

分散通信ミドルウェア HLA/RTI を用いた長距離分散シミュレーション実験 Geographically Distributed Simulation Experiments using HLA/RTI Middleware

情報技術開発共同センター(Information Technology Center)

上田裕子、吉岡伸人*、高橋孝

Hiroko Ueda, Nobuto Yoshioka, and Takashi Takahashi

*:H16 年 4 月より GOSAT プロジェクトチーム

Abstract: We have been developing a spacecraft simulation environment. The simulation environment should be useful to optimize satellite concept designs, verify the designs and reuse the simulation models as well as to shorten development cycles. One of the functions of the system enables distributed simulations for distributed parallel developments of the simulation modules. We have examined a distributed middleware, HLA/RTI (High-Level Architecture/Run-Time Infrastructure) to evaluate the functions and the performance for use in the spacecraft simulations. This paper presents on geographically distant distributed simulation experiments as a collaboration with JAXA(Tsukuba Space Center, Japan) and ESTEC(Noordwijk, The Netherlands). Commercial ISDN lines are provided to link remote simulation facilities. The performance is evaluated and the original distributed cross-continental HTV/ISS simulation system is implemented based on the existing simulators according to the HLA interface protocol. Simulation results are presented along with its implementation process, while the knowledge may offer potential application to support the HTV and any other projects.

1. はじめに

人工衛星など宇宙機システム設計の最適化および検証に関する期間の短縮、再利用性向上などのためには、高度なシミュレーション技術の活用が必須であるとの認識から、我々は衛星開発初期のミッション検討段階から運用訓練まで衛星開発運用のライフサイクルを通じて利用可能な拡張性、再利用性に優れた宇宙機シミュレータおよびシミュレーション環境の開発を目指している。それにはモジュールの一部をネットワークを介して接続される複数の計算機に分散配置し、これらによる統合シミュレーションすなわち分散シミュレーションを容易に実現する機能を備えることが重要であると考えている。これは複数の組織による効率的なモジュールの並行開発、搭載ソフトウェアおよび機器の検証、実行時の計算負荷分散などに有効である。そこで平成 13 年度から分散シミュレーション技術のひとつである通信ミドルウェア HLA/RTI (High-Level Architecture /RunTime Infrastructure) [1]についてベンチマーク試験などによる特性評価および宇宙機シミュレーションへの適用性評価を行ない[4,5,7]、また一方、平成 14 年度から通信ミドルウェア HORB(Hirano's Object Request Broker)[2]については特に搭載ソフトウェア検証への適用性についても評価し[6,8,10]、さらに次世代の分散シミュレーションフレームワークの検討、試作を行ってきた[11]。

HLA/RTI は HTV(H-IIA Transfer Vehicle)プロジェクトにおいて運用訓練のために、NASA 内の計算機上で動作する ISS(International Space Station)シミュレータと筑波宇宙センター(TKSC)内の

HTV シミュレータおよび HTV 運用管制システム間の分散シミュレーションに利用する計画であり、その検討、開発に我々は研究成果をふまえて協力を行っている。本稿では、その一環として平成 15 年度に ESA/ESTEC(オランダ)との共同研究として実施した、HLA/RTI を用いた TKSC-ESTEC 間の長距離分散シミュレーション実験[7,9]について述べる。

2. 研究の概要

複数計算機に分散したモジュールが連携してシミュレーションを行うためには互いの情報を通信するための仕組みが必要であり、それには一般に TCP/IP ソケット、または通信ミドルウェアを利用するなど方法が挙げられる。通信ミドルウェアを利用することで計算機やネットワーク技術の早い変化に影響を受けにくい高い保守性、移植性を有し、ハードウェア、OS、プロトコルなどに依存しないシミュレータの設計が容易になると考えられる。さらに分散させるモジュールの選択の自由度が大きく、通常の集中型シミュレータを分散シミュレーションに転用する際にもインターフェイス変更の作業量が小さい柔軟なシステムとするためには、通信ミドルウェアの利用が有利である。HLA/RTI は、分散シミュレーションのための通信規約およびミドルウェアとして米国防省が主導して 1980 年代から開発を推進し 2000 年に IEEE1516 として採用され、利用実績も多い。

