九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

[2014]九州大学情報統括本部年報 : 2014年度

https://doi.org/10.15017/1560528

出版情報：九州大学情報統括本部年報. 2014, pp.1-, 2015. 九州大学情報統括本部
バージョン：
権利関係：

第4章　先端ネットワーク研究部門

4.1　スタッフ一覧

職名	氏名	研究キーワード
教授	岡村 耕二	インターネット, 日韓インターネット, 次世代通信, マルチキャスト, QoS 通信, 対人コミュニケーション, オペレーティングシステム, 超高速国際インターネット, 自治体ネットワーク, linux
助教	笠原 義晃	計算機ネットワーク, インターネット運用技術, 侵入検知, ネットワークセキュリティ

4.2　研究事例紹介

消費電力を考慮した SDN 上での サーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムの提案

進藤　匠[†]　　岡村　耕二[‡]

† 九州大学大学院システム情報科学府　情報知能工学専攻　〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744
‡ 九州大学　情報基盤研究開発センター　〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1
E-mail:　† shindo@nanotsu.ait.kyushu-u.ac.jp,　‡ oka@ec.kyushu-u.ac.jp

あらまし　ネットワークの消費電力を削減するには稼働サーバ数や使用リンク数の削減が必要である．SDN はフロー毎に異なる経路制御が可能で，クライアントサーバの対応を動的に変更できる．よって SDN を用いたエニキャスト型通信は稼働サーバ数や使用リンク数の削減が実現可能である．本発表では消費電力を考慮したクライアントのリクエストに応答するサーバを選択する方法としてサーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムを提案する．

キーワード　Software Defined Network，消費電力，エニキャスト

Introduction of Energy Aware Server Selection Anycast Routing Algorism on SDN

Takumi SHINDO[†]　and　Koji OKAMURA[‡]

† Graduate School and Faculty of Information Science and Electrical Engineering,
Kyushu University 744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395 Japan
‡ Research Institute for Information Technology,
Kyushu University 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581 Japan
E-mail:　† shindo@nanotsu.ait.kyushu-u.ac.jp,　‡ oka@ec.kyushu-u.ac.jp

Abstract It is necessary to reduce the number of the operation servers and the use link number in order to reduce the consumption electricity of the network. SDN makes it possible to change routing control every flow, and the correspondences of

the client server dynamically. Thus, as for the anycast type communication using SDN, the reduction of the number of the operation servers and the use link number is feasible. I suggest server selection anycast routing algorithm as a method to choose a server in response to the request of the client in consideration of consumption electricity.

Keywords　Software Defined Network, Electric Power Saving, Anycast

1. はじめに

1.1. 研究背景

インターネットトラフィックは年々増加傾向にある[1]．トラフィックの増加に伴い，ネットワークの大規模化，消費電力の増加が予想される．また，動画等のコンテンツが全トラフィックに占める割合も増加していることから，コンテンツを提供するサーバも増加することが予想され，これより更なるネットワークの消費電力の増加が懸念される．ネットワークの消費電力を削減するには稼働サーバ数や使用リンク数の削減が必要である．稼働サーバ数の削減は接続先として複数のサーバ候補がある場合に可能である．複数の候補の中から稼働するサーバを集約・分散させることでサーバの消費電力を調整することができる．また使用リンク数を削減することでネットワークのスイッチで消費される電力の削減ができる．従来の研究では使用リンク数を削減するために SDN が用いられており，これにより柔軟な経路制御が可能で経路を容易にかつ動的に変更することができる．

1.2. Software Defined Network

Software Defined Network(SDN)は動的で管理が容易なネットワークアーキテクチャを目指して生まれたネットワークのアプローチである[2]. SDN アーキテクチャは従来のネットワークアーキテクチャとは異なり，ネットワークの制御機能（制御プレーン）と転送機能（データプレーン）を分離する．つまり，データの宛先を元に何処へ送信するかを判断する機能とその決定を実現するため配下の基盤を用いて転送する機能を分けている．この分離により従来のネットワークには無いメリットを SDN は持つ. それはネットワーク制御機能の部分を直接プログラムすることが可能になる点である．従来の経路制御ではネットワーク宛先アドレスが同一であれば，必ず同じ経路を使用してパケットは転送されていた．この制御方法はパケットを正確に届けることが可能であるが，同時に自由度が少ない制御方法とも言える．SDN による経路制御では同じネットワーク宛先アドレスのパケットでもフロー毎に別の経路を選択することが可能となる．SDN を実装するプロトコルとして，特に業界標準として認知されているのが，OpenFlow である[3]．OpenFlow のアーキテクチャは制御プレーンを担当する OpenFlow コントローラとデータプレーンを担当する OpenFlow スイッチ，そしてコントローラとスイッチ間でやりとりをするためのプロトコルが定義されている．

