

ネットワーク応答特性プロトコルの提案と マルチメディア通信システムへの適用

太田 賢 坂下 善彦 水野 忠則

静岡大学工学部

これまでの通信サービスというのは時間順序を主体としたものだったが、マルチメディア、FA等の分野が『要求する所定時間以内での通信サービスの保証』すなわちタイムクリティカル通信の実現を要求している。本研究はこのタイムクリティカル通信をインタネット環境で実現することを目標とするものである。マルチメディアストリームの転送のためインタネットストリームプロトコルST-IIが、制御用の通信としてTimed Token Protocolを拡張したタイムクリティカル通信プロトコルTCCPが提案されている。しかし、前者は資源予約に関するオーバーヘッドの問題とストリーム的でない制御用データなどに適当でないという問題が、後者は通信範囲がLANに限られてしまうという問題がある。

そこで本稿では、ネットワーク応答特性プロトコル(NPP)を提案する。これはIPをベースにしたプロトコルで、ネットワーク応答特性獲得機構によりネットワークの遅延特性などを得ると共に、ホストやルータ内ではパケットの時間制約と優先順位によってパケットの送受信処理をスケジューリングする機構により、時間制約内のパケット転送をできる限り保証することを目指す。また、NPPの適用例としてマルチメディア通信システムへの適用を考察する。

A Proposal of Network Protocol with Performance for Multimedia Communication System

Ken Ohta Yoshihiko Sakashita Tadanori Mizuno

Faculty of Engineering, Shizuoka University
3-5-1, Johoku, Hamamatsu, 432 Japan

The fields of multimedia and factory automation require time-critical-communication that guarantees communication services within certain specific time limit. Internet stream protocol, ST-II, is proposed for multimedia streams and TCCP is proposed for control messages on factory automation. However, the former involves the overhead of the resource reservations when the session begins. Furthermore, it isn't appropriate to transfer control messages. The latter limits the range of communication networks to LAN.

This paper proposes Network Protocol with Performance(NPP), which is based on IP. It uses the monitoring function to get network performances and the packet-scheduling function to make an effort to guarantee the time constraint of the packets. We also discuss the application of NPP to multimedia communication system.

1 はじめに

これまでの通信サービスというのは時間順序を主体としたものだったが、マルチメディア、FA等の分野が『要求する所定時間以内での通信サービスの保証』すなわちタイムクリティカル通信 (Time Critical Communication:TCC) [1]の実現を要求している。マルチメディアのような時系列的に変化する連続的データに対する時間制約を保証するため、ST-II[2]、XTP[3]などの通信プロトコルが提案されている。これらは、アプリケーションの申告するデータ転送(フロー)の特性に応じてネットワークバンド幅、バッファ領域などの資源を予約すると共に、転送状況をモニタリングしつつ、転送レートを動的に制御するような機構を持つ。

しかし、これらはマルチメディアストリームに対しては有効であるが、マルチメディア通信アプリケーションにおけるユーザインタラクション(一時停止要求など)や、アプリケーション、システムの時間的制約を持った制御的メッセージなどのストリームのでない通信に対しては適当でない。また、資源をあらかじめ予約する必要があり、その処理のオーバーヘッドのためすぐに通信を始めることができない。

一方、FDDIやIEEE802.4トークンバスなどに使用されるMAC(Media Access Control)層プロトコルであるTimed Token Protocolを拡張したタイムクリティカル通信プロトコルTCCPが提案されているが[4]、これはネットワーク環境としてLANを想定しており、各種のネットワークがつながれているインターネット環境ではタイムクリティカル通信を提供できない。

そこで本稿では、タイムクリティカル通信サービスをインターネット環境において実現することを目標とした、ネットワーク応答特性プロトコル(NPP:Network Protocol with Performance)を提案する。これはIPをベースにしたプロトコルで、パケットスケジューリングによりタイムウィンドウ内のパケット転送をできる限り保証することを目指す。また、NPPの適用例としてマルチメディア通信システムへの適用を考察する。

2 内外の研究状況

2.1 タイムクリティカル通信システム

マルチメディア情報通信や、ファクトリオートメーション(FA)の制御用通信の分野の要求を背景として、タイムクリティカル通信[1]の標準化が始まっている。タイムクリティカル通信には以下の3つの時間制約(タイムウィンドウ)のタイプがある。

