

JGN-X ネットワーク仮想化基盤を利用した消費エネルギー最適化データ指向型ネットワーキングの研究開発

岡本 聡 松原大典 山中直明

新世代ネットワークでは、データの配信及び取得に適した新しい通信方式として情報指向ネットワーク技術 (ICN) が有望視されている。JGN-X ネットワーク仮想化基盤を利用した新しい仮想網上の ICN として、仮想網資源をユーザが制御する技術や、網内処理技術を活用して、サーバやユーザの移動に対応して ICN の配信経路を最適化すると同時に、転送消費エネルギーを最小化するように網資源を制御することにチャレンジした。

1 まえがき

将来のネットワークは、スマートフォン、車載機器、センサなどの多様な無線端末がネットワークに接続する高度に分散したモバイル環境が主流になると予想される。また、ネットワークは従来の電話サービスに代表されるような端末間の通信ではなく、Web アプリケーションや映像配信に代表されるような“コンテンツデータ”の配信及び取得が主要な用途となると予想される。このような“データの取得”に着目したネットワークの使い方に適した通信方式が情報指向ネットワーク技術 (Information-centric Networking: ICN) と呼ばれている^[1]。ICN の基本原理は、ユーザが取得希望のコンテンツ名を利用してネットワークに取得要求を送出し、要求への応答としてコンテンツが渡されるものである。ICN を実現する技術として、米国では Content-centric Networking (CCN)^[2] が、欧州では Network of Information (NetInf)^[3] が、日本ではデータ指向型ネットワーク (Data-centric Network: DCN)^[4] の研究が進められている。ICN の実現においては、①効率の良いコンテンツデータ発見技術 (オーバーレイネットワーク技術)、②コンテンツデータをネットワーク内で自由自在に組み合わせたり、新たなコンテンツデータを創出するアンダーレイネットワーク技術、③オーバーレイとアンダーレイが協調してコンテンツデータ転送エネルギーを最小化する技術、の3点の技術要素の開発が重要である。本稿では、これらの要素技術の実現に向けた技術開発として、JGN-X が提供するネットワーク仮想化基盤上での DCN の実現及びネットワーク内に存在しないコンテンツをネットワーク内処理を利用して創生する拡張型 DCN、さらには、仮想網と実網が協調してコンテンツ転送消費エネルギーを最適化する E³-DCN (Energy Efficient

and Enhanced-type Data-centric Network) のネットワーク仮想化基盤での実現に向けた取組を紹介する。

2 データ指向型ネットワーキング技術

2.1 CCN と NetInf

CCN/NetInf の概要を説明する。ICN (CCN/NetInf/DCN) に共通することは、位置依存型アドレス (IP アドレス) ではなく、コンテンツの名前 (ID) を用いて通信することである。これにより端末は通信相手の位置を意識する必要がない。また、中継ノードがコンテンツを保持 (キャッシュ) してリレーすることで、端末間の End-to-End の通信が不要となることも特長である。また、コンテンツ自体を暗号化し、中継ノードではコンテンツ自身の認証を行って正当性を確認することで、端末間の通信路の認証・暗号化を不要としている。

CCN と NetInf の最大の違いは、ルーティング方式にある。NetInf は名前解決サービスを利用することで、フラットな ID から階層的なアドレスへの変換を行い、ルーティングはアドレスを用いて実行するのに対し、CCN は階層型 ID を利用して ID によりルーティングを行う。両者とも、大量のコンテンツ ID に対応するための工夫が重要である。

CCN では、ID による経路情報を中継ノードにて保持するために、コンテンツ数が増大すると経路情報が膨大になる。階層化 ID を利用し、プリフィックスを用いた集約を行うことで経路情報を圧縮することが想定されているが、コンテンツを提供するサーバやユーザの移動により、同じプリフィックスを持った異なる ID が広範囲に分散配置される状況においては、集約が実行できず経路情報が圧縮されない。

一方、NetInf では、中継ノードの経路情報保持と

は別に名前解決サービスを導入する。中継ノードが保持する経路情報は大幅に低減されるが、コンテンツの変更(追加・移動・更新・削除)の度に名前解決サービスの情報を更新することが必要となる。また、通信の開始の度に名前解決サービスへの問い合わせが大量に発生するため、名前解決サービスは十分な処理能力が必要となる。また、問い合わせのための通信遅延が避けられない。

