

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00080

研究課題名(和文)動作モードを有する車載ネットワークシステムの設計技術に関する研究

研究課題名(英文)Design methodology for in-vehicular network systems with operating modes

研究代表者

杉原 真(Sugihara, Makoto)

北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：80373538

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文):本課題では、自動車走行の環境や計画に依存して動作する機能が定まり、延いてはIVNS内でアクティブとなる通信信号が定まる点に注目し、動作モードの概念を導入した。通信信号とは、送信ノード、受信ノード集合、一つのメッセージ当りのデータ量、メッセージの送信要求周期、及び相対デッドライン時刻の5つ組で規定される送信ノードの振る舞いを指す。動作モードはそれが対象とする状況でアクティブな通信信号の集合を定め、適応的に切り替えて用いられる。本課題では、自動車走行の環境や計画に依存してIVNSの動作モードを適応的に切り替え、通信資源の浪費を排除し、部材コストに優れたIVNSを自動合成する設計技術を研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

TDMA(Time Division Multiple Access)法に基づくリアルタイムネットワークシステムの設計において、メッセージスケジューリングとネットワークトポロジを自動合成することにより、設計期間の短期化、設計コストの削減、及び部材コストの削減が実現できるようになった。より幅広い製品群においてリアルタイムネットワークの適用が容易になった。

研究成果の概要(英文): In this study, we note that an operating situation of a system determines what functions of the system run. More concretely, an operating situation determines what data the system requires and how frequently it requires them. Each operating mode is specified by a set of communication signals which are active under the corresponding operating mode. A task of system designers is to schedule all messages of communication signals so that the messages are sent by their own deadline. We proposed a design methodology which optimally determined a message schedule for each operating mode so that it could avoid wasting networking resources.

研究分野：組込みシステム

キーワード：TDMA メッセージスケジューリング 通信信号 ネットワークトポロジ 組み込みシステム リアルタイム性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

自動車の安全性、利便性、省エネルギー性、及び環境性能を向上するために、IVNS の大規模化が進んでいる。2012 年時点のラージクラス車には平均 32.0 個の ECU が搭載されており、2025 年時点に 51.9 個まで増加すると予測されている。IVNS は、ECU(Electronic Control Unit)をはじめとする車内に分散する多数の部品を通信回路とワイヤハーネス(WH: Wire Harness)により接続する分散型組み込みシステムである。一般に、大規模な分散型組み込みシステムを実現するには、高速な通信インタフェース回路及び動作周波数が高い WH が必要である。特に、動作周波数が高い WH を採用するには、遮蔽シールド、インピーダンス整合、及び大径化に係る工程が必要となり、製造コストが増加する。また、設計対象となる IVNS が大規模である場合、多くの人的、物的な資源を投入し、設計せざるを得ず、設計コストが増加する。日本の自動車産業が競争力を維持するために、**部材コスト及び設計コストを抑制する IVNS 設計技術の確立**が喫緊の課題である。

2. 研究の目的

自動車製品において実時間制約を有する機能の採用が増加することを見据え、本課題では実時間性の保証が容易な時分割多元接続(TDMA: Time Division Multiple Access)方式に焦点を当てた。TDMA 方式は通信資源を時分割し、複数の主体の間で通信資源を用いる方式であり、車載用として FlexRay が考案されている。本課題では、**自動車走行の環境や計画に依存して動作する機能が定まり、延いては IVNS 内でアクティブとなる通信信号が定まる点に注目し、動作モードの概念を導入した**。ここで通信信号とは、送信ノード、受信ノード集合、一つのメッセージ当りのデータ量、メッセージの送信要求周期、及び相対デッドライン時刻の 5 つ組で規定される送信ノードの振る舞いを指す。動作モードはそれが対象とする状況でアクティブな通信信号の集合を定めるものであり、適応的に切り替えて用いるものである。本課題では、**自動車走行の環境や計画に依存して IVNS の動作モードを適応的に切り替えることにより通信資源の浪費を排除し、部材コストに優れた IVNS を自動合成する設計技術**を研究した。

