

On the Design and Evaluation of Self-adaptive Network Architectures and Routing Protocols for Mobility Support

本吉 彦

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
村田研究室

2011.12.12 博士學位論文公聴会

研究の背景

■ 将来の通信インフラへの期待

- **大容量**: ペタビット級バックボーンネットワーク,
- **スケーラビリティ**: 1000億デバイス, M2M通信,
- **多様性**: 豊かな社会, 多種アプリ, 異種無線技術,
- **頑強性**: ミッションクリティカルサービス
- **安全性**: 安心・安全(プライバシー, 災害, ...),
- **省エネルギー**: エコロジー, 災害, 持続社会,
- **ユビキタス**: 地球環境・人間社会モニタリング,

高効率性

高信頼性

移動性

高効率・高信頼な移動通信インフラ必須

Page 2 2011.12.12 博士學位論文公聴会

研究の目的

■ 将来の通信インフラ構築へ向けて, アーキテクチャ・ルーティング・制御基盤理論の三位一体の研究が重要

高効率・高信頼な
モバイル通信のための
ルーティング機能の研究

高効率・高信頼な
モバイル通信インフラの大規模化
へ向けた制御基盤の研究

高効率・高信頼な
モバイル通信インフラの
全体アーキテクチャの研究

高効率・高信頼な移動通信インフラの追求

Page 3 2011.12.12 博士學位論文公聴会

博士論文の構成

Chapter 1:
Introduction 将来のモバイルネットワークを支える自律分散制御インフラの研究

Chapter 2:
A Function-Distributed Mobility Architecture for the Future Internet
制御コスト削減可能な移動管理機能を分散配備するネットワークアーキテクチャ

Chapter 3:
MTFR: Mobility Tolerant Firework Routing
ポテンシャル値に応じて同報配信機能を動的に制御するポテンシャルルーティング

Chapter 4:
Future Mobile Network Management With Attractor Selection
アトラクタ選択を用いた, 複数無線インタフェースの動的制御技術

Chapter 5:
Conclusion 本論文のまとめ

Page 4 2011.12.12 博士學位論文公聴会

Chapter 2:

A Function-Distributed Mobility Architecture for the Future Internet

Page 5 2011.12.12 博士學位論文公聴会

本章の背景および目的

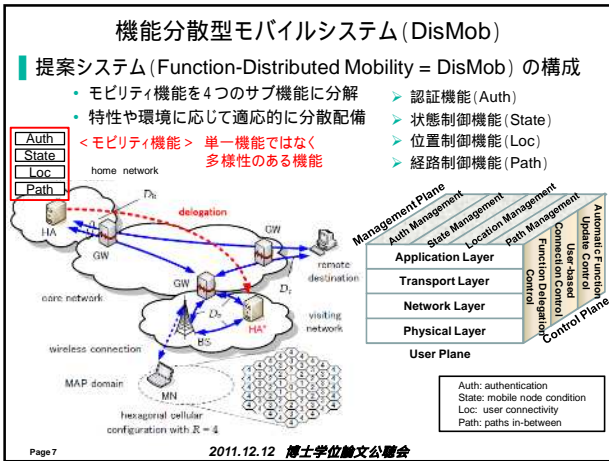
■ 研究の背景

- 豊かな社会を実現するため, 人と社会とICTの効果的な共生には, ラストホップの無線技術は必須である.
- 無線技術の多様化がアクセス手段の切り替えや端末移動に伴うハンドオーバー機会を増加させ, 制御コスト削減が重要課題.

