

氏 名	NURUL AZMA BINTI ZAKARIA		
博士の専攻分野の名称	博士（学術）		
学位記号番号	博理工甲第 764 号		
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 24 日		
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
学位論文題目	Stepwise Refinement in Executable-UML for Embedded System Design (組込みシステム設計のための実行可能 UML の段階的詳細化)		
論文審査委員	委員長	教授	吉田 紀彦
	委員	教授	程 京徳
	委員	准教授	伊藤 和人
	委員	准教授	堀山 貴史

論文の内容の要旨

The fast growth in complexity coupled with requests for shorter development periods for embedded systems are bringing demands towards a more effective, i.e. higher levels of abstraction design process for hardware/software integrated design in order to increase productivity. At higher levels which are called system-level, there is no difference between hardware and software and great productivity gains can be achieved by starting design from this level.

In system-level design, typical design methodologies such as SpecC, SystemC and SystemVerilog are widely used in design process. These methodologies are very dependent on the languages and platforms that restrict the flexibility of the design and due to increased design complexity a new way of designing is necessary. Therefore, what we need is a language-independent framework which will increase the design portability and also accelerate design process.

In this thesis, we introduce a modeling framework using Executable-UML (xUML) and Model-Driven Architecture (MDA) concepts to support specification and modeling of embedded system. We outline a transformation mechanism from an abstract specification into a concrete model by applying the refactoring technique through well-defined sequence steps. We also present a set of refactoring rules which acts as guidelines in design process. Our approach has been verified by model simulation using iUML suite (MDA tool). We also present preliminary results on stepwise exploration of communication models.

The content of this thesis is organized as follows: First, we provide an introduction to the system design area. We discuss the motivation and goal of this research in Chapter 1. Then, in Chapter 2, we review some background topics that are essential to the subject under study. Chapter 3 is the related works chapter, which represents what is done in this area by showing examples of different researches and discussing their advantages and disadvantages. Next, in Chapter 4, we present the overall design of Stepwise Refinement in Executable-UML for Embedded System Design

project. We define the models at each level, and describe in detail how to gradually refine one model into the next. In order to demonstrate the methodology, we apply it to real system example, a voice encoder/decoder for mobile telephony (GSM Vocoder), in Chapter 5. Chapter 6 introduces the exploration of communication model. Finally, in Chapter 7, we present the conclusion and future works.

The outcomes of this research will benefit system-level design area in general where it helps to increase design portability and produce richer and more useful documentation of design process. For system designers, this approach provides a simplified design process based on well-defined, clear, and structured models and guidelines at each design phase. This makes the design process easily understood, thus low designer expertise is required. It will also reduce the amount of resources and the man power required to complete a SoC design. Furthermore, the top-down approach applied in this research encourages stepwise decision making and enables quick exploration and synthesis, and promotes early stage verification. Finally, researchers and students in the area of system design will find an example of a formal, well-structured design flow in this thesis.

論文の審査結果の要旨

システム LSI や組込みシステムなど、ハードウェアとソフトウェアが連携して動作するシステムの普及が加速している中、それらは従来ハードウェアとソフトウェアが独立に設計・開発・検証されてきたが、システムの大規模化と複雑化、一方でライフサイクルの短縮化から、工程の飛躍的な効率化が急務となっている。そこで、ハードウェアとソフトウェアが未分化段階の抽象的仕様から段階的に等価変換を施していったハードウェアとソフトウェアそれぞれの具体的実装に持ち込む「システムレベル設計」と呼ばれる設計手法が確立されつつある。

システムレベル設計における段階的詳細化(具体化)設計プロセスにおいては、様々な抽象度のモデル記述、およびモデルの等価変換、すなわち挙動を保ったまま内部を作り換える方式が本質的に重要であるが、現状ではいずれも非形式的な自然言語や、意味論の定義されていないプログラムによる記述に留まっており、内部がブラックボックスの支援ツールに設計が依存する、正当性の検証や確認が難しい、具体化プロセスの部品化・再利用ができない、などの弊害を引き起こしている。

本学位論文はシステムレベル設計について、モデルの記述形式および変換方式を論じたものである。まず、ソフトウェア工学分野での近年の成果であるモデル駆動アーキテクチャ (Model Driven Architecture、MDA) を応用し、意味論が厳密に定義された実行可能かつ検証可能な仕様記述形式である実行可能 UML (Executable UML、xUML) を用いてモデルを記述する形式を構築した。次に、これもソフトウェア工学の成果であるリファクタリング (Refactoring) 技術を応用し、実行可能 UML モデルの変換ルールを明示的に定式化して、様々な抽象度の間でモデルを変換する実践的な方式を構築した。そして、以上が実際のシステムレベル設計に適用できて効果があることを、簡単な問題から実用的なシステム例、さらに先進的な例題まで用いて確認している。論文の構成は以下の通りである。