我々はこれまでに HLA/RTI の特性計測のためにベンチマークコードを、また宇宙機シミュレーションへの適用性評価のために HTV-ISS ランデブ・ドッキングをモデルとする簡易シミュレータを開発し、TKSC 内の LAN および ISDN 回線を用いた分散シミュレーション試験を行ってきた。一方 ESA/ESTEC は、HLA/RTI を用いた分散シミュレーションについて既に ESA-NASA 間の実験[3]等で実証した研究実績を有する。HTV プロジェクトでは Houston-筑波間という長距離の分散シミュレーションを行う計画であることを考慮し、平成 15 年度は ESTEC の協力を得て、オランダ-筑波間で長距離通信路における HLA/RTI の特性や通信遅延の影響を把握するために、既存のコードを利用して通信実験を行った。また本実験では ESTEC が既に開発していた ISS シミュレータと我々の簡易 HTV シミュレータによる分散シミュレーションを構成し、独自開発の 2 つのシミュレータを HLA/RTI の規約に沿ってインターフェイス調整を行い、その作業量等を把握することも目的のひとつとした。

本研究では ERTI BETA 1.9(MELCO&MSS) および RTI-NG 1.3v6(DMSO)の 2 種類の RTI を用

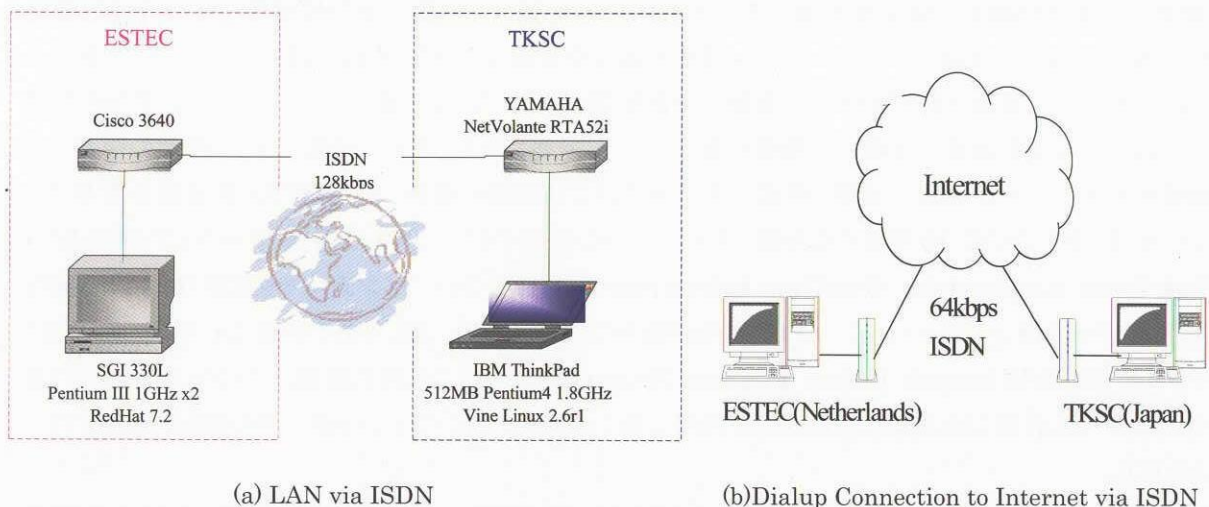


Fig. 1 Network Configuration

いた。また Fig.1(a)に示すように ISDN ルータおよび国際 ISDN 回線を利用した LAN 接続と、より不確実性の高い通信路においても RTI を評価するため Fig.1(b)に示すように、それぞれの PC は ISDN 回線を用いて国内プロバイダにダイヤルアップ接続しインターネットを介した実験も行った。

3. 成果の概要

3.1 長距離通信路における分散通信ミドルウェア HLA/RTI の特性

我々のベンチマークコードは、宇宙機シミュレーションにとって必須である論理的な時刻同期の下でのデータ送受信に要する時間を計測するものである。必要最小限の処理を簡単化し、各フェデレート (HLA では分散して動作する各モジュールまたはアプリケーションを“フェデレート”、それらによる統合シミュレーションの全体は“フェデレーション”と呼ばれる) が繰返しループの中で RTI によるデータ送信、時刻進行要求、およびデータと時刻進行許可の受信を行なう。複数フェデレート間で同期しながらデータ送受信を繰り返す状況で、RTI の処理に関する時間は、これまでの試験から式(1)に示すように主に同期回数、データ量、および同期するフェデレート数に依存することが明らかである。

$$T_{total} = (k_{data} \cdot v_{data} + k_{fed} \cdot n_{fed} + \tau) \cdot n_{sync} + T_o \quad (1)$$

