

ICNにおけるビデオストリーミングの ネットワーク全体および端末の省エネ制御について

広瀬真里枝^{†1} 柏原和行^{†1} 堀田智之^{†1}
中村健一^{†2} 中里秀則^{†3} 甲藤二郎^{†3}

概要：コンテンツ配信の新しいアーキテクチャとして、Information Centric Networking (ICN)が注目されている。ビデオストリーミング技術である MPEG-DASH は ICN の名前スキームを活用し、ダウンロードするビデオセグメントを指定できる為、ICN と親和性が高く注目されている。しかし、複数端末が各々セグメントを指定するとキャッシュが激増するという課題があった。そこで、我々は Interest Aggregation と Content Pre-fetch を活用しセグメントキャッシュ量の適正化を行い、ネットワーク全体および端末の消費電力を低減させる方法について提案する。

キーワード：Information Centric Networking(ICN), Interest Aggregation, Bulky download, MPEG-DASH, 省エネ

Energy Saving Control of End-Devices and Networks for Video Streaming over ICN

MARIE HIROSE^{†1} KAZUYUKI KASHIWABARA^{†1} TOMOYUKI HOTTA^{†1}
KENICHI NAKAMURA^{†2} HIDENORI NAKAZATO^{†3} JIRO KATTO^{†3}

Abstract: Information Centric Networking (ICN) is getting a lot of attention as a new architecture of content delivery. MPEG-DASH is a technology of video streaming, which has a high affinity for ICN because it makes good use of a naming scheme of ICN and selects video segments it want to download. But, there is a problem that caches of ICN nodes explode when each device chooses different segments. So, we propose a method to reduce power consumption of end-devices and in-network caches by optimizing the segment cache size by making use of Interest Aggregation and Content Pre-Fetch.

Keywords: Information Centric Networking(ICN), Interest Aggregation, Bulky download, MPEG-DASH, Energy-saving

1. はじめに

近年 YouTube, Netflix, Amazon など多くのオンラインサービスが一般的になり、膨大なデジタルコンテンツがネットワークを介してユーザに配信されている。そして、世界の年間インターネットトラフィックは 2016 年には 1 ゼタバイト、2019 年には 2 ゼタバイトを超え、その中でも動画が総トラフィックの 80% になることが予想されている[1]。その為、より効果的なネットワーキング、特にビデオコンテンツ配信の実現が求められている。そこで、本稿では従来のホスト指向ネットワーキングに代わる新世代のネットワークとして注目されているコンテンツ指向のネットワーキングにおいて、無線でネットワークに接続する End-Device (スマートフォン等の移動端末で、バッテリー残量に注意する必要があるもの) がビデオストリーミングコンテンツ視聴時に消費する無線部分の電力と、ネットワーク全体でビデオコンテンツのキャッシュ量増加により消費する電力を低減する方法を提案する。

2. 関連技術と課題

2.1 関連技術

(1) Information Centric Networking(ICN)

ICN は従来のホスト指向のパラダイムではなく、情報指向のパラダイム上で検討されている新しいネットワークアーキテクチャである[2]。インターネットトラフィックのうち、その多くを占めるコンテンツを取り扱う上でホスト指向パラダイムのネットワークが持つ課題を解決するパラダイムとして活発に研究が行われており、研究プロジェクトとしては、CCNx[3]やNDNx[4]などが知られている。

ICN におけるデータ配信は、Interest と Data というメッセージタイプの交換によって行われる。要求するコンテンツ名を含めた Interest がネットワークへブロードキャストされ、一致するプレフィックスを含む Data を所持するノードが返答する。ネットワークに流れるコンテンツは、ICN 上のノードにキャッシュされ、同じコンテンツを要求するユーザは近傍のノードからコンテンツを取得することが出来るので、ネットワークのトラフィックを抑えながら、高速なデータ通信が可能となる。

^{†1} パナソニック アドバンスドテクノロジー株式会社
Panasonic Advanced Technology Development Co.,Ltd.