1.3. 関連研究

ネットワークの消費電力を SDN を用いた経路制御で削減する取り組みに関して文献 4 と文献 5 を参考にした．文献 4 ではスイッチの消費電力を削減する最適パスを導く手法として補助グラフを用いた省電力光パス経路選択アルゴリズムを提案している．これは最適経路問題を補助グラフ上の最小重み経路問題に帰着させることで計算する手法である．文献 5 ではこの補助グラフを用いた省電力光パス経路選択アルゴリズムを SDN 上のネットワークに適用することでどのような効果が得られるかを紹介している．SDN によって実現するサービスの例として紹介していたのは広域ライブマイグレーションをサポートするネットワークサービスである．これらの研究ではスイッチの消費電力に着目しており，仮想サーバの広域ライブマイグレーションをサポートするネットワークサービスにおいてパスの距離によって結果が異なることが示されている．文献 4 で紹介されているヒューリスティック解法による集中制御型による最適経路の導出は計算を短時間で収束させることが可能である．しかし，スイッチとサーバの消費電力両方に着目して最適経路を導出する場合，短時間で収束させることは困難である．なぜなら最適経路を導出する問題が NP 困難問題である最小シュタイナー木問題に帰着されるからである．

2. サーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズム

従来の SDN を使用した最適経路検索に関する研究ではネットワークで使用されるリンク数を削減することで消費電力の削減を試みていた．しかし，ネットワークの消費電力を全体で考えると，サーバの消費電力を加味する必要がある．そこで本研究ではサーバの消費電力とスイッチの消費電力の両方を考慮した経路制御を考える．従来の方法ではクライアント，ネットワークそしてサーバが与えられ際に，クライアント-サーバの対応も事前に決定されそれらを接続するパスを制御することでネットワーク全体の消費電力削減を目指していた．本発表ではサーバの消費電力を調整するためクライアントが通信する接続先サーバをエニキャスト通信により動的に変更させることで消費電力を削減する最適経路を導く．しかしこの問題は NP 困難問題に帰着でき，短時間で計算を収束させることは困難である．そこで我々は近似解を求めるサーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムを提案する．本研究では

目的をネットワーク消費電力の削減とし，稼働サーバ数，使用リンク数を制御するために SDN による経路制御を用いる．そしてエニキャスト型通信を用いたネットワークを考え，同一サービスを提供する複数のサーバが存在する状況での通信を想定する．本章ではアルゴリズムを考察するためにネットワークのモデル化を提案する．

2.1. ネットワークの消費電力

ネットワーク内で消費される電力は 2 つに分類される．一つはサーバで消費される電力，そしてもう一つは転送の際にスイッチで消費される電力である．そこでネットワークの消費電力を以下のように定義する．

$CostSv$…ネットワークに属すサーバの総消費電力[W]

$CostSw$…ネットワークに属すスイッチの総消費電力[W]

$CostN$…ネットワークの総消費電力[W]

$CostN=CostSv+CostSw$

2.2. ネットワークのモデル化

以下のようにネットワークをモデル化する．また，モデル化したネットワークの例を図 2.2 に示す．SV，CL，SW をそれぞれネットワークに属すサーバ，クライアント，そしてスイッチの集合とする．またそれぞれの要素を $sv_i(sv_i \in SV)$，$cl_i(cl_i \in CL)$，$sw_k(sw_k \in SW)$ とする．さらに各サーバそして各スイッチの消費電力を以下のように定義する．ここでCはリクエストを要求しているクライアントとサーバの接続状況を表現する集合を表す．

$$wsv(C)_i : sv_i \text{の消費電力[W]}$$

$$wsw(C)_i : sw_k \text{の消費電力[W]}$$

サーバ，スイッチの消費電力はCの関数である．これにより$CostSv$，$Costsw$は以下のように定義される．

$$CostSv(C) = \sum_{sv_i \in SV} wsv(C)_i$$

$$CostSw(C) = \sum_{sw_k \in SW} wsw(C)_k$$

よってネットワークの消費電力は以下のように定義される．

$$\mathrm{CostN(C)} = \mathrm{CostSv(C)} + \mathrm{CostSw(C)}$$

$$= \sum_{sv_i \in SV} wsv(C)_i + \sum_{sw_k \in SW} wsw(C)_k$$

2.3. サーバの消費電力

各サーバの消費電力は前項で$wsv(C)_i$と定義した．$wsv(C)_i$はサーバsv_iと接続するクライアント数の影響を受ける．$wsv(C)_i$とクライアント接続台数との関係を表した例を図 2.3 に示す．

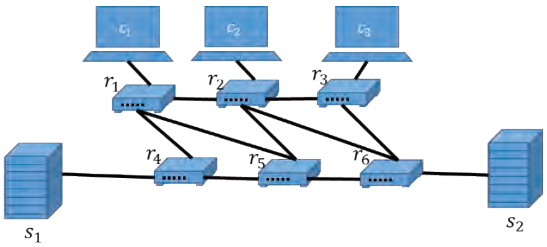

図 2.2 ネットワークのモデル化

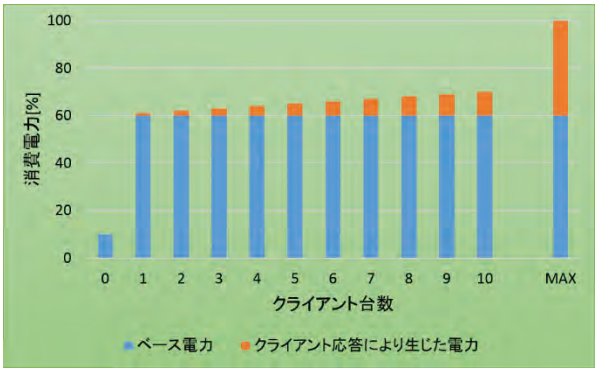

図 2.3 $wsv(C)_i$とクライアント接続台数

この例で示すサーバは省電力機能を有している．省電力機能とはクライアントと接続していない場合，ベース電力を抑えることで消費電力を削減することが可能な機能である．またベース電力とクライアント接続数の増加による電力はベース電力の方が大きく，接続数増加による電力の増加は全体の割合として小さい場合を考える．このようなサーバを前提とすると，少ないサーバに多くのクライアント接続を割り当て，クライアント接続数が 0 台のサーバを省電力状態へ切り替えることでネットワーク全体の消費電力を抑えることが可能である．つまり稼働サーバ数を削減すればするほど，省電力効果が高いと考える．