FlexRay は実時間性と実効帯域幅を確保する TDMA 方式のプロトコルである。FlexRay の IVNS は、サイクルと呼ばれる時間単位に基づいて動作する。図 1 に FlexRay の時間階層を示す。1 サイクルは 1 つの静的セグメント(SS: Static Segment)及び 1 つの動的セグメント(DS: Dynamic Segment)を含む。SS 及び DS の何れも複数個のタイムスロット(TS: Time Slot)から構成される。SS 及び DS の TS をそれぞれ静的スロット及びミニスロットと呼ぶ。SS は通信レイテンシ及び通信スループットに決定性を与える時間領域であり、1 つの TS は 1 つの送信ノードに静的に割り当てられる。DS は通信資源を柔軟に提供する時間領域であり、送信ノード群はそれらの優先度のに基づき TS を用いる。図 2 に、FlexRay の IVNS において時間が進んでいく様子を示す。本

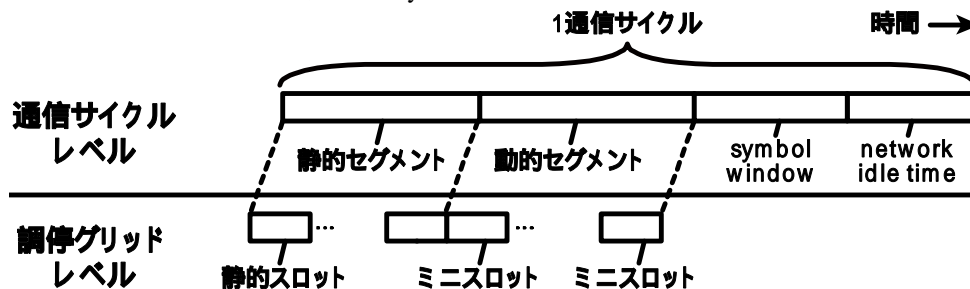


図 1. FlexRay の時間階層 .

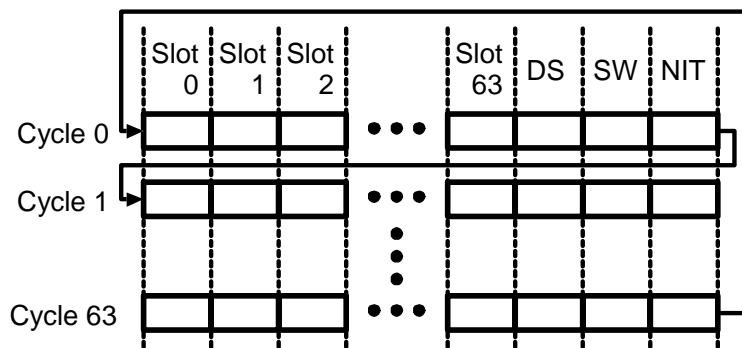


図 2. FlexRay の IVNS における動作 .

例では、SS は 64 個の TS から構成される。SS において送信ノードと TS を対応付ける方式、あるいは、送信ノードと(サイクル,TS)を対応付ける方式がある。後者の方式を特にスロットマルチプレクシング(SM: Slot Multiplexing)と呼ぶ。FlexRay では 64 サイクルまでの TS を対象とした SM が可能である。

