

リアルタイム通信を可能とする防災・災害情報ネットワーク

内田法彦¹ 中村大輔¹ 旭秀晶¹ 五十嵐亮裕¹ 及川聡¹ 高畑一夫² 柴田義孝¹
¹岩手県立大学ソフトウェア情報学部 ²信州短期大学経営情報学科

近年、東海沖地震の発生の可能性などが取り沙汰され、防災に関する世間の関心も次第に高まっている。そうした中、802.11b などの無線ネットワークの発展は、災害時の復旧の利便性や山間部などのインフラ整備など防災災害情報ネットワークには有効な手段である。そこで、本稿では、有線と無線が相互接続される防災・災害情報ネットワークにおいてリアルタイムかつ双方向でビデオ通信を可能とするため、利用者要求や資源環境の変化に対応できる動的なビデオ通信のための QoS 制御法を提案する。提案システムでは、特に無線ネットワークにおけるパケット誤り率を低減させるために、Channel Coding として Reed Solomon 符号の導入した前方誤り訂正方式(FEC)を導入する。また一方、必要とされる QoS、特に End-to-End のスループットを維持するために、Source Coding として、M-JPEG、MPEG や QuickTime といったビデオ符号の相互変換方式、フレーム内の Q-Factor の制御、フレームレートや解像度の制御といったトランスコーディング機能を導入する。これにより、FEC によってパケット誤り率は許容値内に低減できる一方、FEC の冗長データ転送による必要な帯域幅の増加はトランスコーディング機能により単位時間当たりのデータ量を一定に保つことができる。そして、本方式の有効性を評価するため、画質を保持する場合とフレームレートを保持する場合に注目し性能評価を行った。

Disaster Information Networks to enable Realtime Communication

Noriki Uchida¹, Daisuke Nakamura¹, Hideaki Asahi¹, Ryosuke Igarashi¹, Satoshi Oikawa¹,
Kazuo Takahata², Yoshitaka Shibata¹

¹ Faculty of Software and Information science, Iwate Prefectural University

² Department of Business Administration Shinshu Junior College

ABSTRACT: Since the possibility of catastrophic disasters, such as an offing earthquake of Tokai, is cried for in recent years, the concern about disaster prevention is increasing. Thus, wireless networks like 802.11b are concerned as the very effective methods for disaster information networks because of the easiness of repairing networks or of reconstruction of network infrastructure. In this paper, QOS Control of realtime multimedia communication system under heterogeneous environment by the wired and the wireless networks is proposed. In our suggested system, as channel coding, FEC (Forward Error Correction) method with Reed-Solomon coding is introduced to reduce the packet error rate on the wireless network. On the other hand, as source coding, transcoding methods including transformation of various video codings such as M-JPEG, MPEG and Quicktime, controls of Q-factor within a frame, frame rate and color depth is introduced to maintain the required QOS, particularly the end-to-end throughput. The increases of the required bandwidth by redundant data transmission by FEC can be suppressed by the transcoding functions while the packet error rate is reduced to the accepted value. In order to verify the functionality and the efficiency in our suggested system, the evaluation focusing on the case of maintaining Q-factor and the case of frame rate was held.

1. はじめに

近年、関東大震災以来の大地震と想定される東海沖地震発生の可能性や、岩手県内においては数年前の岩手山火山活動などが活発になったことなどにより、大規模自然災害および防災に関する世間の関心は次第に高まりつつある。そうした中、802.11b などの無線ネットワークは、本研究で想定している防災・災害情報ネットワークにおいて非常に有効な手段である。例えば、災害時にネットワークの断線が発生した場合でも、機器を交換するなどの簡便的な作業で復旧できる他、移動車を使って中継点や情報拠点を簡

易に敷設できる他、移動しながらの中継作業など用途が広がると想定される。

さらに、役場等の災害本部と避難所、災害本部と住民間で双方向映像を利用することにより、住民の安否情報の確認や健康管理といった災害時におけるコミュニケーションを円滑化できる。

