

通信モデル混在環境におけるマルチメディアチェックポイントの一貫性*

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科†

木下 稔也 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]。ただし、すべての通信イベントが、送信時には、メッセージを構成するすべてのパケットが送信開始時にアプリケーションによって決定される一括送信モデルに従い、受信時には、メッセージを構成するすべてのパケットを受信した時点でアプリケーションに受理されるという一括受信モデルに従うことを前提としている。本論文では、送信されるマルチメディアメッセージを構成するパケットがパケット送信時点で決定される順次送信イベント、各パケットを受信した時点でアプリケーションの受理を可とする順次受信イベントをも含む場合のグローバル状態の一貫性評価方法を提案する。

2 通信イベントモデル

パケット列 $\langle p_0, \dots, p_{l-1} \rangle$ からなるマルチメディアメッセージ m のアプリケーション (AP) における送信イベントには、一括送信イベントと順次送信イベントがある。一括送信イベントでは、AP が送信イベント開始時に $p_0, \dots, p_{l-1}$ をすべて決定する。図 1 左上のように、 m の全体がオペレーティングシステム (OS) に渡され、OS が $p_0, \dots, p_{l-1}$ に分割してネットワークに送信する。受信したメッセージやパケットが m の送信中に OS から AP に渡されたとしても、これらが m に影響を与えることはない。一方、順次送信イベントでは、 $p_0, \dots, p_{l-1}$ が順次決定される。図 1 右上のように、AP は p_i を決定するとともに OS に渡し、OS がネットワークに送信する。受信したメッセージやパケットが m の送信中に OS から AP へ渡されたならば、以降に

決定される m のパケットに影響を与えることがある。同様に、 $m = \langle p_0, \dots, p_{l-1} \rangle$ の AP における受信イベントには、一括受信イベントと順次受信イベントがある。一括受信イベントでは、 m の全体を OS が受信してから AP に渡す (図 1 左下)。このため、 p_0 を受信してから p_{l-1} を受信するまでの間に AP が OS に送信要求したメッセージやパケットの決定に対して m は影響を与えない。一方、順次送信イベントでは、図 1 右下のように OS が m 全体の受信を待つことなく、各パケットを受信するごとに AP に渡す。このため、 p_0 を受信してから p_{l-1} を受信するまでの間に AP が OS に送信要求したメッセージやパケットの決定に対して、その決定以前に AP に渡されたパケット p_i が影響を与えることがある。なお、各メッセージがいずれの送信モデルに従って送信され、いずれの受信モデルに従って受信されるかは、通信イベントが発生する各アプリケーションによって決定されるものであり、メッセージによって定まるものではない。

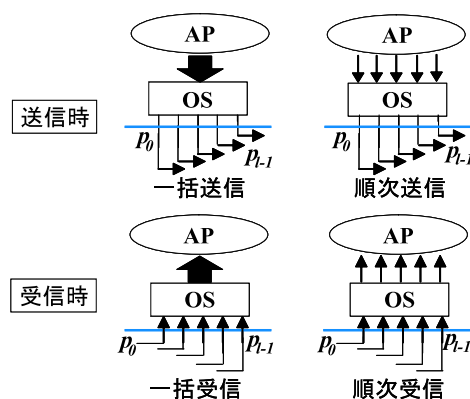


図 1: 送受信イベントモデル

3 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、通信イベントが一括送信イベントと一括受信イベントのみからなる通信モデルのもとで、以下の性質が成り立つとしている。

*Global Consistency of Multimedia Checkpoints with Bulk and Stream Communication Events.

