

P2P/ブロードバンド時代の 新・TCP/IP 入門

村上 健一郎 NTT 先端技術総合研究所 主幹研究員

第3回 インターネットの仕組みは リアルタイム通信には向かない？

連載2回目は、「TCP/IPは高速なデータ転送に耐えられるか」「IPv6の今後」について解説しましたが、いかがでしたか？ また、キャズムについて、IPv6という具体例で理解できたことと思います。

さて、最近、IP電話導入の話題が多い中で、その導入後の評価がなかなか定まっていなようです。今回は、その理由について、インターネットの本来の仕組みがどのようになっているかを振り返りながら、考えてみましょう。

[Q1]

インターネットが普及し始めた頃は、メールやファイルなどの非リアルタイム通信が主流でした。しかし、現在では、音声や映像などのリアルタイム通信が多くなってきましたが、TCP/IPで大丈夫なのでしょうか？

[A1]

IP電話導入の実感は？

最近よく話題にのぼるものに、IP(インターネット)電話やインターネットでの動画配信といった、リアルタイムでデータを転送するアプリケーションがあります。リアルタイムとは実時間性とも訳されますが、たとえば電話のように今話している内容が相手に遅延なく伝わることを言います。

筆者は、いろいろな雑誌の編集後記を

読むのが趣味なのですが、面白いものを見つけました。これは、ソリューションビジネス系の雑誌で、その特集はIP電話だったのです。しかし、その編集後記は、本音とも懺悔の言葉ともとれるもので、「あるIP電話のユーザー企業に電話した際に、声が遠い、音声が途切れると言ったら、これまでの固定電話からかけ直してきた」とか、「IP電話を早期に導入しながら、従来型の構内電話交換機PBX(Private Branch Exchange)を復活させた企業も多いようです」というものでした。なぜ、このようなことが起こるのでしょうか？

IP電話というキーワードで検索してみると、「タダ」「便利」「コストを大幅に削減」という言葉が踊っています。それらに埋もれて、「IP電話の導入をくやんでいるのは誰？」というのひっかかってきます。それには「実は後悔しているとは、導入を決めた担当者としては口が裂けても言えないのかもしれない」と、笑えない話も書いてあります。

いずれにしても、インターネットをリアルタイム通信に利用することには、どこか

に無理があるから問題が発生しているのです。その無理というのは、インターネットの仕組みに由来しています。

リアルタイム通信用に設計されていないインターネット

そもそもインターネットは、電話のようなリアルタイムのストリーム型通信のために作られたものではありません。コンピュータ同士がファイルを転送したり、電子メールを交換したり、遠隔からコンピュータを利用したりするために作られたのです。これは、パケットを単位とした「パケットリレー式」と言われる方法でデータを転送するものです(図1)。

パケットは、ルーターと呼ばれるパケットの中継装置によっていったん蓄積され、転送先のコンピュータへと続く経路上にある次のルーターに送られます。このルーター同士は専用回線によって接続されています。

次のルーターへ接続されている回線にパケットを送り出す場合には、待ち行列と言われるパケットを蓄積しておく場所

にいったん入れます。順番に待っている
ので待ち行列と言われているのです。

ルーターはその待ち行列から1個ずつ
パケットを取り出して回線へ送り出しま
す。待ち行列に何もなければ、パケット
はすぐに転送されますが、他のパケット
があれば、順番を待たなければなりません。
待ち行列にあるパケットが多ければ
多いほど、待ち時間も長くなります。そ
の待ち行列の長さは状況によって異なり
ますから、待ち行列に入ってから送り出
しが完了するまで中継にかかる時間は保
証できません。場合によっては、待ち行
列が規定以上の長さになり、パケットが
捨てられるという事態も発生します。

コンピュータ同士の通信の場合は、こ
の方法でも構わないのです。なぜなら
ば、パケットが破棄された場合、あとで
再度同じパケットを送ればよいからです。

ところが、IP 電話のようなリアルタイム
のストリーム通信の場合には、このよう
な仕組みは不都合なものとなります。IP 電
話ではコンピュータ同士が通信するの
ではなく、パソコンやIP 電話機を通じて人
間同士が通信するものだからです。

