Vol.2015-DPS-162 No.29
Vol.2015-CSEC-68 No.29
2015/3/5

SDN 技術とコグニティブ無線技術を基盤とした ネバー・ダイ・ネットワークの開発

佐藤剛至[†1]　内田法彦[†2]　柴田義孝[†1]

東日本大震災に伴う大津波被害により，多くの既存ネットワークシステムは様々な要因で機能を停止した．そのような状況の中で，衛星 IP 通信システムや携帯電話網，無線 LAN が被災地に投入され，ネットワークの仮復旧に効果を発揮した．我々は来るべき南海トラフ大地震に備えるため，これらの経験を踏まえた新たなネットワークシステムである Never Die Network(NDN) System を開発する．本稿では，複数の異なるアクセス網を備える本研究の NDN System において，刻々と変化する被災地のスループットやパケットロス等の通信状態に追従し，システムが常に最適なパケットフローを自律的に導出するための手法を提案し，プロトタイプシステムの構築を行うことで提案手法の評価を行った．

Development of Software Defined and Cognitive Wireless Network Based Never Die Network System

GOSHI SATO[†1]　NORIKI UCHIDA[†2]　YOSHITAKA SHIBATA[†1]

By large tsunami damage due to the Great East Japan Earthquake, many existing network system stops functioning in various factors. And even in such a situation, satellite IP communication system and mobile telephone network, wireless LAN has been effective for temporary recovery of disaster area network. We order to prepare for the coming the Nankai Trough large earthquake, to develop Never Die Network (NDN) System is a new network system in light of these experiences. In this paper, we explain the NDN System of the present study with multiple of different access networks. This system it is possible to measure network performance, to follow the communication state such as throughput and packet loss of the disaster area to be constantly changing. We propose a method to autonomously derive the optimal packet flow, to evaluate the proposed method by the construction of the prototype system.

1. はじめに

平成 23 年に発生した東日本大震災に伴う大津波災害により，被災地の情報通信手段の状況に以下の様な問題が発生した[1].

- 有線通信網の破断
- 携帯網の故障や輻輳
- 防災行政無線の故障
- 通信機器の故障
- 通信機器の通常用及び非常用電源の故障
- 情報孤立地域の発生

このような逼迫した状況の中においても，衛星 IP 通信システムや移動型の携帯電話網，無線 LAN，アドホックネットワーク等の複数の異なる通信網が被災地に投入され，ネットワークの仮復旧に大きな効果を発揮した．また，岩手県立大学内のネットワークにおいては，予め 2 つの冗長なインターネット回線をマルチホームするネットワークシステムと，非常用の発電機を備えていたため，震災発生直後からインターネット通信を維持し続けた．

そこで我々は来るべき南海トラフ地震等の巨大地震に備えるため，これらの経験を踏まえた新たなネットワークシステムである Never Die Network(NDN) System を開発する．本研究において開発する NDN System は以下の特徴を持つ.

- 複数の異なるアクセス網を利用する
- 刻々と変化する被災地の通信状態に追従する
- 情報孤立地域へネットワークを拡張可能
- 自立電源を持つ

本稿では 3 章で NDN System を構成する要素技術であるコグニティブ無線技術と Software Defined Network(SDN)技術を説明し，4 章で刻々と変化する被災地のスループットやパケットロス等の通信状態に追従し，システムが常に最適なパケットフローを自律的に導出するための手法を提案する．提案手法の実装アーキテクチャと実証のためのプロトタイプシステムに関して，5 章と 6 章でそれぞれ述べる．

2. 目的

本研究の目的は，東日本大震災の教訓を踏まえ，災害時のいかなる状況においても通信を可能とする新たなネットワークシステムである Never Die Network(NDN) System を開発することである．本研究における NDN System の開発要件は，次の通りである．

(1) 物理的に冗長なハードウェア構成

†1 岩手県立大学
Iwate Prefectural University, Japan.
†2 埼玉工業大学
Saitama Institute of Technology, Japan.