しかしながら、双方向ビデオストリーミングやマルチキャストビデオストリーミングなどのリアルタイム通信においては、有線ネットワークに比較して、無線ネットワークは、

- 1)十分な帯域が取れない。
- 2)遅延が大きい。
- 3)ビットレート誤り率が高い、

などの問題点があり、リアルタイム通信が困難となっている。例えば、現在良く利用されている 2.4GHz、11Mbps の IEEE802.11 b は、2~3 km より距離が離れたステーション間では無線のビットエラーによりパケットロスが発生し、サービス品質の低下が発生する。また、無線車を使い移動しながらのビデオ通信では、物理的な障害物などから、バースト的なパケットエラーが発生する可能性がある。

そうした場合、特にオーディオ・ビデオによる双方向でリアルタイム通信を行なう場合は、画質や音質の低下を招くだけでなく、遅延やジッタの影響によるリアルタイムなコミュニケーションが困難となり、これらの問題を回避するためには、End to End のサービスの質(Quality of Service)の保証する機能が必要となる。

一方、TCP のようなプロトコルを使用する際は、パケットロス制御のための再送は遅延時間が増し、リアルタイム性を損う可能性がある。

本稿では、有線と無線からなる複合防災災害情報ネットワークを想定し、その中で特にリアルタイムかつ双方向でビデオ通信を可能とするため、利用者や資源環境の変化に対応できる動的なビデオ通信のための QoS 制御法について述べる。

提案システムでは、第一に Channel Coding として Reed Solomon 符号を導入した前方誤り訂正方式(FEC)を導入する。無線と有線が接続された heterogeneous なネットワークにおいて、パケット誤り率を低減し、双方向でリアルタイムなビデオ通信を可能とするために FEC の冗長度を動的に制御する。パケット誤り率は、受信側によっ

て観測され送信側にフィードバックされる。誤り訂正のための単位時間当たりの冗長度数は、観測された誤り率と、目標とする誤り率によって決定されるので、Reed Solomon 符号による FEC は送信側のデータパケットと冗長パケットに適用し、計算されたパケットが受信側に送信される。そして受信側において、パケットエラーが発生したかどうかを再度計算し、もしパケットエラーが発生した場合、誤り訂正プロセスが実行される。そのようにして、End-to-End 間の通信においてパケット誤り率を一定に維持するために、FEC の冗長度を動的に制御する。

次に、無線と有線間のマルチメディアサービス品質を維持するために、トランスコーディングとしてトランスコーディング機能を導入する。トランスコーディングは、FEC による冗長データの転送による帯域幅の増加を抑制するための帯域幅制御する。送信側の Q-factor、フレームレート、解像度や Color Depth と MotionJPEG から MPEG1,2,4 といったビデオフォーマットへの変換などによるシステム機能により実行される。そして、ここではネットワーク帯域やユーザー資源によりこれらの動的な変換が行われる。

以降、本稿では 2 章では想定する無線と有線が相互接続されたシステム構成について述べ、3 章では、リアルタイムマルチメディア通信の QoS 制御のためのシステムアーキテクチャについて提案する。4 章では、本稿において提案するトランスコーディング機能について述べ、5 章では FEC とその動的制御による誤り訂正について説明する。そして、6 章では、特に Q-factor とフレームレート制御を扱った場合の提案システムのシミュレーションについての評価をし、6 章で考察を行った。

