

論文内容の要旨

博士論文題目 時刻属性に基づいた
階層化オーバーレイネットワークの研究

氏名 洞井晋一

インターネット上で提供されているサービスはサーバを利用した一対多の通信方式が主流であるが、多対多通信を実現する P2P 型の通信方式が注目されてきている。P2P 型の通信を実現するオーバーレイネットワークの研究分野では分散ハッシュテーブルに関する研究が盛んであり、特にトポロジに制約を加えた構造化オーバーレイネットワークは理論的に高速かつ確実な検索を可能としているため、信頼性の高いサービスを提供できるものとして注目されている。しかし、P2P 型のサービスは利用者の計算機によるサービス提供であるため、頻繁にオーバーレイネットワークへの参加と離脱を繰り返す計算機が存在する。こうした挙動はオーバーレイネットワークの信頼性を本質的に低める要因となるため、現実的にサービスとして利用している事例は少ない。これに加え、集中管理型のサービスと異なり情報が分散されるため、複数の属性を指定した情報の検索が困難である。このため、オーバーレイネットワークの利用は特定の情報を提供するサービスに留まり、汎用的に利用できる情報基盤の構築が難しい。本論文では時刻属性が多くの情報に付随することに着目し、情報の共有に時刻属性の利用を想定した。従来の手法では時刻属性を用いて共有することで、負荷の不均衡や検索クエリの増大が問題となった。そこで、時間経過に伴って集約されていくように Value をノードへ配置し、範囲検索によるクエリの増大を防いだ。また、提案手法ではオーバーレイネットワークをノードの参加時間に応じて階層化し、Value を時間が経過するに従って安定した階層へと集約する。この集約の効果によって Churn の激しい環境下であっても検索成功率を高いまま維持することができる。

提案手法が動作するアプリケーションを実装し、オーバーレイネットワークのエミュレーションによる実験の結果、提案手法は従来の手法と比べ検索の成功率が約 15% 向上した。また、従来のものよりネットワーク上を流れるメッセージ数が約 10% 増加したが、性能には問題の無い範囲であり、Value の内容や検索の頻度によっては、ネットワーク上を流れるトラフィックを削減できる。

(論文審査結果の要旨)

本論文はインターネット上での多対多通信サービスを実現するために、オーバーレイネットワーク技術の適用範囲について議論し、情報の時刻属性を利用する階層型のオーバーレイネットワークを提案することで、適用範囲の広いオーバーレイネットワーク技術を可能とした。また、実利用可能なアプリケーションの開発とそれによる評価によって提案手法が有効であることを示した。提案手法では情報の時刻属性を用いるため、現実世界の情報を汎用的に共有することを可能とし、情報の集約配置手法によって負荷の公平な分散と多属性検索を実現している。また、実利用可能なアプリケーションとして写真の共有を行うアプリケーションを開発し、時刻による写真属性の共有を実現した。本論文の成果は以下の通りである。

1. 情報の時間属性を利用することで、現実世界の情報を汎用的にオーバーレイネットワーク上で共有することを可能とした。ハッシュ関数を用いた従来の DHT 方式では検索に指定する Key の属性を考慮せず分散するため、特に地理位置や時刻のような連続性のある情報の共有が困難であった。提案手法ではハッシュ関数の代わりに Key の連続性を破壊しない新しい関数を考案した。提案した関数は時刻属性の連続性を破壊せず、また古い時刻に対する検索ほど検索範囲が広がることを考慮し、時刻の経過時間によって情報を集約配置する。そのため、特に古い時刻の情報に対して広い検索範囲への高い検索成功率を実現した。
2. 既存のオーバーレイネットワーク技術では主に負荷の均等な分散について議論することが多いが、本論文ではより現実的な議論として負荷の公平な分散を考慮した。現実的なサービスでは参加者の利用する計算機の挙動が同一であるとは考えにくく、特に参加と離脱 (Churn) の頻度が大きく異なる。そのため、均等に分散するよりも Churn の頻度が少ない計算機に対して優先的に負荷を割り当て、検索成功率の向上と公平な負荷分散を実現した。提案手法では計算機の参加時間を用いて階層化を行い、Churn の頻度が低い上位層のノードによる安定したサービスの提供を実現した。

以上のように、本論文は多対多通信によるサービスの実現に向けて、新しいオーバーレイネットワーク技術による安定したサービスの提供を可能にし、実利用可能なアプリケーションの開発とそれによる評価によって有効性を明らかにした。現在、安価な計算機の普及と地球を覆い尽くすばかりのネットワークインフラの充実によって、今後の多対多通信に対する社会的な需要は非常に高い。本論文はネットワーク上での新たな情報共有の方式として学術、社会に非常に高い貢献をもたらすものである。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文としてふさわしいものと認める。