

論文内容の要旨

博士論文題目:

A Decidable Subclass of Term Rewriting Systems
Which Effectively Preserve Recognizability
(構成的正則保存項書換え系の決定可能な部分クラス)

氏名: 高井 利憲

項書換え系は、木構造 (項) を扱う代表的な計算モデルである。近年、項書換え系の部分クラスである、構成的正則保存項書換え系が注目されている。木言語 (項の集合) L が正則であるとは、 L を受理する木オートマトンが存在することである。項書換え系 R が構成的正則保存であるとは、任意の正則木言語 L に対して、 R による書換えより L から得られる項全体の集合を受理する木オートマトンを構成できることをいう。構成的正則保存項書換え系に対しては、項書換え系に関するいくつかの重要な性質、例えば、局所合流性や到達可能性などが決定可能になることが知られている。与えられた項書換え系が構成的正則保存であるかどうかは決定不能であるため、多くの決定可能な部分クラスが提案されてきた。しかし、それらのクラスはいくつかの簡単な構成的正則保存項書換え系を含んでおらず、十分広い部分クラスとはいえない。

本論文では、決定可能な項書換え系の部分クラス、有界重なり項書換え系を提案し、任意の右線形有界重なり項書換え系が構成的正則保存であることを示す。また、右線形有界重なり項書換え系は、今までに知られている、他の決定可能な構成的正則保存の部分クラスを真に含むことも示す。

強正規化性 (停止性) は、項書換え系の重要な性質の一つである。しかし、強正規化性は決定不能であるため、強正規化性が決定可能になるような部分クラスがいくつか提案されてきた。長谷と外山は、成長的項書換え系を提案し、木オートマトンを用いて、準直交成長的項書換え系に対しては、強正規化性が決定可能になることを示した。

本論文の後半では、有界重なり項書換え系の左辺と右辺を入れ換えて得られる逆有界重なり項書換え系について考察する。長谷と外山の方法を利用し、与えられた準直交逆有界重なり項書換え系に対して、強正規化性が決定可能になることを示す。

(論文審査結果の要旨)

項書換え系 (TRS) は代数的仕様記述や関数型言語の操作的意味論、定理証明などに広く応用されている代表的な計算モデルの一つである。最近、TRSの性質の一つとして、構成的正則保存性が注目されている。構成的正則保存性をもつTRSは、到達可能性や会同性が決定可能であるなどの良い性質をもつ。しかし、与えられたTRSが構成的正則保存性をもつかどうかは決定不能である。

本論文では、構成的正則保存性をもつ決定可能なTRSの部分クラスとして、Right-linear Finitely Path Overlapping Term Rewriting System (右線形有界重なり項書換え系, RL-FPO-TRS) を提案し、RL-FPO-TRSならびに関連するTRSの諸性質について考察している。

木オートマトンは、文字列を入力とする通常の有限状態オートマトンにおいて入力を項に拡張したものである。木オートマトン (TA と略記) A が受理する項全体の集合を $L(A)$ と書く。項の集合 (木言語とも呼ぶ) T が正則であるとは、 $T=L(A)$ なる TA が存在することをいう。木言語 T に属する項から TRS R による書換えで得られる項全体の集合を、 T の R による像といい、 $(\rightarrow^*_R)[T]$ と書く。TRS R が構成的正則保存性をもつ (EPR-TRS と略記) とは、任意の TA A に対し、 $(\rightarrow^*_R)[L(A)]$ もまた正則であり、それを受理する TA を A と R から構成できることをいう。本論文の主な結果は以下の通りである。

1. TRSの新しい部分クラスRL-FPO-TRSを提案し、このクラスがEPR-TRSの部分クラスであることを証明している。
2. RL-FPO-TRSが、従来知られていたEPR-TRSの決定可能な部分クラスを真に含むことが示されている。
3. TRS R において無限の書換え系列が存在しないとき、 R は停止性をもつという。FPO-TRSの左辺と右辺を入れ換えたTRSであるFPO⁻¹-TRSに着目し、準直交的FPO⁻¹-TRS R に対して、 R が停止性をもつかどうか決定可能であることが示されている。

R がEPR-TRSであることを示すためには、任意のTA A に対して $(\rightarrow^*_R)[L(A)]$ を受理するTAを構成すればよい。従来の手法では、このTAの構成が単純となるよう、書換え規則の右辺に対してかなり強い構文上の制約が置かれていた。これに対し本論文では、

- 任意の右線形 TRS に対して部分正当性が保証される TA の構成法を与え、
- 書換え規則の左辺と右辺に現れる部分項の重なり関係に着目し、構成法が停止するための極めて一般性の高い十分条件を与えている。

本論文で提案する手法と得られた結果は、項書換え系における重要な知見を与えており、その発展に寄与するところが大きい。従って、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。