

## 異種無線 LAN を用いた災害情報ネットワーク

佐藤剛至 柴田義孝

岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究所

日本の国土の約 6 割は中山間地域であり、そのような場所で災害が発生した場合、既存の通信インフラが利用できず集落が孤立してしまう恐れがある。本研究では、中山間地域住民の災害時の安心・安全のためのインフラを確保するため、無線をベースとした頑強で迅速に復旧可能な災害情報ネットワークを構築する。より強い頑強性を確保するため、通信環境に応じて動的に通信方式や周波数を切り替えて最適な通信経路を確保する仕組みを取り入れたシステムを実装しその有効性を検討していく。

### Disaster information network by cognitive radio LAN

GOSHI SATO YOSHITAKA SHIBATA

Graduate School of Software and Information Science  
Iwate Prefectural University

About 60 percent of the country in Japan is an intermediate and mountainous area. An existing communication infrastructure cannot be used and the village is isolated when the disaster occurs in such a place. The disaster information network that can restore it stubbornly and promptly based on the wireless is constructed to secure the infrastructure for intermediate and mountainous area resident's disaster for safety and safety. The system that takes the mechanism that the communication method and the frequency are dynamically switched responding to the communication environment and the best communication route is secured is mounted.

### 1. はじめに

日本の国土の約 6 割は中山間地域である。中山間地域とは、都市や平地以外の中間農業地域と山間農業地域の総称であるが、そのような地域においては情報通信インフラの整備の遅れが問題となっている。中山間地域で災害が発生した場合、情報通信手段が確保できない恐れがある。これは、災害対応を検討する市町村の災害対策本部での情報収集に支障をきたし、復旧支援活動を制約するという問題を生む。また被災者についても、災害発生直後における震度や震源地、津波の可能性や余震などの地震情報を必要とすると考えられるため、情報通信インフラの整備の遅れからくる災害時の通信障害は深刻な問題であるといえる。

また、災害時において既存の通信インフラには問題点が存在する。例えば、地震などの災害時、電源の事故、通信路の切断、トラフィックの急増などが発生すると、緊急時にもかかわらずシステムダウンとなり、[図 1]のようにネットワークのキャパシティが 0 になる期間が発生する恐れがある。この期間は外部との連絡が全く取れないため、中山間地域における集落を孤立させる要因となる。よって、災害発生直後に代替の通信インフラを迅速に構築するシステムが必要であるといえる。

そこで本稿では、中山間地域住民の災害時の安心・安全のためのインフラを確保するため、無線をベースとした頑強で迅速に復旧可能な災害情報ネットワークを構築する手法を提案する。より強い頑強性を確保するため、通信環境に応じて動的に通信方式や周波数を切り替えて最適な通信経路を確保する仕組みを取り入れたシステムを実装しその有効性を検討していく。

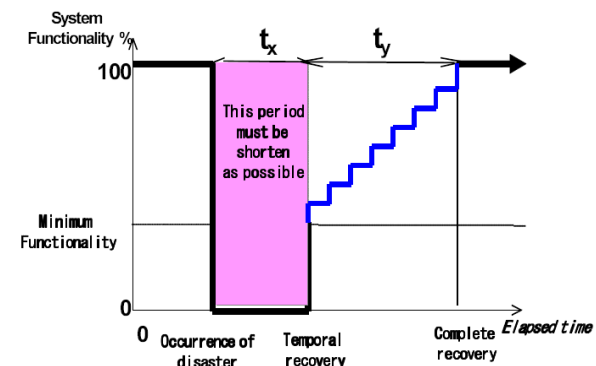


図 1 災害発生前後におけるネットワークキャパシティの変遷

## 2. 災害時の無線通信の有効性

災害時という特殊な状況下においては、既存の通信システムは物理的な被害を受ける。また、中山間地域における集落の非常電源の確保も不十分であることが分かっており利用可能な電源が早急に回復する見込みもないといえる。さらに中山間地域においては集落孤立時に利用可能な情報通信手段の普及が遅れており[図 2]、かつ避難所などにはそのような通信機器が配備されていないことがほとんどであることから、被災地へ通信インフラの構築を可能とする機器を投入し迅速にネットワークを構築する必要があると考えられる。迅速なネットワーク構築を目指す場合機動性が求められるが、有線においてはこれに劣ると考えられている。また、刻々と変化する災害地の状況に柔軟に対応するには、有線による結線では耐故障性や柔軟性に問題があると考えられる。

