信を行っており、市街地や駅などの人口密集地帯においては多数の通信が集中することによる通信品質の劣化が発生する。ネットワーク側では、現状、端末の現在と過去の通信に基づいて通信リソースの割当制御を行っている。ネットワーク側で端末が今後行う通信を予測できれば、より効率的なリソース制御を行い、混雑地における品質劣化の緩和することが可能となると期待される。本稿では、スマートフォンにおける通信の特性を調査し、10秒程度の近い将来においてスマートフォンが通信を行うか否かを予測するための方式を提案する。

キーワード: スマートフォン, 通信特性, 通信予測

A Method for Predicting Traffic Generation in Smartphones

TAKEO ONISHI^{†1} TAKAHIRO SHIROSHIMA^{†1}

Abstract: Smartphones use various applications in a mobile environment. These applications are communicating through a mobile network and suffer from network congestion in a densely populated region such as a station. A control of radio resource allocation in the mobile network is performed based on the current and the past traffic. If the communication of a smartphone can be predicted on the mobile network, the quality degradation by the congestion in a crowded place can be reduced by a more efficient resource control based on the prediction. In this report, we will show the analysis of traffic characteristic and propose a method for predicting traffic in the smartphones.

Keywords: Smartphone, Traffic characteristic, traffic prediction

1. はじめに

近年普及しているスマートフォンでは、様々なアプリケーションの利用が可能となっている。このようなアプリケーションの多くはモバイルネットワークを介して通信を行っている。ユーザがスマートフォンを操作している時だけでなく、スマートフォンを操作していない場合においても、SNSの通知やニュースなどの更新を通知するため、頻繁に通信を実施している[1]。このため、駅や電車などにおいてスマートフォンを有するユーザが集中すると、多数の通信が集中することによる通信品質の劣化が発生する。

モバイルネットワークでは、端末の収容数を増やすため、端末の通信状況に応じて通信リソースの割当制御を行っている。例えば、LTEや3Gにおいては、端末が通信を開始する時に基地局と接続を行い、端末が通信を実施しなくなると一定の時間(例えば10秒)が経過した後に接続の解放する[2]。端末が接続状態(RRC_CONNECTED)にある場合は、基地局側では端末を管理するための情報やデータ送信のバッファを確保するなどのリソースが必要となるた

め、一つの基地局に接続可能な端末数には限りがある。そのため、通信を行う端末が一つの基地局に多数集中すると、基地局と接続できない、もしくは、接続に時間を要することとなり、通信品質が劣化する。

また、接続状態にある端末が他の基地局の圏内に移動した場合には、接続する基地局を変更するハンドオーバーのために、基地局との間で制御用の信号を交換する必要がある。電車などで、接続状態にある多数の端末が一度にハンドオーバーを行った場合、多数の制御信号が発生することで、上記端末に対するハンドオーバー処理が遅延する、もしくは、失敗するなどして通信品質劣化が発生する[3][4]。

これに対し、ネットワーク側で端末が今後行う通信を予測できれば、通信が発生する見込みの低い端末の接続を早期に解放することで、基地局や無線リソースをより効率的に利用することが可能となる。これにより、混雑状態における通信品質劣化を緩和できる。本稿では、数秒から10秒程度の近い将来において端末が通信を行うか否かを予測するための方式を提案する。また、予測方式を検討するにあたり実施したスマートフォンにおける通信特性の調査についても述べる。

