

テンプレートに基づく線形時相論理式の生成手法

ラク イヒン[†] 鷲崎 弘宜[†] 深澤 良彰[†]

早稲田大学[†]

1. はじめに

モデル検査においては、検証したい性質を線形時相論理 (LTL) 式で記述する必要がある。LTL 式を作成するために性質パターンを用いる手法がある。しかし、既存手法では線形時相論理や性質パターンに関する知識が不可欠であり、LTL 式を作成する際にも多くの時間を必要とする。また、手動で記述するため、複雑な LTL 式を作成する際に記述ミスが発生する可能性も高くなる。そのため、より理解しやすく、かつ、効率的な LTL 式生成手法が求められている。

本研究では、LTL 式の作成において、自然言語のテンプレートに基づく LTL 式の生成手法を提案する。また、LTL 式生成ツールと既存手法を用いて比較実験を行い、以下の研究課題について述べる。

RQ1: LTL 式生成ツールによって LTL 式の作成時間が向上できるか？

RQ2: LTL 式生成ツールによって LTL 式作成の正解率が向上できるか？

2. 性質パターンによる LTL 式の生成手法

LTL 式の生成を支援する 1 つの手法として、Dwyer らの性質パターン[1]がある。性質パターンでは、モデル検査でよく使われる LTL 式の記述を性質ごとに分類し、8 個のパターンにパターン化している。LTL 式を作成する際に、適切なパターンを選んでパターンマッピングにより LTL 式を作成できる。

しかし性質パターンを適用する際に線 LTL 式や性質パターンを理解する必要がある。また、複雑な性質に対して、手作業により記述ミスが発生する可能性も高くなる。従って、より理解しやすく、かつ、効率的な LTL 式生成手法が求められている。

3. 提案手法

上記の課題を解決するため、自然言語のテンプレートに基づく線形時相論理式の生成手法を提案する。提案手法では、それぞれの性質パターンに対して自然言語のテンプレートを用意する。Dwyer らの性質パターンでは全部で 8 個のパターンがあるため、それぞれのパターンに対して自然言語のテンプレートを用意する。テンプレートの一例は以下ようになる。

「A template-based method for generating linear temporal logic」

[†] Weibin Luo, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Waseda University.

パターン名：普遍 (Universality)

テンプレート：ずっと〇〇である

対応するパターンマッピング：[!P]

LTL 式を作成する際に適切なテンプレートを選ぶことで LTL 式を生成できる。提案手法の概要図を図 1 に示す。以下は図 1 と図 2 の例題を用いて提案手法で LTL 式を生成する手順を説明する。

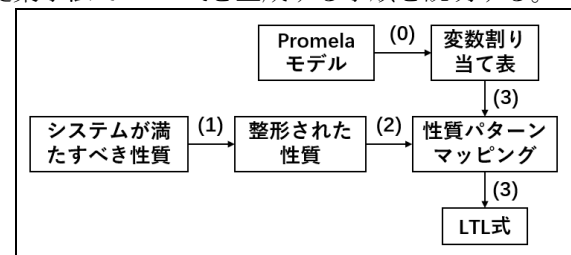


図 1 提案手法の概要図

- (0) 事前準備として、Promela モデルからパラメータと変数名の割り当て表を作成する。図 2 のように、変数割り当て表には色のタイプ (パラメータ) とモデル上の color_type_state (変数名) との対応が記述されている。
- (1) システムが満たすべき性質に従い適切なテンプレートを選択してもとの性質を書き直す。例題の場合では、「ずっと〇〇である」を選択し、もとの性質を「ずっと色のタイプ=有色である」と書き直し、整形された性質と呼ぶ。
- (2) LTL 式生成ツールにより、整形された性質から性質パターンを決定する。例題の場合では「ずっと〇〇である」というテンプレートを選択したため、パターンは普遍パターンと自動的に判断される。
- (3) LTL 式生成ツールは変数割り当て表を解析し、整形された性質の中のパラメータを変数名と変数がとる値に置き換えて、パターンマッピングにより LTL 式を自動生成する。

満たすべき性質：どんなときにおいても、色のタイプは有色である。

変数割り当て表：

パラメータ	変数名	変数がとる値
色のタイプ	color_type_state	有色(color)

図 2 問題例

4. 実験

提案手法の有効性を確認するために、システムが満たすべき性質から LTL 式を作成する際に提案手法と既存手法を、作成時間及び正解率について

比較する。

実験では、Dwyer らが調査した性質[2]の中から 8 個の性質を選び、表 2 のように 2 つのセットに分け、両手法で解く問題の差をなくすため、対応した問題のパターンを同じように設定した。難易度について、P1 と P5 は簡単な性質（普遍パターン）、P3 と P7 は複雑な性質（応答パターン）を選んだ。被験者について、10 名の参加者を 2 つのグループに分けた。グループ 1 は既存手法で LTL 式を作成してから提案手法を用いる。グループ 2 はその逆の順番で LTL 式を作成する。また、実験の後にアンケートを用いて表 3 の問題について回答してもらった。