2.4. スイッチの消費電力

各スイッチの消費電力$wsw(C)_m$と使用リンク数の関係を考える．まずサーバ同様スイッチの電力もベースとなる電力と使用リンク数の増加により変化する電力の 2 つに分けて考える．そこで以下のように定義する．

$wswbase_k$…スイッチsw_kの稼働に必要な電力[W]

$Nlink_k$…スイッチsw_kで使用されるリンクの本数[本]

wswlink…リンクが 1 本使用されるごとに増加するスイッチの電力[W/本]

$$\mathrm{wsw(C)_k} = wswbase_k + wswlink \times Nlink(C)_k$$

この定義により各スイッチで消費される電力はベースとなる電力とリンクの使用による電力増加の和となり，その電力増加は使用リンクの本数と一本当たりの電力増加量の積で表現される．各スイッチで使用されるリンクの本数の和はネットワーク全体で使用されるリンクの半分の本数となるので，更に以下のように定義する．

$$\begin{aligned}&\mathrm{CostSw(C)}\\&=\sum_{sw_k\in SW} wsw(C)_k\\&=\sum_{sw_k\in SW} wswbase_k+\sum_{sw_k\in SW} wswlink\times Nlink(C)_k\\&=\mathrm{WSWBASE}+\mathrm{WL}\times NUL(C)\end{aligned}$$

WSWBASE…全スイッチのベース電力の総和
WL…１本のリンクを使用することで増加する電力
NUL(C)…ネットワーク当たりの使用リンク本数

この定義により使用中のリンクの本数が増加するほど CostSw(C)も増加することが表現される．

3. アルゴリズムの提案

本章では前章で定義したモデルを用いてアルゴリズムを定義し，アルゴリズムに対して考察を行う．

3.1. アルゴリズムの問題

ネットワークに属すサーバ群 SV が存在し，サービスを既に受けているクライアントの集合を$CS=\{cl_1, cl_2, \ldots, cl_n\}$と仮定する．n+1 番目の新規クライアント$ck_{n+1}$がサービスを要求し，その要求に対応可能なサーバ群$SR$が存在するとする．問題は$cl_{n+1}$

がどのサーバと接続するかを求めるアルゴリズムを考えることである．すなわち，$CS=\{cl_1, cl_2, \ldots, cl_{n+1}\}$とした時$CostN(CS)$が最小となるように$cl_{n+1}$が接続するサーバをSRから１台選択するアルゴリズムを考える．この際前提条件として，複数台のサーバに対し一つのクライアントがエニキャスト型通信を用いて接続することを想定する．また，サーバの設置は計画的で比較的均等に設置されており，サーバの位置は事前に把握ができると仮定する．更にサーバは省電力機能を有する．ここでの省電力機能は２．１．３で述べた内容と一致する．

3.2. アルゴリズムの提案

前節の問題は NP 完全問題に帰着できるため，多項式時間で結果を導くことができない．そこで近似解を求めるサーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムを提案する．このアルゴリズムはさらに２つのアルゴリズムをベースとしている．一つ目は$CostSv$重視アルゴリズム，もう一つは$CostSw$重視アルゴリズムである．$CostSv$重視アルゴリズムは$CostSv$を最小化し，$CostSw$も小さくなるサーバを選択する．反対に$CostSw$重視アルゴリズムは反対に$CostSw$を最小化する．サーバを１台に絞り込む方法に着目すると$CostSv$重視アルゴリズムでは，$CostSv$が最小となるサーバに絞り込み，その中で$CostSw$が最小となるサーバを選択する．サーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムはこの２つのアルゴリズムを内包し，その計算結果からサーバを選択する．

3.3. $CostSv$重視アルゴリズム

$CostSv$重視アルゴリズムは以下のステップで接続先サーバを選定する．

1)サーバ群 SR を空の集合とする
2)サーバ群 SV に属し，リクエストに対応可能なサーバをサーバ群 SR に追加する．
3)SR 群の中でCostSv(C)が最小となる要素を残し，それ以外の要素を削除する．
4)SR 群の中でCostSw(C)が最小となる要素を残し，それ以外の要素を削除する．
5)SR 群の要素を返す．複数ある場合はランダムに返す．

