

平成22年 3月30日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19510140

研究課題名（和文）回復力の高い長寿命情報ネットワークの構成

研究課題名（英文）Architecture for long-life information networks with high recuperative power

研究代表者

小野里 好邦（ONOZATO YOSHIKUNI）

群馬大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10143710

研究成果の概要（和文）：多様な事象が生起しても情報の流れに対して大きな影響を及ぼさないためには、情報ネットワークの機能を損傷しない仕組みが大切である。想定外の事象が生じたとき情報ネットワークが生き延びる為の対処法として、情報ネットワーク構成に冗長性を持たせ高い結合度を確保する仕組みを内包しておき、多様な状況変化に迅速に対応し情報の流れを大域的及び局所的に制御する研究を行った。

研究成果の概要（英文）：Computer networks are suffered from all kinds of failures. When a packet fails in transmission, it has to be retransmitted. In order to cope with failures such as packet transmission, route selection, we need to prepare extra network resources for keeping network alive. Network resilience can be obtained when network provides enough resources for traffic flows depending on users demands. In this research, we have investigated the method to estimate network resources for resilient networks. Architecture for long-life information networks has been investigated from the view points of energy saving, resilience against node and link failures in wireless networks.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：コンピュータネットワーク, センサネットワーク, ページング, ネットワーク分断, グルーピング方式, 位置登録, 性能評価

## 1. 研究開始当初の背景

情報ネットワークにおいてブロードバンド通信が普及すると、多種多様な利用が行われるため、トラヒックがネットワークにおいてダイナミックに変化する。このようなダイナミズムに対応するためには頑健な情報ネットワークを構成し、ネットワーク内に復元力を保有することが効果的である。トラヒッ

クフローに対して十分な資源が割り当てられたとき、故障に対して十分な復元力を持ち、故障が生じてネットワーク機能が保てる[1]。

情報化社会の進展に伴い、計算機の役割は変遷し、人間だけではなくロボットも情報ネットワークに接続され情報収集の幅は広がり、移動通信は必須になってきている。この

ような状況において、本研究では、局所的情報に基づいた分散制御と大域的情報に基づいた中央制御を有効に活用し、以下の項目について具体的に研究を推進する。

- (1) センサネットワークの分断に関する研究
- (2) 省電力型ページング方式に関する研究
- (3) 移動特性に対して頑健なネットワークに関する研究

(1) センサネットワークの研究はネットワーク構成がダイナミックに変化する点に特徴がある。国内外でセンサネットワークに関する研究が精力的に進められている[2]。近年、バッテリーの電力消費を抑えつつ効率よく通信を行うための通信システム技術とネットワーク技術に関する研究が注目され、送信電力制御、トポロジー構成、経路制御などを組み合わせることにより、ネットワークの長寿命化を図るネットワーク技術について開発されている[2]。その根幹は、センサネットワーク全体の接続性を保つためのコネクティビティ制御と観測対象のノードの持つセンシング領域に含まれていることを保証するためのカバレッジ制御である[2, 3, 4]。しかし、各ノードの状況に応じてネットワーク分断を回避するスケジューリング方法、およびネットワークの修復については研究がなされていない。そこで、本研究では、ネットワーク分断のメカニズムの解明とその知見を利用したネットワーク分断を回避するスケジューリング方法、さらには分断した場合の修復方法について研究する。

(2) 参考文献[3]で、FMP (Flexible Multi-step Paging) 方式を提案し、その性能を明らかにしてきた。FMP方式は、マルチステップページング方式において各グループにできる限り均等な数のサブネットを配置するページング方式である。本研究では、マルチステップ IP ページングにおけるノードの存在確率分布に応じたグルーピング方式について検討し、新しくFMP-GLP方式を提案する。また、ページング方式のスケジューリングについて研究する。

(3) 移動通信システムにおいてユーザの移動を考慮したシステム設計に関して研究する。ユーザ移動は複雑でその変化はダイナミックでとらえにくい。これまで、参考文献[4]では、一次元の動きのみに限定し、しかも同一速度を仮定したシステムを設定しユーザの移動度がシステムへ与える影響について理論的に考察した。今後さまざまなサービスが提供され、それに伴った多様なデータレートの要求が考えられるため、要求レートによって片寄った対応があってはサービスの低下を招く。そこで各要求レートに対して均等なサービス提供