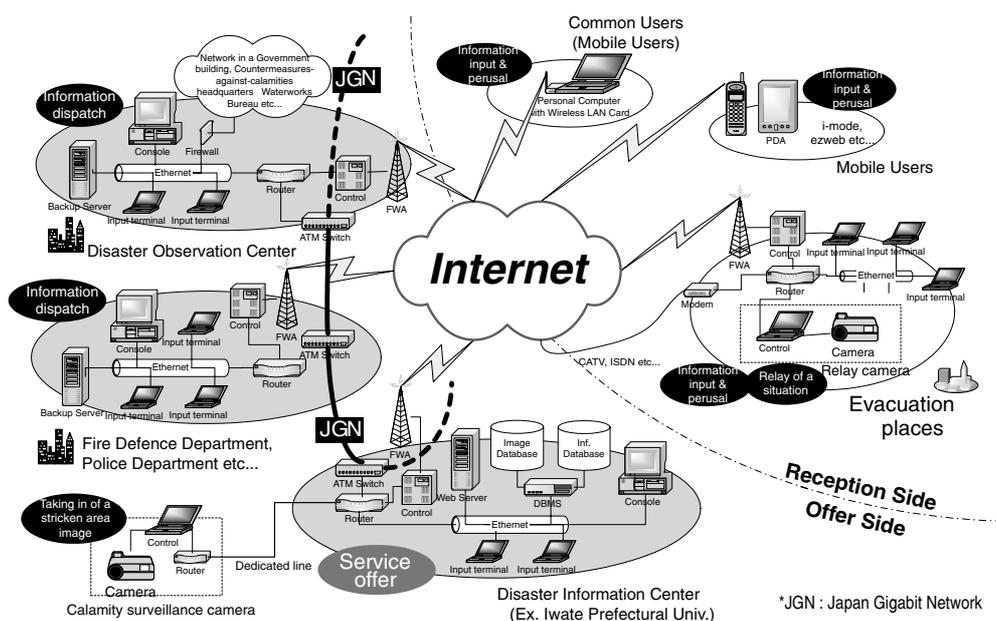


図1. 広域防災災害情報ネットワーク

2. システム構成

本研究で想定している複合防災災害情報ネットワークは図1に示すようにIEEE802.11b(2.4GHz、11Mbps)の無線と光ファイバーを基本とした有線による複合ネットワークであり、複数の災害本部を高速有線ネットワークで接続し、災害本部とユーザ間、もしくはユーザ間は無線ネットワークで接続する。有線ネットワークと無線ネットワークは、ゲートウェイ機能としてのベースステーション(BS)あるいは移動ステーション(MS)により、相互接続され、これにより、ユーザは双方向ビデオによりEnd to Endで通信することが可能となる。

しかしながら、このような統合ネットワーク環境においては、有線に比較して、無線ネットワークは十分な資源確保ができず、特に無線環境のビットエラーによる高いパケット誤り率はEnd-to-Endのオーディオ、ビデオ通信サービスの品質低下を招く。

特にオーディオ・ビデオによる双方向でリアルタイム通信を行なう場合は、画質や音質の低下を招くだけでなく、遅延やジッタの影響によるリアルタイムなコミュニケーションが困難となり、これらの問題を回避するためには、End to EndのQoSの保証する新たな機能を導入する必要がある。

3. システムアーキテクチャ

本研究におけるシステムアーキテクチャは、クライアント・サーバモデルに基づいており、連続メディアサービスにおけるQoS保証機構実現のためにアプリケーション層からトランスポート層までに間に同期層、データ変換層、メディアフロー制御層の三層からなるメディアコーディネートシステム(MCS)を導入する。また、メディアコーディネートシステムの層はそれぞれユーザプレーン、QoSメンテナンスプレーン、制御プレーン、ストリーム管理プレーンの4つのプレーンから構成され、エンド間置ける一貫したQoS保証の実現化を図る。

ここで、第一に、両ホストのMediaFlow層間において、MH側でパケットロス率を定期的に測定し、もし許容値を超える場合は、その値をFH側のMediaFlow層にフィードバックし、Reed Solomon符号によるFEC(Forward Error Correction: 前方誤り訂正)機能により、パケットの冗長性を上げることによって、パケットロス率を許容値内に抑える制御機能を導入する。

次に、両ホストのDataTransform層間においては、トランスコーディング機能を導入する。これにより、パケットの冗長性の増加に伴う、単位時間当たりのデータ量を、