ステップ１では候補となるサーバ群を準備する．次にステップ２ではサーバ群の中からリクエスト対応可能なサーバ群へ絞り込む．この絞り込みは IP エニィキャストの共有アドレスを用いる．ステップ３ではCostSv(C)が最小となるサーバに絞り込む．絞り込みはサーバの稼働，非稼働を基準とする．サーバは省電力機能を有すると仮定しているため，非稼働サーバ数の増加を抑制することで CostSv(C)の増加も抑制される．また稼働中のサーバであればどのサーバへ接続してもCostSv(C)の増加量に変化はない．操作としては SR 群に稼働中のサーバが存在すれば，SR 群内に存在する非稼働中のサーバを群の要素から削除する．ステップ４では更にCostSw(C)が最小となるサーバに絞り込む．計算には動的計画法を用いる．ノード v からクライアントcl_1までの距離を$f(v)_{cl_1}$とする．cl_1と隣接するノードv_iが SR 群のサーバに属さない場合，$f(v_i)_{cl_1}$を計算する．これをくり返すことで CostSw(N)が最小となるサーバを導く．ステップ５の段階で１台のサーバに絞り込みが完了していればそのサーバを返す．複数台のサーバが存在すれば，ランダムで１台を選択する．

3.4. $CostSw$重視アルゴリズム

$CostSw$重視アルゴリズムは以下のステップで接続先サーバを選定する．

1)サーバ群 SR を空の集合とする
2)サーバ群 SV に属し，リクエストに対応可能なサーバをサーバ群 SR に追加する．
3)SR 群の中でCostSw(C)が最小となる要素を残し，それ以外の要素を削除する．
4)SR 群の中でCostSv(C)が最小となる要素を残し，それ以外の要素を削除する．
5)SR 群の要素を返す．複数ある場合はランダムに返す．

各ステップの詳細は２．２．３で述べた内容と等しい．

3.5. サーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズム

サーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムはCostSv重視アルゴリズムとCostSw重視アルゴリズムを内包するアルゴリズムである．以下，アルゴリズムのステップを記す．

1)CostSv重視アルゴリズムでCostN(C)の最小値を求める
2)CostSw重視アルゴリズムでCostN(C)の最小値を求める
3)２つの結果を比較し，CostN(C)がより小さいサーバ選択を採用する

4. 考察と課題

4.1. アルゴリズムの考察

CostSv重視アルゴリズムとCostSw重視アルゴリズムを比較する．共にステップ１とステップ２は共通である．ステップ２では接続対象とするサーバを全サーバからリクエスト対応可能なサーバへ絞り込みを行っている．２つのアルゴリズムの違いはステップ３とステップ４の順序にある．先に CostSv の値が小さくなるサーバに絞り込みを行うアルゴリズムがCostSv重視アルゴリズムである．先に CostSv で絞り込みを行い，その中で CostSw が小さくなるサーバを選択する．CostSw 重視アルゴリズムではこの手順が逆となっている．

提案したサーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムは CostSv 重視アルゴリズムと CostSw 重視アルゴリズムを内包している．それぞれの計算結果を比較し，適する方の結果を採用する．

アルゴリズムが導く近似解と最適解の関係を考える．ここで$CostSv(C)$が最小となるサーバ群と$CostSw(C)$が最小となるサーバ群の独立の有無で場合分けをして考察する．それぞれの大まかなイメージ図を図 3.6.1, 3.6.2 に示す．図 3.6.1 は各コスト最小集合が独立で無い場合を，図 3.6.2 は各コスト最小集合が独立している場合を示す．図 3.6.2 の場合CostN(C)が最小となるサーバはCostSv(C)が最小でかつCostSw(C)が最小であるサーバである．つまり，図 3.6.1 の領域 A に属すサーバを選択した時CostN(C)は最小となる．

一方図 3.6.2 の場合CostSv(C)が最小でかつCostSw(C)が最小であるサーバは存在しない．CostN(C)が最小となる可能性があるサーバは領域 B，C，D のいずれかに属す．この内領域 C，D にCostN(C)最小サーバが存在すれば２つのアルゴリズムの内いずれかで導出することが可能であるが，領域 B に存在する場合導出することができない．

また提案したアルゴリズムの計算量を考察する．提案アルゴリズムはCostSv重視アルゴリズムとCostSw重視アルゴリズムを内包している．CostSv重視アルゴリズムをステップごとに分解してクライアントと計算量の関係を確認する．ステップ１はクライアント台数に関わらず，常に一定となる．ステップ２はサーバ台数がクライアント台数の定数倍で抑えることができると仮定すると計算量はO(NC)となる．ここで NC はクライアント台数である．ステップ３ではサーバ台数分だけ計算すれば良いので同様に仮定すれ O(NC)である．ステップ４では動的計画法を用いて要素を検出する．スイッチもクライアント台数の定数倍で抑えることができると仮定すると，計算量は$O(NC^2)$となる．ステップ５はランダムに選択するため一定の計算量となる．ステップ１からステップ５までを確認した結果，$CostSv$重視アルゴリズム全体の計算量は$O(NC^2)$となる．一方$CostSw$重視アルゴリズムは$CostSv$アルゴリズムのステップの順番が変更されている以外に変化が無いため，計算量は同じく$O(NC^2)$となる．結果提案したアルゴリズム全体の計算量は$O(NC^2)$である．