を目標としたスケジューリング方式を提案するとともに、シミュレーションを行い比較・検討する。

#### [参考文献]

- [1] M. Menth, R. Martin and J. Charinski, "Capacity overprovisioning for networks with resilience requirements", SIGCOMM '06, Sept. 11-15, 2006, Pisa, Italy
- [2] 若宮直紀、原晋介、"省電力化システム・ネットワーク技術"、電子情報通信学会誌、Vol. 89, no. 5, pp. 379-383, 2006年5月
- [3] H. T. Do and Y. Onozato, "Flexible and Effective Multi-step IP Paging Schemes", 2005 IEEE 62nd Vehicular Technology Conference (VTC2005-Fall), 2J-8 (CD-ROM), September 25-28, Dallas, Texas, USA (2005).
- [4] 井上 通宏, 吉浦 紀晃, 小野里好邦, "一次元セルラーネットワークの通信性能に関する移動体の速度分布の影響について", 情報処理学会論文誌, 第46巻第2号, p. 470-481 (2005).

## 2. 研究の目的

- (1) ノード、リンク故障に伴うネットワーク分断のメカニズムを明らかにする。分断を起ささないスケジューリング方式、さらにネットワーク再接続手法としてグローバル情報型と分散情報型の2方式を提案し評価する。
- (2) マルチステップ IP ページングにおけるノードの存在確率分布に応じたグルーピング方式を提案する。さらに、ページング動作をパイプライン化した方式を改良し、新しいスケジューリング方式を提案し、シミュレーションを行い、その動作を解析する。無線LANに実装しその有効性を検証する。
- (3) ユーザの移動が通信サービスに及ぼす影響についてシミュレーションを行い考察する。各要求レートに対して均等なサービス提供を目標としたスケジューリング方式を提案する。

## 3. 研究の方法

- (1) センサネットワークの分断に関する研究
  - ① ネットワーク分断メカニズムを解明する。ネットワークの分断は、繋がっていた部分のセンサノードが停止することにより発生する。センサノードの停止は故障とバッテリーの枯渇の二つの理由が考えられる。センサネットワークの分断が発生するとセンサネットワークのカバー率が減少しその役目が果たせない状況になる。どのような場合に、どのようにしてネットワークの分断が起こるのか究明する。
  - ② ネットワーク分断を避けるための送信

制御方式について提案する。各ノードの状況に応じて、ネットワーク分断メカニズムを踏まえた分散送信制御方式について研究する。

③ネットワーク再接続方式ネットワークの分断を修復するための方式について提案しそれらを評価する。

④センサネットワークへの攻撃の態様について調査研究を行う。

#### (2) 省電力型ページング方式に関する研究

①マルチステップ IP ページングにおけるグルーピング方式について提案する。マルチステップ IP ページングにおけるノードの存在確率分布に応じたグルーピング方式について検討する。

②パイプラインページングのスケジューリング方式について提案する。ページング動作をパイプライン化した方式のスループット計算を行なう。通常のページングならば前の PR を処理し終えないと次の PR に取り掛かれぬが、パイプラインページングは複数の PR を同時にそれぞれ別のグループでページングできる。そのため、パイプラインページングを行なうと、ページングコストとページング遅延の値に改善は見られないが、スループットは確実に向上する。そこで、パイプラインページング方式のスケジューリングについて研究する。特に、ある PR が全グループをページングする前に MN が見つかった場合に、外された PR がスケジューリングされていた場所を次の PR で埋める方式を提案し、提案方式の数値計算、シミュレーションを行い、その有効性を検証する。

#### (3) 移動特性に対して頑健なネットワークに関する研究

①各要求レートに対して均等なサービス提供を目標としたスケジューリング方式について提案する。二次元セルラー移動通信システムにおいて、ユーザの動きがブロック率、ドロップ率、チャネル利用率へ及ぼす影響を定量的に評価する。次に、同一モデルにおいてユーザの評価基準であるドロップ率とシステムの資源つまりチャネル容量との関係を明らかにする。

②移動速度を考慮したスケジューリング方式について考察する。各要求レートに対してサービス提供目標を設定し、移動を考慮したスケジューリング方式を提案するとともに、シミュレーションを行い比較・検討する。

#### 4. 研究成果

本研究成果は回復力の高い長寿命情報ネットワーク構築に大きく資するものである。故障と移動を積極的に考慮して、故障が増え続けていく中で、システムの性能がどのよう

に変化していくか解明し、耐故障対策作成のための基礎的資料を蓄積できた。本研究の学術的特色は、故障が起こりうる状況を仮定して、故障のシステムへ及ぼす影響を理論的に解明し、さらにそのような状況の中で、情報ネットワークとして要求される機能を実現するにはどうしたらよいかについて提案した点にある。