東日本大震災での経験に基づき，複数の異なるインターネットアクセス網（以下，アクセス網と呼称）を収容可能とする．収容するアクセス網は有線・無線を問わない．

(2)　物理的な故障・切断，輻輳等によるネットワーク性能変化の把握

被災地内におけるスループットやパケットロス率等のネットワーク性能や，故障・切断等のネットワークを取り巻く環境は時々刻々と変化するため，それらに追従する必要がある．そのため，本研究では実際に収容するすべてのアクセス網のネットワーク性能・状態を監視する．

(3)　物理故障・輻輳等の回避のためのデータフロー制御

ネットワーク性能の監視の結果判明した物理故障や輻輳等によるネットワーク性能の低下を回避するため，迅速かつ効果的なデータフロー制御を提案し導入する．

(4)　アドホック通信技術によるネットワーク拡張

情報孤立地域へネットワークを拡張するため，アドホック通信技術を利用してマルチホップネットワークを構築可能とする．

(5)　自立電源の供給

災害発生直後から少なくとも 72 時間は連続稼働可能な自立電源を備える．

3.　関連技術

3.1　コグニティブ無線技術

コグニティブ無線とは，端末や基地局などが周囲の電波状況をチェックし，その状況に応じて利用者に気づかせないまま，周波数や通信方式を変えて通信する技術である[2]．これにより，一般利用者が異種のアクセス網を組み合わせ，これらを通信環境（通信距離，地形，アンテナ，メディア等）に合わせ，電波強度，スループット，パケットロス率，遅延時間を計測しながら，最適値を決定し，周波数や無線方式を動的に切り替えて通信することが可能となる．

本研究においては，図 1 のように，複数のアクセス網を，その時々の通信状況においてシステムが最適なものを利用するために用いる．

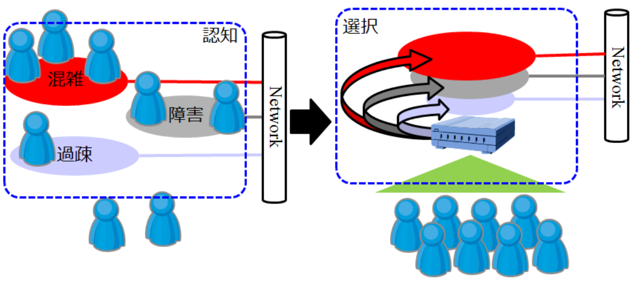

図 1　本研究におけるコグニティブ無線技術

3.2　Software Defined Network 技術

Software Defined Network(SDN)技術は，ネットワーク機器をプログラミングで開発可能とする技術である[3]．本技術の特徴は，従来のネットワークデバイスでは同一のプレーンに実装されていた意思決定機能とパケット転送機能を分離した点である．意思決定を集中制御プレーンへ移行したことにより，ネットワークリソース全体の能力や特性を認識し，それに基づいたパケット転送定義をプログラム可能としている．

また，もうひとつの特徴として，クロスレイヤ情報をネットワーク定義に取り扱うことが可能な点が挙げられる．これは，MAC アドレスから IP アドレス，L4 ポート番号をネットワーク定義ルールに利用することはもちろん，例えば図 2 のように，ブラウザ上に実装されたユーザインターフェースから直接経路情報を編集したり，外部データベース内に蓄積された情報からネットワーク定義を導き出したりすることが可能である．

図 2　SDN におけるクロスレイヤ制御概念図

本研究では，ネットワーク性能の監視結果を蓄積したデータベースから情報を参照し，算出された結果を直接ネットワークの定義変更に利用するために用いる．

4.　研究概要

4.1　NDN System 概要

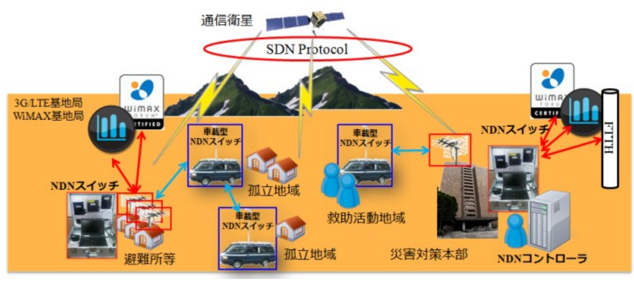

図 3　NDN System 概要図

本研究で開発する NDN System の概要図を図 3 に示す．本システムは，NDN スイッチ，車載型 NDN スイッチ，NDN コントローラの 3 つの要素で構成される．

