

M2Mシステムの運用コスト低減と通信品質維持に向けた要素技術開発

Development of Elemental Technology for Cost Reduction and Maintaining Communication Quality for M2M System

井澤 良 則
Yoshinori Izawa

新宮 秀 樹
Hideki Shingu

要 旨

MVNO (Mobile Virtual Network Operator) の普及によりセルラーを利用したM2M (Machine to Machine) システムが注目されているが、その普及には運用コストの低減とM2M機器が増加した際の通信品質の確保が課題となる。これらの課題に対し、MVNOネットワーク内にM2Mサーバを導入したシステムを提案する。運用コスト低減の観点から、M2M機器の電池交換にかかるコストを低減するために、M2M機器とM2Mサーバを連携した省電力化方式を提案する。さらに、M2M機器の遠隔制御向けにコスト高となるSMSや固定IPアドレス利用を不要とし、M2M機器の動的IPアドレスをM2Mサーバで追従する遠隔制御方式を提案する。また、通信品質確保の観点から、綿密にM2M機器の通信タイミングを制御することで帯域を効率的に利用し、トラフィックを平準化する方式を提案する。本稿では上記提案方式のアルゴリズムを述べ、シミュレーションにより有効性を示す。

Abstract

The machine to machine (M2M) system has been developed to enable cost-effective operation of M2M devices, and to maintain communication quality in an increasing number of M2M devices. The system introduces a proprietary M2M server deployed by mobile virtual network operators (MVNO). From an efficiency perspective, the server and devices provide techniques for power saving to reduce the need for battery maintenance, and for address management to cope with a change of address so that a cloud application makes data calls to the M2M device using a dynamic IP address. This technique eliminates the need for a static IP address or short message service (SMS). From a quality perspective, the M2M server assigns the optimal timeslot for each device to communicate with the network, and maintains communication quality. This paper describes the algorithms used and the validity of the efficiency and maintained quality produced in simulations.

1. はじめに

M2M (Machine to Machine) サービスの世界市場は、2020年度には3兆8000億円に達すると予測されている[1]。近年はMVNO (Mobile Virtual Network Operator) による安価な回線の普及や通信モジュールの低価格化により、セルラーを利用したM2Mシステムが注目されている。一方、M2Mシステムの普及には、運用コスト低減と、M2M機器が増加した際の通信品質の確保が課題となる。

セルラーを利用するM2M機器は設置が容易であるが、電源を確保できず電池を利用することが多い。電池駆動の場合、電池交換などに必要なメンテナンスコストが生じるため、M2M機器の省電力化を図り電池交換の頻度を下げることが運用コストの低減につながる。従来は、M2Mシステムで使用する通信プロトコルを改良し、通信時間を短くすることで省電力化を実現する方式が提案されている[2]。しかし、M2MシステムではM2M機器の通信頻度は低く非通信状態が支配的であるため、従来の取り組みだけでは不十分である。本稿ではこの点に着目し、非通信時の消費電流を最小化する方式を提案する。

また、近年M2M機器の遠隔制御に対する要望が高まっている。遠隔制御の実現にはSMSを利用したプッシュ方

式や、グローバル固定IPアドレスを割り当てる方式が既に運用されているが[4][5]、これらの利用には一般的には追加コストが生じる。本稿では、コスト増の要因となるSMSや固定IPアドレスを必要としない遠隔制御方式を提案する。

さらに、M2M機器の増加によりネットワークへのアクセスが集中し、輻輳 (ふくそう) が引き起こされる可能性があるため、M2M機器のアクセスタイミングをランダムに分散させ輻輳を抑制する方式が検討されている[6]。しかし、MVNOネットワーク (MVNO-NW) とMNOネットワーク (Mobile Network Operator ネットワーク: MNO-NW) の間の接続帯域幅が規定される運用では、アクセスタイミングのランダム化だけでは不十分である。本稿では、より綿密なトラフィック制御によりM2M機器のアクセス集中を回避し、通信品質を確保する方式を提案する。

