

氏名(本籍)	しお 塩	まさ 雅	ゆき 之	(静岡県)
学位の種類	博士(工学)			
学位記番号	博甲第1,910号			
学位授与年月日	平成10年3月23日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	工学研究科			
学位論文題目	エンヴェロープ理論とその応用			
主査	筑波大学教授	工学博士	五十嵐	滋
副査	筑波大学教授	理学博士	井田	哲雄
副査	筑波大学教授	Ph. D.	坂本	直人
副査	筑波大学助教授	理学博士	細野	千春

論文の内容の要旨

本論文は、並行プログラム検証のための形式的体系であるエンヴェロープ理論とその拡張を提示し、その応用について述べたものである。

本論文の基礎となる純粋エンヴェロープ理論は束論の概念に基づき、代数的に検証を行う形式的体系である。有理数の理論 T にプログラムラベルとプログラム変数を表す特別な定数を加えた理論を T_c とする。プログラム変数やラベルの値は時刻に対して左連続な階段関数として変化し、その変化点は離散的であるものとする。したがって T_c の論理式の真理値も時刻に対して左連続な階段関数的として変化し、変化点は離散的である。純粋エンヴェロープ理論では、 T_c の理論式の解釈が真である時刻の集合を考え、それをその論理式の時刻集合と定義する。これにより、論理式を集合として扱うことができる。さらにそれがなす集合束に閉包概念を特殊化したエンヴェロープと呼ぶ新たな集合演算子をつけ加える。ある T_c の論理式 P_1 の時刻集合にエンヴェロープの演算を用いて作られる集合は、 T_c の論理式 P_1 が最初に真になる時刻以降を表す。この集合と T_c の論理式 P_2 の時刻集合との積集合を作ることにより、 T_c の論理式 P_1 の成立した後の T_c の論理式 P_2 の成立する時刻を表すことができる。以上の範囲は、本論文著者の研究グループの共同研究の成果であるが、本論文著者がより洗練されたものに再構成したものである。

また、 T_c の論理式が最初に成立する時刻(立ち上がり)は観察する時刻によって変化するため、観察時刻を伴った解釈を与える。この観察時刻から有理数の部分集合への関数をアピアランスと呼び、アピアランスは各観察時刻での、観察時刻以降の時刻集合として解釈される。このように観察時刻が変わっても本質的に変化しない基本的なアピアランスをモノジェニックと呼ぶ。また、モノジェニックなアピアランスとエンヴェロープから上記の逐次実行を表す演算で帰納的に作られるアピアランスをモノクロージャと呼ぶ。このような識別は強力な正しい(sound) 推論規則を与えるためにも不可欠である。

以上により、より複雑な概念を集合として扱うことが可能となり、プロセスのスケジューラの一般化概念「拍車」がモノクロージャの形で無理なく表現され、時相論理では不自然な形で扱われていた並行プログラムが自然な形で扱えるようになった。公理系は、LK風の推論規則にモノジェニックとモノクロージャの性質を用いた推論規則を加えた簡潔な公理系にまとまっている。例題として Dekker の解をあげ、飢餓回避問題を検証している。

次に、有理数時間を陽に表現するための拡張を行う。「有理数時刻後」を表す新たな集合演算子 (+) を加える。

この演算子は、もとの集合のすべての要素に有理数を加えることで、新たな集合を作る。こうした集合の比較をすることにより、二つのイベントの間の時間の差を表現する。また、これに伴い公理を追加し、推論規則を改める。これによりプログラムの実行時間に関する仕様表現・検証が可能となり、証明できる範囲が広がっている。例題として、Dekker の解に各プロセス中の個々のステップの実行時間の上限と下限を与えたものを示している。プログラムの性質と実行時間の上限と下限の関係から、非現実的な場合が除去され、実行時間を含まない証明より簡潔でしかも有効な情報を含んだ検証が行われた。

さらに、連続的に変化する外部の系を扱うための拡張を行う。まず、対象となる外部の系を表す外部変数を考える。ただし、扱う外部変数は時刻の関数としてとらえたときに、連続かつ拍車の表す時刻以外の点では微分可能であり、周期を持つ場合はその周期が0に収束しないものに制限する。理論 T_e に外部変数を表す定数を加えた理論を T_v とする。本論文で提唱している体系では、 T_e の論理式の真理値が左連続に変化するものしか扱うことができない。しかし、一般に外部変数の値の変化は左連続な階段関数的ではないため、 T_v の論理式は左連続な変化にならない。そのため、外部変数の値の変化を左連続な階段関数で近似したモデルを用いることで、対処している。また、エンヴェロープ理論上で外部変数の値の振舞を検証するために、理論 T_v の定理をエンヴェロープ理論に導入する推論規則を追加する。この推論規則により微分方程式を利用して外部変数の値の振舞を検証することが可能となる。最後に、例題として、水位制御問題、T字路における自動車の合流問題が述べられる。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、連続的に変化する実際の物理現象を離散的に制御するプログラムの形式的な表現とその論理的検証の研究としては、体系の洗練度等で物足りないものの、従来の時相論理や期間カリキュラムに比して構造が透明であり、評価できる。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。