

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500081

研究課題名(和文) 全光網における省電力化トラヒックエンジニアリング技術の確立

研究課題名(英文) Power efficient traffic engineering technologies in all-optical networks

研究代表者

福島 行信 (Fukushima, Yukinobu)

岡山大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：00432625

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、インターネットの基幹網である全光網を対象として、空間的トラヒック集約および時間的トラヒック集約によりネットワーク機器の消費電力を低減するような省電力化トラヒックエンジニアリング技術の確立を試みる。計算機シミュレーションによる評価の結果、(1)空間的トラヒック集約を利用する経路・波長割当方式は従来方式と比較して最大で9%程度消費電力を低減できること、および、(2)時間的トラヒック集約を利用するメディアアクセス制御方式はネットワークの利用率が0.9の場合と比較して0.1の場合には消費電力を最大で60%程度低減できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, I try to develop power-efficient traffic engineering technologies that reduce power consumptions of all-optical networks with spatial and temporal traffic aggregations. Computer simulations clarify that (1) our routing and wavelength assignment method that makes use of spatial traffic aggregation achieves at most 9% lower power consumption than a conventional method, and (2) our medium access control method that makes use of temporal traffic aggregation achieves at most 60% lower power consumption for the network load of 0.1 compared with when the network load is 0.9.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：省電力 光トレイル網 トラヒックエンジニアリング 経路・波長割当方式 メディアアクセス制御方式

1. 研究開始当初の背景

インターネットにおいて1ビットあたりの転送に要する消費電力はおよそ二年に50%程度の速度で低下しているものの、その一方でネットワーク機器のスループットはそれを上回る速度で増加していることから、ネットワーク機器の総消費電力は年々増加しているとの報告がある。また、日本国内では2020年にはネットワーク機器の総消費電力が2005年の国内総発電量に達するとの報告がある。これらのことから、近い将来には消費電力の制約によりネットワーク機器のスループットを増加させることが不可能となり、その結果、年々増加するトラヒックをインターネットが収容できなくなることが予想される。この問題を解決するためには、ネットワーク機器の省電力化が必要不可欠である。ネットワーク機器の省電力化を目的とした従来手法として、これまでに省電力化経路・波長割当方式および省電力化 MAC (Medium Access Control) プロトコルが提案されている。以下、従来手法の現状および問題点を示す。

(1) 省電力化経路・波長割当方式の現状および問題点

省電力化経路・波長選択方式は、新世代基幹網のネットワークアーキテクチャとして期待されている光パス網を対象として、送受信ノードペアから要求された通信チャンネル(光パス)を設定する際に、光パス経路上で経由する各ネットワーク機器(送受信機、光スイッチ、光増幅器)の消費電力の総和が最小となるように光パスへの割当経路および割当波長を決定することにより、消費電力の低減を試みている。しかし、光パス網では送信ノードもしくは宛先ノードの異なるノードペアのトラヒックを単一の光パスに収容することができず、それぞれに対して個別に光パスを設定する必要がある。その結果、光パス数に比例したネットワーク機器の稼働が必要となるため、省電力化の効果は限定される。

(2) 省電力化 MAC プロトコルの現状および問題点

省電力化 MAC プロトコルは CSMA(Carrier Sense Multiple Access)型 MAC プロトコルに対して、送信機がパケットの送信を完了してから次の送信を行うまでの期間において送信機を休止状態とする機能(休止機能)を具備させることにより、送信機の消費電力の低減を試みている。しかし、送信機が休止状態に入る前には一定のオーバヘッド時間が必要であるが、CSMA 型 MAC プロトコルではパケットの送信間隔が短くなる傾向があるため、各送信間隔の大半はオーバヘッド時間に費やされることになる。その結果、

送信機の休止時間の総和は短くなり、省電力化の効果は限定される。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の2つである。

- (1) 空間的トラヒック集約(一部のネットワーク機器へトラヒックを集約することによる休止状態ネットワーク機器数の最大化)により消費電力を低減する経路・波長割当方式の確立
- (2) 時間的トラヒック集約(トラヒック送信時間を集約し送信間隔を増大させることによるネットワーク機器休止時間の最大化)により消費電力を低減する MAC 方式の確立

3. 研究の方法

- (1) 空間的トラヒック集約により消費電力を低減する経路・波長割当方式に関する研究

- ① 全光網のネットワークアーキテクチャとして光パス網のかわりに光トレイル網(片方向の共有バスである光トレイルを通信チャンネルとして用いる網)を採用することにより、多数のノードペアのトラヒックを単一の光トレイルへと集約でき、さらなる省電力化を実現できると考えられる。
- ② 光パス網、光トレイル網の各網において、静的トラヒックを対象とした省電力化経路・波長割当問題を整数計画問題として定式化する。これらの問題を、最適化エンジンを用いて解くことにより、各網の総消費電力の最適値を導出する。これらの値を比較し、光トレイル網の光パス網に対する優位性を検証する。
- ③ 光パス網、光トレイル網のそれぞれにおいて、動的トラヒックを対象とした省電力化経路・波長割当問題に対するオンラインアルゴリズムを考案する。現在の網資源を表現するグラフモデルとして、光トレイル補助グラフ(図 1)を提案する。シミュレーションにより各網の総消費電力を比較し、光トレイル網の光パス網に対する優位性を検証する。

