

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ーの提案

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、2010年の事業化を目標にした次世代LEOシステムNeLS(Next-generation LEO System)^[1]の開発が進められている。NeLSでは、端末(以下、MN)が衛星にアクセスしている間に衛星が上空を移動する事、及び端末が地上を移動する事によって、MNがアクセスするサービス衛星を切り替えハンドオーバー(以下、HO)を行う必要がある。しかしHOはパケットロスやデータ伝播遅延時間のゆらぎを発生させ、通信品質を劣化させる。このような劣化を抑えるためこれまでに考案された手法には、Fast Handovers for Mobile IPv6(以下、FHO)^[2]やLow Latency Handoffs in Mobile IPv4(以下、LLHO)^[3]などがあるが、いずれも低軌道衛星通信システムを想定されたものではなく、品質劣化の改善は不十分である。そこで本研究ではNeLSにおいてHO時の通信品質の劣化を最小限とするため、HO中の通信中断時間が短く、パケットロスの無いシームレスなHO方法を提案する。また従来研究と比較し、その有効性を論じる。

2 NeLSの通信に与えるハンドオーバーの影響

NeLSにおける衛星の進行方向には2種類ある。同一方向へ進行する軌道の衛星間で行うHOを「順HO」、逆方向へ進行する軌道の衛星へのHOを「逆HO」とする。2つの端末がそれぞれ異なるサービス衛星を介して通信している場合、順HOを行う事で両サービス衛星間のリンク数は1本増減し、データ伝播遅延時間は約12ms増減することで済ませられる。しかし逆HOはリンク数が最大で10本増減し、パケット送信遅延時間は約120ms増減する。

3 従来研究技術の応用とその問題点

HO前にMNと通信する衛星をprevious satellite(pSAT)、HO後に通信する衛星をnew satellite(nSAT)、相手側端末が通信している衛星をopposite satellite(oSAT)とする。

3.1 Fast Handovers for Mobile IPv6

FHOは無線LANを想定して考案された手法であり、L2トリガーによってその手法の詳細が異なる。図2はその一つをNeLSに適用したものである。

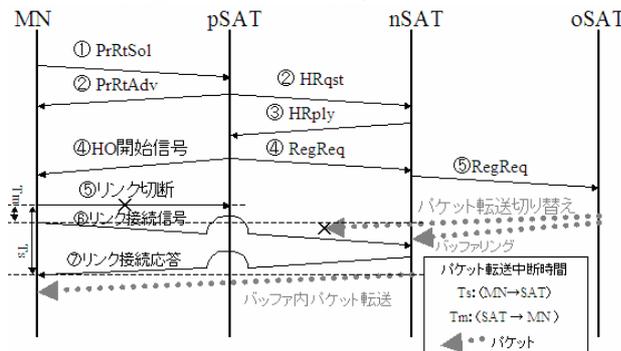


図1 NeLS用FHOシーケンスチャート

MN⇄pSATのリンク切断後にoSATからのパケットが届く場合があり、ロスになってしまうという問題がある。

3.2 Low Latency Handoffs in Mobile IPv4

LLHOも無線LANを想定して考案されたものであり、トリガーによってその手法の詳細が異なる。図3はその一つをNeLSに適用したものである。

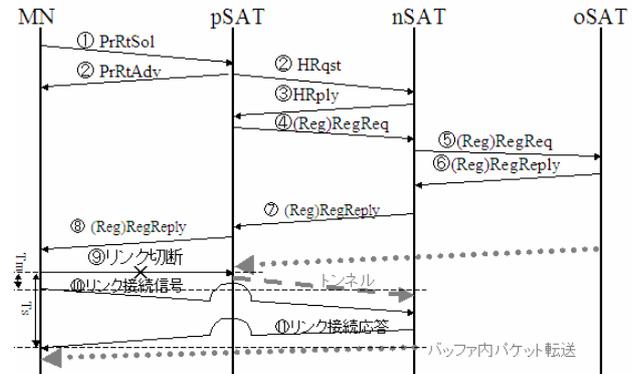


図2 NeLS用LLHOシーケンスチャート

リンク切断後はMNあてのパケットがpSATを経由してnSATに届く仕組みなので、pSAT⇄nSATのリンク数が多い場合パケット送信遅延時間が増大する。一定時間後oSATからのパケットはnSATに直接送信されるが、その際nSAT⇄oSATのリンク数がpSAT⇄nSATのそれよりも短い場合、パケットの順序逆転が起きる可能性がある。このようにLLHOにはHOに伴うパケット送信遅延時間が大きいという、パケット到着順序が逆転するという問題がある。