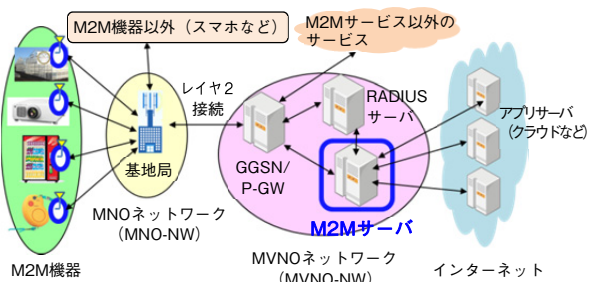
2. 提案するM2Mシステム

第1図は提案するM2Mシステム構成である。本稿ではMVNOを活用するM2Mシステムを前提とし、M2M機器、セルラーネットワーク (MNO-NW/MVNO-NW) および

インターネット上のアプリケーションサーバ（以降、アプリサーバと記す）から構成される一般的なM2Mシステムに対し、M2M機器向け独自制御サービスを実現するためにMVNO-NW内にM2Mサーバを設置する。また、M2M機器にはM2Mサーバと連動する省電力制御機能、通信タイミング制御機能を搭載する。

MVNO-NWとMNO-NWはレイヤ2トンネリングプロトコルで相互接続され、MVNO-NWにはその終端装置として、GGSN (Gateway GPRS Support Node) や、P-GW (Packet Data Network Gateway) が設けられる。

また、MVNO-NW内にはM2M機器やその他の端末にIPアドレスの割り当てを行うRADIUSサーバが設けられており、各機器に割り当てたプライベートIPアドレス情報が管理されている。さらに、MVNO-NWは過去のトラフィック実績情報も管理しており、提案システムでは、これらの情報を加味してM2M機器の制御を行う。



第1図 提案するM2Mシステム構成
Fig. 1 Configuration of proposed M2M system

なお、本稿にて扱うM2Mシステムは、例えば、温湿度などの環境情報やM2M機器の稼働状況把握／制御を行うためのデータを、定期的もしくは要求発生時のみ送受信するシステムを対象とし、セキュリティカメラのように常時データを送受信するシステムは対象外とする。

3. M2M機器の省電力制御

M2M機器の省電力化に関して、従来は使用する通信プロトコルを改良し通信時間を短くすることで通信時の消費電流を低減する方式[2]や、非通信時に着信監視のための間欠受信の周期や期間を制御する方式[3]が検討されており、通信時の取り組みに関しては既に実用化されている。しかし、非通信時の取り組みは間欠受信に関するパラメータがMNO-NWからM2M機器に対して指定されるものであるため、既存ネットワークの変更が必要となり、現行のシステムにすぐに適用できるものではない。以下では、MNO-NWに影響を与えず、M2M機器の非通

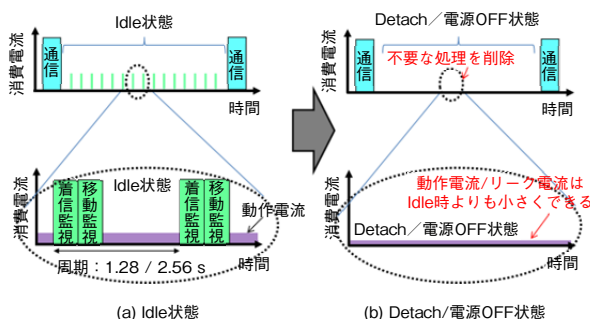
信時の消費電流を低減し省電力化を図る方式を提案する。

3.1 非通信時の消費電流低減方式

一般的にセルラー通信端末における非通信時の状態として以下の3状態がある。

- ・ Idle状態：セルラー通信端末において通信を行わずに、発信や着信を待つ状態。定期の着信監視と周辺セルの無線品質監視（移動監視）を行っている。
- ・ Detach状態：MNO-NWから切り離され着信／移動監視を行わない状態。スマートフォンや携帯電話では機内モードに設定することで遷移する。
- ・ 電源OFF状態：通信機能部の電源をOFFした状態。

各状態の消費電流は、一般的に、Idle状態、Detach状態、電源OFF状態の順に小さくなる。従来、セルラー通信端末は通信終了後、第2図 (a) に示すIdle状態に遷移し、着信監視や移動監視を行う。一方、固定設置のM2M機器で取得した情報をサーバに送信するのみの動作を想定した場合、サーバ側からのアクセスがないため監視処理が不要となる。このとき、非通信時の状態はIdle状態に留（とど）まらず、同図 (b) に示すDetach状態、もしくは電源OFF状態にすることができる。