■ 研究の目的

- 移動管理制御コスト削減を実現する, 新しい移動管理機構の創出およびアーキテクチャの実現

Page 6 2011.12.12 博士學位論文公聴会



提案システムの定性評価

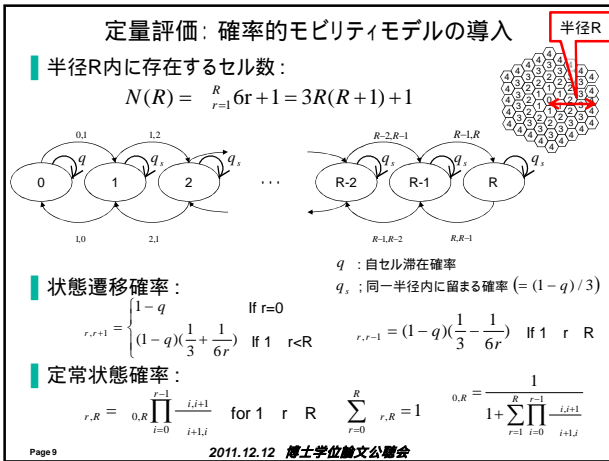
各サブ機能のモビリティ関連のインパクト検証

モビリティパラメータ	モビリティ管理機能				
	Anchor	Cast	Path	State	Auth
アクセス頻度	High	Med.	Med.	High	Low
端末移動速度	Med.	High	High	High	Low
障害回復時間	Med.	High	High	High	Low
トラヒック量	Med.	High	High	Low	Low
端末数	Low	Med.	Med.	High	Med.
アプリケーション種別	Med.	Low	High	High	Low

既存モビリティシステムと提案システムの定性的な比較

	MIP	HMIP	DynMob	LTE	DisMob
位置登録処理	Global	Global & Local	Global & Local	Global & Local	Global & Local
移動管理機能配置	Fixed	Fixed	Dynamic	Dynamic	Dynamic
オール in 1 機能	Yes	Yes	Yes	Yes	No
経路制御	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Flexible

Page 8 2011.12.12 博士學位論文公報



定量評価: 制御コスト計算モデル

位置登録処理コスト: 端末と管理装置間で制御信号を送受信するコスト
パケット転送処理コスト: データパケットを転送する処理コスト

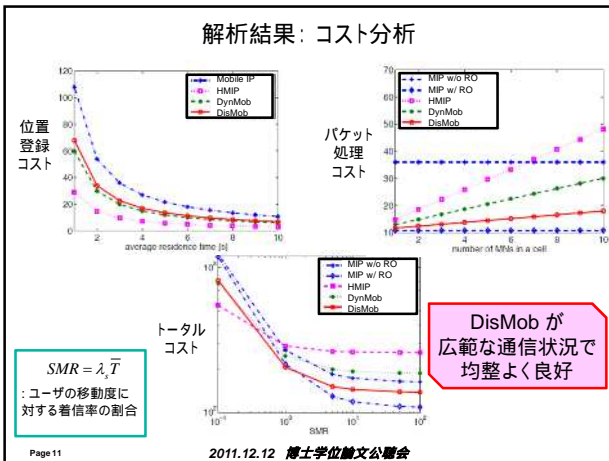
$$C_{total} = C_{location} + C_{packet} = \{C_{location(home)} + C_{location(visited)}\} + C_{packet}$$

$$C_{location} = \frac{R_{R,R+1} C_{home} + (1 - R_{R,R+1}) \{ \omega C_{visited_deleg} + (1 - \omega) C_{visited_nodeleg} \}}{\bar{T}}$$

$$C_{packet} = s \times \{ \bar{S} \times (N_{MN} + \log(N_{FA})) + HA^* \} + \times s \times ((\bar{S} - 1) \times (D_v + D_v) + (2D_h + D_v)) + \times s \times \bar{S}$$

$P_{C_{HM/HA}/HA^*}$: 位置登録処理単位コスト
 $P_{C_{HM/HA}/HA^*}$: 機能委任処理単位コスト
 $\theta_{HM/HA}$: パケット処理単位コスト
 D_{XX} : 距離 (ホップ数)
 N_{XX} : ノード数
 s : 呼到達率
 \bar{S} : 平均セッションデータサイズ
 \bar{T} : 平均滞在時間
 K : 管理ドメイン内のユーザ数
 \mathcal{T} : データ転送コスト (無線)
 K : データ転送コスト (有線)

Page 10 2011.12.12 博士學位論文公報



Chapter 2 のまとめ

研究成果

- 将来の通信インフラとして有効なアーキテクチャの実現 "Function-Distributed Mobility (DisMob)"
 - 移動管理機能を4つのサブ機能へ細分化し、各機能の特徴や通信状況に応じてサブ機能を最適配備することが可能な制御機構
 - 定性評価: モビリティ関連指標の観点で提案手法の優位性を確認
 - 柔軟なシステム構成が可能
 - 定量評価: 制御コスト指標の観点で提案手法の優位性を確認
 - 数値解析による定量評価結果より、既存モビリティ手法と比較して、広範な通信状況に応じて、均整よく良好な結果