^{†1} 日本電気株式会社
NEC Corporation

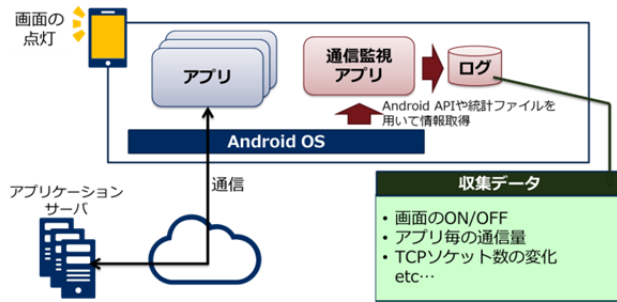


図 1 通信監視アプリケーション

Figure 1 Data collection application

2. 通信特性の調査

予測方式を検討するにあたり，スマートフォンにおける通信特性の調査を行った．本章では，通信特性の調査について詳細に説明する．

2.1 調査方法

スマートフォンにおける通信特性の調査を実施した．調査条件を表 1 に示す．調査においては，Android 端末を用いてデータを収集した．図 1 に示すような通信監視アプリケーションを作成し，端末が実施した通信を時系列でファイルに記録した．通信監視アプリケーションは，約 100 ミリ秒間隔で端末にインストールされた他のアプリケーションが送受信したデータ量を取得する．また，通信監視アプリケーションは，端末が行う通信に影響を及ぼす可能性があると考えられるその他の項目，例えば，画面の点灯状態，画面に表示中のアプリケーション，端末が確立中の TCP コネクション数などについても同時に監視し，記録を行った．これらの値は，Android API[5]もしくは統計ファイルから取得した．データの収集期間は約 3 週間で，著者の端末を用いて調査を行った．調査対象者を増やし，より汎用性の高いデータを取得することは今後の課題である．しかしながら，顕著な特性がある程度把握するには有用であると考えられる．

本調査では，端末が実施した通信間隔を主に調査した．

表 1 調査条件

Table 1 Conditions for data collection.

評価項目	評価条件
端末	Android 4.4
データ収集期間	約 3 週間(20 日間)
データ項目	通信量 通信アプリケーション 画面の点灯/消灯 TCP ソケット数
通信量の時間粒度	約 100 ミリ秒