^{†2} パナソニック株式会社
Panasonic Corporation

^{†3} 早稲田大学
Waseda University

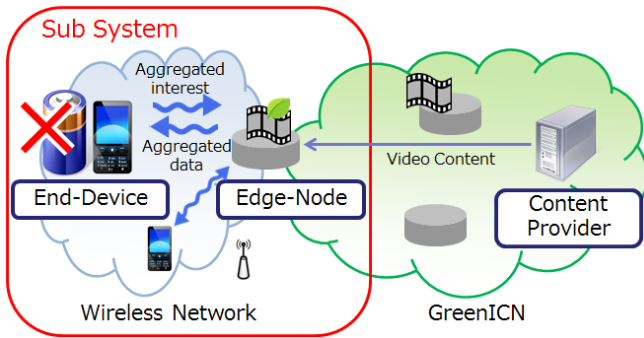


図 1 システム構成

Figure 1 System Architecture

表 1 システムを構成するコンポーネント

Table 1 Components of our system

コンポーネント	説明
End-Device	GreenICN に無線で接続する移動端末（スマートフォン等、電池残量を気にかける必要があるもの）で、ビデオストリーミング番組を視聴している。電池残量が低下すると、Bulky download 機能を有効にすることで、無線デバイスの遊休時間を増やし無線部分の消費電力を低減させる。
Edge-Node	GreenICN の端（Edge）に存在し、End-Device と無線で接続しているノードで、ICN を流れるビデオコンテンツを、省エネで利用出来る形に変換してキャッシュする。本システムでは特に、ビデオストリーミング番組の MPEG-DASH 変換、Pre-Fetch と Interest Aggregation を活用した Bulky download 機能を提供する。
GreenICN	省エネを考慮したアーキテクチャを持つ ICN

(2) MPEG Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (MPEG-DASH)

MPEG-DASH はマルチメディアコンテンツをストリーミング配信する為の ISO 国際標準規格である[5][6]。マルチメディアファイルを数秒単位で分割した Media Segment と初期化情報を有する Initialization Segment から構成されており、ネットワーク帯域が変動することを想定し、様々な属性（ターゲットビットレート、画角などの組み合わせ）の Media Segment を持つことが可能である。MPEG-DASH クライアント機能を持つメディアプレイヤーは、これらの Segment 情報が記述された MPD (The Media Presentation Description) ファイルを取得・解析し、その時点のネットワーク帯域に適した Segment を逐次選択・ダウンロードしながら再生する。

MPEG-DASH は名前の通り、HTTP プロトコルを使った動画配信プロトコルの規格であるが、MPD ファイルは XML を用いて階層構造で記述されており、ICN の名前スキームと親和性が高い為、ICN におけるビデオストリーミング技術としても注目されている。

2.2 関連研究と課題

筆者らは ICN における MPEG-DASH ダウンロード時の省エネに関わる研究を進めている[7][8]。

しかしながら、ICN に接続する End-Device が無線でコンテンツをダウンロードする際に、ネットワーク全体を考慮した消費電力を削減する取り組みについての研究は十分とはいえない。

また、MPEG-DASH は ICN と高い親和性を持つ一方、1つのマルチメディアコンテンツが複数の属性（ターゲットビットレート、画角など）のセグメントを持つ特性から、ネットワークに属する複数の End-Device が各々でセグメントを選択、ダウンロードすると ICN 上のキャッシュが膨大になってしまう可能性が課題として挙げられる。

そこで、ICN における MPEG-DASH ビデオストリーミングにおいて、ネットワーク全体及び End-Device の双方で消費電力を抑えられる方法について研究を行った。

3. End-Device におけるアプローチ

3.1 システム構成

ICN の端（Edge）に設置された Edge-Node と無線接続した End-Device がビデオストリーミング番組を視聴している際に、End-Device の無線消費電力と、ネットワーク全体のキャッシュ肥大による消費電力増加を抑えるシステムについて、その構成を図 1、表 1 に示す。