2.2 DCN

DCNは、名前解決サービスを利用せずにCCNの課題であったコンテンツ移動によるプリフィックス集約が困難になることの解消を目指す方式である。DCNでは、同じ名前空間(CCNのプリフィックスに相当)のIDに対する経路情報の集約を最大化するために、集約ノードという経路の集合ポイントを名前空間ごとに配置し、集約ノードまでのルーティングは階層型IDによって行われる。また、過去の通信の経路情報を中継ノードにて記録することで、集約ノードを経由しなくても目的地に到達できる最適経路を形成する。つまり、DCNは、移動を前提としたM2M(Machine-to-Machine)通信に対応するためにCCNを拡張し、NetInfが持つスケーラビリティを、外部の名前解決サーバではなく分散配置された集約ノードで実現するものである。

図1にDCNの構成例を示す。階層型ネットワークにおいて、中継ノード(Node11~15、Node111~122)がそれぞれのネットワークセグメントに配置されている。名前空間を管理する中継ノード(集約ノードNode11~15)は、最上位のネットワークセグメント(NW1)の配下のネットワークセグメント(NW11、NW12、…、NW15)に配置されており、それぞれの中継ノードはお互いのノードIDと(IP)アドレスと、管理している名前空間を把握している。名前空間は、例えばDNS(Domain Name System)などで管理されている特定のドメイン名(例:nict.go.jp)の配下にある全てのURL(例:www.nict.go.jp/data/research-

report/)を指す。図1中の①から④は、DCNの動作手順を表している。

- ① データの登録: NW111にあるHost_AがData_AをNode111に登録する。Node111は、Data_Aを保存し、Data_AをNode11に登録する。Node11は、Data_Aの経路情報(Data_A → Node111)を記録する。Node11はData_AのID(例:www.nict.go.jp/data/research-report/)の集約ノードがNode14であることを知っているため、Node14に対して、Data_Aに登録する。Node14はData_Aの経路情報(Data_A → Node11)を記録する。
- ② データの移動: Host_AがNW112に移動し、同じData_AのIDを持つ更新データをNode112に登録し、Node112はData_Aを保存する。Node112は、Data_Aの情報をNode11に登録する。Node11は、Data_Aに対する経路情報を(Data_A → Node112)に更新する。これにより、Data_Aの最新データはNode112に保存されたデータとなる。Host_AとData_Aの移動は、Node11の管理ドメイン内であるため、Node14への登録は行わない。Data_Aは、Node111とNode112の2つ存在するが、コンテンツは同一であるため、問題にはならない。同一コンテンツでない場合は、IDを新規に取得して登録することが必要である。
- ③ データの取得: NW121にあるHost_BがData_A取得をNode121に要求する。Node121は、Data_Aの取得を上位中継ノードであるNode12経由で、プリフィックスからNode14にあることを判断してNode14に要求する。Node14はData_Aの経路情報(Data_A → Node11)を参照し、Data_A取得をNode11に要求する。Node11は、Data_Aの経路情報(Data_A → Node112)を参照し、Data_A取得をNode112に要求する。Node112は、Data_Aを取得要求と同一経路を経由してHost_Bまで返送する。この際に、Node12は返送メッセージ内にある経路情報を参照して、Data_Aに対する経路情報を最適化された経路情報(Data_A → Node11)に更新する。
- ④ 最適化経路によるデータ取得: NW122にあるHost_CがData_A取得をNode122に要求する。Node122は、Data_A取得をNode12に要求し、Node12は経路情報(Data_A → Node11)を参照してData_A取得をNode11に要求する。以降は、③と同様にしてData_Aを取得する。

DCNの特長を2つ示す。a) 移動のローカル処理:

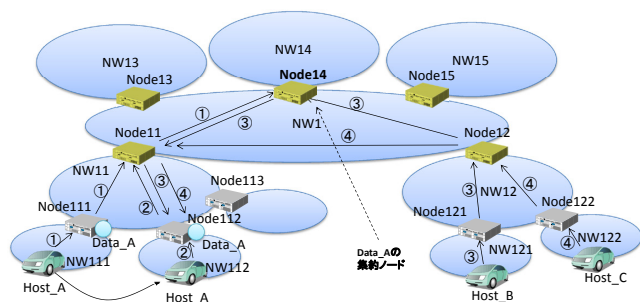


図1 DCNの動作説明図

②において、Host_A の移動の際、Host_A が属する名前ドメインの中継ノードである Node14 へは登録が送信されない。これにより、Node14 の処理負荷が低減できると同時に、登録時間を短縮できる。b) 経路の最適化：③において、Node12 が最適化された経路情報に更新することで、④において Node12 は Node14 に取得要求を送信しない。これにより、Node14 の処理負荷が低減できると同時に、取得時間を短縮できる。

DCN に関する詳細な定量的評価は文献^[9]に委ねるが、CCN と比較して中継ノードの負荷を最大 75 % 低下させることが可能であり、経路最適化によって転送遅延時間の 30 % 低減も可能となることが報告されている。

