

同時到達保証ネットワークの構想と課題

A Vision of Synchronized Delivery Guaranteed Network to Multiple Sites

古川 玲[†] 川西 直[†] 澤 健太郎[†] 玉井 森彦[†]
Rei Furukawa[†] Nao Kawanishi[†] Kentaro Sawa[†] Morihiko Tamai[†]
長谷川 晃朗[†] 大橋 正良[†] 小花 貞夫[†]
Akio Hasegawa[†] Masayoshi Ohashi[†] Sadao Obana[†]

1 はじめに

我々は、ネットワーク技術の発達によって、実空間の範囲を超えた世界中の人々と、様々な生活体験を共有できるようになりつつある。たとえば、電話網の登場によって、直接声の届かない場所にいる人と会話を行うことが可能となり、さらには、ビデオ会議システムの登場によって、音声だけではなく相手の様子を見ながら会話を楽しむことが可能となった。

本稿では、そのような共有体験の一つとして、ネットワークを介して遠隔地にいる人間同士で、一緒に動画コンテンツを視聴し、互いに感想を共有する体験を想定する。このような体験は、家族と一緒にテレビを見ながら語ったり、スポーツバーなどで知人らと一緒にスポーツイベントを観戦したりといった形で、実空間で近くにいる人同士では日常的に享受できている体験である。

このような体験をネットワーク越えて実現するには、複数の遠隔地の体験を同期させることが重要となる。たとえば、ストリーミング配信されている同じ動画を複数の地点で視聴している場合、ストリーミングの配信元から各地点へのネットワーク上の経路が異なるため、遅延に差が生じ、ストリーミングの到達タイミングにずれが生じてしまう。このずれによって、地点間で感動のタイミングにずれが生じ、実空間で近くにいる人同士が感想を共有するような体験を得ることが困難となる。

現在のインターネット上では、アプリケーションに同期機能を実装することで、同期した体験を実現している。アプリケーションの同期機能は、体験を同期したいユーザ間で動画の再生中のフレームなど同期に必要な情報を共有し、その情報を用いて再生タイミングなどを制御することで同期を実現している。そのため、同期したいアプリケーションの種類ややりとりする情報に応じて、それぞれ独自に同期機能を作り込まねばならず、開発コストの増大につながりやすい。

我々は、ネットワークを介しての同期型アプリケーションの開発を容易にするために、ネットワークでユーザ間の同期を実現する「同時到達保証ネットワーク」の検討を進めている。同時到達保証ネットワークとは、体験を同期したいユーザをグループ化し、グループ内のあるユーザが送信したデータを、他の全てのユーザに同一タイミングで到達させることが可能なネットワークである。このネット

ワークを用いることで、ネットワーク側でデータが同時に到達することを保証し、アプリケーション側で同期処理をすることなく同期型のアプリケーションが実現可能となる。

同時到達保証ネットワークの実現に向けては、グループ内の送信者から全ての受信者に対するネットワーク遅延の差をできるだけ小さくする必要がある。これに対し、より速いネットワークを求めて伝搬遅延を小さくしようとする研究では、必ずしも十分とは言えない。遅延を小さくすることは、あるユーザから送信されたデータが全てのユーザに到達するまでの時間を総じて小さくすることになり、結果としてデータが到達するタイミングのずれが小さくなることはある程度期待できる。しかしながら、たとえば、グループ内に海外のユーザが含まれている場合には、地理的な差から生じる大きな遅延差を解消し切ることができない。同期体験を可能にする同時到達保証ネットワークを実現するためには、ネットワークの低遅延化だけでは絶対に解消することのできない遅延差を解消する、新たな機構が必要不可欠である。

本稿では、以上のような考えに基づいて検討を進めている、ネットワーク主導で同期体験アプリケーションの実現を支援する、同時到達保証ネットワークの構想と課題について述べる。本稿の構成は、以下の通りである。2章では、同時到達保証ネットワークの構想について、従来の低遅延を追求するアプローチとは異なる解決方法について述べる。そして、3章で同時到達保証ネットワークを実現する上で解決すべき課題について述べ、最後に4章で今後の展望についてまとめる。