本研究の主な成果は、以下でまとめられる。

#### (1) センサネットワークの分断に関する研究

①ノード、リンク故障に伴うネットワーク分断のメカニズムを明らかにした。ネットワークの分断は、ネットワークとして繋がって機能していた部分のセンサノードが停止することにより発生する。センサノードの停止は故障とバッテリーの枯渇の二つの理由が考えられる。センサネットワークの分断が発生するとセンサネットワークのカバー率が減少しその役目が果たせない状況になる。どのような場合に、どのようにしてネットワークの分断が起こるのかシミュレーションによりそのメカニズムを究明した。

②ネットワークに対する防御を考慮したうえで、侵害されたノードが存在する中でもその影響を軽減するため、信頼できる隣接ノードを発見し、認証する通信メカニズムを提案した。暗号化に頼らないセキュリティメカニズムを構築することによりセンサネットワークにおけるセキュリティが高められることを示した。具体的には、センサネットワークの通信に共通認証ノードを用いた認証を取り入れることを提案し、シミュレーションによってその性能を評価した。その結果すべてのノードをネットワークとして機能させるには通常よりも多くのノードまた広い通信範囲が必要であることがわかった。

#### (2) 省電力型ページング方式に関する研究

①省電力かつ迅速にノード位置を把握するためマルチステップ IP ページングにおける移動ノードの存在確率分布に適応したグルーピング方式を提案した。その結果、移動ノードの迅速な位置登録管理が可能になった。さらに、提案方式の利点と利用可能範囲を定量的に示した。

②複数のページング要求を纏めて処理するバルクページング方式を提案した。その結果、ページング回数が削減でき消費電力の低減が図れる。以下の二つの異なる実現方式 N-Policy と T-Policy について、計算機シミュレーションを行い、ページングコスト、遅延時間、スループットについて評価し、提案方式の利点と利用可能範囲を定量的に示した。

#### (3) 移動特性に対して頑健なネットワークに関する研究

① ユーザの移動が通信サービスに及ぼす影響についてシミュレーションを行い比較・検討した。二次元セルラー移動通信システムにおいて、ユーザの動きがブロック率、ドロップ率、チャンネル利用率へ及ぼす影響を定量的に評価した。

②ユーザの移動が通信サービス受付制御に及ぼす影響についてシミュレーションを行い比較・検討した。一次元セルラー移動通信システムにおいて、ユーザの動きと新規呼受付制御、ハンドオーバー呼受付制御の関係について、呼完了率、ブロック率、ドロップ率、チャンネル利用率の評価尺度を用いて定量的に評価した。本研究では、利用者の動きを考慮した動的受付制御の特性を示した。本研究では、利用者の立場から捉えた移動通信システムの性能評価が可能となり、利用者の利用形態に即した移動通信システムの設計評価を行う上で重要な基礎的考察を行うことができた。

今後、情報ネットワークにおいてブロードバンド通信が普及し、多種多様な利用形態が生まれていくので、頑健で回復力の高い情報ネットワークを構築していく技術開発はますます重要な位置を占めるようになる。このような技術を支える基礎技術を研究開発していくことは必要不可欠である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

