

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730046

研究課題名(和文) IEEE1888/IPv6/RS485方式の設備センサネットワーク性能評価研究

研究課題名(英文) IEEE1888/IPv6/RS485 Facility Sensor Network Performance Evaluation

研究代表者

落合 秀也(Ochiai, Hideya)

東京大学・情報理工学(系)研究科・講師

研究者番号：10615652

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：インターネット技術の普及に伴い、IoTが徐々に浸透しているが、ビル設備のインターネット化はまだ十分に進んでいるとは言えない。本研究は、RS485という世界中のビルで標準的に使われている物理的な設備通信線の上でインターネット・プロトコルのパケットを交換する技術を開発し、その有用性を示した。また技術的には同様の通信線で十分に高速なインターネット通信を実現できることも実証した。

研究成果の概要(英文)：IoT is getting popular and popular these days along with the spread of the Internet technology. However, the facilities of buildings are not true. This study has developed an IP packet exchanging scheme on RS485, which is a worldwide de-facto standard for physical-layer communication in buildings, and shown the effectiveness in the application of IoT fields. This study has also shown that fast Internet communication is technically possible over the same communication lines.

研究分野：IoT

キーワード：IP over RS485

1. 研究開始当初の背景

(1) Internet of Things (IoT: モノのインターネット)の到来が世の中で叫ばれるようになり、様々な設備機器がインターネット技術を用いて、クラウドにより統合管理されるようになってきていた。しかし、IoT のネットワーク特性は、人のネットワーク特性と異なることはあまり認識されていなかった。狭帯域、多遅延が許される一方で、管理の独立性、施工性、低ランニングコストが求められていた。

(2) ビルには、RS485 と呼ぶ低速な物理線が通信メディアとして世界のデファクト標準としてよく用いられていた。これは管理の独立性、施工性、低ランニングコストという重要なファクターをすべて網羅する。しかし、この線は、Internet Protocol (IP)の交換には用いられていなかった。そのため、実際のビルにおいて、末端のデバイスまで IP パケットを交換するには Ethernet や Wi-Fi を使うことになっていたが、これは上述の3要素を満足していなかった。

2. 研究の目的

(1) ビルと相性の良い RS485 メディアの上で、IP パケット交換を実現する仕組み(IP over RS485)の研究を行う。IP パケットの交換には、Master-Slave / Token-Passing (MS/TP) 方式が有効であると考えられるため、そのためのトークンの設計、トークン配送スケジューリング・アルゴリズムの研究開発を行い、そのパフォーマンスを実機により評価する。

(2) IP over RS485 により作られる IP ネットワークは低速 IP 環境となる。これは IP over IEEE802.15.4 や、帯域制限された 3G/LTE 回線と似たものとなる。そこで、そのようなネットワーク特性を考慮に入れたアーキテクチャの構築を行う。

(3) IP over RS485 ではないが、RS485 と物理的に同じ通信ケーブル(1 対のツイストペアケーブル)を用いて、高速 IP を実現する仕組みの実証を行う。

3. 研究の方法

(1) RS485の上でのIPパケット交換の仕組みを設計する。この設計にはアーキテクチャ、トークン、スケジューリング・アルゴリズムを含む。

(2) RS485 通信対応のボードを 20 台用意し、200メートルのケーブルで接続した実験環境を構築する。この実験環境で、配送遅延、スループット計測、パケットロス率などの計測を行う。そのため、RS485 通信以外にも実験ログ収集用のネットワークを設定するなどする。