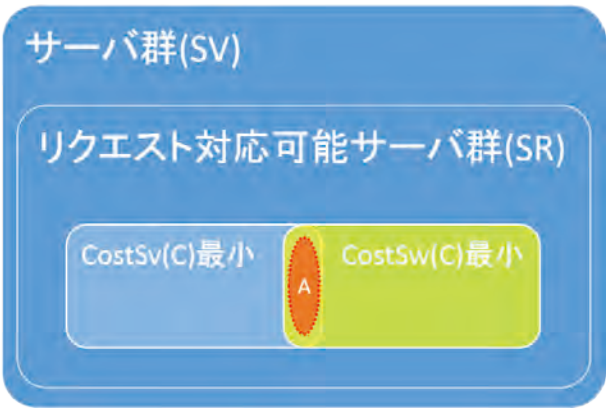

図 3.6.1　$CostSv(C)$と$CostSw(C)$が独立でない場合

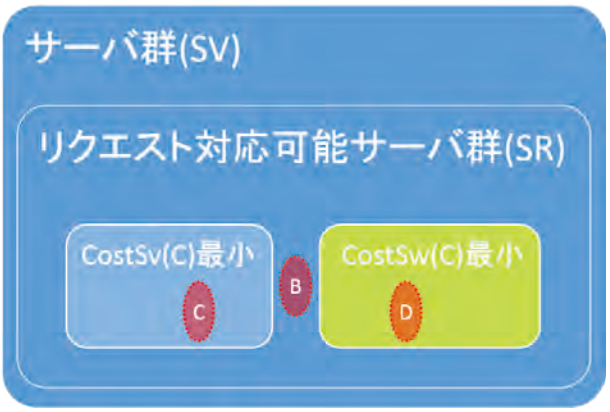

図 3.6.2　$CostSv(C)$と$CostSw(C)$が独立している場合

4.2. 今後の課題

提案したアルゴリズムは最適解ではなく，近似解を求めるアルゴリズムである．近似解と最適解との差がどの程度生じるかを検証する必要がある．また，アルゴリズムの計算量に着目すると，さらに速く収束するアルゴリズムを考案する必要がある．このアルゴリズムは大規模なネットワークも視野に入れているため，クライアント数の二乗では速く収束するとは言えない．現在，計算量のボトルネックとなっていた CostSw(C)最小を求める方法の改良を試みている．例えば，端末群の中心付近に存在するサーバを選択する確率を増加させる方法がある．この方法の長所は幅優先探索アルゴリズムを用いることができ，ネットワークに属すリンクの本数がクライアント台数の定数倍で抑えること

が出来ると仮定すれば計算量がO(NC)となる点である．さらに稼働サーバ群をできるだけ端末群の中心に集中させることで，使用リンク数を抑えることができると考えられる．他にもバイオインスパイアードアルゴリズムを用いた方法も考えられる．バイオインスパイアードアルゴリズムとは生体の機能や構造に啓発されたアルゴリズムのことであり，生命体がエネルギー消費を抑えるために変形するフローから発想を得たアルゴリズムのことである．今後，提案したアルゴリズムとこれら２つのアルゴリズムを比較し，検証を行う予定である．

5. おわりに

ネットワークの消費電力を削減するには稼働サーバ数や使用リンク数の削減が必要である．SDN を用いた経路制御はより柔軟な制御が可能で，この特性を活かし稼働サーバ数,使用リンク数が調整できる.従来，SDN を用いた経路制御による省電力の削減方法として，クライアントサーバの対応が与えられ，最適経路を導くアルゴリズムが考えられていた．そこでエニキャスト通信に着目し，クライアントの接続先サーバを動的に変更させることでサーバの消費電力も考慮した消費電力を削減する経路を考察する．この問題はＮＰ困難の問題に帰着されるため，近似解を求めるサーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムを提案した．このアルゴリズムはサーバの消費電力もしくはスイッチの消費電力を最小化するサーバ群を計算することで近似解を求めている．今後は提案したアルゴリズムの近似解と最適解の差や計算量を考慮しながらアルゴリズムの改善を行う．特にCostSw(C)最小を求める方法として動的計画法を用いたが，端末群の中心付近の通信量が増加することに着目して端末群の中心付近からの距離を用いたサーバ選択アルゴリズムを考察中である．さらに，バイオインスパイアードアルゴリズムを用いた方法も検討していく予定である．

文　献

[1] Cisco Visual Networking Index(VNL)：予測と方法論，2013～2018 年 http://www.cisco.com/web/JP/solution/isp/ipngn/literature/pdf/white_paper_c11-481360.pdf (2014/10/31 アクセス)

[2] Rubio-Loyola J, Galis A, Astorga A, Serrat J, Lefevre L, Fischer A, Paler A, Meer H. Scalable service deployment on software-defined networks. IEEE Communications Magazine, vol.49, no.12, pp.84-93, Dec 2011 .

[3] OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks http://archive.openflow.org/documents/openflow-wp-latest.pdf(2014/10/31 アクセス)

[4] 山田亜紀子，清水翔，今井悟史，宗宮和夫，“省電力経路選択アルゴリズムの SDN への適用に関する一検討” 電子情報通信学会技術研究報告．Cq, コミュニケーションクオリティ, vol.112, no.228, pp.41-46，Nov.2012.