DCN がターゲットとするスケーラビリティを紹介する。2020 年時点での端末数を 500 億台、集約ノードの数を 1,600 万台（これはインターネットの DNS サーバ数の同等）、ネットワーク全体のデータ数を 1 兆個（これは 2012 年の Web ページ数の 20 倍）とする。この場合、集約ノード 1 台あたり、平均 3,125 台の端末と、62,500 個のデータを管理することになる。1 データあたりの経路情報を 16 B とし、経路情報を 8 GB の RAM に記録する場合、5 億の経路を記録することができる。これは、1 台あたりのデータ数の 8,000 倍となる。従業員数 4 万人の大企業からのアクセスは、約 1 万アクセス / 分と予測されており^[6]、1 アクセスあたり 1 経路が集約ノードに記録されると仮定すると、1 か月分の経路情報を集約ノードに記憶することができ、最適化経路での運用が常時行えることを意味している。つまり、現状の技術を用いてターゲットとする DCN を実現することが十分に可能であると言える。

2.3 拡張型 DCN

CCN/NetInf/DCN は、ネットワーク上に既に登録済のコンテンツあるいはデータのみを取り扱うように設計されている。未登録のものに対しては、NetInf ではアドレス変換エラーが戻され、CCN/DCN では ID 未発見エラーが戻される。拡張型 DCN (Enhanced-type DCN: E-DCN) では、ユーザの要求クエリに合致するデータコンテンツが見つからない場合、ネットワークがデータコンテンツ素材を発見し、データコンテンツ素材をネットワーク内で処理（加工）して要求されたデータコンテンツを生成する。例えば、DVD 画質の英語のビデオ映像をデータコンテンツ素材として、ブルーレイ (HD) 画質の日本語のビデオに変換してユーザに提供する。どのように、データ素材と処理を自動的にネットワークが生成するのかはまだまだ研究の余地が残されているが、例えば、要求クエ

りに加工後のコンテンツのパラメータ（例えば映像規格、言語）を明示させることも一案である。このような、データコンテンツ素材から一連の処理をネットワーク内で行って所望のデータコンテンツを生成するフレームワークを uGrid (Ubiquitous Grid Networking Environment)^[7] と呼ぶ。uGrid においては、データコンテンツ素材やネットワーク内での処理をサービスパーツと定義し、データコンテンツ素材から複数のサービスパーツを経由して所望のデータコンテンツを作成するまでの順路決定（サービスルーティング）及び、ネットワーク内のサービスパーツ及び転送パス資源予約（サービスシグナリング）の 2 つの機構によりユーザにデータコンテンツが提供される。E-DCN は、DCN に uGrid の特徴を持たせたものである。E-DCN は、uGrid に相当するデータ創生用ネットワークと DCN に相当するデータ転送ネットワークの 2 つのネットワークを組み合わせる構成される。

3 消費エネルギー最適化を実現する拡張型 DCN (E³-DCN)

3.1 コンテンツ転送消費エネルギー最適化ルーティング

E-DCN に、コンテンツ転送の際の消費エネルギーを最適化するルーティング手法を組み込んだものが E³-DCN である。コンテンツ転送の消費エネルギー最適化ルーティング手法としては、コンテンツが機器を通過する際の単位スイッチングエネルギー [J/bit] にコンテンツサイズ (bit) を掛算し、エネルギーが最小となる経路を選択することが広く行われている。E³-DCN では、JGN-X のネットワーク仮想化基盤上に構築された仮想網での消費エネルギー最適化を行うために、従来とは異なる手法を取り入れている。

- I. E³-DCN ノード間のリンク種別として、パケット交換型リンクと回線（パス）交換型リンクを与える。パケット交換型リンクは、ノード間に設定される仮想リンクが IP ルータやイーサネットスイッチといったパケット・フレームスイッチを用いて物理リンクを共有して資源割当されるものであり、回線交換型リンクは、仮想リンクが波長資源を占有した光パススイッチによって資源割当されるものである。
- II. 仮想網を提供するプラットフォームも、積極的に省エネルギー化を行う。現在の JGN-X ネットワーク仮想化基盤は、仮想網の資源割当は事前設計で静的に割当てられるが、将来的には仮想網のトポロジを保持したまま、割当資源の収容変更を動的に行うことで、省エネルギー

化、資源利用率の向上を図ることが予想される。
E³-DCNでは、動的な収容変更を仮定する。

III. 将来的に、回線交換型リンクは、未使用時にはデバイスの電源を落とすことで省エネルギー化が可能。これは、回線交換リンクをできるだけ使わないことで省エネルギー化を目指すことを意味する。又、回線交換リンクは光パスの設定・解除に時間が必要となるため、利用時間はコンテンツ転送時間+設定・解除時間となる。さらに、占有型のため、1パケットの転送でも[全容量×利用時間]分の転送エネルギーが必要となる。