無線の消費電力は、End-Device の無線デバイス遊休時間をなるべく長く取ることで削減が可能である。その為、Edge-Node は Pre-Fetch と Interest Aggregation を活用し、End-Device が要求する複数データの一括ダウンロード (Bulky download 機能) を可能とする。End-Device は、自身の Play バッファサイズを考慮して Bulky download 機能を有効化しデータを一括ダウンロードすることで、次のダウンロードまでの時間(無線デバイス遊休時間)が長くなり、無線消費電力が削減可能となる。また、この時 Edge-Node でビデオコンテンツのオリジナルデータを Pre-Fetch し、MPEG-DASH 変換を行うことにより、ネットワーク上の中間ノードに膨大な MPEG-DASH セグメントがキャッシュされることを防ぎ、ネットワーク全体でキャッシュが肥大することによる消費電力を抑制する。

本システムが提供する Bulky download 機能について、コンポーネントの制御概要を以下に示す。

1. Edge-Node は時系列に管理されたビデオストリームを事前に少し先(想定出来る End-Device から要求される量(一般的なメディアプレイヤーの Play バッファ最大値など)以上)まで取得しておく (Pre-Fetch)
2. End-Device は Play バッファ分のコンテンツを1つの Interest に記述し、Edge-Node に要求する (Interest Aggregation)

- Edge-Node は Interest を受けて、Pre-Fetch していたデータを一括して提供する
- End-Device は一括で取得したビデオデータを再生する (Bulky download)

また、本システムでは End-device の電池残量がある値(システムが持つ値、あるいはユーザによって設定された値)になったことを検知して省エネ制御を開始することにより、End-Device の総駆動時間延長を実現させる。

本システムが有効になるビデオストリーミング配信のユースケース例を挙げる。満員電車やレストランなど、多くのユーザが密集している環境に Edge-Node が一つ設置されていて、ユーザが持つ複数台の End-Device が無線で接続されている時に、End-Device のうち何台かが同じビデオストリーミング番組を視聴しているというユースケースにおいてシステム全体として効果的な省エネが期待出来る。

3.2 我々の取り組み

我々は End-Device における消費電力についてモデル化を行い、モデル毎の省エネ機能を制御するモジュールを開発している[9]。抽出したモデルを電力消費モデルと呼び、その詳細を表 2 に示す。

本システムの End-Device は、無線を利用したビデオストリーミング配信時の省エネを実現するものである為、電力消費モデルのうち、Peh_com を省エネ制御の Scope とする。

次に、システム構成(図 1)に示した Sub System を構成する End-Device と Edge-Node について、内部コンポーネントを定義した。内部コンポーネントを図 2、表 3 に示す。内部コンポーネントがそれぞれの役割の上で機能を連携し、本システムを実現する。Bulky download 機能における内部コンポーネントの制御概要を以下に示す。

- Green Library は Battery System からバッテリー情報を取得、省エネ制御条件と比較し条件を満たす時、省エネ制御方式に従い Media Framework と GreenICN Core に対して省エネ制御開始を指示する
- Media Framework はユーザから指示されたビデオストリーミング番組を再生するが、省エネ制御を指示されている場合、GreenICN Core から Play バッファ分のデータを一括して取得して動画再生を行う
- GreenICN Core は GreenICN に Interest を送出し、Data を受信しているが、省エネ制御を指示された場合、複数コンテンツを1つに纏めて記述した Interest を送出し、Data として複数コンテンツを一括して受信する

本システムにおける省エネ制御条件はバッテリー残量とし、その値はユーザが任意に設定できる。(例:バッテリー残量が 60%以下になると省エネ制御を開始)

表 2 End-Device の電力消費モデル
 Table 2 Power consumption model of End-Device

Abbreviations	Definitions
P_{sys}	Summation of energy consumption.
P_e	Energy consumption at end-systems
P_{eh}	Energy consumption of hardware at end-system
$P_{eh\ com}$	Energy consumption of communication
$P_{eh\ cs}$	Energy consumption of caching (memory read and write)
$P_{eh\ comp}$	Energy consumption of computation (decoding audio and video)
$P_{eh\ disp}$	Energy consumption of display the multimedia presentation
P_{eapp}	Energy consumption of application at end-system.
P_{icn}	Energy consumption at ICN.
P_{icnh}	Energy consumption of hardware such as router and storage.
P_{icnet}	Energy consumption of networking at ICN.
P_{icnapp}	Energy consumption of application oriented caching/routing at ICN.

