

# Realizing Adaptive Communication Mechanisms by Flexible Use of Multiple Media in Wireless Networks

梶岡 慎輔

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  
先進ネットワークアーキテクチャ講座

Advanced Network Architecture Research Group

## 研究の背景

- 無線ネットワークの発展
  - 通信容量の向上  
例: IEEE 802.11b  
→ IEEE 802.11g
  - 新種の無線メディアの登場  
WiMAX, LTEなど
  - 無線通信デバイスの発達  
複数の無線インタフェースを搭載

無線ネットワークを利用するさまざまなアプリケーションが出現

- 多様なアプリケーションを効果的に収容するため、さまざまなアプリケーションのQoS（通信品質）要求の考慮が必要
- 利用可能帯域などの無線メディアの状態が動的に変化するため、継続してアプリケーションのQoS要求を満たす適応制御が必要

アプリケーションのQoS要求を考慮し、環境が動的に変化する無線ネットワークを適応的に利用する通信機構の実現

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 2

Advanced Network Architecture Research Group

## 研究の目的

- アプリケーションのQoS要求を考慮し、複数の無線メディアを効果的に利用する、環境の変化に適応的な通信機構の確立
  - 複数チャネルを利用する論理経路制御方式の実現
    - アプリケーションのQoS要求として帯域を考慮
    - ノードの空き帯域の変化に適応的な論理経路制御を実現
  - 無線通信環境の変化に適応的な無線通信資源割当手法の実現
    - 多様なアプリケーションと異種の無線メディアを考慮
    - 無線メディアの帯域などの状態変化に適応してアプリケーションに適切な無線メディアを割り当てる資源割当制御を実現

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 3

Advanced Network Architecture Research Group

## 博士論文の構成

- Chapter 1 Introduction
- Chapter 2 A QoS-aware Routing Mechanism for Multi-Channel Multi-Interface Ad-Hoc Networks
  - 複数チャネルを利用する、アプリケーションのQoS要求を考慮した論理経路制御方式の提案と評価
- Chapter 3 Autonomous and Adaptive Resource Allocation of Heterogeneous Wireless Networks among Multiple Nodes and Multiple Applications
  - 無線通信環境の変化に適応的なノード間・アプリケーション間の無線通信資源割当手法の提案と評価
- Chapter 4 Conclusion

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 4

## Chapter 2

### A QoS-aware Routing Mechanism for Multi-Channel Multi-Interface Ad-Hoc Networks

マルチインタフェースアドホックネットワークにおけるアプリケーションのQoS要求を考慮した経路制御方式の提案と評価

Advanced Network Architecture Research Group

## 本章の背景および目的

遠隔監視、動画配信 VoIP (Voice over IP)  
リアルタイムマルチメディアトラフィック

QoS要求 要求帯域やノードの混み具合に基づくQoS制御が必要

広帯域な通信の要求 複数チャネルの効果的な利用による通信容量の向上に期待

- 研究の目的
  - ノードの空き帯域の変化に適応的な、複数チャネルを効果的に利用する論理経路制御方式の実現
    - 経路制御手法の設計、シミュレータおよびLinux実験機への実装
    - シミュレーション評価、実機を用いた実験

より多くのアプリケーションのQoS要求を満足する制御の実現

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 6

Advanced Network Architecture Research Group

## 提案手法の概要

— 効率的な帯域情報の伝播 —

- リアルタイムチャンネルの効果的な利用
  - 1つをベストエフォートチャンネル、残りをリアルタイムチャンネルに区別
- OLSRv2を利用した効率的な帯域情報の伝播
  - リアルタイムチャンネル
  - ベストエフォートチャンネル
  - OLSRv2の制御メッセージに帯域情報を付加
  - OLSRv2の効率的な広告機構を利用して帯域情報を伝播

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 7

Advanced Network Architecture Research Group

## 提案手法の概要

— トポロジおよび帯域情報に基づいた論理経路制御 —

物理経路 混雑

1 送信側ノード (S) において論理メッシュを構築し、混雑したノードを回避するような論理経路を選択

論理メッシュトポロジ上で選択された論理経路

物理リンク

2 パケットのカプセル化

物理経路上のパケット転送

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 8

Advanced Network Architecture Research Group

## シミュレーションによる評価

— 論理経路制御による効果を確認 —

シミュレーション条件

- ノード数: 100
- リンク速度: 12Mb/s
- 1セッション通信量: 500kb/s
- 1ノードペア間に複数のセッションを設定した場合を評価

QOLSR: QoSを考慮した経路制御プロトコル

エンド間パケット配送率 (%)

