

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：32714

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800069

研究課題名(和文)リアルタイム指向ネットワークコンピューティング構成技術

研究課題名(英文)Real-time network computing technology

研究代表者

丸山 充 (MARUYAMA, Mitsuru)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：60636489

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：ストリームデータという時間連続性・リアルタイム性を持ち伝送状況の影響を受けやすいデータに着目し、変動するネットワーク状況に関わらず安定的かつ即時に配信可能なストリーミングクラウド環境を、ネットワーク上の様々な計算機リソースが協調し合うアーキテクチャにより構築を目指している。本研究では、数Gbpsクラスの非圧縮素材映像を対象に、映像伝送状況を詳細に把握可能な多面的な高精度測定技術、OpenFlowネットワーク制御技術と計算機ノードとの連携による映像伝送技術、超広帯域映像の配信を可能とする同期伝送技術についてプロトタイプを作成し、テストベッドネットワークを用いた実験を通して効果を実証した。

研究成果の概要(英文)：Demand for high-bandwidth applications, such as video streaming services used by broadcasting stations and film production companies for creating videos, is increasing. Video production is moving toward high-definition original material, which necessitates live video streaming on the order of several Gigabits per second. However, cloud services, are not presently capable of facilitating live streaming.

To improve the real-time performance of Cloud communication processing, an application-cooperative network computing technology for streaming applications is studied. In this study, we design high accurate network monitoring technology and cooperation technique using OpenFlow network control and computing. Also, to handle UHD (Ultra high-definition) video streaming, we develop a simple synchronization method that combines multiple video transmission systems.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：ストリーミング クラウド 4K映像 仮想ネットワーク OpenFlow 8K映像

1. 研究開始当初の背景

ネットワークの広帯域化、低コスト化は進展し、流通トラフィックはデータ転送主体からストリームデータ主体となり、今後はより広帯域なストリームデータを扱うアプリケーション、特に遠隔地間でのインタラクティブなやり取りで社会活動を活性化するアプリケーションが増大すると考える。また喫緊の社会ニーズになっているのが、安心・安全に向けた情報共有ニーズである。ライフライン（災害、医療、教育、放送）における安定的なマルチメディア情報共有は特に重要であり、刻々と変動するネットワーク状況においても常時安定した情報配信や即時性に優れた伝送技術が求められている。

これまで広帯域なストリームデータの即時性を保障するためには、ネットワークキャリアの事前予約型のネットワーク帯域の確保、パケットのサービス優先制御の利用、自営網や LAN 内でネットワーク帯域に十分な余裕を持たした利用等のネットワーク帯域を如何に確保するかという配慮と共に、パケット欠落に備えた FEC (Forward Error Collection) 機能や同一パケットを多重経路で伝送（物理的な別経路伝送や複数社の ISP (Internet Service Provider) の併用、僅かな時間的なずれを利用した多重伝送など）が行われてきた。しかしながらこの方法では、特に広域網では、複数のユーザ間のトラフィック多重効果が十分に見込めないために、安価にサービスを提供できないという課題があった。一方、現状のネットワークキャリアや ISP のベストエフォート網のトラフィックを観測してみると、時間的変動はあるが空き帯域がかなり存在しているが、これをストリームデータの転送には有効に使えないというジレンマがあった。

また現在の技術動向を概観してみると、計算機リソースは仮想化されクラウドという形態で業者が提供しはじめている。またこれらを支えるネットワークはより自由度を増し、ユーザが欲しいネットワーク構成を仮想ネットワークとして柔軟に設定できる時代がそこまで来ている。このような仮想化の流れにより計算機とネットワークリソースの融合がしやすくなっており、グリッドの研究チームが進めている GNS-WSI (Grid Network Service - Web Services Interface) のようなネットワークとコンピュータの事前予約型のリソース管理の研究が行われている。但し、現状ではデータ転送やトランザクション転送を主としたものであり、変動するネットワーク状況であっても即時性・安定性に優れたストリームデータの情報配信をサービスとして提供するという目標に向けては解決すべき課題が多い。