たとえば、IP 電話の音声は一定の間隔
でデジタル化され、パケットに入れられ
てインターネットへ送り出されます。これ
は、同じ間隔でデジタルの音声から元の
アナログの音声に戻されて(復号され
て)、元の音声と同じになるようにスピー
カーを鳴らすことが期待されています。
しかし、インターネット上で中継されて
いるうちに、パケットはその時々によっ
て異なる遅延や廃棄処理といった影響を
受けるのです。到着が逆転することあり
ます。IP 電話はこれに対応する仕組み
になってはいるものの、限度を超えてし
まうと元のアナログ音声には戻せないの
です。

[Q2]

TCP/IP プロトコルには、

UDPと同じレイヤーにTCP
というプロトコルがありますが、
なぜこのプロトコルが必要
なのでしょう？

[A2]

「まちがったら再送」などの 制御を行う TCP

ここまで説明してきた音声の転送に
は、誤りの訂正をしないUDP(User
Datagram Protocol)が利用されます。
これに対し、メール転送やウェブなどの
アプリケーションには、TCP(Transmis
sion Control Protocol)が使用されます。

送信側と受信側のコンピュータ上にあ
るTCPでは、ルーターがパケットを破棄
したり、送り出した間隔と異なる間隔で
パケットが到着したり、場合によっては
到着が逆転したりすることは想定済みで

(図2)。

メール転送やウェブなどのアプリケー
ションでは、送ったデータと同じものが
受信側で復元できることだけを要求して
いて、転送の完了に少々時間がかかって
も問題はなく、転送がリアルタイムである
必要もありません。たとえば、メールの転
送が2秒で終わると20秒で終わると、気
にする人はあまりいないでしょう。要は、
最終的に送信元のコンピュータ上のデー
タが、誤りなく手元のコンピュータ上で
得られればよいのです。

図2のように、TCPでは、送信側のパ
ソコンAやサーバー上にあるTCPと対
向する受信側のTCPが協力して、転送
途中でのパケットの損失やパケットの到
着の逆転といった問題を解決します。

さらにTCPの重要な役割として、エ
ラーからの回復以外に、パケットのフ
ロー(流量)制御を行い、ネットワーク全
体の負荷を最適に保つことがあります。
これによって、最短時間ですべてのデー