エンド間遅延 [s]

150ms: 固定電話並の品質

同遅延でより多くのセッションを収容可能

QOLSRより約20%多くのセッションを収容可能

論理経路制御によってより多くのアプリケーションのQoS要求を満足

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 9

Advanced Network Architecture Research Group

## 実機実験

- 無線インタフェース: IEEE 802.11b/g x 3 (アドホックモード)
  - (チャンネル0: ベストエフォート, チャンネル1, 2: リアルタイムチャンネル)
- 1セッションあたり 64kb/s (VoIPを想定, UDP 172Bytesを20msおきに送出) の S→Dの通信要求を5秒おきに生成

無線アドホック中継ノード

実験トポロジ

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 10

Advanced Network Architecture Research Group

## 実機実験の結果

ノードAにおける送信データレート

ノードBにおける送信データレート

実験開始直後2セッションの経路

実験トポロジ

ノードSにおいてノードAの空き帯域の減少を把握した後の4セッションの経路

ノードの空き帯域の変化に適応的な論理経路制御が行われることを実環境で確認

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 11

Advanced Network Architecture Research Group

## 本章のまとめ

- 研究成果
  - アプリケーションのQoS要求を考慮した複数チャンネルを効果的に利用する論理経路制御手法の提案、実装、評価、実機実験
  - シミュレーション評価により、論理経路制御によってより多くのアプリケーションのQoS要求を満足できることを確認
  - 実機を用いた実験により、ノードの空き帯域の変化に適応的な論理経路制御の実環境動作を確認

2010.12.14 博士学位論文 公聴会 12

## 本章の目的

- 特性の異なる無線メディアの状態（空き帯域など）に応じ、多様なアプリケーションのQoS要求を満たすための資源割当技術の確立
  - 無線メディアの状態などの無線通信環境の変化に適応的な無線通信資源割当手法の実現
    - 無線通信資源=無線メディア
    - 環境の変化に対する適応性をそなえた資源割当を行うため、生物に学ぶ適応制御の数理モデルである**アトラクタ重畳**を利用
    - ノード内でアプリケーションに適切な無線メディアを割当
    - ノード間の間接的な相互作用によりノード間で資源割当が協調

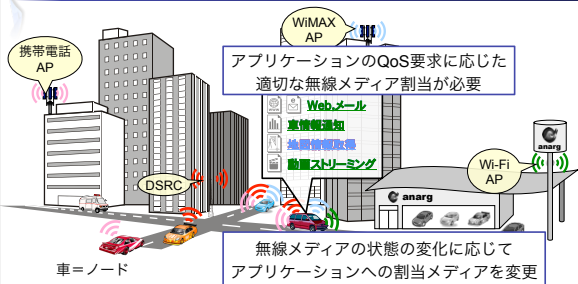


## Chapter 3

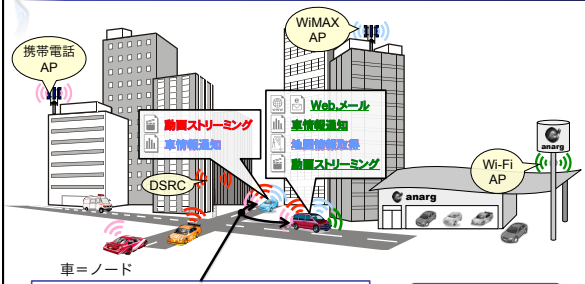
### Autonomous and Adaptive Allocation of Heterogeneous Wireless Networks among Multiple Nodes and Multiple Applications

