

ペトリネットを用いた車載ネットワーク通信プロトコル「MOST」のモデル化と解析に関する研究

平畑 光騎 指導教員：辻 孝吉

1 はじめに

近年、自動車の基本的な走行に加えて、ドア・ミラー制御や車載エンターテインメントなどの機能が増えている。増加するこれらの機能を制御するために、自動車へのLANの導入が進んでいる [1]。1980年初頭に通信ネットワーク技術が自動車に導入されて以来、多くの自動車メーカーがそれぞれに独自にシステムの開発を行ってきており、最近では自動車の「CASE化」に伴い、車内における通信データも増加し、一層技術の発展が必要とされている。さらに、カー・ナビゲーションやカーオーディオ、インターネットなどについてはMOSTCooperationによって標準化されている情報系車載LANである「MOST(Media Oriented System Transport)」の導入も進んでいる [2]。

現在、開発されているLANのプロトコルにはプロトコル別の規格が定義されている [3]。しかし、車載LANの構造は車種によっても多種多様であり、設計要件が異なることも多く、規格どおりに実装したとしても実際に機器を接続した場合に動作しないことがあるという問題が指摘されている。

一方で、多くの情報システムに適用可能なグラフィックで数学的なモデル化ツールの一つとしてペトリネット [4] がある。ペトリネットは並行的、非同期的等の動作を特徴とする情報処理システムを、記述、解析するツールとして有効である。さらにグラフィックなツールとしてシステム構造を可視的に表現し、ペトリネットにおけるトークンを使用することにより、システムの動的な事象を扱うことができる。

本研究では車載ネットワークの通信プロトコルの一つであるMOSTを、ペトリネットを用いてモデル化することにより実際に機器を接続する前に動作検証することを可能にし、ペトリネットの性質を用いることで、正しく動作することを理論的に解析することを目的とする。特に、従来研究 [5][6] では解析されなかった部分も含めて、一括でプロトコルの検証を行えるようにする。

2 ペトリネット

ここでは本研究で扱うペトリネットについて説明を行う。

2.1 ペトリネットの定義

ペトリネットは、円で表されるプレース、棒または箱で表されるトランジションと呼ばれる二種類のノードからなる、有向2部グラフである。プレースの上には、非負整数個のトークンが置かれる。トークンは点で表され、条件の成立を表す。プレース上のトークンの配置をマーキングと呼び、システムの状態を表す。

2.2 ペトリネットの発火則

文献 [4] に示されている発火則に基づいてトランジションは発火する。発火によってマーキングが遷移する。

3 MOSTのモデル化

プロトコルのモデル化の例として、FBlock NetworkMaster、FBlock ConnectionMaster、FBlock PowerMasterを実装したHMIデバイス(SystemMasterもしくはControllerと記述す

ることもある)とN機あるスレーブデバイスからなる、各デバイスに実装されているNetworkInterfaceControllerによる動作とSystemMasterによるMOSTネットワーク通信・制御を示す(図1)。

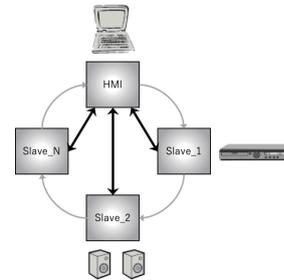


図1 モデル化対象のMOSTシステム

3.1 NetworkInterfaceControllerのモデル化

NetworkInterfaceControllerはプロトコルの第2~4層を網羅する、デバイスのデータの伝送の役割を担う部分である。本研究では電源管理、外部ホストコントローラ(EHC)とのデータ連携についてモデル化を行う。

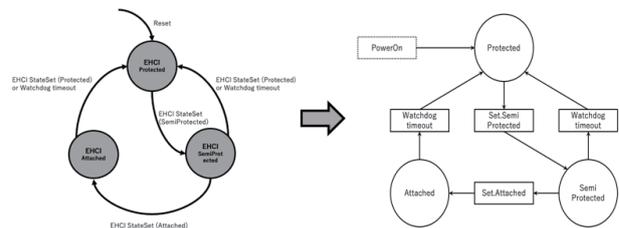


図2 NetworkInterfaceControllerのデータ連携のモデル化

3.2 MOSTネットワークのモデル化

プロトコルのネットワークセクションは、SystemMasterによって生じられるイベントによって通信状態が遷移するように設計する(図3)。

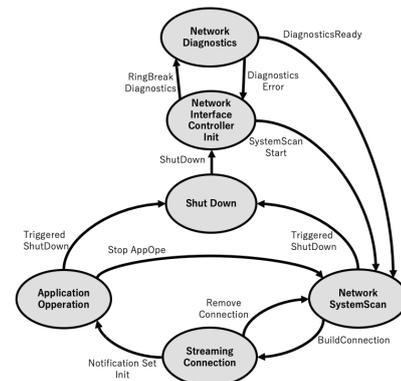


図3 SystemMasterによる通信状態の遷移

文献 [4] に示されている通信プロトコルのモデル化の例と同様、各通信ステートごとにモデル化アルゴリズムを提案した。モデル化アルゴリズムの基本的な流れは以下のようである。