これらの理由により、災害時においては無線通信システムが有効であるといえる。

中山間地域においては既に市町村防災行政無線として導入が進んでいる。市町村防災行政無線とは、市町村が防災行政のために設置・運用する防災無線であり、大規模災害発生時の避難勧告、避難命令などの告知等に実際に用いられている。

しかしながら、市町村防災行政無線は基本的にアナログ通信であり、単方向の放送型として普及しているものがほとんどである。現在、国の方針によってデジタル化が行われているが、いくつか問題点がある。まず、デジタル化に伴い専用の機器の導入が必要であるためコストが高く、地方自治体への負担が大きいということがあげられる。またデジタル化が成功したとしても、伝送速度が 32kbps 程度にとどまっており、被災地の詳細な情報伝達を行うという面においては実用的ではないという問題もある。以上から、より高速でかつ導入が容易な無線通信インフラが求められているといえる。

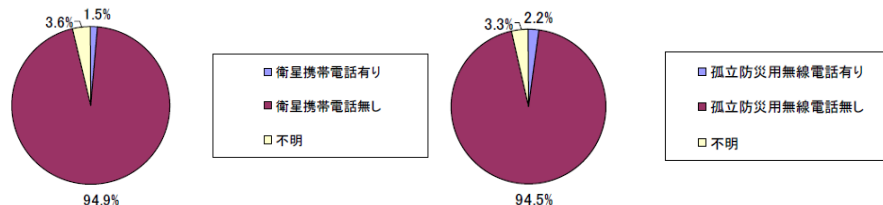


図 2 中山間地域集落における非常時情報通信手段の普及率

## 3. 関連研究と研究目的

### 3.1 既存技術概要と問題点

複数の無線通信規格を使用した技術として、企業の業務システムと PC や PDA などのクライアント端末との間で VPN (Virtual Private Network) を使い、利用者にとって最適なネットワーク環境を次々に自動的に認識(クロス・ネットワーク・ローミング)して接続を維持できるソフトウェア「IBM WebSphere Everyplace Connection Manager」図 2 や、移動するネットワークと外部ネットワークを接続するルータを使用し、複数の無線通信規格を収容して通信エリアや通信速度などを判断基準として動的に切り替え、ネットワーク単位でのシームレスな移動性をサポートする「KDDI Mobile Router System」図 2 が挙げられる。これらの技術は Mobile IP を拡張し、アプリケーションのセッションも維持したままシームレスなローミングが可能となった。

しかし、大規模なシステムが必要なので災害時に運用しにくく、ソフトウェアが高価なので規模の小さい自治体には導入しにくいという問題がある。

### 3.2 研究目的

複数の無線通信規格を使用した通信技術のこれまでの研究においては、大規模・かつ高価であるという弊害により災害時の利用に適したシステムは登場してこなかった。さらに現在中山間地帯で導入が進んでいる市町村防災行政無線は、被災地の状況を克明に伝達するための広い帯域幅を持たない。

本研究では、より高速で導入の容易な無線通信による災害情報ネットワークを迅速に構築するためのシステムを開発することを目標とする。本研究によって実現されるシステムは下記のような特徴を有する。

1. 無線アドホック接続により構成されるマルチホップネットワーク
2. 一般的な無線 LAN システムを使用することによる安価で普遍的なネットワーク
3. 周囲の地形や障害物による影響を察知し対応する柔軟性を持った知的なネットワーク