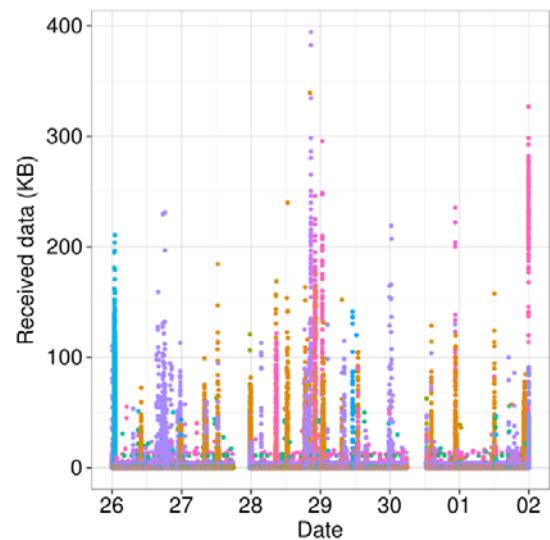


図 2 受信データの時間推移

Figure 2 Received data in a smartphone

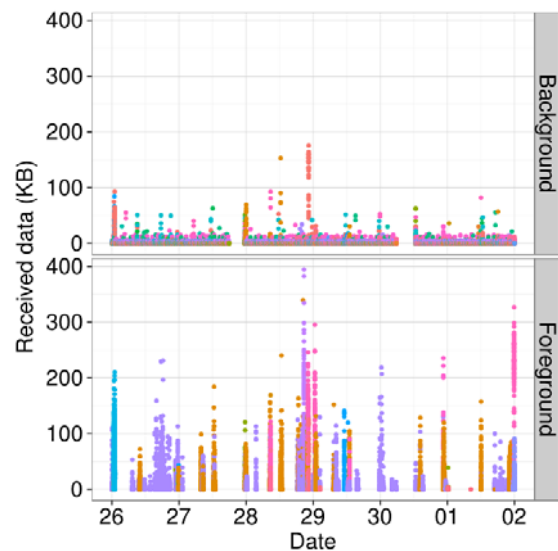


図 3 端末状態毎の受信データ量

Figure 3 Received data in the foreground and background state

通信間隔の逆数は通信発生確率となるため，通信間隔の特性を把握することは，端末における通信の発生を予測する上で有用であると考えたためである．

2.2 調査結果

図 2 は端末にインストールされた各種アプリケーションが行った通信量を時間毎に示したものである．なお，通信量は，100 ミリ秒毎のデータ量を示している．横軸が日付を表しており，数字がある位置が日付の切り替わりを示している．また，縦軸は受信データ量を示している．点の色はアプリケーション毎に変えている．図を見ると，様々なアプリケーションが通信を行っており，また，時間帯を問わず頻繁に通信を行っていることが分かる．なお，デー

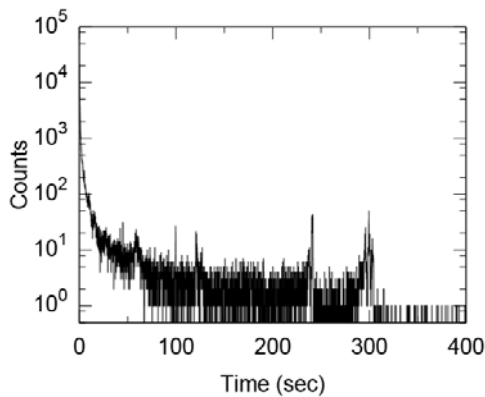


図 4 通信間隔のヒストグラム

Figure 4 Histogram of data exchange intervals

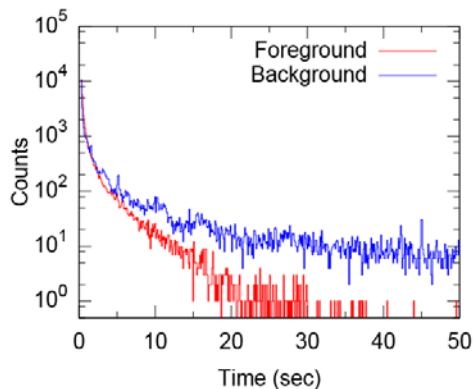


図 5 状態毎の通信間隔のヒストグラム

Figure 5 Histograms of data exchange intervals

タ点が途切れている部分は、端末のバッテリー切れなどで監視アプリケーションがログを収集できなかった時間帯に対応している。図 3 は、アプリケーション毎の受信データ量を、フォアグラウンド通信とバックグラウンド通信を分けてプロットした。なお、フォアグラウンド通信とはユーザが端末を操作している時の通信、バックグラウンド通信とはユーザが端末を操作していない時に自動的に発生している通信を示す。バックグラウンドとフォアグラウンドの区別は、端末の画面が点灯しているかに基づいて判断している。図を見ると、フォアグラウンド通信は、ユーザが端末を操作している時のみに発生するため、散発的に発生している。また、バックグラウンド通信に比べて、通信量が多いことが分かる。一方でバックグラウンド通信は時間帯に依らず常時通信を行っていることが分かる。これは、インターネット上のサーバから通知を受信するために行っている通信で、サーバに更新がないかを一定間隔で確認していたり、サーバからプッシュ型で通知を受け取るための TCP コネクションを維持するために定期的に Keep-Alive パケットを送受信したりしているためである。