(3) 低速 IP 環境のアーキテクチャについては、十分に時間をかけて、熟考し、資料に整理する。

(4) HD-PLC モデムを改造し、電力線上の通

信のための信号を RS485 のツイストペア線に流して、スループットの計測を行う。

4. 研究成果

(1) IP over RS485 のアーキテクチャを図 1 のように設計した。

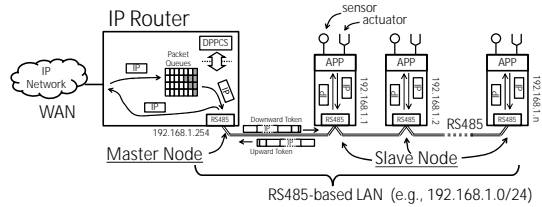


図 1: IP over RS485 アーキテクチャ

(2) ここで交換されるトークンおよびスケジューリング・アルゴリズムを、それぞれ、図 2、図 3 のように設計した。

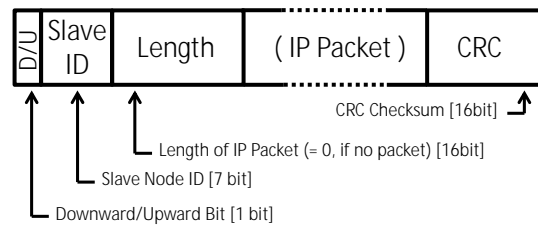


図 2: トークンの設計

```

Algorithm 1: DPPCS Generation of the Next Slave ID
t: an integer that represents a virtual clock for this algorithm.
    initialized to 0 only at the first execution.
Ti: a constant integer that represents an interval on the virtual clock
    for providing a slave from Pi
Pi.size(): the size of Pi
Pi.pop(): pops up the queue.
Pi.push(s): pushes s to the queue.
skipi: a boolean variable initialized to false at the first execution.
1: while true do
2:   foreach i ∈ {1, 0} do
3:     if Pi.size() > 0 ∧ t mod Ti = 0 ∧ ¬skipi then
4:       skipi := true
5:       s := Pi.pop()
6:       Pi.push(s)
7:       return s
8:     end if
9:   end foreach
10:  t := t + 1
11:  foreach i ∈ {1, 0} do
12:    skipi := false
13:  end foreach
14:  end while

```

図 3: トークンのスケジューリング・アルゴリズム

(3) 図 4 のボードを 20 台接続して、スループット特性、配送遅延特性、パケットロス率の計測を行った。

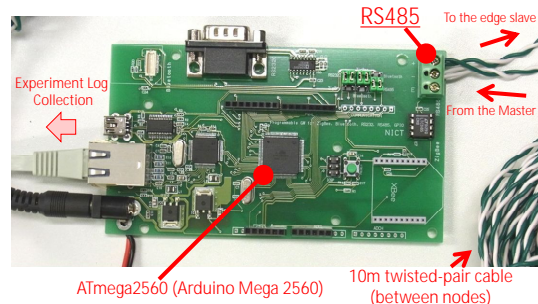


図 4: 実験に用いた RS485 端末

(4) スループット、配送遅延の特性は、図 5 および図 6 のようになった。また、パケットロス率の実験では、1,008,000 個の IP パケットを RS485 ネットワーク上に送出し、同数のパケットが実験 IP ネットワーク上のホストで受信できたこと(配送率は 100.0000% であった)が確認できた。

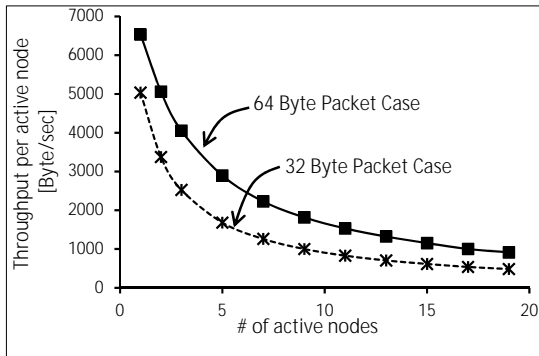


図 5：スループットの特性

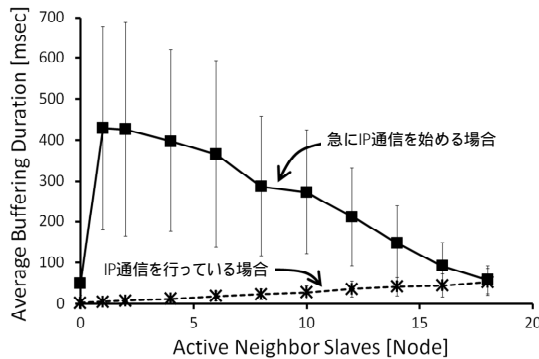


図 6：配送遅延の特性

(5) 低速 IP は、IP パケットとしては高速 IP と同一のものであるが、その特性が大きくことなることを明示化した。図 7 のアーキテクチャに示すように、IP としては相互にパケット交換可能であるが、特性(遅延、帯域幅)が大きく異なるため、上位層のプロトコルを支えることができるかという観点でとらえると高速 IP と低速 IP は、別物である、という考え方である。

