

## 複数チェックポイントの同時発生に対応した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

† 小野 真和 梶垣 博章 足立 暁生‡ §

### 1 背景と目的

ノート型PCなどの移動コンピュータをIEEE802.11などの無線LANプロトコル技術を用いて相互に接続したアドホックネットワークの研究が行なわれ、利用されている。アドホックネットワークのアプリケーション例として、災害現場や危険地帯などの無線基地局が設置できないネットワークやセンサネットワークなどで利用されている。このようなアプリケーションの中には耐故障が要求されるミッションクリティカルアプリケーションが存在し、チェックポイントリカバリプロトコルの適用が考えられる。しかし、従来のプロトコルは有線ネットワークを対象としており、状態情報を格納するための安定記憶の存在と送受信コンピュータ間で一貫性のないメッセージを検出することができる十分な帯域を備えたネットワークの存在を前提としている。本論文ではこれらの前提が成立しないネットワークにおける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

アドホックネットワーク  $\mathcal{N} = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$  とは、移動コンピュータの集合  $\mathcal{V}$  と互いに直接メッセージを交換することが可能な移動コンピュータ  $M_i, M_j \in \mathcal{V}$  の間の双方向リンク  $\langle M_i, M_j \rangle$  の集合  $\mathcal{E}$  で定まるネットワークである。一般に、ネットワーク環境において、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  $M_i \in \mathcal{V}$  が状態情報  $S_i$  を獲得し、安定記憶に保存することによって設定される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 [2]。

[定義]

- 1) 紛失メッセージとは、送信元のアプリケーションがチェックポイント  $c_s \in C_V$  を設定する前に送信したメッセージが送信先のアプリケーションにおいてチェックポイント  $c_r \in C_V$  を設定した後に受理されるメッセージである。
- 2) 孤児メッセージとは、送信元において  $c_s$  を設定した後に送信されたメッセージが送信先において  $c_r$  を設定する前に受理されるメッセージである。
- 3) 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は、 $m$  が  $C_V$  に対する紛失メッセージや孤児メッセージとなることを受信側のコンピュータでのみ判定することを前提としている。そのため、これらの発生を回避するために、アプリケーションメッセージの送信を禁止し、システム全体での同期を行なうことを必要としていた。しかし、アドホックネットワークにおいては、無線通信が低信

頼であることや、競合や伝送遅延などにより、システム全体の同期に要する通信オーバーヘッドが大きくなる。また、従来手法では特定の1台のコンピュータがチェックポイントプロトコルの制御を行なうコーディネータの存在を仮定している。しかし、アドホックネットワークでは、コーディネータとなる移動コンピュータの移動などによってネットワークから切断されてしまい、ネットワーク内にコーディネータが存在しない場合が発生する。チェックポイントプロトコルを実行するためにはコーディネータを再決定しなければならない。これらの同期オーバーヘッドが大きくなってしまふ。これらの問題点を解決した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 [3] を提案してきた。本論文では、[3] では想定していなかったチェックポイントプロトコル動作中に他のグローバルチェックポイントを設定するチェックポイントプロトコルが開始され、同時期に複数のチェックポイントプロトコルが実行される場合におけるチェックポイントプロトコルについて提案する。

### 3 提案プロトコル

以下の条件のもとでプロトコルを構成した。

[前提条件]

- 1) すべての移動コンピュータはチェックポイントプロトコルの実行中であっても、マルチホップ配送により互いにメッセージ交換が可能である。
- 2) 各移動コンピュータは、隣接する移動コンピュータのリストを保持する。
- 3) 隣接する移動コンピュータ間の通信は双方向であり、ユニキャスト通信はメッセージの紛失なく配送される。
- 4) 任意の移動コンピュータがチェックポイントプロトコルを開始できる。□

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  $CR_{Req}$  のフラグディング [1] によって実現される (図1)。

ここで、チェックポイントプロトコルがネットワーク内で実行されているときに、他の移動コンピュータによって新たなグローバルチェックポイントを設定するチェックポイントプロトコルが開始され、同時に複数のチェックポイントプロトコルが実行される場合を想定する。[3] のプロトコルでは、単一の整数値による識別子によってチェックポイントの新旧を判断し、チェックポイントを開始する移動コンピュータは過去に自身が設定したローカルチェックポイントの識別子から新たなチェックポイントの識別子を決定する。そのため、同期を行わなければ複数の移動コンピュータが同一の識別子を持つチェックポイントを開始してしまい、一意にグローバルチェックポイントを設定することができなくなる。そこで、各コンピュータが同期を行わずにチェックポイントを一意に決定するために、チェックポイントプロトコルを開始する移動コンピュータのIDとその移動コンピュータから開始されたチェックポイントプロトコルの回数からなる組を  $CR_{Req}$  に付加する。

\*Checkpoint Protocol for Mobile Ad hoc Networks

†Tokyo Denki University

‡Masakazu Ono, Hiroaki Higaki, Akeo Adachi

§{masa, hig}@higlab.net, adachi@k.dendai.ac.jp

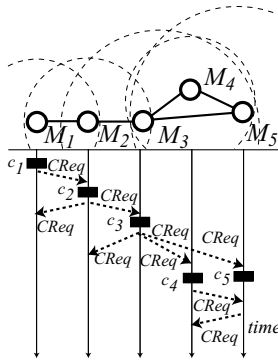


図 1: チェックポイントプロトコル

$CReq$  を受信した移動コンピュータ  $M_i$  は、現在の状態情報  $S_i$  を獲得することによってローカルチェックポイント  $c_i$  を設定するとともに、 $CReq$  を隣接する移動コンピュータ群、すなわち、 $M_i$  の無線信号到達範囲内に存在するすべての移動コンピュータにブロードキャストする。これを繰り返すことによって、前提条件 1) により、すべての移動コンピュータがローカルチェックポイントを設定することができる。