5. 結果

5.1 RQ1: LTL 式生成ツールによって LTL 式の作成時間が向上できるか？

LTL 式作成の所要時間を図 3 に示す。図 3 から、2 つのグループでは提案手法のほうが所要時間が少なく、グループ 1 に比べてグループ 2 のほうが両手法の所要時間の差が少ないことが分かった。また、LTL 式の平均作成時間と t 検定結果を表 1 に示す。表 1 により、グループ 1 では p 値が小さく、有意な差が見られた、グループ 2 では有意な差が見られなかった。これはグループ 2 が提案手法を用いてから既存手法を使用するため、LTL 式を作成することに慣れたと考えられる。

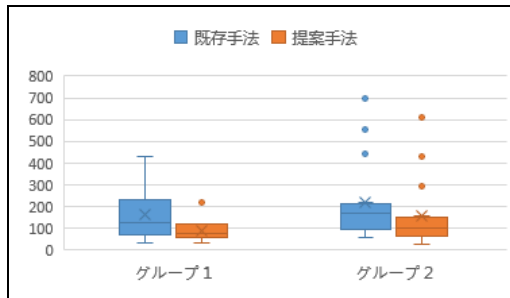


図 3 LTL 式作成の所要時間 [s]

表 1 平均時間[s]と t 検定結果

	既存手法	提案手法	p 値
G1	164.25	87.63	0.004348
G2	219.69	154.13	0.298281

5.2 RQ2: LTL 式生成ツールによって LTL 式作成の正解率が向上できるか？

正解率を表 2 に示す。表 2 により、提案手法の正解率が高いことが分かった。その中、C, D, E, F, J は提案手法を使うことで正解率が向上した。また、B, H, I のように既存手法のほうが正解率が高い場合もある。アンケートの結果によると、その原因はテンプレートを選択する際に似たような表現のテンプレートが複数あり、判断が難しくなったためと考えられる。また、簡単な性質（P1、P5）では両手法の差はほとんどなかったが、複雑な性質（P3、P7）では提案手法の正解率が高いことが確認された。

表 2 LTL 式作成の正解率（○：正解 X：不正解）

	被験者	既存手法				提案手法			
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
G1	A	○	○	X	○	○	○	X	○
	B	○	○	○	○	○	○	X	○
	C	○	○	X	○	○	○	○	○
	D	○	X	X	○	○	○	○	○
	E	○	X	X	X	○	○	○	X
	F	○	○	X	○	○	○	○	○
G2	G	○	○	X	○	○	○	X	○
	H	○	○	○	○	○	X	○	○
	I	○	○	○	○	○	○	X	X
	J	○	X	X	X	○	○	X	○
正解数		10	7	3	8	10	9	5	8
合計		28 (70%)				32 (80%)			

5.3 アンケート結果

アンケートの結果を表 3 に示す。表 3 から、既存手法では「パラメータの当てはめが難しい」という問題は提案手法により改善された。また、提案手法は「楽にできる」、「感覚的に実施できる」という意見があった。しかし、提案手法では「日本語テンプレートの曖昧さから選択肢を判断しにくい」、「式の妥当性をチェックできない」という問題がある。

表 3 アンケート結果（一部）

Q1: 既存手法を使用する際に難しいと思ったところは何ですか？
論理式内のパラメータの当てはめの難しさ (5 人)
パターン当てはめの難しさ (4 人)
Q2: 提案手法（ツール）を使用する際に難しいと思ったところは何ですか？
テンプレートの曖昧さから選択肢を判断しにくい (7 人)
論理式内のパラメータの当てはめの難しさ (1 人)
Q3: 提案手法と既存手法を比べて良い点はどこだと思いますか？
選択式なので素早く、楽にできる (7 人)
感覚的に実施できる (4 人)
Q4: ツールの改善点について、もしあれば書いてください。
テンプレートとパターンの対応を明確化 (4 人)
式の妥当性をチェックできるようにしてほしい (3 人)

6. まとめ

本研究では、自然言語のテンプレートに基づく線形時相論理式の生成手法を提案した。実験により提案手法が既存手法に比べて所要時間が短縮され、正解率が向上したことが確認された。

今後の課題として、曖昧さのないテンプレートの設計や、生成された LTL 式の妥当性確認などが考えられる。

謝辞

本研究は、株式会社デンソーとの共同研究として行われた。共同研究の関係者の方々及び実験の参加者に感謝する。

参考文献

- [1]Matthew B. Dwyer, George S.Avrinin, James C. Corbett, Proceedings of the 21st International Conference on Software Engineering, May, 1999
- [2]http://patterns.projects.cs.ksu.edu/documentation/specifications/AL_L.raw
- [3]経済産業省, フォーマルメソッド導入ガイドンス, 2011