

Отчет по индивидуальному научному проекту “Эквивалентности для моделей параллельных и распределенных систем”

Тарасюк И.В.

В последние годы широкое распространение получили вычислительные машины с параллельной архитектурой. Одними из важнейших формальных моделей спецификации и анализа параллельных и распределенных систем являются обычные и временные сети Петри.

Переходы сетей Петри могут помечаться действиями, которые выполняет моделируемая система, и все эти действия обычно считаются “видимыми” для внешнего наблюдателя за ее поведением. Однако, при моделировании реальных сложных систем может возникнуть необходимость абстрагироваться от некоторой “внутренней” их активности. Для этой цели вводится специальное “невидимое” действие τ , которое не учитывается при анализе поведения. Помеченные этим действием переходы называются “невидимыми”. Класс сетей Петри с невидимыми переходами обладает большей описательной силой, чем сети Петри с видимыми переходами.

Во временных сетях Петри срабатывание переходов может быть не мгновенным, а протяженным во времени событием. Таким образом, действия, помечающие переходы временных сетей Петри, соответствуют различного рода активностям моделируемой системы, имеющим длительность. В рамках такого формализма возможен анализ поведения систем реального времени. Класс временных сетей Петри является существенным обобщением обычных сетей Петри. Переходы временных сетей Петри могут помечаться как видимыми действиями, обычно имеющими длительность, так и невидимыми, которые выполняются мгновенно.

Понятие эквивалентности является важнейшим понятием любой теории систем. Поведенческие эквивалентности позволяют сравнивать системы с учетом тех или иных аспектов их функционирования. В настоящее время определен ряд эквивалентностей, из которых наиболее известной является бисимуляционная. Ее огромное значение для сравнения и редукции параллельных систем, доказательства их корректности неоднократно отмечалось в литературе. В теории эквивалентностных понятий активно изучаются проблемы получения достаточно представительного их набора, сравнения в соответствии с их различающей силой, а также сохранения данных отношений в процессе нисходящей разработки и исследования на ограничениях формальных моделей.

Во время работы над проектом были получены следующие результаты, вносящие вклад в решение указанных проблем.

1. Обычные сети Петри.

В [2, 3, 6] введен ряд новых эквивалентностей для сетей Петри с видимыми переходами: следовые эквивалентности частичных слов и процессов, ST-бисимуляционная и сохраняющая историю процессные бисимуляционные эквивалентности, дополняющие имеющийся набор отношений в следовой и ряде бисимуляционных семантик. Определена также новая эквивалентность на мультиструктурах событий, полностью учитывающая конфликты действий.

В [4, 5] предложены новые отношения, абстрагирующиеся от невидимых действий (τ -эквивалентности) для сетей Петри с невидимыми переходами: интерливинговая и сохраняющая историю ветвистые ST- τ -бисимуляционные эквивалентности, учитывающие ветвистую структуру функционирования сетей и различающие начало и конец срабатывания переходов, а также τ -эквивалентность мультиструктур событий, полностью учитывающая конфликты действий. Введен ряд новых обратных-прямых τ -эквивалентностей, тесно связанных с эквивалентностными понятиями темпоральных логик, имеющих модальности “прошлого”.

В результате получен методологически полный набор эквивалентностей в семантиках от “интерливинговой” до “истинного параллелизма” и от “линейного” до “ветвистого” времени, различающихся по степени учета таких базисных понятий, как параллелизм и конфликт, для сетей Петри с видимыми и невидимыми переходами.

В указанных работах построены диаграммы взаимосвязей всех эквивалентностей, позволяющие лучше понять различающую способность этих отношений и дающие возможность выбора наиболее подходящего критерия равенства (семантики) для каждой конкретной ситуации.

Выявлены композиционные аспекты сохранения поведенческих свойств моделируемых параллельных систем, то есть стабильность эквивалентностей относительно операции детализации, заменяющей переходы сетей на подсети определенного вида и соответствующей смене текущего уровня абстракции на более низкий. Таким образом, дается ответ на вопрос о том, какие эквивалентностные понятия могут быть использованы при разработке систем по методу “сверху-вниз”.