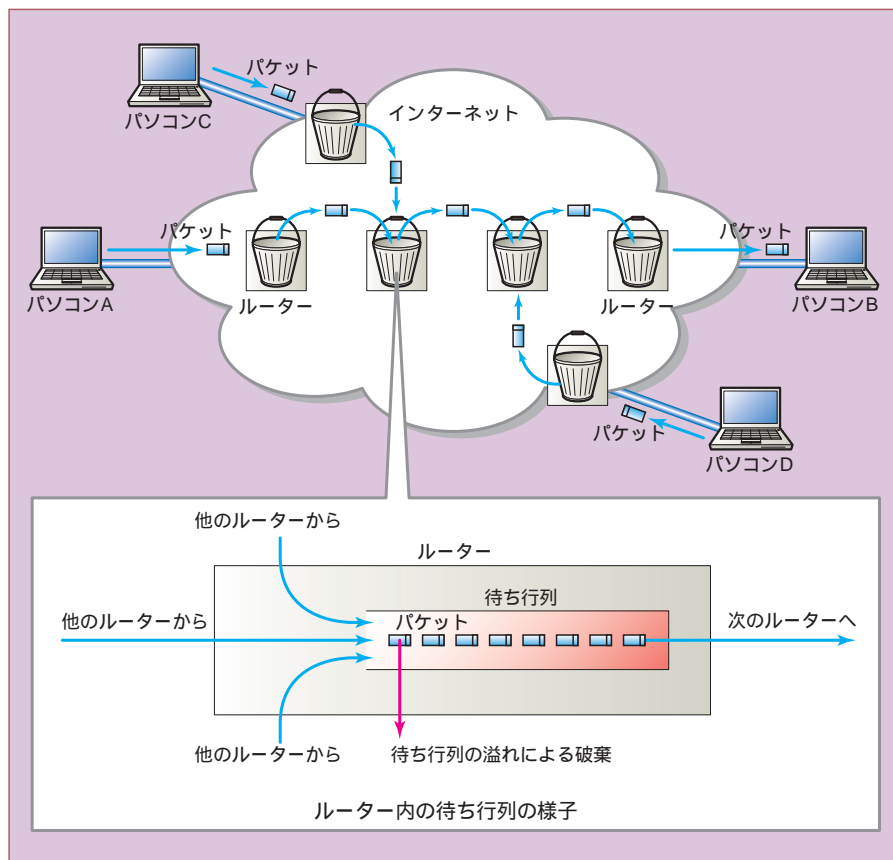


図1 パケツリレー方式と待ち行列

タの転送を完了することができます。

受信側のTCPでは、パケットを受信すると、それに対する確認応答(ACK)を返しますが、その中には、次に受信することを期待する順序番号と、その順序番号以降でどれだけのデータ量(バイト数)が受信可能かを示す値(ウィンドウサイズ)が入っています。これを受信したパソコンやサーバー側では、指定されたウィンドウサイズ以下のデータしか送信できま

せん。

このウィンドウサイズは、受信側のパソコンで利用できるパケットのバッファ長を示していますが、実は、ネットワークが混雑している場合には、さらに小さい値が指定されます。これにより、ネットワーク側の保護を行い、過負荷(輻輳状態、ネットワークの渋滞状態)に陥らないようにしているわけです(図3)。なぜならば、過負荷で犠牲となるのは、他人(送信側)

だけではなく、自分(受信側)もそうだからです。特に問題なのは、ネットワークが一度過負荷に陥ると、なかなか元へ戻らないことです。そればかりか、負荷の上昇とともにパケットの中継にかかる時間が急上昇してしまいます。

このような理論に興味がある方は、レナード・クラインロックの名著『待ち行列システム理論(上、下)』(マグローヒル好学社、1979年)をご覧ください。ただし、この本は絶版のようなので図書館で探すことが必要かもしれません。

オーバーヘッドが大きいTCPと小さいUDP

TCPでは、誤りからの回復という機能を上位のアプリケーションに提供しますが、そのために通信手順が複雑になっています。

ここまで説明したこと以外にも、たとえば通信の前に「コネクション(接続関係)の設定」も行います。これは、データを転送する前に、最初の順序番号を転送元と転送先で同期させるための手続きです。また、転送が完了するときには、もう送るデータがないことを互いに通知し合う、「コネクションの切断」の手続きが行われます。比較的多くのデータを一度に送る場合には問題ありませんが、短い時間で通信が完了する場合には、コネクションの設定や切断はオーバーヘッド(付加的な処理)が大きすぎます。

また、音声や動画のように継続的にパケットを流す場合には、フロー制御が行われるために、満足する転送速度が得られないことがあります。そこで、TCPに代わって、フロー制御や誤りからの回復も、そしてコネクションの設定や切断も行わない、オーバーヘッドの軽いプロトコルが使用されます。これがUDPです。