- TW_W : データ転送に関する時間制約

- TW_R : データ転送とその応答受信までに関する時間制約
- TW_T : タイムクリティカル通信トランザクションに関する時間制約

タイムウィンドウ要求に関して本研究では、 TW_W の保証を対象とする。 TW_R にはアプリケーションが応答を作成する時間が含まれているため、アプリケーション側の実時間機構が必要である。また TW_T は TW_R のまとまったものである。この2つは TW_W の応用として今後の課題とする。

2.2 インタネットストリームプロトコル

インタネットストリームプロトコルST-IIは、インターネット上のエンドツーエンドの保証された通信サービスを提供する、ネットワーク層のプロトコルである。データ転送レートの保証や遅延の安定性などを要求する実時間アプリケーションに対し、効率的なパケットストリーム転送サービスを提供する。

アプリケーションはストリームを作成する際に、それが要求するストリームの特性をFlowSpecとして指定する。FlowSpecは、バンド幅、遅延、信頼性などのパラメータから成り、目標値と最低限の許容値の両方が指定される。すると、ST-IIプロトコルはそのストリームの経路上において、リソース(バンド幅、バッファ空間)を予約する。これにより、データパケットを低遅延で転送し、ネットワークの混雑によるパケットロスの起こる確率を低くすることができる。

ST-IIは例えば、テレビ会議において映像を192Kbps、音声を64Kbpsで送りたいといった要求に対して有効である。しかし、周期的にデータ転送を行わない、あるいは、コネクションレス型の通信を要求するタイムクリティカル通信に対しては適当でない。また、資源予約をパス上で行って、すべてが許諾するかを確認するため、そのオーバーヘッドも大きく、すぐにタイムクリティカル通信を開始することができない。本研究はこれらの問題を考慮した通信プロトコル/メカニズムを提案する。

2.3 タイムクリティカル通信プロトコル

TCCPは、FDDIやIEEE802.4トークンバスなどに使用されるMAC(Media Access Control)層プロトコルであるTimed Token Protocol(TTP)を拡張したタイムクリティカル通信プロトコルである。TTPには時間的制約を持つ同期データを、それを持たない非同期データよりも優先して送信するような機構があるが、入力トラフィックがシステム的な設定値を越えた時の転送時間の上限は保証されていなかった。これに対して、TCCPは各ノードが転送待ちデータ数を動的に分散管理しつつ、

タイムウィンドウ内に転送可能なデータのみを転送するよう改良されている。

本研究はこの TCCP が対象としている LAN 環境だけでなく、各種のネットワークがつながれているインターネット環境を対象として、転送時間を保証することを目指すものである。

3 ネットワーク応答特性プロトコル

本章では、タイムウィンドウ要求をインターネット環境で実現することを目標としたネットワーク応答特性プロトコル (NPP: Network Protocol with Performance) を提案する。

3.1 基本的なアイデア

まず、タイムクリティカル通信を実現する基本的アイデアについて述べるが、コンセプトは以下の 3 つである。

- オーバヘッドをおさえる：ST-II などのような資源予約などは行わない。また、帯域管理、許諾制御なども行わない。
- IP との互換性：IP を置き換える形をとることによりインターネット環境で広く利用できるようにする。
- パケットに色を付ける：IP にも TYPE OF SERVICE フィールドがあり、優先順位とトランスポートタイプが指定できるが、大部分のホスト、ルータに無視されているのが現状である。パケットに明示的に時間制約と優先順位を与え、これを忠実に制御するプロトコルを提案する。

基本的なアイデアはネットワーク応答特性獲得機構とパケットスケジューリングである。ネットワーク応答特性獲得機構によりあらかじめサービス可能なタイムウィンドウを得て、あとはホストとルータにおけるパケットスケジューリングで時間制約を満たすよう努力する。以下の 4 つを前提条件とした上で議論を進める。

- 計算機の時計は NTP[6] などによりある精度で時計合わせがされている。
- 始点から終点にたどりつくまでのルーティング機能が提供されている。
- エンドツーエンドの経路は一定であるとする。
- 始点から終点までのすべてのホスト、ルータには提案プロトコルが実装される。