2 同時到達保証ネットワークの構想

同時到達保証ネットワークは、ネットワークを介して遠隔地にいるユーザ同士で同期した体験を実現する同期型アプリケーションの実現を目指している。ここでは、現在のインターネット上で同期型アプリケーションを実現する上での問題点に触れるとともに、その問題点をネットワーク側で解決する同時到達保証ネットワークの構想について述べる。

2.1 同期型アプリケーション

テレビを見ながらの一家団欒や、スポーツイベントのパブリックビューイングなど、同じコンテンツを一緒に見ながらその感想を共有し合う体験は、我々が日常的に享受しており、インターネットが普及した今日では、この体験を遠隔地にいるユーザ同士で共有したいという欲求も強く、様々なサービスなどが提供されている。

[†] 株式会社国際電気通信基礎技術研究所
Advanced Telecommunications Research Institute International

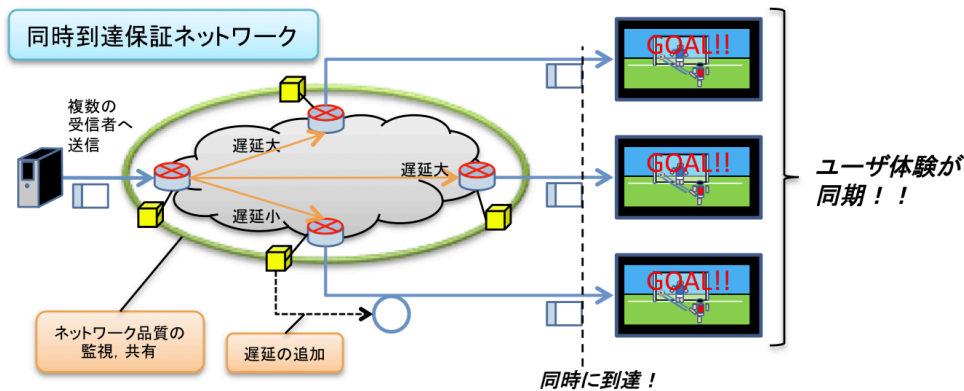


図1 同時到達保証ネットワークによる体験の同期

Ustream[1] やニコニコ生放送 [2] などは、複数のユーザと一緒に同じライブ配信動画を視聴しながら意見を共有することのできるサービスである。インターネットブラウザのみで手軽に利用できることもあり、多くのユーザに広く使われている。これらのサービスでは Twitter[3] 等を利用して感想を共有する機能も搭載されている。同様に Google+ [4] では複数のユーザとビデオチャットを行いながら、YouTube[5] の動画を共有して視聴することが可能である。

しかしながら、これらのサービスでは動画の再生タイミングは複数のユーザ間で同期していないため、ユーザ間で体験のタイミングにずれが生じる。Ustream やニコニコ動画のようなライブ配信動画の場合はバッファサイズ等の制約から過度に大きなずれにはならないが、不特定多数のユーザへの配信が主目的であることもあり、全てのユーザ間で体験を同期させることは困難であるとともに、特定のユーザ同士の体験を同期させる機能も有してはいない。一方、Google+ の場合はサーバに蓄積された動画をユーザが選択視聴するモデルになっているため、動画の再生タイミングはそれぞれのユーザが任意に操作することが可能であり、ユーザ間で体験は同期されない。

現在のインターネット上で複数のユーザ間で体験を同期させるためには、アプリケーション側に同期のメカニズムを作り込まなければならない。送信元から受信先へのネットワーク遅延のばらつきを、アプリケーションの機能として吸収して同期を実現する。しかしながらこのアプローチでは、アプリケーションで実現したい同期方法や取り扱う情報の違いなどから、それぞれのアプリケーション毎に独自に作り込まねばならず、開発コストの増大につながりやすい。