UDPは、単にエラー検出のためにチェックサム計算だけを行います。フロー制御を行うのも、誤りからの回復を

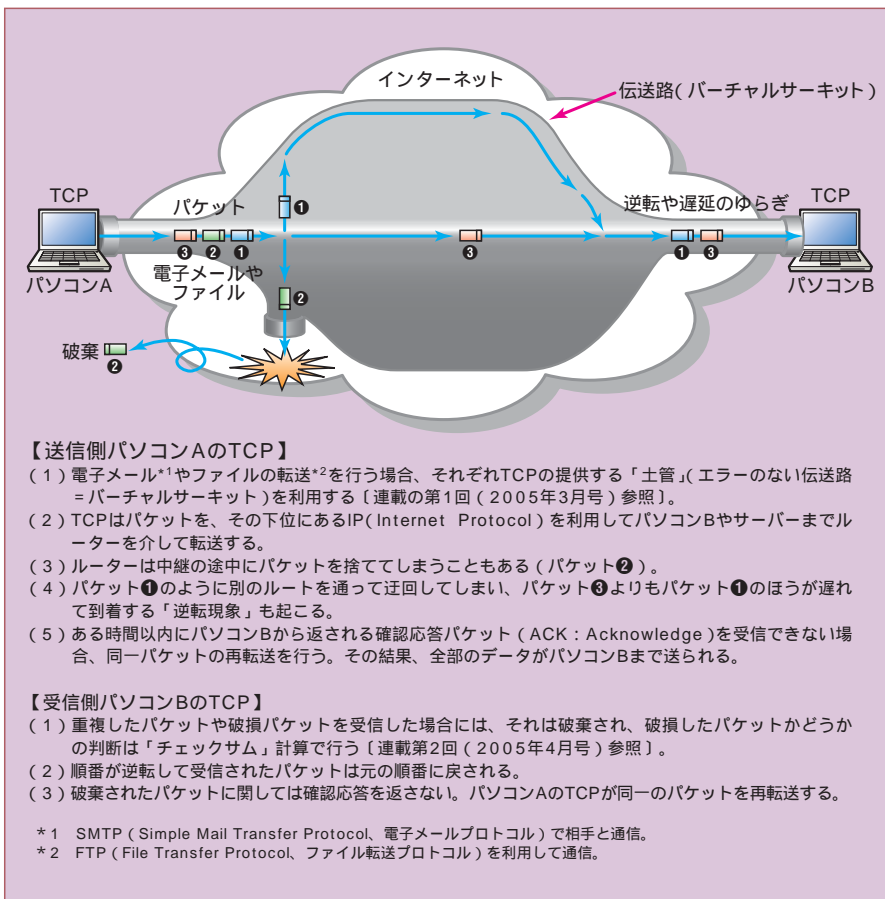


図2 パケットの破棄、逆転、遅延のゆらぎ

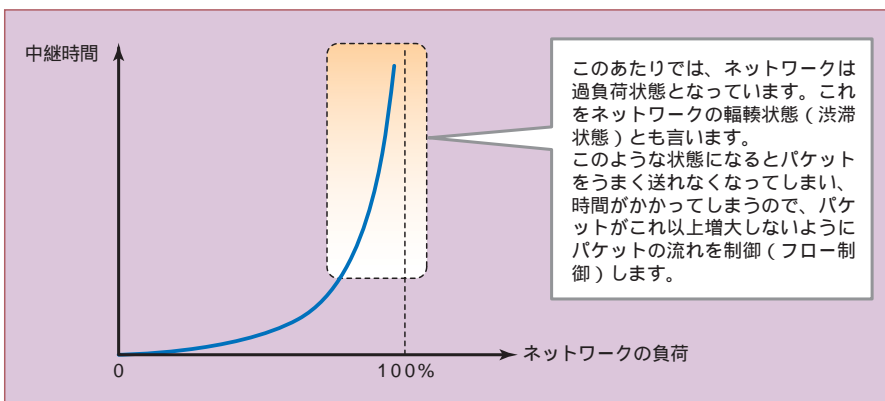


図3 ネットワークの負荷と処理時間の変化

行うのも、それを使用するアプリケーションの責任としています。

インターネットで音声や動画を転送する場合には、このUDP上で、RTP(Real-time Transport Protocol)とRTCP(Real-time Transport Control Protocol)が使用されます(図4)。

インターネット時代の企業のジレンマ

インターネットは、ベストエフォート(Best Effort)型のサービスです。このサービスでは、転送されるパケットの順番や転送時間を保証しないで、ネットワークが混雑してくるとパケットを捨ててしまいます。

このような性質のサービスを音声や映像に利用すると、ネットワークが混んでいないときは大丈夫なのですが、混んでくると音がとぎれたりエコーがかかったり、動画にはモザイクがかかったりします。音声や動画などの場合、少々の誤りが発生してもデータを補完すれば目立たなくすることは可能ですが、場合によっては、通信そのものが途切れてしまいます。

本来、違う目的で設計されているインターネットを、リアルタイム通信に利用するのは、シャツをパンツの代わりに着用するようなものではないでしょうか。もっとも、そういう人がいても構いませんし、慣れれば快適なものかもしれません。実際、インターネット電話でまったく困ったことがないという豪傑も結構います。

これらは、利用者、つまりマーケットセグメント(利用目的)によって異なります。個人が楽しむ分には、たとえ雑音が少しくらいあったり通信が途切れたりしても、深刻な問題にはなりません。しかし、企業のようなミッションクリティカル(基幹業務)な環境では、それがビジネスチャンスを逃す危険性もあります。

