

原著論文

第3世代携帯電話通信網を用いた キープアライブシステムの試作と検証

白井 俊宏

東京大学大学院 情報理工学系研究科

Prototype system of keep-alive service over 3G network

Toshihiro SHIRAI

Graduate School of Information Science and Technology,
The University of Tokyo

Abstract: The point of this paper is keep-alive service over 3G network. The data communication using the cellular phone system became common activities. The purpose of use has developed from an individual telephone to the data communication with computers. The author thinks that there are three important points about mobile data communication. First point is high speed and large capacity. Second point is small and fixed cost. Third point is keep-alive and always-on connection. Past cellular phones have developed as personal devices. The individually connections are made accordingly. In new fields like machine communications hope keep-alive system. Accordingly, we propose keep-alive service over 3G network. We made prototype system by additional program on mobile device and support equipments on wired network. Then, we have validated in Japan. As a result, this paper shows a possibility to make almost always-on over present 3G network with proposal system.

Keywords: Mobile, Wireless, Cell phone, Keep-alive, Always-on

キーワード: モバイル, ワイヤレス, 携帯電話, キープアライブ, 常時接続

1. はじめに

近年、携帯電話通信網を利用したデータ通信が日常的なものとなってきている[1]。利用の目的は個人の電話機から、コンピューターを内蔵したデータ通信へと発展し、社会の様々な分野に広がっている。筆者はこのような用途で特に重要な三大要素が次のようにあると考えている。(1)高速・大容量であること (2)低額・定額であること (3)常時接続であること の3点である。(1)については現在、W-CDMAやHSPAなどの研究や環境整備により数 Mbps で高速・大容量の通信[2]が可能となった。(2)についても、月額数千円程度の低額・定額で利用が可能になっている。しかし、(3)の常時接続については不十分であり研究が必要であると考えている。本論文では携帯電話通信網においても、常時接続の可能性と課題を探索することが重要な要素であると考え研究を進める。

従来の携帯電話端末はあくまでもパーソナルデバイスとして発展してきた経緯があるため個々に接続と切断を繰り返す。これは限られた周波数資源を有効利用する観点や、公衆網での公平性の観点からは、妥当な方式である。一方で、様々

な機械へ通信機能を搭載し、ネットワーク機能を活用するマシンコミュニケーションといった新たな分野では、さらなる要望として携帯電話通信網の常時接続化が望まれている。このような用途においては、ユーザーデータの送受信がない時にも少ない周波数資源で確立した接続の維持を可能にし、従来型の接続方式に加えて、新たに常時接続的な方式が選択可能になる事が望ましい。そこで、本論文では確立した接続回線の維持と管理がおこなわれる状態を「キープアライブ」と定義した。そのうえで、現状の携帯電話通信網を利用して、キープアライブサービスを主眼に置いたプロトタイプシステムを作成し、実網での検証を重ねた。その結果、接続性の問題や通信規制が観測された。これらを分析し、現実的に解決可能な手法を検討した結果、一つの解決案にたどり着いた。それは、モバイル端末への通信制御プログラム導入と、ネットワーク側への支援装置の導入によって、独自の仮想的なモバイルプラットフォームを構成することである。その結果、従来の携帯電話通信が抱えていた接続と切断の問題や、通信事業者や周辺環境から受ける影響を緩和し、不足している機能を補強することができる。本論文では、ネットワークの到達性と通信の連続性がある状態を「安定した通信」と定義したうえで、安定した通信回線の維持に可能な限り最善を尽くすベストエフォート型のキープアライブサービスを提案し考察する。その結果、接続と切断を繰り返す従来型の第3世代携帯電話通信網を用いても、日

