HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Scenario Verification for Proximity-Based Federation of Smart Objects Using Model Checking [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	蓑田, 玲緒奈
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第13081号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/70416
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Reona_Minoda_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (情報科学)　氏名　蓑田　玲緒奈

審査担当者　主　査　教　授　湊 真一
副　査　教　授　有村 博紀
副　査　准教授　瀧川 一学

学位論文題名

Scenario Verification for Proximity-Based Federation of Smart Objects Using Model Checking
（モデル検査によるスマートオブジェクトの近接連携シナリオの形式検証）

携帯情報機器や IC タグ等の小型端末を生活空間のいたるところに配置して, 様々な情報サービスを提供する技術は, ユビキタスコンピューティング (UC) と呼ばれ,1990 年代より多くの研究が行われて来た. 今日では多くの人々が高性能なスマートホンや IC カードを持ち歩き, 多彩なサービスを当たり前のように受けられる世の中となっている. 近年,Internet of Things (IoT) と呼ばれる概念も提唱され, ユビキタスコンピューティング技術は, さらに重要性を増している.

著者は, 複数の情報端末 (スマートオブジェクト) が環境中で出会って互いを認識し協調動作を行うこと, すなわちオブジェクト間の連携とその解消を, どのような仕組みで実装すれば正しく確実に行えるかということに興味を持ち, オブジェクトが持つ機能の形式的記述に基づいた設計検証手法の研究に取り組んできた.

オブジェクト間の連携の可否を記述する方法として,2010 年に Tanaka が基本アイデアを提唱し 2016 年に Julia らが改良した触媒反応ネットワーク (CRN: Catalytic Reaction Network) によるモデルがある. このモデルでは, オブジェクトの連携を仲介するゲート装置を環境中に設置することを想定しており, オブジェクトが特定のゲート装置の近傍に運ばれたときにのみ, オブジェクト同士の連携またはその解消が行われる. オブジェクトの連携を化学反応とみなすと, ゲート装置は化学反応の触媒とみなせることから, 触媒反応ネットワーク (CRN) と呼ばれている. このモデルは, 多くの典型的な UC シナリオをわかりやすく記述することができ, 実装も比較的容易であるという特長がある.

CRN は, 複数のオブジェクトとゲート装置との関係性を記述できるが, これらが現実世界においてどのように移動するかを形式的に記述することはできなかった. 著者は, 各オブジェクトが移動する可能性があるトポロジカルな経路を有向グラフにより表現し, そのグラフと CRN との組合せによって UC シナリオをモデル化する方法を新規に考案し, これを Context-CRN (CCRN) と名付けた.CCRN の提案は本論文の最も基本的な貢献と言える. 著者はさらに, 形式的検証の分野で広く使われている形式的モデル検証の手法を導入し, 時相論理によって UC シナリオが満たすべき性質を記述することで, これが常に満たされるかどうかを網羅的に検証することを可能とした. 本論文の 3 章では上記の CCRN による形式的モデル検査の枠組みを述べている.

著者は状態遷移を明示的に列挙する素朴なアルゴリズムを用いて, 提案手法の正当性を示したが, より大規模な例題に対応するため,4 章では, 類似する状態をまとめて扱う「記号モデル検査」の手法を導入している. これにより実用的な規模の UC シナリオに対して, 現実的な計算時間と記憶量で設計の検証または誤り検出ができることを実験的に明らかにした.

さらに 5 章では, 不確実な動作モデルを表現可能な「確率的 CCRN モデル」への拡張を提案し, 確率的に信頼性を評価する「確率的モデル検査」の技法を導入した. すなわち, 外乱によるオブジェクト同士の連携の失敗や, ユーザーの行動の振る舞いの不確実性を考慮するため, 確率的な解析が行えるように検証システムを拡張する方法を提案している. これによりオブジェクト連携の信頼性を高めるコストと,UC シナリオの信頼性のトレードオフを評価できるようになった.

本論文の成果は次のようにまとめられる.

(1) 従来用いられていた CRN モデルによるオブジェクト連携方法の記述に加えて, オブジェクトの移動トポロジーを表現する有向グラフを追加した「Context-CRN」モデルを新規に考案し, モデル検査の技法を用いて UC シナリオの網羅的な検証が行えることを示した.

(2) 大規模な例題を効率的に検証するために, 類似する状態をまとめて扱う「記号モデル検査」と呼ばれる手法を適用し,UC シナリオ検証における有効性を実験的に示した.

(3) 不確実なモデルを扱うために,「確率的モデル検査」と呼ばれる手法を実行する枠組みを新たに提案し,UC シナリオの信頼性と連携を確実に行うコストのトレードオフを定量的に解析することを可能とした.

これを要するに, 著者は, ユビキタスコンピューティングの分野において, スマートオブジェクト同士の動作仕様を形式的に記述した上で, モデル検査の技法を用いて設計検証や誤り検出を行う実用的な枠組みを新規に考案し, その有効性を理論的・実験的に示したものであり, ユビキタスコンピューティングと形式的検証に関する理工学において貢献するところ大なるものがある. よって著者は北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める.