このような背景のもとで、いくつかの観点で課題をまとめる。

- ・ ユーザの観点からは、ネットワークの事を詳しく知らなくても、簡単に即時性

(低遅延・低レスポンス性能)を享受したい

- ・ 計算機の観点では、クラウド技術は進展しているがリアルタイム性能の保証が難しい、アプリケーションが端末間で性能保障する工夫をしてもネットワーク側の状況が正確に把握できず結果的に伝送性能が引き出せない
- ・ ネットワークの観点では、現状でも管理が複雑になり負担の増大がある上、仮想ネットワークの普及によりこれまで以上に障害ポイントの探索が大変である事、ストリームデータ向けのアプリケーションの品質要求を満たそうとすると高コストを招く事
- ・ 開発者の観点では、ネットワーク上の多様なリソース情報を性能も含め統一的に扱う枠組みがない

2. 研究の目的

本研究では、ストリームデータという時間連続性・リアルタイム性を持ち伝送状況の影響を受けやすいデータに着目し、変動するネットワーク状況に関わらず安定的かつ即時に配信可能な環境を、ネットワーク上の様々な計算機リソースが協調し合うアーキテクチャにより実現する。具体的には以下を明らかにする。

- (1) ネットワークと計算機リソースの自律的な機能連携により、ストリームデータを安定的に配信する方式
- (2) ネットワークと計算機のリソースが時間軸で協調動作する事で、ストリームデータを低遅延・低レスポンスで配信する方式
- (3) ストリームデータ配信サービスをユーザ提供するためのプラットフォームの基本指針の明確化

3. 研究の方法

本研究では、ネットワーク状況が変動しても、ネットワーク上の計算リソースを含む様々な構成要素（スイッチ・ルータ等のノード・演算・伝送・蓄積・データベース・OS・アプリケーション）が連携する事でストリームデータを継続して配信し続けるモデルの提案と、ストリームデータの送元から受信先までのデータの時間連続性と遅延量を管理するモデルの基本検討と可能な範囲での実証評価を当初計画していた。しかし今回の研究期間内には、広帯域映像伝送に関わる様々な連携実験を行う機会を得たため、モデル化だけでなくプロトタイプを作成し実証的に要素技術やシステム技術としての評価に繋げる事ができた。これらの評価結果を用いて、当初の目的である「ストリームデータの伝送を意図した煩雑なネットワークの運用から解放し管理・修復を自動化できる仕組み」、「リアルタイム指向のサービス開発を容易にするためにネットワークと計算機リ

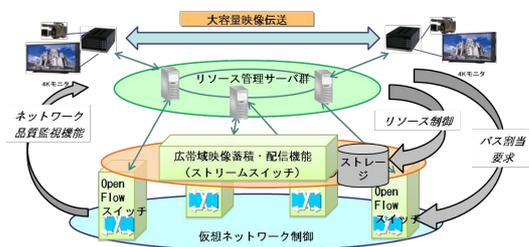
ソースについて、同期・スケジューリングを含む明解な表現・処理手順が容易に表現できる仕組み」として体系的な形でまとめている。

4. 研究成果

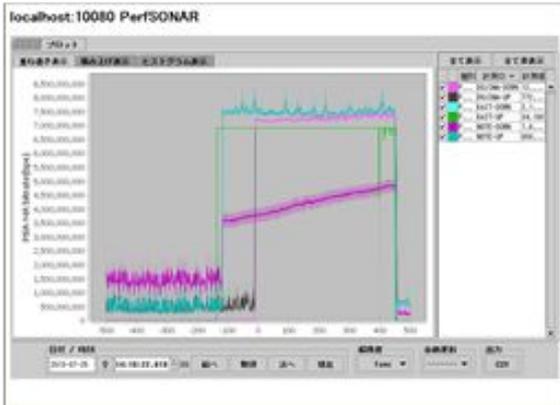
本研究では、ストリームデータという時間連続性・リアルタイム性を持ち伝送状況の影響を受けやすいデータに着目し、変動するネットワーク状況に関わらず安定的かつ即時に配信可能な環境を、ネットワーク上の様々な計算機リソースが協調し合うアーキテクチャにより実現を目指している。研究成果を項目毎にまとめる。