2010年7月30日受理

常生活において 90%以上の時間を接続状態に維持できる可能性を示す。

2. 概要と関連研究

2.1 研究対象

本稿で扱う事項は携帯電話通信網を利用した無線パケットデータ通信であり、W-CDMA や HSPA と IP 技術を用いて、モバイル機器が目的の情報源にアクセスすることを想定している。世界初の無線パケット交換ネットワークの誕生から約 40 年が経ち[3]、先人たちの努力や世界的な開発競争の結果、携帯電話や無線 LAN といった機器が広く普及した。日本では第 3 世代携帯電話の普及や利用が世界の中でも先進的に進んでいる[4]。新しいモバイルシステムの利用分野として、クラウドコンピューティング[5]や電子書籍、マシンコミュニケーションといった分野の急速な進展が見込まれおり[6]、その通信網として新しい形の携帯電話通信網が期待されている。一方、従来の携帯電話システムはあくまでもパーソナルデバイスとして発展してきた経緯があり、ユーザーが使う時だけ接続すれば良いとの考え方から、電話型の機器がその都度、接続と切断を繰り返す仕組みが基本である。このため、従来の携帯電話通信網に、安定した接続を求めるマシンコミュニケーションなどのシステムを適用しようとしても、有線通信のように通信の連続性や一意のアドレスを保てず、上位層のアプリケーションで通信エラーが発生する状況やシステムが度々ある。

2.2 関連研究

これらの問題を解決する従来手法として、通信事業者が提供する特定用途向けの専用のサービスや通信機器がある[7][8]。特定の目的に特化しているため高機能な反面、限られた条件下でのみで利用できる技術であり汎用性に乏しい。一方、オープンな形でのモバイルデータ通信については IETF など長年議論されてきた Mobile IP[9][10][11][12]や NEMO[13]などがある。VPN の通信断を検出する方法[14]や、キープアライブによらない新しい VPN セッション管理方式[15]なども提案されているが、広く社会に普及しているとは言い難く、対応機器の少なさや導入の難しさといった課題をかかえている。これらの関連研究では下位層のネットワークが到達性を持つことを仮定しているが、本システムはそれが構築される前提について考慮し、接続と切断を繰り返す第 3 世代携帯電話通信網においても、物理層の通信回線自体を可能な限り安定維持することに着目する。第 3 世代携帯電話通信方式では、無通信のときには確立した接続を維持したまま、占有していた無線リソースを解放することにより、効率的な電波利用が可能である。また、ごく少ないキープアライブパケットの送受信では、多人数で共用する無線通信チャンネルで接続を維持できるため、効率的な電波利用が可能である[18]。しかし、これらの機能は最適な活用をされているとは言い難く、その点は課題がある。

現状でも何らかの方法でキープアライブサービスが実現できる可能性を秘めているため、本論文では手法の提案や実証実験を通じて、これらの事項を考察する。

現在の実情としては、一般的に簡素な再接続(リダイヤル)や、自動接続機能を持つモバイルルーターを利用して、接続性を確保することにとどまっている。

PHS では無線通信回線を接続中であるかのように見せたまま一時的に無線通信を休止する方式としてドーマント方式がある[16]。ドーマント状態では無線利用を休止するため周波数を占有しないで済み、送信再開時になって無線利用を再開するため効率的な周波数利用がおこなえる。一方、完全な接続状態ではない為、アプリケーションからは接続継続中に見えても物理的には切断中であることや、送受信の途中で休止状態となることにより、通信エラーやアプリケーションの中断がたびたび発生する課題がある。

3. キープアライブシステムの提案

3.1 基本アーキテクチャ

本システムの基本的なアーキテクチャを示す。図 1 参照。

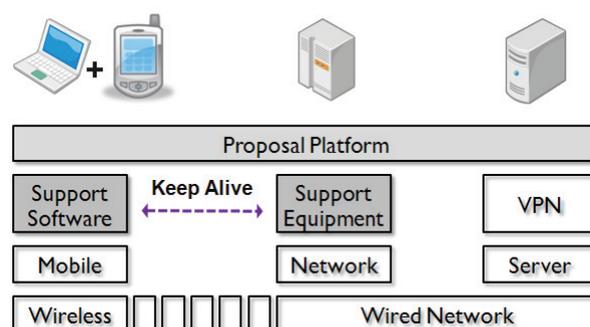


図 1 基本アーキテクチャ

本システムではモバイル端末がネットワークとの接続を維持するアーキテクチャとして、モバイル端末側に第 3 世代携帯電話通信網の特性を考慮した通信制御プログラムを導入し、ネットワーク側へモバイル端末の制御管理に特化した支援装置を導入することによって、両者をリンクし続けるキープアライブ層を設け、バस्तエフォート型の常時接続を念頭に置いたサービスプラットフォームを構築するアーキテクチャを採用している。解りやすく述べると、携帯網や VPN への接続をハンドリングするプログラムを作り、安定した通信回線の維持に可能な限り最善を尽くす接続をするようにしている。過去のシステムが第 3 世代携帯電話通信網でのキープアライブに焦点を合わせ最適化されたものではないのに対し、本システムでは第 3 世代携帯電話通信網への通信を常に監視・管理しており、利用中に切断や接続環境の変化が起きた場合でも、その特性に応じた処理を迅速で的確におこなうことにより、アプリケーションの通信エラーや接続デバイスへの悪影響を最小限にとど

