

分散ネットワーク環境におけるマルチキャストメッセージの原子性保証 An Atomic Multicast Protocol in a Distributed Network Environment

栗本 康資[†] 安武 芳紘[‡] 田中 康一郎[‡]
Kosuke Kurimoto Yoshihiro Yasutake Koichiro Tanaka

1. はじめに

近年、無線ネットワークの利用が一般的となり、様々な通信が行われるようになった。また、技術の進歩によりネットワークデバイスの小型化・高性能化が進んでいる。しかし、無線は有線に比べると通信コストが高く、デバイスが移動することによって通信が安定しないことがある。よって、無線ネットワークにおいて全順序マルチキャストを行った場合、障害の起きたメンバはグループから削除され、その後、復帰したときに再びグループへ追加されるといったことが頻繁に起こる。

そこで本稿では、無線ネットワークにおいてグループのメンバに一時的な障害が発生した場合に、マルチキャストメッセージの原子性を維持し、より少ないコストで全順序を保証する方法を提案する。この問題を解決する手法としてはメンバが復帰後にそれまで受信できなかったメッセージとその配送順を受け取ることで実現する。今回は悲観的、および楽観的な全順序保証プロトコルにおいて一時的な障害が起きたときの全順序の保障方法とそのコストを検討する。悲観的プロトコルは障害の影響がグループ全体に及ぶが、メッセージの送信頻度に対して障害が十分に短いときは障害の影響が小さい。一方、楽観的プロトコルでは障害がグループ全体に及ぶことはないが、復帰後にはロールバックを抑制するためにメッセージを交換し論理時刻を進めることが必要となる。これらの特徴から、メッセージの頻度や遅延に応じて適したプロトコルを選択することの有効性を検討する。

2. 全順序保証プロトコルにおけるグループの管理

一般に有線環境では仮想同期を使用してマルチキャストメッセージの高信頼性を実現される。仮想同期の実装例として Isis[1]がある。Isis での高信頼マルチキャストは TCP を利用し高信頼 2 点間通信を実現している。Isis を使用して、グループの管理を行う場合、メンバが離脱した時そのメンバをグループから削除する。Isis を使用したグループ管理を行うと、メンバの追加・削除に手間がかかる。従来のシステムは、一時的な障害によりメンバが離脱した時 Isis のようにグループのメンバから削除してしまうため、離脱したメンバが早期に復帰することは考慮されていない。一方我々が目標とする実行環境は無線ネットワークを想定する。無線ネットワーク環境では、通信中にメンバが移動し通信圏外へ出たり、メンバ間を障害物が通過したりすることによって通信が失敗することが想定される。一時的な障害によるグループメンバの変化が頻繁に起こることがあり得る。

本稿では一時的な障害によりグループの構成メンバが頻

[†]九州産業大学大学院情報科学研究科, Graduate School of Information Science, Kyusyu Sangyo University

[‡]九州産業大学情報科学部, Faculty of Information Science, Kyusyu Sangyo University

繁に変化する環境での、グループの管理を行う。そのため離脱していたメンバがグループに復帰した際、他のメンバへ復帰したことを伝えることによりメンバ全員がグループの復帰を知る事が出来る。

グループメンバの数が固定された環境での障害による一時的なメンバの変化を想定しているため、メッセージを送信する側の離脱、故障による長時間の離脱、多重障害、送受信者の 2 点間通信に障害が発生することは想定しない。

3. 全順序保証プロトコル

メッセージの全順序保証を実現するには、全てのメッセージが同じ順序で配送されなければならない。

マルチキャストメッセージの全順序を保証するための方法として、いくつかのプロトコルを上げることができる。その例として悲観的方法は ABCAST[1], 楽観的方法は Time Warp[2]を上げることができる。メンバが変化しない場合、楽観的順序付けと悲観的順序付けを動的に切り替えることによって環境変化に適応することが有効となる[3]。

本稿では、グループのメンバ数を固定した状態で、そのメンバが頻繁に変化する場合でのメッセージの全順序保証について考察する。3 つの要素である、メッセージの送信頻度、メンバの復帰までの時間、グループの構成メンバが変化する間隔によって 2 つの全順序保証プロトコルから環境に応じて適応させることで、適応的な順序付けが可能となる。

3.1 悲観的処理の回復方法

悲観的順序付けはメッセージの処理する順序が決定してから処理を行う。楽観的方法と比べ順序を決めるメッセージをメンバ間で余分に送らなければならない。したがって、通信障害が起こりメッセージのやり取りが行えなくなると、その間順序が決まらないメッセージの配送を行うことができない。一時的な障害が起こった場合、メッセージ配送の順序決定を待つメッセージが溜まる。悲観的処理の回復方法では、メッセージ処理のやり直しは起こらない。復帰後、順序が決定しているメッセージがもつタイムスタンプのうち、最大のものを送る。また、悲観的方法は通信遅延の影響を受けやすい。

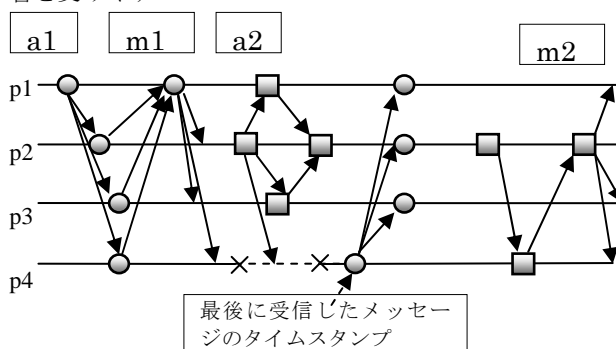


図1 悲観的処理の回復方法

図1はメッセージ a2 の受信を p4 が失敗した場合の例である。p4 はグループに復帰後、他のメンバに自身が最後に受信成功したメッセージのタイムスタンプを送信する。p4 よりメッセージを受け取った p2 はメッセージ a2 を p4 に再送する。a2 を受信した p4 はタイムスタンプを p2 に返す。その後、p2 が順序を決めるメッセージ m2 をグループのメンバに送信し、受信成功したメンバはメッセージ a2 を配送する。