- (2) 時間的トラヒック集約により消費電力を低減する MAC 方式に関する研究

- ① トークンパッシング(TP)型 MAC プロトコルに対して休止機能を具備することにより十分に長い休止時間を確保でき、省電力化 MAC プロトコルの省電力化効果を改善できると考えられる。TP 型 MAC プロトコルでは各ノードは制御パケット(トークン)を保持している間のみパケットをバースト的に送信し、そうでない間はパケットを送信しない。よって、

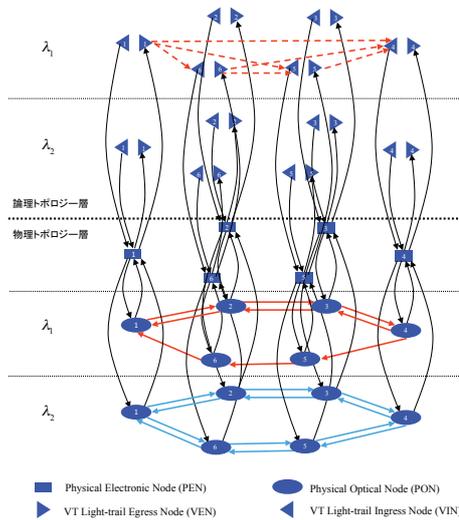


図1 光トレイル補助グラフ

このプロトコルでは後者の状態において1回のみオーバーヘッド時間を要することにより十分に長い休止時間を確保できると考えられる。

- ② 光トレイル網を対象とした省電力化 TP 型 MAC プロトコルを考案する. その消費電力と従来の省電力化 MAC プロトコルの消費電力とをシミュレーションにより比較し, 考案プロトコルの優位性を検証する.

4. 研究成果

- (1) 空間的トラヒック集約により消費電力を低減する経路・波長割当方式に関する研究

計算機シミュレーションにより光トレイル網と光パス網を比較評価する. ネットワークモデルとして8 ノードリングネットワークを用いる. 1 波長あたりの伝送速度と波長多重数の組み合わせは40Gbps×8 波長とする. 光トレイルのホップ数の上限値は5 とする. ネットワーク機器の消費電力の設定としては表1 を用いる. 機器の固定消費電力比率は0.0 とする. トラヒック要求は, その要求帯域幅の総和(ネットワーク負荷) が所望の値に達するまで順に発生するものとする. トラヒック要求の送受信ノードペアは全ノードペアの中からランダムに選択され, その要求帯域幅は622Mbps (OC-12) であるものとする.

性能指標としては総消費電力とトラヒック要求棄却率を用いる. 総消費電力は, トラヒック要求の収容に伴い発生する消費電力の総和である. トラヒック要求棄却率は, 発生したすべてのトラヒック要求の要求帯域幅の総和に対する, 収容されなかったトラヒック要求の要求帯域幅の総和の比率である.

図2 に波長多重数と1 波長あたりの伝送速度の組み合わせをネットワーク負荷と総消費電力およびトラヒック要求棄却率との関係を示す.

表1 ネットワーク機器の消費電力

| ネットワーク機器 | 10Gbps あたりの消費電力 [W] |
|----------|---------------------|
| ES | 900 |
| LA | 100 |
| OS | 85 |
| TX | 73 |
| RX | 73 |
| SP | 0 |
| CO | 0 |
| AM | 8 (80km あたり) |

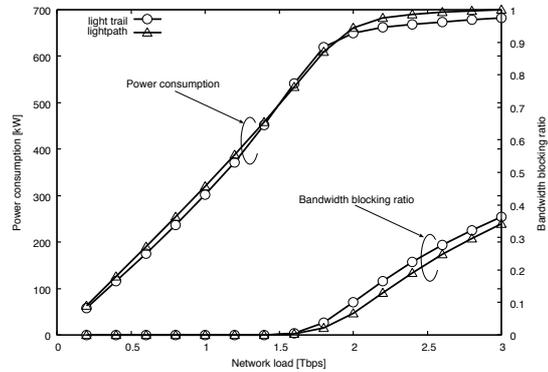


図2 総消費電力とトラヒック要求棄却率

まず光トレイルと光パスのトラヒック要求棄却率を比較する. ネットワーク負荷が1.4Tbps 以下のときはいずれもトラヒック要求棄却率を0 に抑制できている. ネットワーク負荷が1.6Tbps を超えると両方で棄却が発生する. このとき, 光トレイルは光パスよりも高いトラヒック要求棄却率を示している. これは, 光トレイルでは帯域幅の断片化が発生することにより光パスと比較してより早期に資源(空き波長および既設光トレイル上の残余帯域幅) が枯渇するためと考えられる. 光トレイルでの帯域幅の断片化とは, ホップ数の長い光トレイルの上にホップ数が短いトラヒック要求を収容する場合に, そのトラヒックが実際には通過しないリンク上の帯域幅がその後利用されなくなることを意味する.