(1)　NDN スイッチ

NDN スイッチは，避難所や災害対策本部等の重要な拠点に配置され，固定的なインターネットゲートウェイとして動作するものである．物理的に冗長なハードウェア構成として，3G/LTE や WiMAX，FTTH や衛星通信などのその場で

利用可能な複数の異なるアクセス網を SDN 技術によって収容する．そして，コグニティブ無線技術により周期的に各アクセス網のネットワーク性能を監視し，その結果をパケットフローにフィードバックする．また，独立して供給可能な自立電源を備える．

(2) 車載型 NDN スイッチ

車載型 NDN スイッチは，インターネットゲートウェイとしての NDN スイッチと異なり，救助活動場所等の情報孤立地域と NDN スイッチ間のネットワーク接続を提供するものである．アドホック通信技術により地理的に離れた場所へマルチホップネットワークを構築する．なお，本稿では車載型 NDN スイッチに関する説明は割愛する．

(3) NDN コントローラ

NDN コントローラは，衛星通信網を介して常に全ての NDN スイッチと接続し，ネットワーク性能監視結果のフィードバックを受けてネットワーク機器の障害・ネットワーク輻輳を把握した上で適切な制御命令を発するものである．

4.2 NDN システムにおけるネットワーク性能測定

本システムはネットワーク性能の変化を検知するために，一定間隔で NDN スイッチと，本システム用にインターネット上に配置したネットワーク計測用のサーバ間でネットワーク性能の測定監視を行う．測定する対象は以下の 5 つである．

- 上りスループット
- 下りスループット
- 平均遅延時間
- パケットロス率
- 平均ジッタ

スループットを測定する手法には，パケットが通過するルータに計測機能を実装することで算出する Passive 方式と，計測するエンド端末間でプローブパケットをやりとりして計測する Active 方式がある．このうち，Passive 方式はパケットが通過するすべてのルータに計測機能を実装できることが前提となるため，複数の管理主体からなるインターネットを介する本システムでは実現が困難である．よって本システムでは Active 方式を採用する．Active 方式のスループット測定手法には，iperf に代表される大量のパケット挿入による可用帯域幅測定手法と，pathchirp[4]に代表されるパケットトレイン方式による可用帯域幅推定手法がある．この内，iperf のように大量のパケットを挿入する方式では，本システムで構築する NDN スイッチによって提供されるネットワークそのものに影響を与えてしまうため，本システムではパケットトレイン方式によるスループット監視を採用する．

遅延時間・パケットロス率・ジッタの計測には，送信側タイムスタンプ Ts を付与した UDP パケットを一定の間隔 Ti で n 個送信し，受信側のタイムスタンプ Tr と照合することで求める．具体的には以下の式で算出する．

- 平均遅延時間

$$\frac{\sum(Tr - Ts)}{n}$$

- パケットロス率

$$\frac{n'}{n}$$

(n'は受信が成功した UDP パケットの数)

- ジッタ

$$\frac{\sum(Ti' - Ti)}{n}$$

(Ti'は UDP パケット受信間隔)

4.3 通信状態に基づくパケットフロー決定手法

4.3.1 提案手法概要

本研究で構築する NDN スイッチは，データを送出するためのアクセス網を複数収容している．本システムでは，収容されているすべてのアクセス網の監視の結果得られたパラメータ値に基づき，後述する拡張 AHP によって各アクセス網の優先度を算出することで，実際に経路として利用するアクセス網を決定する．