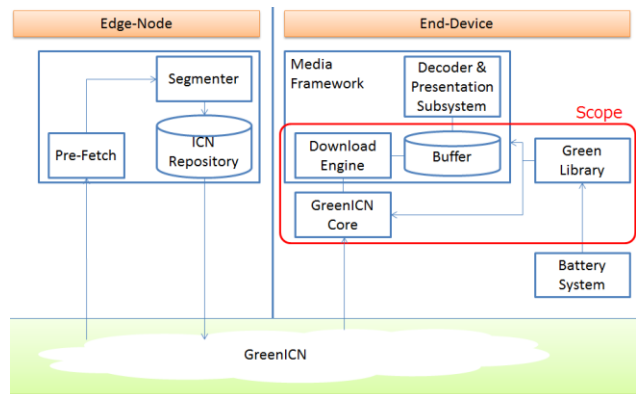


図 2 システムの内部コンポーネントと我々の Scope

Figure 2 Sub components and scope of this paper

表 3 内部コンポーネント定義
 Table 3 Sub components of our system

コンポーネント	説明
Green Library	Battery System からバッテリー情報を取得し省エネ制御条件と比較する 省エネ制御条件を満たす時省エネ制御方式に従い関連コンポーネントへ省エネ制御を要求する
Media Framework	マルチメディアコンテンツの制御を行う 本システムでは特に MPEG-DASH のクライアント機能を持つ
GreenICN Core	ICN 関連機能を持つ 省エネダウンロード機能が有効になるとダウンロードする複数コンテンツを含む一つの Interest を生成しネットワークに要求する
Battery System	End-Device のバッテリー関連機能を持つ
Pre-Fetch	時系列で管理されているストリーミングデータを予め取得する
Segmenter	取得したビデオデータを MPEG-DASH に変換する
ICN Repository	ICN のリポジトリでコンテンツ (Segmenter が変換した MPEG-DASH コンテンツ) を保持する

また、省エネ制御方式は Wi-Fi 通信時の省エネを実現する方式として Bulky download 制御を選択可能で、関連コンポーネントへ必要な制御を指示する機能が紐付けられている。

4. Wi-Fi で Bulky download 制御をした場合の省エネ評価実験

前章までで説明した我々の提案するシステムのうち、End-Device の省エネ効果について、実験環境を構築し検証を行った。

4.1 実験環境

構築した実験環境を図 3、表 4 に示す。内部コンポーネント毎に表 4 の記述通り、新規モジュールの開発や、オープンソースの適用を行い、それらを結合して動作させることで実験環境を構築している。

End-Device は一般的な移動端末として、Android のタブレット (Nexus10, Android4.2)を用いた。また、Edge-Node は Linux PC (Ubuntu 14.04 64bit)を用い、NDNx のリポジトリを構築してテストコンテンツを格納した。End-Device (Android 端末)と Edge-Node (Linux PC)は同じ Wi-Fi ネットワークで繋がっている。End-Device から送信される Interest は、WebSocket フレームとして Edge-Node へ送信され、Edge-Node にある WS Proxy Server が NDN パケットを取り出して NDNx で一致する Data をリポジトリから検索し、返答する際も NDN パケットを WebSocket フレーム化して送信する。

End-device の消費電力の計測には PowerTutor[10][11]を利用している。PowerTutor は頻繁なモニタリングを行っており、自身が消費する電力が大きいため Battery System として課題はあるが、今回は Wi-Fi の消費電力の傾向を計測する目的の為に利用している。PowerTutor で計測した Nexus10 の Wi-Fi の待機電力は平均 38(mW)程度であった。

