

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500074

研究課題名(和文) パラコンシステント論理プログラムに基づくルート構築に関する研究

研究課題名(英文) Studies on Route Construction Based on Paraconsistent Logic Program

研究代表者

中松 和己 (NAKAMATSU KAZUMI)

兵庫県立大学・環境人間学部・教授

研究者番号：60227874

研究成果の概要(和文):パラコンシステント論理プログラム Extended Vector Annotated Logic Program with Strong Negation(EVALPSN と略す)による蓋然性推論、論争義務推論などを利用したネットワークにおけるマルチルート構築プロトコルの論理モデル化を行った。このモデルを使ったルーティングシミュレーションシステムは構築中である。

研究成果の概要(英文): We have developed a logical model for a multi-route protocol in networks, which is based on plausible and defeasible deontic reasoning in a paraconsistent logic program called Extended Vector Annotated Logic Program EVALPSN. The network routing simulation system based on the logical model is being constructed.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：応用論理学、人工知能

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：アドホックネットワーク、パラコンシステント論理プログラム、ネットワークルーティング

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 注釈真理値付き論理(annotated logic)はパラコンシステント論理の一種であり、対立・矛盾を同一システム内で矛盾なく取り扱うことができる。研究代表者中松は具体的な対象に対する応用を念頭に EVALPSN (Extended Vector Annotated Logic Program with Strong Negation)と呼ぶ1つの注釈真理値付き論理プログラムを提案している。EVALPSNはシステムの意味決定に利用可能な論争推論(defeasible reasoning)と諸々の規則に基づく推論を容易に表現でき、義務、許可、禁止などの義務概念が扱え

るという特色を持ち、コンピュータ実装も容易である。EVALPSNに基づく安全性検証・制御では、対象システムの安全性条件や制約に矛盾するような制御行動がEVALPSNの矛盾解消論争推論により論理的に排除され、安全な制御がなされる仕組みになっている。これらの特徴を活用し、例えば、鉄道連動システムの安全性検証・制御、道路ネットワークにおける系統交通信号機制御、パイプラインネットワークにおけるバルブ制御などに応用され、シミュレーションにより有効性が示されている。更に、EVALPSNに基づくロボットの行動制御で

は EVALPSN の電子回路設計が具体的に示され、ハードウェアとしての実装も容易であり、実時間制御にも適用できることが示されている。

(2) 一方、アドホックネットワークにおけるルーティングの1つの解決されるべき問題として、指向性 MAC プロトコルの利用時に生じる指向性隠れ端末問題(directional hidden terminal problem)があり、通信ネットワークの性能低下の要因となっている。研究分担者渡辺らは指向性隠れ端末問題のルーティングにおける解決策として「直交ルート構築」を提案している。また、同一のソースステーションペア間の複数のルート間に共通ノードを持たない性質(ディスジョイント性)をできるだけ満たす複数ルート構築方法も開発している。少数のノードで構成されるネットワークにおいては各ノードが自律的に制御する分散型の直交ルートを構築することが可能であることを示されているが、ノード数が数十を超えるネットワークにおいては、直交ルート構築は現実として容易ではなく、全てのノード間リンクが正確にできるだけ直交するようなルートまたは全てのルートパスがディスジョイント性を満たすにルートを自律分散的に構築しようとする、予測されるノードの移動先、制御メッセージ量など様々な因子条件を考慮する必要があり、複雑で物理的にも矛盾が生じ容易ではない。従って、実装が容易で実時間処理が可能な直交ルート構築アルゴリズムが希求される。

(3) (1)と(2)の背景より最も適切と思われる EVALPSN に基づく直交ルート構築方式を研究開発するに至った。

## 2. 研究の目的

(1) スマートアンテナを用いて空間利用率を向上させる効果的な自律分散型直交ルート構築および複数ルート構築を行うため、矛盾を矛盾なく扱えるパラコンシステント論理プログラム EVALPSN(Extended Vector Annotated Logic Program)の論争推論機能を利用した直交ルート構築アルゴリズムおよび複数ルート構築アルゴリズムを展開し、それらを分析・評価する。