また、移動コンピュータ  $M_i$  の状態情報  $S_i$  を保存する安定記憶を実現するために、 $S_i$  を複数の隣接移動コンピュータに記憶させる手法を用いる。各移動コンピュータは、ローカルチェックポイント  $c_i$  における状態情報  $S_i$  を獲得してから  $CReq$  のブロードキャストを行なうことから、 $S_i$  を  $CReq$  によって配送することにより、追加のメッセージを要することなく  $S_i$  の配送が実現される。

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。

メッセージの伝達とローカルチェックポイントの関係から、紛失メッセージとなる可能性があるメッセージ  $m_l$  を中継移動コンピュータ、すなわち  $m_l$  の送信元でも送信先でもない移動コンピュータが検出することができ、[3] において中継ログ方式として提案してきた。たとえば、図 2(a) の場合、 $m$  が紛失メッセージとなる可能性があるメッセージであることを  $M_2$  が検出することができる。このとき、 $M_2$  はすでに  $CReq$  を送信済みである。そこで、中継ログ方式によって  $m$  の検出を  $M_2$  を行ない、受信確認メッセージを利用して  $M_1$  に通知することで  $m$  を  $M_1$  の  $CReq$  に含めることができる。

このとき、図 2(a) のように、送信元  $M_1$  から送信されたメッセージ  $m$  について、 $M_2$  において紛失メッセージとなる可能性が検出され、保存されたにもかかわらず、送信先  $M_3$  において紛失メッセージとならない場合がある。このような場合にリカバリが発生すると、 $M_3$  は  $m$  を複数回受信してしまうこととなり、一貫性を保つことができない。そこで、図 2(b) のように  $M_2$  において紛失メッセージの可能性を検出したメッセージ  $m$  を次の転送先に送信する場合、転送するメッセージに再送信されることを示す情報を付与し、 $m^+$  として転送する。 $M_3$  において  $m^+$  が紛失メッセージとならなかった場合、 $M_3$  がリカバリ時に再送信された  $m$  を破

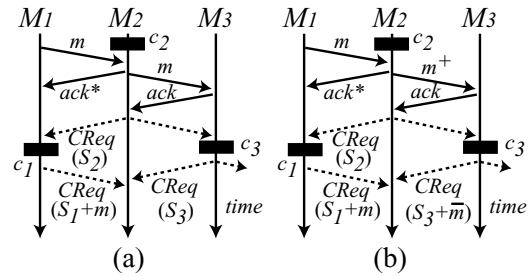


図 2: 中継ログ方式によるメッセージの保存と誤検出された紛失メッセージの多重受取りの回避

棄する情報  $\bar{m}$  を  $CReq$  に付与する。これによって、一貫性を保つことができる。

孤児メッセージは、その検出と発生をメッセージの受信移動コンピュータで行なうことができる。図 3(a) において、 $M_3$  は  $m$  が  $C_{V1}$  および  $C_{V2}$  に対して孤児メッセージであることを検出することができる。しかし、発生を回避できる。図 3(b) のように  $M_3$  が  $C_{V3}$  と  $C_{V4}$  に対して  $m$  が孤児メッセージであることを検出して受取りを延期している最中に  $M_3$  が新たなチェックポイント  $c_{35}$  が設定したとき  $m$  が  $C_{V5}$  に対して紛失メッセージになってしまう場合が発生する。

ここで、 $M_3$  は  $m$  をアプリケーションにおいて受取りする前であり、 $m$  を  $c_{35}$  に含めることができ追加の同期メッセージを必要とせず保存することが可能であり、一貫性を保つことができる。

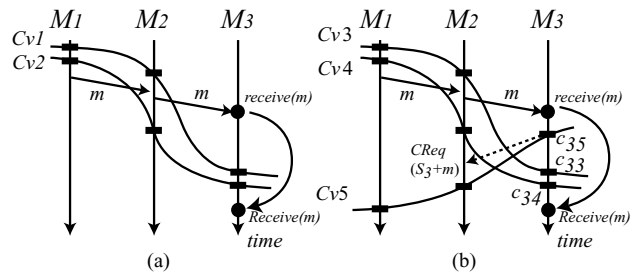


図 3: 孤児メッセージ発生回避とその回避によって紛失メッセージとなるメッセージ

#### 4 まとめと今後の課題

本論文では、複数のチェックポイントプロトコルが同時に実行される場合の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を示した。今後は、従来手法との比較を行っていく。

#### 参考文献

- [1] Corson, M.S. and Ephremides, A., "A Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks," ACM Journal of Wireless Networks, vol. 1, No. 1, pp. 61–81 (1995).
- [2] Elnozahy, E. N. and Zwaenepoel, W., "On the Use and Implementation of Message Logging," Proc. of the Fault-Tolerant Computing Symposium, pp. 298–307(1994).
- [3] 小野, 桧垣, "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," 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, 情処研報, Vol.2005, No.58, pp.13–18 (2005).