MOST ネットワークモデル化アルゴリズムの基本的な流れ

1. 各デバイスが生起する通信イベントを $t_{(\text{通信イベント名})}$ でおく。また、スレーブデバイス (Slv(0), Slv(1), ..., Slv(N-1)) のトランジションにはそれぞれ $t_{(\text{通信イベント名})_Slv(i)}$ とノード番号をつける。
2. 各デバイスごとに通信待機状態を示すプレースをおき、それぞれ $t_{(\text{通信イベント名})}$ と接続する。
3. 通信バッファプレースをおき、それぞれ $t_{(\text{通信イベント名})}$ と接続することでメッセージの送受信を実現する。
4. SystemMaster の状態を示すプレース $p_{\text{SystemMaster}_{(\text{状態名})}}$ を適宜おきそれぞれ $t_{(\text{通信イベント名})}$ と接続することにより、状態変化や通信の制御をモデル化する。
5. スレーブデバイス (Slv(0), Slv(1), ..., Slv(N-1)) の状態を示すプレース $p_{\text{Slv}(i)_(\text{状態名})}$ を適宜おきそれぞれ $t_{(\text{通信イベント名})_Slv(i)}$ と接続することにより、それぞれの状態変化や通信の制御を並行的にモデル化する。

それぞれ特に記載がなければ、各プレースの初期マーキングは 0 として、接続するアークの重みは 1 とする。また $i = 0, 1, \dots, N-1$ とする

4 モデルの評価

4.1 ネットモデル全体の検討・考察

提案したアルゴリズムを用いてモデル化したプロトコル全体のネットモデルを CPNTools[7] を用いて解析・検証する。開発環境は、プロセッサ: Intel(R) Core(TM) i5-7500 CPU @3.40GHz、実装 RAM: 8.00GB である。

例として、スレーブ数 $N = 3$ の Slv(0) を Souce (AudioDiskPlayer)、Slv(1) を Sink (AudioAmplifier) として、検証を行なった MOST プロトコルのネットモデルを図 4 に示す。

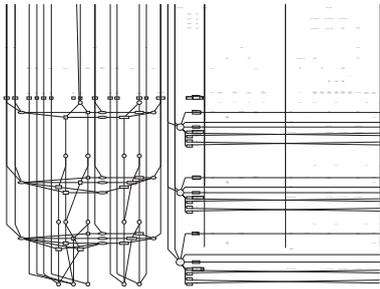


図 4 検証に用いたスレーブ数 $N = 3$ とした MOST プロトコルのペトリネットモデルの例

図 4 のモデルの検証を行った結果から、次の動的性質を持つことが示すことができた。

プロトコルのペトリネットモデルはホーム状態を持つ (可逆性)

初期マーキングから、任意の動作を行ったり通信ステートに遷移しても再び初期マーキングに遷移することが可能である。

プロトコルのペトリネットモデルは有界である

プロトコルのモデルのプレースに存在するトークン数は高々 3 である (スレーブ数を N としたらトークン数は高々 N である)。

プロトコルのペトリネットモデルは活性である

初期マーキングから 何らかの発火系列を通して任意のトランジションを発火可能にすることができる。

これらの性質から提案したアルゴリズムのモデルは、デッドロックやオーバーフローが起こることなく動作終了から再び動作開始することが可能であるといえる。

5 おわりに

本論文では、提案したアルゴリズムによって、従来考慮されなかった部分も含め MOST プロトコルのデバイスの動的な振る舞いをペトリネットモデル化した。次に、作成したモデルは有界、活性でありホーム状態を持つので正しく動作し、動作終了後再び正しい動作を始めることが可能である事を示した。また、従来研究とモデル化した範囲の比較をすると、文献 [5] では考慮されていなかった MOST システムにおける複数のノードを想定しており、文献 [6] のモデルでは網羅されていなかったプロトコルの下層部分も含めてモデル化することができている。本研究により、実際に機器を接続する前の MOST プロトコルの動作検証ができる範囲を広げた。

今後の課題として、この手法の実用化のために実際の車載システムについて考慮しなければならない。そのためには、他機能の車載ネットワーク (制御系など) のモデル化アルゴリズムも検討・提案し、実装プロトコルモデルの合成を行い車載ネットワーク全体のネットモデルを設計しなければならない。

参考文献

- [1] 野海薫: 車載 LAN 開発への取り組み (2020 年 8 月 20 日参照) <https://www.denso-ten.com/jp/gihou/jp.pdf/49/49-3.pdf>
- [2] Andreas Grzempa: MOST THE AUTOMOTIVE MULTIMEDIA NETWORK (2020 年 8 月 15 日参照) <https://www.mostcooperation.com/specifications/download/most-the-automotive-multimedia-network/>
- [3] 後藤正博: 車載ネットワークの標準化と動向 (2020 年 8 月 12 日参照) <https://www.ritsumei.ac.jp/acd/re/ssrc/result/memoirs/kiyou23/23-07.pdf>
- [4] 村田忠夫: 「ペトリネットの解析と応用」・近代科学社・1992
- [5] 村瀬達也: ペトリネットを用いた車載ネットワーク通信プロトコル「MOST」のモデル化と解析に関する研究 https://core.ac.uk/display/228938575?ut_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
- [6] 平畑光騎: ペトリネットを用いた情報系車載ネットワーク通信プロトコル「MOST」のモデル化と解析に関する研究 https://aichi-pu.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=4795&item_no=1&attribute_id=22&file_no=1
- [7] Layra Themes: CPN Tools <http://cpntools.org/>