める。これにより、上位層のアプリケーションへは、下位層の無線通信による影響が隠蔽され緩和される。

3.2 W-CDMA/HSPA ネットワークとの接続構成

第3世代携帯電話パケット通信網であるW-CDMA/HSPAネットワークと、IPネットワークを経由したユーザーネットワークまでの基本的な接続図を示す。図2参照。

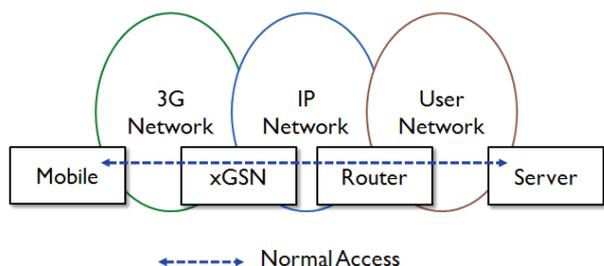


図2 W-CDMA/HSPAのパケット通信ネットワーク構成

モバイル端末はW-CDMA/HSPAネットワークを介してパケット交換装置であるxGSN(serving/gateway General packet radio service Support Node)などに接続され[17]、パケット通信に必要なリソースやアクセス制御を受ける[18]。xGSNはIPネットワークと接続されており、ルーターを経由して最終的な目的のサーバーへとパケットが送受信される。

一方、本提案システムではモバイル側に専用の通信制御プログラムを導入したうえで、IPネットワーク上に支援装置を導入している。図3参照。

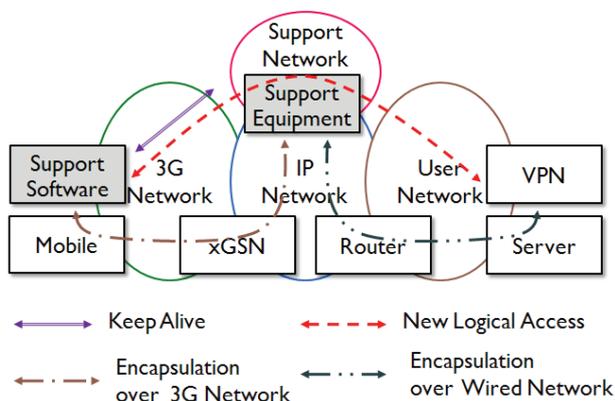


図3 提案システムの構成

図3の構成は図2の構成に、通信制御プログラムと支援装置を追加したものである。これらは互いにキープアライブ処理をおこない、常にモバイル端末と支援装置を接続状態に維持しようと努める。そのうえで既存の通信路を迂回する独自の通信路をVPNで形成する。従来のパケット接続では通信事業者の管理下にあるxGSNや、インターネット接続事業者の認証サーバーによってIPアドレスの割り当てや接続と切断の処理がされていた。提案システムでは、既存の通信事業者網のさらに上に独自の通信システムを構築するため、仮想的ではあ