第2図 M2M機器の非通信区間における処理の最適化
Fig. 2 Optimized operation for M2M devices during non-communication period

しかし、電源OFF状態からIdle状態に遷移させるには、通信機能部の起動処理と位置登録の処理が必要となる。また、Detach状態からIdle状態に遷移させるには位置登録処理が必要となる。通信間隔が短い場合には、これらの処理に必要な電流の比率が高くなり、Idle状態に留まる方が平均の消費電流が低くなる場合もある。よって省電力化のためには、通信間隔に応じた適切な非通信時状態の選択が必要となる。そこで、M2M機器は指定された通信間隔に対し、消費電流が最小となる非通信時の状態を選択するためのテーブルを保持し、そのテーブルに基づく選択結果を通信機能部に設定する。

3.2 シミュレーションによる効果確認

非通信時の状態を前述したそれぞれの状態に固定し、通信間隔と通信機能部の消費電流の関係をシミュレーションにて確認した。第1表にシミュレーションのパラメータを示す。同表は、通信方式としてLTE (Long Term Evolution) を選択した実際の通信モジュールにおけるデータ通信時の通信時間と平均電流、および非通信時の状態遷移時間と平均電流の一例である。これらの値はM2M機器の通信機能部として搭載される通信モジュールによって異なるが、通信間隔に応じた消費電流変化の傾向は共通である。

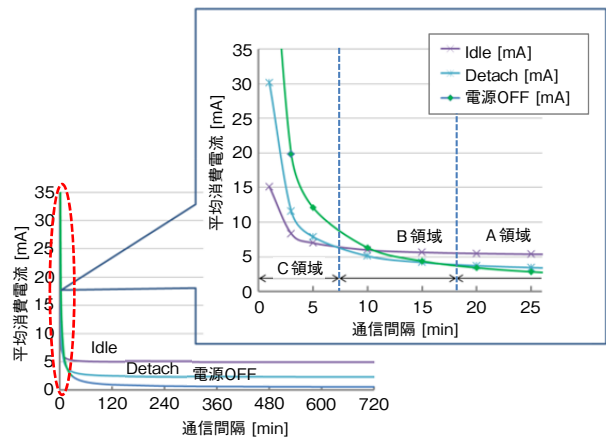
第1表 シミュレーションのパラメータ

Table 1 Parameters for simulation

項目	条件	
データ通信 (共通条件)	通信時間：5 s/回 平均電流：122 mA	
非通信時の状態	Idle	Idle状態の平均電流：4.8 mA
	Detach	Idle状態～Detach状態への遷移時間：3 s/回 平均電流：37 mA
		Detach状態の平均電流：2.3 mA
	電源OFF	Detach状態～Idle状態への遷移時間：10 s/回 平均電流：95 mA
		Idle状態～電源OFFへの遷移時間：4 s/回 平均電流：40 mA
		電源OFF状態の平均電流 (リーク)：0.5 mA 電源OFF～Idle状態への遷移時間：24 s/回 平均電流：115 mA

シミュレーション結果を第3図に示す。同図のA領域で示した通信間隔 ≥ 18 minでは、電源OFF状態を選択することで消費電流を最小化することができる。一方、B領域で示した $7 \text{ min} \leq \text{通信間隔} < 18 \text{ min}$ では、Detach状態、C領域で示した通信間隔 $< 7 \text{ min}$ ではIdle状態を選択することで消費電流を最小化できることがわかる。

また、通信間隔が十分長い場合には、非通信状態の待機電流が支配的となるため、消費電流は第1表に示した各非通信状態の定常状態の平均電流に収束する。よって、第1表の例では、Idle状態と比較し、Detach状態で約52%、通信機能部電源OFF状態で約88%の省電力効果が見込める。通信機能部につながるセンサなどの動作条件によりM2M機器としての消費電流は変わるが、センサ部の平均電流を100 mAとし、M2M機器が1日に1回30 s間起動し、取得したデータを送信すると仮定すると、電池寿命は提案方式を使わない場合の約8倍となる。電池交換が端末のメンテナンスコストの支配要因であると考え、メンテナンスコストは最大1/8まで抑えることができる。