4 提案する新手法

本論文ではパケットロスが無い事と、パケット送信中断時間の短縮化を図るため、以下の2つの手法を提案する。

4.1 メソッドA

図3に提案する新手法、メソッドAを図示する。

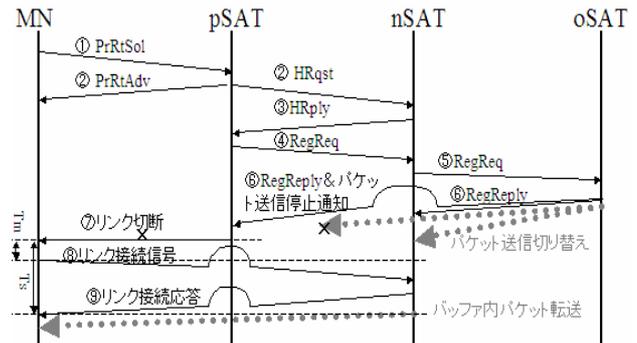


図3 HOメソッドA

パケットは同じルートで送信すると仮定する。すると、⑥のパケット送信停止通知が届く時にはpSATはMNあてのパケットを送信し終わっているため、その後MN⇄pSAT間のリンクを切断すればパケットロスが起きる事はない。また常に同じルートでパケットを送信する事によって、パケット到着順序の逆転も起こらない。④以降はpSAT⇄nSAT間の信号の授受がないので中断時間が短く、pSAT⇄nSAT間のリンク数に関わらずパケット送信遅延時間は短くなる。

「Proposal of Seamless 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

4.2 メソッド B

図 4 にメソッド B を図示する。

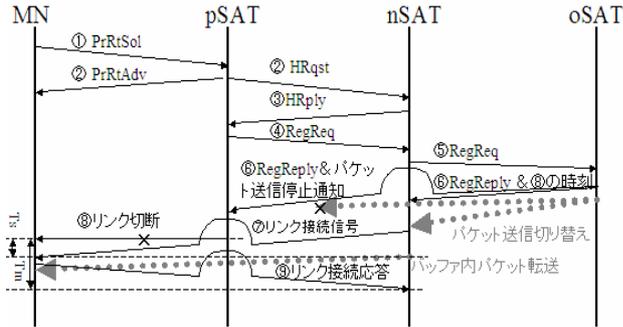


図 4 HO メソッド B

メソッド B は pSAT がリンク切断を行う正確な時刻情報を oSAT が持っている事が必要となる。よって GPS 機能などによる衛星間の正確な時刻合わせを行うものと仮定する。またパケットは同じルートで送信するものとする。⑥ではリンク切断を行う時刻情報を oSAT が nSAT に通知する。この情報を元に MN⇔pSAT 間のリンク切断直後に届くように nSAT はリンク接続要求を MN に送信する仕組みなので、メソッド A に比べてリンク切断後の MN⇔nSAT 間の信号のやり取りが 1 回分省略できる。よってメソッド A よりもパケット送信中断時間を短縮することができる。またメソッド A と同じ理由でパケットロスや順序逆転は無く、パケット送信遅延時間が pSAT⇔nSAT 間のリンク数に依存せず短い。

5 評価・考察

前述の手法の順 HO 時、逆 HO 時におけるパケット送信中断時間 (MN→SAT: T_m , SAT→MN: T_s)、nSAT のバッファリング時間 (T')、バッファサイズ (B) を計算した。なおパケット送信遅延時間を衛星間 1 リンク 12ms、MN⇔衛星間 8ms、衛星・MN が信号を送信するまでのシリアル化を含む信号処理遅延時間 (t') 1ms、衛星間通信速度 40Gbps とした。

