

称号及び氏名	博士（工学） 三浦 浩一
学位授与の日付	平成 28 年 3 月 31 日
論文名	「コンテンツ指向型ネットワークにおけるコンテンツ配信及び取得技術に関する研究」
論文審査委員	主査 戸出 英樹 副査 宮本 貴朗 副査 吉岡 理文

## 論文要旨

従来、ネットワーク利用の主な目的は、電子メールの送受信や遠隔ログイン等に加えて、**Web** などのサーバからの情報取得であり、1対1のホスト間通信に基づくデータ通信が前提となっている。そのため従来のネットワークでは、**IP (Internet Protocol)** アドレス等の位置情報に基づき運用されている。すなわち、**IP** ルーティングを含む従来の **Location-Based Routing** では、ある端末に到達するためのルートを構築することが重要な技術課題となっている。

しかしながら現在では、ユーザの興味はコンテンツが存在するサーバ等の端末自体やその端末の位置にあるのではなく、コンテンツそのものにあると考えられる。端末同士がお互いの位置を意識せずに、所望のコンテンツを配信及び取得することがネットワークの主な目的となっている。特に近年、音楽や動画をはじめ、ゲーム等の大容量コンテンツを含む膨大な量のコンテンツを効率的に配信し、容易に所望のコンテンツを取得できるネットワークの実現が望まれている。このようなネットワークの利用形態の変化から、コンテンツ指向型ネットワークが注目されている。

コンテンツ指向型ネットワークにおいては、ネットワーク内に複数のサーバやキャッシュを地理的に分散させて配置し、さらにそれらのサーバやキャッシュ上にユーザリクエストを満足させる上で最も効用の大きい位置にコンテンツを配置すること（コンテンツ配置）が重要な技術課題となる。また、ユーザの被るレスポンスタイムを小さくする上で最も効用の大きいサーバやキャッシュを発見し、それらのコンテンツを所望するユーザからのリクエストをそのサーバやキャッシュへと誘導すること（リクエストルーティング）が重要な技術課題となる。

本論文では、有線系ネットワーク及び無線系ネットワークといった様々な環境をターゲットとして、これらのコンテンツ指向型ネットワークに適用可能なコンテンツの配信及び取得技術について検討を行った。具体的には、有線ネットワークとしては、コンテンツ指向型ネットワークの先駆けとなったコンテンツ配信網をターゲットとし、無線ネットワークでは、車両ネットワーク (**VANET: Vehicular Adhoc Network**) をターゲットとして検討を行った。有線ネットワークにおいては、基本的にコンテンツの配置先となるサーバ及びクライアントは固定であるため、人気度に応じた静的な配布によりネットワーク支援の効果がパフォーマンスに大きく顕れると考えられる。一方、車車間通信などの無線ネットワークでは、コンテンツの配置先車両は不特定多数である上に、クライアントとなる車両も移動するため、不特定多数の車両に対して効用の大きいポイントへコンテンツを配布することは非常に困難なものとなっている。このように無線ネットワークは有線ネットワークとは極端に環境が異なるため、配布されたコンテンツの有効な位置、及び有効な期間が変動することから、コンテンツの人気といった属性に加えて、コンテンツの有効範囲及び有効期限を考慮したこれまでと異なるアプローチが必要となる。

第1章では、研究背景と目的、及び本論文の構成について述べた。

第2章では有線ネットワークを対象に、ネットワーク支援技術を利用したリクエストルーチングとして **Active Anycast** を提案した。**Active Anycast** では、ネットワーク内のルータが適切なサーバを選択し、クライアントからのリクエストをそのサーバへと誘導する。この **Active Anycast** において、サーバ選択時にどのような情報を用いるのが有効であるかという観点から、情報獲得手法及びサーバ選択ポリシーについて検討を行った。この際サーバ選択時に用いる情報獲得手法に注目し、ピギーバック方式ならびに **RTT (Round Trip Time)** パッシブ測定方式を提案した。前者はサーバ負荷情報をサーバ選択情報として用い、後者はルータで計測する **RTT** を用いてサーバを選択する。ネットワーク支援技術を用いたリクエストルーチングでは、ネットワーク支援を行うルータの割合や位置によって所望の性能が得られない可能性がある。そこで、ネットワーク内に導入されるネットワーク支援を行うルータ数の割合に着目し、上記の両者の性能比較を行った。その結果、コンテンツ獲得に要する遅延の中でサーバ処理遅延が占める割合が大きい場合、ならびにネットワーク遅延が占める割合が大きい場合のいずれにおいても、**RTT** パッシブ測定方式で良好な結果が得られた。従ってリクエストルーチングとして **RTT** パッシブ測定方式を用いることで、負荷分散ならびにネットワーク輻輳回避の双方の観点から見て優れたサーバ選択が行えることが明らかとなった。さらにネットワーク支援を行うルータの配置に関する評価では、ユーザの近くに位置するルータにその機能をもたせることにより大きな性能改善がなされることも確認した。