IV. 共通部分の消費エネルギーの比例配分。これまで、ネットワーク全体が単一システムであることを想定していたため共通部分の消費エネルギーは考慮する必要がなかったが、仮想網環境下では他の仮想網利用者と資源を共有している場合と、他の仮想網が利用していないため資源を占有できている場合とではシステムに与えられる共通部の消費エネルギーが異なってくるため、比例配分を行って転送消費エネルギー評価を行う。これは、他者が利用している資源を積極的に共用することで、IIの動的資源割当てでの省エネルギー化を指向するものである。

以上をふまえて、消費エネルギー最適化ルーティングを実行するための、パケット交換型リンクを用いた場合の転送エネルギー計算と回線交換型リンクを用いた場合の転送エネルギー計算を式(1)、(2)で与えた。

$$J_{\text{Packet}} = \{E_{\text{swp}} \times D \times S_p\} + \{2 \times (B_{\text{vp}}/B_{\text{pp}}) \times P_{\text{portp}} \times (S_p + 1) \times (D/B_{\text{vp}} + RTT)\} + \{\sum P_{\text{commonp}} \times B_{\text{vp}} / (B_{\text{vp}} + L_p \times B_{\text{maxp}}) \times (D/B_{\text{vp}} + RTT)\} \quad (1)$$

$$J_{\text{Circuit}} = \{E_{\text{swc}} \times D \times S_c\} + \{2 \times P_{\text{portc}} \times (S_c + 1) \times (D/B_{\text{vc}} + RTT + \alpha)\} + \{\sum P_{\text{commonc}} \times B_{\text{vc}} / (B_{\text{vc}} + L_c \times B_{\text{maxc}}) \times (D/B_{\text{vc}} + RTT + \alpha)\} \quad (2)$$

E_{swp} と E_{swc} は、パケットスイッチと光パススイッチの単位スイッチングエネルギー [J/bit] であり、 D は転送データサイズ [bit]、 S_p と S_c は、リンク中のパケットスイッチ数と光パススイッチ数、 B_{vp} と B_{vc} は、パケット交換型仮想リンクと回線交換型仮想リンクの容量 [bit/s]、 B_{pp} と B_{pc} は、それぞれの仮想リンクが収容される物理ポートの容量 [bit/s]、 P_{portp} と P_{portc} は、それぞれ物理ポートの消費電力 [W] と波長多重ポートの波長当りの消費電力 [W/λ]、 RTT は、E³-DCN ノード間の往復遅延時間 [s]、 α は、光パス設定・解除時間 [s]、 P_{commonp} と P_{commonc} は、パケットスイッチと光パススイッチの共通部の消費電力 [W]、 Σ は、それぞれ S_p と S_c に関する総和、 L_p と L_c は、他の仮想網による背景トラヒックの割合、 B_{maxp} と B_{maxc} は、パケットスイッチと光パススイッチの最大容量、である。

E³-DCN ノード間の転送は、式(1)と式(2)を用いて、

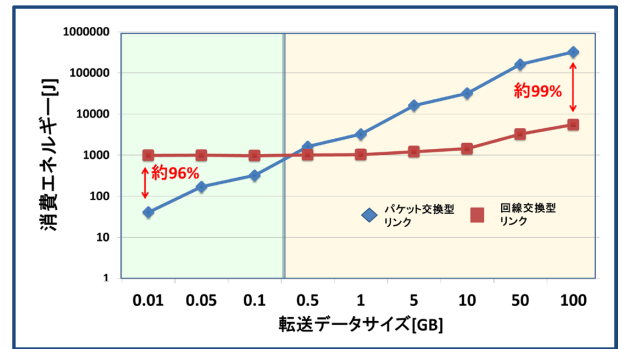


図2 転送データサイズによる転送消費エネルギーの変化

データサイズ D 、リンクのスイッチ数 S 、背景トラヒック量 L によってパケット交換リンクと回線交換リンクのどちらを利用することで省エネルギーとなるかを判定して使用するリンクを決定する。 B_{pp} と B_{pc} を 40 Gbps、 E_{swp} と E_{swc} を、それぞれ 10 nJ/bit、0.5 nJ/bit、 S_p と S_c を平均 2.5 + 2 台と平均 1 + 2 台とし、 B_{maxp} と B_{maxc} を 320 Gbps、2560 Gbps、 P_{commonp} と P_{commonc} を 225 W、200 W、 P_{portp} と P_{portc} を 300 W、6.5 W/λ、 L を 25% ~ 75% でランダムに与え、 α を 5 s として転送データサイズを 0.01 GB から 100 GB まで変化させた場合の平均転送エネルギーを計算した結果を図2に示す。