タイムウィンドウ要求 TW_w は送信 TCCE (TCC Entity) から受信 TCCE までのデータ転送時間制約を示すものであるが、どんなタイムウィンドウ要求も認められるわ

けではない。当然のことながら、始点から終点までにくつもホップがあれば転送時間は増えるし、始点と終点が同一の LAN に接続されていてもその転送時間には限界がある。ネットワーク応答特性獲得機構は始点から終点までの転送時間を測定するものであり、タイムウィンドウ要求の見積りに利用できる。できるだけ現実的な転送時間を得るために、ルータは近隣のルータと定期的にパイロットパケットをやりとりしてルータ間の遅延とその分散を測定し、その情報を保持する。

パケットスケジューリングは時間制約が厳しいパケットを優先して処理するものであり、時間制約のゆるい(ない)パケットに邪魔されることがなく配送されることができる。ホスト、ルータ内の送受信処理においてパケットスケジューリングが行われる。また、パケットの優先順位も優先制御の対象とする。

ここで、問題なのは帯域制御、許諾制御を行わないことによる時間制約の破綻である。有限のネットワーク帯域幅は各ホストによって共有され、利用されるから、各ホストの利用できる帯域の管理を行わないと他のホストのパケット送出に邪魔されて TC (Time Critical) パケットの時間制約を守ることができない。また、ネットワーク帯域とは別に、ホストにはプロトコル処理とバッファ空間の大きさにより扱うパケット量には制限がある。ホストの処理能力以上の通信要求をされた場合バッファ内の待ち時間が増大するなどして、パケットの時間制約を守ることができない。ネットワークを中継するルータも同様で、パケットの流入を制限しないとパケットの廃棄が起こったり、ルータのバッファ内での待ち時間が増加してしまい時間制約を守れなくなる。

しかし、帯域制御を行うためにネットワーク帯域を配分したり、通信要求の許諾制御をしったりといったことを行っているとオーバヘッドが大きくなり、すぐに通信を行いたいという要求に応えられない。許諾制御、帯域制御を行わないのでタイムウィンドウ要求を常に満たすことはできないかもしれないが、パケットスケジューリングによってある程度の確率でタイムウィンドウ要求を満たすことが期待できる。特にネットワークが大容量化、高速化に向かっている現在、ホスト、ルータの送受信処理がボトルネックになるから、その中でパケットのスケジューリングをする意味は大きいと考える。帯域制御、許諾制御といったものが必要な場合は、例えば [5] で提案されているような帯域制御機構を上位層に構築することで対応できる。

3.2 プロトコル階層

本節では NPP とそのプロトコル階層の位置付けについて述べる。NPP は IP と同様、ネットワーク層のプロトコルで、各種ネットワークを相互接続するコネクシ

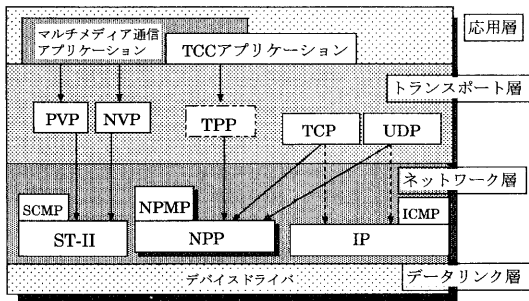


図 1: NPP プロトコル階層

レスのプロトコルであるが、タイムクリティカルなデータグラムを扱う点が異なる。パケットのタイムウィンドウと重要度によってパケットスケジューリングを行う。また、ネットワーク応答特性獲得機構は、ネットワーク応答特性モニタリングプロトコル (NPMP: Network Performance Monitoring Protocol) により実現される。図 1 は NPP のプロトコル階層を示すものである。

NPP の上位層のプロトコル TPP (TransPort Protocol for NPP) は TCC アプリケーションに対するインタフェースと、タイムクリティカルメッセージが失われた場合の処理 (再送など) を行うものである。コネクション型の通信を要求するタイムクリティカル通信アプリケーションもあるので、UDP と TCP のようにコネクション型とコネクションレス型それぞれに対応した TPP が必要である。さらに、NPP が提供するタイムウィンドウの型は、 TW_w のみであり、上位層プロトコルで TW_R 、 TW_T に対応することになる。これらの検討については今後の課題とする。