第3図 消費電流のシミュレーション結果

Fig. 3 Simulation results of module current consumption

4. 動的プライベートIPアドレスを利用する遠隔制御方式

環境データや検針データなどを遠隔から収集しM2M機器を管理する遠隔監視サービスが普及しつつあるなか、遠隔地からM2M機器の緊急停止制御や必要なデータの取得制御などを行う遠隔制御サービスのニーズも高まっている。

遠隔制御サービスの実現には、M2M機器を特定する宛先が必要であるため、従来は電話番号を宛先とするSMSによる遠隔制御方式や、固定グローバルIPアドレスを宛先とするIP通信による遠隔制御方式が利用されている。しかし、これらの方式ではSMS利用環境の整備や、グローバルIPアドレスを確保するための追加コストが発生するのが一般的である。そこで、上述の追加コストを必要としない動的プライベートIPアドレスを宛先とするIP通信により、遠隔制御を実現する方式について提案する。

4.1 動的プライベートIPアドレスの利用の課題

IP通信による遠隔制御時に、M2M機器の宛先として動的プライベートIPアドレスを利用する際の課題は2つある。1つは、MVNO-NW内のプライベートIPアドレスであるため、インターネット上の遠隔制御用アプリサーバからMVNO-NW内のM2M機器を特定できないことである。もう1つは、動的IPアドレスのため、セッション確立のたびにM2M機器のIPアドレスが変わる可能性があることである。これらの課題の解決法として、M2M機器主導でアプリサーバに対して確立したセッションを維持し、そのセッションを利用しアプリサーバからM2M機器の遠隔制御を行う手法がある。

この手法ではインターネット上のIPアドレスとMVNO内のIPアドレスを相互変換するNAPT (Network Address

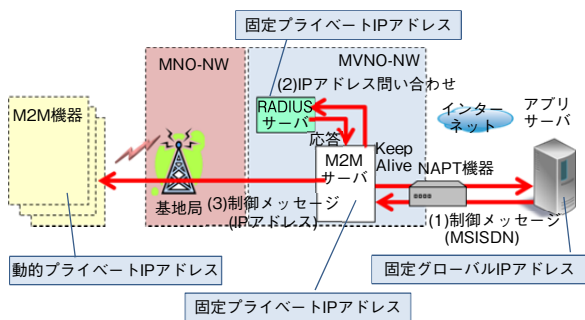
Port Translation) 機器がM2M機器とアプリサーバの間に配置され、NAPT機器が保持するアドレステーブル（以降NAPTテーブルと記す）を利用することでアドレス変換が可能である。NAPTテーブルは無通信状態が続くとアドレス変換のエントリがクリアされるため、M2M機器からアプリサーバに対し定期的にKeep Alive通信を行い、エントリを維持する必要がある。

しかし、大規模なM2MシステムでM2M機器ごとにアプリサーバとのセッションを維持すると、維持すべきエントリ数が膨大となる。多数のエントリを有するNAPT機器は高コストであるため、M2M機器の増加はM2Mシステムの構築コストの増加につながる。

そこで本稿では動的プライベートIPアドレスを機器の宛先としつつ、MVNO-NW内のM2Mサーバを利用して維持すべきエントリ数を抑え、大規模なM2Mシステム構築においてM2M機器数の影響を受けない遠隔制御方式を提案する。

4.2 提案方式におけるアドレス解決アルゴリズム

第4図に提案する方式のシステム構成を示す。M2MサーバとM2M機器、およびRADIUSサーバはMVNO-NWの同一プライベートアドレス空間に設置される。また、MVNO-NWとインターネットの境界にはゲートウェイとなるNAPT機器を設ける。



第4図 遠隔制御の提案方式

Fig. 4 Suggesting system for remote control

アプリサーバからM2M機器へ遠隔制御メッセージを送信する手順は以下の通りである。また、第4図に下記手順に対応する番号を付す。

- (1) アプリサーバはM2Mサーバに対し制御対象のM2M機器の電話番号（Mobile Station International Subscriber Directory Number：MSISDN）を含む遠隔制御メッセージを通知する。
- (2) M2Mサーバは遠隔制御メッセージに含まれるMSISDNに紐（ひも）付く動的プライベートIPアドレスを