例 1: HO メソッド A (順 HO 時 oSAT⇔pSAT : 1 リンク nSAT⇔oSAT : 2 リンク nSAT⇔pSAT : 1 リンク)
 $T_m = [⑦ \sim ⑧ (=t')]$
 $= 1$

例 2: HO メソッド B (逆 HO 時 oSAT⇔pSAT : 1 リンク nSAT⇔oSAT : 11 リンク nSAT⇔pSAT : 10 リンク)

⑥ (oSAT→nSAT) の信号が届くまで nSAT は⑦を送信できない。⑥ (oSAT→pSAT) と⑧は、⑥ (oSAT→nSAT) が届く前に完了しているので、リンク切断～⑦送信までがパケット送信中断時間 T_s となり、以下の式で表される。

$$T_s = [⑥ (oSAT \rightarrow nSAT)] + [⑥ (oSAT \rightarrow nSAT) \sim ⑦ (=t')] - [⑥ (oSAT \rightarrow pSAT)] - [⑥ \sim ⑧ (=t')] = 120$$

表 1 順 HO 時の HO 時間 (oSAT⇔pSAT : 1 リンク nSAT⇔oSAT : 2 リンク nSAT⇔pSAT : 1 リンク)

HO メソッド	A	B	FHO	LLHO
T_m (ms)	1	10	1	1
T_s (ms)	19	1	19	19
T' (ms)	10	12	0	2
B(Mbit)	400	480	0	80

表 2 逆 HO 時の HO 時間 (oSAT⇔pSAT : 1 リンク nSAT⇔oSAT : 11 リンク nSAT⇔pSAT : 10 リンク)

HO メソッド	A	B	FHO	LLHO
T_m (ms)	1	138	1	1
T_s (ms)	19	120	19	19
T' (ms)	0	6	0	0
B(Mbit)	0	240	0	0

表 3 逆 HO 時の HO 時間 (oSAT⇔pSAT : 11 リンク nSAT⇔oSAT : 1 リンク nSAT⇔pSAT : 10 リンク)

HO メソッド	A	B	FHO	LLHO
T_m (ms)	1	10	1	1
T_s (ms)	19	1	19	19
T' (ms)	23	132	9	0
B(Mbit)	920	5280	360	0

表からメソッド A は順 HO、逆 HO 両方においてパケット送信中断時間が常に短い事がわかる。FHO、LLHO も同様だが、パケットロスや順序逆転があるためメソッド A が優れているといえる。B は逆 HO においてパケット送信中断時間が長い場合があるが、順 HO 時と oSAT⇔pSAT と nSAT⇔pSAT のリンク数の差が少ない時は、SAT→MN 方向のパケット送信中断時間は最も短い。よって、順 HO 時と oSAT⇔pSAT と nSAT⇔pSAT のリンク数の差が多い時はメソッド B を行い、リンク数の差が少ない時はメソッド A を行う事で HO 時の通信品質の劣化を最小限にできると考えられる。

6 結論・今後の課題

本研究では低軌道衛星通信システム NeLS におけるシームレスな HO の手法を検討した。提案した 2 つ手法はどちらもパケットロス、順序逆転が起きないものである。特に一方は衛星が GPS 機能等により衛星間の正確な時刻合わせが可能な場合、MN⇔衛星間のパケット送信中断時間の短縮できる。これら 2 手法を HO 先衛星によって使い分ける事で、NeLS における通信品質の劣化を FHO や LLHO などの従来技術よりも軽減する事ができる。今後の課題として、時刻合わせのガード時間、通信相手側端末や衛星間ネットワークにおけるトラフィック状況に応じたルーティング法の検討等が挙げられる。

参考文献

- [1] 「次世代 LEO システムにおける衛星コンステレーションの概念検討」平成 14 年度 通信放送機構 川崎次世代 LEO リサーチセンター
- [2] 「Fast Handovers for Mobile IPv6 (draft)」 IETF June 2003 Rajeev Koodli (ed)
- [3] 「Low Latency Handoffs in Mobile IPv4 (draft)」 IETF June 2003 Pat R. Calhoun et.al.

「Proposal of Seamless 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