ここで T_{total} :総処理時間[s]、 k_{data} :データ量に依存する係数、 v_{data} :データ量[byte]、 k_{fed} :フェデレート数に依存する係数、 n_{fed} :フェデレート数[個]、 τ :データ量とフェデレート数に依存しない処理時間[s]、 n_{sync} :時刻同期回数[cycle]、 T_o :RTI に依存しない処理時間[s]とする。ただし、ベンチマーク試験コードでは同期通信に要する以外の処理は最小限としているため $T_o = 0$ と仮定する。TKSC-ESTEC 間では v_{data} 、 n_{fed} 、 n_{sync} それぞれ 2 通りのパラメータで T_{total} を、また簡易 HTV/ISS シミュレータを用いてシミュレーション時間を、それぞれ 6 回計測した。Table 1 にインターネット経由の場合の平均値、および比較のため国内で同一サーバに対する ISDN ダイヤルアップ接続の場合を示す。国内と TKSC-ESTEC 間の通信時間の比は、ERTI の場合およそ 2 倍、DMSO は 1.3 倍であり、ほとんどのケースで ERTI を用いた方が DMSO よりも長時間を要した。これは 14 年度までに行った TKSC 内の 100Mbps LAN 環境の場合に ERTI の方がすべてのケースで短時間であった状況とは対照的であり、通信路の影響はベンダーによって大きく異なることが明らかになった。またシミュレーション時間は当然すべてのケースで国内の場合に

Table 1 Measurements of synchronized transfer time and total time of HTV/ISS distributed simulation via internet

		Time[s]			
		ERTI		DMSO	
		TKSC－ESTEC	Domestic	TKSC－ESTEC	Domestic
Synchro. Cycles [cycle]	10	15.418	7.935	11.107	6.731
	100	158.239	75.128	92.172	70.007
Data Quantity [byte]	128	163.216	75.081	94.114	70.400
	8960	273.622	198.916	259.210	242.714
Num. of Federates	3 (1:2+RTI)	76.999	31.605	90.409	56.799
	5 (2:3+RTI)	80.162	35.899	137.921	120.172
Simple HTV /ISS Simulator [logical time]	20	194.524	92.534	167.059	123.338
	40	388.404	185.068	314.137	246.677

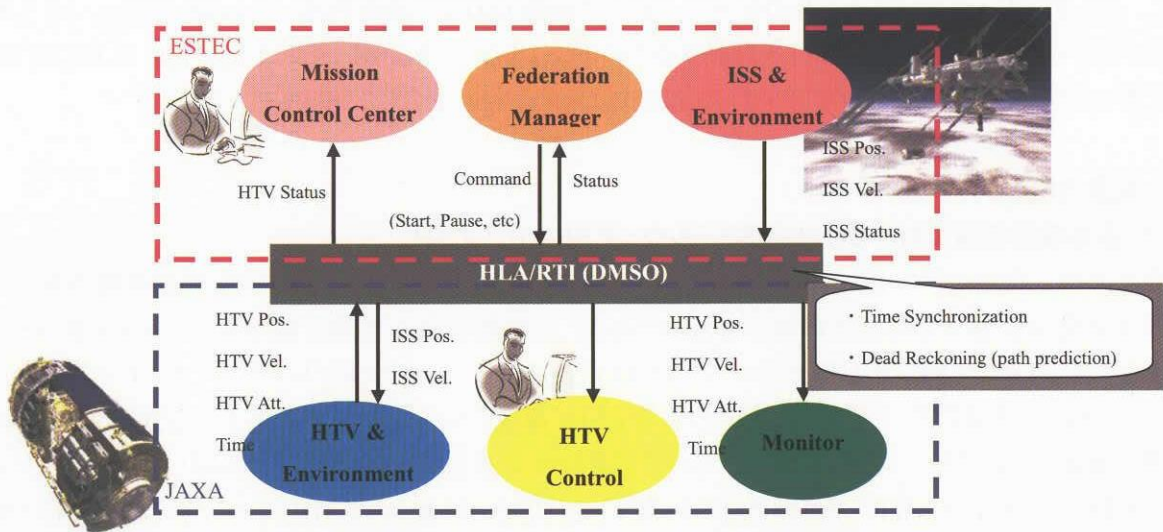


Fig.2 Configuration of HTV-ISS Simulation

比べ長くなっているが、式(1)の k_{data} 、 k_{fed} に相当するデータ量およびフェデレート数に対する増加率は国内の場合に比べて 0.7~0.9 倍小さくなっていることから、通信路の影響は主に式(1)の r に含まれることになる。式(1)はシミュレーション時間の推定に利用できることをこれまでに確認しているが、この項をさらに分析することで推定精度の向上につながると考えられる。また、簡易 HTV-ISS シミュレータを用いた試験から、長距離のインターネット経由という条件においてもシミュレーション実行中にデータ欠損や途絶などの不具合が発生することは無いことを確認した。

