

ЗАДАЧИ ВЕРИФИКАЦИИ ЛОГИЧЕСКИХ ОПИСАНИЙ КОМБИНАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Черемисинова Л. Д., Новиков Д. Я.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: cld@newman.bas-net.by

Описывается комплекс задач, являющихся базисными при верификации логических описаний комбинационных устройств при наличии функциональной неопределенности.

ВВЕДЕНИЕ

В литературе задача верификации традиционно рассматривается для случая, когда сравниваемые описания функционально полностью определены и представляют структурные реализации одного и того же устройства, и заключается в доказательстве их поведенческой эквивалентности. В практике проектирования часто необходимо решать задачу верификации и для случая, когда одно или оба сравниваемых описания функционально не полностью определены.

В настоящей работе предлагается комплекс задач, составляющих базис для решения задач верификации комбинационных устройств, заключающихся в проверке функциональной эквивалентности пары логических описаний: исходного и порожденного в результате выполнения проектных операций оптимизации и синтеза комбинационных устройств – на области определения наименее определенного из описаний.

Сравниваемые описания (исходное и порожденное в процессе проектирования) могут быть заданы в одной из следующих форм: система частично определенных булевых функций (ЧБФ) (к которой приводятся системы логических уравнений и полностью определенных булевых функций, заданных в ДНФ); комбинационная схема из вентилях или элементов КМОП-библиотеки; многоблочная структура, блоки которой задаются в виде системы ДНФ или ЧБФ.

Система ЧБФ задается множеством многовыходных интервалов (u^f, t^f) , или наборов (b^f, t^f) , где троичный u^f и булев b^f векторы представляют собой интервал или набор на множестве аргументов, а t^f – троичный вектор значений функций на этом интервале или наборе.

Комбинацией методов решения базисных задач верификация выполняется на основе

1) моделирования порожденного описания верифицируемого устройства на области задания исходного описания;

2) сведения задачи верификации к проверке выполнимости КНФ;

3) комбинации первых двух подходов.

Методы моделирования эффективны для случая задания ЧБФ на наборах значений аргументов или “небольших” интервалах. Методы второго класса эффективны для случая задания

системы ЧБФ на “крупных” интервалах, охватывающих подпространства большой размерности.

I. ВЕРИФИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Алгоритмы решения нижеследующих задач реализуют параллельное моделирование схем сразу на всех наборах или интервалах из области определения системы ЧБФ исходного описания. Они включают анализ результатов моделирования и выявление интервалов области задания исходного описания, не реализуемых порожденным описанием. Выделяются следующие четыре задачи верификации на основе моделирования.

1. Двоичное моделирование [1] схемы из вентилях И, ИЛИ, НЕ на множестве многовыходных наборов исходной системы ЧБФ.

2. Троичное моделирование [1] схемы из вентилях на множестве многовыходных интервалов исходной системы ЧБФ. Решение задачи не всегда дает однозначный ответ о реализуемости исходной системы ЧБФ, в этом случае выделяется та часть области ее определения, реализуемость которой остается под вопросом.

3. Троичное моделирование многоблочной структуры [2], каждый блок которой есть система ЧБФ, на на множестве многовыходных наборов исходной системы ЧБФ.

4. Двоично-троичное моделирование [1] схемы из вентилях на множестве многовыходных интервалов исходной системы ЧБФ. Сначала выполняется троичное моделирование (задача 2); выделяется область, реализуемость которой остается под вопросом; затем интервалы этой области раскрываются до наборов и выполняется двоичное моделирование (задача 1).

II. ВЕРИФИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ ПРОВЕРКИ ВЫПОЛНИМОСТИ КНФ

Верификация посредством сведения к задаче проверки выполнимости КНФ основана на построении такой КНФ, выполнимость которой свидетельствует о нарушении реализуемости исходного описания порожденным. Искомая КНФ состоит из КНФ разрешения, описывающей все допустимые, или разрешенные, комбинации сигналов на полюсах многоблочной структуры (или

на полюсах элементов схемы), заданной порожденным описанием, и КНФ запрета, описывающей всевозможные комбинации сигналов, которые противоречат функциям исходной системы ЧБФ. Предложенные методы построения КНФ запрета основаны на таком кодировании интервалов из области задания исходной системы ЧБФ, которое удовлетворяет необходимым и достаточным условиям из [3]. Выделяются следующие группы задач из области верификации на основе проверки выполнимости КНФ.

1. Построение КНФ разрешения комбинационной схемы (из вентилей или элементов КМОП библиотеки) [3].