RADIUSサーバから読み出す。

- (3) M2MサーバはRADIUSサーバから読み出した動的プライベートIPアドレス宛てにアプリサーバからの遠隔制御メッセージを送る。

RADIUSサーバはM2M機器とMVNO-NW間のセッション確立時にM2M機器に動的プライベートIPアドレスを割り当てるとともに、そのアドレスをMSISDNと紐付けて管理する機能を有する。M2Mサーバはこの機能を活用し、MSISDNを基に当該M2M機器の動的プライベートIPアドレスをRADIUSサーバから取得することで、遠隔制御メッセージの宛先となるM2M機器の特定が可能となる。

ここで、M2Mサーバは遠隔制御メッセージを受信するためにNAPTテーブルのエントリを維持する必要があるが、N台のM2M機器を収容するM2Mシステムを想定しても維持すべきエントリはM2Mサーバとアプリサーバ間のエントリのみとなる。よって、M2M機器が個々にセッションを維持する場合と比べ、最大で1/Nまでエントリ数を抑圧できる。

上述の通り、提案方式では、動的プライベートIPアドレスを利用することでSMSや固定グローバルIPアドレスの利用に必要な追加コストを削減し、低コストで遠隔制御を実現するとともに、制御するM2M機器の数に影響を受けないシステム構築が可能となる。

5. トラフィック平準化

M2M機器が増加すると、通信品質に関わる2つの課題が発生する。1つはセルラーネットワークでの輻輳が発生しやすくなることである。もう1つは、M2Mサービスの通信トラフィックの増加により、M2M以外のサービスを含めた全体トラフィックがMNO-NWとMVNO-NWの間の接続帯域幅を超えやすくなるため、パケットの遅延や廃棄が発生し、M2Mサービスのみならず、リアルタイム性が必要なM2M以外のサービスの通信品質を劣化させてしまう可能性があることである。

従来、前者に対する取り組みとして、輻輳時にMNO-NW主導でM2M機器のアクセスタイミングをランダムに分散させ輻輳を抑制する方式が検討されていた[6]。後者に関しても、MVNO-NW主導で同様にM2M機器の通信タイミングをランダム化することで、ある程度の効果を期待できるが、全体トラフィック量をMNO-NWとMVNO-NWの間の接続帯域幅内に抑え通信品質を維持するためには、より綿密なトラフィック制御が必要になる。そこで本稿では、M2Mサーバにより、M2M機器の通信タイミングを制御し、全体トラフィックを平準化することで

通信品質を維持する方式を提案する。

5.1 トラフィック平準化アルゴリズム

M2Mシステムでは、例えば1日に1回特定の時間帯にサーバに対して情報を送信するなど、リアルタイム性が求められる通信を行うものが多い。提案方式ではこの特徴を利用し、M2Mサービスとして許容された時間幅のなかで、全体トラフィックが最小となる時間へM2M機器の通信タイミングをシフトする。本方式により、全体トラフィックを平準化し、MNO-NWとMVNO-NWの間の接続帯域幅に収め、通信品質の維持を図る。以下ではM2MサーバがM2M機器の通信タイミングを決定するアルゴリズムを述べる。なお前提条件として、M2M機器は、 $T_0 - \tau_m \leq t \leq T_0 + \tau_p$ で規定される通信許容時間を有し、同時間幅内において、アルゴリズムに基づき決定した時刻で通信量 D_v のデータ通信（送信／受信）を行うものとする。ここで、 τ_m 、 τ_p はそれぞれマイナス方向、プラス方向の許容時間幅を示すパラメータ、 T_0 は通信許容時間帯の時間軸上での位置を示す基準時刻のパラメータであり、M2Mサービス特性により規定される。