図2からは、転送データサイズ約 300 MB よりも大きい場合は回線交換型リンクが有利となることが分かる。図2で示したのは1リンクの平均であるが、ネットワーク全体でのシミュレーションでは、パケット交換リンクのみを利用する場合に比べて最大 40% 程度の消費電力削減が可能となることも報告されている^[8]。境界となる大きさは、 α 、 S に大きく依存する。また、パラメータとして与えた各数値は物理的なネットワーク構成装置の情報が必要であり、仮想網のユーザが入手することは困難である。そこで、E³-DCN においては、ネットワーク API (Application Programming Interface) を設け、JGN-X ネットワーク仮想化基盤の管理システムと連携することでパラメータを入手することにチャレンジした。

3.2 ネットワーク API

仮想網は、仮想ノードと仮想リンクより構成される。仮想ノードには、計算機資源を利用可能な仮想サーバノード、仮想 IP ルータや仮想イーサネットスイッチを実現する仮想転送ノードが存在する。ネットワーク仮想化基盤上に構築される DCN と E³-DCN は、仮想サーバノードに、(DCN の) 中継ノードが設置され、DCN においては仮想リンクで中継ノード間が接続され、E³-DCN においては仮想リンクと仮想転送ノードを用いて中継ノード間が接続される。仮想網内にお

る仮想リンクは、通信容量と接続先が定義されたものであり、実ネットワークにおいて、どのようなリンクや経路を通っているのか、何台の装置を経由しているのかという情報は得られない。このような情報は全ての仮想網利用者にとって必要と言えるものではないが、E³-DCNのように実ネットワークの混雑状況を知りたい、パケット交換型仮想リンクと回線交換型仮想リンクを使い分けたいといった利用者にとっては有用なものである。また、ネットワークを自己組織化するような仮想網利用者においては、仮想リンクや仮想ノードの動的な生成・消滅、遅延時間制約や容量制約を持った仮想リンクの生成要求といった、運用中の仮想網とネットワーク仮想化基盤とのインタラクション要求が高まることが要求される。このようなインタラクションを実現するためのインタフェースがネットワーク API である。ネットワーク API 実現の第一歩として、E³-DCN においては、ネットワーク仮想化基盤の管理システムである SNC (service network controller) 及び TNC (transport network controller) からの情報取得のためのインタフェースを共同開発した。

4 JGN-X 上での DCN 及び E³-DCN 実証実験

4.1 DCN 実証実験

図3に示すような DCN テストベッドを JGN-X のネットワーク仮想化基盤を用いて構築した。ネットワーク仮想化基盤の7ノードを利用して、37ノードの DCN 仮想ノード実現し、336台の仮想端末を接続した。

ネットワークトポロジは、一般的な ISP バックボーンネットワークの配置を模擬した5階層のネットワークであり、第3階層の DCN ノードを集約ノードとした。図3(b)は、データ転送トポロジを示したものであり、集約ノード間には直接接続するリンクは設けられていない。しかしながら、制御ネットワークとしては、IP 等を用いて全集約ノードを隣接ノードとし、経路取得のためのメッセージ交換は制御ネットワーク内で行うことでノードのメッセージ転送負荷を低減させる。このトポロジの平均次数は集約ノード間の隣接のための論理リンクも含めて 5.19 (最大 11) であり、一般的な IP バックボーンネットワークの平均次数 2.14 ~ 5.02 とほぼ同等である。

実証実験では、車両の走行情報の配信・取得を想定して、走行速度 60 km の車両が直径 15 km の無線エリアを移動し走行情報を 20 秒間隔で登録・取得するケースを想定した。取得仮想端末 320 台、登録仮想端末 16 台が移動しながら DCN を介して通信を行う。取得端末及び登録端末は、第5階層の 16 台の DCN ノードに一様分布で接続し、900 秒に 1 回の頻度で隣の DCN ノードに Node501 → 502 → … → 516 → 501 と移動する。登録端末からは、20 秒間隔でデータを接続している DCN ノードに登録する。登録するデータ ID は、端末ごとに異なる名前空間 (www.ex1.com ~ www.ex16.com) のデータを、1 ノードあたりデータ ID 数 25 種類をランダムに登録する。各集約ノード Node310 ~ Node308 はそれぞれ異なる名前空間を 2 つずつ管理する。取得端末は、20 秒間隔でランダムなデータ ID の取得を送信する。