次に光トレイルと光パスの総消費電力を比較する. ネットワーク負荷が1.4Tbps 以下のとき光トレイルは光パスと比較して総消費電力を2%から9%程度低減できている. この理由は以下のように考えられる. いま, 波長多重数がノードペアの総数と比べて小さいため, 限られた数のノードペアにのみ通信チャンネル(光トレイルまたは光パス) が設定される. そのような状況において, 光トレイルではその経路に含まれているすべてのノードペアがIP ルータでの中継処理を行うことなくトラヒックを転送できるのに対して, 光パスではそれが設定されていないノードペアは複数の光パスを経由してトラヒックを転送しなければならない. その結果, 光トレイルが光パスよりもIPルータの消費電力を軽減できていると考えられる.

(2) 時間的トラヒック集約により消費電力を低減する MAC 方式に関する研究

C言語で作成したシミュレータを用いて、本研究で考案した2つのTP型MAC方式であるLT-FA MACとART MACの電力性能を評価する。消費電力の尺度として、光トレイルが設定されている時間の中でいずれかのノードで光送信機が稼働状態である時間の割合（以降、光送信機の稼働率と呼ぶ）を用いる。両MAC方式ではトークン保持ノードのみが送信を行い、トークンはただ1つのみ存在することから、光送信機の稼働率は0 から1 までの範囲になる。また、休止状態から稼働状態へ遷移するためには立ち上がり時間(σ)を必要とし、この期間も光送信機が稼働状態であるときと同様の電力を消費するものとしている。

図3は隣接ノード i, j 間での制御メッセージ伝播時間(δ_{ij})を0.1msおよび1msとした場合のLT-FA MACとART MACの光送信機の稼働率を表している。

まず、LT-FA MACの光送信機の稼働率に着目する。LT-FA MACの稼働率は光トレイルの負荷にかかわらずほぼ一定であることがわかる。この理由は光トレイルの負荷にかかわらず、最下流送信ノードがトークンを保持し続けるためである。

次に、ART MACの光送信機の稼働率に着目する。ART MACの稼働率は光トレイルの負荷が小さくなるにつれて低くなることがわかる。このことは以下のように説明できる。光トレイルの負荷が小さいほど、短いラウンドが繰り返されることによってデータ送信に伴う光送信機の立ち上がり時間(σ)の発生回数は多くなる。しかし、送信すべきデータ量が少ないためデータ送信に使われる時間が小さくなることの効果が大きく、結果として稼働率は小さくなるからである。

続いて、両方式の光送信機の稼働率を比較する。制御メッセージ伝播時間がいずれの場合もART MACはLT-FA MACよりも低い稼働率を示している。これは、ART MACのほうが送信すべきデータがある場合のみ、いずれかのノードの光送信機が稼働しており、LT-FA MACの場合は送信すべきデータが無いときも最下流送信ノードでトークンを保持し続け、稼働状態であることが要因である。0.1msの場合では最大で15%、1msでは最大で62%低い稼働率を達成している。

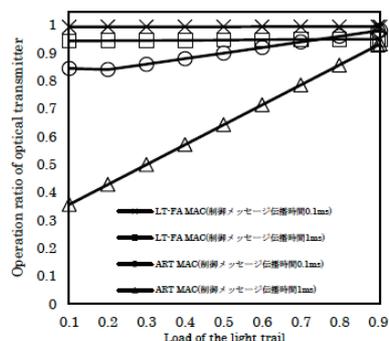


図3 光送信機の稼働率

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

- ① 福島行信, 横平徳美, 光トレイルネットワークにおける省電力を指向したトラヒックエンジニアリング手法, 電子情報通信学会技術研究報告(NS2013-235), 2014年3月7日, 宮崎シーガイア.
- ② Ryo Fukuyama, Yukinobu Fukushima and Tokumi Yokohira, “Power Efficiency Evaluation of Medium Access Control Methods in Light Trail Networks,” ITC-CSCC, 2014年7月1日, タイ プーケット.
- ③ Yukinobu Fukushima and Tokumi Yokohira, “Power Consumption Evaluation of Light-trail Networks,” ITC-CSCC, 2014年7月1日, タイ プーケット.
- ④ 福山諒, 福島行信, 横平徳美, 光トレイルネットワークにおけるメディアアクセス制御方式の電力評価省, 第16回IEEE広島支部学生シンポジウム, 2014年11月15日, 広島.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福島 行信 (FUKUSHIMA YUKINOBU)
岡山大学・大学院自然科学研究科・助教
研究者番号: 00432625

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究

該当無し