第3章では、従来提案されているコンテンツ配置は、リクエストルーチングとして最近隣サーバを選択する **Anycast** を前提とし、各ユーザのコンテンツ取得遅延の改善を目的としていることを示した。これに対し、ネットワークで被る遅延のみならず、サーバでの処理遅延を考慮できるリクエストルーチングを適用した場合には、ユーザ個々の性能改善のみならず、ネットワーク全体の性能改善が見込める可能性を示唆した。具体的には、リクエストルーチングとして第2章で提案した **Active Anycast**、コンテンツ配置としてリクエスト発生確率、すなわちコンテンツの人気に応じてネットワーク全体に配置されるコンテンツ数を分散制御する **Popularity-Probability** を提案し、従来手法との種々の組み合わせについて検討を行った。その結果、ネットワーク全体の性能改善を志向した組み合わせ (**Active**

Anycast+Popularity-Probability) により、少ないコンテンツサーバ数で良好なコンテンツ取得遅延の短縮が実現できること、設計当初のコンテンツリクエスト確率の変動に対し柔軟に対応できるロバストなシステムを構築できることを明らかにした。

第4章では、無線ネットワークとして **VANET** を対象にコンテンツの配信及び取得技術について検討を行った。特に本章では、ユーザ車両が所望するデータを効率よく取得するためには、どのような車両にどのようなコンテンツを保持させるのが良いかという観点で検討を行った。**VANET** において共有される情報には、統計情報としての人気度だけでは表現できない時間や場所に依存した局所的に有効な様々なものが考えられる。そこで本章では、人気度のみならずデータの有効期限及び有効距離を考慮して各車両が保持し、別の車両へ配布するデータを決定する手法を提案した。性能評価の結果、本手法を用いた場合、時間や場所に依存した局所的に有効なデータの取得性能が大きく改善された。データの人気のみを考慮した従来手法とは異なり、本手法は特に位置と時刻に依存した情報の提供を効率的に行うことを目的としたアプローチとなっている。有効期限を考慮した本手法により、ユーザに対して、期限切れ間近のデータ（タイムセールなどの特売情報など）への気づきを誘発するような効果が期待できる。一方、位置に依存した情報提供により、地域限定の情報をより効用の大きいユーザに配布する効果も期待できる。

第5章では、**VANET** において、特定のコンテンツを要求する移動ユーザ車両の取得性能を向上させる手法について検討を行った。ある車両が道路上の端末及び走行する車両に対してコンテンツ取得要求を送信し、そのリクエストを受け取った端末がリクエスト送信車両に対して返信メッセージを送信する場合、リクエストが送信された位置に対してメッセージを送信する方法が考えられる。この場合、DTN (Delay Tolerant Networking) 技術を用いた **VANET** では、返信メッセージがユーザ車両に到達するまでの間に被る遅延により、リクエスト車両がリクエストを送信したオリジナル位置から移動している可能性が高い。この場合、中継ノードとなる車両がリクエスト車両の現在位置を把握していないことにより、返信メッセージをリクエスト車両に届けることは困難である。このような問題を解決するために、リクエストを送信する車両は自身の移動に伴い、自身の位置情報を周辺車両へ広告する手法を提案した。性能評価により、本手法が広告メッセージの転送数を抑制しつつ、レスポンスメッセージの取得性能を向上させることを確認した。

第6章では、本論文で得られた結果を総括するとともに、今後取り組むべき研究課題について述べた。

## 審査結果の要旨

本論文では、コンテンツ取得を指向するネットワークにおいて、ユーザリクエストを満足させる上でネットワークはどのような貢献ができるのかという観点に立ち、多様な環境をターゲットとして検討が行われており、以下の成果が得られたことを確認した。

- (1) 有線ネットワークでの取り組みでは、網内のルータが自律的にサーバを選択し、適切なサーバへとユーザリクエストを誘導する手法の提案が行われた。その際、サーバ選択時にどのような情報を用いるのが有効であるかという観点から、情報獲得手法及びサーバ選択ポリシーについて検討がなされた。この検討を通して本手法が、サーバ負荷分散ならびにネットワーク輻輳回避の観点から見て優れたサーバ選択が行えることを明らかにした。
- (2) 従来のコンテンツ配置技術に加えて新たに、コンテンツの人気に応じて網内全体に配置されるコンテンツ数を分散制御する配置技術の提案がなされた。コンテンツ配置とリクエストルーチングとの種々の組み合わせについて評価が行われ、ネットワーク全体の性能改善を志向した組み合わせにより、設計当初からのコンテンツ人気の変動に柔軟に対応できるコンテンツ指向型ネットワークを構築できることを明らかにした。
- (3) 無線ネットワークとして車車間通信網上でユーザ車両が所望するデータを効率よく取得することを目指し、各車両が別の車両へ配布するために保持するデータを決定する手法の提案がなされた。これは、データの人気のみを考慮した従来手法と異なり、特に位置と時刻に依存した情報の提供を効率的に行うことを目的としたアプローチとなっており、時間や場所に依存した局所的に有効なデータの取得性能が大きく向上することが実証された。
- (4) 車車間通信網においてコンテンツを中継する車両がリクエスト車両の現在位置を把握していないことにより、メッセージを届けられない問題に対し、移動するユーザ車両宛のコンテンツ取得性能を向上させる手法の検討が行われた。リクエストを送信する車両が移動に伴い、自身の位置情報を周辺車両へ広告する手法が提案され、その有効性が示された。

以上の諸成果は、将来のコンテンツ取得を指向するネットワークの設計指針に大いに貢献すると考えられ、本分野の学術的・産業的な発展に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである。