

## 論文の内容の要旨

論文題目 ユーザ志向型協調的ネットワーキングに関する研究

氏 名 川田 雅人

インターネットが米国の軍事・学術機関によって利用され始めた 1980 年代から、世界各国の一般家庭にまで普及した今日まで、ネットワークを介した遠隔協調作業のことを広く指す「ネットワークコラボレーション」はインターネット利用の最たる目的の一つであり続けている。特に昨今のコンピュータ環境とネットワーク環境の質的・量的な拡大は、多様なネットワーク端末が遍在する「ユビキタスコンピューティング環境」を作り出し、その結果として多くの通信端末が相互かつ頻繁にデータ通信と計算処理を行う分散協調的なネットワークコラボレーションが必要とされている。これに向けて、ユーザは遍在性と多様性に対する負担を強いられることなく、ユーザの多様な志向（操作感、嗜好、注目など）に対応する柔軟かつ高品質なサービスを楽しむためのネットワークコンピューティング技術の研究開発が求められる。

本論文では、システムの構成や評価指針の中心にユーザを据える考え方で、ユーザを取り巻く複数の通信端末やデータストリームが協調制御を行って、ユーザの意図を考慮した柔軟性の高いサービスを提供するネットワークコンピューティング技術のことを「ユーザ志向型」協調的ネットワーキング技術と呼ぶ。本ネットワーキング技術は、アプリケーションの開始/終了を支援するブートストラップ手法から、各エンティティを相互に結ぶ自律分散的な論理的ネットワークの構築手法、および各データフローに対する柔軟な資源割当機構までの、ネットワークコラボレーションにおける一連の手続きを含むことを想定している。

本論文の構成もこの流れに従い、まず第 1 章でユーザ志向型協調ネットワーキングの目的、フレームワークの説明を行った後、第 2 章では、ネットワークを介したユーザ同士のコラボレーションの参加を支援することを目的とする、ユーザのコンテキストをユーザ主導で管理・交換するプレゼンスシステムについて論じている。続いて第 3 章では、コラボレーションへの参加が決まったユーザ・端末同士を相互接続するネットワークインフラの構築手法に着目し、構成端末の参加・脱退、および通信処理能力の異種性に対応したオーバレイネットワーク構築、ルーティング、および伝送レート手法について論じている。第 4 章、第 5 章は、相互接続ネットワークインフラとしてデータ伝送効率の高い IP マルチキャストを用いた際に、ユーザの要求に基づいたストリーム間レート制御を達成することを目的として、階層型マルチキャストを用いたストリーム間協調制御機構を導入した統合的レート制御手法、さらにユーザ間協調制御機構を追加したレート制御手法について論じたものである。

第 2 章では、状況に応じたネットワークコミュニケーションの機会促進とユーザのプライバシー制御能力の拡大を目的とする、ユーザ主導型プレゼンスネットワークシステムを示している。本システムでは、ユーザがプライバシーと情報公開の対価であるサービスを考慮して情報公開が

リシーを主導的に決定できるピアツーピア型システムを採用し、各ユーザがプレゼンス情報（相手に伝達する場所や状況などのコンテキスト）を分散的に管理し、各自のプレゼンス制御ポリシー（通達先、通達内容）に基づいて柔軟にプレゼンス情報を交換・解釈・表現する。具体的には、各ユーザのプレゼンスユーザエージェント（UA）は、通信先アドレス（SIPアドレス）リストと公開ポリシー表に基づくフィルタリング・通信プロトコルに基づいて自身のプレゼンス情報を伝達する。また、相手から受け取ったいくつかのプレゼンス情報を合わせて解釈し、共通要素はグループとして表現する。これより各ユーザは、自分と相手との関係に基づく合成プレゼンス情報空間を形成し、例えばグループコミュニケーションなど柔軟性の高いネットワークアプリケーションのブートストラップを可能にする。本プロトコルを実装したプロトタイプは、SIPに基づくメッセージングとシグナリングプロトコルに準じており、ユーザの状態や会話を識別するCall-IDをプレゼンス情報として流通させ、複数人の会話イベントの合成表現、および2者以上の会話に参加するシグナリングを実現している。