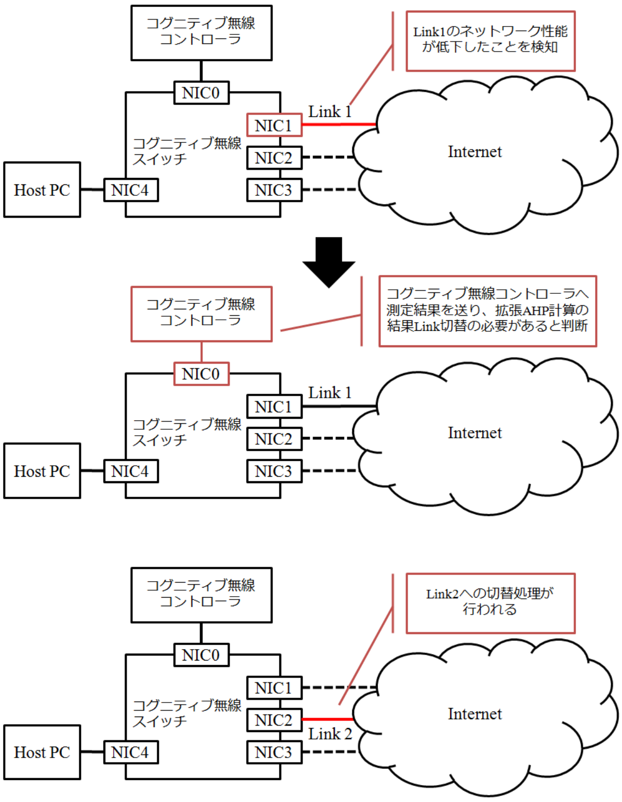

図 4 アクセス網選択手法概要

4.3.2 AHP 法概要

アクセス網切り替え時における意思決定に用いる AHP についてここで詳述する．AHP は意思決定法の一つで，複雑な決定を行う際に利用される構造的手法であり，Thomas L. Satty[5]らによって 1970 年代に提唱された．AHP におい

ては，決定問題の構造化を行うことで，要素の定量化と代替案の評価が可能である．その計算過程は，問題の階層化，評価基準の一対比較評価，代替案の一対比較評価，総合値の算出の順で行われる．

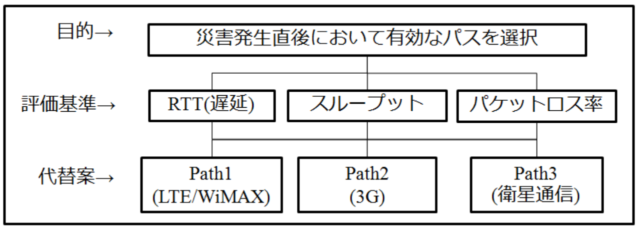

図 5 AHP の階層例

例えば，図 5 は，本稿における AHP による階層化の例であり，AHP によって隣接したノード間で最適な無線リンクを選択する場合である．AHP による問題解決を行う場合には，まず問題の階層化を行う．本研究では，特にユーザ要求等のポリシーを考慮することで,「接続性を確保する状態で最適な無線リンクを選択する(災害発生直後において有効)」，あるいは「ビデオ通信において最適な無線リンクを選択する(災害沈静化後において有効)」などの目的を設定する．次に評価基準では，ユーザ要求に最も適したリンクを選択するために，適切なネットワーク状態量(スループット，遅延，パケットロス率(PER)等)を設定し，後述する評価基準の一対比較評価により優先度を決定していく．そして代替案では各種無線アクセス網の計測値から優先度を決定する．

階層化がなされた後，AHP では，評価基準の優先度を算出する．例えば，スループット，遅延などのネットワーク性能に関しての評価基準における優先度の算出方法を以下に述べていく．評価基準の個数を n とし，それぞれの重み(weight)を $w_1, w_2, \ldots w_n$ とすると，各要素における一対比較は $a_{ij} = w_i/w_j$ と表現される．また，これらの一対比較は以下の一対比較行列 A のように表現できる．

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \cdots & \frac{w_1}{w_j} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_i}{w_1} & \cdots & \frac{w_i}{w_j} & \cdots & \frac{w_i}{w_n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \cdots & \frac{w_n}{w_j} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

そして正規化された行列 A_{norm} は以下のように表現できる．

$$A_{norm} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1j} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ b_{i1} & \cdots & b_{ij} & \cdots & b_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nj} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^{n} a_{kj}} \quad (3)$$

また，評価基準における各優先度 p_i は次の方程式により算出される．

$$p_i = \frac{\sum_{l=1}^{n} b_{il}}{n} \quad (4)$$

このとき，各評価基準の重み w_n は対象ユーザ要求を考慮して 1-9 段階の重みが決められており，一対比較評価 a_{ij} や優先度 p_i の計算に用いられる．