[5] 清水翔，今井悟史，山田亜紀子，“補助グラフを用いた省電力光パス経路選択アルゴリズムの検討” 電子情報通信学会技術研究報告.Pn, フォトニックネットワーク，vol.111，no.475，pp49-54，Mar.2012

4.3　研究内容紹介

4.3.1　岡村 耕二

研究内容

私は、1988 年に九州大学工学部で卒業研究を行って以来、三菱電機株式会社、奈良先端科学技術大学院大学、神戸大学、九州大学において、20 年以上にわたって、コンピュータ・ネットワークに関わる研究や仕事、また、学生への教育をしてまいりました。九州大学の助教授に着任しました 1998 年以降の約 12 年間の教育や研究内容について、1) 基礎技術的な内容のもの、2) 応用・実践的あるいは国際的な内容のものに分けて紹介いたします。

1) 基礎技術的な内容の教育・研究

インターネットに関する基礎的な内容の教育・研究は、学術振興会・未来開拓研究「知的で動的なネットワーキング」(コアメンバー)、総務省通信総合研究所（現在の情報通信研究機構）と取り組んだ「新世代モバイル通信技術」、韓国の大学・研究機関との総合的な共同研究である学術振興会・日韓拠点大学プロジェクト、国立情報学研究所とともに取り組んでいる CSI (Cyber Science Infrastructure) プロジェクトそして、最近では新世代ネットワークの研究などを通じて行ってきました。

1999 年からコアメンバーとして参加した学術振興会・未来開拓研究「知的で動的なネットワーキング」プロジェクトでは、専門家以外には難解なネットワークの設定について、その自動化をめざし、最終的にはネットワークの構成要素が変化してもネットワークがその変化に追随して最適なネットワーク環境が自動的に構成されることを目標にした研究に取り組みました。この研究の一部は当時の学生の修士研究としても進められましたが、その成果は最終的に情報処理学会の論文誌に掲載することができました。2003 年から、韓国の主要な大学・研究機関と日本の間の総合的な共同研究を行う、日韓拠点大学方式の総括責任者として、本プロジェクトを遂行するとともに、自分自身も韓国の研究機関と共同研究を行ってきました。私の主たるテーマは、国際的なネットワーク運用と、遠隔医療などの国際応用技術に関するものです。国際的なネットワークの運用のための技術として、私の研究室で行ってきた、蓄積されたネットワークのトラフィック・経路情報の統計処理技術と、韓国の実践的な解析技術を融合させることに成功し、2007 年末に発生しました台湾南沖地震で発生した日本と中国の間の光ファイバ切断がインターネットに与えた影響を、私の研究室と韓国の先生と共同で解析し、災害に対する現在のインターネット運用技術の課題をまとめることができました。これは当時の学生の修士研究、博士研究の一部として取り組み、この成果は、情報処理学会、電気通信学会のそれぞれの論文誌に掲載されました。さらに、次世代ネットワーク技術について着目した研究では、韓国人の博士課程の学生と韓国で一足先に始まった、次世代ネットワーク網のデータ解析を行い、それを日本に提言することができました。この成果も情報処理学会論文誌に掲載されております。また、最近では新世代ネットワークにおける仮想ネットワーク技術、新しいデータ交換技術、省電力運用技術に着目した研究を行い、すでにいくつかの国際会議にその成果を投稿し、発表しております。

2) 応用・実践的、国際な内容の教育・研究

応用・実践的、国際な教育・研究として、総務省・情報通信研究機構が提供する JGN (Japan Giga Network) に関連する公募によるもの、日韓光ファイバに関連するもの、国際遠隔医療に関するものなどに取り組んできました。JGN を用いた研究として、高精細動画像伝送に関わる研究、IPv6 に関する研究、次世代型インターネット拠点のアーキテクチャに関する研究に取り組んできました。次世代型インターネット拠点のアーキテクチャに関する研究では、福岡に設立された九州ギガポッププロジェクト (QGPOP) の主要なメンバーとして研究活動を行い、このプロジェクトで培った高度なネットワーク運用技術はのちの実証実験で活用されています。日韓光ファイバに関する研究では、九州・山口経済連合が導入した福岡と釜山の間の光ファイバの利活用について、産官学非常に多くの

さまざまな方々と玄海プロジェクトを2001年に設立させ、2003年にはインターネットとしての利用に成功、さらに、総務省からそのネットワークを利用した5年後のIT社会を模索する研究 (e!プロジェクト) を委託され、国際的な近未来的な遠隔講義、遠隔医療の実証実験に取り組みました。さらに、この活動が評価され、学術振興会による日韓拠点事業が認められました。この事業は8年にわたって行われ、私はその総括責任者として日韓で200名以上の研究者の代表として事業を成し遂げました。国際遠隔医療は、2002年から九州大学病院と構想を練り始め、2003年から韓国と実施をはじめ、以降、九州大学のP&Pや学術振興会・アジアコアプログラムの支援などを利用してアジアの各国、オセアニア、米国、欧州などの共同研究医療機関を開拓し、現在では約20か国、世界中の約90の医療機関と高精細動画像を用いた遠隔医療の先進的な事例実験に成功しています。この遠隔医療の実証研究の成果・評価の一つとして、九州大学病院にアジア遠隔医療センター (TEMDEC) の設置への貢献をあげることができます。遠隔医療に関する学術的な研究成果は九州大学病院の教員と共著で多くの国際会議などで発表し、高い評価を得ております。