同期をとるという機能をネットワーク側の機能として実現することができれば、同期型アプリケーションの開発コストが削減し、アプリケーション開発者は同期処理のような車輪の再発明に時間を割くことなく、アプリケーション独自の機能の実装に注力することができる。仮想的な LAN 環境を構築する VPN によって、LAN 環境向けのアプリケーションがそのまま広域でも使えるようになったように、機能をネットワーク側に落とし込むことによって得られるメリットは計り知れないと思われる。

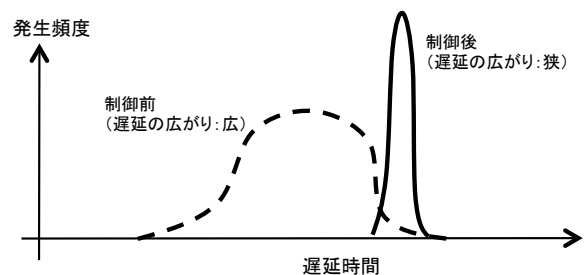


図2 同時到達保証ネットワーク利用時の遅延時間の分布

2.2 同時到達保証ネットワーク

我々の提案する同時到達保証ネットワークは、同期型アプリケーションに必要な同期処理に相当する機能を有するネットワークである。

同時到達保証ネットワークでは、あるユーザから送信されたデータを複数のユーザに対して同時に到達させることで、アプリケーションでの体験を同期する。しかしながら、送信元のユーザから離れた地点にいる複数のユーザへの経路は多様であり、その伝搬遅延にもばらつきがあるため、同時に到達させるためには伝搬遅延のばらつきを吸収する仕組みが必要となる。

同時到達保証ネットワークでは、送信者から複数の受信者の間の経路に存在するルータやスイッチなどのネットワーク機器を用い、それぞれのユーザ間の伝搬遅延を計測し、その情報をネットワーク機器間で共有する。その上で、送信者から複数の受信者宛にデータが送信された際に、共有された伝搬遅延情報を用いて、必要に応じて遅延を追加することで、データが全ての受信者に同時に到達する。データが同時に届くので、アプリケーション側では同期処理をすることなく、そのまま処理するだけで、体験が同期する (図1)。

なお、同時到達保証ネットワークにおける「同時」とは、究極的には完全な同時が望ましいが当然非常に困難であるため、図2に示すように、全ての受信者間で遅延時間の広がりをしてできるだけ小さくすることを目指すものとする。

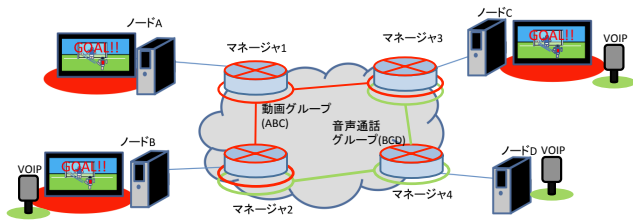


図3 同時到達保証グループ

2.3 同時到達保証ネットワークの利用イメージ

同時到達保証ネットワークの利用手順の例を以下に示す。

同時到達保証ネットワークを利用したいユーザは動画配信等の対応アプリケーションの管理画面にアクセスし、既存の同時到達保証ネットワークの対象となっているユーザグループ（以下、グループと呼ぶ）を検索するか、新規にグループを開始する。既存のグループを検索する場合は、参加済のユーザの名前、コンテンツのハッシュタグ等の文字列等を入力し、検索結果から自分が参加したいグループを選択する。新規にグループを開始する場合には、コンテンツのハッシュタグやタイトル等の検索用語句を入力し、グループの作成を行った後に、友人等の他のユーザの招待を行う。同時保証ネットワークへの招待を受けたユーザには通知が届き、検索結果から既存のグループへ参加を行う場合と同様に、招待を受けたグループに参加する。グループに参加したユーザには、該当ユーザの遅延時間が極端に大きい場合を除き、アプリケーションから送信されたデータがグループに参加しているユーザ間で同期されて届く為、動画等が同期して再生される。