4.3.1 拡張 AHP 法

本研究においては，AHP をコグニティブ無線デバイス上の無線アクセス網決定に使用するため，以下の拡張機能を導入する．

コグニティブ無線において，ネットワーク環境の外的要因もしくは移動に伴う状態変化に対応するため，代替案の重みの算出にネットワーク状態の計測値を使用する．各代替案の重みを S_i とし，u_i を各代替案の上限値，l_i を下限値，また，n_i を計測期間の移動平均値とすると， RTT 及び PER については(5)式によって重みを求めることとする．また，スループットについては(6)式のように代替案のスケールが異なるため u_{max} が利用される．また，計測値の移動平均値は，計測による揺らぎを平滑化するため，x_i を i 秒時のネットワーク計測値とすると，$n_i = 0.6x_i + 0.3x_{i-1} + 0.1x_{i-2}$ によって値を求める．

$$\begin{aligned} S_i &= \left[1 - \frac{n_i - l_i}{u_i - l_i}\right] \times 10 \quad ; l_i < n_i < u_i \\ &= 1 \quad ; n_i \geq u_i \\ &= 9 \quad ; n_i \leq l_i \end{aligned} \quad (5)$$

$$S_i = \left[\frac{n_i - l_i}{u_{max} - l_i}\right] \times 10 \qquad 但し u_{max} = \max(u_i) \quad (6)$$

但し[ ]は小数第二位以下を四捨五入するという意味である．

例えば，評価基準(スループット)における代替案の一つが LTE の場合，計測値$n_i = 5.2\mathrm{Mbps}$，下限値$l_i = 0\mathrm{Mbps}$，測定履歴における最大値を例えば$u_{max} = 24\mathrm{Mbps}$とすると，重みは，

$$Si_{LTE} = \left[\frac{5.2 - 0}{24 - 0}\right] \times 10 \approx 0.45 \quad (7)$$

として算出される．なお，この際適切な等間隔でスコアを配置するため四捨五入して 1 から 9 の整数値を以後の計算に適用する．そして，これらの値は前節(1)式の w_i と置き換えて計算され，同様にして評価基準毎の優先度が算出される．最後に，評価基準と代替案の優先度の結果を用いて総合値の計算を行う．総合値の算出では，表 2 の評価基準の優先度に表 4 の各代替案の優先度を乗じて総和をとることで表 5 のような総合値の表が作成される．

4.4 パケットフロー制御手法

4.4.1 OpenFlow によるパケットフロー制御

本システムでは，選択されたアクセス網にパケットを流すために SDN 技術の一つである OpenFlow[6]を用いる．OpenFlow では OpenFlowSwitch から発信される各種メッセ

Vol.2015-DPS-162 No.29
Vol.2015-CSEC-68 No.29
2015/3/5

ージを OpenFlowController が受け取り，対応するイベントを実行することで処理を行うイベントドリブン方式の実装が一般的である．本システムで利用する主なイベントを以下に示す．

- switch_ready
  OpenFlowSwitch と OpenFlowController 間のリンクが確立した際に呼び出される
- features_reply
  OpenFlowSwitch の情報を取得するための features_request メッセージへの返答を受け取った際に呼び出される
- access_change
  提案手法により，選択中のアクセス網を変更する必要があると判断された場合に呼び出される．内部では，OpenFlow プロトコルにおける Flow Mod 命令を switch に対して発行する．

