

平成 30 年 4 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16041

研究課題名(和文) M2MにおけるWebSocketメッセージ交換の優先制御と実性能評価

研究課題名(英文) Message Priority Control in WebSocket Communications in M2M

研究代表者

落合 秀也(Ochiai, Hideya)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号：10615652

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年は、セキュリティなどの理由で、IoTデバイスはNATやファイヤーウォールの裏に設置される。また諸々の理由で、現地ネットワークを利用することはせず、IoT用の専用回線を帯域制限された安価なLTEを用いるケースがほとんどである。その場合WebSocket技術(本来はブラウザ-クラウド間の通信)をIoTのトランスポートとして使うことになるのだが、トラフィック優先制御の問題と、トランスポート層以上での常時接続性問題があり、何も考えずに単に適用しただけでは使い物にならない。本研究では、これらの問題を解決し、WebSocketをIoT分野でも使えるよう、優先制御と接続管理の両アルゴリズムを開発した。

研究成果の概要(英文)：IoT devices have private addresses, and they are deployed behind firewall and NAT. In many reasons, they cannot use the existing network in the deployment sites, but they use specially deployed bandwidth limited cheap LTE for IoT communications. In such a case, WebSocket (originally developed for browser-to-cloud communications) can be used for IoT transports, however it contains priority-control problem and keep-alive connection problem. So, we cannot simple use WebSocket for IoT. This research have solved these issues. We have developed priority-control algorithm and connection-management algorithm to make WebSocket useful in IoT communications.

研究分野：IoT

キーワード：IoT WebSocket

1. 研究開始当初の背景

(1) モノのインターネット(IoT: Internet of Things) や 機 械 間 通 信 (M2M: Machine-to-Machine Communication)の分野では、センサデータや制御信号の配送に Web 技術を使うことが多いが、新しい Web2.0 時代に向けて標準化された WebSocket プロトコルの利用に関する研究は、始まったばかりであった。

(2) WebSocket プロトコルを IoT および M2M で利用することを想定すると、WebSocket によるメッセージ交換の優先制御問題がある。また中間ネットワーク装置(NAT, Transparent Proxy, Firewall など)の存在により、トランスポート層以上での接続性がいつの間にか失われているという問題もあった。

2. 研究の目的

(1) WebSocket を狭帯域な回線で素直に用いると、大きなメッセージを送信している間、小さなメッセージを送出できない(10 秒以上の大きな遅延が発生する)という問題が発生する。小さなメッセージは、制御信号や警報信号などで、低遅延(1 秒以内)が要求されることが多いため、大きなメッセージを送信している間においても、小さなメッセージを優先的に相手に届かせることができる仕組みを開発する必要がある。これにより、トラフィックの優先制御の問題を解決する。

(2) IoT デバイス側で観測したセンサデータをクラウド側に報告するだけであれば、多少 WebSocket の接続性に問題があっても遅延が生じてしまっても問題ないが、緊急地震速報のような瞬時性を求められる信号の場合は、クラウド側から IoT デバイスに対して送信する際には、コネクションを常時接続しておく必要がある。WebSocket の接続性管理アルゴリズムを開発することで、このトランスポート層以上での常時接続性問題を解決する。

3. 研究の方法

(1) 優先制御の研究では、Linux の tc コマンドを使って通信帯域を制限したネットワークを用意する。それを利用する形で、WebSocket サーバと WebSocket クライアントを立ち上げて、サーバ・サイドおよびクライアント・サイドのアルゴリズムを2種類開発し、実装、およびテストをする。

(2) テストはサーバ側からクライアントに向けて大きいメッセージを送りながら小さい緊急メッセージを送り出すことをする。これによって、緊急メッセージの配送遅延を極力小さくできることの評価を行う。

(3) 常時接続性の研究では、WebSocket サーバと WebSocket クライアントの間に、

Ethernet 有線ネットワーク ,Wi-Fi(キャンパス)ネットワーク, 3G キャリアネットワークを用意し、アルゴリズムを2種類開発し、実装、テストをする。実装においては、クライアント側は、できるだけ現実のプラットフォームに近づけるため、Arduino を利用する。

(4) テストは、サーバ側から緊急メッセージをクライアントに突然送り出し、その遅延を計測することで行う。接続性が失われていれば遅延が極端に大きくなったり、そもそもメッセージが到達できなかったりする。開発したアルゴリズムでは接続性を担保でき、遅延が極めて小さいことなどを評価する。

4. 研究成果

(1) メッセージ優先制御アルゴリズムについては、優先メッセージ(PM: Priority Message)と標準メッセージ(SM: Standard Message)との区別をした上で、SM を分割して送信、また突然現れた PM を優先的に送信するアルゴリズムを開発した(図 1)