るが自由な通信環境の設定や独自の接続処理をより容易におこなえる通信路を構築する。

3.3 モバイル端末側の処理

通信制御プログラムを作成し、モバイル端末側に搭載しているが、その目的は接続の状態を管理し、その状況に応じた最善策をおこなうことにより、通信を長く安定的に維持することに努めることである。C#プログラミング言語と.NETフレームワークを使って記述されたこのプログラムは、常に通信状態を監視し、無線エリア圏内であるのに無通信である場合は、ただちにPPPやダイヤルアップといった通信事業者から定められた標準的な接続方法を利用してパケット接続を開始する。基礎的なパケット接続が完了したら、新たにVPNのPPTP[19]を用いてネットワーク側の支援装置に接続し、認証・暗号化を経て論理的な通信回線を確立する。この過程でモバイル端末のアクセスは仮想化され、制御プログラムによりコントロールされることになる。その際、モバイル端末はアクセスIDとパスワードに応じて接続先のPPTPサーバーと仮想IPセグメントから、実際のIPアドレスとは別の固定した仮想IPアドレスの払い出しを受ける。支援装置群の一部として仮想アドレスが登録済のDNSサーバーもあり、名前解決とフルドメイン名利用の支援を受ける。これにより、モバイル端末側は無線データ通信で接続・切断のたびに異なる動的な実IPアドレスが割り当てられても、常に一意の論理的な仮想IPアドレスとフルドメイン名が利用できる。論理的な通信回線が確立された後は、作成した通信制御プログラムが64Byte程度のハートビートデータを支援装置とやりとりし、無線通信帯域を圧迫しないようにしながら通信を長く安定的に維持することに努めるとともに、通信の状態を管理する。無線接続の切断や回線エラー、環境変化といった問題事象が発生した場合は直ちに復旧処理をおこなう。これら一連の処理によりベストエフォート型のキープアライブを実施する。

3.4 支援装置側の処理

モバイル端末からの接続を経由する装置として有線ネットワーク側に支援装置を設置している。目的は、無線や通信事業者から受ける制限を緩和し、モバイル端末側のリソース的な限界を有線ネットワーク側の豊富なリソースで補うことである。支援装置とはモバイル端末側からのPPTP接続を受け付けるVPNサーバーと認証システム、接続を管理するキープアライブサーバーと状態管理システム、一意の名前やIPアドレスを提供するDNSシステム、それらを相互に接続するIPネットワークから成り、一体となったシステムを構成している。これらの装置は必要な通信資源を提供するものとして機能し、モバイル端末側へ安定的な接続環境をネットワーク側から支援する。そして、モバイル側と有線ネットワーク側とのギャップを吸収するゲートウェイとして機能することにより、他の無数にあるインタ

インターネットサーバーへの変更がなくても、モバイル側とのキープアライブを利用することができる。

4. プロトタイプシステムの構築と検証

4.1 プロトタイプシステムの概要

提案手法の効果を検証するため、プロトタイプのシステムを構築し、実験をおこなった。これは通信制御プログラムと支援装置の追加によって、既存の第 3 世代携帯電話通信網上にキープアライブシステムを構築できるかどうか、また、その効果はどの程度あるかを計測することを目的としている。システムの実態は、東京都港区内のビルに設置した IP ネットワークと市販の機器で構築したプロトタイプシステムである。これは大別すると、①通信制御プログラムを搭載したモバイル端末、②インターネット上に設置した支援装置、③この両者を接続する第 3 世代携帯電話通信網の 3 つから構成される。①のモバイル側の機器構成としてイー・モバイル株式会社の W-CDMA/HSDPA 対応通信機器 D22HW を搭載した Windows XP の PC を用意し、作成した通信制御プログラムをインストールして利用した。②の有線ネットワーク側の支援装置として、インターネット上に BUFFALO 社の PPTP サーバー BHR-4RV やキープアライブパケットの送受信をおこない通信状況を監視する Windows サーバーを用意して利用した。③の通信事業者としてイー・モバイル株式会社の W-CDMA/HSPA ネットワークを利用した。これらを使い①が③を介して②に接続して検証を実施し、その接続状態の結果を通信ログに残した。

4.2 検証

まず通常の状態では接続が長く維持されないことを確認するために、50 時間の連続通信試験をおこない、切断が起きるタイミングや IP アドレスの変化を記録した。通信ログを解析し解りやすくするためにグラフ化した。図 4 参照。

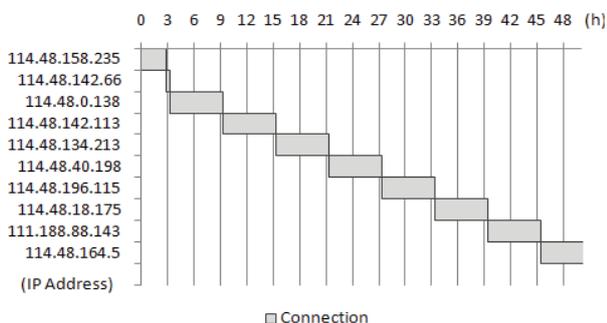


図 4 接続・切断と IP アドレスの変化 - 通常時

1 つの棒グラフが接続から切断までを示している。縦軸と棒グラフのずれは切断と再接続による IP アドレスの変化を示し、横軸は時間の経過を示している。今回の実験では一時的な電波不良と思われる短時間での切断も確認されているが、そ