- ①Hung Tuan Do, Yoshikuni Onozato and Ushio Yamamoto, "Optimal Aggregation Factor and Clustering under Delay Constraints in Aggregate Sequential Group Paging Schemes", *Wireless Networks*, 1572-8196 (Online) (2009), 査読有.
- ②Attoungble Jean Marc, Keiichi Kanai, Yoshikuni Onozato, "Greedy Routing Maximum Lifetime in wireless Sensor Networks", *The 20th Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Symposium 2009 (PIMRC'09)*, Tokyo, Japan, September 13-16, 頁無 (2009), 査読有.
- ③Mariko Matsumoto, Yoshikuni Onozato, "Partial Preamble Detection to Achieve Fast carrier search for WiMAX", *The 12<sup>th</sup> International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'09)*, Sendai, Japan, September 7-10, 頁無 (2009), 査読有.
- ④Silada Intarasonthornchun, Sakchai Thipchaksurat, Ruttikorn Varakulsiripunth, Yoshikuni Onozato, "Dynamic Call Admission Control Scheme Based on Predictive User Mobility Behavior for Cellular Networks", *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E 92-A, No. 9, pp. 2200-2208 (2009), 査読有.
- ⑤Dorsaf Azzabi, Yoshikuni Onozato, "Dynamic Weights Assignmant Model for Queuing QoS Classes in Downlink scheduling", *3rd International Conference on Intelligent Systems and Networks (IISN-2009)*, Haryana, India, February 14-16, 頁無 (2009), 査読有.
- ⑥Ahmad Bazzi, Yoshikuni Onozato, Rihito Saito, "Using Virtualization to Simulate Biological Cells", *3<sup>rd</sup> International Conference on BioInspired Models of Network, Information, and Computing Systems (BIONETICS2008)*, Awaji Island, Hyogo, Japan, November 25-28, 頁無 (2008), 査読有.
- ⑦Tatsuya Tokuzumi, Kenichi Kawanishi and Yoshikuni Onozato, "Proposal of Download Method for Mobile Telecommunications Terminal Using P2P", *The 3<sup>rd</sup> Asia-Pacific Symposium on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2008)*, July 30-August 2, 2008, Taipei, Taiwan, pp. 193-202 (2008), 査読有.
- ⑧Dorsaf Azzabi, Kunihito Tanaka, Ushio Yamamoto and Yoshikuni Onozato, "Authentication Employing Neighbor Tables in Mobile Adhoc Networks", *Proceedings of the International Conference on Wireless Information & Networks and Systems (WINSYS2008)*, July 26-29, 2008, Porto, Portugal, pp. 47-52 (2008), 査読有.
- ⑨Wang Li, Kenichi Kawanishi, Yoshikuni Onozato, "MPEG-4 optimal transmission over SCTP multi-streaming in 802.11 wireless access media", *Proceedings of 7th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2008)*, Bandos Island, Maldives, pp. 226-231, April (2008), 査読有.
- ⑩Dorsaf Azzabi, Masayoshi Yamada, Yi-Mao, Yoshikuni Onozato, "WRR-PF downlink scheduling scheme for IEEE 802.16 QoS", *GRES2007*, November 6-9, Hammamet, Tunisie, 頁無 CD-ROM (2007), 査読有.
- ⑪Jie Zhou, Wenchan Pan, Yoshikuni Onozato, "On the Capacity and Outage Probability of an Air-Ground CDMA Cellular System with Imperfect Power Control", *The 3rd IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, September 21-23, Shanghai, China, 頁無 (2007), 査読有.

