

論文の内容の要旨

論文題目	Robust Path Selection Schemes under Uncertain Network Conditions (不確実なネットワーク条件におけるロバストな経路選択方式)
学位 申請者	Ravindra Sandaruwan Ranaweera (ラヴィンドラ サンドルワン ラナヴィーラ)

ネットワーク状態には、トラフィック要求、ネットワークデバイスまたはリンクの障害、およびノード負荷が含まれている。ユーザーが満足するサービスを提供しながら良好なサービス品質を達成するためには、これらのネットワーク状態を考慮し、ロバストかつ効率的な経路を選択する必要がある。本論文は、不確実なネットワーク条件でロバストな経路選択方式を提供する手法を提案する。

第1部では、トラフィック需要とリンク障害の不確定性を持つインターネットプロトコル (IP) ネットワークのためのリンク重み計算方式を提案する。IPネットワークにおいて、Open Shortest Path First (OSPF) が広く使われているルーティングプロトコルである。OSPFでは、ネットワークの各リンクにリンク重みを設定し、リンク重みの合計が最小となるような経路を選択する。ネットワークのトポロジーを考慮した最適なリンク重みを設定しないと、特定のリンクにトラフィックが集中し、ネットワークの通信品質が低下する。最適なリンク重みセットを計算することは、OSPFネットワークのトラフィックエンジニアリングにおける重要な課題である。Start-time Optimization (SO) は、ネットワーク起動時に最適なリンク重みを計算し、設定する。しかし、SOはネットワークの状態の変化を考慮していないため、ネットワークの状態が変化した場合、ネットワークの通信品質が低下する。ここでは、ネットワークの状態変化としてトラフィック需要の変化、リンク故障について考える。ユーザー要求の複雑化によってネットワークのトラフィック需要予測が非常に難しくなっている。ネットワーク内にリンク障害が発生すると、そのリンクを通過するトラフィックを別経路に迂回する。その際に、迂回により追加されたトラフィックによってネットワークが混雑し、通信の品質が低下するとともに、ネットワークのエネルギー消費が増加するという問題がある。これらの問題を解決するために、提案手法において、リンク利用率の最小化と、ネットワークリソース利用率の合計を最小化する手法を検討する。本論文では、リンク故障とトラフィック需要の変化を考慮した最適なリンク重み計算問題を混合整数線形計画法 (MILP) でモデル化する。また、MILPモデルの計算量が非常に大きいため、現実的な時間内にリンク重み最適化の近似解を求める発見的手法も

提案する。シミュレーション結果は、提案方式が、トラフィック需要変化およびリンク故障に対して堅牢である一方で、ネットワーク輻輳およびネットワークリソース利用を低減することができることを示している。

第2部では、ノード負荷を考慮したネットワークのための経路選択方式について提案する。ノードの負荷が高いと処理が待たされることになり、処理時間が長くなる。一方で負荷が低いノードであれば、処理が待たされることなく、より短い時間で処理できる。従って、ノードを選択する（経路選択と同一になる）際に、ノード負荷を考慮する必要がある。

Apache Hadoop（以下Hadoop）は大規模なデータを現実的な時間と経済的な費用で分析するための並列分散処理基盤であり、最近パブリッククラウド上の利用も急速に増えている。Hadoopでは、可用性を実現するため、同じデータを複数ノードで持っている。Hadoopは、データを読み込みとき、ノード間の距離を静的な情報であるホップ数をベースとした方式で計算している。しかし、クラウドサービス事業者がホップ数計算に必要な情報を提供しないため、Hadoopが無作為にノードを選択する。無作為にノードを選択することによって、Hadoopのデータ読み込みが遅くなる。この問題を解決するためには、Hadoopクラスタのノード間の遅延分布を比較するデータ読み込み先選択方式を提案する。また、クラウド環境で構築したHadoopクラスタを用いた実験結果により、提案方式が従来の方式より短時間でデータ読み込みや処理ができることを示す。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 Ravindra Sandaruwan Ranaweera

