

Mobile IP SHAKE 環境下での TCP 通信における 再送抑制方法の一検討

荻野秀岳[†] 石原進[‡]

[†] 静岡大学大学院工学研究科 [‡] 静岡大学創造科学技術大学院

1 はじめに

筆者らは、端末の移動透過性を保障する Mobile IP 環境下で、複数の移動端末が短距離高速リンクを用いてローカルネットワーク (Alliance) を構築し、Alliance 内の各端末の外部リンクを同時利用することで、高速かつ信頼性のある通信を実現する Mobile IP SHAKE (SHARing multipath procedure for a cluster network Environment) [1] を提案している。しかし、Mobile IP SHAKE 環境での TCP 通信では、性質が必ずしも同じでない複数経路を用いる。そのため各経路の状態によってセグメントの順序が逆転して受信端末に到着し、不要な重複 ACK が発生するために輻輳ウィンドウの縮小と無駄な再送が発生する。本稿では、Mobile IP SHAKE 環境での上り通信における TCP 性能向上の手法を提案する。なお、本研究グループでの複数経路を用いた TCP 通信の研究 [2] を含め、End-to-End での複数経路を用いた TCP 通信の研究が広く行われているが、本稿は Mobile IP SHAKE 環境での TCP 通信の効率化を対象とし、両エンドの TCP が複数経路通信の拡張がされていることを前提としない。

2 Mobile IP SHAKE

2.1 Mobile IP SHAKE の概要

Mobile IP SHAKE は、Mobile IP において端末の移動情報を管理する HA および移動端末の IP 層に、トラフィックの分配機構を追加することで実現される。HA および移動端末では、Alliance 内の端末が持つ外部リンクを利用して実際に通信を行う Alliance Leader (AL) のホームアドレス (HoA) と AL の気付アドレス (CoA) および AL に自身の通信帯域を提供する Alliance 内の端末である Alliance Member (AM) の CoA あるいは HoA の対応を保持する。この対応に基づいて通信相手 (CN: Correspondent Node) が AL が送信するパケットを HA と AL および AM 間を結ぶ複数の経路へ分配することで複数経路を用いた通信を行うことができる。

2.2 Mobile IP SHAKE における問題

Mobile IP SHAKE では、複数の経路を同時利用することで高速な通信を実現する。しかし、利用する各経路の遅延が異なり、それぞれ変動するため、パケッ

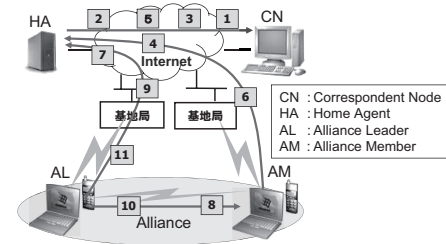


図 1: Mobile IP SHAKE を用いた通信

トの送信経路選択に適切な手法を用いたとしても順序が逆転して受信端末へ到着してしまうことが避けられない (図 2)。TCP 通信において、セグメントの順序が逆転すると不要な重複 ACK が発生し、無駄な再送が行われてしまう。受信側の TCP が複数経路に対応したものであれば、これを防止することは可能だが、Mobile IP SHAKE 環境では AL の通信相手として通常の TCP を備えた任意の端末を想定する。したがって、通信相手の TCP が発生する不要な重複 ACK を抑制できない。

3 到着順序逆転に伴う再送抑制方法

Mobile IP SHAKE は、HA と AL の IP 層に機能を追加することで実現される。HA と AL において、上記の問題に対する TCP 層への機能追加を考えた場合、既に IP 層へ Mobile IP SHAKE 機能が追加されている AL では、TCP 層への機能追加は比較的容易である。一方、複数の移動端末の移動処理を行う HA では、複数の TCP 通信の負荷が集中するために、HA での TCP 層への機能追加は軽量である必要がある。以上の考えに基づき、HA と AL での再送抑制方法を提案する。

3.1 HA における不要な重複 ACK の破棄

複数経路を用いた通信におけるセグメントの到着順序逆転で発生する不要な ACK を検知するため、HA は (1) 各経路 i で受信した最大シーケンス番号 $M_{HA}(i)$ 、(2) 破棄可能な重複 ACK カウント変数 d (初期値: 0)、(3) AL からセグメントの欠落なく受信したデータの最大シーケンス番号 R を保持する。HA では、AL から経路 i でセグメントを受信すると受信セグメントのシーケンス番号と $M_{HA}(i)$ 、 R からセグメントの順序逆転を検知し、CN から送信される重複 ACK の中で破棄が可能である数 d を管理する。また、AL は経路 i でセグメント送信時に、同経路で以前に送信した最大シーケンス番号 $M_{AL}(i)$ と経路の識別子をオプションとして TCP ヘッダに付加する。HA では、 $M_{HA}(i)$ 、 R 、 $M_{AL}(i)$ を用いてセグメントの順序逆転またはパケットロスがど

A study of avoiding unnecessary retransmission by TCP on Mobile IP SHAKE

Hidetake Ogino[†], Susumu Ishihara[‡]

[†] Faculty of Engineering, Shizuoka University [‡] Graduate school of Science and Technology, Shizuoka University
{ogino, ishihara}@ishilab.net

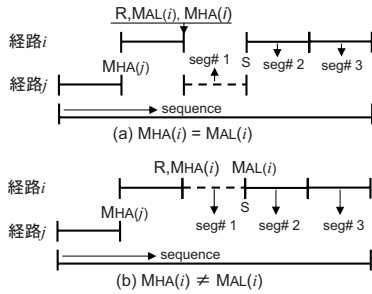


図 2: $R + 1 < S$ における状況

の経路で発生しているかを検知する．以下に，HA でのセグメントと ACK 受信時の各処理を示す．

● データセグメント受信時の処理

AL から経路 i を介してセグメント (シーケンス番号: S , セグメント長: L) を受信した HA は, $R+1 < S$ の場合, $M_{HA}(i)$ に $S+L+1$ を代入し, そのセグメントを CN へ転送する. $R+1 < S$ の場合, 2つの状況 (図 2) に応じて以下の処理を行う.