## 4. システム構成

### 4.1 ネットワーク構成

本システムは[図 3]に示すように、固定ノードと移動ノードの 2 種類のノードによってネットワークを構成する。固定ノードはインターネット等の外部ネットワークへのゲートウェイとして機能し、災害時には災害対策本部が置かれる場所（たとえば市役所や村役場など）に設置する。

移動ノードはアドホックネットワークを構成するためのモバイルルータとして機能し、固定ノードの置かれる災害対策本部と通信目的地（たとえば各避難所など）間

の接続を担う。各ノードは複数の異種無線 LAN が装備された端末を搭載し、それらが相互にアドホックネットワークで接続されたモバイルルータとして機能することでノード間の通信が可能となる。これにより、複数実装された無線ネットワークの中から環境に応じた最適な経路を選択することが可能となり、ネットワークのコネクティビティを確保できる。また上位レイヤでスループットやエラーレート等のネットワーク性能を測定しそれをルーティングに反映させることで、実際のネットワーク状態に応じた最適な構成を実現する。

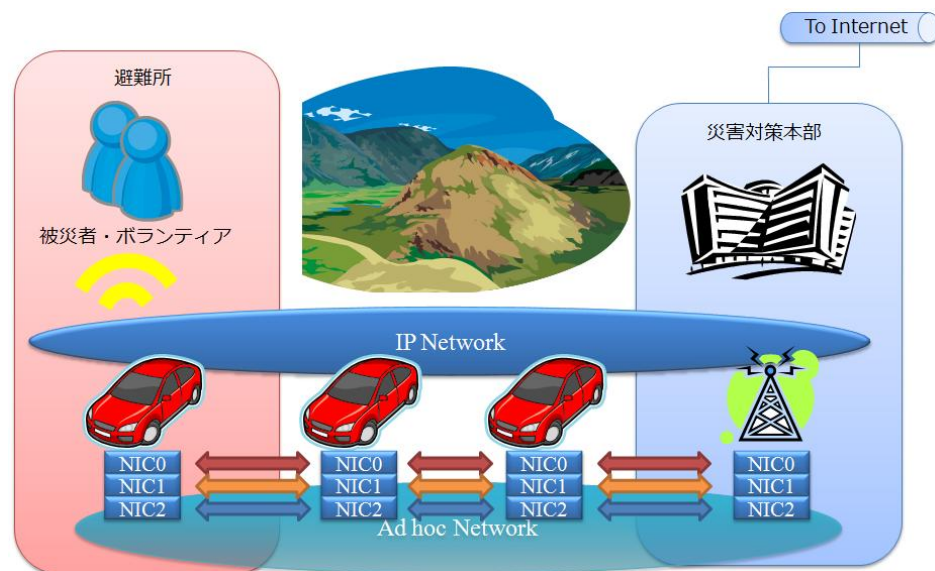


図3 ネットワーク構成概要図

#### 4.2 ノード機器構成

本システムにおけるノードを構成する機器構成は[図4]に示すように、異なる規格の無線 LAN デバイスを複数搭載する。それらはルータ PC にマルチホーミングされ、それぞれノード間のルーティング時にルートとして利用することが可能となる。搭載する無線 LAN デバイスは高出力かつ外部アンテナを接続可能なものを利用し、無線 LAN デバイスとルータ PC とは Ethernet ケーブルで接続される。またネットワークに参加するユーザのためのアクセスポイントを装備しており、ユーザは一般的な無線アクセスポイントと接続するのと変わらない方法でネットワークに参加することができる。

#### 4.2.1 無線デバイス要件

本システム、とりわけ後述するプロトタイプシステムを構成するにあたり、利用する無線 LAN 規格は IEEE802.11b および、IEEE802.11g の 2 種類である。接続可能距離の長い規格として IEEE802.11b を、より高い実効スループットが望める規格として IEEE802.11g を選択した。他にも、IEEE802.11a や IEEE802.11j, WiMAX およびアマチュア無線など様々な無線通信規格が存在するが、本システムを構成する無線通信規格としては適さないことから利用しない。IEEE802.11a や IEEE802.11j は屋外での使用がアクセスポイント

