

早稲田大学大学院国際情報通信研究科

博士論文審査報告書

論文題目

Research on
Cross-Layer Manipulation Model
in TCP/IP Architecture

TCP/IP アーキテクチャにおける
クロスレイヤ操作モデルに関する研究

申請者

ブウ	チュオンタイン
VU	Truong Thanh

国際情報通信学専攻
情報ネットワークシステム研究 II

2011 年 7 月

近年、インターネットは爆発的に進展を遂げ、様々な分野に深く浸透してきており、我々の日常生活に不可欠な情報基盤となっている。

従来のインターネットアーキテクチャは歴史的には静的な通信環境を前提としている。すなわち、主として有線系の通信や処理速度の遅いデスクトップ端末が想定されており、TCP/IP プロトコルスタックもレイヤリング原則により設計されている。このようなアーキテクチャに基づき、当初電子メール、ニュースグループ、そして World Wide Web など比較的単純なサービスが実現されてきたが、モバイル通信をはじめとする新しい通信環境の進展や高度なアプリケーションサービスの登場などに際して、現行のインターネットアーキテクチャが十分に対応できなくなるという事態が表面化してきている。

このような背景から、従来の TCP/IP アーキテクチャを見直す機運が世界中で高まりつつある。新しいインターネットアーキテクチャの研究は、従来の TCP/IP アーキテクチャから完全に離脱し、全く白紙の状態からネットワークアーキテクチャを探ろうとするものと、従来からの利点は継続し、さらに革新的なアーキテクチャを盛り込もうとするものとに大別される。

本研究は、後者の潮流に沿うものであり、現行の TCP/IP アーキテクチャに、レイヤを超えて情報の共有・操作を可能とする「InterLay」と称するクロスレイヤの操作モデルを提案するものである。

プロトコルスタックを積み重ねた通信ソフトウェアのレイヤ構成は、異なるプロトコル間の互換性を実現しやすくするものであり、レイヤごとの明確な機能分離によりソフトウェアの開発が容易になることから優れたソフトウェア構成法といえる。一方、その機能区分が最適化の障害となり、効率的なリソース利用や通信品質の確保の実現を困難としているなどの問題が顕在化している。これらを解決する仕組みとして、本研究ではクロスレイヤ操作が検討されている。

本提案は既存のアプローチに比しても、多様な、そして高度なサービスをより容易に実現するものであり、今後のインターネットの変化に対応できる柔軟性を与えるものとして期待される。さらに、本研究は、このクロスレイヤ操作に適合するパラメータを抽出・分類するためのスキームについても提案し、本アプローチが極めて実用的であることも示しており、その研究成果は新世代ネットワークアーキテクチャの進展に貢献するものとして高く評価できる。

本博士学位論文は、筆者が本学大学院国際情報通信研究科に在学中に行った研究、ならびにその後本学国際情報通信研究センターの研究員として行った研究で得られた成果をまとめたものであり、全6章で構成されている。

なお、博士学位論文および概要書は英文で記述されている。以下に各章の概要を述べるとともに、評価を加える。

第1章「Introduction」は序論であり、先ず従来の TCP/IP アーキテクチャの歴史を紹介し、レイヤリングの原則がどのようにインターネットの発展に寄与してきたかについて述べている。同時に、最近のインターネット環境の変化においては、このレイヤリング原則は制限が厳しすぎるという事実を指摘し、新しいアプローチの必要性を主張している。上記の問題を中心とし、その解決方法を探ることを本研究の目的としている。

第2章「Limitations of Conventional TCP/IP Architecture and Related Works」は、従来の TCP/IP アーキテクチャのレイヤリング原則が今日の通信環境の進展にどのような制限を与え、障害となっているかを明らかにしている。また、関連文献の調査を通じて、このよ

うな TCP/IP レイヤリングの原則の問題点を克服するために、ケース・バイ・ケースでの対応のみが行われてきた背景を明らかにしている。

第3章「InterLayer Model for Cross-Layer Information Manipulation」は TCP/IP ネットワークアーキテクチャにおけるクロスレイヤの情報共有・操作を可能とする新モデル