Установлена взаимосвязь эквивалентностных отношений на подклассе сетей Петри: последовательных сетях, в которых невозможно параллельное срабатывание переходов. Это позволило упростить сравнение сетей данного подкласса и выяснить роль параллелизма в определениях эквивалентностей.

2. Временные сети Петри.

В [1] на временных сетях Петри с видимыми переходами введен и исследован ряд временных, не-временных и региональных эквивалентностей, способных в различной степени учитывать временные аспекты поведения моделируемых систем.

Дана региональная характеристика временных эквивалентностей, позволяющая упростить проверку последних за счет слияния в “регионы” бесконечного числа промежуточных состояний, различающихся лишь некоторыми параметрами временной составляющей и имеющих одинаковые потенциалы дальнейшего функционирования.

Выяснено соотношение всех эквивалентностей и построена диаграмма их взаимосвязей на основе различающей способности этих отношений.

Разработан композиционный подход к проверке эквивалентности временных систем посредством введения новой операции временной детализации. Установлено, какие эквивалентности сохраняются при этой операции и, следовательно, могут быть использованы в нисходящей разработке временных параллельных систем.

Выяснена взаимосвязь эквивалентностей на подклассе временных сетей: не-временных сетях, в которых все переходы срабатывают мгновенно. Это позволило глубже понять природу эквивалентностных отношений и роль времени в их определениях.

Список литературы

- [1] VIRBITSKAITE I.B., TARASYUK I.V. *Equivalence notions and refinement for timed Petri nets. Joint Novosibirsk Computing Center and Institute of Informatics Systems Bulletin, Series Computer Science* **9**, Novosibirsk, 1998.
- [2] ТАРАСЮК И.В. *Понятия эквивалентностей для разработки параллельных систем с использованием сетей Петри. Программирование* **4**, Наука, Москва, 1998.
- [3] ТАРАСЮК И.В. *Эквивалентности сетей Петри для анализа параллельных систем. Сборник статей победителей всероссийского конкурса “Молодые Дарования - 97”*, Москва, 1998.
- [4] TARASYUK I.V. *τ -equivalences for analysis of concurrent systems modelled by Petri nets with silent transitions*. Тезисы докладов 3-го Международного конгресса по прикладной и индустриальной математике - 98 (ИНПРИМ'98), 22–27 июня 1998, Новосибирск, издательство Института математики, Новосибирск, 1998.
- [5] TARASYUK I.V. *τ -equivalences for analysis of concurrent systems modelled by Petri nets with silent transitions*. Proceedings of 3rd INPRIM'98, Novosibirsk, June 22–27, 1998, Joint Novosibirsk Computing Center and Institute of Informatics Systems Bulletin, Series Computer Science, Novosibirsk, 1998.
- [6] TARASYUK I.V. *Place bisimulation equivalences for design of concurrent systems*. Pre-proceedings of MFCS'98 Workshop on Concurrency, Brno, Czech Republic, August 27–29, 1998, Petr Janchar and Mojmír Kretinský, eds., Faculty of Informatics, Masaryk University, *FIMU Report Series FIMU-RS-98-06*, p. 184–198, July 1998.
- [7] TARASYUK I.V. *Place bisimulation equivalences for design of concurrent and sequential systems*. Proceedings of MFCS'98 Workshop on Concurrency, Brno, Czech Republic, August 27–29, 1998, *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* **18**, 16 p., 1998 (submitted).

- [8] TARASYUK I.V. *τ -equivalences and refinement*. Proceedings of International Refinement Workshop and Formal Methods Pacific - 98 (IRW/FMP'98), Work-in-Progress Papers, Canberra, Australia, 29 September – 2 October 1998, Jim Grundy, Martin Schwenke and Trevor Vickers, eds., *Joint Computer Science Technical Report Series TR-CS-98-09*, The Australian National University, September 1998.