低軌道衛星通信システムにおける同時ハンドオーバー方法の提案

5U-3

佐藤 一正†、若原 恭††、水澤 純一†
†青山学院大学理工学部情報 WEB 研究室、††東京大学情報基盤センター

1 まえがき

現在、グローバルマルチメディア移動体衛星通信を目指した次世代低軌道衛星通信システム（以下、LEO）が開発されている。LEOでは端末（以下、MN）が衛星にアクセスしている間に、サービス衛星を切り替えるというハンドオーバー（以下、HO）を頻繁に行う必要がある。しかし一般的にHOはパケットロスや、MNがパケット受信できない時間（以下、パケット受信不可能時間）等を発生させ、通信品質を劣化させる。このような劣化を抑えるために考案されているHO手法として、通信中の2つのMNがほぼ同じタイミングでHOを行う方法[1]等が検討されているが、LEOにおけるパケットロス、到着順序の逆転等の問題を完全に解決するには至らない。そこで本論文では、LEOおいてHOによる通信品質劣化を最小限とするため、HOに伴うパケットロス、到着順序の逆転が無く、パケット受信不可能時間が短いHO方法を提案しその有効性を論じる。

2 単独 HO

従来から提案されている、通信を行っている 2 つの MN がそれぞれ独立して HO する方法（以下、単独 HO）について論じる。通信中の 2 つの端末を MN_A、MN_B とする。MN_A が HO を行う事により、MN_B には MN_A からのパケット受信が不可能な時間（以下、TB_A）が発生する。また、MN_B が HO を行う事によって MN_B には自身の HO によるパケット受信不可能時間（以下、TB_B）が発生する。よって MN_A、B が HO を 1 回ずつ行う事によって MN_B に発生するパケット受信不可能時間は TB_A と TB_B の和となる。

3 強制 HO の原理

通信を行っている 2 つの MN の内、一方の MN がある時刻において HO を行う必要がある時、もう一方の MN に強制的に HO させる方法を強制 HO と呼ぶ。強制 HO の利点は、一方の HO によって発生する相手側 MN のパケット受信不可能時間中に、相手側 MN 自身の HO によるパケット受信不可能時間を発生させる事で、それぞれの HO によるパケット受信不可能時間の和が、単独 HO によって発生するそれよりも少なくなる事である。強制 HO では、MN_A の HO と同時刻に MN_B が HO する方法を完全同時 HO、MN_A の HO の直後に MN_B が HO する方法を連続 HO と分類する。なお、強制 HO は MN のパケット送信不可能時間の短縮化を目的とするものではないので、本論文では評価の対象外とする。

3.1 完全同時 HO

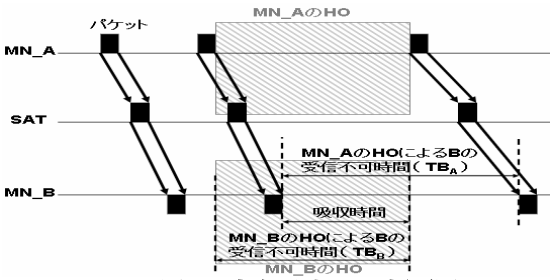

図 1 完全同時 HO の概要図

完全同時 HO は MN_A と MN_B が同時刻に HO を行う事により、TB_A の前半部と TB_B の後半部を重ねる方法である。図 1 に概要を表した。MN_A が HO を行う事により（上部網掛け部）、MN_B には TB_A が発生する。そして LEO では MN が HO する時刻が予め計算できる事を利用し、MN_A の HO と同時刻に MN_B が HO を行う事によって（下部網掛け部）MN_B には TB_B が図 1 のように発生し、これが TB_A と重なる時間を吸収時間と呼ぶ。完全同時 HO ではこの MN_A、B が 1 回ずつ HO を行う事によって MN_B に発生するパケット受信不可能時間は、TB_A と TB_A の和から吸収時間を引いたものとなる。