表 1 に FlexRay を対象とした IVNS 設計手法の比較を示す。実時間性制約の違反を許す前提で実時間性制約を満たす通信信号の数を最大化する手法[1]、実効帯域幅を犠牲にし、設計拡張性を得る手法[2]、バスの実効帯域幅を向上する手法[3]、SM によって実効帯域幅を向上する手法[4]、及び、信頼性制約から各通信信号のメッセージの再送回数を決定し、実効帯域幅を向上する手法[5]が提案されている。また、我々は部材コストの削減を指向し、動作周波数を最小化するメッセージスケジューリング(MS: Message Scheduling)の手法[6]、SM を考慮した MS 手法[7]、及び信頼性制約下で動作周波数を最小化する MS 手法[8]、及び、WH のコストを最小化する MS 手法を提案した[9]。文献[1]-[9]の何れも静的 TDMA を前提とし、設計時に一通りのメッセージスケジュールを定め、それを変更することなく用いる手法である。**実際の IVNS では、自動車走行の環境や計画に依存して、通信信号がアクティブとなるか否かが定まる為、通信信号がアクティブとならない場合は、割り当てられた TS は使用されない。**未使用の TS を生じると通信資源の不足が生じ、結果として実時間性を確保する為に高速な通信回路及び WH を導入せざるを得なくなる。**自動車走行の環境や計画に依存した通信信号のアクティビティを取り扱うことができるメッセージスケジューリング手法が必要である。**最近、我々は、自動車走行の環境や計画に依存した通信信号のアクティビティに着目し、その時々でアクティブとなる通信信号の集合を対象とし、メッセージスケジュールを定め、状況に応じてメッセージスケジュールを適応的に変更する**動的スロットマルチプレクシング法**の研究に着手した[10]。TS の浪費を最小限に抑える動的スロットマルチプレクシング法により、通信バスの動作周波数を抑制でき、安価な WH や通信回路を選択でき、より競争的な IVNS を実現できる。

表 1. 関連研究との比較 .

	通信バスの動作周波数	部材コスト	信頼性	実時間制約を満たす信号数	設計拡張性	バンド幅使用率	SM	MSG 再送	NW TPLGY	動作モード
[1]				目的関数						
[2]					目的関数					
[3]						目的関数				
[4]					目的関数	目的関数	変数			
[5]			制約			目的関数		制約		
[6]	目的関数									
[7]	目的関数						変数			
[8]	目的関数		制約					変数		
[9]		目的関数					変数		変数	
[10]	目的関数						変数			制約

■ 参考文献

- [1] I. Park and M. Sunwoo, *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 4, pp. 1449–1459, Apr. 2011.
- [2] H. Zeng *et al.*, *IEEE Trans. Industrial Informatics*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–17, Feb. 2011.
- [3] K. Schmidt and E. G. Schmidt, *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, Vol. 58, No. 5, pp. 2170–2179, Jun. 2009.
- [4] M. Lukaszewycz *et al.*, *Proc. CODES+ISSS*, pp. 363–372, Oct. 2009.
- [5] B. Tanasa *et al.*, *Proc. Real Time Systems Symposium*, pp. 385-394, Nov. 2010.
- [6] M. Sugihara *et al.*, *Journal of Information Processing*, Vol.20, No.1, pp. 46-52, Jan. 2013.
- [7] M. Sugihara *et al.*, *Journal of Information Processing*, Vol. 21, No. 3, pp. 563-571, July 2013.
- [8] 岩永明人ら, *情報処理学会論文誌*, 第 54 巻, 7 号, pp. 1873-1882, 2013 年 7 月.
- [9] M. Sugihara, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol. E97-D, No. 12, pp. 3041-3051, Dec. 2014.
- [10] 杉原真, *情報処理学会 DA シンポジウム*, pp. 157-162, 2016 年 9 月.

3 . 研究の方法

本課題においては TDMA 方式に基づく IVNS を対象とし、システム設計者が規定する動作モード、実時間性及び信頼性の制約下で、

1. **通信信号のメッセージスケジュール**
2. **ネットワークトポロジ**
3. **動作周波数及び単価が異なるワイヤハーネスの選択**

といった 3 つの設計パラメータを最適化し、通信資源の使用率を向上することで、部材コストを

最小化する IVNS を自動合成する設計技術を研究した。**新規的概念である動作モードを具現化する合成系を開発し、合成系を用いた実験を行うこと**で本研究の有効性を示した。