- 1)ビデオ符号化の圧縮率を変化させる
- 2)ビデオフレームレートを変化させる
- 3)ビデオの解像度を変化させる

- 4)ビデオの符号方式を変換
 - 5)Color Depthを変化させる
 - 6)あるいはこれらの組み合わせ
- ことにより一定に保つことができる。

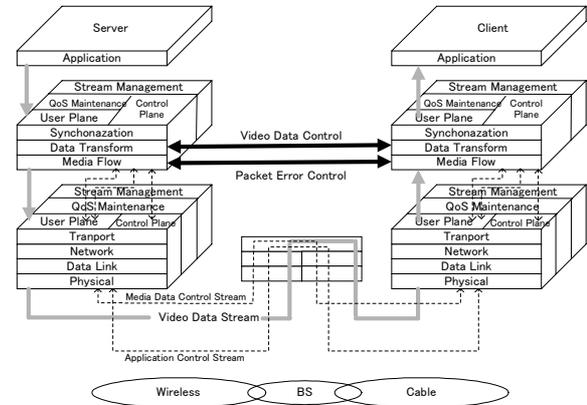


図2. システムアーキテクチャ

また、次章においてパースエラー発生時においても同様にFECの冗長度による両ホスト間の単位時間当たりのデータ転送量の増加を一定に維持できることを示す。

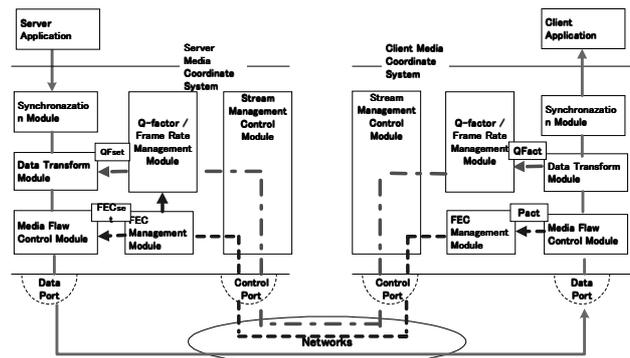


図3. Module Configuration and Flow of Rate Control

パケット誤り率制御を実現する機能モジュールはメディアコーディネートシステム内に配置される。図3に示すように、パケット誤り率制御の流れは、まず、クライアントのメディアフロー制御管理モジュールにおいて実効パケットロス率(P_{act})を測定し、実行パケットロス率が設定された許容値(P_{adm})より大きい場合、FEC冗長度の変更をサーバに通知する。その通知を受けたサーバはあらかじめ計算しておいたパケットロス率と比較し適切な冗長度を決定しFEC冗長パケット数(FEC_{set})を調節する。

一方、FECによるデータ量の増加を削減し帯域を一定に維持させるため、Q-factor/フレームレート管理モジュールでは図4のようなプロセスでQ-factorもしくはフレームレートの値が決定される。

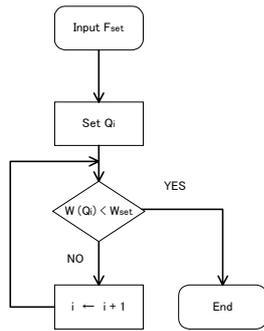


図 4. Flow Chart of Q-factor decision

- 1) FEC_{set} から予め計算しておいた Q-factor の値を決定する
- 2) Q_iの時の帯域幅 W (Q_i) が目標とする帯域幅 W_{set} より小さいか検証する
- 3) もし、W_{set} より大きい場合、Q-factor の値を+1 増加させ、再度 2)の検証を行う
- 4) W() < Wset の場合、Q_i が決定される

また、フレームレート(F_i)を決定する場合も同様のプロセスを行う。もし Q_i や F_i が利用できる最大値に達しても、W_{set} 以下に帯域幅を下げるできない場合は、Q-factor とフレームレートを組み合わせる、解像度を下げる等、他の制御を組み合わせることにより帯域を一定に維持することができる。と考える。

このようにして、動的に FEC による目標とする誤り率制御と冗長パケットに伴うビデオデータ量を減少させ、帯域を一定に維持することができる。

4. トランスコーディング

前章で述べたように、想定している通信システムにおいて、トランスコーディング機能により実現される。典型的な無線ネットワークは有線に比較して十分な資源を持っていない。ここではシームレスなエンド間の通信を実現するためフレーム内の Q-factor、フレームレート制御、そしてビデオ符号方式の変換を無線と有線間のトランスコーディングに導入を検討する。

Q-factor(Quality Factor)はフレームの量子化テーブルを生成するための値であり、M-JPEG や MPEG ビデオストリームにおける圧縮の度合いを決定する。すなわち、ホスト間とネットワークの状態により無線ネットワークと有線ネットワーク間の Q-factor を制御することによりビデオのクオリティは調節できる。