図 2 に完全同時 HO のシーケンスチャートを記した。

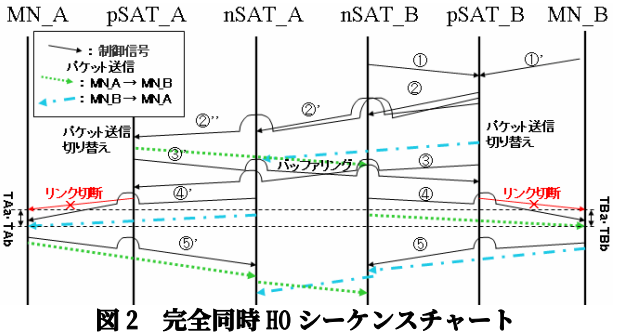

図 2 完全同時 HO シーケンスチャート

MN_A と MN_B がそれぞれ HO 前にアクセスしている衛星を pSAT_A、pSAT_B、HO 先衛星を nSAT_A、nSAT_B とする。完全同時 HO では MN の HO 時刻をこれらの衛星が事前に知っておく必要があり、図 2 の①より以前に時刻情報を得ておくものとする。pSAT_A、B はお互いに送信しあうパケットの到着時刻が、リンク切断時刻後になると判断した時点でパケット送信を nSAT に切り替える。これによりパケットのロスが無い。また pSAT から nSAT へのパケット転送を行う必要が無いので、到着順序の逆転がない。MN のリンク切断から、通信相手 MN からのパケット受信するまでが MN_A、B それぞれのパケット受信不可能時間となる。完全同時 HO は MN2 つ分のリンク切断時刻情報を衛星間で授受する事から、ネットワークに与える負荷がその分大きいと考えられる。なお。パケット送信切り替えのタイミングはネットワークの輻輳によって誤差が生じるため、伝送遅延時間を正確に知る方法が必要である。

3.2 連続 HO

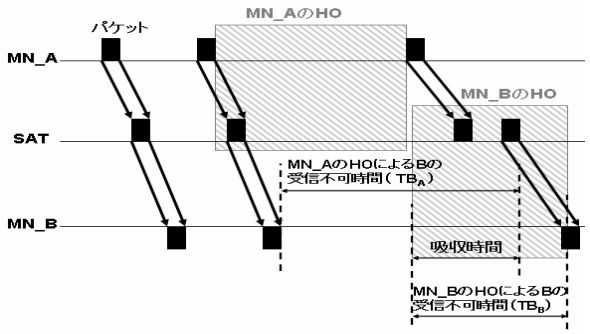

図 3 連続 HO の概要図

連続 HO は MN_A の HO の直後に MN_B が HO を行う事に

「Proposal of simultaneous Hand-over for LEO System」
Kazumasa SATO†, Yasushi WAKAHARA††, Jun-ichi MIZUSAWA†
†Information WEB laboratory, College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University
††Information Technology Center, the University of Tokyo

より、TB_Aの後半部とTB_Bの前半部を重ねる方法である。図3に概要を表した。MN_Aが HO を行う事により、MN_B にはTB_Aが発生する。この間に MN_B が HO を行う事によって MN_B にはTB_Bが図3のように発生し、TB_Aの後半部と重なる部分が吸収時間となる。この MN_A、B が1回ずつ HO を行う事によって MN_B に発生するパケット受信不可能時間は、TB_A とTB_Aの和から吸収時間を引いたものとなる。

この連続 HO においてそれぞれの MN が行う HO 手法が Seamless Handover for LEO(以下、SHO)[2]の場合は連続 SHO、Fast and Seamless Handover for LEO(以下、FSHO)[2]の場合は連続 FSHO と呼び、シーケンスが異なる。なお、FSHO、SHO にパケットロス、到着順序の逆転は無い。[2]

3.2.1 連続 SHO

図4に連続 SHO のシーケンスチャートを記した。

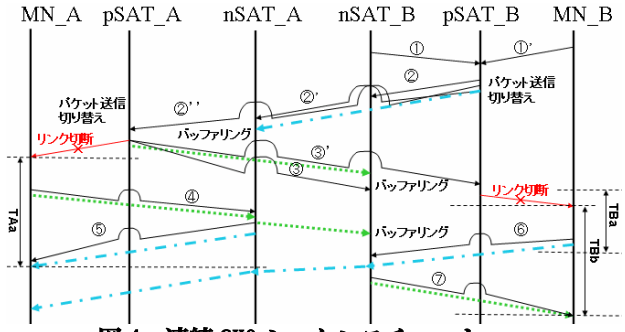

図4 連続 SHO シーケンスチャート

連続 SHO は MN_A がリンク切断を行った後、pSAT_B に通知して MN_B のリンク切断・再接続を行うものである。それぞれの MN はリンク切断後、nSAT にリンク再接続信号を送信し、応答を受け取る事でパケット受信の準備が整う。パケット送受信不可能時間は、MN のリンク切断後から、nSAT からのリンク再接続応答（⑤、⑦）を受信した後、相手側 MN からのパケットを nSAT から受け取るまでの時間である。