3.3 NPP 規定

NPP のデータグラムフォーマットは IP と互換性を保つよう図 2 のように設計した。各フィールドについて以下説明する。まず、PRECEDENCE フィールドは次のように定義した。パケットの種類に応じて TCCE がレベル 0 ~ 7 を指定する。

- レベル 0: 通常のデータ
- レベル 1: マルチメディアデータ L
- レベル 2: マルチメディアデータ H
- レベル 3: 対話型のデータ
- レベル 4: アプリケーションの制御データ

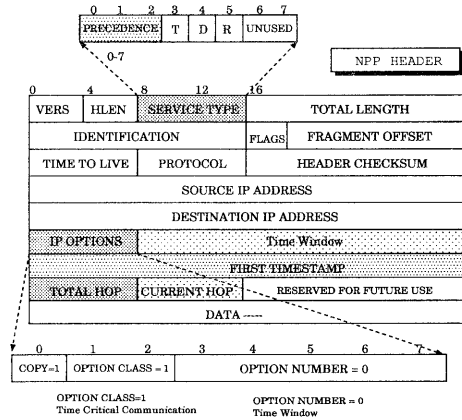


図 2: NPP ヘッダフォーマット

- レベル 5 以上: システムの制御データ

IP OPTIONS フィールドのオプションクラス 1 をタイムクリティカル通信、オプション番号 0 をタイムウィンドウ指定と定義した。各優先順位レベルを持つデータは、IP OPTIONS フィールドに OPTION CLASS=1、OPTION NUMBER=0 を指定することにより、TIME WINDOW フィールドにタイムウィンドウ要求を ms 単位で指定することができる。FIRST TIMESTAMP には TCCE が下位層にパケットを渡した時刻が埋めこまれる。TOTAL HOP フィールドは、パケットが終点までに通過するルータの数を示す (タイムウィンドウを指定するパケットは終点までのホップ数を知っている必要があるが、これは NPMP により得ることができる)。CURRENT HOP フィールドは現在までに通過したルータの数を示す (始点で 0 に初期化され、ルータのパケット送出時にインクリメントされる)。上位プロトコルあるいは TCCE からは、PRECEDENCE、TIME WINDOW、FIRST TIMESTAMP、TOTAL HOP が与えられる。NPP はこれらのパラメータを受け取って、各フィールドを埋める。

NPP は以下のようなアルゴリズムを利用して、ルータ、ホストのバッファ内でプロトコル処理を待っているパケットの内、どれを処理するかを選択する (パケットスケジューリング)。

「優先度が最も高いパケットを選択する。同じ優先度のパケットが複数あったら、時間制約 (タイムウィンドウ) をもつパケットを優先する。時間制約を持つパケットが複数ある場合は、始点ホストではその中で最初にバッファに入ったパケット、終点ホスト、ルータでは時間制

約の厳しいパケットを選択する。」

詳しく説明する。始点ホストではタイムウィンドウでなく、単純に先にバッファに入ったパケットを選択する。終点ホスト、ルータでは、CURRENT HOP と TOTAL HOP フィールド、FIRST TIMESTAMP フィールドを使用して、時間制約の最も厳しいパケットを選択する。

まず、現在の時間 NOW から FIRST TIMESTAMP の値を引いたものとタイムウィンドウの比を計算する。

$$R = \frac{NOW - FIRST\ TIME\ STAMP}{TIME\ WINDOW}$$

R は現在までに消費した時間の割り合いである。次に、CURRENT HOP+1 と TOTAL HOP+1 の比を計算する (1 を足すのは以下の計算上のためである。CURRENT HOP をそのパケットの進んだ距離の指標としているが、パケットが最初のルータに到着した時、CURRENT HOP が 0、つまり距離が 0 であるというは適切ではない)。

$$r = \frac{CURRENT\ HOP + 1}{TOTAL\ HOP + 1}$$

r は現在までに到達した距離の割り合いを近似していると考え、r/R を時間制約の厳しさとする。r/R が大きいということは、時間制約がゆるいことを示し、r/R が小さいということはパケットが遅れている、すなわち時間制約が厳しいことを示す。

