1R-1

MPEG のデータ構造を考慮したマルチメディアチェックポイントの一貫性評価*

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科†
結城 和也　桧垣 博章‡ §

1 背景と目的

障害に対して耐性を持つネットワークアプリケーション実行環境を実現する手法のひとつとしてチェックポイントリカバリ手法が研究されている。ここでは、ネットワークアプリケーションを実行する各プロセスが正常動作時の状態情報を安定記憶に保存し、障害発生時にはシステム内のすべてのプロセスが保存されている状態から処理を再開する。ただし、各プロセスが設定したチェックポイントの集合は、リカバリ後のシステム動作に矛盾を発生させない一貫性のあるグローバル状態を定めることが求められる [1]。一方、メッセージサイズが大きく、ひとつのメッセージが複数のパケットの集合として送受信されるマルチメディアネットワークにおいては、メッセージの一部がリカバリ時に失われてもシステム動作に必ずしも矛盾を発生しないことに注目し、リカバリ時に失われるパケット群に基づいた新しい一貫性の評価方法が提案されている [2]。ここでは、従来の二値による一貫性評価ではなく、連続多値による評価としている。この評価値を得るために、紛失パケット群の持つ価値からメッセージの一貫性評価値を得るいくつかのモデルが論文 [2] で示されているものの、紛失パケットの持つ価値についての議論はなされていない。そこで本論文では、MPEG データ配送を対象としたパケット価値モデルを提案し、これに基づくメッセージの一貫性評価について述べる。

2 マルチメディアチェックポイントの一貫性

論文 [1] では、メッセージをプロセス間通信の単位とし、各プロセスのローカルチェックポイントをメッセージの送受信イベント中には設定できないという仮定のもとで、紛失メッセージ、孤児メッセージが存在しないグローバルチェックポイントのみ一貫性があると定義している。これに対して、メッセージを構成するパケットをプロセス間通信の単位とすることにより、各プロセスがローカルチェックポイントをメッセージの送受信中に設定することが可能となる。論文 [2] では、以下の性質が成り立つとしている。

[メッセージの一貫性]
孤児パケットはリカバリ回復時に再送信されることから、メッセージの一貫性を低下させない。紛失パケットはリカバリ回復時に再送信されないことから、メッセージの一貫性を低下させる。

[メッセージの一貫性低下の独立性]
あるメッセージの孤児パケット、紛失パケットが他のメッセージの一貫性に影響を与えない。

この性質に基づくと、各プロセスが送受信したメッセージの一貫性を紛失パケットの価値に基づいて他のプロセスとは独立に評価し、これらの統合によってグローバルチェックポイントの一貫性を評価できる [2]。

3 MPEG パケットの価値評価モデル

論文 [2] では、紛失パケットによって運ばれるデータの価値について、紛失パケットの増加に対して失われる価値が単調に減少すること、すなわち、各パケットの持つ価値が非負の値であること、および、パケットの価値は他のパケットとは独立に評価できることを想定し、紛失パケット群によって運ばれる価値の総和とメッセージの一貫性評価との関係を定めるいくつかのモデルを提示している。この評価手法は、無圧縮マルチメディアデータに対しては有効な手法である。しかし、現在のネットワーク状況では、圧縮マルチメディアデータをネットワーク上で交換する方法が広く用いられている。この場合、マルチメディアメッセージを配送する各パケットの価値は、データ部に含まれる部分マルチメディアデータの役割によって大きく異なる。また、あるパケットによって運ばれる部分マルチメディアデータを解釈 (再生) するために、他のパケットによって運ばれる部分マルチメディアデータを必要とするという依存関係が存在する場合には、これまでの各パケットを独立に評価する手法をそのまま使うことができない。そこで、以下では、MPEG (Moving Picture Expert Group) を対象として、圧縮マルチメディアメッセージの一貫性評価手法を考える。画像データはフレームの列として提供されるが、以下では各フレームの価値は同一であることを仮定する。

ネットワークを介して交換される MPEG メッセージは、階層的に構成されているが、本論文ではシーケンス層、GOP (Group Of Picture) 層、ピクチャ層の 3 層に注目する。シーケンス層は、MPEG メッセージの全体である。GOP 層は解釈 (再生) 単位となる GOP の列である。各 GOP は再生に対して独立である。すなわち、GOP の異なるピクチャが紛失、損傷しても、0.5 秒間の再生に相当する 15 フレーム分の画像データがひとつの GOP を構成する方法が広く用いられている。ピクチャ層は、圧縮画像データ群をピクチャの列として実現したものである。ピクチャには、フレームデータを完全に含むものと、差分データのみを含むものとがあり、ピクチャ間には依存関係が存在する。図 1 は、広く用いられている GOP の構成を示したものである。

ピクチャには I ピクチャ P ピクチャ B ピクチャの 3 種類がある。I ピクチャは 1 枚のフレーム画像の情報について符号化された情報をすべて保持している。P ピクチャは直前の I または P ピクチャによって得られる画像との差分情報を保持する。B ピクチャは、直前および直後の I または P ピクチャによって得られる画像と

*Consistency of Multimedia Checkpoints in MPEG Transmission.
†Tokyo Denki University
‡Kazuya Yuuki and Hiroaki Higaki
§{kazuya, hig}@higlab.net