4.2 実験結果

実験は MPEG-DASH コンテンツ (再生時間は約 430 秒、表 5 に示す 4 つの属性毎に 217 個のセグメントを持つ) に対し、Bulky download のサイズを 2/5/10/20 秒にして動画再生を行い、Peh_com の消費電力 (動画再生中の平均値 (mW)) を計測した。この結果を図 4 に示す。このテストコンテンツでは、Bulk サイズが 2 秒分の時に平均 276(mW)かかっていた消費電力が、5 秒分では 237(mW)、10 秒分では 203(mW)、20 秒分では 201(mW)と Bulk サイズが大きくなる毎に消費電力が低減した。

また、2/10/20 秒分の Bulky download 実行時に、時間の経過と Peh_com の消費電力の傾向を測定した結果を図 5、図 6、図 7 に示す。この時の Wi-Fi デバイス遊休時間 (待機電力である 38(mW)になっている時間) を抽出した結果、Bulky download のサイズを 2 秒分にした時には約 262 秒、10 秒分では約 292 秒、20 秒分では 314 秒と、Bulk サイズが大きくなる毎に増加した。2 秒分と 10 秒分では遊休時間に約 30 秒の違いがあるが、10 秒分と 20 秒分では約 20 秒と、Bulk サイズが大きくなると遊休時間の増分が少なくなっている。

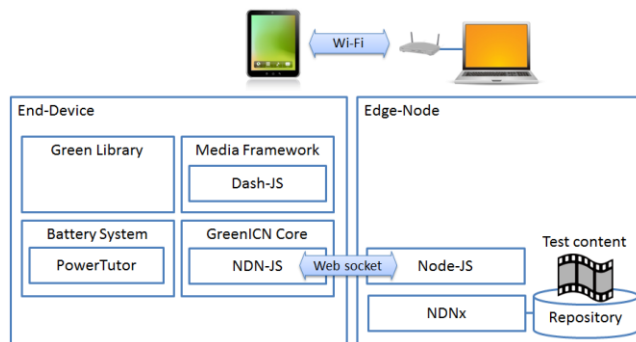


図 3 実験環境

Figure 3 Experiment environment

表 4 実験環境

Table 4 Experiment environment

コンポーネント	説明
Green Library	我々の開発した省エネモジュールのうち必要な機能をサブセットとして抽出し Android 端末向けに実装 評価に必要なデータを Battery System から取得
Media Framework	オープンソースである DASH-JS[12]を利用 Android 端末上の動画プレゼンテーションは Google Chrome を利用
GreenICN Core	オープンソースである NDNx[13], NDN-JS, Web socket, Node-JS を利用
Battery System	オープンソースである PowerTutor を利用し Green Library からの要求に応じてバッテリー残量と Wi-Fi の消費電力の平均値 (mW) を提供できるように改造

表 5 テストコンテンツ (MPEG-DASH)

Table 5 Test content (MPEG-DASH)

No.	mimeType	frame size	bandwidth (byte)
1	video/mp4	1920* 1080	265353
2	video/mp4	1920* 1080	403353
3	video/mp4	1920* 1080	596314
4	video/mp4	1920* 1080	992740