(2) (1)の結果を踏まえ、パラコンシステント論理プログラム EVALPSN の電子回路化を念頭に置いた EVALPSN に基づくルート構築方式の実装実験の可能性を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) EVALPSN 提唱の中松(代表者)が直交ルートおよびマルチパスルート構築方式提

唱の渡辺(分担者)と、無線アドホックネットワークにおける空間利用率を低下させる指向性隠れ端末問題、指向性さらし端末問題、デフネスおよび、直交ルート構築方式などを中心に無線アドホックネットワークなどに関する詳細な説明を受ける。また、渡辺が中松より EVALPSN の推論機構の詳細とその実装化について詳細な説明を受ける。その結果、それぞれの立場よりルート構築方式の詳細分析を行い実装における問題点を明確にする。

(2) 中松が(1)の分析結果・問題点を踏まえ、渡辺と連絡を取りながら直交ルート構築方式に対する EVALPSN 推論モデルを構築する。具体的には定点ノード数15~20の仮想ネットワークを対象とし、各ルート間の直交性を考慮しながら EVALPSN 推論モデルによる最適ルート構築が可能かを検討する。

(3) 中松が直交ルート構築のための EVALPSN 推論モデルの構築と改良(ルート構築時の推論計算の高速化など)を行う。改良モデルに対しシミュレーションプログラム作成および実験を行う。実時間で推論可能である結果が得られるまで、この改良を繰り返す。この過程では、実時間推論を達成するために推論の正確さを犠牲にすることも視野に入れる。

(4) 直交ルート構築に対する検討を基に、マルチパスルート構築へ適応させる方法を考案する。具体的には定点ノード数15~20の仮想ネットワークを対象とし、各ルート間のディスジョイント性を考慮しながら EVALPSN 推論モデルによる最適ルート構築が可能かを検討する。

(5) (4)において評価できる結果が得られない場合、中松、渡辺が協力し(2)の段階に戻って、ネットワークトポロジーとルート直交の関係および問題点を分析し、前提とした直交ルート構築方式にも改良を加え、同じ研究過程を繰り返す。また、最適ルート構築が EVALPSN 推論モデルだけでは困難となった場合、最適ルート構築に必要なと思われる他の知的手法を EVALPSN 推論モデルに組み込み最適ルート構築に応用する。その際、実用化を念頭に置き、実時間処理(電子回路化)が可能かを吟味しながら研究を進める。

(6) これまでの研究過程において評価できる結果が得られる場合、定点ノードでなく現実に近い移動点ノード数15~20の仮想ネットワークを対象に同じ研究過程を実行する。シミュレーションプログラム作成および実験を行い、結果の分析、評価を行う。

## 4. 研究成果

(1) 平成20年度の研究では、中松と渡辺

が共に無線アドホックネットワークにおけるいくつかの問題点について議論し、それぞれの立場よりルート構築方式の詳細分析を行い実装における問題点を明確にすることが中心となった。その結果、現時点においては、指向性アンテナの物理的性能など諸々の条件を考慮すると、直交ルート構築に基づくスマートアンテナを用いた空間利用効率向上は困難であると結論付けることになった。その結果、複数ルート構築に的を絞った研究を続行した。

また EVALPSN の論争推論機能の複数ルート構築への利用に関して、EVALPSN の交通ネットワーク、パイプラインネットワークなどへの既存の応用結果を基に検討したところ、複数ルート構築については論争推論より複雑な蓋然性推論を利用した方が有効であろうという結論が得られた。さらに、ネットワークルーティングへの EVALPSN プロセス前後関係処理機能の応用可能性についても他の応用例を考慮し検討した結果、応用可能であると結論付けられた。