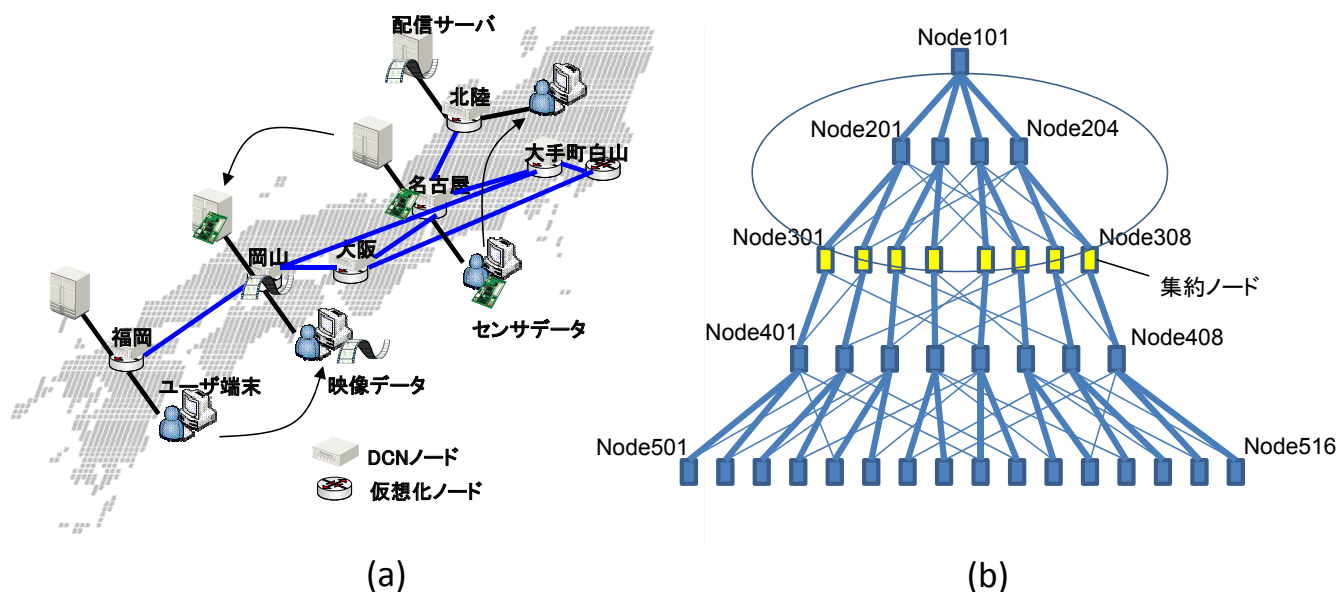


図3 DCN 実験テストベッド。(a) 広域実験系、(b) 37 ノード DCN トポロジ

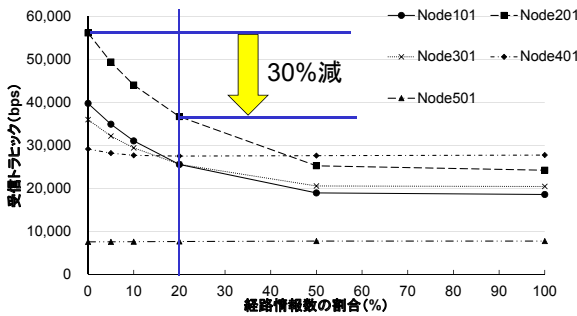


図4 中継ノードの経路情報所持率に対するトラフィック負荷

実証実験結果の一例を図4に示す。DCN 中継ノードが記録する経路情報が増加するにつれ、最適化経路でのデータ取得量が増加するため、上位階層のノードであるNode101、201、301の負荷が減少する。取得率20%の状態では、Node201の負荷が30%低減できている。なお、2.2で述べたように、集約ノードのターゲット数は1,600万であり、集約ノード間にフルメッシュの論理リンクを設けることは不可能と言える。このため、より大規模なDCNではノード負荷の低減率は下がるのが想定される。

4.2 E³-DCN 実証実験

4.2.1 E³-DCN の JGN-X への実装

E³-DCN は、E³-DCN ノード間をパケット交換型リンクと回線交換型リンクの2種類のリンクを用いて接続する。JGN-X のネットワーク仮想化基盤が提供する仮想網であるスライスを3個利用して1つのE³-DCNを構築することとした。図5にE³-DCN のアーキテクチャ概要を示す。第1のスライスは、制御スライス(control-plane slice: CPS)であり、仮想サーバード(slow path)がE³-DCN ノード本体を、仮想リンクがE³-DCN 制御網を提供する。第2のスライスは、回線交換スライス(circuit switching slice: CSS)であり、回線交換型リンクを提供する。ただし、現状のJGN-Xにおいては、回線交換型の仮想網の提供機能が無いため、仮想転送ノードのインタフェース間をブリッジ接続し、擬似的に光パススイッチを実現することで回線交換型リンクの提供を行う。第3のスライスは、パケット交換スライス(packet switching slice: PSS)であり、パケット交換型リンクを提供する。スライス内の仮想転送ノードは、イーサネットスイッチとして動作し、インタフェース間でイーサネットフレームの転送機能を提供する。E³-DCN を実現するためには、CPS 中のE³-DCN ノード本体とCSSが提供する回線交換型リンク、PSSが提供するパケット交換型リンクを接続する必要がある。そのためにネットワーク仮想化基盤が提供するNetwork aCommodator 装置(NC)を経由

