



Title	Fluid-based Analysis and Simulation of Internet Congestion Control Mechanisms
Author(s)	Sakumoto, Yusuke
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/698">https://hdl.handle.net/11094/698</a>
rights	
Note	

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

【2】

氏名	作元雄輔
博士の専攻分野の名称	博士(情報科学)
学位記番号	第 24218 号
学位授与年月日	平成 22 年 9 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 情報科学研究科情報ネットワーク学専攻
学位論文名	Fluid-based Analysis and Simulation of Internet Congestion Control Mechanisms (流体近似法を用いたインターネットにおける輻輳制御機構の解析およびシミュレーション)
論文審査委員	(主査) 教授 今瀬 真 (副査) 教授 中野 博隆 教授 東野 輝夫 教授 村上 孝三 教授 村田 正幸

論文内容の要旨

近年のインターネット技術の爆発的な普及により、ネットワークに接続される

ノード数や利用者数が指数関数的に増加し、インターネットの大規模化が急速に進んでいる。また、インターネット技術の急速な進歩により、ネットワークの帯域は急増している。このようなノード数・帯域に対するネットワークの大規模化により、ネットワーク全体の挙動を理解することがさらに困難になってきている。このため、大規模ネットワークの挙動を理解できる性能評価手法に対する要求が高まっている。

流体近似法を用いたインターネットにおける輻輳制御機構に関する研究が数多く行われている。流体近似法では、多くのパケットを単一のフローに近似する。流体近似法では、フローの挙動が微分方程式で表される。流体近似法を用いることで、輻輳制御機構の数学的な解析や数値シミュレーションを行うことができる。流体近似法の長所は、(1) 輻輳制御機構のダイナミクスを高い精度で数学的にモデル化できること、(2) ネットワークのフローレベルの振舞いをとらえられること、である。近年、ネットワークの広帯域化に伴ない、高速ネットワーク向けの輻輳制御機構が提案されているが、それらの輻輳制御機構に対して、流体近似法を用いた数学的解析の手法が十分整備されていない。また、流体近似法を用いたシミュレーション（フローレベルシミュレーション）において、効率的な数値計算アルゴリズムの検討が十分になされていない。

本論文では、流体近似法を用いて、大規模ネットワークにおける輻輳制御機構の数学的解析およびシミュレーションを実現することを目指す。まず、高速ネットワーク向け輻輳制御機構である XCP (eXplicit Control Protocol) に着目し、流体近似法を用いた XCP の安定性解析手法を構築する。その結果、XCP の安定条件を明らかにするとともに、私の構築した解析手法の有効性を示した。また、XCP のロバスト性向上手法 XCP-IR を提案し、構築した解析手法を用いて、XCP と同様に、XCP-IR の安定性を明らかにする。次に、効率的なフローレベルシミュレーションを実現するために、適応刻み幅制御に対応した数値計算アルゴリズムを用いた、フローレベルシミュレータ FSIM の設計と実装を行う。実装した FSIM を用いた実験を通して、FSIMは、従来のフローレベルシミュレータに比べて、より規模の大きなネットワークを高速にシミュレーションできることを示す。最後に、フローレベルシミュレーションの有効性を更に高めるために、経路計算アルゴリズム Thorup 法の大規模ネットワークにおける有効性を評価する。

## 論文審査の結果の要旨

近年のインターネット技術の爆発的な普及により、ネットワークに接続されるノード数や利用者数が指数関数的に増加し、インターネットの大規模化が急速に進んでいる。また、インターネット技術の急速な進歩により、ネットワークの帯域は急増している。このようなノード数・帯域に対するネットワークの大規模化により、ネットワーク全体の挙動を理解することがさらに困難になってきている。このため、高速・大規模ネットワークの挙動を理解できる性能評価手法に対する要求が高まっている。

流体近似法を用いたインターネットにおける輻輳制御機構に関する研究が数多く行われている。流体近似法では、多くのパケットを単一のフローに近似する。流体近似法では、フローの挙動が微分方程式で表される。流体近似法を用いることで、輻輳制御機構の数学的な解析や数値シミュレーションを行うことができる。流体近似法の長所は、(1) 輻輳制御機構のダイナミクスを高い精度で数学的にモデル化できること、(2) ネットワークのフローレベルの振舞いをとらえられること、である。近年、ネットワークの広帯域化に伴い、高速ネットワーク向けの輻輳制御機構が提案されているが、それらの輻輳制御機構に対して、流体近似法を用いた数学的解析の手法が十分整備されていない。また、流体近似法を用いたシミュレーション（フローレベルシミュレーション）に

おいて、効率的な数値計算アルゴリズムの検討が十分になされていない。

本論文では、流体近似法を用いて、高速・大規模ネットワークにおける輻輳制御機構の数学的解析およびシミュレーションの実現を目指している。

まず、高速ネットワーク向け輻輳制御機構である XCP (eXplicit Control Protocol)に着目し、流体近似法を用いた XCP の安定性解析手法を構築している。その結果、高速ネットワークにおける XCP の安定条件を明らかにするとともに、構築した解析手法の有効性を示している。また、XCP のロバスト性向上手法 XCP-IR を提案し、構築した解析手法を用いて、XCP と同様に、XCP-IR の安定性を明らかにしている。

次に、効率的なフローレベルシミュレーションを実現するために、適応刻み幅制御に対応した数値計算アルゴリズムを用いた、フローレベルシミュレータ FSIM の設計と実装を行っている。実装した FSIM を用いた実験を通して、FSIMは、従来のフローレベルシミュレータに比べて、倍程度の規模のネットワークを、2-3倍程度高速にシミュレーションできることを示している。

最後に、フローレベルシミュレーションの有効性を更に高めるために、経路計算アルゴリズム Thorup 法の大規模ネットワークにおける有効性を評価している。大規模ネットワークのシミュレーションにおいては経路計算の処理に膨大な時間がかかることが分かっている。Thorup 法は Dijkstra 法よりも計算量が小さいが大規模ネットワークにおける有効性は明らかにされていない。実験の結果、Thorup 法は、Dijkstra 法に比べて CPU キャッシュ性能が低いことを明らかにするとともに、大規模ネットワークにおいて Dijkstra 法よりも高速に経路計算を行えることを示した。

以上のように、本論文では、高速・大規模ネットワークにおける輻輳制御機構の数学的解析およびシミュレーションの実現に向けて多くの研究成果をあげている。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値あるものと認める。