第3章では、ネットワークコラボレーションを構成する複数の端末を相互接続する論理的なネットワークインフラストラクチャを構築する手法として、端末の通信処理能力の異種性対応に着目したオーバーレイネットワーク構築・伝送手法 CORTH (Collaborative Overlay Routing and Transferring considering terminal Heterogeneity) を示している。CORTH では、主に単一レート配信を目的とする従来のオーバーレイネットワーク構築手法では考慮されていない、端末の通信環境（有線～無線）と処理能力（デスクトップ～PDA）の異種性に対応した多様なコミュニケーション形態を実現するために、(1) オーバーレイネットワーク構築、(2) 各データに対するオーバーレイネットワーク上のルーティングプロトコル、(3) オーバーレイネットワーク上の伝送レート制御、の3つの機能を具備する。オーバーレイネットワーク構築では、ネットワーク遅延のみならず端末のデータ伝送能力（帯域、処理能力）の異種性に適応するために、端末の伝送能力とオーバーレイネットワークにおける複製・転送機能の役割（接続ホスト数）を対応させる。ルーティングプロトコルにおいては、オーバーレイネットワーク上における各送信データの経路は、最短遅延木を基に、伝送能力や特別機能（メディア変換機能など）をパラメータにして柔軟に決定される。オーバーレイネットワーク上の伝送レート制御では、オーバーレイ端末間にTCPに親和性のあるレート制御機能を持つUDPオーバーレイリンクを動作させて利用可能帯域を正確に取得した上で、当該リンクの帯域資源を下流のデータ取得要求に基づいた重みをつけて割り当てる。上記の機能によって、まずオーバーレイネットワーク構築によって通信の信頼性とネットワーク全体のスループット向上を図った上で、オーバーレイネットワーク上のルーティングおよび伝送レート制御によって、端末の能力やユーザの要求に応じた柔軟なサービスと高いアプリケーション品質を提供する。本手法は、Windows上（VC++6.0）でミドルウェアコンポーネントとして実装され、レート制御が可能な階層符号化ビデオを用いたマルチパーティ・ビデオチャットアプリケーションのネットワーク要素、レート制御要素として組み込んだ。本アプリケーションを大規模な実験ネットワーク上で動作させた結果では、異種性への適応度、遅延やスループットの性能評価、ユーザの要求への適応度に関してそれぞれ動作確認と良好な品質結果を得ている。

第4章では、ネットワークコラボレーションのネットワークインフラストラクチャとしてデータ伝送効率の高いIPマルチキャストを利用した場合について、不均一な帯域幅制限をもつネットワーク環境とユーザの各データに対する要求度の双方に基づいて各ストリームの受信レートを制御する手法を示している。本手法では、離散的ではあるが各受信ユーザの通信環境に適した受信レートでの配信を可能にする階層型マルチキャスト技術を用い、従来では各ストリームが独立して行うレート制御を、複数の階層型ストリーム上にまたがるセッションレベル機構においてストリーム間協調制御を行うアプローチを採る。各受信ユーザに導入される複数ストリーム統合制御機構 (Multiple Streams Controller, MSC) はそれぞれ、受信する複数のストリームの受信状況を同時に監視し、検出した輻輳結果からボトルネックリンクに関する帯域情報の他に、輻輳結果の相関関係から同一リンクを通過するストリーム群情報を推定する。このストリーム群は同一の帯域資源を共有するため、これらを仮想的な一つのストリームとみなすことにより、輻輳制御における受信可能レートの学習の効率化、およびストリーム間における可変レート割当て制御を実行することが可能となる。計算機シミュレーションにおける評価では、本手法の協調レート制御によって各ストリームの受信品質が改善すること、またストリーム間で受信レートの調整ができることを検証している。しかしながら、本手法では各受信ユーザが自主的に受信レート制御を行うことから、マルチキャストツリー切断による受信レート変更の遅延や要求帯域の調停機能の不十分さが課題となった。ネットワークコラボレーションの利用形態では、マルチキャストレート制御の上位層で互いに連携をするブートストラップ通信環境があることが想定される。このことから第5章では第4章の検討をさらに進め、受信端末間を結ぶ制御チャンネルを追加して受信端末・ストリーム間の双方の連係制御を行うミドルウェア CRM (Collaborative Rate Manager) の構成と CRM に基づく受信端末協調型マルチキャスト伝送手法を示している。具体的には、制御チャンネルを通じて受信ユーザ間でパケットロスと比較分析することにより、物理トポロジーに即した制御対象端末グループを構築する。このグループに所属するユーザ同士は、各ソースデータに対する要求の集計、その結果に基づく優先度算出とレート割当て決定、およびマルチキャストツリーの枝作成/切断命令の端末間同期制御を、従来よりも少ない試行回数と制御パケット量で効率的に実行することが可能となる。本手法のシミュレーション評価では、制御対象端末同士で受信帯域の調停を行った後、ユーザの各データに対する嗜好の変化や利用可能帯域の変動に動的に対応し、その結果としてユーザのアプリケーション利用満足度を高く維持することができることを示している。

以上をまとめると、本論文で述べた協調的ネットワークング技術は、ネットワークコラボレーションの開始～終了までの一連の過程で、複雑化するネットワーク環境におけるユーザの行動支援 (環境に適応したオーバーレイネットワークの構築) と、ユーザの存在・意思の反映 (プレゼンス空間における表現力の拡大、注目・興味の通信品質への対応) の実現可能性を示している。さらにこれらの技術を主にプロトタイプ実装によって具体化しその有用性を検証したことで、本論文が目的としている「ユーザ志向」の方向性と可能性を示すことに貢献していると考えられる。