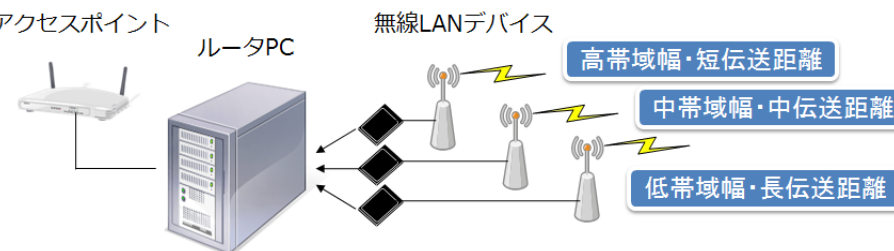


図4 ノード機器構成図

電波法で禁止されていることが弊害となった。また WiMAX は基地局の開設に免許が必要であること、基地局用のデバイスが非常に高価であり導入が容易とはいえないということが弊害となった。アマチュア無線についてはスループットが著しく低いため本システムでの利用は見送った。

|        | IEEE 802.11b | IEEE 802.11g | IEEE 802.11a | IEEE 802.16 |
|--------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 伝送距離   | ~5km         | ~1km         | 200m         | 最大 50km     |
| 公称伝送速度 | 11Mbps       | 54Mbps       | 54Mbps       | 70Mbps      |
| 使用周波数  | 2.4GHz       | 2.4GHz       | 5GHz         | 10~66GHz    |
| 屋外使用   | ○            | ○            | ×            | ○           |
| 免許     | 不要           | 不要           | 屋内使用に限り不要    | 必要          |

表1 各種無線 LAN 規格

### 4.3 異種無線 LAN の複数使用について

前述のとおり本システムでは異種規格の無線 LAN を複数使用する。これにより複数の冗長な経路をノード間で確保することができ、あるリンクがダウンした場合でも代替のルートを確認することができるため、それぞれのノード間に単一のルートしか存在しないシステムに比べて耐故障性の向上が見込める。

さらに規格の異なる無線 LAN を混在させることによって、単一の無線 LAN 規格のみで構成されたシステムでは接続を試みることができなくなるような状況、たとえば通信環境の変化による規格の特性に依るリンクダウンが発生した場合において、代替の通信規格を利用することによりしぶとく接続を試みることが可能となる。

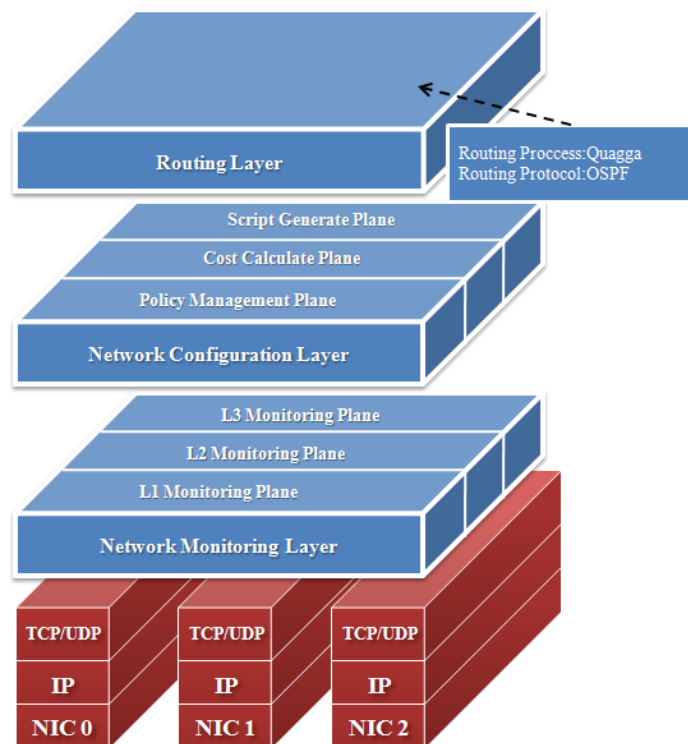


図 5 システムアーキテクチャ

## 5. アーキテクチャ

提案システムは[図 5]のように TCP/IP モデルにおけるトランスポート層の上に 3 階層で構成される。主にネットワークモニタリング機能を提供するサブシステムと、モニタリングの結果得られた値をもとに周囲の環境を察知・対応するための指標となる値を算出する機能を有するサブシステム、そして実際にルーティングを行うプロセスの 3 つに分類される。

### 5.1 Network Monitoring Layer

ネットワークの各種パラメータをモニタリングし取得するための層である。複数層の情報をクロスレイヤ的に取得し Network Configuration Layer へ渡す。

#### 5.1.1 L1 Monitoring Plane

物理層やネットワークインターフェース層といったハードウェアに近い部分のモニタリングを行う。取得する値は主にリンク間の電界強度であり、無線 LAN デバイス間の物理的な接続強度を測る指標となる。電界強度を計測する手段は使用する無線 LAN デバイスに依存するが、本システムでは Ethernet で接続された無線 LAN デバイスを利用するためレイヤ 3 レベルで値のリクエストが可能である必要がある。

#### 5.1.2 L2 Monitoring Plane

インターネット層におけるモニタリングを行うプレーン。主にパケットロス率や遅延といった値を取得するための機能を持つ。これらの値を取得するために、本システムでは ICMP パケットを用いて計測を行う。Ping のようなツールを利用することでこれらの値を取得することが可能である。

#### 5.1.3 L3 Monitoring Plane

トランスポート層におけるモニタリングを行う。主にスループットや再送要求回数等をモニタリングし値を取得する。スループットの取得には snmpd のようなツールを用いて測定を行う。また再送要求回数を計測するために tcpdump のようなネットワークトラフィックをダンプするツールを用いる。

### 5.2 Network Configuration Layer

Network Monitoring Layer で取得した各種パラメータを元にネットワーク状態を判断し、ルーティングの指標となるコスト値を計算すると同時に、算出した値を動的にルーティングプロセスに適用するためのシェルスクリプトを生成し実行するという機能を有する層である。

#### 5.2.1 Policy Management Plane

Network Monitoring Layer で取得したパラメータについて、良好な品質であるかどうかを判断するための閾値は必要であるが、周囲の環境に応じて通信状況が変化する



無線通信においては特にその閾値を固定値にすることは適切でない。また、状況に応じて通信品質の指標とするパラメタも変化していくと考えられるため、判断材料として利用するパラメタの種類も動的に変える必要がある。このプレーンではそのような判断をそれぞれのパラメタにおける閾値のセットを設定することで一元的に処理する。そのような閾値のセットをここではポリシーと呼ぶ。

### 5.2.2 Cost Calculate Plane

Network Monitoring Layer で取得したパラメタを元に、後述する OSPF のルーティングの指標となるコスト値を計算する。コスト値の計算については、Policy Management Plane で示されるポリシーに対応した計算式を用いる。なお、ポリシーの設定およびそれに対応するコスト値の計算式は今後の通信実験等で最適なものを模索しながら設定していく予定である。

### 5.2.3 Script Generate Plane

Cost Calculate Plane で算出されたコスト値をルーティングプロトコルへ渡すためのシェルスクリプトを動的に生成し、実行するためのプレーンである。

本システムにおけるルーティングを司るプロセスは Linux 端末上で動作する Quagga というルーティングソフトであるため、設定を行う際も Linux 端末上で行うが、シェルスクリプトを記述することでこの操作を自動かつ動的に行うことが可能となる。本システムにおいては zsh 上でシェルスクリプトを実装する。zsh には zpty というシェルスクリプト用のモジュールが付属しており、他のシェル上よりも柔軟なスクリプト記述が可能となる。[図 6]は実装スクリプトの例である。

```
#!/bin/zsh

zmodload zsh/zpty
local line

zpty quagga telnet localhost 2604
zpty -w quagga "PASSWORD"
zpty -w quagga "enable"
zpty -w quagga "PASSWORD"
zpty -w quagga "configure terminal"
zpty -w quagga "interface ath*"
zpty -w quagga "ospf cost *"
zpty -w quagga "exit"

zpty -d quagga
```

