

トランスポートプロトコルにおける信頼度に関する一考察

5 V-5

伊藤 嘉浩

前島 治

石倉 雅巳

浅見 徹

国際電信電話株式会社 研究所

1. はじめに

インターネットを始めとする TCP/IP ネットワーク上で動作するアプリケーションの多様化に伴い、アプリケーションがネットワークに対して要求するサービス品質 (QoS) も多様化してきている。現在 TCP/IP におけるトランスポート・プロトコルとしては、再送付確認応答機構により信頼性を保証するコネクション型のプロトコルの TCP と、信頼性は保証しないがオーバーヘッドの少ないコネクションレス型のプロトコルである UDP が代表的である。IP ネットワーク上でのデータ転送では基本的に、このどちらかを選択することとなり、多様化したアプリケーションの QoS に対する要求を必ずしも満足するものではない。例えば、動画像や音声をリアルタイムに伝送するアプリケーションが、情報を階層的に符号化させ、選択的にデータを伝送する場合^[1]、輻輳や受信者の状態に応じて送信する情報を選択することにより効率的なデータ転送を実現したい。しかし遅延時間のジッタなどから基本的に TCP をリアルタイム伝送に使うことはできない。仮に TCP と UDP により選択的にデータ転送を行っても、複数の階層のデータを保証を行うか行わないかの2つのグループにカテゴライズされることになり、階層が異なったレベルの信頼度を提供することは困難である。

筆者らは、トランスポートレイヤにおいて、データの信頼性を定量化する信頼度の概念を提案する。より必要な情報ほどより高い信頼度を与えることにより、より効率的なデータ転送を行うことができる。

2. トランスポート層における信頼度

本稿では、上位レイヤから渡されたデータが受信ノードに渡される確実度を表す信頼度 (reliability) の概念を提案する。例えば、仮に信頼度が 0 から 100% の範囲で表された時、信頼度 100% はエラーフリーでデータが伝送され (TCP に相当)、信頼度 0% はデータの信頼性に関して全く保証しない (UDP に相当)。ここでは、信頼度は実装したトランスポートレイヤのパケット・ヘッダ内のフィールド長によって、あるレベルを持つものとし、8 ビットの信頼度情報を持つものであれば、信頼度は各フローもしくはフローの各部に対して値

00 から FF を定義することが可能である。ここで信頼度 00 は、全く信頼性を保証しないことを示し、信頼度 FF (すべてのビットが 1) はトランスポートレイヤがエラーフリーを保証するものと定義する。00 から FF までの信頼度とその値に対する実際の信頼性の保証に関してはトランスポートレイヤ以下の実装に大きく依存する。ここで、信頼度に関する QoS を保証するトランスポートレイヤプロトコルを VRTP (Variable Reliability Transport Protocol) と呼ぶことにする。

3. IP ネットワークにおける信頼度の保証

トランスポートレイヤで、信頼度に関するサービスを上位レイヤに提供するためには、下位レイヤの提供する QoS 保証サービスを利用することが理想的ではあるが、現在の IP ネットワークにおいて、信頼度に関する QoS 保証のための機構を実現することは困難である。そこで、トランスポートレイヤにおいて信頼度を実現するための手法として考えられるものを幾つか示す。

3.1 TCP における疑似的な Ack を用いる方法

TCP を用い、信頼度の低いデータに対しては、実際にデータが受信されたかどうかに関らず受信側は疑似 Ack を返すことで、信頼度を実現する方法。本手法では重要度のより低いパケットの再送を行わないことでキュー内での蓄積時間を抑制し、TCP を用いたリアルタイム伝送を考えることが可能である。

3.2 冗長な IP パケットを用いる方法

複製した冗長な IP パケットを複数送信することにより、パケットの損失率を低くし、送信する冗長なパケットの数により信頼度を可変とする手法。本稿では、本手法に限って検討を行う。

一つパケットの損失確率を $p(0 \leq p \leq 1)$ とすると、送信する冗長なパケットの数が n (以下、信頼度 n と言う) であるとき、そのパケットの損失確率は p^{n+1} となる。但し、本手法は回線品質の劣化などによるビット誤りから生じるランダムなパケット損失に対しては有効であるが、輻輳などによるバースト的なパケット損失に対しては有効ではない。このような場合には、中継のノードでの RED^[2]の実装により、バースト的なパケット損失が起こらないようにすることが必要である。また、 n の数を増加しても、漸近的にしか信頼性を 100% 保証することはできない。しかし、十分な数の冗長パケットにより信頼性を限りなく 100% に近づけていくことは

"A proposal of reliability at transport layer protocol" by Yoshihiro ITO, Osamu MAESHIMA, Masami ISHIKURA and Tohru ASAMI

可能である。また、冗長なパケットを生成するための実装は、VRTP 上に実装され、アプリケーションは拡張された socket インタフェースから TCP/UDP と同様に VRTP を利用することができる。