図 4 は、通信間隔のヒストグラムを示したものである。図 4 により、通信特性に関する幾つかの知見を得ることが

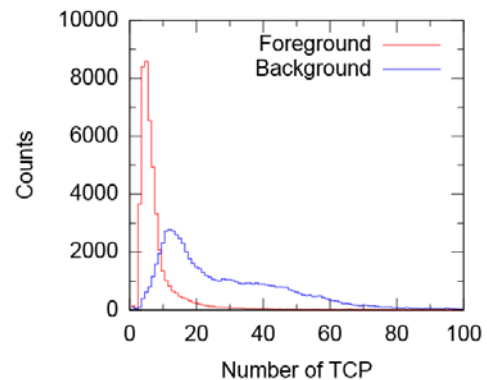


図 6 TCP コネクション数の分布

Figure 6 Number of TCP connections

できる。まず、分布が通信間隔の短い領域に集中することである。これは、一旦通信を開始するとその後数秒程度は通信を行う確率（通信確率）が非常に高くなることを意味する。通信をしない時間が継続するに従い、通信確率は減衰していく。また、図中にいくつかのピークを確認することができる。これは規則性を有した通信を行うアプリケーションが存在することを示唆する。例えば、一定時間毎にサーバにコンテンツ更新の有無を確認するアプリケーションである。

図 5 にバックグラウンド通信、フォアグラウンド通信それぞれについて作成した通信間隔のヒストグラムを示す。なお、通信を開始時の状態がバックグラウンドであるか、フォアグラウンドであるかに基づいて分類している。フォアグラウンド通信は、短時間領域に分布が集中している。つまり、ユーザが操作を行っている場合は高頻度で通信が発生していることを意味する。一方で、バックグラウンド通信は長いテールを引くため、比較的低頻度で通信を行うことが分かる。

その他に、端末が同時に確立する TCP コネクション数についても述べる。図 6 は、TCP コネクション数を画面の点灯状態毎にプロットしたものである。TCP コネクション数は、画面が点灯状態の場合と消灯状態の場合で大きく異なる。画面が点灯状態の場合は、TCP コネクション数が 100 個近くに達する場合もあるのに対し、画面が消灯状態の場合は、TCP コネクション数は数個の場合が大半を占める。画面消灯時の TCP コネクション数は 5 本の場合が多く、10 本程度で画面点灯時の頻度分布と大小関係が逆転する。また、画面消灯中でも最低数本程度は TCP コネクションを確立している。これは、サーバから通知を受けるために維持される TCP コネクションであると考えられる。たとえば、Android 端末においては GCM(Google Cloud Messaging)[6] というプッシュ通知の仕組みが標準で提供されており、GCM のために常時 TCP コネクションが維持されている。

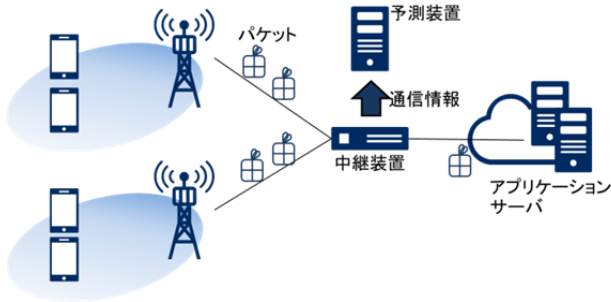


図 7 予測装置の構成

Figure 7 Traffic prediction system

アプリケーションによっては、プッシュ通知を受信するために GCM を利用せず、独自に実装を行う場合もあり、図 6 の結果はそのようなアプリケーションが端末内にインストールされていたことを示唆している。

3. 提案方式

以上の調査により得られた端末の通信傾向から、数秒から十数程度の近い将来において端末が通信を実施するか否かを予測する方式を提案する。

3.1 システム構成

まず、提案方式におけるシステム構成を図 7 に示す。提案システムでは、モバイル網に接続する端末の通信を中継する装置において、端末が行う通信を監視する。監視によって得られた通信情報を端末における通信発生を予測する予測装置に転送し、予測装置は通信情報に基づき端末における通信の発生を予測する。予測結果は端末が接続する基地局に送信され、基地局におけるリソース制御に利用される。

3.2 予測方式

次に、端末における通信の発生を予測する方式について説明する。

調査から得られた通信特性には、大きく分けて二つの特性がある。一つは、通信確率は前回通信を実施してからの経過時間に依存することである。もう一つは、通信確率は端末の状態、例えば、ユーザが端末を操作中であるか（画面状態）に大きく依存する。したがって、以上の二点を考慮して、端末が通信を行う確率を評価することで通信発生を予測する方式を提案する。