次に、ビデオのフレームレートはまたユーザーの品質要求や資源の状態により制御される。M-JPEG の場合、単に目標とするレートにサブサンプルする。GOP(Group of pictures) から成る MPEG の場合には、一つの GOP は I、B、P-Picture から成り、どのビデオフレームにも相互

に関係している。I-picture は P-picture より優先度が高く、P-picture は I-picture より優先度が高い。これは I-picture は B、P-picture を予測するのに必要であり、B-picture は I-picture を予測するのに必要なためである。それゆえ、MPEG ビデオのサブサンプルが必要な場合、いくつかの B-picture を最初に、次に P-picture を、そして最後に I-picture をホストやネットワークの状態によりサブサンプルする。これゆえ、M-JPEG、MPEG、H261、H323 や QuickTime などの別のビデオ符号の変換にも適用する。

これらのトランスコーディング機能により、たとえ FEC の冗長度が増加しネットワークの状態が変化しても必要帯域幅を一定に保つことが可能である。

5. FEC 及び冗長度制御による誤り訂正

本研究のように、ある程度のパケット損失を許す環境で、タイムクリティカル性を重要視する場合、FEC は非常に有効な手段と考えられる。紛失したパケットを再送信する ARQ (AutomaticRepeatReQuest:再送法)に比べ、誤り訂正符号により冗長データを負荷する FEC は回復時の遅延が小さく、シームレスな統合ネットワーク環境に適している。FEC 符号として、本研究では MediaFlow 層において、ReedSolomon(RS)符号を採用する。

RS 符号は符号語長を n、情報ビットを k とすると、ビット誤り位置が既知の場合には n-k ビットの誤りを訂正する能力をもつ。

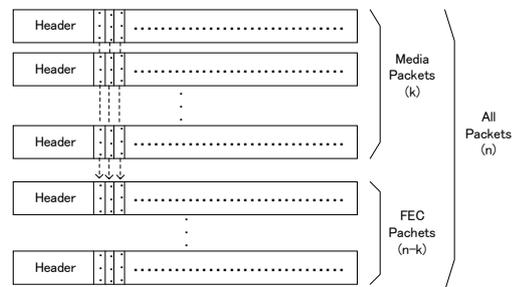


図 3. Reed Solomon Coding

また、n 個のパケットのうち n-k 個より多くのパケットロスが発生した場合に、正しくデータを訂正できる確率を E とすると、

$$E = \sum_{i=n-k+1}^n C_i e^i (1-e)^{n-i} \quad (1)$$

と表される。ここで、e は送受信ホスト間でのパケットロス率を表わす。E と k は既知の値であるから、E は n の値によって決定される。あらかじめいくつかのパターンの n について E を計算すれば、目的のロス率を達成できる n を求める事ができる。この n で RS 符号の強度が決定される。従って e を定期的に測定し、許容値以内にロス率を抑

えるために、E を計算しておき、それに相当する冗長ビット n の値をフィードバックして RS 符号化することによりロス率を抑えることが可能となる

あらかじめいくつかのパターンの n について E を計算すれば、目的のロス率を達成できる n を求める事ができる。この n で RS 符号の強度が決る。従って e を定期的に測定し、許容値以内にロス率を抑えるために、E を計算しておき、それに相当する冗長ビット n の値をフィードバックして RS 符号化することによりロス率を抑えることが可能となる。

6. シミュレーション

本研究で提案するビデオデータ通信方式の有効性を確認するために、シミュレーションにより、評価を行なった。そして、無線ネットワークにおいて十分な帯域を取れないことを仮定し、本シミュレーションではビデオ必要帯域を一定のもとで利用することを想定する。

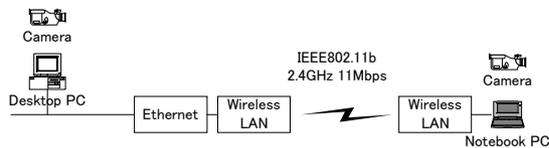


図 4. シミュレーションのプロトタイプ

有線ネットワークとしては、100Mbps の Ethernet を使用し、無線ネットワークとしては IEEE802.11b 無線 LAN(2.4GHz、DS-SS 方式、11Mbps)を使用した。そして映像データは、表 1 のデータを転送した場合を考慮した。