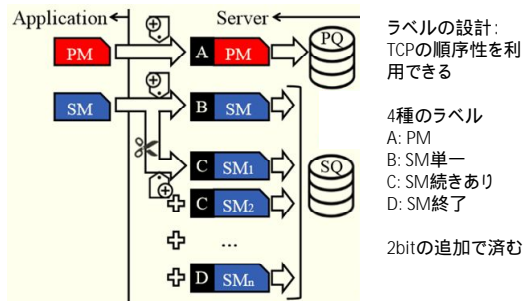


図 1: PM 優先方式 (SM 分割モデル)

この他にも、SM を分割せずに PM を優先的に配送するモデルも考案したが、以下に述べるように、前者の方がトラフィックの増加量に対して、優先遅延に関する性能がかなり良いことがわかった。

図 2 は、ネットワークが輻輳状態になっているときに、優先度の高いメッセージが優先的に短時間でサーバ側からクライアント側へ配送されたことを示している。

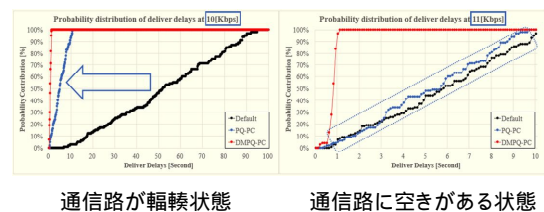


図 2: 輻輳状態での優先配送性能

安価な SIM カードを使ったアプリケーションでは、時にネットワーク上の輻輳が発生するが、SM の分割による優先制御方式では、輻輳の有無にかかわらず、1 秒以内に配送できていることがわかる。他方の分割しないモデルでは、輻輳時に優先メッセージの配送が

10 倍近く速くなっているが、それでも最悪で 10 秒近くかかっていることがわかった。

図 3 は、提案アルゴリズムがトラフィックの総量にどの程度のオーバーヘッドをもたらしたか、総量とパケット数で示している。なお、輻輳状態にある場合と、輻輳状態ではない場合とで比較している。

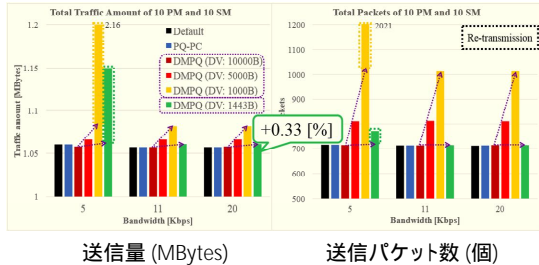


図 3: 提案アルゴリズムのトラフィックオーバーヘッド

輻輳状態にある場合は、TCP の再送が発生してくるためトラフィックが増えるが、分割サイズを MSS にチューニングした場合は、10% 程度の増加に抑えられることが分かった。また輻輳状態にない場合は、0.33% 程度の増加であることもわかった。常時は輻輳状態ではなく、稀に輻輳状態に陥るということを考えれば、総合的なトラフィック増加量は 0.33% に近いものと考えることができる。

(2) WebSocket の接続性管理アルゴリズムは、図 4 のアーキテクチャを想定して開発を行った。この方式では CPI, SPO, SPI, CPO と呼ぶ ping-pong メッセージの交換をすることでコネクションを維持しつつ、図 5 に示すように中間ネットワーク装置に存在するコネクション kill タイムアウト値を測定する。セッションが常時保たれることで ALERT メッセージがサーバからクライアントへいつでも送り届けられる状態を維持することができる。

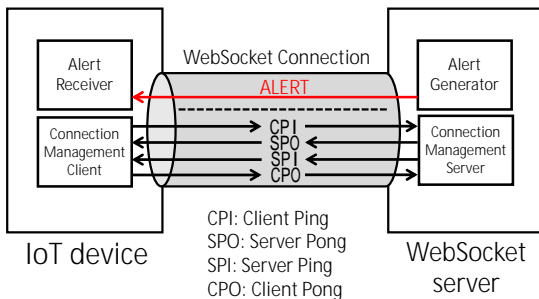


図 4: WebSocket コネクション管理アーキテクチャ

この実験では図 6 に示すように、Arduino に WebSocket クライアントを実装し、サーバから送信したメッセージがクライアントに届くまでの時間もハードウェア的に計測