3.2 楽観的処理の回復方法

一般的に楽観的順序付けはメッセージを受信後すぐに配送を行う。したがって、メッセージの処理順序を間違えた場合やり直しを行う。楽観的処理の回復方法では、メッセージの処理順序を決めるためにメンバ間で通信をする必要が無い。したがって、他のメンバがメッセージの配送を行ったかどうかを確認することはできない。よって、メッセージの破棄のタイミングが分からない。そこで、GVT(Global Virtual Time)[2]を使用する。GVTの値より小さな値のLVT(Local Virtual Time)を持つメッセージは処理済みであると判断し破棄する。一時的な障害が起こった場合、やり直しの可能性が残るため、送信したメッセージを破棄できないためメッセージが溜まっていく。

図2はp4がメッセージm2, m3の受信に失敗した例である。p1, p2, p3はメッセージを受信後すぐに配送を行う。p4はグループに復帰後メンバ全員に最後に受信成功したメッセージのタイムスタンプを送る。メッセージを受け取ったメンバは受信したタイムスタンプより後に自身が送信したメッセージとタイムスタンプをp4に再送する。p4は受信したメッセージのタイムスタンプに従いメッセージを配送する。

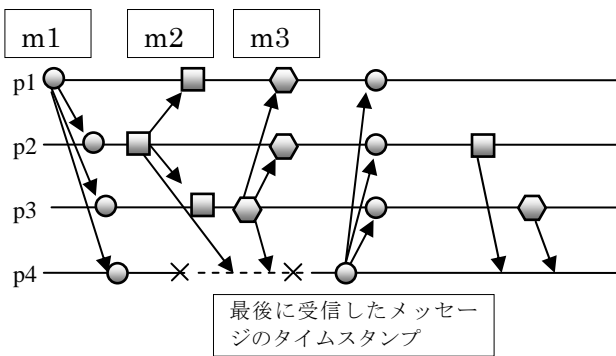


図2 楽観的処理の回復方法

4. 回復方法の選択

環境の変化に応じて二つの回復方法の処理にかかるコストを計算し最適な方法を選択し使用する。

4.1 悲観的処理の回復方法のコストの見積り

図1にあるように、悲観的処理はメッセージの順序付けまでに通信を3回行わなければならない。

したがって、コストは復帰を知らせるタイムスタンプが入ったメッセージ1回と順序付けにかかるメッセージが3回分の平均送信遅延時間(d)とメンバの平均復帰時間(ART: Average Return Time)の和により決定される。costを求めると式1のようになる。

$$\text{cost} = \text{ART} + 4 \times d \dots (1)$$

4.2 楽観的処理の回復方法のコストの見積り

楽観的処理の回復方法の場合、メンバが離脱していても配送を行うことができるので、ロールバックが発生しなければコストはかからない。メンバが復帰した時、再送されたメッセージがLVTの若い順番に配送されなかった場合送信メッセージはロールバックを引き起こす。したがって、ロールバックにかかるコスト(Cost(Roll Back))とメッセージの送信頻度(TFM: Transmitting Frequency of Message)とメンバの平均復帰時間(ART)によってコストは決定される。コストはロールバックを発生させるメッセージがメンバの離脱中に送信される確率とロールバックのコストの積によって決定する。コストの計算は式2のようになる。

$$\text{cost} = \frac{\text{TFM}}{\text{ART}} \times \text{Cost(Roll Back)} \dots (2)$$

4.3 回復方法の比較

悲観的処理の回復方法にかかるコストは、式1よりメッセージの送信遅延時間、メンバの復帰時間に影響を受けることが分かった。よって、メッセージの送信遅延時間が大きく、メンバがグループから離脱している時間の割合が高い程、回復にかかるコストが大きくなる。

楽観的処理の回復方法にかかるコストは、式2よりメッセージの送信頻度とメンバの平均復帰時間に影響を受けることが分かった。よって、メッセージの送信頻度が高く、グループメンバが離脱した時間の割合が高い程、回復にかかるコストは大きくなる。したがって、メッセージの送信遅延が大きい時は楽観的処理の回復方法を選択し、メッセージの送信頻度が大きい時は悲観的処理の回復方法を選択すれば良いことが分かった。

5. まとめ

本稿では、マルチキャストメッセージの全順序保証に関して、楽観的回復方法と悲観的回復方法を切り替えることによりグループメンバの変化に適応するためのコスト計算を提案し、グループメンバの変化による影響について考察した。コストを見積もる事により、悲観的処理の回復方法はメッセージの送信遅延の影響を受けやすく、楽観的処理の回復方法はメッセージの送信頻度に影響を受けやすいことが分かった。

今後の課題として、本稿で提案したコスト計算が妥当であるか、また提案したコストを使用して回復方法を切り替えることにより、少ないリソースでの全順序保証が可能であるかシミュレーションにより検証する。その後、実機において利便性の検証を行う。

参考文献

- [1] K.P. Birman, T.A. Joseph, "Reliable communication in the presence of the failures", ACM Trans. Computer Systems, Vol.5 No.1 (1987)
- [2] D.R. Jefferson, "Virtual time", ACM Trans. Prog. Lang. Syst., Vol.7, No.3 (1985),
- [3] 安武 芳紘, 小田 謙太郎, 吉田 隆一, "分散計算における全順序保証プロトコルの適応的選択", 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2 (2008).