「InterLayer」を提案し、その詳細設計について論じている。

まず、新アーキテクチャの設計・分析するためのツールとしてオブジェクト指向技術を利用する理由について言及している。次いで、「InterLayer」を構成する3機能群：ポリシーエンジン (PE: Policy Engine)、インフォーマ (IF: Informer) およびエンフォーサ (EF: Enforcer) について、その機能の詳細を述べている。

「InterLayer」では、ネットワークパラメータ値の検索、パラメータ値の更新、ネットワークプロトコルの実行、イベントの通知に関する4種類の要求 (Request) が処理されるが、ポリシーエンジン PE は、これらの要求に関して、外部エンティティからの要求に対する要求元の認証 (Authentication) や要求内容の認可 (Authorization) などを実行するセキュリティポイントの役割を果たす。一方、インフォーマ IF は要求元へパラメータの値を返したり、ネットワークイベントの発生を予め指定された要求元に通知するものであり、エンフォーサ EF は具体的にネットワークング手順を実施したり、パラメータの値を更新するものである。

本章では、「InterLayer」に基づき、現行の TCP/IP アーキテクチャが有する、リソース利用の最適化や通信品質保証を実現する上での問題が解決され、さらに高度なサービスの実現が可能となることが示されており、提案された「InterLayer」モデルは今後のインターネットのさらなる発展を支えるネットワークアーキテクチャの有力なモデルのひとつとして期待される。

第4章「Test Questions for Selection of Fine-Tunable Parameter List」は、テスト質問 (Test Question) を利用し、クロスレイヤの情報共有・操作に適切なパラメータを抽出・分類する方法論を提案している。

まず、新プロトコルやクロスレイヤサービスの開発に費やされる時間を節約するために、適切なパラメータをすべて抽出・分類する必要性を指摘している。次いでその検出方法として、必要なパラメータを抽出するためのテスト用の質問を採用するスキーム (テスト質問) を定義している。さらに、このテスト質問を TCP/IP プロトコル・ファミリの様々なプロトコルに適用することにより抽出されたパラメータがレイヤごとに示されている。

これらの方法論は「InterLayer」モデルだけでなく、他のクロスレイヤのシステムにも適用されるものであり、極めて汎用的な手法を確立した点は評価できる。

第5章「Discussion and Analyses」は、提案したモデルが従来の TCP/IP アーキテクチャに基づく既存サービスならびに将来の変化に十分対応し得ることを明らかにしている。

「InterLayer」が現行 TCP/IP アーキテクチャのもつ、リソース利用の最適化や通信品質保証を実現する上での問題に対して、どのように対応できるかを分析し、関連システムと比較しながら、本モデルが極めて実用的で、有用であることを示している。

本章ではさらにオブジェクト指向プログラミングのオーバーヘッド、性能およびセキュリティ問題に関する議論も展開し、「InterLayer」モデルの実用性・有効性を明らかにしており、本研究が完成度の高いものであることを示している。

第6章「Conclusions and Future Works」では、本研究の主要な貢献をまとめ、今後の課題についても言及している。

以上要するに、本論文は現行 TCP/IP アーキテクチャの問題解決に向けて、レイヤを超えて情報の共有・操作を可能とするクロスレイヤ操作モデルを提案するものであり、既存のアプローチに比しても、新しい通信環境に対応し、多様で高度なサービスを実現可能とする技術的手法を確立するなど、極めて実用的な研究成果を得ている。

これらの知見は将来的に新世代ネットワークアーキテクチャの進展に資するものであり、国際情報通信学の発展に寄与するところは極めて大きい。よって、本論文は博士（国際情報通信学）の学位を授与するに値するものと認める。

2011年7月6日

審査員

(主任)	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	浦野 義頼
	早稲田大学教授	博士（工学）（早稲田大学）	松本 充司
	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	朴 容震
	早稲田大学教授	Ph. D.（イリノイ大学）	中里 秀則