本課題で実現を目指す、動作モードを導入した IVNS 自動合成技術の概略を図 3 に示す。まず、システム設計者は通信信号を規定することが求められる。ここで、通信信号とは送信ノードの振る舞いと定義され、1.送信ノード、2.メッセージ送信の周期、3.相対デッドライン時刻、4.一つのメッセージ当りのデータ量、及び 5.受信ノード集合、の 5 つ組で規定されるものである。次に、システム設計者は自動車走行の環境や計画を考慮し、アクティブとなる通信信号の集合を定めることで動作モードを定めることが要求される。動作モードは通信信号集合のサブセットとして規定される。設計者が通信信号及び動作モードを規定することで、動作モード毎に通信信号のメッセージをスケジュールすることができる。全ての動作モードの中で最も動作周波数が高いものが IVNS の動作周波数となる。

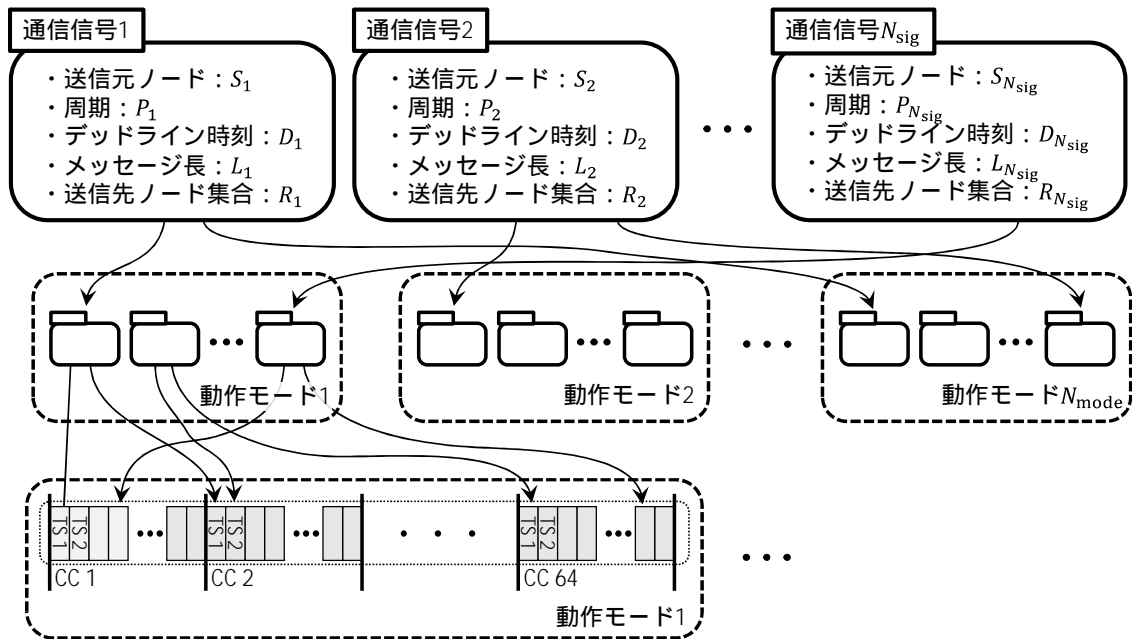


図 3. 動作モードを導入した IVNS のメッセージスケジューリング。

4. 研究成果

本研究課題においては、当初の研究計画に掲げていたように、動作モードにかかる FS、NW トポロジ (階層バス型) の合成の具現化、及びベンチマークの実施を行った。具体的には、メッセージスケジューリング及び NW トポロジを合成するためのプログラム開発を行い、そのプログラムを用いて定量的評価を実施した。また、研究成果を論文として外部公表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Makoto Sugihara	4. 巻 9(2)
2. 論文標題 Dynamic Slot Multiplexing Under Operating Modes for TDMA-Based Real-Time Networking Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electronics	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/electronics9020224	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----