3.2 ESTEC 保有の ISS シミュレータと簡易 HTV シミュレータによる分散シミュレーション実験

ESTEC は ESA-NASA 間の分散シミュレーション実験等を通じて HLA/RTI を用いた ISS シミュレータやフェデレーションを管理するモジュール等を開発した。そこで本共同研究では Fig.2 に示すように ESTEC の既存フェデレートを活用し、それらと JAXA が開発した簡易 HTV シミュレータのインターフェイス調整を HLA 規約に従って行った。HLA に従うインターフェイス調整は、互いに公開、購読するデータの名前、型および時刻同期または非同期などの特性を定められた表形式文書で確認するものであり、数回の電子メールによるやり取りと 1 回の電話会議で確認し、それぞれ保有するコードを独立に改修することができた。ただし、これに表現されない座標変換行列の違いなど、統合試験の中で明らかになった調整を要した事項もある。

また、長距離通信回線を用いてリアルタイムあるいはそれ以上の実行速度を要求する分散シミュレーションでは、通信遅延時間が大きな問題となる場合もある。ESTEC

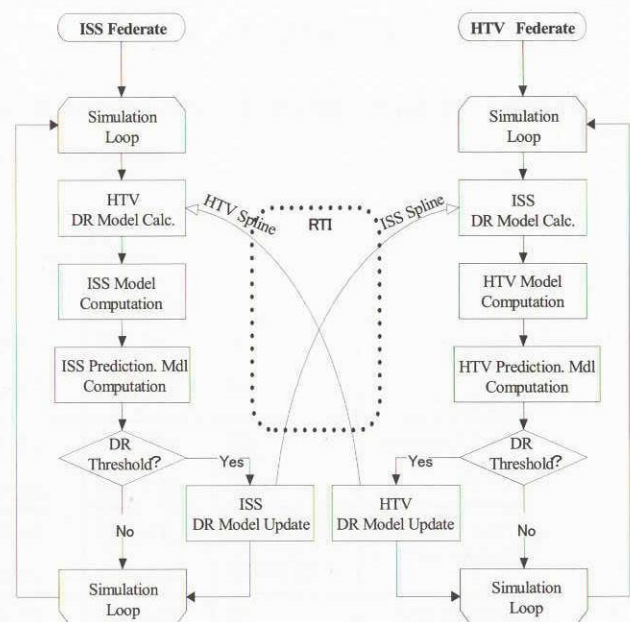


Fig.3 Dead-Reckoning Scheme for Remote Models

は NASA との実験を通じて、Fig.3 に示す”Dead-Reckoning Scheme”(推測航法)と呼ばれる方法および分散する計算機の時刻を同期させるプロトコル NTP(Network Time Protocol)を併用することで、データ通信の頻度を減らし互いに同期しながらリアルタイム以上の速度を実現できる技術を有している。そこで今回の実験でも JAXA 側のフェデレートはそれらの技術に対応する改修を施した。

2003 年 7 月には、JAXA の簡易 HTV シミュレータが ESTEC の ISS シミュレータとの相対位置、速度を計測しながらランデブ航行する最終接近フェーズ(R-bar Approach Phase)を模擬した分散シミュレーションを公開実験として行った。TKSC と ESTEC それぞれの公開実験会場で表示された 3D グラフィックスの一部を Fig.4(a)(b)に示す。

Fig.1(a)に示す ISDN ルータによる LAN 環境の構築、確認作業等を含めて上記の調整、改修作業は、約 3 ヶ月間に行われ、独立に開発した複数シミュレータの統合調整時間としては比較的短期に実施できた。これは HLA/RTI という標準規約およびミドルウェアの利用によるところが大きいと考えられる。ただし、今回は通信性能の都合上 DMSO RTI-NG 1.3v6 を用いて非同期通信を行ったが、この非同期通信では multicast プロトコルを使用していたため、離れた LAN 間で multicast 通信を許すネットワークを構築することに労力を要した。分散通信のために様々な通信ミドルウェアやベンダーからひとつを選択する際の条件として、速度性能、API の簡潔さに加えて、このようなミドルウェアが内部で使用するプロトコルを考慮する必要があることを改めて認識した。