(1) ネットワークと計算機のリソースの自律的な機能連携により、ストリームデータを安定的に配信する方式：

・モデルの策定：ネットワークの観測に基づき動的に計算機リソースを配置してストリーム伝送を行う方式において、遅延量を変化させたマルチパス伝送方式と映像トランスコードを題材にして計算機リソース配置のモデル化を実施した。

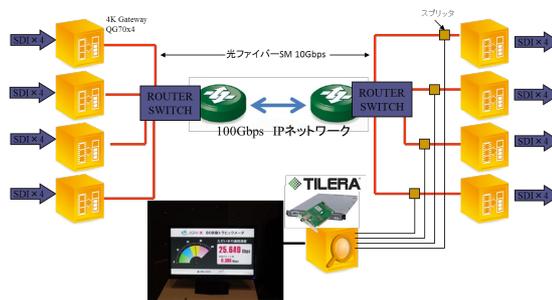


・多面的な高精度ネットワーク観測技術：広帯域ネットワークの観測手段として、本研究予算で「高精度測定機能付き NW インターフェイスボード」を購入し、神奈川工科大学内に情報通信研究機構 (NICT) のテストベッド JGN-X と連携した 10Gbps の高精度ネットワーク測定環境を整備し、JGN-X を用いて、4K の非圧縮素材映像データ (6Gbps) を対象に伝送を使い、経路上の複数台の高精度ネットワーク測定装置を連携させた多面的なリソース監視を行い映像に与える影響を明らかにした。本実験を通して、広帯域映像伝送に関しては、通常の測定では分からないマイクロバースト性の測定が重要である事を明らかにし、学会発表した。[2,5]



・2013年2月にNICTが主催した札幌雪祭りイベントに参加し、イベント中に流れるストリームトラフィックをキャプチャして解析実験をおこない、仮想ネットワーク上での測定が有効である事を示した他、高精度測定による多量のキャプチャデータを高速分析する手法についても検討を進め、データストリームトラッカーというポスト解析手法について新規提案した。本手法を早期に具体化するために、日本電信電話株式会社、ベンダーのNTT アイティ社と共同研究契約を締結した。[2,5,14]

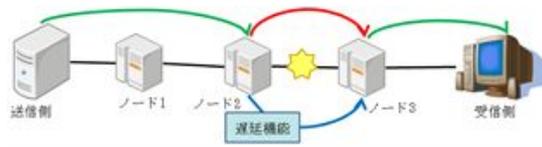
・over10G 対応のネットワークモニタ手法の検討：さらに広帯域なストリーム伝送を支える測定技術についての検討に着手し、市販並列処理ボードを用いた 40Gbps クラスのトラフィックモニタ・キャプチャ装置を作成し、効果を評価した。[7,8,9,12,13]



(2) ネットワークと計算機のリソースが時間軸で協調動作する事で、ストリームデータを低遅延・低レスポンスで配信する方式：

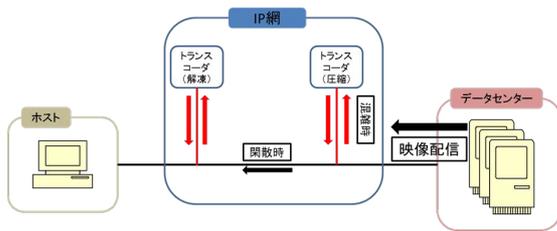
・OpenFlow 制御を用いたストリーミングの安定伝送：ネットワーク上での広帯域映像スイッチング機構を実現するために、本研究予算で「10Gbps OpenFlow スイッチ」を購入して、実験環境を作成し、ハイビジョン多画面映像伝送を題材にアプリケーションと同期した伝送パスの切り替え制御を行い、基本的な性能評価に繋げた。4K 非圧縮映像対応の映像スイッチャーのプロトタイプを作成し、評価結果をまとめた。[3,10,11]