【通信タイミング割り当てアルゴリズム】

トラフィックの時間分布 $D(t)$ 、 $R(t)$ 、 $Y(t)$ を以下のように規定する。

$D(t)$ ：M2M以外のサービスのトラフィックの時間分布。
MVNOにおける過去のトラフィックパターン実績を基に分布を予測したもの

$R(t)$ ：M2Mサーバで既に通信タイミングを確定させたM2M機器からのトラフィックの合計の時間分布

$Y(t)$ ：全体トラフィックの時間分布（ $=D(t)+R(t)$ ）

このとき、通信を行うすべてのM2M機器に対し、以下のStep1、2、3の処理を行い、データ送信タイミングを決定する。

- Step1：通信許容時間 $T_0 - \tau_m \leq t \leq T_0 + \tau_p$ の現時点の全体トラフィックの分布 $Y(t)=D(t)+R(t)$ を算出
- Step2：Step1の結果から $Y(t)$ が最小となる時刻を導出し、通信タイミング割り当て対象のM2M機器にこの時刻を通信タイミングとして割り当てる
- Step3：Step2で求めた時刻に通信量 D_v が追加されているものとして $R(t)$ を更新する

M2Mサーバは、収容されるM2M機器ごとに上記アルゴリズムを用いてM2M機器の通信時刻を決定し、M2M機器が通信を行った際に次回の通信タイミングとして通知する。

本アルゴリズムを適用することで、規定した通信許容時間内において、M2Mサービス以外のトラフィックを含む全体トラフィックが最小となる時刻に、M2M機器の通信タイミングを割り当てることができるので、全体トラフィックの平準化がなされる。

5.2 シミュレーションによる有効性確認

本節では、提案方式を用いた場合と、M2M機器がランダムなタイミングで通信を行うものと仮定した場合の全体トラフィック分布の比較を行い、提案方式の有効性を検証する。ここでは、一般的にM2M以外のサービスのトラフィック分布が時刻によって異なる値となることを考慮し、前節で述べた通信許容時間の時間軸上での位置などが異なる3種類のサービスを想定し、各々の通信許容時間内での効果を検証する。

第2表にシミュレーションで用いる3つのサービスのパラメータを示す。同表に示すように、1日を8時間単位で3分割し、各サービスの通信許容時間を割り当てる。M2M機器はこれら3つのサービスのいずれかに属し、1日1回の通信を行うものとする。比較対象であるランダムなタイミングで通信を行う場合については、同じ通信許容時間で当該サービスの通信タイミングが一様分布するものと仮定する。また、M2Mサービス以外のトラフィック分布は、早朝から夜間にかけて徐々にトラフィックが増加し、昼休み時間帯には一時的なピークが発生する一般的なインターネットトラフィックの傾向[7]を模擬した分布を用いる。

第2表 シミュレーション条件

Table 2 Condition for simulation

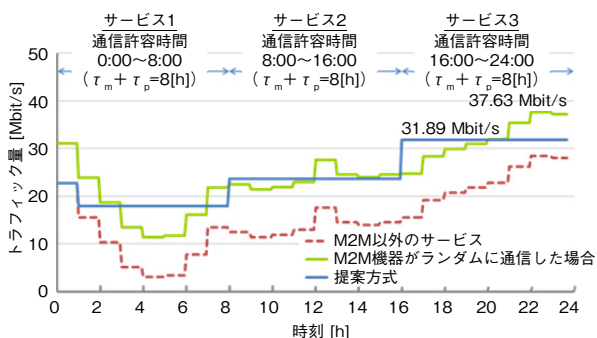
	D_v [Kbyte]	τ_m [h]	τ_p [h]	時刻 T_0	M2M機器 台数 [台]
サービス1	10	4	4	4:00	3 000 000
サービス2	9	4	4	12:00	4 000 000
サービス3	8	4	4	20:00	4 000 000

第5図に、提案方式と比較対象の全体トラフィック分布のシミュレーション結果（実線）および、前述のM2Mサービス以外のトラフィック分布（破線）を示す。また、第2表の条件を基に各サービスの通信許容時間とその幅（ $\tau_m + \tau_p$ ）も同図に示す。

提案方式では、各サービスの通信許容時間で全体トラフィックが平準化されており、比較対象よりピーク量が抑えられている。また、サービス1とサービス3の通信許容時間ではM2M以外のサービスのトラフィック量の時間的変化が大きいいため、提案方式の効果が大きくなる。