(2) 平成 21 年度は、昨年度の研究成果を踏まえ、直交ルート構築アルゴリズムを対象より外し、複数ルート構築プロトコルの EVALPSN モデル構築に的を絞った研究を行った。中松と渡辺が共に議論し、最も基本的なネットワークプロトコルである DSR (Dynamic Source Routing Protocol) をそれぞれの立場よりルート構築方式の詳細分析を行い、そのメッセージ制御方法を EVALPSN によりモデル化した。また、DSR の拡張である複数ルートを制御するプロトコル Multi-DSR の EVALPSN モデル構築も行った。現在は他の複数ルートを扱うプロトコルも含め、EVALPSN モデルの特色である蓋然性推論、論争推論の効果的適用が可能かを検討中である。並行して EVALPSN モデルに基づくシミュレーター構築についても検討した。

(3) 平成 22 年度は、平成 21 年度研究成果である基本的なネットワークルーティングプロトコルの一つである DSR (Dynamic Source Route Protocol) の EVALPSN を用いたモデル化を踏まえ、複数ネットワークルートプロトコル MDSR (Multi-DSR) の EVALPSN による論理モデル化を行った。その際に昨年度より検討中の蓋然性推論、論争推論の最適ルート選択への適用を考慮したが、単純な MDSR のモデル化において、その実装を考慮した場合、システムがより複雑になり実装効果が少ないと判断された。しかし、同じ EVALPSN による他の複数ルートプロトコルを EVALPSN によってモデル化し、同一ネットワーク上に複数のルーティングプロトコルを実装し実時間でネットワークの混雑具合などに基づきプロトコル選択を

行うシステムを考えればこれらの推論の EVALPSN に基づく実装も有効であると結論した。また、シミュレーションシステムについては現在、構築途中である。

これらの研究成果は論文 8 編、図書 3 編、学会発表 4 件として公表されている。

#### 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 8 件)

- ① Kazumi Nakamatsu, Jair M. Abe, Takashi Watanabe, Introduction to Intelligent Network Routing Based on EVALPSN, (査読有) Lecture Notes on Computer Science Vol.6278, pp.123-132, 2010.
- ② Kazumi Nakamatsu, Toshiaki Imai, Jair M. Abe, Takashi Watanabe, Application of EVALPSN to Network Routing, (査読有) Smart Innovation, Systems and Technologies Vol.4, pp.527-536, 2010.
- ③ Kazumi Nakamatsu, Seiki Akama, Jair M. Abe, Application of Bf-EVALPSN to Real-time Process Order Control, (査読有) AIP Conference Proceedings Vol.1117, pp.49-59, 2009.
- ④ Kazumi Nakamatsu, Toshiaki Imai, Jair M. Abe, Seiki Akama, Introduction to Plausible Reasoning Based on EVALPSN, (査読有) Studies in Computational Intelligence Vol.199, pp.363-372, 2009

[学会発表] (計 4 件)

- ① Kazumi Nakamatsu, Introduction to Ad-hoc Network Routing Based on Paraconsistent Annotated Logic Program EVALPSN, International Conference on Web and Information Technologies 2010, 2010.6.18, Marrakech, Morocco.

[図書] (計 3 件)

- ① Kazumi Nakamatsu, Lakhmi C. Jain (eds.), World Scientific Publishing Co., The Handbook on Reasoning-based Intelligent Systems, 2011, 700 pages.
- ② Gloria Ph-Wren, Lakhmi C. Jain, Kazumi Nakamatsu, Robert J. Howlett (eds.), Springer-Verlag, Advances in Intelligent Decision Technologies, 2010, 733 pages.
- ③ Kazumi Nakamatsu, Gloria Ph-Wren,

Lakhmi C. Jain, Robert J. Howlett  
(eds.), Springer-Verlag, New Advances  
in Intelligent decision Technologies,  
2009, 655 pages.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中松 和巳 (NAKAMATSU KAZUMI)  
兵庫県立大学・環境人間学部・教授  
研究者番号：60227874

(2) 研究分担者

渡辺 尚 (WATANABE TAKASHI)  
静岡大学・総合科学技術大学院・教授  
研究者番号：90201201