4. 信頼度を利用したデータ転送

本節では、以下の簡略化したアプリケーションのモデルを用いて、信頼度の有効性について検討する。今、送信側のアプリケーションが、動画像などの情報をフレーム単位で階層化符号化を行い、1つの受信ノードに対して送信するものとする。ここで、階層化符号化のレベルは1~3とし、まず、基本フレーム（レベル1のフレーム）が符号化され、基本フレームに基づいてレベル2のフレームが符号化され、そしてレベル1, 2のフレームに基づいて、レベル3のフレームが符号化される。従って、レベル1, 2, 3の順番にフレームは符号化され、レベル1が最も優先度が高く、レベル2のフレームを復号化するためにはレベル1のフレームを必要とし、レベル3のフレームを復号化するためには、レベル1, 2のフレームを必要とするものとする。各フレームは1つのIPパケットによって伝送され、各レベルのフレームの利用帯域は等しいものと仮定し、パケットの損失確率は一定値 p であるとする。ここで、冗長なIPパケットを送信しない場合（すべてのフレームの信頼度0）、すべてのレベルのフレームに対して、冗長なIPパケットを一つずつ送信する場合（すべてのフレームの信頼度は1）、レベル1のフレームのみ信頼度1で送信する場合について、図1にパケット損失確率に対する全フレーム内で正しく受信されるフレームの確率を示す。また、図2に総送信パケット数に対する、正しく受信されるフレームの割合を示す。

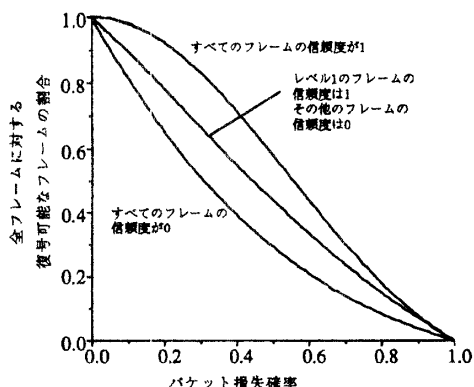


図1: 全フレームに対する復号可能なフレームの割合

図1から、選択的にデータに対して信頼度を定義することにより、利用可能帯域、データの最低品質などのユーザの要求に応じて、柔軟なデータ転送を行うことができることが予想される。また、図2より、優先度の高

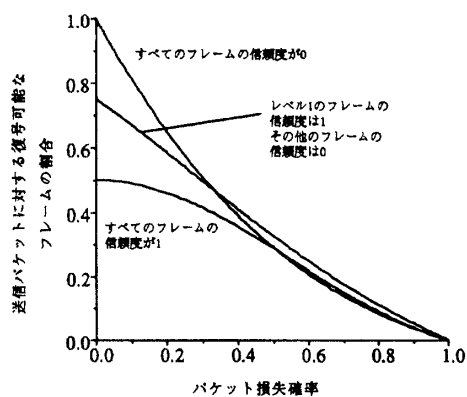


図2: 送信パケットに対する復号可能なフレームの割合

い情報に対して高い信頼度を保証することにより、効率的なデータ転送が可能となることもわかる。

5. 実システムへの適用

前節で述べた考え方は、動画像の標準符号化方式である MPEG への応用が容易である。MPEG では、3つの画像タイプがあり、それぞれ、Iピクチャ (Intra-Picture), Pピクチャ (Predictive-Picture), Bピクチャ (Bidirectionally predictive-Picture) の3つがあり、Iピクチャはフレーム間予測を行わずに生成可能であり、PピクチャはI, Pピクチャからの予測により生成され、Bピクチャは双方向予測によって生成される。従って、情報の重要度としては、 $I > P > B$ ピクチャとなり、これらのフレームを伝送する際に、Iピクチャを最も高い信頼度で伝送し、Bピクチャの信頼度を低く設定することで、ユーザの画質要求、利用帯域に応じて、柔軟且つ効率的なデータ伝送が可能であるものと思われる。

6. おわりに

本報告では、トランスポートレイヤにおいて、データの信頼性を定量化する信頼度の概念を提案した。より必要な情報ほどより高い信頼度を与えることにより、より効率的なデータ転送を行うことができることが予測できる。本稿では、効率的ではないが最も実装の容易であると思われる冗長パケット転送による実現方法について検討を行ったが、今後は疑似 Ack と IP レイヤでのキューイングも考慮した実装に関して検討を行い、シミュレーションおよび実装システムによる提案方式の検討、そして検討結果に基づいてプロトコル VRTP の仕様検討を行う予定である。最後に日頃御指導頂く KDD 研究所 村上所長に感謝します。

参考文献

- [1] 横田、窪田、浅見: “マルチポイント通信における階層型転送データを用いた QoS 制御に関する実験”、信学全大、B-834、September
- [2] Floyd, S., and Jacobson, V., Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance, IEEE/ACM Transactions on Networking, V.1 N.4, August 1993, pp. 397-413.