3 同時到達保証ネットワークの機能

同時到達保証ネットワークを実現するためには、大きく分けて3つの機能が必要である。1つ目の機能は、データを同時に到達させるユーザ及びアプリケーションをグループ化する機能である。このグループ毎に遅延制御を実施することで、アプリケーションで要求される同時到達性を保証することが可能となる。また、2つ目の機能は、グループ内の遅延量の計測である。遅延量は、送受信の組み合わせ毎に異なり、トラフィック量に応じて時間的な変動が発生するため、周期的にグループ内の遅延を計測する仕組みが必要である。3つ目の機能は、上記で計測した遅延を基に、同時到達に必要な遅延調整量を各マネージャで算出し、遅延を制御する機能である。

以降は、本ネットワークの実現例を記述したものである。また、本ネットワークでは、ネットワーク装置が演算機能およびバッファリング機能を保有していることを前提とし、ネットワーク装置へ各機能を実装することを想定する。

3.1 グループ管理

ネットワーク上のマネージャは、ノードとアプリケーションの組み合わせによって、同時到達を保証するグループを管理する。たとえば、図3に示すように、あるスポーツ動画のライブ配信にユーザ A,B,C が参加しており、同

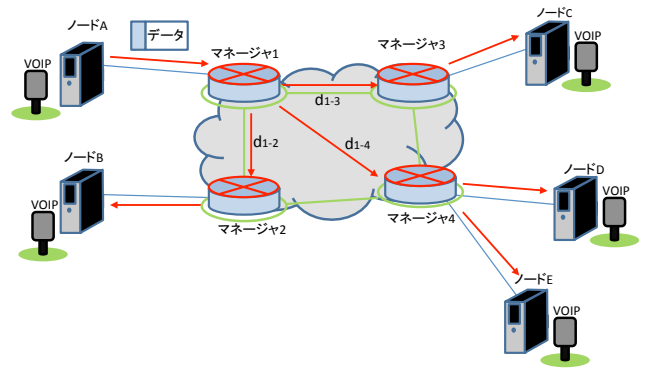


図4 Node A が送信する場合

時に音声通話にユーザ B,C,D が参加していたとする。この場合 B はスポーツ動画の受信時には A,C と同期するが、音声通話の受信時には C, D と同期するため、調整すべき到達時間がユーザとアプリケーションの組み合わせによって異なる。そのため、同時到達性を保証したいユーザとアプリケーションの組み合わせ毎にグループ化する必要がある。

上記のグループ化を行うには、マネージャによるグループ管理、並びにノードによるグループ検索および参加、脱退する機能が必要である。

1. マネージャによるグループ管理

マネージャは、ノードからの要求に従ったグループの作成、削除とグループに必要な情報を管理する。グループに必要な情報とはグループに紐付けられたアプリケーション、コンテンツのハッシュ、参加ノード、参加ノードの接続マネージャ、参加ノードの接続マネージャ間の転送時間である。

2. グループ検索

グループへ新規加入を行うノードは、グループの検索を行うため、アプリケーションとコンテンツのハッシュを含んだ検索用リクエスト packets をマネージャに送信する。マネージャは、検索リクエストに含まれるハッシュと紐づけられたアプリケーションを基に、保持しているグループ情報を検索し、該当するグループリストをノードに転送する。

3. グループへの参加、離脱

ノードは、マネージャから受信したグループリストを基に、参加したいグループへの参加要求を送信する。参加要求を受信したマネージャは、ノードの情報を該当するグループに登録し、参加応答を返信する。グループ脱退時には、ノードから脱退要求を送信し、マネージャはノードの情報を該当するグループから削除し、脱退応答を返信する。

3.2 マネージャ間転送時間の計測

同時到達保証を実現するためには、ノード間の遅延時間の把握が重要な課題となる。

図4に、5台のノードが同時到達保証グループに参加している状態を示す。ここで、同時到達保証マネージャ間の最短経路による転送時間を、 $d_{src-dst}$ で表す。たとえば、