†Tokyo Denki University

‡Toshiya Kinoshita and Hiroaki Higaki

§{kino, hig}@higlab.net

[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]。しかし、順次送信イベント、順次受信イベントを含む場合には、この性質が必ずしも成り立たない。例えば図 2 において、 p_1 は m_1 を一括送信、 p_2 は m_1 を順次受信、 m_2 を順次送信、 p_3 は m_2 を一括受信しているものとする。ローカルチェックポイント c_1 、 c_2 、 c_3 と m_1 、 m_2 に含まれるパケットの送受信イベントとの順序関係から、紛失パケット $lp_i \in m_1$ と孤児パケット $op_i \in m_2$ が存在する。ここで、 c_2 では m_1 が順次受信、 m_2 が順次送信されることから、 $p_{k_1} \in m_1$ 、 $p_{k_2} \in m_2$ について $receive(p_{k_1}) \rightarrow send(p_{k_2})$ が成り立つとき、 p_{k_2} は p_{k_1} の影響を受けることがある。 lp_i はリカバリ回復後に再送信されるとは限らないことから、 c_2 において $receive(lp_i) \rightarrow send(p_{k_2})$ を満たすパケット p_{k_2} はリカバリ回復後に再送されないことがある。そのため、 $receive(lp_i) \rightarrow send(op_i)$ となる op_i は m_2 の一貫性を低下させる。これは、論文 [2] では想定されていない。以降では、このパケットを誘導孤児パケットとよぶ。誘導孤児パケットが発生するのは、以下の条件が成り立つ場合である。

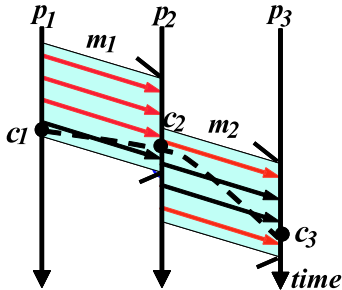


図 2: 誘導孤児パケット

[誘導孤児パケット発生条件]

- 1) p_1 は m_1 を一括送信または順次送信、 p_2 は m_2 を順次送信、 p_3 は m_2 を一括受信、または順次受信する。
- 2) 次のいずれかが成り立つ
 - p_2 において $bs(m_2) \rightarrow er(m_1) \rightarrow es(m_2)$ が成り立つ。 m_2 の受信イベントは一括受信でも順次受信でもよい。(図 3(a) および図 3(b))
 - p_2 において $br(m_1) \rightarrow es(m_2) \rightarrow er(m_1)$ が成り立つ。 m_2 の受信イベントは順次受信である。(図 3(c) および図 3(d)) □

各メッセージの一貫性評価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するという分割統治型の手法は、分散型チェックポイントプロトコルの実現

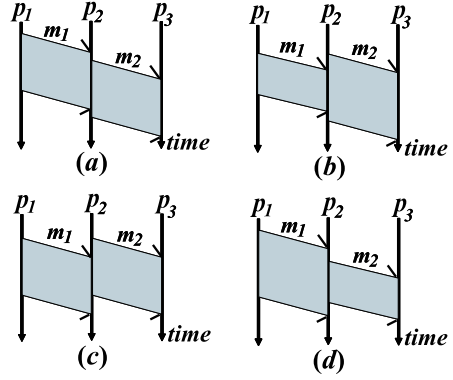


図 3: 誘導孤児パケットの発生条件

に対して有効である [2]。しかし、順次送受信イベントモデルの導入により、あるメッセージの一貫性低下が他のメッセージの一貫性低下の原因となることがある。誘導孤児パケットの導入により、一貫性低下のメッセージ間の波及効果を各メッセージごとの独立な一貫性評価に反映させることができる。すなわち、メッセージ $m = \langle p_0, \dots, p_{l-1} \rangle$ において、 lp_i が紛失パケットであり、 iop_i が誘導孤児パケットであるとき、 m の一貫性 $MC(m)$ の計算例として次式が考えられる。ただし、ここでは誘導孤児パケットは一律に紛失パケットの α 倍の一貫性低下を起こすものとしている。

$$MC(m) =$$

$$\max\left(1 - \frac{\sum_{lp_i} value(lp_i) + \alpha \sum_{iop_i} value(iop_i)}{value(m)}, 0\right)$$

ただし、 $value(m)$ はメッセージ m の価値、 $value(p_k)$ はパケット p_k の価値、 α は定数である。この $MC(m)$ を [2] と同様にして統合することで、グローバルチェックポイントの一貫性が評価できる。

4 まとめと今後の課題

本論文では、順次送信イベント、順次受信イベント、一括送信イベント、一括受信イベントが混在するマルチメディアネットワークアプリケーションにおけるグローバルチェックポイントの一貫性評価手法を提案した。送信イベントと受信イベントが 1 つのプロセスで並行に発生する場合、孤児パケットの一部がリカバリ回復後に再送信されない誘導孤児パケットとなることがある。今後は、新しい評価法に基づくチェックポイントプロトコルを設計する。

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).