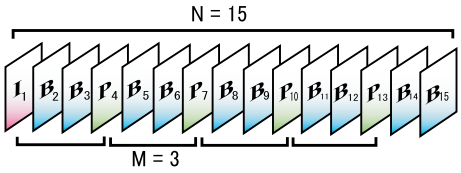

図 1: GOP の構成

の差分情報を保持する。(図 2)。各ピクチャが GOP 内の何番目のフレーム再生に寄与しているかを整理したものが表 1 である。ここでは GOP 内の i 番目のフレームを再生するために必要となるピクチャを列挙している。この表から、例えば GOP の 4 番目に位置する P ピクチャ P_4 の全部あるいは一部が紛失した場合、2 番目から 15 番目までの 14 フレームの再生が不可能、あるいは画像の劣化等の不具合が発生することになる。

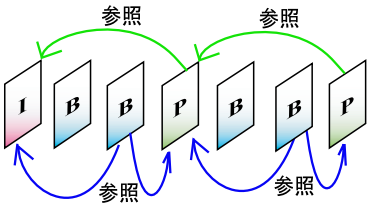

図 2: ピクチャの参照関係

GOP を構成する各ピクチャは、ヘッダ部とデータ部から構成されている。ヘッダ部には、このピクチャを用いてフレームを再生するために必要な情報が含まれていることから、ヘッダ部を含むパケットをデータ部に持つパケットが紛失パケットとなる場合、リカバリ回復時には、このピクチャを必要とするフレームを再生することができない。また、データ部はそのサイズに依存するが、一般にはひとつのピクチャの一部がひとつのパケットに含まれている。すなわち、ひとつのピクチャは複数のパケットに分割されて配送される。ピクチャ内には、画像データそのものの圧縮データであるイントラデータとイントラデータのフレーム間移動データであるベクトルデータからなるが、ここでは単純のため、n パケットに分割されたあるピクチャのデータは、各パケットがこれを用いた再生画像の $1/n$ ずつに寄与するものとする。また、このピクチャを直接参照するフレームの再生に等しく寄与するものとする。

以上から各パケットの価値は、そのパケットが１つのフレームのどれだけの割合に寄与するデータを含んでおり、いくつのフレームに影響を及ぼすかという 2 点によって評価できる。すなわち、パケットがピクチャヘッダを含む場合は、(参照するフレーム数) だけのフレーム再生に寄与しており、ピクチャヘッダを含まない場合は、(参照するフレーム数)/(ピクチャデータを含むパケット数) だけのフレーム再生に寄与していると評価し、これをパケットの価値とする。

4 一貫性評価

論文 [2] の手法では、紛失パケットの価値の総和に基づいてメッセージの一貫性を低下させる評価を行っている。しかし、MPEG では各ピクチャが複数のフレーム再生に寄与しており、各フレームは複数のピクチャを

表 1: 各ピクチャが参照されるフレーム

ピクチャ	フレーム
I_1	$1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$
B_2	2
B_3	3
P_4	$4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$
B_5	5
B_6	6
P_7	$7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$
B_8	8
B_9	9
P_{10}	$10, 11, 12, 13, 14, 15$
B_{11}	11
B_{12}	12
P_{13}	$13, 14, 15$
B_{14}	14
B_{15}	15

参照して再生されることから、前章で提案した MPEG パケット価値モデルをそのまま従来手法に導入すると、GOP 内で複数のパケットを失った場合には影響を重複して減じることになる。そこで、n パケットに分割されたデータの i 番目にはこのフレーム全体の $\left[\frac{i-1}{n}, \frac{i}{n}\right)$ の部分が含まれるという仮定に基づいて評価する。この仮定に基づいて、GOP の 15 フレームのうち、紛失パケットによりリカバリ回復時に再生できないフレーム数の重複を多重に積算しないで評価する。例えば、10 パケットの P_4 の 7 番目から 10 番目を失うことによって、$4/10 \times 12 = 4.8$ フレーム分を失い、8 パケットの P_{10} の 5 番目と 6 番目を失うことによって $2/8 \times 6 = 1.5$ フレーム分を失うが、フレーム全体の $\left[\frac{6}{10}, \frac{6}{8}\right)$ については、10 番目から 15 番目のフレームで重複評価されている。この重複分が $(6/8 - 6/10) \times 6 = 0.9$ になることから、全体では $4.8 + 1.5 - 0.9 = 5.4$ フレームの紛失となる。

5 まとめ

本論文では、マルチメディアチェックポイントの一貫性評価において、紛失パケットの存在によって低下する一貫性を MPEG データを対象として評価する方法を提案した。今後は、この評価方法を用いたチェックポイントプロトコルを構成し、高い一貫性を得るための工夫とそれによるプロトコルオーバーヘッドを実験評価する。

参考文献

[1] Chandy, K.M. and Lamport, L., “Distributed Snapshots: Determining Global States of Distributed Systems,” ACM Trans. on Computer Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 63–75 (1985).

[2] Osada, S. and Higaki, H., “Checkpoint Protocols in Multimedia Communication Networks,” Proceedings of the 2nd International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, pp. 346–353 (2001).