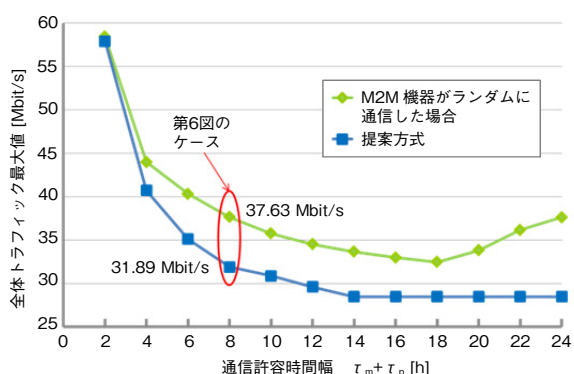
また、より一般的に提案方式の有効性を確認するため、

第5図に示す各サービスの通信許容時間幅 ($\tau_m + \tau_p$) を同一と仮定し、 $\tau_m + \tau_p$ を2 h~24 hとなるように変化させたときの1日の全体トラフィックの最大値を第6図に示す。なお、通信許容時間幅が8 hを超える部分は、各サービスの通信許容時間が重なることを許容する。同図より、すべての通信許容時間幅に対して、提案方式の方が全体トラフィックの最大値が小さくなるのがわかる。



第5図 トラフィック平準化シミュレーション結果
Fig.5 Simulation result of traffic smoothing

また、本提案方式の有効性を示す具体例として、MVNO-NWとMNO-NWの間の接続帯域幅が35 Mbit/sであると仮定すると、第6図のケースにおいてM2M機器がランダムに通信する場合、全体トラフィック量のピーク値が接続帯域幅を超えるため通信品質が劣化する。一方、提案方式では全体トラフィックを接続帯域内に収めることができ、通信品質を維持することができる。



第6図 全体トラフィックの最大値の比較
Fig. 6 Comparison of maximum rate in total traffic

6. まとめ

本稿では、低コストでありかつ、通信品質を維持できるM2Mシステムを提供するため、MVNO-NW内にM2Mサーバを設置するM2Mシステムを提案した。提案システ

ムにおいてM2MサーバとM2M機器の連携により、省電力化を実現する方式と、遠隔制御向けにSMSや固定IPアドレスを不要とする遠隔制御方式を提案した。また、綿密なトラフィック制御により、M2M機器の通信トラフィックを平準化し、通信品質を維持する方式を提案し、その効果を確認した。

今後は、本提案方式の実用化に向け、第3章で述べた非通信時状態を選択するためのテーブルの具体的な作成方法、第5章で述べたM2Mサービス以外のトラフィック分布の予測方法に関して検討を進める。

参考文献

- [1] “2020年のM2M世界市場は3兆8,100億円に達すると予測,” 矢野経済研究所, <https://www.yano.co.jp/press/press.php/001229>, 参照 Oct. 23, 2015.
- [2] 清尾克彦, “M2M (Machine to Machine) 技術の動向と応用事例,” サイバー大学 紀要 第5号, pp.1-22, 2013.
- [3] 3GPP TR 23.887 V12.0.0: “Study on Machine-Type Communications (MTC) and other mobile data applications communications enhancements (Release 12)”, Dec.2013.
- [4] 宮坂俊成 他, “法人ソリューション向けSMSセンタープッシュサービス基盤の開発,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, vol.19, no.3, pp.12-17, 2011.
- [5] “IoT/M2M向けモバイル通信サービス「Pilina」,” 京セラコミュニケーションシステム (株), <http://www.kccs.co.jp/ict/mobile-pilina/>, 参照 Oct. 23, 2015.
- [6] 笹田圭祐 他, “M2M通信コアネットワーク基盤と輻輳対策技術,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, vol.21, no.2, pp.30-34, 2013.
- [7] “我が国の移動通信トラフィックの現状,” 総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/data/gt010602.pptx>, 参照 Oct. 23, 2015.

執筆者紹介



井澤 良則 Yoshinori Izawa
AVCネットワークス社
イノベーションセンター
Innovation Center, AVC Networks Company



新宮 秀樹 Hideki Shingu
AVCネットワークス社
イノベーションセンター
Innovation Center, AVC Networks Company