複数の無線ネットワークにおけるアプリケーション要求と無線メディアの状態を考慮した無線通信環境の変化に適応的な資源割当方式の提案と評価

## ノード内・ノード間の資源割当制御の例



## ノード内・ノード間の資源割当制御の例



## アトラクタ重畳

- **アトラクタ重畳**: アトラクタ選択の重ねあわせ
- **アトラクタ選択**: 環境変化への適応性を備えた適応制御の数理モデル[48]
  - 条件変化に応じたより良い解の探索、および良い解への安定が導かれる非線形の時間発展方程式
  - 解の良さのフィードバック (アクティビティ) とノイズによるゆらぎの組み合わせで表現

$$\frac{dm_j}{dt} = f(m_j) + \alpha + \eta_j$$

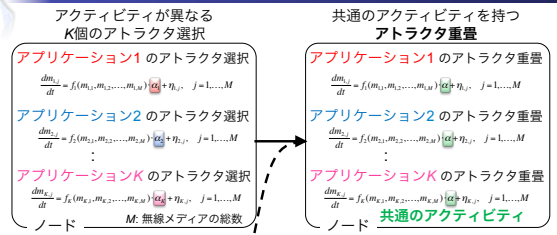
解空間のポテンシャル関数

- 未知の環境変化に対する適応性を持つ
- それぞれ異なる性質を持つシステム (アプリケーション) を重ね合わせ、それらの相互作用によってシステム全体 (ノード) の適応的な最適化

アトラクタ重畳を利用した環境変化に適応的な無線通信資源割当

[48] A. Kashiwagi, I. Urabe, K. Kaneko, and T. Yomo, "Adaptive response of a gene network to environmental changes by fitness-induced attractor selection," *PLoS ONE*, vol. 1, p. e49, Dec. 2006.

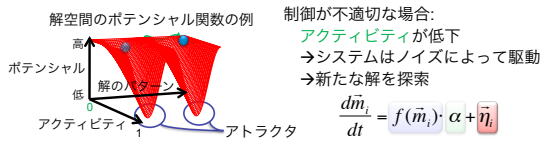
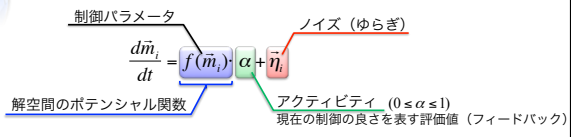
## アトラクタ選択とアトラクタ重畳



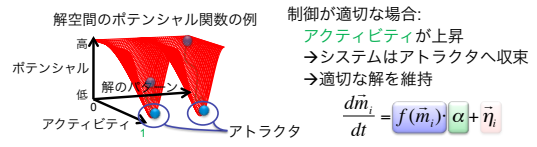
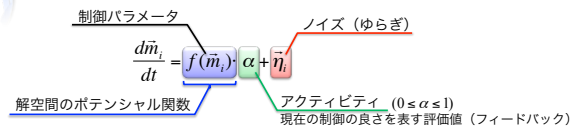
ノード上で動作するK個のアプリケーションすべての満足度に基づく**共通のアクティビティ (解の良さのフィードバック)**を定義

それぞれのアプリケーションが**共通のアクティビティ**の最大化を目指して協調動作 → ノードの**適応的な最適化**

### アトラクタ選択による解の探索



### アトラクタ選択による適切な解の維持



### アクティビティの導出

- アクティビティ  $\alpha$  は、**ノード満足度** (ノードの制御の良さ) から導出
- ノード満足度は、通信中のアプリケーションの満足度から導出
  - アプリケーションの満足度の平均が高く、ばらつきが小さいほど、ノード満足度が高くなる
- アプリケーションの満足度は、そのアプリケーションの各々のQoSの満足度から導出
  - アプリケーションの各QoSの満足度の平均が高く、ばらつきが小さいほど、アプリケーションの満足度が高くなる
  - QoS
    - 帯域
    - 遅延ジッタ
    - 通信コスト

### 提案手法の動作概要

- ノードはアプリケーションのQoS要求、無線メディアの状態から、割当無線メディアにおけるアプリケーションの満足度を周期的に計算 (無線インタフェース、アプリケーション、ノード)
- 計算された全アプリケーションの満足度にもとづき、ノードはアクティビティ (現在の資源割当の良さ) を計算
  - 満足 (高アクティビティ)
  - 不満 (低アクティビティ)
- アクティビティをフィードバックとするアプリケーションの資源割当
  - アクティビティが高いほど **現在の割当を維持する傾向が強い**
  - アクティビティが低いほど **他の無線メディアに切り替わる傾向が強い**