れ以外でも、特定の連続通信時間後に規則的な切断が起きており、通信事業者によって連続通信タイマ等による強制切断の通信規制を受けていることが読み取れる。再接続しても、動的 IP アドレス割当てが一般的な現状では、接続ごとに IP アドレスが変化する。これらの事より、何もしない場合は安定した継続的な接続は難しいことが分かる。

一方、本システムを適用すると、携帯電話通信網に特有の突然の切断や通信規制、IP アドレスの変化などがあっても直ちに復旧処理を実行し、元の通信環境に戻す再接続などの処理を実施する。再接続後は実 IP アドレスが何であれ、VPN を使った固定の論理的な IP アドレスが何度も割り当てられるので、一時的な接続断は起きてても、継続的な接続に近づけることができる。図 5 参照。

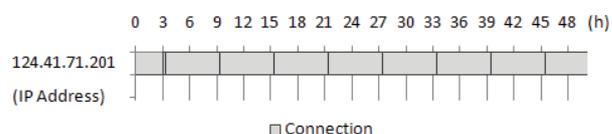


図 5 接続・切断と IP アドレスの変化 - 適用後

次に、携帯電話通信網でどの程度の常時接続が可能か計測することを目的として検証をおこなった。検証場所は日本の関東地区で携帯電話通信網の圏内エリアとし(地下鉄のトンネル部分は除く)、計測には Ping を利用している。ここで単純な Ping 成功率だと結果は回数的な成功率となってしまいが、求めたいのは時間当たりの接続率であるため、これを精密に記録できる Ping プログラムを作成し計測した。ここで接続率とは全体的な時間に対し、ネットワークが通信可能であった時間と、通信不可能であった時間との比率を、Ping(ICMP Echo Request & Reply)を利用して求め、百分率で表した数値である。これらを使って本システムを動作させ、時間当たりの接続率を移動状態に応じて試験 1~4 まで 4 回ずつ実施して解析した。図 6 参照。

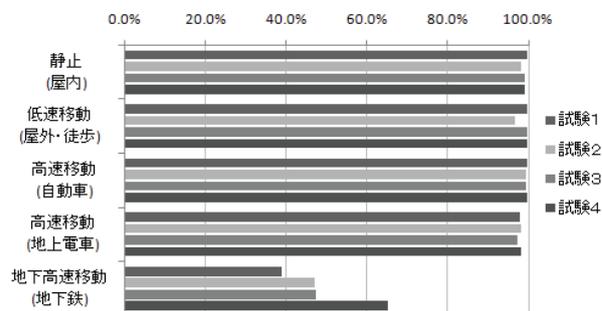


図 6 時間当たりの接続率試験

静止時でおおむね 97~100%の時間当たりの接続率を計測した。地下鉄以外の移動時においても、おおむね 90%以上の接続率を計測している。これは携帯電話通信網のハンドオーバー機能や無線空間での再送信機能といった通信維持機能が強力であることが大きく影響し、もし切断や通信エラーが起

きても本システムが 5 秒～45 秒程度で直ちにこれを復旧し、一度接続したら数時間以上、安定的に維持しようとする機能が動作するためである。

また、参考的な検証として、筆者は日常生活の中でモバイル端末を 24 時間持ち歩き、そのうち何時間が接続中となり、インターネットに接続した状態になるのかを検証した。結果は 24 時間中、接続中が 23 時間 4 分 47 秒、非接続の時間が 55 分 13 秒で接続率は 96.16%であった。1 日だけの検証であり、生活スタイルや場所などで結果は変化するため、あくまでも参考データであるが、この事例では 24 時間中 23 時間以上はインターネットと接続中となる結果となった。通常、一時的な電波不良や通信規制などで切断が起きた場合は何もしなければ切断状態のままである。しかし、本システムでは通信の監視、再接続、キープアライブなどの処理をおこなうことによって、回線の維持に努めたので、携帯電話通信網の広いエリアと相まって高い接続率を計測した。