- パケット・フォーマットは同じ(相互にパケット交換可能)
- 特性(遅延、帯域幅)が大きく違う

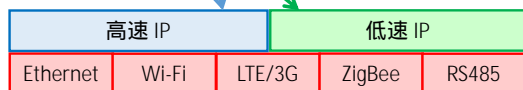


図 7：低速 IP ネットワークのアーキテクチャ的位置づけ

(6) HD-PLC のモデムを分解し、RS485 実験環境の 200メートル線に接続して通信速度の実験を行った(図 8)。その結果、50Mbps 程度のスループットを達成できることを確認した。この結果は、低速 IP しか実現できない

と思われていたビルド・フィールド・ネットワーク上で高速 IP を持ち込むことが技術的には可能であることを示唆するものである。もちろん、普及のためには、運用方法、実現にかかるコスト、安定性など様々な課題を克服する必要があるが、高速 IP を持ち込むことができるとなれば、HTTPS の通信を標準で利用することが難しくない、という話になってくる。今回の研究成果を踏まえ、今後の動向に注視しながら、次の研究を進める決心である。

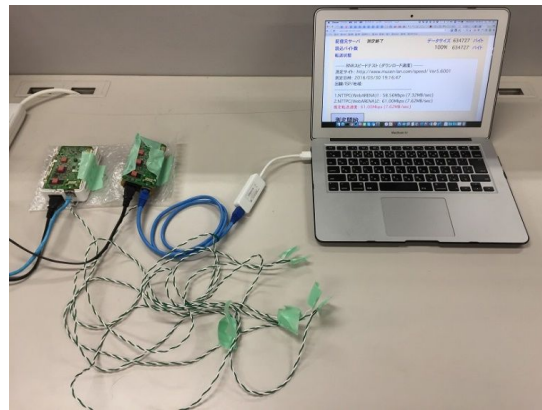


図 8：高速 IP 通信実験の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

池上洋行, 落合秀也, 塚田学, 新居英明, 江崎浩, "商用電源における電圧零交差点での電流制御による通信とパルス幅符号化", 電子情報通信学会 論文誌(通信), Vol. J99-B, No.7, Jul. 2016 (査読有)。

〔学会発表〕(計 6 件)

李聖年, 落合秀也, 江崎浩 「WebSocket 通信における緊急メッセージの優先配送の手法と評価～狭帯域を考慮した緊急メッセージ配送の遅延抑制～」, 電子情報通信学会, IA 研究会, 東京, 2016 年 1 月。
Hiroyuki Ikegami, Manabu Tsukada, Hideya Ochiai, Hideaki Nii, Hiroshi Esaki, "Electric current based power line communication for plug-load device auto identification", IEEE SmartGridComm, Miami, FL, USA, pp.121-126, November, 2015.

Hideya Ochiai, Hiroki Nakagami, Yuuichi Teranishi, Hiroshi Esaki, "Facility Networking with IP over RS485: Packet Control for Master-Slave Cascaded Networks", IEEE SmartGridComm, November 2014.

Manussanun Buranachokphaisan, Hideya Ochiai, Hiroshi Esaki, "FAST-DTN: Farther-Aim-Shorter-Try Disruption Tolerant Network for Building Monitoring Applications", IEEE

Conference on Wireless Sensors,
October 2014.

Hideya Ochiai, Masato Yamanouchi, Y. K.
Reddy, Hiroshi Esaki, "City-Scale
Weather Monitoring with Campus
Networks: Deployment Study in
Hyderabad", IEEE TIME-E, August 2014.

Hideya Ochiai, Hiroyuki Ikegami,
Yuuichi Teranishi, Hiroshi Esaki,
"Facility Information Management on
HBase: Large-Scale Storage for
Time-Series Data", workshop on Big
Data Management for the Internet of
Things (BIOT), IEEE COMPSAC, July
2014.

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・講
師

研究者番号：10615652