### 数値解析条件 (アプリケーション、無線メディア)

アプリケーション (カッコ内はアプリケーションまたはQoSの重要度)

|           | 要求帯域 [kbps] | 要求遅延ジッタ [ms] | 要求通信コスト [unit/s] |
|-----------|-------------|--------------|------------------|
| Web (1)   | 300 (0.3)   | 10000 (0.1)  | 0.1 (0.6)        |
| VoIP (3)  | 64 (0.5)    | 150 (0.4)    | 1 (0.1)          |
| Video (2) | 3000 (0.6)  | 1000 (0.1)   | 0.1 (0.3)        |

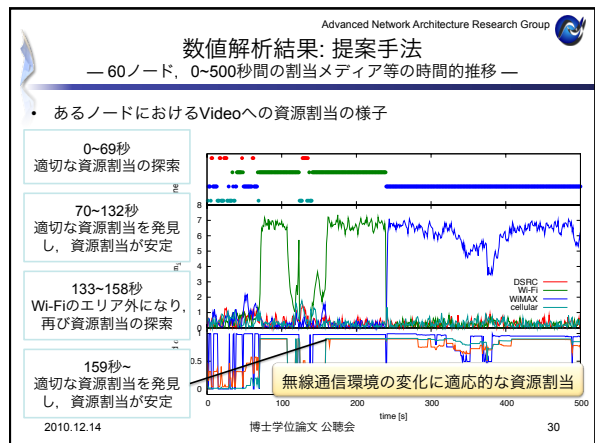
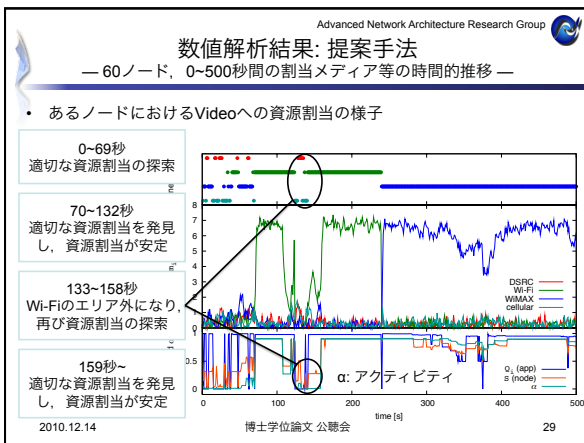
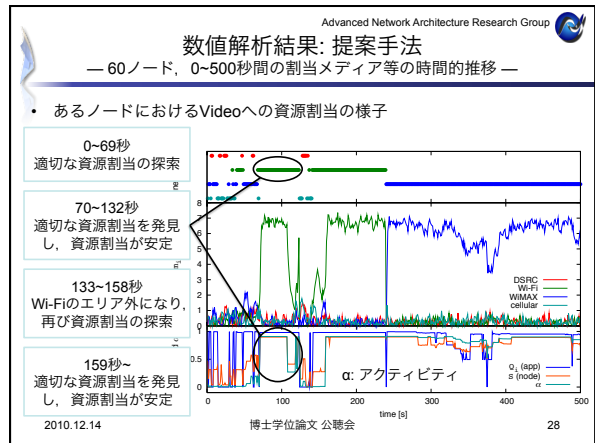
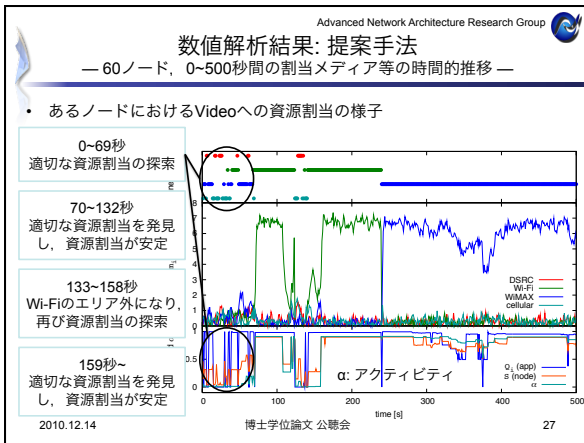
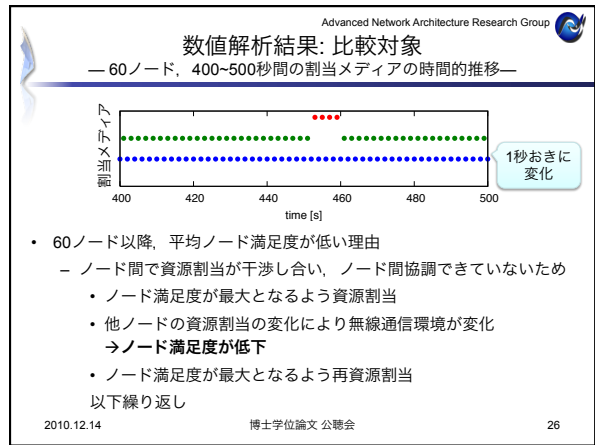
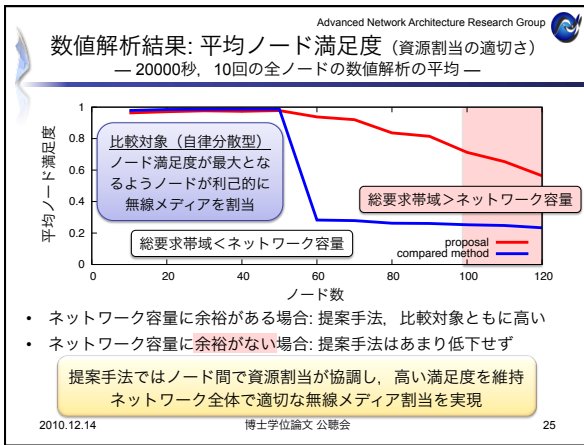
ただし、WebとVoIP、WebとVideo、WebとVoIPとVideoが動作するノードは、それぞれ全ノードの約20分の1ずつ/他のノードはWebのみが動作

