

将来インターネットアーキテクチャに向けて



研究室紹介

長谷川 亨*

Toward Future Internet Architecture

Key Words : Future Internet, Information Centric Networking,
Green Networking, Future Cellular Network

1. はじめに

ビデオ配信や膨大な数のセンサ等のIoT (Internet-of-Things) デバイスによるデータ収集など、設計時に想定していなかった应用到インターネットが十分に対応できないことが課題となっている。これに対して、当研究室では、センサやソーシャル情報などのビッグデータの新たな利用、流通を可能とする将来のインターネットアーキテクチャとして、以下の二つに着目している。一つ目は、多様なコンテンツの自在かつ柔軟な流通を可能とする情報指向ネットワーク (ICN: Information Centric Networking) アーキテクチャである。二つ目は、1兆個を超える膨大な数のセンサなどのIoTデバイスをモバイルインターネットに収容する経路制御アーキテクチャである。また、これらアーキテクチャを実現するネットワーク制御技術に取り組んでいる。

2. 情報セントリックネットワークアーキテクチャ

ICNは情報の名前を指定して情報を取得するアーキテクチャであり、ビデオやセンサデータなどの多様な情報が流通する将来ネットワークに適している。当研究室では、日欧共同のGreenICNプロジェクト [1] に参加し、電力消費に対して厳しい要求条件を有するビデオ配信ならびに災害時通信を、ICN

をベースに提供するGreenICNアーキテクチャを検討している [2]。GreenICNアーキテクチャは、図1に示すように、ICNアーキテクチャを、ビデオ配信及び災害時通信の電力消費を抑えながら提供できるように拡張するものであり、当研究室では、ネットワークの消費電力の解析フレームワーク (図1中の(4)) を開発している。

ICNではルータが具備するキャッシング機能を用いて、トラフィック量を削減できる一方で、ICNに準拠するルータ (ICNルータと呼ぶ) では、名前に基づくルーティング/フォワーディング処理やパケット単位のキャッシング機能などのICN固有の処理負荷が高い。消費電力の観点では、キャッシング機能による削減とICN固有の処理による増加がトレードオフの関係にある。消費電力の最小化には、まず、トレードオフ関係を明確化した上で、キャッシング機能をネットワーク内のどのICNルータに配置するかを決定する最適配置法を開発することが必須である。

トレードオフ解析の第一歩として、複数CPUコアを搭載したマルチコア・ソフトウェアルータをベースにしたICNルータの消費電力モデルを作成している [3]。具体的には、ソースコードがオープンソースとして提供されているNDNx/CCNxを対象として、式(1)に示す通り、プロトコル処理にCPUコアが消費する電力 (第1項)、NDNx/CCNxパケットを転送するのにNIC (Network Interface Card) が消費する電力 (第2項)、筐体が消費する電力 (第3項) の和として、ICNルータの消費電力をモデル化している。ここで、 l はCPUコアの負荷率で、 l' はパケットの転送レート (パケット/秒) であり、負荷率や転送率に対する消費電力を測定により求めている。

$$P_{ICN} = P_{CPU}(l) + P_{NIC}(l') + P_{Idle} \quad (1)$$



* Toru HASEGAWA

1958年4月生
京都大学 工学部 情報工学専攻修了
現在、大阪大学 大学院情報科学研究科
情報ネットワーク学専攻 情報流通プラットフォーム講座 教授 博士(情報学)
情報ネットワーク
TEL: 06-6879-4550
FAX: 06-6879-4554
E-mail: t-hasegawa@ist.osaka-u.ac.jp