表 1 The Numerical Values of Video Source

Video format coding	Motion JPEG
Frame Size	320x240
Frame Rate	30 fps
Color depth	3 bytes (Full color)
Q-factor	4 (The compression rate is about 1/15)
Video scene	Speech by man
Network Bandwidth	3.68Mbps

そして、無線 LAN の利用環境が動的に変化したとして、パケットロス急激に変化させ、これを FEC 符号の付加によりパケット誤り率を 10^{-6} まで戻す場合の制御を想定し、本稿では、動きを優先しフレームレートを一定に維持し Q-factor 制御を行った場合と画質を優先し Q-factor は一定にしフレームレート制御をした場合の評価を行った。

6.1 フレームレート優先

フレームレートを優先した場合を考慮して、フレームレートを固定し、FEC の冗長度によるデータ量の増加を Q-factor 制御のみで行った場合の評価を行った。

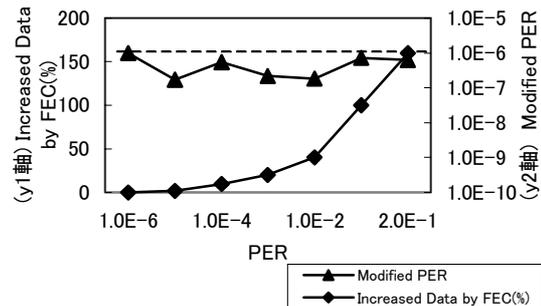


図 5 . Increased Data Volume and Correct Packet error rate

図 5 は x 軸にパケット誤り率を示し、y1 軸にその誤り率を訂正するために必要な FEC の冗長度によって増加したデータ量を示している。そして、y2 軸にはその結果、修正されたパケット誤り率を示している。パケット誤り率が高くなれば、FEC 冗長度の分転送データ量の増加が発生するが、誤り訂正によりパケット誤り率が目標とする 10^{-6} 以下に維持されている。

次に、増加した転送データ量をもとの帯域幅以内に一定にするために Q-factor の制御を行った。

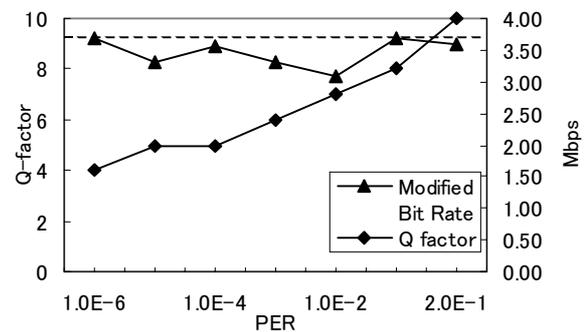
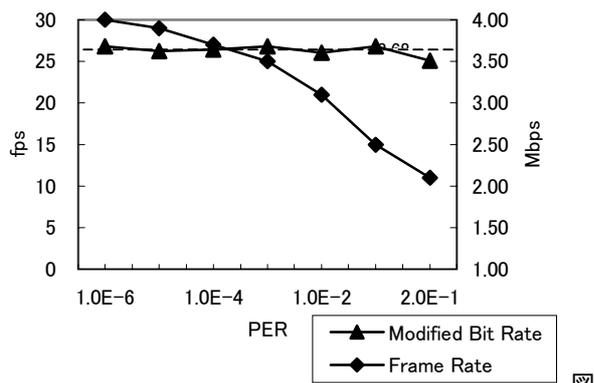


図 6 . The Control of Q-factor and Bandwidth

図 6 グラフからパケット誤り率が高くなれば、転送データ量を一定に維持するために必要な Q-factor 値が増加し、実質的に圧縮を増加させることにより、転送データ量は 3.68Mbps 以下に維持されていることを示している。

6.2 Q-factor 優先

同様に、画質を優先した場合、また、前節においても誤り率が大きい場合を考慮して、Q-factor を一定にし、フレームレートによる制御を行った。



7. The Control of Frame Rate and Bandwidth

まず、第一に FEC の処理時間が問題にならない、つまり、パケット誤り率が小さい場合、図 7 グラフが示すように、フレームレートを 30fps から下げることにより、帯域幅を Q-factor 制御時と同様に、帯域をほぼ一定に維持することができる。図 7 グラフが示すように、フレームレートを 30fps から下げることにより、帯域幅を Q-factor 制御時と同様に、帯域をほぼ一定に維持することができる。