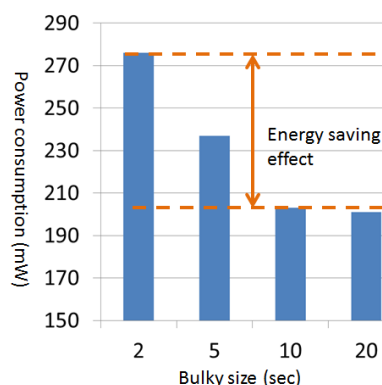


図 4 Bulky download による省エネ効果

Figure 4 Energy saving effect by Bulky download

4.3 評価と考察

計測結果によって、Wi-Fi デバイスの遊休時間をなるべく長くすることにより、消費電力が抑えられることがわかった。Bulk サイズごとの Wi-Fi デバイスの遊休時間と平均消費電力の関係を図 8 に示す。Bulk サイズが 20 秒分と 10 秒分で平均消費電力にあまり違いが無いのは 2 秒分の時程 Wi-Fi デバイスの Rising/Falling time が多くない為、電力ロスが無視出来るからではないかと推測する。今回の実験では、ビデオ再生時の End-Device が Wi-Fi で消費する電力を約 30%削減することが出来た。このことから、ICN がネットワークの持つ機能として我々の提案する方法を取り入れることで、ビデオストリーミング配信を無線で利用する End-Device のエネルギー消費量を抑えられると言える。また、ビデオコンテンツは Edge-Node まで 1 つのコンテンツとしてネットワークを流れ、Edge-Node にて省エネに適した形に変換 (MPEG-DASH 変換など) を行うので、課題として認識していた MPEG-DASH ビデオコンテンツがそのまま ICN に流れた際に想定されるネットワーク全体で膨大なキャッシュを行うことによって消費される電力も抑制することが可能と考えられる。

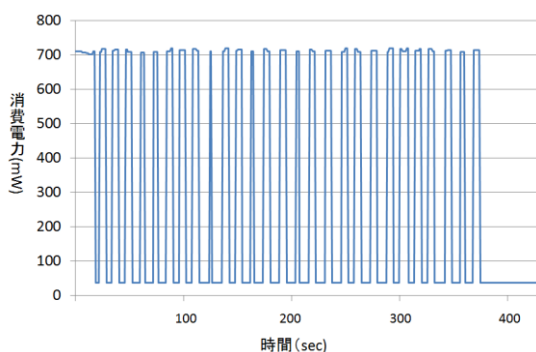


図 5 Bulk サイズが 2(sec)時の消費電力
 Figure 5 Power consumption at bulk size is 2 (sec)

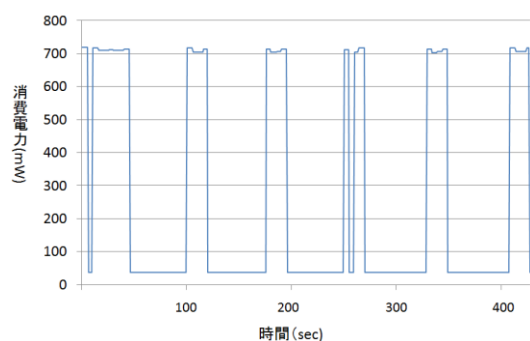


図 6 Bulk サイズが 10(sec)時の消費電力
 Figure 6 Power consumption at bulk size is 10 (sec)

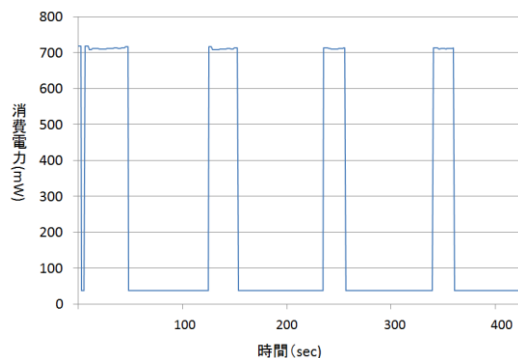


図 7 Bulk サイズが 20(sec)時の消費電力
 Figure 7 Power consumption at bulk size is 20 (sec)

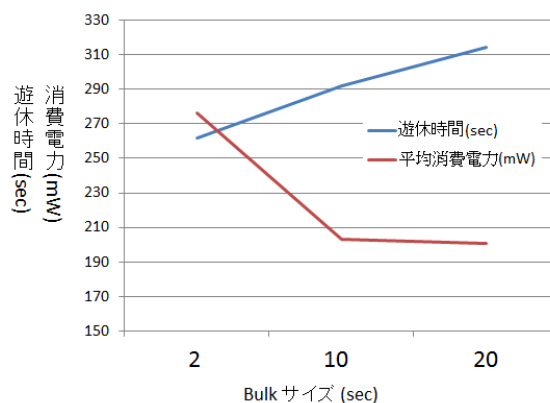


図 8 Wi-Fi デバイスの遊休時間と消費電力の関係
 Figure 8 Relationship between idle time of Wi-Fi device and power consumption

