

## アプリケーション毎の通信パターンに応じた リンクアップ速度調整による電力量削減

### Energy Reduction Using Adaptive Link Rate Control Based on Traffic Pattern of Application

吉田慎吾<sup>†</sup>  
Shingo Yoshida

嶋田創<sup>‡</sup>  
Hajime Shimada

山口由紀子<sup>‡</sup>  
Yukiko Yamaguchi

高倉弘喜<sup>‡</sup>  
Hiroki Takakura

#### 1. はじめに

通信トラフィックの急速な増大に伴い、ネットワーク機器による電力消費も増加する傾向にある。そのため、近年のネットワークスイッチはネットワークを構成する際にクライアントの通信状態に応じて消費電力を低減する省電力機能が搭載され、消費電力を削減する効果が期待されている。

そこで、本稿では、IoT(Internet of Things)による高齢者見守りシステムといったような単調な通信を行うアプリケーションが増えていく背景も踏まえ、特定の時刻におよそ決められた量の通信トラフィックを発生するという特徴的なアプリケーションの通信情報に着目し、そのリンク速度を適切な帯域に投機的に切り替える事で省電力化を実現する手法を提案する。

#### 2. 既存の省電力制御手法

##### 2.1. Energy Efficient Ethernet (EEE)

イーサネットリンクの大半はデータパケットの伝送を待つアイドル状態であるが、アイドル状態においても電力を消費し続けている。このアイドル状態の消費電力削減を目的として、Energy Efficient Ethernet (EEE)[1]とも呼ばれる IEEE802.3az が 2010 年 11 月に標準化された。EEE では Low Power Idle と呼ばれる技術を用いて、通信が行われていないリンクを休止状態に移行させる事で、消費電力を削減させている。

EEE はネットワークスイッチとクライアント双方のネットワークコントローラが EEE 対応しており、かつ設定を有効にしている場合のみ動作するが、Raspberry Pi のような小型の PC では EEE に対応していないものも多く、また、ネットワークスイッチやネットワーク機能付きの監視カメラのような機材は壊れるまで長期間使われる場合が多いため、EEE 対応するまでに時間を要してしまう。従って EEE 対応するまでにファームウェア更新等で実現可能なソフトウェア実装による省電力化が重要である。

##### 2.2. Adaptive Link Rate (ALR)

通信トラフィックに応じてリンク速度を変更する事で省電力化を図る Adaptive Link Rate (ALR)[2] が提案され、リンク速度切替え決定のための手法が研究されている。また、Rapid PHY Selection (RPS)[3] と呼ばれる技術を用い、高速なリンク速度切替えを実現する手法も研究されている。

リンク速度切替えの決定には、送信バッファにパケットが無い場合にリンク速度を下げるものや、過去のト

ラフィックからの予測に基づいてリンク速度を決定する手法などが提案されているが、省電力化の効率の面から考えれば、アプリケーション側の情報を用いて投機的なリンク速度切替えを行う事が望まれる。

#### 3. リンクアップ速度変更による消費電力の変化

リンクアップ速度変更を用いた制御手法を考える上で、リンク速度切替えの際に発生する電力消費は考慮しなければならない。そこでリンク速度切替えの際の電力消費を調べるため予備評価を行った。

##### 3.1. 実験環境

評価にあたって BUFFALO 製スイッチングハブ LSW4-GT-8NS を使用した。また、消費電力測定のため、SANWA 製のデジタルマルチメータ PC20 を使用した。上記のハブを Intel 製 NUC DN2820FYKH に接続し、外部への送信を想定した実験を行った。

##### 3.2. リンクアップ速度切替えによるオーバヘッド

10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T のそれぞれでリンクアップした待機時と通信時の消費電力の測定結果を表 1 に示す。この時、リンクアップしていない状態でのハブのベースとなる消費電力は 0.42W であった。

表 1: 選択する物理層と待機時、通信時の消費電力

| 物理層        | 待機時 (W) | 通信時 (W) |
|------------|---------|---------|
| 10BASE-T   | 0.49    | 0.55    |
| 100BASE-TX | 0.56    | 0.73    |
| 1000BASE-T | 0.66    | 0.83    |

表 1 より、消費電力はリンクアップ速度を上げるにつれて上昇していくため、通信が無い場合は最も低いリンク速度を選択する事が望ましい。

また、リンクアップ速度をコマンドラインから切り替えた場合に再度通信が行われるまでの遅延時間と通信不可状態で消費される電力量を各 10 回ずつ測定を行った。平均値を表 2 に示す。通信の有無は受信側のトラフィックで判断し、表 2 中の "10/1000" はリンク速度を 10BASE-T から 1000BASE-T に切り替えた場合に生じる遅延を示す。

表 2 の結果を踏まえ、電力量が削減される場合のみリンク速度切替えを行っていくことが求められる。

<sup>†</sup>名古屋大学 情報科学研究科

<sup>‡</sup>名古屋大学 情報基盤センター

表 2: リンク速度切替に要する遅延時間と電力量

| 速度切替 (Mbps) | 遅延時間 (s) | 電力量 (Ws) |
|-------------|----------|----------|
| 10/100      | 2.02     | 1.09     |
| 10/1000     | 4.68     | 2.72     |
| 100/10      | 3.76     | 1.93     |
| 100/1000    | 3.60     | 2.07     |
| 1000/10     | 3.89     | 2.21     |
| 1000/100    | 3.30     | 1.91     |