これらのイベントの組み合わせによりパケットの流れを制御する．

OpenFlowController と OpenFlowSwitch 間のメッセージフローは以下の通りである．

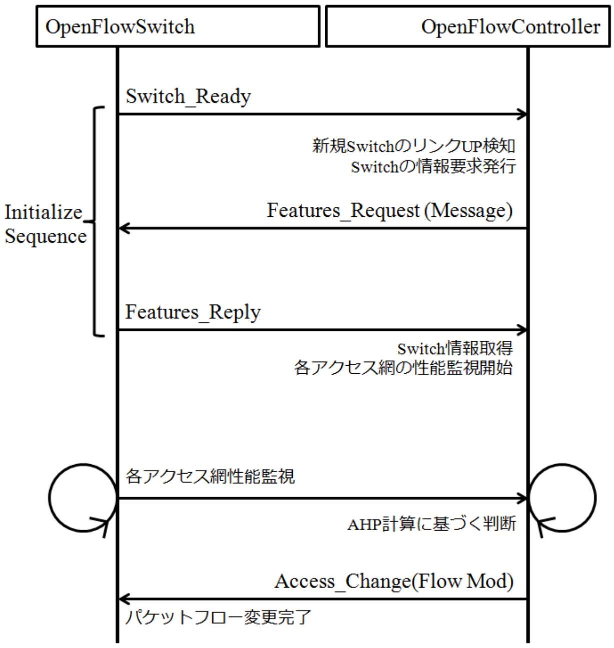

図 6　SDN メッセージフロー

最初に OpenFlowSwitch は，OpenFlowController にネットワークへ参加したことを通知するための switch_ready メッセージを発行する．次に switch_ready メッセージを受け取った Controller は，新規に Switch が参加したことを検知し，Switch に対して Switch 自身の情報を通知するよう要求するメッセージを発行する．Switch 自身の情報には，Switch ID，アクセス網収容数，装備 NIC の MAC アドレス等がある．Switch 自身の情報を Controller へ通知することで，初期化シーケンスが完了となる．初期化された Switch から順に，収容しているアクセス網の性能監視をスタートし，随時 Controller へ監視結果を通知する．蓄積された監視結果に基づき，拡張 AHP 計算を行うことで Controller がアクセス網切り替えの必要有りと判断した場合，対象 Switch に Flow Mod メッセージを発行することでパケットフローの制御を実現する．

4.4.2 ネットワーク性能計測用パケットの制御

ネットワーク性能の監視結果に基づいて最適なフローへと制御される一般的なデータパケットとは別に，本システムが発信するネットワーク計測用の特別なパケットは，常に決められたフローに基づいて制御される必要がある．具体的には，最適フローが現在どのアクセス網を選択していようとも，衛星通信網測定用のパケットは常に衛星通信網に，FTTH 網測定用パケットは常に FTTH 網に流れる必要がある，ということである．これを実現するために，SDN 技術におけるクロスレイヤ制御を用いる．TCP/IP による宛先ポート 10000 を利用する衛星通信網測定用アプリケーションを用いた場合，以下の様なフロー定義を行うことでこれを実現する．

```
Flow Mod
    (:match =>
        (:in_port => <Monitoring port>,
         :dl_type => <Ethernet>,
         :nw_proto => tcp,
         :tp_port => 10000
        )
     :action => <output_satellite>
    )
```

図 7　ネットワーク測定パケット専用フロー定義

5. システムアーキテクチャ

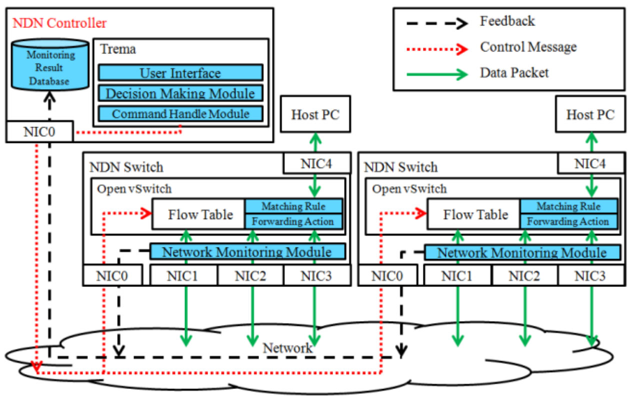

図 8　システムアーキテクチャ

本システムは，図 8 に示す通り NDN Switch と NDN Controller の 2 種類で構成されている．NDN Switch は，Network Monitoring Module と Openvswitch の 2 つのコンポ

ーネントで構成される．Openvswitch とその内部で保持する Flow Table は外部フレームワークにより提供されるが，Flow Table に対して Matching Rule と Forwarding Action を定義するためのコンポーネントは本システムで実装する．

NDN Controller は, Monitoring Result Database と Trema フレームワークの 2 つのコンポーネントで構成される．このうち，Trema フレームワークにより User Interface や Decision Making Module, Command Handle Module が実装されている．Decision Making Module において，蓄積された各 Switch のネットワーク性能監視結果に基づき拡張 AHP による優先度付を行い，Command Handle Module により判断結果を各 Switch へ通知する．この操作により，各 Switch の Flow Table が更新される．なお，OpenFlow メッセージのやり取りは Trema フレームワーク及び Openvswitch に依存し，本システムでは主にネットワーク監視結果の送受信と監視結果に基づく Flow Table の更新を行う．