端末が最後に通信を実施してからの経過時間 t と、端末の状態 S を用いて、今後 a 秒間の間に端末が通信を行う確率 $P(t, a, S)$ を算出する。通信確率 $P(t, a, S)$ は、過去に観測された端末状態毎の通信間隔に基づき算出する。観測された通信間隔を $t_i (i = 1, 2, 3, \dots)$ として、下記の二つの集合を定義する。

$$R(t, a, S) = \{i | t < t_i \leq t + a, S\} \quad (1)$$

$$A(t, a, S) = \{i | t_i > t, S\} \quad (2)$$

$R(t, a, S)$ は、端末状態 S であり、通信間隔 t_i が t より大きく $t + a$ 未満である t_i の集合、 $A(t, a, S)$ は端末状態が S であり通信間隔 t_i が t より大きい t_i の集合を示す。上記二つを用いて、通信確率を下記により算出する。

$$P(t, a, S) = \frac{n(R(t, a, S))}{n(A(t, a, S))} \quad (3)$$

$n(\cdot)$ は集合の要素数を示す。なお、式(3)は、端末状態が遷移する可能性を考慮する必要があるが、本稿では簡単のため式(3)にて通信確率を近似することとする。

端末状態 S は本稿においては画面の点灯状態を示すとして、下記の二値を取るものとする。

$$S = \{S_{on}, S_{off}\} \quad (4)$$

なお、 S_{on} は画面が点灯している状態を示し、 S_{off} は消灯している状態を示す。

通信発生の予測を行う装置において、通信確率 $P(t, a, S)$ を算出するためには、端末状態 S を推定する必要がある。画面の点灯状態は、2.2 節で述べたように端末が確立している TCP コネクションの数と相関があるため、本稿では、端末が確立している TCP コネクションの数を用いて画面の点灯状態を推定する。すなわち、下記の式にて推定を行う。

$$\hat{S} = \begin{cases} S_{on} & (N_{TCP} \geq L_{TCP}) \\ S_{off} & (N_{TCP} < L_{TCP}) \end{cases} \quad (5)$$

なお、 \hat{S} は画面状態の推定値を、 N_{TCP} は端末が確立中の TCP コネクション数を、 L_{TCP} は画面状態を判定する閾値を示す。TCP コネクション数は、通信中継装置にて、TCP の SYN(SYN/ACK) パケットと FIN(RST) パケットを観測することで算出可能である。

最終的に端末が通信を実施するか否かの判定は、推定した端末状態 S を用いて、通信確率 $P(t, a, S)$ を算出し、通信確率が所定の閾値 P_T であるかを判定して行う。通信確率 $P(t, a, S)$ が閾値 P_T 以上であった場合に、端末が今後 a 秒間の間に通信を実施すると判定する。

4. 評価

本章では、提案した端末における通信発生を予測する方式の評価について述べる。まず、評価方法について述べ、次に通信確率を算出する上で必要となる端末状態（画面の点灯状態）を推定する手法の評価について述べる。最後に、通信発生の予測についての評価を述べる。

4.1 評価方法

提案方式の評価は、2 章におけるスマートフォンにおける通信特性調査において収集したデータを用いて実施した。データを収集した期間の中から、ランダムに時刻をサンプリングし、サンプリングした時刻における端末状態の推定