通過したルートの数をパケットの進んだ距離の指標としているので、場合によってはタイムウィンドウに余裕がある方が先に選ばれてしまうことがあり、厳密には最適なスケジュールができない。しかし、ほとんどの場合このアルゴリズムにより時間的制約の厳しいものを優先的に選択することができる。

また、ルータにおいてバッファに空きがない場合流入パケットを廃棄するが、優先順位の低いものを選んで廃棄するようにする。これにより、制御データなど重要度が高いパケットが廃棄される確率が下がる。

3.4 NPMP 規定

NPMP はネットワーク応答特性情報を指定パス上の各ルータから集めることが主な役割である。また、ルータ上の NPMP は互いに通信を行なってそのルータ間の優先順位ごとの遅延状況を調べ、遅延とその分散の統計情報を計算する。

ネットワーク応答特性情報を指定パス上の各ルータから集める手順は図 3 のとおりである。始点 TCCE は、これから自分が送信するデータの種別に応じて、3.3 で定義した優先順位レベルを NPMP メッセージの LEVEL フィールドに与える。NPMP メッセージは優先順位 5 (システム制御データ) で伝送される。各ルータやホストはその IP アドレスとタイムスタンプ、前のホップからの

平均転送時間、その転送時間の分散、ルータの負荷 (NPP の処理を待っている待ち行列中のパケットの数) を、NPMP メッセージ中に記録する。ただし、平均転送時間とその分散は、NPMP メッセージの LEVEL フィールドで指定された優先順位に対応したものである。NPMP メッセージは情報を集め終えたら、始点から終点までの累積の遅延とその分散、そしてホップ数を TCCE に報告する。始点と終点と同じネットワークに属している場合は、始点終点間の遅延とホップ数 0 という情報が TCCE に報告される。

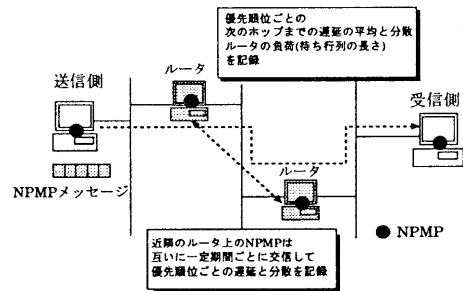


図 3: NPMP メカニズム

4 マルチメディア通信システム適用例

NPP の適用例として、マルチメディア通信システムへの適用を考察する。クライアントはマルチメディア情報の提示の時刻や順番などについて記したシナリオに従って次々にマルチメディア情報の転送要求をサーバに送る。サーバはその要求に対応したマルチメディア情報を流すとする。このシステムで流れるデータの種別は以下の 4 つである。それぞれの優先順位は 3.3 で定義した優先順位レベルにならって割り当てた。

- 音声データ: レベル 2 (マルチメディアデータ H)
- 映像データ: レベル 1 (マルチメディアデータ L)
- ユーザインタラクション: レベル 3 (対話型データ)
- 制御メッセージ: レベル 4 (AP の制御データ)

通常、音声と映像を比べた場合、音声の方が途切れる方が映像がぎくしゃくするよりも障害の度合いが大きい。そこで、音声の方を高い優先順位にしている。ユーザインタラクションとは、マルチメディア再生の一時停止、早送りや、シナリオ内の分岐選択などのデータを指す。制御メッセージとは、サーバに対する送信要求、レート制御などのメッセージである。

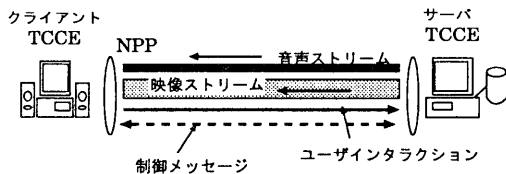


図 4: マルチメディアシステム構成

このシステムが NPP を利用する局面について例を挙げる。TCCE と NPP の間のトランスポートプロトコルについては検討中であるので、本稿では TCCE が直接 NPP にアクセスするとする。また、このマルチメディアシステムは優先順位レベル 1～4 それぞれについて、サーバからクライアントまでの平均転送時間 $D_1 \sim D_4$ 、その分散、ホップ数といった情報を NPMP によりすでに得ているとする。