6. プロトタイプシステム

6.1 システム構成

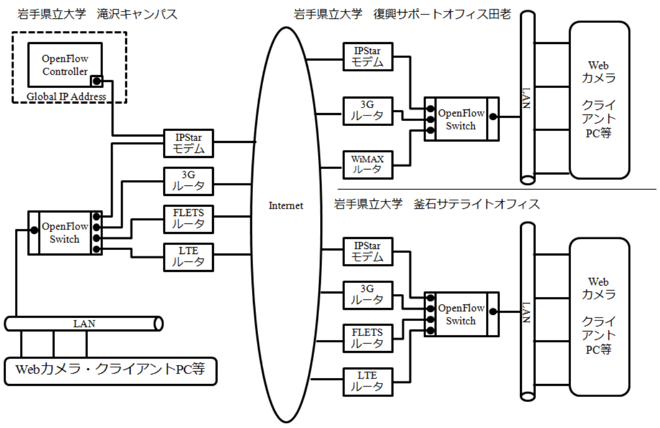

図 9　プロトタイプシステム構成図

本システム及び提案手法を評価するためのプロトタイプシステムについて説明する．

本プロトタイプシステムは，緊急時においてインターネット通信を確保し，ネットワーク機器の故障や輻輳などに追従し動的にアクセス網を切り替えていくことが可能であることの実証と評価を目的として構築する．我々は，図 9 に示すように，岩手県内の内陸（滝沢市）・沿岸北部（宮古市田老）・沿岸南部（釜石市）の 3 拠点にプロトタイプシステムを構築した．

各拠点には，本システム用に各種無線アクセスデバイスを装備した NDN Switch を配置する．本プロトタイプシステムで使用する無線アクセス網は次の通りである．

- 衛星通信網（IPStar）
- 3G/LTE 網（docomo/au/softbank）
- WiMAX 網
- FTTH 網

各 NDN Switch を，NDN Controller と OpenFlow プロトコルで制御するために OpenFlow チャネルを用意する必要がある．そのため各 NDN Switch は滝沢キャンパスに配置した NDN Controller の IP アドレスに対して TCP 接続を行えるようにネットワーク設定を予め行う．また，OpenFlow チャネルは常に開いておく必要が有るため，制御用の回線として衛星通信網を利用する．

6.2 デバイス構成

本プロトタイプシステムを構成するデバイスについて説明する．NDN Controller は，OpenFlowController フレームワークの一つである Trema[7]を用いて実装した．Trema は Linux OS 上でのみ動作するフレームワークのため，OpenFlowController のデバイスは Linux OS をインストールした PC である．NDN Switch は, Linux PC を OpenFlowSwitch 化するソフトウェアである openvswitch[8]を用いるため，NDN Controller と同じくデバイスは Linux OS をインストールした PC である．ただし，NDN Switch は複数の無線アクセス網を収容するため，物理 NIC を拡張する必要がある．本プロトタイプシステムでは，USB 接続によって物理 NIC を拡張するデバイスを用いて実現している[9]．以上のデバイスにより構築されたプロトタイプシステムを図 10 に示す．

図 10　プロトタイプシステム機器構成

6.3 評価と検証

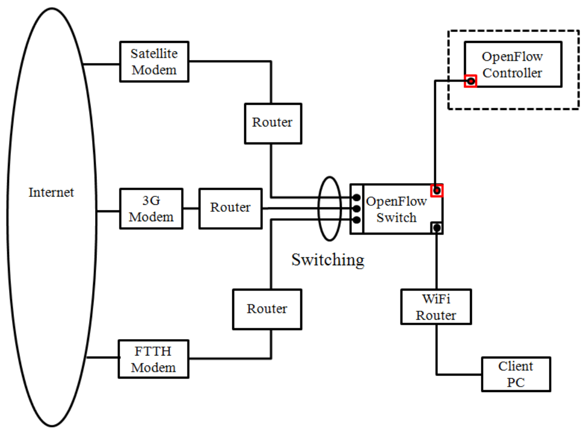

図 11　性能評価環境

提案システムの有用性を検証するため, 図 11 で示すようにアクセス網切り替えにおける性能を評価する環境を構築した．また，災害発生シナリオに基づいたアクセス網の切替を発生させ，その際のエンド間のスループット及びパケットロス率の変化を評価した．災害発生時のシナリオは以下の通りである．