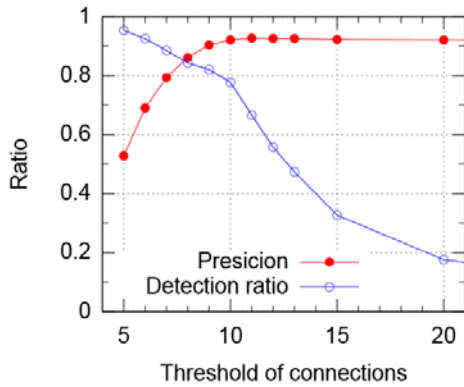


図 8 画面の点灯状態の推定結果

Figure 8 Estimation accuracies of the screen state

精度、および、予測精度を評価した。サンプリングした時刻は 10000 点である。なお、予測精度に関しては、式(3)に示した通り過去の通信間隔の履歴に基づき予測を実施するため、予測時刻においてある程度の数の通信間隔履歴が必要となる。そのため、評価用の時刻をランダムにサンプリングする際に、約 3 週間分のデータの内の後半 2 週間分の期間からサンプリングを行った。サンプリングした時刻より過去の履歴データを用いて式(3)を用いて予測を実施した。

4.2 端末状態の推定

端末状態として画面状態を推定した場合の精度について述べる。点灯状態であるかを判定する TCP コネクション数の閾値 L_{TCP} を変更した場合における推定精度を評価した。結果を図 8 に示す。図 8 には、推定精度を示す指標として、精度 (Precision) と点灯状態の検出率 (Detection ratio) の二つを示した。精度は、推定した画面状態が実際の画面状態と一致する割合を示す。また、点灯状態の検出率は、実際の画面状態が点灯状態であったものの内、画面が点灯状態であると推定した率を示す。つまり、

$$\text{Detection ratio} = \frac{n(\{i|S_i = S_{on}, \hat{S}_i = S_{on}\})}{n(\{i|S_i = S_{on}\})} \quad (6)$$

となる。 S_i はサンプリングした時刻における画面状態を示し、 \hat{S}_i はサンプリングした時刻における画面状態の推定値を示す。なお、点灯状態の検出率を評価したのは、点灯状態となる場合が消灯状態となる場合が少なく、正しく検出するのがより困難であるためである。実際、サンプリングした時刻における状態数は、消灯状態が 9163 点、点灯状態が 837 点となっていた。

図 8 を見ると精度は、閾値が 10 までは増加していき、10 以上においてはほぼ横ばいとなる。一方で、検出率は、閾値に対して単調減少となっている。閾値の小さな領域では、画面が消灯状態である場合に点灯状態であると推定する可能性が高くなり、精度が低くなる結果となっている。

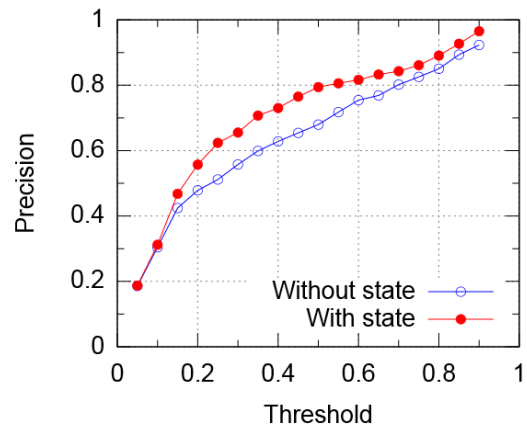


図 9 通信発生の予測精度

Figure 9 Prediction precisions

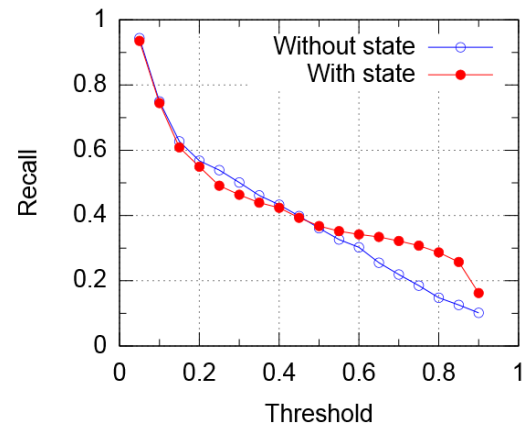


図 10 通信発生の再現率

Figure 10 Prediction recalls

一方で、閾値の大きな領域では、画面が点灯状態である場合に消灯状態を推定する可能性が高くなり、検出率が低下する結果となっている。精度と検出率の両者のバランスを考慮すると、閾値は 9 もしくは 10 に設定すると良いと言える。