ノード A がノード B~E へデータを送信する場合、ノード間の通信経路に応じて d_{1-2} , d_{1-3} , d_{1-4} の遅延情報が必要となる。各マネージャは、遅延量を調整するために d_{1-3} , d_{1-2} , d_{1-4} を周期的に計測する。

遅延時間の計測で課題となるのが、マネージャ数の増加に伴う計測頻度の増大である。たとえば、あるグループに関わるマネージャが n 台の場合、マネージャ間の遅延時間を相互に計測する必要であるため、 n^2 オーダの計測を周期的に行わなければならない。また、 n^2 オーダの遅延情報は、各マネージャにて共有される必要がある。これを単純な計測方法で実現すると、制御データが本来通信に使用すべき回線を圧迫してしまう可能性がある。この課題を解決するためには、共通する通信経路の計測量を共有する方法や、分散ハッシュテーブル等を利用したスケーラビリティ確保が考えられる。

3.3 適応遅延制御

各マネージャ間で計測した遅延情報を基に、マネージャで遅延量を調整し、グループ内の同時到達性を保証する。

遅延量の調整は、受信ノードが接続するマネージャが行う。各マネージャは、ある送信者が送信したパケットが、グループ内の全ての受信者に対して同時に到達するように、各々の遅延量を決定する。ただし、アプリケーションの要求遅延時間を超える遅延が発生するマネージャ間の遅延は、制御対象外として扱う。

グループ内の n 台のマネージャに対して、送信ノードが接続するマネージャを M_i 、受信ノードが接続するマネージャを M_j とすると、計測される遅延量の集合 $D1$ は、

$$D1 = \{d_{i-j} \mid 0 < j \leq n, j \neq i\}$$

と表せる。アプリケーションの要求遅延時間を T とすると、遅延制御の対象となる遅延量の集合 $D2$ は、次のように表せる。

$$D2 = \{d_{i-j} \mid d_{i-j} < \alpha T, 0 < j \leq n, j \neq i\}$$

ここで α は、アプリケーションの許容遅延率 ($0 < \alpha \leq 1$) である。この遅延制御の対象となる集合 $D2$ のうち最大となるものを、グループ内の最大遅延量 d_{max} として以下のように算出する。

$$d_{max} = \max(D2)$$

マネージャ M_j で調整する遅延時間 τ_j は、最大遅延時間 d_{max} を用いて、次式のように算出する。

$$\tau_j = d_{max} - d_{i-j}$$

遅延量の調整は、受信ノードが接続する各マネージャにて、 τ_j だけパケットをバッファリングし、その後受信ノードに転送する事で実施する。このように、各マネージャにて遅延量を調整することで、各ノードでパケットを受信するタイミングが同一とする。また、複数の同時到達保証グループが存在する場合には同時到達保証グループ間で、輻輳が起らない様に遅延時間の調整を行う必要がある。

4 おわりに

本論文では、同時到達保証ネットワークの構想と課題について述べた。同時到達保証ネットワークでは、グループ内のユーザからグループに所属する他の複数のユーザにデータを送信した際の、受信ユーザ間での同時到達性を保証する事で、ネットワークを介して遠隔地にいる人間同士で体験の共有を実現する事や、ネットワークのユーザ間の公平性を維持する事を目標としている。

同時到達保証ネットワーク実現する上では、同時到達を保証したい通信のグループ管理、グループ内の転送時間の計測、適応遅延制御が課題となる。また、これらの課題を解決するため、マネージャ間の転送時間計測、アプリケーションとグループを紐付けたフロー管理、マネージャの時刻同期、グループ間の輻輳制御、グループが肥大化した際のスケーラビリティ、動的な経路の最適化、アーキテクチャの検討、実装対象のプラットフォームの選定に関して検討を進めていく予定である。

参考文献

- [1] Ustream, <http://www.ustream.tv/>
- [2] ニコニコ生放送, <http://live.nicovideo.jp/>
- [3] Twitter, <http://twitter.com/>
- [4] Google+, <https://plus.google.com/>
- [5] YouTube, <http://www.youtube.com/>