・遅延制御を行ったマルチパス伝送のモデルに基づくプロトタイプを OpenFlow スイッチとスイッチ上に配置した遅延ノードの組み合わせで実現し、網状態に応じて遅延量を変化させる事で、安定的な映像伝送を行える事を明らかにした。[11]

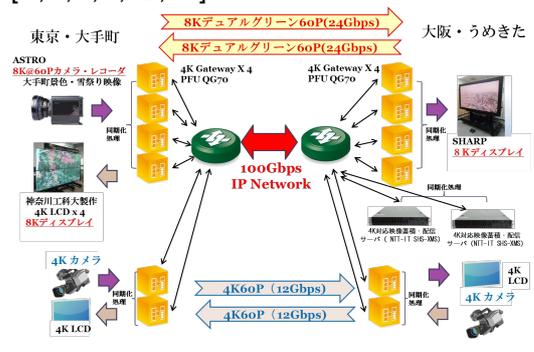


・トランスコードの動的制御を実現するために 4K の非圧縮映像を End-End でリアルタイム伝送する実験系を OpenFlow スイッチ 2 台で構成した実験系を作成し、途中区間のトラフィック観測を行い、混雑時には動的にパスを

切り替え、且つ計算リソースで、ハイビジョン品質（1.5Gbps）まで圧縮し、受信直前に伸長を行い、途切れなく伝送が行えるシステムを構築し、評価した。各部の遅延量が明確になり、この結果を学会発表した。[6]



・同期伝送による超広帯域映像伝送の実現：8Kのような超広帯域映像伝送の実現のために、業務用の映像信号である HD-SDI (1.5G) や 3G-SDI (3G) を単位とした並列同期伝送を行い、複数装置間の遅延制御や位相制御を行う事で、4K60P 非圧縮映像（12Gbps）や 8K デュアルグリーン非圧縮映像（24Gbps）の広帯域映像の伝送や蓄積配信を実現するシステムの設計を行い、2013年2月のNICTの雪まつりイベント[14]の場で、ベンダーのPFU社と連携し4K60Pの非圧縮映像素材を用いたリアルタイム映像伝送実験を行い、over10Gbpsでの映像伝送の知見を得る事ができた[5]。さらにこれを発展させて、連携機関と共にNICTの2014年2月のさっぽろ雪祭り実験の中で、東阪間の100Gbpsの回線を用いて、8K非圧縮映像と4K60P非圧縮映像の長距離伝送実験を成功させた。また前述の10Gbps超のネットワーク監視手段との併用により実験中の伝送状況の確認に寄与した。[4,7,8,9,12,13]



(3)ストリーミングデータ配信サービスを提供するためのプラットフォームの基本指針の明確化：

・プラットフォームとして、PC クラスタを用いた大規模映像サーバの構成法を NTT 未来ねっと研究所と検討し、50Gbps を超えるサーバ構築を行い関連の論文1件にまとめた。[1]
 ・本研究期間の中で神奈川工科大学の研究室内の測定環境や外部テストベッドと接続されたネットワーク実験環境の整備を進める事ができた。同時に対外連携について積極的に調整を図った結果、NICTと共同研究契約を締結し、JGN-X の一般利用プロジェクト

(JGNX-A12036：リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術を用いたストリーミングクラウド機能の検証)の立ち上げに繋がった。この実験の場を用いて、本研究の内容を実証的に検証できる環境として利用した他、複数の企業や大学との研究連携に発展し、今後のプラットフォーム設計にあたり有効となる様々なユーザ意見の取得に繋げる事ができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計3件)