4.3 通信発生予測の評価

ランダムにサンプリングした時刻から 10 秒間の間に端末が通信を行うか否かについて予測した場合の予測精度について評価した。評価指標として、精度 (Precision) と再現率 (Recall) の二つの指標を用いた。精度は、通信を行うと予測した場合に実際に通信を行った割合、再現率は実際に通信を行っていた場合に通信を行うと予測した割合を示す。通信を行うと判断するための閾値 P_T 毎の精度を図 9 に、再現率を図 10 に示す。図には端末状態として画面状態を考慮した場合の結果 (図中 With state と表記) と考慮しなかった場合の結果 (図中 Without state と表記) を示している。図を見ると、画面状態を考慮することにより精度、再現率共に改善していることが分かる。図 11 は、算出し

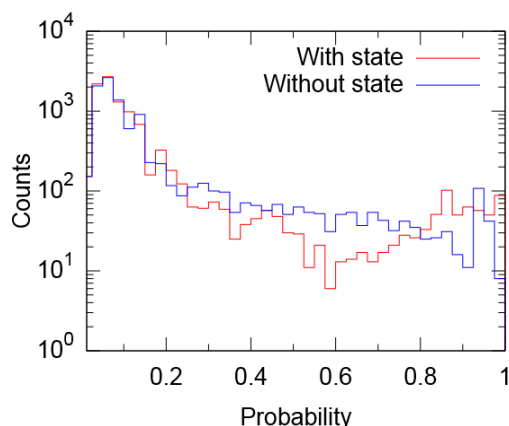


図 11 算出した通信確率のヒストグラム

Figure 11 Obtained probabilities

た通信確率のヒストグラムを、画面状態を考慮した場合と考慮しなかった場合のそれぞれについて示したものである。図 11 を見ると画面状態を考慮することによって、通信確率が高い部分の比率が高まることが分かる。これは、画面が点灯状態の場合に通信頻度が高くなることを、画面状態を考慮することで正しく通信確率に反映できていることを示す。通信が発生しやすい画面が点灯状態の場合の通信確率を正しく評価できるようになることによって、精度や再現率が向上していると考えられる。

5. おわりに

本稿では、近い将来において端末での通信発生を予測する方式を提案した。スマートフォンにおける通信の特性を調査し、端末の通信確率が最後に通信を行ってからの経過時間と端末状態に依存することに着目し、経過時間と端末状態に基づき端末における通信確率を算出する方式を提案した。評価により、端末状態を考慮することで通信発生の予測精度が向上することを示した。

今後の課題として、被験者を増やしてより確度の高い評価を実施することや、予測結果に基づいた通信リソース割り当て制御の効果を検証することなどがあげられる。

参考文献

- [1] Haverinen, H., Siren, J., and Eronen, P.: Energy Consumption of Always-On Applications in WCDMA Networks, in *Proc. IEEE 65th Vehicular Technology Conference*, pp.964-968 (2007).
- [2] 3rd Generation Partnership Project (3GPP): Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC), Tech. Spec. 36.331 (2012).
- [3] Chen, L., Huang, Y., Xie, F., et al: Mobile relay in LTE-advanced systems, *IEEE Communication Magazine*, Vol.51, Issue.11, pp.144-151 (2013).
- [4] Razavi, S.M., and Yuan, D.: Mitigating mobility signaling congestion in LTE by overlapping tracking area lists, *Proceedings of the 14th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pp.285-292 (2011).

- [5] Google: API Guide – Android Developers, Android Developers(online), available from <<http://developer.android.com/guide/>> (accessed 2016-4-13).
- [6] Google: Google Cloud Messaging for Android, Android Developers(online), available from <<http://developer.android.com/google/gcm/index.html>> (accessed 2016-4-13).