従って、フレームレート制御と FEC によるパケットロス率制御機能を組み合わせることにより、無線環境の変化が悪化してもフレームレートおよび時間あたりのデータ転送量を一定にしながらパケット誤り率を改善できることがわかる。MPEG4 等へのビデオ符号方式の変換や解像度を変化させても同様の制御が可能であると考え。

次に、パケット誤り率 0.3 以上のように非常に大きく、FEC の処理時間を考慮する場合、フレームを間引くことによりパケット間隔を大きくしてから、圧縮率などの調整を行うような複数のトランスコーディング機能を合わせる必要がある。例えば、パケット誤り率 $e=0.4$ の場合、1500byte の 1 秒間のパケット数は $(320 \times 240 \times 3 \times 30 / 15) / 1500 = 307.2$ 307 個/sec なので、1 フレームあたりのパケット数は、 $307 / 30 = 10.2$ 個/frame となる。このとき、1 フレーム当り、 $10.2 \times 0.4 = 4$ error 個/frame のパケット誤りが発生すると考えられるので、CPU Pentium 800MH の場合、パケット 1 個あたりの FEC 処理時間は 0.0084sec である。したがって、1 フレーム毎の FEC 処理時間は $(4 \times 0.0084 = 0.0336)$ 約 0.034 秒であり、フレームレートは $(0.034 / (0.034 + 0.0084)) \times 30 = 14.6$ 14.6fps となる。

このように、次節でも評価しているがフレームを間引くことによりパケット間隔を大きくしてから、圧縮率などの調整を行うような複数のトランスコーディング機能を合わせるによりリアルタイム性を維持できる。

7. まとめ

本稿では、有線と無線を統合した防災災害情報ネットワークにおいて、リアルタイムビデオ通信を可能とするため、計算能力やネットワーク資源が変化する環境でも、利

用者に最善のビデオの質を提供する方式を提案し、シミュレーションによりその有効性を示した。特に無線 LAN 環境における資源の変化においては有効な通信方法と考えられ、有線ネットワークとシームレスな通信が可能となる。今後は、実際の災害情報システムを想定した、Q-factor 制御やフレームレート制御以外のトランスコーディング機能とそれらの組み合わせによる評価、そして遅延やジッタの条件の変化におけるリアルタイムな通信方法の検討を計画している。

参考文献

- [1] J. Vassand X. Zhuang, "A Novel Video Communication System Utilizing Adaptive and Integrated System Design for Mobile Wireless ATM," Procon IEEE ICME, August, 2000.
- [2] 古村、藤川、池田、"QoS 保証されたインターネット放送のための前方誤り訂正、" 情報処理学会、DPS100'18, P81-85, 2000.
- [3] N. Yamanouchi: "Internet Multimedia Transmission Using Multiple FEC Recovery Classes", IPSJ journal, Vol.42, No.2, P206-212, Feb.2001.
- [4] ISO/TC184/SC5/WG2: Draft Technical Report: Identifying user requirements for systems supporting time-critical communication
- [5] K. Hashimoto, T. Chinen, J. Sato and Y. Shibata, "Packet and Frame Rate Control Methods for Compressed Video Transmission (Special Issue on Multimedia Distributed and Cooperative Computing)", IPSJ Journal, Vol.30, No.2, P337-347, 1998.
- [6] J. Sato, Y. Kousaka, K. Hashimoto, Y. Shibata, and N. Shiratori, "Compressed Video Transmission Protocol Considering Dynamic QoS Control", Proceeding of the ICPP Workshops, P95-104, August, 1998.
- [7] A. Campell, G. Coulson, and D. Hutchison, "A Quality of Service Architecture", ACM SIGCOM Computer Communication Review, Vol.24, No.2, pp.1-27, 1995.
- [8] 中村、坂本、内田、高畑、橋本、柴田、"防災・災害情報の提供を支援するための資源管理システムの考察、" 情報処理学会、DPS107-10, P55-60, 2002