1. 最初は 3 つ全てのアクセスネットワークが利用可能
   - 平均 1.29Mbps の衛星通信網
   - 平均 7.20Mbps の 3G/LTE 網
   - 平均 25.01Mbps の FTTH 網
2. 計測開始から 20 秒後に災害が発生し，FTTH・3G/LTE 網の両方が電源の障害で停止
   - 自動的に衛星通信網に切り替わる
3. 更に 20 秒後，3G/LTE 網が回復
   - 自動的に 3G/LTE 網に切り替わる
4. 更に 20 秒後，FTTH 網が回復
   - 自動的に FTTH 網に切り替わる

我々はこれらのシナリオを通して，iperf によるエンド間スループットとパケットロスを測定した. 結果を図 12 に示す．

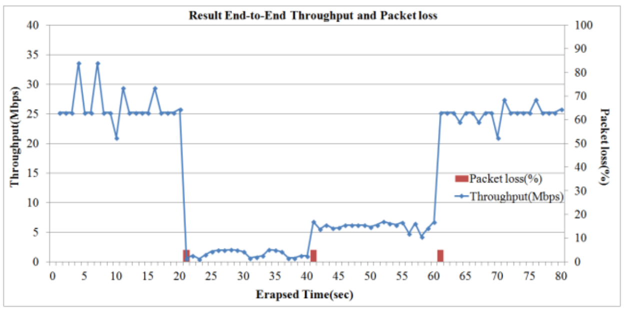

図 12　エンド間スループットとパケットロス率測定結果

開始から 20 秒後，エンド間スループットが FTTH の平均 25Mbps から, 衛星回線の平均 1.29Mbps へ急激に低下した．その 20 秒後，3G/LTE 回線が復活し，平均 7.2Mbps まで回復した．そして更に 20 秒後，元の FTTH 回線による平均 25Mbps に切り替わった．それぞれの切替処理によって生じるパケットロス率は 5%未満だった．

このように，災害が発生しネットワークが全て停止した場合でも，衛星ネットワークが常に接続可能であれば，インターネットへの通信リンクを維持する Never Die Network が実現可能であるとともに，利用可能なアクセス網が復旧した場合直ちに利用をすることが可能となる．

7. おわりに

本稿では，東日本大震災の教訓を踏まえ，災害時のいかなる状況においても通信を可能とする新たなネットワークシステムである Never Die Network(NDN) System について提案し，システムを構成する要素技術や提案手法について述べた．また，システムの基本的な動作を実装したプロトタイプシステムを構築し，実際に岩手県の 3 拠点に配置することでテストベッド環境を整備した．そしてテストベッド環境上で，災害シナリオに基づいたシステムの基本的な動作の検証を行った．

現在，ネットワーク性能を測定するモジュールの実装が大詰めを迎えており，実装完了後直ちに，測定結果に基づいたアクセス網のフロー制御機構を実装することで，提案手法の一つである，通信状態に基づくパケットフロー制御手法の検証・評価行っていく．

参考文献

1)　Yoshitaka Shibata, Noriki Uchida, Norio Shiratori,“Analysis and Proposal of Disaster Information Network from Experience of the Great East Japan Earthquake,” IEEE Communications Magazine, March 2014, pp.44-48.
2)　J. Mitola III, G. Q. Maguire. Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal.
IEEE Personal Communications, August 1999.
3)　Open Network Foundation Transforming networking with Software-Defined Networking (SDN), a unique architecture bringing direct software programmability to networks worldwide.
https://www.opennetworking.org/ja/
4)　Vinay J. Ribeiro, Rudolf H. Riedi,Richard G. Baraniuk pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths
Presented at Passive and Active Monitoring Workshop (PAM 2003), 4/6/2003-4/8/2003, San Diego, CA, US
5)　T. L. Satty. "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process",
European Journal of Operational Research, vol48(1990)
6)　OpenFlow (https://www.opennetworking.org/)
7)　http://www.trema.info/. html Trema..
8)　http://openvswitch.org/. html OpenVSwitch..
9)　http://www.planex.net/product/adapter/ue-1000t-g3.htm.