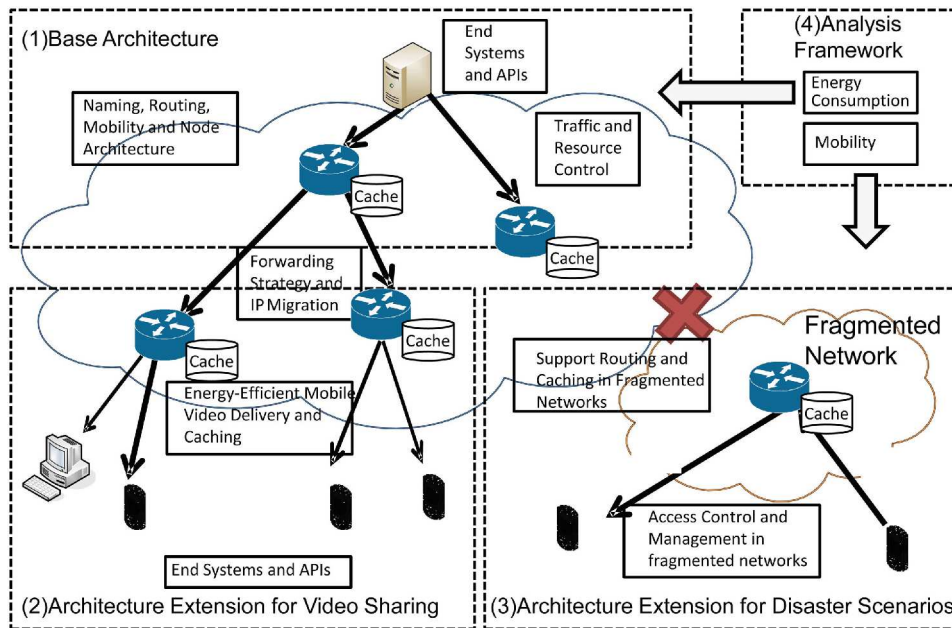


図1 GreenICN アーキテクチャ

さらに、キャッシング機能の最適配置法を開発する第一歩として、4段の完全二分木のネットワークを想定して、各ICNルータのキャッシュの状態遷移をマルコフ連鎖でモデル化することで、各ICNルータでのキャッシュヒット率を解析的に導出した。キャッシュヒット率の解析結果とICNルータの消費電力モデルを用いて、ネットワーク全体の消費電力を導出している。これまでの解析では、全ICNルータでキャッシング機能を実施した場合、ICN機能による消費電力の増加と、トラフィック削減による消費電力削減が相殺されることが判明しており、現在、解析結果に基づいて、キャッシュ機能の最適配置法を設計している。

3. 大規模IoTネットワーク向けのスケーラブルな経路制御アーキテクチャ

モバイルインタネットの普及は著しく、2020年には世界に設置された1兆個を超えるIoTデバイスから収集した実世界データをビッグデータ解析し、交通トラフィック制御、避難誘導など現在は人手を要する様々な社会アプリケーションを自動化することが期待されている。

IoTデバイス（以降、単にデバイスと呼ぶ）は、WiFi等のローカル通信でシンクと呼ばれる装置を介して、モバイルインタネットに収容される。現在

のモバイルインタネットでは、シンクやデバイスが移動しても通信を継続できるよう、図2(a)に示すように、アンカーと呼ばれるノードが、シンク/デバイスに割り当てた識別子を、現在のアドレスに変換するマッピング表を維持している。これにより、シンク/デバイスが移動してもアンカーからのトンネルを用いてメッセージを転送可能である。しかしながら、シンクが異なるアクセスポイントに移動（マクロ移動）する度や、一方、デバイスが異なるシンクに移動（マイクロ移動）する度毎に、アンカーに新しいシンク/デバイスのアドレスを知らせる必要がある。シンクとデバイスの総数をNとすると、識別子とアドレスのマッピング保持に必要なメモリ量は $O(N)$ で、更新の通信量も $O(N)$ である。総数Nは現在の携帯電話の数億台から1兆台のデバイスへの増加が予想される将来、アンカーでのマッピング表の維持管理は困難になることが予想される。

これに対して、当研究室では、図2(b)に示すように、ボトルネックとなるアンカーを不要とする経路制御アーキテクチャを検討している。具体的には、宛先のシンク/デバイス群への経路を集約することで、経路表の状態数及び更新の通信量を削減可能な新しい経路制御技術を研究している。(1) マクロ移動管理に対しては、出力回線に宛先が存在することを確率的に示す弱い状態を導入して、経路表にシ