- [1] 君山博之, 小倉 毅, 丸山 充, “オーバー50Gbit/s PC クラスタ型ストリームサーバの構成法,” 情報処理学会論文誌, 54(12), 2413-2426 (2013-12-15), 1882-776. (査読有)
- [2] 丸山 充, 清原良三, 塩川茂樹, 小島一成, 井家 敦, 岩田 一, 高取祐介, “リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術を用いたストリーミングクラウド機能の検証,” IT を活用した教育シンポジウム 2013 講演論文集 第8巻 神奈川工科大, pp.89-92, ISSN1881-6061, 2014.3. (査読有)
- [3] 丸山 充, “ストリーミングクラウド実現に向けた仮想ネットワークを用いた高精細映像伝送実験,” IT 活用した教育シンポジウム講演論文集, 神奈川工科大, 第7巻, pp.65-68, ISSN1881-6061, 2013.3.(査読有)

(学会発表)(計7件)

- [4] Eiji Kawai, Tomoaki Takata, Mitsuru Maruyama, Kazumasa Kobayashi, Shinji Shimojo, Akira Yutani, “Ultra-high-speed transmission of uncompressed 8K streaming video of “Sapporo Snow Festival 2014,” TRANS-EUROPEAN RESEARCH AND EDUCATION NETWORKING ASSOCIATION, TNC2014 Conference, Poster session-01, 2014.5.21.(査読有)
- [5] 丸山 充, 油谷 暁, 垣内正年, 大槻英樹, 小林和真, 酒井昌男, 小林正之, “リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術を用いたストリーミングクラウド機能の検証,” 信学技報, vol. 113, no. 256, IA2013-41, pp. 1-6, 2013.
- [6] 樋口 駿, 岩崎祐也, 高橋郁也, 丸山 充, 広帯域ストリーミングデータの安定伝送に向けたトラフィック観測に基づくリソース制御手法, 信学会全国大会 情報・システムソサエティ特別企画 ポスターセッション ISS-P-129, 2014.3.18.
- [7] 丸山 充, 君山 博之, 油谷 暁, 垣内 正年, 大槻 英樹, 小林 和真, 酒井 昌男, 小林 正之, 佐野 道則, 井家 敦, “広帯域 IP 網を用いた 8K 超高精細映像素材の非圧縮伝送・蓄積配信の実現,” 信学技報, vol. 114, no. 28, NS2014-34, pp. 57-62, 2014年5月.

- [8] 丸山 充, “100Gbps 回線を用いた 8K/4K 映像素材の非圧縮伝送・蓄積配信実験,” 情報通信機構 第 18 回テストベッドネットワーク推進ワーキンググループ会合, 2014.5.16. (招待講演)
- [9] 丸山 充, 君山 博之, “8K 非圧縮映像の IP 長距離伝送,” IMC Tokyo2014 セミナー講演 IMC-10, 2014.6.12. (招待講演)
- [10] 岩崎祐也, 丸山 充, 朴 美娘, “OpenFlow を用いたゲームクラウドの実現,” 2013 年電子情報通信学会 総合大会 B-7-80, 2013.3.22.

〔図書〕(計 1 件)

- [11] 丸山 充, 岩崎 祐也, 菅谷 祐介, 白須 雄太, “OpenFlow 技術を用いたストリーミング伝送の制御,” 神奈川工科大学 情報教育研究センター研究報告, 第 8 巻, ISSN 1882-0646, 2014. (投稿済)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

- [12] 神奈川工科大報道発表“神奈川工科大学が、ハイビジョンの 16 倍の超高精細映像素材を非圧縮のまま IP ネットワークによって伝送蓄積配信することに世界で初めて成功,” 大学プレスセンター 2014.2.5.
<http://www.u-presscenter.jp/modules/bulletin/index.php?page=article&storyid=6212>
- [13] NICT 報道発表“世界初、8K 非圧縮映像“さっぽろ雪まつり”の超高速伝送実験に成功,” 情報通信研究機構 2014.2.5.
<http://www.nict.go.jp/press/2014/02/05-1.html>
- [14] NICT 報道発表 “複数種類の SDN 切替えによる放送配信・運用実験に“さっぽろ雪まつり”にて成功,” 情報通信研究機構 2013.2.5.
<http://www.nict.go.jp/press/2013/02/05-1.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸山 充 (MARUYAMA, Mitsuru)

神奈川工科大学・情報学部 教授

研究者番号：60636489

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：