#### 4. 特定の通信パターンにおけるリンクアップ速度制御手法の提案

本研究で我々が想定している環境は、アプリケーションからの通知あるいは通信の統計情報からの学習等によって、通信の開始時間およびその通信で予測される通信量があらかじめ予測されるという状況を想定している。そこで、その情報を基にして3節の結果から電力量を評価基準とした制御手法を提案する。

##### 4.1. 特定のビットレートでの通信が行われる場合

監視カメラ等による動画のライブ配信が行われるといった特定のビットレートでの通信が継続される事が予測される場合には、3節よりリンク速度が低い方が消費電力は少ないため、そのビットレートを満たす最も低いリンク速度で通信を行うのが適切と考えられる。

##### 4.2. 特定の容量の通信が行われる場合

静止画を転送するなど、特定量の通信の間欠的な発生が予測される場合にはどのリンク速度を用いるのが適切かを決定する必要がある。そこで3節のリンク速度ごとの通信時消費電力とリンク速度切替えのオーバーヘッドの値を用いて式(1)、(2)によってリンク速度を決定することにした。

$$E_{stay} = W_{link} \frac{D}{S_{link}} \quad (1)$$

$$E_{change} = W_{next} \frac{D}{S_{next}} + E_{link/next} + E_{next/min} \quad (2)$$

ここで、

$E_{stay}$ : リンク速度を変更しない場合の消費電力量

$E_{change}$ : リンク速度を変更した場合の消費電力量

$W_{link}$ : 現在のリンク速度による通信時の消費電力

$W_{next}$ : 変更後のリンク速度による通信時の消費電力

$S_{link}$ : 現在の転送速度

$S_{next}$ : 変更後転送速度

$D$ : 転送データ量

$E_{link/next}$ : リンク速度切替によって発生する電力量

$E_{next/min}$ : 通信後、最も低いリンク速度に切り替える際に発生する電力量

である。

$E_{change} < E_{stay}$  の場合、リンク速度切替えを実行し、 $E_{link/next}$ 、 $E_{next/min}$  には表2の結果を使用する。通信の終了後は表1の結果を踏まえてリンク速度を最も低いものに切り替えることとする。

#### 4.3. リンク速度調整による省電力効果

式(1)、(2)と3節を基に10BASE-Tでリンクアップしている時のデータ量に応じた速度選択とその電力量の関係を図1に示す。ここでは、 $S_{10} = 1.25(\text{MB/s})$ 、 $S_{100} = 12.5(\text{MB/s})$ 、 $S_{1000} = 125(\text{MB/s})$ とした。

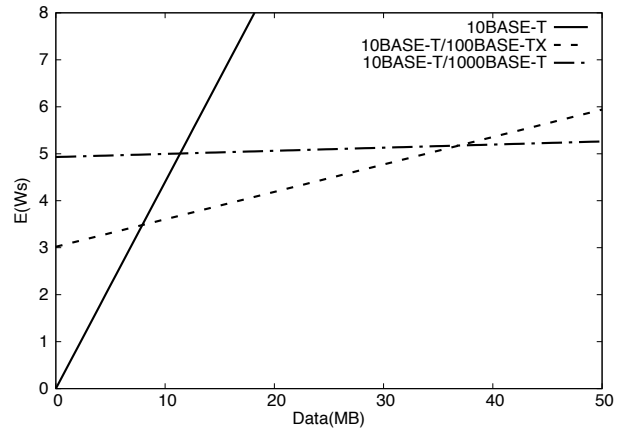


図 1: リンク速度選択と電力量の関係 (10BASE-T)

図1上の交点を求める事により7.91MB以上、36.9MB未滿のファイルを転送する際にはリンク速度を10BASE-Tから100BASE-TXに切り替え、36.9MB以上のファイルを転送する際には10BASE-Tから1000BASE-Tに切替えた方が良い事が分かる。

#### 5. おわりに

本稿では、ネットワーク機器の消費電力増大という背景を踏まえ、省電力化を目的としてアプリケーションが特定の通信パターンを有する環境を想定し、投機的なリンク速度切替え制御について検討を行った。リンク速度切替え時間、リンク速度による消費電力の増減を測定し、それらを基にリンク速度を切り替えることで電力量を削減する制御手法を示した。

今後の課題として、今回提案したような単一の通信に焦点をあてた制御手法ではなく、特性の異なる複数の連続した通信に対してその全てを考慮してリンク速度を制御できるようにしていくことが挙げられる。

#### 参考文献

- [1] K. Christensen, et al., IEEE 802.3az: the road to energy efficient ethernet. *Communications Magazine, IEEE*, Vol. 48, No. 11, pp. 50–56, Nov. 2010.
- [2] C. Gunaratne, et al., Reducing the Energy Consumption of Ethernet with Adaptive Link Rate (ALR). *IEEE Trans. on Computer.*, Vol. 57, No. 4, pp. 448–461, Apr. 2008.
- [3] F. Blanquicet, et al., An Initial Performance Evaluation of Rapid PHY Selection (RPS) for Energy Efficient Ethernet. *In Proc. on 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks*, pp. 223–225, Oct. 2007.