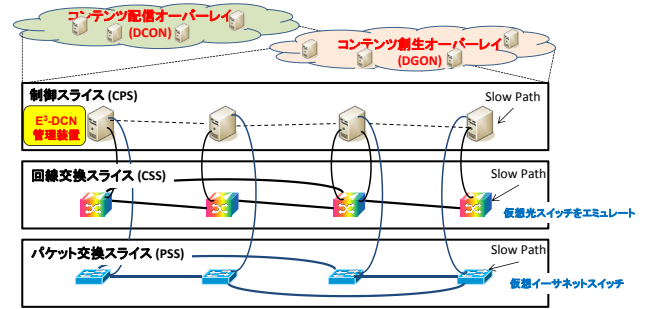


図5 E³-DCN のアーキテクチャ概要

して、E³-DCN ノードが、CSS が提供する回線交換型リンク(CSS リンク)、及びパケット交換型リンク(PSS リンク)を通じて、隣接E³-DCN とコンテンツの交換を実現する。E³-DCN が提供するE-DCN機能は、E³-DCN ノードを接続して構成される2つのオーバーレイである、コンテンツ転送オーバーレイ(data-centric overlay network: DCON)とコンテンツ創生オーバーレイ(data-generation overlay network: DGON)により実現される。

実証実験においては、ネットワーク仮想化基盤上に4ノード(福岡、大阪、大手町、名古屋)、NCからJGN-X L2サービスを利用して仮想リンクを延伸して慶應大学内に設置した3ノードの合計7ノードのE³-DCNを構築し、映像のDCONによる配信、ビデオ映像のDGONによる加工といった機能を2015年3月の電子情報通信学会ネットワーク仮想化時限研究会においてライブデモンストレーションした(図6)。実証実験においてはネットワークAPIを経由して式(1)、(2)の計算に必要なパラメータを全て取得可能であるとし、取得するコンテンツデータの大きさに対応して利用されるリンクが異なることを示した。

4.2.2 Network API 実証実験

Network API 実証は、JGN-X 白山に備わっているSNC、TNCのエミュレータに対して、CPS内の仮想ノードからアクセスし、仮想網を提供しているネットワーク資源の物理構成情報(XMLで記述)から、抽象化された情報を入手することにチャレンジした。

ネットワーク仮想化の基本思想として、スライスは閉鎖系であるということが存在し、外部へのアクセスは困難である、また、SNC、TNCはユーザに開放することを前提としていないという根本的な課題を解決する必要がある。幸いにも、スライスの仮想ノードへは、スライス運用者の開発者端末(DT)からZ-Planeと呼ばれるIP網でのアクセスが可能、またDTからネットワーク仮想化基盤の運用ポータルへのアクセスのためのIP網であるY-Planeが利用可能であり、SNC、TNCはY-Plane内に存在していることが確認

