

Title	幾何学的手法を用いた有理数プレスブルガー文真偽判定アルゴリズム
Author(s)	柴田, 直樹
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3184187">https://doi.org/10.11501/3184187</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	柴田直樹
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 16336 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科情報数理系専攻
学位論文名	幾何学的手法を用いた有理数プレスブルガー文真偽判定アルゴリズム
論文審査委員	(主査) 教授 谷口 健一  (副査) 教授 柏原 敏伸 教授 東野 輝夫 教授 増澤 利光

### 論文内容の要旨

本論文は、筆者が大阪大学大学院基礎工学研究科に在学中に行なった計算機科学に関する研究のうち、有理数プレスブルガー文真偽判定法の時間短縮に関する研究をまとめたものである。

ハードウェアやソフトウェアの正しさを保証するための手法として形式的設計検証がある。形式的設計検証において有理数を含む仕様等が扱えると、実時間プロトコルのテストやハードウェアのタイミング検証などが扱えるようになる。有理数を扱うことのできる検証系を実現する上で課題となるのは、加算を持つ有理数の理論（有理数変数、有理数定数、 $+$ 、 $-$ 、 $=$ 、 $<$ 、 $\wedge$ 、 $\vee$ 、 $\neg$ 、 $\forall$ 、 $\exists$ からなる理論）の閉論理式（有理数プレスブルガー文または RP 文と呼ぶ）のような、有理数変数を含む論理式の高速な真偽判定ルーチンの実現である。

本研究では有理数プレスブルガー文真偽判定アルゴリズムの判定時間短縮を目指し、(1)従来知られていた Ferrante、Rackoff の RP 文真偽判定アルゴリズムよりも最悪時間計算量のオーダーの少ない真偽判定アルゴリズムを考案し、また、(2)このアルゴリズムに対する高速化法を考案、実装し、評価を行なった。

Ferrante、Rackoff のアルゴリズムが式変形により真偽判定を行なうのに対し、(1)において提案したアルゴリズムは計算幾何学的手法を利用して真偽判定を行なう。両真偽判定アルゴリズムの最悪時間計算量オーダーは二重指数であるが、この一重指数部を  $1/2$  の大きさに改善した。また、連続した一つの領域を表現するために(1)のアルゴリズムでは多数の隣接する凸多面体を使用していたものを、(2)のアルゴリズムでは、一つの凹多面体で表現することにより、処理する多面体の数を最少にすることなどにより高速化した。本手法で高速化したアルゴリズムを実装し、非同期バスマスタ転送を行なう時間オートマトンの適合性試験系列生成に適用したところ、この例題において現れた変数の数が16個、不等式の数が20個程度の RP 文を CPU 時間数秒程度 (Pentium III 600MHz) で判定できた。また、試験系列生成における判定時間の合計はおおよそ20分であった。Ferrante、Rackoff のアルゴリズムによるルーチンおよび高速化する前のアルゴリズムを実装したルーチンでは、その例に対し実用上判定不可能であった。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、有理数プレスブルガー文真偽判定の時間短縮に関する研究成果について述べている。本研究では、まず

有理数プレスブルガー文真偽判定の最悪時間計算量オーダーを改善している。これは、Ferrante と Rackoff が、1979 年にその真偽判定アルゴリズムを発表して以来、初めて時間計算量オーダーを改善したものである。Ferrante、Rackoff のアルゴリズムでは、判定の過程で処理する空間内の領域を表現するデータに冗長な部分が含まれていたが、本研究で提案されている真偽判定アルゴリズムでは、計算幾何学の手法を用いて、多次元空間内における領域の位置関係を利用し、データの冗長な部分を削減することにより、最悪時間計算量オーダーの二重指数の一重指数部を約  $1/2$  の大きさに改善している。

また、本論文では、考案した上記のアルゴリズムに対し、凹多面体を直接扱うことで、領域を表すデータ量をさらに削減する方法を用いた高速化法を考案し、この方法の実装および評価を行っている。多次元凹多面体の分割アルゴリズムを独自に考案し、これらの処理を含む判定ルーチンを実装しているという点で評価できる。これらの判定時間短縮のための手法により、実用時間で判定できる式のサイズは大幅に改善され、例題として採用した非同期バスマスタ転送を行う時間オートマトンの適合性試験系列生成における有理数プレスブルガー文の真偽判定が20分程度でできるようになった。また、高速化前のアルゴリズムでは判定時間が判定する式のサイズの二重指数に比例する振舞いを示していたのに対し、高速化後のアルゴリズムでは、一重指数に近い振舞いにまで改善されていることが観測されており、本研究で得られた真偽判定ルーチンは、比較的小規模であれば、実際の検証に適用できるようになったといえる。

以上のように、本論文では有理数プレスブルガー文真偽判定の時間短縮について理論的観点と実用的観点の両方から研究成果をあげ、ハードウェア、ソフトウェアの形式的検証技術の発展に貢献しており、博士（工学）論文として価値あるものと認める。