- ⑫Hidenori Takanashi, Rihito Saito, Dorsaf Azzabi, Yoshikuni Onozato and Yoshitaka Hara, "Wireless resource allocation considering value of frequency for multi-band mobile communications systems", 2007 Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications (TIWDC'07), September 9-12, Island of Ischia, Italy, Springer, pp. 281-291 (2007), 査読有.
- ⑬Dorsaf Azzabi, Naofumi Uchihara, Kunito Tanaka, Yoshikuni Onozato, "Simulation of Neighbor Authentication Mechanism in MANET", The 2nd Asia-Pacific Symposium on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2007), August 1-4, Kobe, Japan, pp. 289-296 (2007), 査読有.
- ⑭Hidenori Takanashi, Rihito Saito, Dorsaf Azzabi, Yoshikuni Onozato, Yoshitaka Hara, "A Study on Bandwidth Allocation by Value of Frequency for a Multiband Mobile Communication System", 2007 Hawaii and SITA Joint Conference on Information Theory, May 29-31, Honolulu, Hawaii, USA, pp. 47-51 (2007), 査読有.
- ⑮Do Tuan Hung and Yoshikuni Onozato, "A Comparison of Different Paging Mechanisms for Mobile IP", Wireless Networks, Vol. 13, No. 3, pp. 379-395 (2007), 査読有.
- [学会発表] (計 17 件)
- ①王旭, 小野里 好邦, 河西 憲一, "IP ページングにおけるバルクとパイプラインを組み合わせる方式の提案", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2010 年春季研究発表会, 2010. 3. 5 首都大学東京南大沢キャンパス (東京都八王子市)
- ②Yoshikuni Onozato and Dorsaf Azzabi, "Scheduler for Downlink Scheduling in Wireless Networks", 電子情報通信学会情報理論研究会, 2010. 1. 8, ハワイ大学マノア校 (アメリカ合衆国ハワイ州)
- ③岩崎 勉, 小野里 好邦, "混雑時の周波数資源分割によるチャネル利用方法の検討", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2009 年秋季研究発表会 2009. 9. 10, 長崎大学文教キャンパス (長崎県長崎市)
- ④岩崎 勉, 齊藤 理人, 小野里 好邦, "周波数割当における分割による周波数有効利用の提案", 第 28 回日本シミュレーション学会大会, 2009. 6. 12, 芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都江東区)
- ⑤鈴木 健之, 山本 潮, 小野里 好邦, "無線 LAN システムの WDS におけるアクセスポイント間経路制御に関する検討", 第 28 回日本シミュレーション学会大会, 2009. 6. 12, 芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都江東区)
- ⑥Dorsaf Azzabi, Yoshikuni Onozato, "Proposal of an Assignment Methodology of Weights in Queuing QoS Classes in Downlink Scheduling", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2008 年秋季研究発表会, 2008. 9. 11, 札幌コンベンションセンター (北海道札幌市)
- ⑦井上通宏, 吉浦紀晃, 小野里好邦, 木村博茂, "移動体通信システムにおける移動体の動きと通信性能評価に関する研究", 第 27 回日本シミュレーション学会大会, 2008. 6. 19, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス (滋賀県草津市)
- ⑧川口麻美, 山本潮, 小野里好邦, "固定宛先のマルチポップ無線通信における経路制御に関する一考察", 第 27 回日本シミュレーション学会大会, 2008. 6. 19, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス (滋賀県草津市)
- ⑨小野里 好邦, 河西 憲一, "待ち行列研究部会報告", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2008 年春季研究発表会, 2008. 3. 26, 京都コンピュータ学院 (京都情報大学院大学), (京都府京都市)
- ⑩田中 漢人, 小野里 好邦, "アドホックネットワークにおける隣接テーブルを用いた認証によるノード管理手法", 情報処理学会第 44 回モバイルコンピューティングとユビキタス通信・第 17 回ユビキタスコンピューティングシステム合同研究会, 2008. 3. 6, 慶応義塾大学三田キャンパス (東京都港区)
- ⑪石川 真也, 毛 怡, 井上 通宏, 小野里 好邦, "無線チャネルにおける QoS を考慮したダウンリンクスケジューリング方式", 第 44 回モバイルコンピューティングとユビキタス通信・第 17 回ユビキタスコンピューティングシステム合同研究会, 2008. 3. 5, 慶応義塾大学三田キャンパス (東京都港区)
- ⑫山岡 剛史, 小野里好邦, 山本 潮, "アドホックネットワークの有効性", 日本シミュレーション学会多次元移動情報通信網研究会, 2007. 10. 25, NTT ドコモ R&D センタ (神奈川県横須賀市)
- ⑬友田 光, 小野里好邦, "センサネットワークを再接続するためのパラメータによる評価方法の提案", 日本シミュレーション学会多次元移動情報通信網研究会, 2007. 10. 25, NTT ドコモ R&D センタ (神奈川県横須賀市)
- ⑭河上 翔大, 小野里好邦, 山本 潮, "局所的なモバイルエージェントの探索アルゴリズム", 日本シミュレーション学会多次元移動情報通信網研究会, 2007. 10. 25, NTT ドコモ R&D センタ (神奈川県横須賀市)
- ⑮王 理, 河西憲一, 小野里好邦, "SCTP マルチストリーミングによる MPEG4 データの最適伝送に関する検討", 日本シミュレーション学会多次元移動情報通信網研究

会, 2007. 10. 25, NTTドコモR&Dセンタ(神奈川県横須賀市)

⑩張 高峰, 小野里 好邦, 山本 潮, "IPページングにおけるパイプライン化の考察", 第26回日本シミュレーション学会大会, 2007. 6. 21, 東京工業大学すずかけ台キャンパス, (神奈川県横須賀市)

⑪山田純義, 毛 怡, 小野里 好邦, 山本 潮, "IEEE 802. 16におけるQoSを考慮したダウンリンクスケジューリングに関する検討", 第26回日本シミュレーション学会大会, 2007. 6. 21, 東京工業大学すずかけ台キャンパス(神奈川県横須賀市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.nzt1.cs.gunma-u.ac.jp/~onozata/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小野里 好邦 (ONOZATO YOSHIKUNI)  
群馬大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：10143710

### (2) 研究分担者

山本 潮 (YAMAMOTO USHIO)  
群馬大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：00292623

河西 憲一 (KAWANISHI KEN' ICHI)  
群馬大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：50334131

### (3) 連携研究者

なし