図 6 シェルスクリプト実装例

### 5.3 Routing Layer

本レイヤにおける処理はネットワークルーティングである。本レイヤ内で動作するルーティングプロセスは Linux 端末上で動作する Quagga というルーティングソフトであり、Quagga がサポートするルーティングプロトコルのうち OSPF を用いて実際にルーティングを実現する。OSPF において経路探索に利用されるアルゴリズムはダイクストラ法であり、ルート間の重み付けがルーティングにおいて重要な指標となっている。OSPF ではこのルート間の重み付けをコスト値として表しており、本システムではこのコスト値を動的に変更することで経路を操作するという手法をとっている。変更手法については Script Generator Plane の項で記述した。

また、実際のルーティング設定に関してはそれぞれのモバイルルータにあらかじめ隣接ネットワークアドレスを通知しておき、コスト値の変更によってのみ、複数つながった経路から最適なものを選択させるといった手法を適用する。

## 6. プロトタイプシステム

プロトタイプシステムを実装する OS として、Linux を採用する。モバイルルータとして稼働させる PC 上で動作するルーティングプロセスは Quagga[5] というオープンソースソフトを利用する。このような環境上で Quagga 内のルーティング情報が書き込まれるファイルを外部から書き換えることでルート操作を行うモジュールを作成する。また無線デバイス間のリンク確立を行うモジュールや、ネットワークモニタリングと得た情報を用いてコストの算出を行うモジュールも併せて開発する。

本プロトタイプシステムはマルチホップネットワーク構築と再構築の迅速性の評価、および耐故障性の評価を目的とする。プロトタイプシステムのネットワーク構成図は[図 7]に示す通りである。

マルチホップのアドホックネットワークの構築はルーティングを機能させることで実現できた。耐故障性については、ルート切り替えをプロトタイプシステム内で行うことで動作を検証した。電界強度の低下からリンク品質の低下を察知し、リンクが完全に切れる前によりよい代替ルートへ変更することを確認した。ネットワーク再構築迅速性については、コスト値変更によるルート切り替えにかかる時間の計測によって評価した。ルート切り替えにかかる時間を 10 回試行し計測を行ったところ 4 秒から 21 秒とかなり振幅の大きい結果となった。これは OSPF の LSA 更新間隔に影響を受けたと思われる。

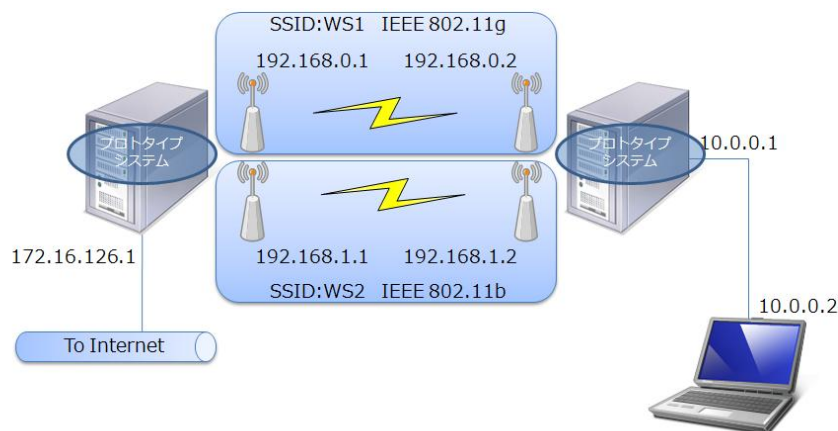


図7 プロトタイプシステムのネットワーク構成図

## 7. まとめ

本稿ではより高速で導入の容易な無線通信インフラを迅速に構築するシステムの提案を行い、プロトタイプシステムを実装・評価し提案手法の有効性を検討した。異種無線 LAN によるマルチホップネットワークは迅速かつ導入の容易な無線通信インフラの提案となり、加えて無線 LAN における脆弱性の克服手法を検討した。それに伴い通信環境に応じた最適な通信経路の選択を、コスト値の層的な変更により実現した。障害物等によるリンク品質の低下を検知しよりよい経路を利用するよう促す手法を提案した。