Page 12 2011.12.12 博士學位論文公報

Chapter 3:

MTFR: Mobility Tolerant Firework Routing

Page 13

2011.12.12 博士學位論文公報

本章の背景および目的

研究の背景

- Chapter2の移動管理機構 / アーキテクチャは、それ単体動作では効果が半減する。システム上で動作する主要技術も連動した動作が必須である。
- 将来の移動通信インフラは、物理学や生物学等の学術的理論基盤に立脚した通信制御技術が必須である。
- スケーラビリティ必須な社会環境変化によって、通信制御インフラとしては、自律分散性が必須である。

研究の目的

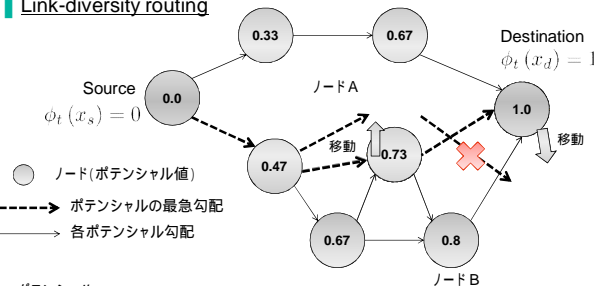
- 高効率・高信頼を同時に追求する新しいルーティング機構の創出およびその通信システムの実現。本章では、物理学に立脚するポテンシャルルーティングをベースとした拡張に挑戦する。

Page 14

2011.12.12 博士學位論文公報

ベースとする既存手法 (Potential Based Routing)

Link-diversity routing



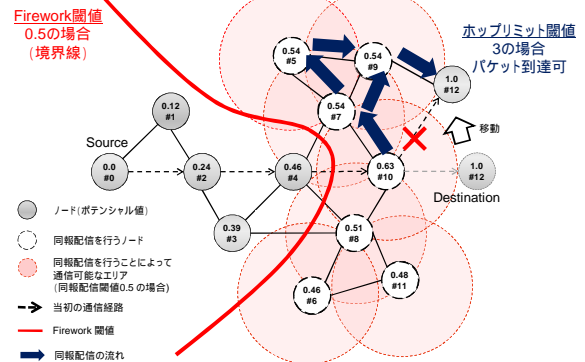
$$\phi_{i+1}(x_i) = \frac{\sum_{k \in nbr(x_i)} \phi_t(x_k)}{|nbr(x_i)|}, |nbr(x_i)| > 0$$

課題:
ノードの移動に伴い、
ポテンシャルの
全体再計算が必要

Page 15

2011.12.12 博士學位論文公報

MTFR: Mobility Tolerant Firework Routing

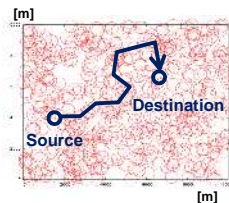


Page 16

2011.12.12 博士學位論文公報

シミュレーション諸元

パラメータ	値
初期レイアウト	ランダム均一なノード配備 (10km x 10km)
ノード数	2000 - 4000
無線伝搬範囲	100 - 500 m
端末移動速度	1 m/s (歩行者) 20 m/s (車) 100 m/s (快速電車)
ホップリミット値	7 hops
同報配信 閾値	0.5
モビリティモデル	RWK RWP (一定速度, 停止なし)
シミュレーション 時間	100 - 300 秒