利用可能な無線メディア

|          | 通信容量 [Mbps] | 遅延ジッタ [ms] | 通信コスト [unit/b]   |
|----------|-------------|------------|------------------|
| DSRC     | 4           | 100        | 10 <sup>-7</sup> |
| Wi-Fi    | 20          | 500        | 10 <sup>-9</sup> |
| WiMAX    | 40          | 200        | 10 <sup>-8</sup> |
| cellular | 2           | 100        | 10 <sup>-5</sup> |

### 数値解析条件 (ネットワーク、ノード)

- 車道モデル**
    - 縦横300mの領域内に十字交差する車道
      - 上下に延びる車道 (上下道): 2車線
      - 左右に延びる車道 (左右道): 4車線
      - 車道の上下端、左右端はそれぞれ連続
    - 車道の上にノード (車) が存在
  - ノード数: 10~120 (100以上は総要求帯域 > ネットワーク容量)
  - 車線あたりのノード密度: 左右道は上下道の2.5倍
  - ノード移動: 上下道で20km/h, 左右道で40km/hと想定
  - 計算時間: 20000秒 (ステップ)
- 提案手法の無線通信環境の変化に対する適応性を確認
-





## 本章のまとめ

- 研究成果
  - アプリケーションのQoS要求を考慮した無線通信環境の変化に適応的な無線通信資源割当機構の実現
    - アトラクタ重畳を用いた適応的な無線通信資源（無線メディア）割当
    - ノードにおける無線メディアの状態（空き帯域など）とアプリケーションのQoS要求を考慮した資源割当により、高いノード満足度を実現
    - 無線メディアを共有するノード間の資源割当の相互作用により、ノード間で資源割当が協調



## 本研究のまとめ

- アプリケーションのQoS要求を満足するための、複数の無線メディアを効果的に利用する通信機構を実現
  - 複数チャネルを利用する論理経路制御方式の提案と評価
    - 効率の良い帯域情報広告、ノードの空き帯域の変化に適応的な論理経路制御、複数チャネルの効果的な利用により、より多くのアプリケーションのQoS要求を満足する制御を実現
  - 無線通信環境の変化に適応的な無線通信資源割当手法の提案と評価
    - 未知の環境変化に対する適応性のある生物モデルを応用し、無線通信環境の変化に適応して高いアプリケーションの満足度が得られる資源割当手法を実現

ご清聴ありがとうございました。