- (a) $M_{HA}(i) = M_{AL}(i)$ の場合, 経路 j の遅延により seg #2 が遅れている可能性がある. そこで seg #1 に対する ACK は, 破棄可能な重複 ACK になると判断し, d を 1 増加する. そして $M_{HA}(i)$ に $S+L+1$ を代入し, そのセグメントを CN へ転送する.
- (b) $M_{HA}(i) \neq M_{AL}(i)$ の場合, 経路 i で seg #1 がパケットロスしたと考え, d と $M_{HA}(i)$ を更新せずに seg #2 を CN に転送する. $M_{HA}(i)$ を更新しないのは, 次に経路 i で seg #3 を受信した場合に (a) の状況と区別するためである.

● ACK 中継時の処理

CN から ACK (シーケンス番号: a) を受信した HA は, $a = \max_i(M_{HA}(i)) + 1$ の場合, 通常通りその ACK を AL へ中継する. この時, $a > \max_i(M_{HA}(i)) + 1$ なら, $a - 1$ をすべての M_{HA} に代入する. ACK の転送経路は, HA が AL からのセグメント受信時に更新する AL-HA 間の片道 RTT (後述) が最小の経路を用いる. $a < \max_i(M_{HA}(i)) + 1$ の場合, d, R の値に応じて以下の処理を行う.

- (i) $d=0$ の場合, 破棄可能な重複 ACK の発生が検知されていないので通常通り AL へ中継する.
- (ii) $d > 0$ かつ $a < R$ の場合 (図 3), その ACK は破棄可能な重複 ACK と考えられるので d を 1 減らし, その ACK を破棄する.
- (iii) $d > 0$ かつ $a=R$ の場合 (図 4), シーケンス番号が $R+1$ より大きいセグメントを転送済だがシーケンス番号が $R+1$ から始まるセグメントを転送していない状態である. これらの未転送セグメントは, 遅延またはパケットロスの発生 of どちらが原因で HA に到着していないのか判断できない. そこで, 遅延によるセグメントの順序逆転の発生を考え, その重複 ACK を破棄するとともにこの処理で破棄した ACK の数をカウントする. 閾値以上の個数の重複 ACK を受信した時点で, その重複 ACK を AL へ送信し, d を 0 に初期化する. こ

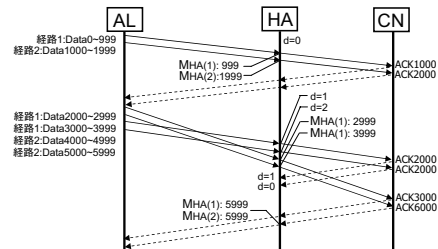


図 3: $a < R$ の状況

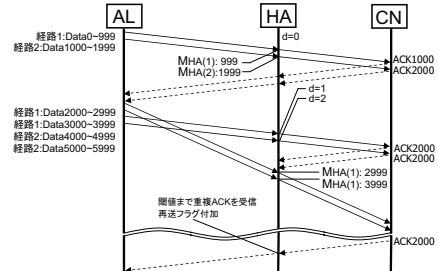


図 4: $a = R$ の状況

の時, AL へ転送する重複 ACK には AL で直ちに再送を指示する再送フラグを付加する. 閾値は, 通常 TCP で再送処理が行われる 3 つより大きく, タイムアウトによる再送が発生しない値である必要がある.

3.2 AL-HA 間の RTT 測定に基づく経路選択

Mobile IP SHAKE 環境におけるパケットの順序逆転は AL-HA 間で発生する. そこで, AL では利用する複数経路の AL-HA 間 RTT を測定し, この値を用いてできるだけ正しい順序でセグメントが HA に到着する経路を選択する. AL からセグメントを受信した HA が, セグメント受信経路を介して直ちに擬似 ACK を AL に送信することで AL-HA 間の RTT を測定する. End-to-End での TCP 通信における正しい順序で目的地へ到着する送信経路の選択方法として, 送信バッファでの待ち時間と経路の RTT を用いてパケット到着時間が最短となる経路を選ぶ手法が提案されている [3].

4 まとめ

本稿では, Mobile IP SHAKE 環境での TCP 通信において, 性質の異なる複数経路を使用することでセグメントの順序が逆転して受信側に到着してしまう問題に対し, HA では転送するセグメントを監視することで順序逆転を検知し, 不要な重複 ACK を取り除く手法, 送信側では送信側-HA 間の RTT に基づいて HA へ正しい順序でセグメントが到着する経路の選択方法を提案した. 今後, シミュレーションによる性能評価, 再送処理までの閾値の検討を進める予定である.

参考文献

[1] K. Koyama, et al., "Performance evaluation of TCP on Mobile IP SHAKE," IPSJ Journal, Vol.45, No.10, pp.2270-2278 (2004.10).
 [2] 殿内他, "複数経路を用いた通信のためのトランスポート制御機構の評価," 情報学ワークショップ 2003 (WiNF2003), pp.81-84 (2003.9).
 [3] Y. Hasegawa, et al., "Improved data distribution for multipath TCP communication," GLOBE-COM '05, Volume 1, (2005)