

アドホックネットワークのためのチェックポイントプロトコル*

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科†

森田 義徳 小野 真和 桧垣 博章‡

1 はじめに

近年、ノート型PCやPDAなどの移動コンピュータの普及が進むとともに、IEEE802.11に代表される無線LANプロトコル技術が広く利用されつつある。これにより、イベント会場や災害現場などで一時的に構築されるアドホックネットワークへの要求が高まっている。このような環境において、ミッションクリティカルなアプリケーションを実行するための手法のひとつとして、チェックポイントプロトコルのアドホックネットワークへの適用がある。本論文では、低信頼、狭帯域の無線ネットワーク環境において、同期オーバーヘッド、通信オーバーヘッドを削減した新しいチェックポイントプロトコルを提案する。

2 従来手法

2.1 チェックポイントプロトコル

チェックポイントプロトコルによって、各移動コンピュータ $M_i \in V$ が設定したローカルチェックポイント c_i の集合であるグローバルチェックポイント C_V が一貫性を持つとは、次の性質を満たすことをいう。

[定義] 一貫性のあるグローバルチェックポイントとは、孤児メッセージを含まず、すべての紛失メッセージをリカバリ回復時に再送信可能であるものである。□

従来のチェックポイントプロトコルにおいては、 m が C_V に対して紛失メッセージや孤児メッセージとなることを M_r でのみ判定することが可能であるため、これらの発生を回避するためには、システム全体での同期を必要としていた。ところが、モバイルアドホックネットワークにおいては、無線通信の低帯域、低信頼性といった性質により、同期のコストが大きく、アプリケーションの停止時間が長くなるという問題がある。そこで、以下の条件が満たされることが必要となる。

[要求条件]

- 1) m が紛失メッセージあるいは孤児メッセージとなる可能性を、 m の配送経路上にある移動コンピュータが判定し、必要に応じて m を記憶したり、 m の転送を遅延させたりする。□

2.2 モバイルチェックポイントプロトコル

モバイルチェックポイントプロトコルの実現にあたり、論文 [2] では、移動コンピュータを含むネットワークを以下の4つのモデルに分類している。

- 1) Centralized Networks
- 2) Cell Dependent Infrastructured Networks
- 3) Cell Independent Infrastructured Networks
- 4) Ad-hoc Networks

*Checkpoint Protocol for Mobile Adhoc Networks

†Tokyo Denki University

‡Yoshinori Morita, Masakazu Ono and Hiroaki Higaki {mine, masa, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

1)~3) では、固定コンピュータに実現した安定記憶に移動コンピュータの状態情報を保存することにより、チェックポイントを設定することができる。[1,3] および [2] において、それぞれ 1)、2) に対するプロトコルを設計している。ところが 4) においては、ネットワークの構成要素が移動コンピュータのみであることから、安定記憶の実現が困難であり、多くの記憶領域を必要としない同期型チェックポイントプロトコルを基礎とすることが求められる。このとき、以下の要求条件を満たさなければならない。

[要求条件]

- 2) 各移動コンピュータのチェックポイントの設定は、複数の移動コンピュータに状態情報を記憶させることによって実現される。□

3 提案プロトコル

[前提条件]

- 1) 隣接移動コンピュータ間のリンクは、動的に切断および確立されることがある。
- 2) 各移動コンピュータは、隣接移動コンピュータのリストを保持している。
- 3) 隣接移動コンピュータ間のリンクは双方向であり、半二重通信が行なわれる。□

チェックポイントプロトコルの基本形を示す。チェックポイント設定要求の伝達と、チェックポイント間の同期は、チェックポイント設定要求メッセージ $CReq$ のフラッディングによって実現される (図1)。

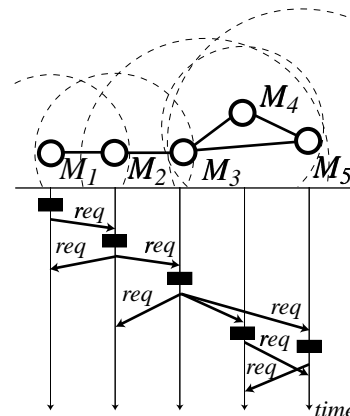


図1: チェックポイントプロトコル

[アドホックチェックポイントプロトコル (基本形)]

- 1) 移動コンピュータ M_i が送信した $CReq$ を受信した移動コンピュータ M_j は、以下の処理を行なう。なお、この処理を終えるまで、 M_i はアプリケーションメッセージを送信しないこととする。
- 1-1) 同一の ID を持つ $CReq$ を M_i から受信していないならば、受信した $CReq$ に含まれる M_i の状態

情報 S_i を保存する。

- 1-2) 同一の ID を持つ $CReq$ を受信していないならば、自身の状態情報 S_j を保存するとともに、 S_j を含む $CReq$ を自身の無線信号到達範囲内にブロードキャストする。このとき、タイマ T_j をセットする。
- 2) 移動コンピュータ M_i が近隣移動コンピュータリスト L_i に含まれるすべての移動コンピュータから $CReq$ を受信する以前にタイマ T_i が時間切れとなったならば、 M_i は、同じ $CReq$ を再度ブロードキャストする。□