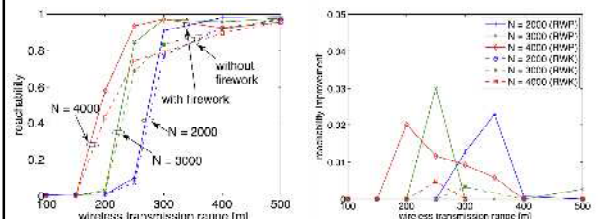


Page 17

2011.12.12 博士學位論文公報

結果 (1): パケット到達率による分析

RWK: Random Walk
RWP: Random Waypoint
ODW: One Directional Walk

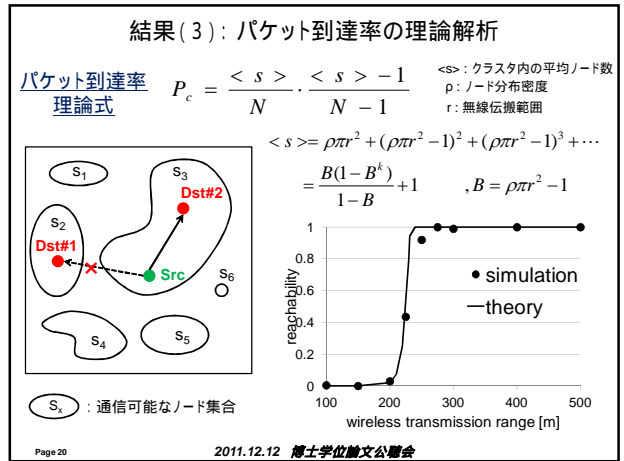
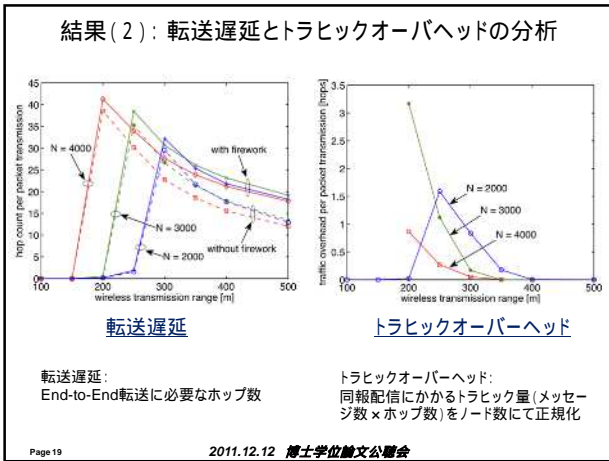


(*) RWKとODW移動モデルの場合の
時間 t 経過後の平均移動距離:

$$E[\omega_{RWK}(t)] = \sqrt{t} < E[\omega_{ODW}(t)] = t$$

Page 18

2011.12.12 博士學位論文公報



Chapter 3 のまとめ

研究成果

- 高効率と高信頼を同時に達成するルーティング機構
 “Mobility Tolerant Firework Routing (MTFR)” を実現
 - ポテンシャル値に応じた同報配信機能を具備し、パケット到達率を向上させる高信頼性、および、それに伴うオーバーヘッドを最小限に留める高効率性を両立する制御機構
 - 定量評価: パケット到達率の観点で提案手法の優位性を確認
 - 若干のトラフィックオーバーヘッドおよび転送遅延を許容することによって、大きなパケット到達率を達成することが可能
 - ポテンシャル値に応じた同報配信機能の制御範囲を適応的に御することによる性能向上の達成

Page 21 2011.12.12 博士學位論文公報會

Chapter 4:

Future Mobile Network Management With Attractor Selection

Page 22 2011.12.12 博士學位論文公報會

本章の背景および目的

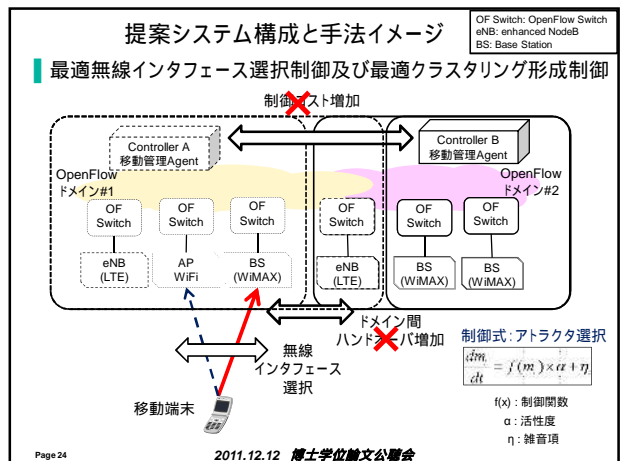
研究の背景

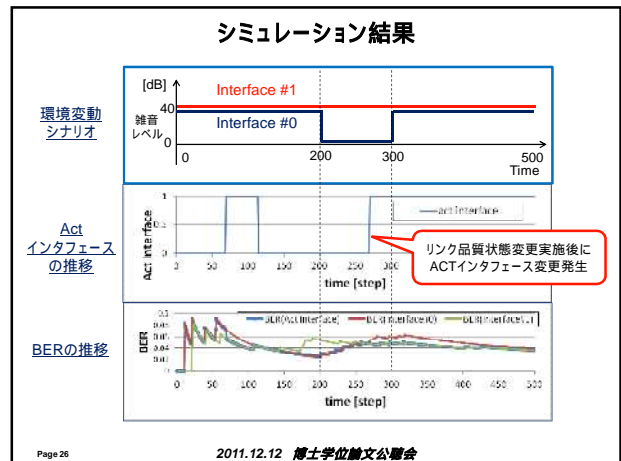
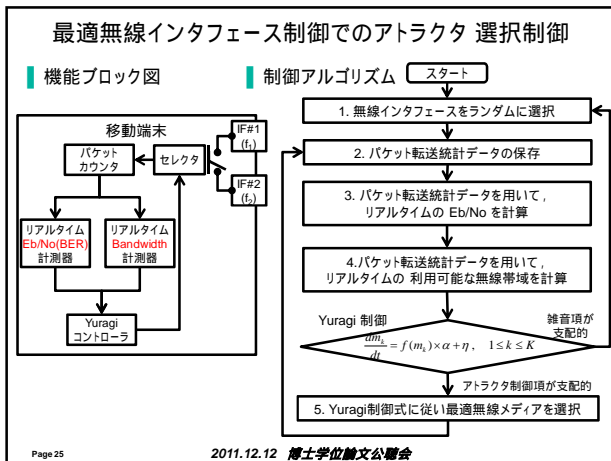
- 社会環境変動(端末数増加, アプリケーション多様化など)が、通信環境(品質)の高速・高振幅な変動を誘因している.
- Chapter2の移動管理機構 / アーキテクチャとChapter3のルーティングの効率的な動作のためには、通信環境変動へのスムーズな対応が必要である.
- 環境変動にロバストな制御機構として、生物の制御システムに着想を得たゆらぎ制御機構が非常に有望である.

研究の目的

- アトラクタ選択を端末の最適無線インタフェース選択制御および、ネットワーク装置の動的クラスタ制御に応用し、環境変動に適応した制御コスト削減を達成する通信システムの実現

Page 23 2011.12.12 博士學位論文公報會





Chapter 4 のまとめ

研究成果

- 環境変動にロバストなアトラクタ選択技術を最適無線インタフェース選択制御および動的クラスタリング制御へ応用することによって、制御コストを削減可能な移動通信システムを実現
 - ・ 端末にて最適無線インタフェース選択を行う機構
 - ・ ネットワークデバイスにて、ドメイン間ハンドオーバー制御コストを削減するように、クラスタリングを動的に制御する機構

Page 27 2011.12.12 博士學位論文公報

本研究のまとめ

- 高効率・高信頼な移動通信インフラの実現
 - 将来の通信インフラとして有効なアーキテクチャ “Function-Distributed Mobility (DisMob)” の提案および評価
 - ・ 移動管理機能を4つのサブ機能へ細分化し、各機能の特徴や通信状況に応じてサブ機能を最適配備することが可能な制御機構
 - 高効率と高信頼を同時に達成するルーティング機構 “Mobility Tolerant Firework Routing (MTFR)” の提案および評価
 - ・ 同報配信機能のON/OFFおよび制御範囲を、ポテンシャル値に応じて、適応的に制御することが可能な制御機構
 - アトラクタ選択技術を端末側制御およびネットワーク側制御へ拡張手法の提案および評価
 - ・ 端末側での最適無線インタフェース制御、及び、ネットワーク側での動的クラスタリング制御へのアトラクタ選択制御の応用

Page 28 2011.12.12 博士學位論文公報

ご清聴ありがとうございました。