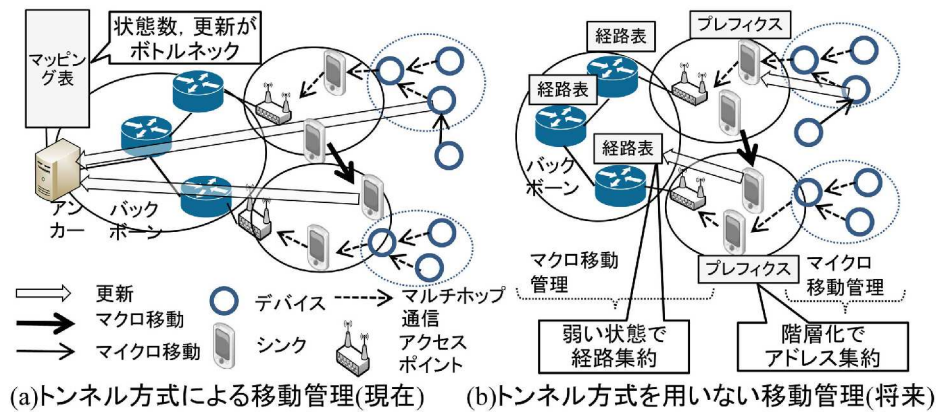


図2 現在, 及び目指すべき経路制御アーキテクチャ

リンク/デバイスの宛先毎のエントリを持たせる必要を無くす。一方, (2) マイクロ移動管理に対しては, マルチホップ通信環境において, クラスタ化したデバイスの集合に, 共通のプレフィックスを持つ階層化したアドレスを割り当てることで経路の集約を可能とする。これまでに, 弱い状態をブルームフィルタにより実現する手法を開発し, メモリ量と通信量を削減できることを明らかにしている [4]。現在, 米国大学と共同で, マイクロ移動管理の開発に取り組んでいる。

4. ネットワーク制御技術

ネットワークは大規模化・複雑化の一途を辿っており, 従来のアプローチでは制御が困難になりつつある。一方で, 自然界, とりわけ生物界では, 個の単純な振る舞いによって, 複雑かつ大規模な系が理路整然と構成されている。そこで, これらの振る舞いや原理を解明する生物学, 脳科学, 物理学などの学術分野との融合によるネットワークの新たな制御パラダイム創造を目指している。例えば, 大脳皮質や細胞の発生に重要な役割を果たしているグラディエントを応用したネットワーク制御, また, 環境の変化に適応的に振る舞う生物の重要な役割を果たしている生体ゆらぎを応用したネットワーク制御方法の研究に取り組んでいる。

5. おわりに

本稿では, 将来インターネットアーキテクチャの実現に向けた, 当研究室の取り組みの内, ICNを用いた省電力ネットワーキング, 大規模IoTネットワーク向けのスケーラブルな経路制御アーキテクチャ, ならびに生物学, 脳科学, 物理学などの学術分野との融合によるネットワークの新たな制御技術を紹介した。今後は, 個々の技術の研究開発に加えて, 全体を統合したアーキテクチャの実現を目指す予定である。

参考文献

- [1] <http://www.greenicn.org/>
- [2] 長谷川, 杉山, 田上, 柳生, 内山, 浅見, “省エネルギー指向情報センタリックネットワーキングに向けて,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J97-B, No.10, pp.1-11, 2014年10月。
- [3] T. Hasegawa, Y. Nakai, K. Ohsugi, J. Takemasa, Y. Koizumi and I. Psaras, “Empirically modeling how a multicore software ICN router and an ICN network consume power,” in Proceedings of ACM ICN 2014, pp. 157-166, Sept. 2014.
- [4] M. Ishino, Y. Koizumi and T. Hasegawa, “A Study on a Routing - Based Mobility Management Architecture for IoT Devices,” in Proceedings of IEEE ICNP 2014 (PhD Forum), pp.498-500, Oct. 2014.