これらの計測結果により、日常生活においても 90%以上の時間をネットワークへ接続中にすることが可能であると考えられる。

一方、本提案システムを利用するには、追加の処理が加わるため、オーバーヘッドが発生する。そこで遅延時間を計測した。1MByte の FTP ダウンロードをおこなった場合の時間的な比較を示す。図 7 参照。

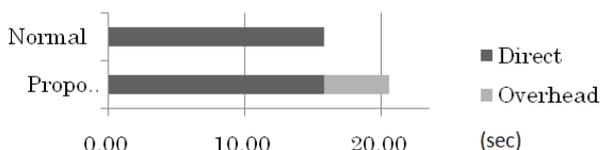


図 7 1MByte ファイル FTP ダウンロード時間の比較

次に Ping によるパケット往復時間の比較を示す。図 8 参照。

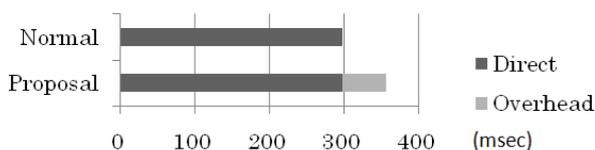


図 8 パケット往復時間の比較

いずれも 20～30%ほど通信が遅くなることが分かる。これは本システムによる VPN のカプセル化などでデータ量が増え、支援装置を経由する事によって遠回りとなり、付帯的な遅延が発生するためである。

4.3 考察

今回の実験環境では、まず、何もしなければ安定した通信を継続できないことを確認した。携帯電話システムが持つハンドオーバーや無線区間での再送信処理といった通信維持機

能は、有効であることを確認できたが万能ではなく、電波不良による不通信以外にも通信規制による強制切断、通信機器や回線のエラーによる無通信状態が発生しており、これに対応する必要がある。本システムを動作させた場合は、強制切断や回線エラーが起きた場合でも直ちに復旧処理が実行されることを確認した。実験結果を見れば、日常生活の 90%以上の時間を IP リーチャブルな時間にすることができており、意識せずとも無線で常時ネットワークにつながっているユビキタスな社会の実現性は充分あると考えられる。

また、本システムを稼働することにより第 3 世代携帯電話通信網にかかるトラフィックの負荷を検証した。プロトタイプシステムでは、キープアライブのため一定時間ごとに 64Byte 程度のパケットを送受信するが、精度の高いキープアライブ処理(1 秒毎)の設定とした場合で 24 時間の総量が 10MByte 程度、精度の低い設定(10 秒毎)の場合で総量が 1MByte 程度であった。つまり、1 つのモバイル端末を 24 時間キープアライブするために、本システムが無線通信網へかけるトラフィック負荷は 1～10MByte であった。現在の第 3 世代携帯電話通信網では複数のモバイル端末で効率よく同じ周波数を共用利用できることや、基地局とセルあたりの通信容量を考えると、1 端末あたり 24 時間で 1～10MByte のトラフィック負荷は大きな負担ではない。さらに特定の利用用途やオプションサービスによる提供といった形でユーザー数を限定すれば、通信網に過剰な負荷をかけることなくキープアライブサービスを提供できる可能性は充分あると考えられる。

しかし、現在の現実的な懸念事項は限られたバッテリー容量や、やはり、無線リソースの圧迫であろう。本実験ではまず十分なバッテリーを複数用いた。また、1 つのモバイル端末が無線リソースを占有しないように共有のトラフィックチャンネルで最小限のパケットをやりとりし、電波を効率よく利用する方法を考慮している。それでも、通信資源が不足する場合は、制御プログラムで電源が接続されているかどうかや、フェムトセル配下などで[20]無線リソースに余力があるかどうかなど、環境と利用可能な通信資源を判断し、キープアライブサービスの ON/OFF を切り替えるといったことが現実案として考えられる。

検証中は通信事業者から強制的に切断されることが多々あった。これは限られた周波数資源の保護や公衆網の公平性の観点から妥当ともいえるが、十分な議論が必要である。単なる常時接続者への強制切断で対応と技術を終わらせるのではなく、本システムのようなものを使うことによって、希望するユーザーにはオプションサービスといった形でも、キープアライブサービスを選択可能にする技術があつて良いと考えた。