以上のように私は、コンピュータ・ネットワーク技術について、基礎的な内容での教育・研究活動を継続して行い、その成果を論文誌、国際会議論文誌また学会誌に残してきています。また、この延長で、いままで主査として２名の学生に博士号（大学院 システム情報科学府）を授与させることができました。応用・実践的、国際的な教育・研究の推進で、企業や省庁、自治体と連携した実用的な研究活動や、海外の多くの研究機関とも連携した国際的な研究活動を行い、研究室の学生に国際的な共同研究の機会も与えるとともに、対外的に九州大学のプレゼンスをあげ、その研究活動で得た最新の技術を九州大学のキャンパスネットワークなどのITインフラや九州大学病院の活動に還元してきました。

所属学会名

情報処理学会

主な研究テーマ

- 新世代ネットワークにおける検索ネットワークKCN(Keyword Centric Network) の開発
  キーワード：新世代ネットワーク, 2013.04～2014.04.
- 新世代ネットワークに関する研究
  キーワード：新世代ネットワーク, 2010.04～

4.3.　研究内容紹介　35

- サイバーセキュリティ
  キーワード：サイバーセキュリティ, 2014.03～
- 国際的インターネット実証研究
  キーワード：イーサイエンス, 2013.04～

研究プロジェクト

- サイバーセキュリティ
  2014.04～, 代表者：岡村耕二, メリーランド大学　ボルチモア校

- 九州大学　サイバーセキュリティ
  2013.03～, 代表者：安浦寛人.
- アジア遠隔医療研究開発
  2008.10～2018.03, 代表者：田中雅夫教授.
- 日韓およびアジア地域次世代インターネットプロジェクト
  2001.07～, 日本, 韓国, タイ, シンガポール
  日韓およびアジアでの次世代インターネットのリーダーシップをとる.

研究業績

- 原著論文

1. Kazuichi Oe and Koji Okamura,On-The-Fly Automated Storage Tiering (OTF-AST),ACIS 2014,2014.12.
2. Kazuichi Oe and Koji Okamura,A hybrid storage system composed of On-The-Fly Automated Storage Tiering (OTF-AST) and caching,CANDAR'14,2014.12.
3. Nor Masri Sahri and Koji OKAMURA,Load Sensitive Forwarding for Software Defined Networking ? Openflow Based,International Journal of Computer Science and Network Security,2014.11.
4. Chengming LI and Koji OKAMURA,A Game Theoretical Interest Forwarding for Cached Data in Content-Centric Networking,International Journal of Computer Science and Network Security,2014.11.
5. Chengming LI and Koji OKAMURA,Cluster-based In-networking Caching for Content-Centric Networking,International Journal of Computer Science and Network Security,2014.11.
6. Alaa Allakany and Koji Okamura,Distributed GA for Popularity Based Partial Cache Management in ICN,Research Network Workshop 2014,2014.08.
7. Nor Masri Sahri and Koji Okamura,Openflow Path Fast Failover Fast Convergence Mechanism,Research Network Workshop 2014,2014.08.
8. Alaa Allakany and Koji Okamura,Distributed GA for Popularity Based Partial Cache Management in ICN,International Conference on Future Internet Technologies 2014,2014.06.
9. Nor Masri Sahri and Koji Okamura,Fast Failover Mechanism for Software Defined Networking ― OpenFlow Based,International Conference on Future Internet Technologies 2014,2014.06.
10. Zhaolong Ning, Koji Okamura,Social-Oriented Adaptive Transmission in Wireless Ad Hoc Networks,IEEE International Conference on Communications,2014.06.

- 学会発表

1. 進藤　匠, 岡村耕二, 消費電力を考慮した SDN 上でのサーバ選択エニキャスト経路制御アルゴリズムの提案, 電子情報通信学会, 情報ネットワーク研究会,2014.11.
2. 岡村耕二,APRICOT-APAN 2015 福岡会合の紹介, 電子情報通信学会, 情報ネットワーク研究会,2014.10.
3. Koji OKAMURA,Wifi service in university campuses, performance status and statistics,Campus network monitoring and security workshop ,2014.04.

研究資金

- 科学研究費補助金

1. 2013 年度～2016 年度, 基盤研究 (C), 代表, 新世代ネットワーク技術を応用したネットワーク機器の省電力運用に関する研究.

教育活動

- 担当授業科目

1. 2014 年度・後期, 情報ネットワーク
2. 2014 年度・後期, 情報ネットワーク特論
3. 2014 年度・後期, サイバーセキュリティ基礎論

社会貢献・国際連携等

- 社会貢献・国際連携活動概要

1. 通信・放送機構 委託研究評価委員
2. 北九州ギガビットラボ 利用促進部長
3. 北九州 IT 研究開発基盤利用促進協議会 会長
4. 福岡県 ギガビットハイウェイ 構想委員

- 国内, 国際政策形成, 及び学術振興等への寄与活動

1. 2004.01～, アジア・環太平洋における先端ネットワーク研究を用いたアプリケーションの技術のとりまとめを行う. , APAN (Asia Pacific Advanced Network).

- 文部科学省, 日本学術振興会等による事業の審査委員等就任状況

1. 2001.04～, 情報通信研究機構・委託研究評価委員, 情報通信研究機構.

大学運営

- 学内運営に関わる各種委員・役職等

  1. 2012.04〜, 全国共同利用運営委員会.
  2. 2007.04〜, 全学情報環境利用委員会.
  3. 2003.04〜, セキュリティ専門委員会.