5. おわりに

本稿では、ICN の Edge-Node に無線接続している End-Device におけるビデオストリーミング配信を想定した省エネルギーな無線ダウンロードと、ネットワーク全体のキャッシュを適正化する方法の研究、その実証に向けた実験環境、実験結果について示した。この結果から、我々の提案する方法を取り入れることで、省エネ効果が期待出来ると考える。

今後の課題としては、最適な Bulk サイズの検討、Interest Aggregation の構成、End-Device におけるプラットフォームの違いを配慮した省エネ制御、Peh_com 以外の電力消費モデルと組み合わせた省エネ制御最適化、省エネ制御条件と省エネ制御方式の充実化と組み合わせによる省エネ効果検証、モニタリングなどに消費する電力を抑えた Battery System, また Edge-Node における Pre-Fetch の仕組みや省エネコンテンツ変換機能などが挙げられる。

謝辞 本研究成果は、独立法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究 167 課題ウ「コンテンツ指向ネットワークングによる省エネルギーコンテンツ配信の研究開発」により得られたものである。

参考文献

- 1) Cisco Visual Networking Index (VNI)
http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-ng-n-ip-next-generation-network/white_paper_c11-481360.html
- 2) B. Ahlgren, et al., "A Survey of Information-Centric Networking," IEEE Comm. Magazine, vol. 50, no. 7, pp. 26-36, 2012
- 3) V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, "Networking named content," Proceedings of CoNEXT 2009, December 1-4, 2009, pp. 1-12
- 4) L. Zhang, A. Afanasyev, J. Burke, V. Jacobson, K. Claffy, P. Crowley, C. Papadopoulos, L. Wang, and B. Zhang, "Named data networking," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 44, issue 3, Jul. 2014.
- 5) MPEG-DASH. ISO/IEC 23009-1
- 6) Christopher Mueller, Stefan Lederer, and Christian Timmerer, "ITEC - Dynamic Adaptive Streaming over HTTP," [online]:
<http://www-itec.aau.at/dash>
- 7) Daiki Aoki, Sakiko Takenaka, Kenji Kanai, Jiro Katto, Hidenori Nakazato and Marie Hirose: "Energy Consumption Evaluation of ICN Toward PowerSaving Video Delivery," IEEE GreenCom 2015, Dec.2015 (to be published)
- 8) Yuya Ishizu, Kenji Kanai, Jiro Katto, Hidenori Nakazato and Marie Hirose: "EnergyEfficient Video Streaming over Named Data Networking using Interest Aggregation and Playout Buffer Control," IEEE GreenCom 2015, Dec.2015 (to be published)
- 9) Xuefeng Bai, Marie Hirose, Fumio Natsu, Hiroshi Aoki, Tomoyuki Hotta, Takahiro Kato, Kenichi Nakamura, "End-System Approaches to Energy Consumption Efficiency for Content Distribution Service in Information-Centric Networking," 2013 First International Symposium on Computing and Networking(CANDAR 2013), Matsuyama, Japan, December 4-6 2013
- 10) L Zhang, B Tiwana, Z Qian, Z Wang, R P. Dick, Z. Morley Mao, L Yang, "Accurate Online Power Estimation and Automatic Battery Behavior Based Power Model Generation for Smartphones"
- 11) "PowerTutor," <http://powertutor.org>.
- 12) DASH Industry Forum [online]: <http://dashif.org/>
- 13) NDN Specification Documentation. [online]:
<http://named-data.net/wp-content/uploads/2013/11/packetformat.pdf>