3.2.2 連続 FSHO

図5に連続 FSHO のシーケンスチャートを記した。

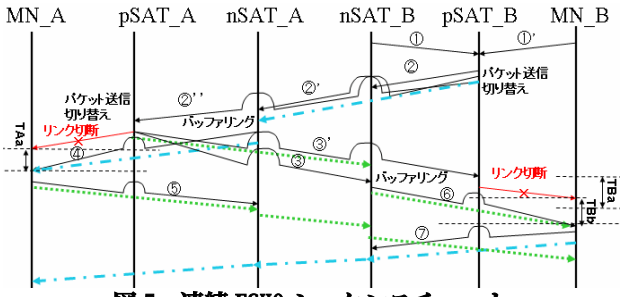

図5 連続 FSHO シーケンスチャート

連続 FSHO は連続 SHO に改良を加え、完全同時 HO と同じく MN が HO する時刻が予め計算できる事を利用し、MN がリンク切断直後に再接続信号を受信できるように、nSAT が再接続信号を計算した時刻に送信するものである。これにより、MN はリンク切断からパケット受信を行うまでの時間を連続 SHO よりも短縮できる。パケット受信不可能時間は、MN のリンク切断後から、nSAT からのリンク再接続信号（④、⑥）を受信した後、相手側 MN からのパケットを nSAT から受け取るまでの時間である。連続 FSHO は MN2 つ分のリンク切断時刻情報を衛星間で授受する事から、ネットワークに与える負荷がその分大きいと考えられる。

5 評価・考察

前述の SHO、FSHO、完全同時 HO、連続 SHO、連続 FSHO をシミュレーションによって比較評価した。シミュレーションにおける条件は以下の通りである。

通信時間：2時間（衛星周回時間）
MN の位置：北緯 0～69 ° 東経 0～36 ° 内でランダム
シミュレーション回数：10 万回

なお、強制 HO において、一方の MN のアクセス可能範囲に新 HO 先衛星が無い場合は実行不可能とし、完全同時 HO と連続 FSHO の場合は FSHO を実行し、連続 SHO の場合は SHO を実行するものとした。表1にシミュレーション結果を記した。

表1 各 HO 手法のシミュレーション結果

	SHO	FSHO	完全同時 HO	連続 SHO	連続 FSHO
平均強制 HO 数/合計 HO 数（2時間中）	0/27	0/27	7.2/27	7.2/27	7.2/27
2時間中の受信不可能時間(ms)	895.8	676.3	558.6	773.4	564.9
HO1回あたりの平均受信不可能時間(ms)	33.1	25.0	20.5	28.9	21.0

表1より連続 SHO、連続 FSHO はそれぞれベースとなっている SHO、FSHO よりも2時間で 100ms 程度短くなる事がわかった。また完全同時 HO においても他手法よりもパケット受信不可能時間が短縮される事がわかった。HO1回あたりに換算すると、強制 HO は単独 HO よりも 5ms 程度短縮可能である。しかし、完全同時 HO と連続 FSHO は MN のリンク切断時刻などの情報の授受が特に多いことから、ネットワークに与える負荷が大きいと考えられる。これにより、衛星間での伝播遅延時間が変化し、衛星間の時刻合わせが難しくなる可能性がある。

6 結論・今後の課題

本論文では LEO において、通信中の MN が同時に HO を行う事で、HO に伴うパケット受信不可能時間を短縮する方法を検討した。提案した強制 HO は従来の HO 方法よりも MN のパケット受信不可能時間が短くなる事がわかった。今後の課題として、各 HO 手法を実行するために必要な制御信号が、ネットワークに与える負荷の検討が挙げられる。

参考文献

[1] Anton Donner, Raul Zamorano, Mihai Costache “Maximum persistence Routing in Satellite Constellation Networks” 22nd AIAA International Communications Satellite Systems Conference & Exhibit 2004, May 2004

[2] 佐藤 一正、若原 恭、水澤 純一“低軌道周回衛星通信システムにおけるシームレスハンドオーバの提案” 情報処理学会 第66回全国大会投稿論文，分冊3，pp.387-388， 2004年3月

「Proposal of simultaneous Hand-over for LEO System」
Kazumasa SATO†, Yasushi WAKAHARA††, Jun-ichi MIZUSAWA†
†Information WEB laboratory, College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University
††Information Technology Center, the University of Tokyo