4.3.2　笠原 義晃

研究内容

- **安定した情報サービスのためのサーバ品質の監視・異常検知・品質改善**

  インターネットではさまざまな種類の情報サービスが提供されている. 九州大学でも構成員に向けてさまざまなサービスを提供している. サービスを提供する機器 (サーバ等) の増加により, 管理は複雑さを増しており, 期待される性能が出ていなかったり, 異常が発生していても迅速に対応できない場合が増えている. 仮想化技術の進展により仮想計算機によるサービス構築も容易になったが, 仮想化レイヤが増加することにより障害対応はより複雑になった.

  本研究では, 実サービスの運用管理を通して, 仮想化システムも視野に入れた, 統一されていない多数のサーバによるサービス提供環境において, 管理者の負荷を低減し効率的に管理・運用が可能な手法の構築を目指す.

- **ネットワークトラフィック監視に基づく侵入検知・裏口検出に関する研究**

  インターネットを利用した計算機への不正アクセスや, ウィルス・ワーム・ボット等の自動化された侵入・拡散ソフトウェアによる被害は年々増加し, また手口も巧妙化している. これに対抗するには, ホストレベルからネットワークレベルに到る多層的な対策が必要となる.

  本研究では, このうち特にネットワークでの対策に重点をおき, 組織の基幹ネットワーク管理者の立場から組織内ネットワークでの不正な活動などを監視・検出する手法を研究・開発する. 具体的には, ネットワークトラフィックを受動的に収集し, パターンによらない分類手法や, プロトコルの特徴を利用した異常検知手法について検討している. これにより, 既存のパターン検出型侵入検知システムでの検知が難しい活動を発見する事を目指している.

- **その他の活動**

  九州大学の学内ネットワークである総合情報伝達システム (KITE) の管理・運用に参加し, 学内外向け各種サーバの管理・運用, 新規サービスの開発等を行っている.

  また, 管理者向け講習会の実施, 管理者や利用者からの質問への対応, 侵入検知システム等の監視による学内ネットワークの保全等, 安定したネットワークを維持するための活動を続けている.

所属学会名

情報処理学会 , 電気情報通信学会

主な研究テーマ

- 安定した情報サービスのためのサーバ品質の監視・異常検知・品質改善
  キーワード：情報システム, サーバ管理・運用, 仮想化, 2012.04～.

- ネットワーク監視に基づく侵入検知・異常検知
  キーワード：インターネット, ネットワーク管理運用, 侵入検知, ネットワークセキュリティ, 2001.04～.

研究業績

- 原著論文

1. 川谷 卓也, 伊東 栄典, 笠原 義晃, 藤村 直美, 適切なクォータ値設定のためのディスク使用量分析, 情報処理学会 研究報告,2015-IOT-28,32,1-7,2015.02.
2. Yoshiaki Kasahara, Eisuke Ito, Naomi Fujimura,Introduction of New Kyushu University Primary Mail Service for Staff Members and Students,SIGUCCS ’14 (Proceedings of the 2014 ACM SIGUCCS Annual Conference on User Services Conference),103-106,2014.11.
3. 藤村 直美, 笠原 義晃, 伊東 栄典, 尾花 昌浩, 井上 仁, 学生番号と異なる学内情報サービス専用 ID 付与, 研究報告インターネットと運用技術（IOT）,2014-IOT-26,1,1-6,2014.06.

- 学会発表

1. 川谷 卓哉, 伊東 栄典, 笠原 義晃, 藤村 直美, 適切なクォータ値設定のためのディスク使用量分析, 情報処理学会 第 28 回インターネットと運用技術研究会 (IPSJ IOT),2015.03.06.
2. Yoshiaki Kasahara,POODLE and related SSL vulnerabilities,Network Security Workshop in APAN 39th Meeting,2015.03.03.
3. Yoshiaki Kasahara, Eisuke Ito, Naomi Fujimura,Introduction of New Kyushu University Primary Mail Service for Staff Members and Students ,2014 ACM SIGUCCS Annual Conference on User Services Conference (SIGUCCS ’14),2014.11.06.
4. Yoshiaki Kasahara,OpenSSL Heartbleed and aftermath,Network Security Workshop in APAN 38th Meeting,2014.08.12.
5. 藤村 直美, 笠原 義晃, 伊東 栄典, 尾花 昌浩, 井上 仁, 学生番号と異なる学内情報サービス専用 ID 付与, 情報処理学会 第 26 回インターネットと運用技術研究会 (IPSJ IOT),2014.06.28.

教育活動

- 担当授業科目

1. 2014 年度・後期, サイバーセキュリティ基礎論.

社会貢献・国際連携

- 一般市民、社会活動及び産業界等を対象とした活動

1. 2015.03,DNS/DNSSEC Workshop in APRICOT 2015 において講師の一人を担当 ,Asia Pacific Regional Internet Conference on Operational Technologies (APRICOT),JR Hakata City, Fukuoka

大学運営

- 学内運営に関わる各種委員・役職等

1. 2014.04～2016.04, 安全衛生部会員.
2. 2012.04～2016.03, 生涯メール運営会議 構成員
3. 2005.04～2015.03, 九州大学広報専門委員会　委員