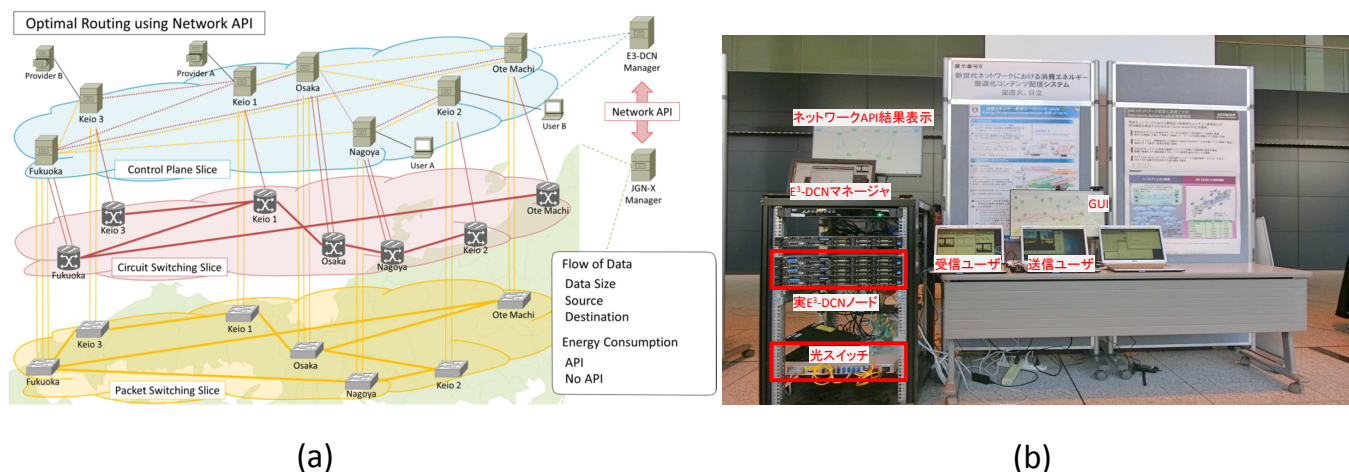


図6 E3-DCN実証デモンストレーション。(a) GUI画面、(b) 実験系の写真

できた。この関係を利用して、DT → Z-Plane → 仮想ノード → Z-Plane → Proxy → Y-Plane → SNC, TNC となる通信経路を実現するための Proxy を開発することで Network API 用の通信が実現可能となる。仮想ノードから Z-Plane へ直接通信することはできないため、DT から一度 Z-Plane にログインすることが必要(条件1)。仮想ノードから Proxy にログインすることが必要(条件2)。SNC、TNC へのアクセスは認証が必要(条件3)。これら3条件によって、仮想網内からの無秩序なアクセスは防御され、セキュアな通信路が確立された。

実証実験においては、3.1 で示した必要パラメータを全て入手することはできなかった。入手できたのは、最大容量 B_p 、スイッチ数 S 、仮想ノード提供システムの負荷等であった。全てのパラメータを入手するためには、JGN-X 全体を管理している管理システムにアクセスすることが必要であり、SNC、TNC からさらに管理システムにアクセスするための API が必要となることが判明した。

5 まとめ

将来のネットワークの使われ方に対応するためのデータ指向型ネットワーク技術の確立を目指して、DCN 及び E³-DCN の JGN-X 上での実証実験を行い、基本技術が実現できていることを確認した。DCN の実用化に向けた運用管理技術の開発、ネットワーク API を活用した新たな仮想網利用技術の展開が今後の課題となる。

【参考文献】

- 1 Information-Centric Networking Research Group (ICNRG) : <http://irtf.org/icnrg>
- 2 V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, "Networking Named Content," Proc. in CoNEXT '09, pp. 1-12., Dec. 2009.
- 3 C. Dannewitz, D. Kutscher, B. Ohlman, S. Farrell, B. Ahlgren, and H. Karl, "Network of Information (NetInf) – An information-centric networking architecture," Elsevier Journal Computer Communications, Vol. 36, Issue 7, pp. 721-735, Apr. 2013.
- 4 D. Matsubara, H. Yabusaki, S. Okamoto, N. Yamanaka, and T. Takahashi, "Proposal of Data-centric Network for Mobile and Dynamic Machine-to-Machine Communication," IEICE Trans. on Commun., Vol. E96-B, No. 11, pp. 2795-2806, Nov. 2013.
- 5 D. Matsubara, S. Okamoto, N. Yamanaka, and T. Takahashi, "Evaluation of Information-Centric Networking in Mobile and Distributed Environment Using Wide-Area Test Bed," Proc. APNOMS2014, TS-3-1, Sept. 2014.
- 6 A. Wolman, G. M. Voelker, N. Sharma, N. Cardwell, A. Karlin, and H. M. Levy, "On the scale and performance of cooperative Web proxy caching," 17th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP'99), pp.16-31, Dec. 1999.
- 7 岡本聡, 荒川豊, 山中直明, "ユビキタスグリッドネットワーク環境 (uGrid) の提案," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-7-15, 2007.
- 8 S. Zhang, H. Takeshita, S. Okamoto, and N. Yamanaka, "Energy Efficient and Enhanced-type Data-centric Network Architecture," International Journal of Computer & Information Science (IJCIS), Vol.16, No.1, pp. 60-70, March 2015.



岡本 聡 (おかもと さとる)

慶應義塾先端科学技術研究センター研究員／
電気通信大学情報理工学研究所特任教授
博士(工学)
フォトニックネットワーク、ネットワーク
制御、ネットワークアーキテクチャ



松原大典 (まつばら だいすけ)

日立製作所情報通信イノベーションセンタ
主任研究員
博士(情報学)
新世代ネットワーク、IoT、M2M通信システム



山中直明 (やまなか なおあき)

慶應義塾大学理工学部教授
博士(工学)
フォトリックネットワーク、ネットワーク
プロトコル、スマートネットワーク