第 1 章では、システムレベル設計の概要と意義、およびシステム LSI や組込みシステムなどの設計における位置付けを示し、現状の問題点と、その解決に向けた本研究のアプローチをまとめた。

第 2 章では、ハードウェア・ソフトウェア統合設計としてシステムレベル設計について解説した。すなわち、ハードウェアとソフトウェアが未分化な段階から、システムのハードウェア部分とソフトウェア部分を統合的・協調的に設計する手法であること、抽象的仕様から具体的実装を段階的に詳細化しながら設計していくこと、代表的なものとして SpecC 方法論があり、その設計フローでは「仕様モデル構築 → アーキテクチャ探索 → 通信合成 → 実装」という段階を経ることなどを述べた。

次に、本研究で基盤として利用する技術であるリファクタリング技術、およびモデル駆動アーキテクチャと実行可能 UML について、解説した。リファクタリング技術が元々はシステムの保守性と再利用性の向上のために考案された、システム内部を再構成する技術であること、モデル駆動アーキテクチャが大規模で複雑なソフトウェアの設計生産性を高める目的で考案されてソフトウェア工学の学术界、産業界に徐々に浸透し始めており、そこでは仕様記述形式として実行可能 UML が用いられていることなどを述べた。

第3章では、特にモデル駆動アーキテクチャと実行可能UMLについて、システムLSIや組込みシステムなどの設計に適用を試みた関連研究がすでに幾つかあることから、それらを分析した。そして、概ねレジスタ・トランスファ・レベル(RTL)のモデルを実行可能UMLで記述するに留まっていること、まだシステムレベル設計におけるモデル変換まで視野に入れたものはないことなどを明らかにした。

第4章では、以上を踏まえて、まず、システムレベル設計における様々な抽象度のモデルをモデル駆動アーキテクチャにおける実行可能UMLに基づいて記述する形式を示した。すなわち、各々の抽象度に対応するxUMLモデルを規定し、モデル記述を構成するクラス構成図、ステートチャート図などを説明した。

次に、段階的詳細化におけるモデル変換ルールをリファクタリング技術によって定式化する方法について詳述した。リファクタリング技術が段階的詳細化にも適用できることを述べた上で、設計プロセスの最下層を除く全体について、ルールを洗い出して整理し、カタログ化した。

そして、機能と通信(機能間の相互作用)の分離、通信の詳細化を例として取り上げ、簡単な問題について、xUMLでモデル記述できること、リファクタリング・ルールの連鎖適用でモデル変換、詳細化が実現できることを確認し、実現性と妥当性を論じた。

第5章では、携帯電話の音声信号処理に用いられるGSMボコーダという実用システムを取り上げ、前章の成果を適用して実用可能性を検証した。まず、ここでのGSMボコーダの仕様をまとめた上で、主要部分についてxUMLに基づくモデル記述を示した。次に、前章と対応する形で、特に機能と通信の分離、通信の詳細化について、GSMボコーダのモデル変換を示した。

第6章では、昨今の車載ネットワークなどに典型的に見られるような、組込みシステムをネットワーク上に展開した分散組込みシステムという先進的なシステム形態について、前章までの成果の適用可能性を探った。システムレベル設計の方法論そのものが分散組込みシステムにまだ十分に対応できていないこと、特にネットワーク通信の抽象的モデルから様々なネットワーク形態の実装のいずれに具体化していくべきかを選択するプロセスが見過ごされていることを指摘し、このプロセスを「通信探索」と名づけた。

そして、特に車載ネットワークに現れるネットワーク形態を取り上げて、様々な抽象度のネットワーク通信をxUMLに基づいて記述する形式、そして通信探索のモデル変換をリファクタリングに基づいて記述する方式を示した。以上によって、通信探索の重要性とシステムレベル設計への取込みの必要性を論じ、ならびに、前章までの成果の有効性を検証した。

第7章では、本研究から得られた成果と知見をまとめ、残された研究課題を示した。

本論文は、大規模化・複雑化するシステムの設計効率化に向けて将来的な展開が期待されているシステムレベル設計手法について、その深化発展に大きく寄与貢献するものである。なお、その主要な内容は、すでに幾つかの学術論文誌や全文査読の国際会議論文集において公表されている。以上より、本論文を博士(学術)の学位に相応しいものと認め、合格と判定した。