4. まとめ

本研究では分散シミュレーションのための通信ミドルウェアである HLA/RTI について、TKSC-ESTEC 間をインターネットを介した長距離通信路でベンダーの異なる 2 種類の RTI に対して主にデータ送受信と時刻同期機能を利用したベンチマーク試験を行い、特性を計測評価した。インターネットという不確実性の高いデータの欠損や通信の途絶など不具合が生じることは一度も無く、シミュレーションの再現性、安定性に問題無いことが確認された。

また ESTEC と JAXA がそれぞれ独立に開発した既存のシミュレータを利用して HTV-ISS シミュレーションの公開実験を行った。インターフェイス調整を HLA 規約に従って行うことで、短期間に改修すること



(a) ESTEC-side: ISS control panel and 3D monitor

(b) JAXA-side: HTV control panel and 3D monitor

Fig.4 Graphics of HTV-ISS simulations on July 2nd, 2003

ができた。プロジェクトに先駆けて行った長距離分散シミュレーション実験により得られた技術、情報は、今後のプロジェクト協力に有効に活かすことができると考えられる。

謝辞

長距離分散シミュレーション試験に協力頂いた ESA/ESTEC TOS-EMM の Luis Arguello 氏に感謝致します。また、簡易 HTV/ISS シミュレータは HTV プロジェクト 山中浩二氏の協力により作成されました。

[参考文献]

- [1] <https://www.dmsomil/public/transition/hla/>
- [2] S. Hirano, HORB: Distributed Execution of Java Programs, WWCA96, Lecture Notes in Computer Science., 127429-42, 1996.
- [3] Arguello, L., L. Dwedari, G. D. Lauderdale, A. Vankov and P. Chliaev: ESA-NASA distributed simulation experiment: first results and lessons learned, EURO-SWIG: 2001 European Simulation Interoperability Workshop, Paper No. 01E-SIW-018, 2001.
- [4] 上田裕子, 高橋孝, 吉岡伸人, 分散シミュレーション技術の宇宙機シミュレーションへの適用性検討, 地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会, 幕張, 予稿集, J031-P007, 2003.5.26
- [5] 上田裕子, 高橋孝, 吉岡伸人, 船原慎太郎, 小堀壮彦, 分散通信ミドルウェア HLA/RTI の宇宙機シミュレーションへの適用性評価, 第 47 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 新潟, 講演集, 1F9, pp.397-400, 2003.11.17
- [6] 高橋孝, 上田裕子, 平野聡, 邑中雅樹, 小堀壮彦, 宇宙機シミュレーションのための分散オブジェクト指向フレームワークの研究, 第 47 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 新潟, 講演集, 1F10, pp.401-404, 2003.11.17
- [7] 上田裕子, 高橋孝, 吉岡伸人, 船原慎太郎, 小堀壮彦, 分散通信ミドルウェア HLA/RTI の宇宙機シミュレーションへの適用性評価, 日本航空宇宙学会論文集, Vol.52, No.603, pp.160-166, 2004.
- [8] 上田裕子, 高橋孝, 平野聡, 邑中雅樹, 小堀壮彦, 宇宙機搭載ソフトウェア検証のためのシミュレーション環境の検討, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, 幕張, 予稿集, J031-P001, 2004.5.9
- [9] Nobuto Yoshioka, H. O. Ueda, T. Takahashi, L. Arguello, 他, NASDA-ESTEC Joint Experiment of HTV-ISS Distributed Interactive Simulation, 24th International Symposium on Space Technology and Science, 宮崎, ISTS 2004-t-12, 2004.6.1
- [10] Takashi Takahashi, H. O. Ueda, N. Yoshioka, S. Hirano, M. Muranaka, and T. Kobori, Distributed Object-Oriented Framework for Spacecraft Simulations, 24th International Symposium on Space Technology and Science, 宮崎, ISTS 2004-t-15, 2004.6.1
- [11] 平成 14-15 年度 JAXA-AIST 共同研究成果報告書:宇宙機シミュレーション環境における分散シミュレーション技術の研究, JAXA 技術資料 GSB-03030, 2004