した。

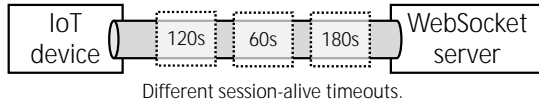


図 5: 中間ネットワーク装置のもつ kill タイムアウト値

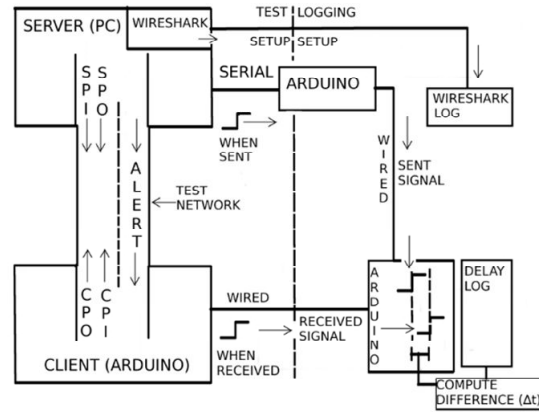


図 6: 実験の環境

Ethernet, WiFi(キャンパスネットワーク), 3G(キャリア)ネットワークを使った実験により、表 1 の結果を得た。

表 1: 平均的な配送遅延

Test Network (applied Algorithm)	Average Delay [ms]
Ethernet (SRA)	0.010
Ethernet (RDPPA)	0.011
Wi-Fi (SRA)	6.05
Wi-Fi (RDPPA)	7.04
3G (SRA)	N/A
3G (RDPPA)	7.89

SRA は比較対象となっている単純なコネクション管理アルゴリズムである。SRA では、3G キャリアネットワークにて接続性を失ってしまったため、計測不能であったが、提案アルゴリズム(RDPPA)では 3G キャリアネットワークでも Wi-Fi と同じくらいの性能を得ることができた。

またその時のトラフィック量は表 2 のようになった。この結果から、RDPPA は、7 倍近くパケット交換をしていることはわかる。Ethernet や Wi-Fi ネットワークに比べ、3G キャリアネットワークはさらに 2 倍近くのパケット交換をしているが、それはキャリアネットワークには中間ネットワーク装置があるためと思われる。トラフィックが多少発生しても、安定的な接続性が求められる用途であれば、この程度のトラフィックの増加であれば受け入れられるものと考えられる。

表 2: トラフィック量

Test Network (applied Algorithm)	Messages Sent	Messages Dropped	Packets (Total)	Bytes (Total)
Ethernet (SRA)	50	0	51	2923
Ethernet (RDPPA)	50	0	358	25023
Wi-Fi (SRA)	50	0	51	3570
Wi-Fi (RDPPA)	50	0	358	25023
3G (SRA)	50	49	51	130
3G (RDPPA)	50	0	730	61306

5 . 主な発表論文等

[学会発表](計 9 件)

幸田大智, 李旻, 落合秀也, 栗本育三郎, 江崎浩「PPLC-PV 通信のためのパケット検出アルゴリズムの考案」, 電子情報通信学会, 信号処理研究会, 2018 年 3 月.

Ajinkya Mulay, Hideya Ochiai and Hiroshi Esaki, "IoT WebSocket Connection Management Algorithm for Early Warning Earthquake Alert Applications", ACM/IEEE UCC, Austin, TX, USA, December, 2017.

Hideya Ochiai, Zhiqing Zhang, Hiroto Kitamura and Hiroshi Esaki, "IR-XY-PV: Infrared Multihop Communication for XY-Coordinated PV Modules", ACM AINTEC, Bangkok, Thailand, November, 2017.

Zhiqing Zhang, Hideya Ochiai and Hiroshi Esaki, "An IoT Application-Layer Protocol Modem: A Case Study on Interfacing IEEE1888 with AT Commands", IEEE CyberC, Nanjing, China, October, 2017.

落合, 田中, 山本, 大西, 日比野, 市川, 矢部, 木幡, 豊田, 片山, 「IoT 時代のクラウド型データセンタ統合監視システムの開発(第 1 報)」, 電気設備学会 全国大会, F-09, 2017 .

Masahiro Kitazawa, Manabu Tsukada, Kai Morino, Hideya Ochiai and Hiroshi Esaki, "Remote Proxy V2V Messaging using IPv6 and GeoNetworking", IARIA VEHICULAR, Nice, France, July, 2017.

Yutaro Nomura, Romain Fontugne, Emile Aben, Hideya Ochiai and Hiroshi Esaki, "Detecting BGP Inconsistencies", ACM CFI, Fukuoka, Japan, June, 2017.

Hideya Ochiai and Hiroyuki Ikegami, "PPLC-PV: A Pulse Power Line Communication for Series-Connected PV Monitoring", IEEE SmartGridComm, Sydney, Australia, November, 2016.

Tomoya Kitazato, Manabu Tsukada, Hideya Ochiai and Hiroshi Esaki,

"Proxy Cooperative Awareness Message: An Infrastructure-Assisted V2V Messaging", IEEE ICMU, Kaiserslautern, Germany, 2016.

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

落合 秀也 (OCHIAI, Hideya)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号 : 1 0 6 1 5 6 5 2