審査委員主査 KITSUWAN NATTAPONG

委員 來住 直人

委員 山尾 泰

委員 寺田 実

委員 大木 英司

ネットワーク状態には、トラフィック要求、ネットワークデバイスまたはリンクの障害、およびノード負荷が含まれている。ユーザーが満足するサービスを提供しながら良好なサービス品質を達成するためには、ロバストかつ効率的な経路を選択する必要がある。本論文は、不確実なネットワーク条件でロバストな経路選択方式を提供する手法を提案し、以下の二部で構成されている。

第一部は、第2章と第3章である。トラフィック需要とリンク障害の不確実性を持つインターネットプロトコル (IP) ネットワークのためのリンク重み計算方式を提示する。ネットワーク内にリンク障害が発生すると、そのリンクを通過するトラフィックを別経路に迂回する。その際に、迂回により追加されたトラフィックによってネットワークが混雑し、通信の品質が低下するとともに、ネットワークのエネルギー消費が増加するという問題がある。これらの問題を解決するために、紹介手法について、リンク利用率の合計の最小化と、ネットワークリソース利用の合計の最小化の手法を検討している。

第二部は、第4章と第5章である。ノード負荷を考慮したネットワークのための経路選択方式について記述している。Apache Hadoopは大規模なデータを現実的な時間と経済的な費用で分析するための並列分散処理基盤であり、最近パブリッククラウド上の利用も急速に増えている。クラスタのノード間の距離を計算するためにHadoopはクラスタ管理者が設定するラック情報を利用し、データをリモートノードからデータ読み込むとき、最も距離が近いノードから読み込む。このとき、パブリッククラウド事業者はラック情報を提供していないため、Hadoopがノード間の距離計算をできないという問題がある。この問題を解決するためにクラスタのノード間の遅延分布を用いたデータ読み込み先選択方式を紹介している。ネットワークシミュレーションを用いた性能評価により、本紹介方式の有効性を示す。

第1章では、本研究の背景ならびに目的を述べ、本論文の構成を示している。

第2章では、最悪の場合ネットワーク混雑を最小化するリンク障害およびトラフィック需要変動に対してロバストなリンク重みセットを計算する方式を示し、ネットワーク混雑を削減することの重要性を記述する。最悪の混雑率を削減するための最適化問題とヒューリスティックなアルゴリズムを導入する。

第3章では、ネットワークのエネルギー消費を減らすために、第2章で示したリンク重み最適化方式をどのように拡張するかを検討する。リンク障害とトラフィック需要の変動に対するネットワークのエネルギー消費を削減するパス選択方式を提示する。目的はルーティングに使用される束ねられたケーブルの数を最小化することによってネットワークエネルギー消費を最小化することであるので、すべてのリンクで使用される帯域幅の合計を最小化することを目標に設定する。

第4章では、Hadoopの概要を述べる。Hadoopクラスターのサーバー負荷が不確実な場合のパス選択方式を提示する。従来のHadoopは、物理ラックレイアウト情報のみを使用してサーバー間のネットワーク距離を計算している。サーバーの負荷は頻繁に変動するため、サーバーの負荷の状態に応じて動的に最適なサーバーを計算する必要がある。提示方式における距離は、サーバー間の論理距離を計算するためにRTTベースの遅延分布を使用する。遅延分布を比較するため、最小遅延、平均遅延、最大遅延、遅延分布のパーセンタイルを比較方針として使用する。遅延分布比較ポリシーに従ってノードリストを並べ、データを取得するための遅延が最も少ないノードを接続する。

第5章では、サーバ負荷が不均衡なネットワークに対するパス選択方式の実験結果を示す。実装では、Hadoopクラスターで実行されているサンプルジョブから結果が取得されている。

第6章では、本論文の結論と今後の課題について述べている。

論文は、不確実なネットワーク条件の重要な側面を考慮したロバストパス選択を研究した。第一部では、ロバストな最適化手法を取り入れることによって、リンクの重みを決定する方法について説明します。第二部では、コンピューティングパフォーマンスを最大化するためにノード負荷を割り当てる方法について説明します。これは素晴らしい研究である。特に、第二部では、理論と実装を統合し、新しい分野が創出されている。それはHadoopの分野で産業界と学术界に大きな影響を与える。今後の高信頼なアプリケーションを転送するネットワークの設計・制御において、要素技術となり得る。これらの成果は、三編の優れた学術雑誌論文として結実している。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。