5. まとめ

本論文では、通信制御プログラムと有線ネットワーク上への支援装置追加によって、既存の通信システムの構成を大きく

変えることなく、既存の第3世代携帯電話網でキーブアライブサービスを提供する方式を検討し、プロトタイプシステムを作成して評価をおこなった。携帯電話通信事業者は接続の保障をしておらず接続率などは公表していないため、従来、携帯電話網が持つ常時接続性の限界は不明瞭であった。筆者は現状の携帯電話通信網が持つ限界能力の一端を知りたいと考え、今回のプロトタイプシステムを作成し検証した。その結果、事前に想像していた以上に高い接続率であった。これにより、その都度、接続と切断を繰り返す現状の携帯電話システムを使っても、日常生活時間の90%以上をネットワークと接続中にできる可能性を示している。意識せずとも様々な場所ですぐに利用できるユビキタスなネットワーク社会が現実的になっていることを改めて確認した。これらのシステムや検証結果による考察は、既存の無線データ通信の安定性を向上させるだけではなく、より革新的なアプリケーションの登場を促し、今までにない市場や用途が広がると考えられる。

参考文献

- [1] 総務省情報通信国際戦略局: 平成21年「通信利用動向調査」の結果, 総務省, pp.2-10 (2010)
- [2] 3GPP/3rd Generation Partnership Project: Overview of 3GPP Release 8, V0.1.1, 3GPP (2010)
- [3] Norman, A.: THE ALOHA SYSTEM: another alternative for computer communications, Proceedings of the November 17-19 AFIPS Joint Computer Conferences, pp.281-285 (1970)
- [4] 総務省情報通信国際戦略局: 情報通信白書平成22年版, 総務省, pp.23-26 (2010)
- [5] 黒川, 日高: 「所有から利用へ」の世界を支えるクラウド・コンピューティングの可能性, 科学技術動向, No.111 2010年6月号, pp. 10-21 (2010).
- [6] 齊藤, 他: 「モバイルビジネス研究会」最終報告書, 総務省, pp.2-45 (2007)
- [7] 増井, 竹内, 平間, 原田: FOMA ユビキタス モジュールの開発と ネットワークへの機能追加, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 14 No. 1, pp.61-65 (2006)
- [8] 和泉, 堤, 高橋, 涌井: 車載向け FOMA テレマティクスモジュールの開発とネットワークへの機能追加, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 16 No. 2, pp.54-61 (2008)
- [9] Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, RFC 3344, IETF (2002).
- [10] Perkins, C.: IP Encapsulation within IP, RFC 2003, IETF (1996).
- [11] Johnson, D., et al.: Mobility Support in IPv6, RFC 3775, IETF (2004).

- [12] Gundavelli, Ed., et al.: Proxy Mobile IPv6, RFC 5213, IETF (2008).
- [13] Devarapalli, V., et al.: Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol, RFC 3963, IETF (2005).
- [14] Huang, G., et al.: A Traffic-Based Method of Detecting Dead Internet Key Exchange (IKE) Peers, RFC 3706, IETF (2004).
- [15] 高橋修, 高橋竜男, 三浦, 西郷, 水野: 移動網を介したモバイル VPN 方式の提案と評価, 情報処理学会論文誌, 43 巻 12 号, pp. 3898-3910 (2002)
- [16] 社団法人 電波産業会: MITF ダイアルアップ・ドーマント・プロトコル, ARIB STD-T78 1.0 版, pp.1-43 (2001)
- [17] 森川, 清水, 杉山, 及川: FOMA コアネットワークパケット処理ノード xGSN の開発, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 12 No.3, pp.33-41 (2004)
- [18] 服部, 藤岡: オール IP モバイル・ネットワークへの発展と 3G(UMTS)のパケット・コア技術, ワイヤレス・ブロードバンド HSPA+/LTE/SAE 教科書, 初版, pp.71-88, pp.177-207, (株)インプレス R&D (2009).
- [19] K. Hamzeh., et al.: Point-to-Point Tunneling Protocol (PPTP), RFC 2637, IETF (1999).
- [20] 渡辺, 大矢根, 中南, 平本: フェムトセル用超小型基地局装置の開発, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 16 No.2, pp.61-65 (2008)

著者紹介

白井 俊宏 (学生会員)

2010年現在 東京大学大学院情報理工学系研究科博士後期課程在学中。携帯電話通信事業者や学術機関などでモバイルシステムの研究・検証に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、IEEE 各会員。