ここで、チェックポイントプロトコルの実行と並行に送受信されたメッセージは、紛失メッセージや孤児メッセージとなる可能性がある。紛失メッセージは、いずれかの移動コンピュータに保存し、リカバリ回復時に、保存されたメッセージを再送信することによって、システム状態の一貫性を維持することができる。一方、孤児メッセージは、リカバリ再実行時に送信元移動コンピュータが同一のメッセージを再度送信する保障がないことから、その発生を回避しなければならない。移動コンピュータの移動による通信路の切断と接続が発生しない場合には、以下の性質が成り立つ (図 2)。

[性質]

- 1) 紛失メッセージ m_l の配送経路上にある 1 台以上の移動コンピュータ M_l において、 $(receive(m_l), receive(CReq), send(CReq), send(m_l))$ の順に通信イベントが発生する。
- 2) 孤児メッセージ m_o の配送経路上にある 1 台以上の移動コンピュータ M_o において、 $(receive(CReq), receive(m_o), send(m_o), send(CReq))$ の順に通信イベントが発生する。□

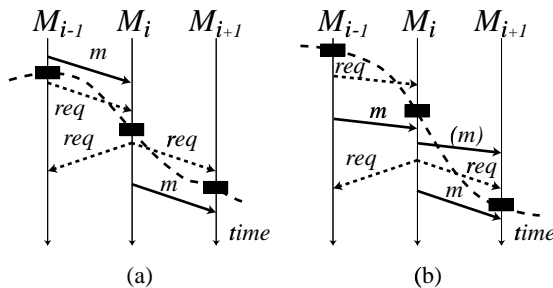


図 2: 紛失メッセージと孤児メッセージの検出

性質 1) により、 M_l において、紛失メッセージとなる可能性のあるメッセージ m_l を $CReq$ の送信前に検出することができる。 M_l は、 m_l を記憶するとともに、 m_l を $CReq$ にピギーバックする。 $CReq$ を受信した M_l の隣接コンピュータにおいても m_l を記憶することによって、リカバリ回復時に m_l が再送されることが保障できる。また、性質 2) により、 M_o において、孤児メッセージとなる可能性のあるメッセージ m_o を $CReq$ の送信前に検出することができる。そこで、 $CReq$ を受信した後、 $CReq$ を送信する前に受信した m_o の送信を $CReq$ の送信後まで延期することによって、孤児メッセージの発生を防ぐことができる。なお、いずれの場合も $CReq$ の送信を遅延させることがないことから、チェックポイントプロトコルの進行がアプリケーションメッセージの送受信によって遅延されることはない。

[アドホックチェックポイントプロトコル (追加部分)]

- 1) M_i が $CReq$ を受信した時、転送待ちとなっている

メッセージ m があるならば、 m を $CReq$ にピギーバックして送信する。

- 2) 1) の $CReq$ を受信した M_j は、 S_i とともに m も記憶する。
- 3) リカバリ回復時には、 M_i および M_j が m を再送信する。
- 4) M_i が $CReq$ を受信してから $CReq$ を送信するまでの間に受信したメッセージ m の転送は、 $CReq$ の送信後まで延期する。□

移動コンピュータ間のリンクが切断、確立することにより、図 3 に示すように、性質 1) 2) を満たさない紛失メッセージ、孤児メッセージが発生する。

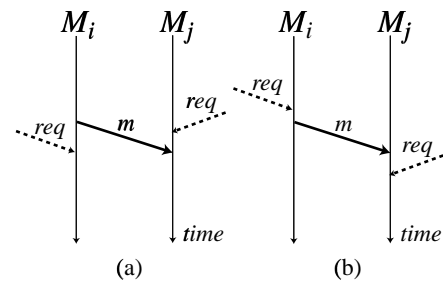


図 3: 紛失/孤児メッセージになり得るメッセージ

[性質]

- 3) m_{pl} を M_i から受信した M_j が最新のチェックポイント c_j を設定したとき、 M_i が M_j の隣接移動コンピュータリストに含まれていなかったならば、 m_{pl} は紛失メッセージとなる可能性がある。
- 4) m_{po} を M_j に送信した M_i が最新のチェックポイント c_i を設定したとき、 M_j が M_i の隣接移動コンピュータリストに含まれていなかったならば、 m_{po} は孤児メッセージとなる可能性がある。□

紛失メッセージとなる可能性のある m_{pl} は、 M_j によって保存される。一方、孤児メッセージとなる可能性のある m_{po} には、孤児メッセージとなる可能性があることを示す情報を添付し、送信先移動コンピュータで、ローカルチェックポイント設定手続きを終えるまでアプリケーションでの受信を遅延する。

4 まとめ

本論文では、アドホックネットワークにおけるチェックポイントプロトコルの概略を示した。紛失メッセージ、孤児メッセージとなる可能性を、エンド-エンドではなく、ホップバイホップで検証する機構を導入することにより、チェックポイントプロトコル動作に要するオーバーヘッドを削減することが可能である。

参考文献

- [1] Higaki, H. and Takizawa, M., "Checkpoint-Recovery Protocol for Reliable Mobile Systems," Proc. of the 17th SRDS, pp.93-99 (1998).
- [2] Miyazaki, M., Morita, Y. and Higaki, H., "Hybrid Checkpoint Protocol for Mobile Networks with Unreliable Wireless Communication Channels," Proc. of the 2nd AMOC, pp.164-171 (2002).
- [3] Morita, Y. and Higaki, H., "Checkpoint-Recovery for Mobile Computing Systems," Proc. of the 21st ICDCS Workshops, pp.479-484 (2001).