マルチメディアデータ 映像データについて考える。映像データが 192Kbps のレートを必要とするマルチメディアデータであった場合、TCCE は優先順位レベル 1 の平均転送時間 D_1 をタイムウィンドウとして、優先順位レベル 1 を与えたパケットを 192bps のレートで NPP に渡す。もちろん、パス上の空き帯域が小さく元々 192Kbps のデータを送れる余裕がないとか、音声データや他トラフィックの通信による影響で 192Kbps のレートが守れない場合が予想される。このため、クライアントは映像データの受信レートを測定し、これが現在の送信レートをかなり下まわるようであれば、サーバに送信レートを落すように制御メッセージ (優先順位レベル 4) を送るようにする。制御メッセージは高い優先度で送られるので、ネットワーク状態に対する迅速な対応が期待できる (制御メッセージが送られてからタイムウィンドウ D_4 以内に、サーバはレートを下げる)。

ユーザインタラクション ユーザはマルチメディア再生を一時停止したり、早送りするといったユーザインタラクションを発生させる。まず、一時停止について考える。ユーザが一時停止要求を発生しても IP などのプロトコルではその要求がいつサーバに届くかは保証されない。その間サーバは無駄なデータをたれ流すことになる。NPP を用いて、ユーザインタラクションメッセージをサーバに送れば (優先順位レベル 3)、タイムウィンドウ D_3 以内にサーバは送信を停止することができる。

次に、ハイパーメディアのようにユーザが興味ある項目を選択していった情報を得るような、ユーザの意思により分岐できるようなシナリオの場合を考える。この情

報を見たいといったユーザインタラクションデータは、優先順位レベル 3、タイムウィンドウ D_3 でサーバに届けられる。実際にシナリオが分岐してユーザがその情報を見ることができるのは、サーバにユーザインタラクションデータが届いてから、サーバがそれに従ったデータを送信し、それがクライアントに届いた後であるが、サーバが遅延 D_3 以内にユーザインタラクションに対し応答できることが保証される。

5 今後の課題

本稿では、タイムウィンドウ要求を持つデータ転送に対して、タイムクリティカル通信サービスを提供するネットワーク応答特性プロトコル (NPP) を提案した。パケットの優先順位と時間制約の厳しさによって送受信処理するパケットを選択する機構と、エンドツーエンドのネットワーク状態を得る機構 (NPMP) を持ち、これらによりタイムウィンドウがある確率で満たす転送サービスを提供する。また、NPP をマルチメディア通信システムに対し適用するケースを考察した。

今後の課題は、解析、シミュレーションによって NPP のパフォーマンスを調べることである。パケットスケジューリングによるオーバーヘッドがあっても、それを補うだけの性能の向上があるかを調べる必要がある。他には、形式的に NPP, NPMP を規定すること、及びタイムクリティカル通信を要求するアプリケーションとのインタフェースを提供する NPP の上位プロトコル TPP の検討である。

参考文献

- [1] Nobumasa Nakano: Time Critical Communication Architecture in Factory Automation, JSPE-IFIP WG5.3 Workshop on THE DESIGN OF INFORMATION INFRASTRUCTURE SYSTEMS FOR MANUFACTURING, pp.241-252 (1993.11).
- [2] C.Topolcic, S.Casner, C.Lynn, P.Park, and K.Schroder: Experimental internet stream protocol, version 2(ST-II), 1988. RFC1190.
- [3] W.T.Strayer, B.J.Demsey, and A.C.Weaver. XTP: The Xpress Transfer Protocol, Addison Wesley, 1992.
- [4] 厚井, 妹尾, 高田, 井手口, 石坂: LAN におけるタイムクリティカル通信プロトコルの提案と評価, 信学論, Vol.J76-B-I, No.8, pp.882- 891(1993.11).
- [5] 中野, 太田, 渡辺, 水野: 分散 TCCA 実現の為のグループ管理機能, 情処研報, Vol.94, No.39, pp.39-44(1994.7).
- [6] David L.Mills: Precision Synchronization of Computer Network Clocks, Computer Communication Review, Vol.24, No.2, pp28-43(1994.4).