これらの不安定さを避けるために、TCP/IPを使って音声や画像専用のネッ

トワークを持つという方法もあります。しかし、この方法では、回線費用やルーターなどのコスト、ネットワークのメンテナンス費用が別にかかってしまうので、企業にとってはジレンマとなるわけです。

「使い放題」がもたらす弊害

今はIP電話がブームなのですが、実は、インターネットで映像や音声を放送する実験は1992年頃から続けられてきたのです。結局、うまく映像が中継されるようにするためには、調整やメンテナンスに非常にコストや技術力が必要だということがわかりました。現在でも、画像が安定しないので未だにサービスとして離陸していません。この放送ネットワークをMBONE(Multicast Backbone)と呼びます。

インターネットの負荷が軽いときであれば、MBONEであれ、IP電話であれ、問題が顕著化しません。しかし、いつインターネットが過負荷の状態になるかは予測できないのです。

過負荷(輻湊状態)では、ルーターはパケットを捨てるのに力を使い果たし、インターネットは著しく転送能力が低下することになります。現在の一番の輻湊の

原因は、何と言っても「KaZaA(カザー)や「WinMX(ウイン・エムエックス)、「Winny(ウィニー)に代表されるP2P(Peer to Peer、ピア・ツー・ピア通信)によるファイル交換でしょう。これは、インターネットを利用して不特定多数でファイルなどを共有するもので、大量のデータが転送されます。現在のインターネットの通信量の半分はP2Pによるものだと言われています。このために、リアルタイムの転送サービスの提供に影響を与えています。

この問題は、インターネットの利用料金がフラットレート、つまり「いくら使用しても同額で使い放題」になっていることも関連しています。

電話の場合には、長電話は料金がかさむので、それを気にしながら電話をします。実は、このことは他の利用者にとっても良いことなのです。なぜならば、輻輳が発生しにくくなるからです。経済学的に言えば、フラットレートは、「有限なネットワークの資源をそれぞれの利用者に最適に配分する」という資源配分の問題を難しくしているのです。

今回は、音声や映像データをTCP/IPを使ってどのように送るのか、そのポイントをまとめてみます。

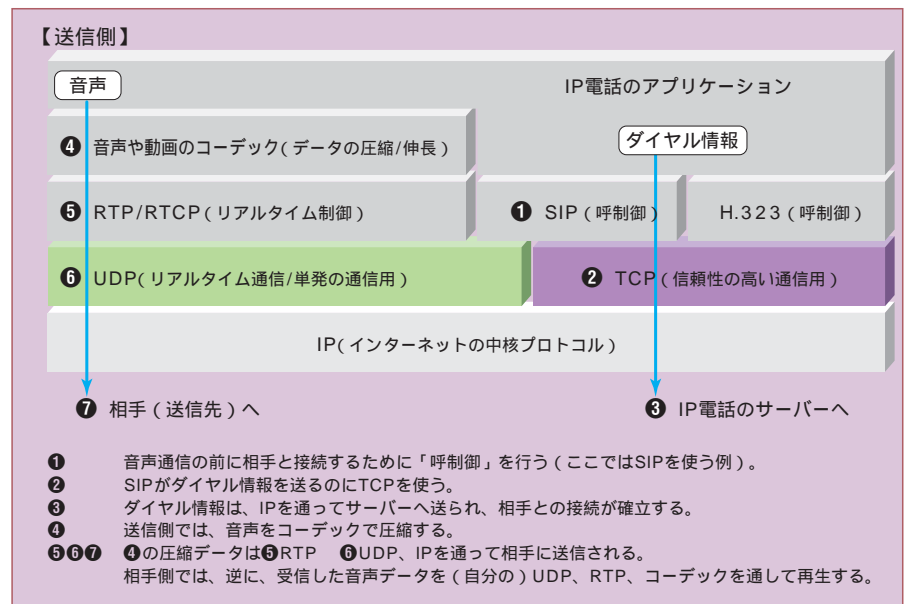


図4 リアルタイム通信のための仕組み(SIPがTCPを使った例)



[インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社インプレスR&D

All-in-One INTERNET magazine 編集部

im-info@impress.co.jp