最も難しく時間のかかる問題として、ノードの配置をどのように行うかということが挙げられる。プロトタイプシステムではすでに配置済みのノードに対してインタラクションを行っているが、実際の被災地において本システムを展開する場合ノードの配置が最も時間のかかる問題であると思われる。

よって今後は、中山間地域において実際にシステムを稼働させることで無線インフラを構築するにあたって必要な情報をまとめていくとともに、それらの通信実験を通して移動ノードの効率的な配置等も模索していく必要があると考えられる。

## 参考文献

- 1) 渡部和雄, 大石貴弘他: “被災者・行政支援情報システムの研究開発”, 日本災害情報学会第2回研究発表大会予稿集, pp.163-172 (2000.11).
- 2) 西尾義則, 柴田義孝: 時空間データを考慮した大規模分散型災害情報提供システム, 情報処理学会第70回全国大会 3ZJ-3 Mar.2009
- 3) 橋本浩二, 柴田義孝: 利用者環境を考慮した相互通信のためのミドルウェア, 情報処理学会論文誌, Vol46, No2, pp403-417, 2005
- 4) 中山間地等の集落散在地域における地震防災対策に関する検討会 提言, 中山間地等の集落散在地域における地震防災対策に関する検討会(2005.8)
- 5) 中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況調査 (都道府県アンケート調査) 調査結果, 内閣府政策統括官 (防災担当) (2005.8)
- 6) K. -C. Chen, Y. -J. Peng, N. Prasad, Y. -C. Liang, S. Sun: Cognitive Radio Network Architecture: Part I - General Structure, National Science Council, Taiwan ROC, under the contracts NSC 96-2219-E-002 008 and NSC 95-2923-I-002-001-MY2
- 7) K. -C. Chen, Y. -J. Peng, N. Prasad, Y. -C. Liang, S. Sun: Cognitive Radio Network Architecture: Trusted Network Layer Structure, National Science Council, Taiwan ROC, under the contracts NSC 96-2219-E-002 008 and NSC 95-2923-I-002-001-MY2
- 8) Chang Woo Pyo, Mikio Hasegawa: Minimum Weight Routing based on a Common LinkControl Radio for Cognitive Wireless Ad hoc Networks, IWCM C'07, August 12-16, 2007, Honolulu, Hawaii, USA.
- 9) Carlos Cordeiro, Kiran Challapali, Monisha Ghosh: Cognitive PHY and MAC Layers for Dynamic Spectrum Access and Sharing of TV Bands, TAPAS'06, First International Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum, August 5, 2006, Boston, MA, United States
- 10) Troy Weingart, Douglas C. Sicker, Dirk Grunwald: Evaluation of Cross-Layer Interactions for Reconfigurable Radio Platforms, TAPAS'06, First International Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum, August 5, 2006, Boston, MA, United States
- 11) Qi Chen, Felix Schmidt-Eisenlohr, Daniel Jiang: Overhaul of IEEE 802.11 Modeling and Simulation in NS-2, MSWiM'07, October 22-26, 2007, Chania, Crete Island, Greece
- 12) Dzmityr Kliazovich Fabrizio Granelli: Packet concatenation at the IP level for performance enhancement in wireless local area networks, Published online: 4 January 2007
- 13) Paolo Bellavista & Jiang (Linda) Xie & Tuna Tugcu: Recent Advances in Mobile Middleware for Wireless Systems and Services, Published online: 8 November 2008
- 14) Ki-Dong Lee, Byung K. Yi, Victor C. M. Leung: Comparison of Multimedia Delivery Scenarios Using Parallel Wireless Links and Path Diversity, Published online: 22 April 2008
- 15) Quagga Routing Suite : <http://www.quagga.net/>