

# 確率的モデル検査ツール PRISM を用いた P2P ネットワークプロトコルの解析

1210356 濱田 擁 【ソフトウェア検証・解析学研究室】

## 1 はじめに

一般に、ネットワークプロトコルが特定の性質を満たすか解析したり性能を解析したりする際にはネットワークシミュレータが用いられる。しかし、ネットワークシミュレータを用いた解析では、動作が完了するまでにエラー回数が規定回数以上になる確率を求める等、ネットワークを設計する上での詳細な動作の解析には不向きという欠点がある [1]。ネットワークシミュレータの持つこのような欠点から、詳細な解析を行う場合には別のツールを併用し解析を行う必要があると考えられる。

本研究では確率的モデル検査ツール PRISM を用いて P2P ネットワークプロトコルのモデル化を行い、ピアへファイルが行き渡るまでの単位時間とエラー数に関する確率を時相論理を用いた解析により求めることで、PRISM による解析が有用であることを示す。

## 2 確率的モデル検査

確率的モデル検査とは、システムの確率的なふるまいを考慮することを可能としたモデル検査の一種であり、代表的なツールとして今回使用する PRISM が挙げられる。PRISM 言語によって解析対象モデルの動作を記述し、PCTL や LTL などの確率的時相論理を仕様記述言語として用いて確率モデルの解析を行う。PRISM 言語では、ガードと呼ばれる遷移と確率の記述が可能な述語を用いることによって確率モデルを構築できる。

## 3 PRISM による解析

### 3.1 解析対象プロトコル

今回解析対象として、動作が単純であり確率的要素を含む P2P ネットワークプロトコルを選択した。各 50 個のピアを持つ 2 つの ISP と、ISP 間を結ぶ中継点 IX で構成されたネットワークでの P2P ファイル共有を仮定する。初期状態では 1 つのピアがファイルを持ち、その他のピアがファイル要求を行うものとし、ファイルの送受信相手はランダムで選択を行うものとする。また、ISP 内でのファイル送受信で 1 単位時間、ISP 間でのファイル送受信で 10 単位時間、エラー発生時に 1 単位時間経過するものとする。ただし、ファイル送受信時にエラーが発生する確率を等しく 1% とし、最大のエラー回数を 100 回とする。

### 3.2 解析事項

上記プロトコルにおける以下の事項についての解析と実行時間の測定を行った。

1. 経過時間が  $K$  単位時間以上でエラー数が 0 回とな

る確率 ( $500 \leq K \leq 580$ )

2. 経過時間が 450 単位時間内でエラー数が  $N$  回を越え、最終的に 500 単位時間を越える確率 ( $0 \leq N \leq 4$ )

上記の 1, 2 はそれぞれ  $P=?[(F \text{ step} \geq K) \& (G \text{ error}=0)]$  及び  $P=?[F 500 \geq \text{step} \& (\text{error} \leq N \cup (\text{error} > N \& \text{step} < 450))]$  という時相論理式を PRISM に与えることで計算させる。

解析によってそれぞれ表 1, 表 2 の結果が得られた。

表 1 解析事項 1 の解析結果

| 経過時間 K   | 500    | 520   | 540    | 560   | 580   |
|----------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 確率       | 0.311  | 0.268 | 0.214  | 0.127 | 0.077 |
| 解析時間 (秒) | 1142.9 | 984.7 | 1000.8 | 992.4 | 994.6 |

表 2 解析事項 2 の解析結果

| エラー数 N   | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 確率       | 0.561 | 0.202 | 0.052 | 0.010 | 0.002 |
| 解析時間 (秒) | 30.8  | 29.2  | 31.3  | 32.0  | 32.3  |

## 4 PRISM のネットワーク動作解析器としての評価

前節の解析により、時相論理式を PRISM を用いてモデルに適用することで複数の条件を持った複雑な解析ができることを明らかにした。ネットワークシミュレータを用いて複雑な解析を行う場合、モデルそのものに手を加える必要があり、シミュレーションの正しさを保証しにくくなる。PRISM では網羅的で複雑な解析が可能で、またモデルと解析内容も分離される。

## 5 まとめ

本研究では、P2P ネットワークプロトコルの解析を確率的モデル検査ツールによって行うことでネットワーク解析器としての評価を行った。その結果、PRISM はネットワークシミュレータと比較して複雑な条件を持った解析に対して有用であることを示した。

## 参考文献

- [1] 伊藤, 長岡, 岡野, 楠本, “確率的モデル検査ツールを用いた実時間ネットワークシステムの検証手法の提案およびネットワークシミュレータ NS-2 との比較”, 信学技報, SS2009-18, pp.37-42, Aug. 2009.