2. Построение КНФ разрешения многоблочной структуры с функциональной неопределенностью на основе: 2.1) парафазной реализации [5] ЧБФ; 2.2) метода импликаций [6]; 2.3) импликаций с кодированием условий [6].

3. Построение КНФ запрета системы ЧБФ на основе: 3.1) единичного кодирования многовыходных интервалов [3], позволяющего получать КНФ с дизъюнктами небольшого ранга; 3.2) логарифмического [4] и 3.3) интервального кодирования [7], позволяющих значительно сократить число кодирующих переменных.

4. Проверка выполнимости КНФ с помощью одного из известных SAT-решателей.

5. Проверка эквивалентности пары полностью определенных описаний (системы ДНФ, схемы из вентилей и библиотечных элементов). Строятся и объединяются КНФ разрешения для исходного и порожденного описаний (задача 1), проверяется выполнимость КНФ (задача 4).

6. Последовательная проверка реализуемости многовыходных интервалов исходной системы ЧБФ [3]. Строится КНФ разрешения для порожденного описания (задача 1 для схемы или системы ДНФ; одна из задач 2 для многоблочной структуры с неопределенностью или системы ЧБФ). Этот метод используется, когда требуется диагностировать несоответствие исходного описания порожденному.

7. Параллельная проверка реализуемости многовыходных интервалов, задающих исходную систему ЧБФ [3]. Объединяются КНФ разрешения для порожденного описания (одна из задач 1–2) и КНФ запрета для исходного описания (одна из задач 3), выполняется проверка выполнимости полученной КНФ (задача 4).

8. Групповая проверка реализуемости многовыходных интервалов, задающих исходную систему ЧБФ [3]. Множество интервалов делится на группы, проверяемые независимо (задача 7).

III. ВЕРИФИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПОДХОДА

Исследования показали, что верификация на основе моделирования производится примерно в 60 раз быстрее, по сравнению с методом, основанным на проверке выполнимости КНФ, но

не обеспечивает в отличие от последней полноту верификации. Комбинированный подход к верификации основан на совместном использовании этих двух методов [8]. Сначала выполняется моделирование (алгоритмы 1–3, раздел 1). Если после его выполнения остается некоторое множество многовыходных интервалов исходной системы ЧБФ, вопрос о реализуемости которых остается открытым, то оно делится на два подмножества. В первое подмножество вносятся и расщепляются до наборов интервалы с небольшим числом определенных компонент (до 5–6), производится. Реализуемость интервалов второго множества проверяется сведением к задаче проверки выполнимости КНФ (одна из задач 5–8, раздел 2).

Приведенные алгоритмы программно реализованы и собраны в комплекс [9], позволяющий эффективно решать задачи верификации для разных пар логических описаний комбинационных устройств, встречающихся при проектировании комбинационных устройств в базе библиотечных элементов КМОП СБИС.

1. Cheremisinova, L. Simulation-based approach to verification of logical descriptions with functional indeterminacy / L. Cheremisinova, D. Novikov // Information Theories and Applications. – 2008. – Vol. 15, № 3. – P. 218–224.
2. Черемисинова, Л. Д. Верификация многоблочных структур с функциональной неопределенностью / Л. Д. Черемисинова, Д. Я. Новиков // Известия Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2009. № 2. – P. 98–105.
3. Черемисинова, Л. Д. Формальная верификация описаний с функциональной неопределенностью на основе проверки выполнимости КНФ / Л. Д. Черемисинова, Д. Я. Новиков // Автоматика и вычислительная техника. – 2010. – № 1. – P. 5–16.
4. Cheremisinova, L. SAT-based method of verification using logarithmic encoding / L. Cheremisinova, D. Novikov // Information Science and Computing. – 2009. – № 15. – P. 107–114.
5. Новиков, Д. Я. Верификация функциональных описаний с неопределенностью на основе парафазного представления булевых функций / Д. Я. Новиков, Л. Д. Черемисинова // Информатика. – 2010. – № 3. – P. 54–62.
6. Новиков, Д. Я. Анализ реализуемости описаний с функциональной неопределенностью на основе проверки выполнимости конъюнктивной нормальной формы / Д. Я. Новиков, Л. Д. Черемисинова // Автоматика и вычислительная техника. – 2011. – № 4. – P. 36–48.
7. Черемисинова, Л. Д. Формальная верификация логических описаний с функциональной неопределенностью на основе логарифмического кодирования условий / Л. Д. Черемисинова // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 7. – P. 139–153.
8. Новиков, Д. Я. Исследование методов верификации описаний с функциональной неопределенностью на основе моделирования / Д. Я. Новиков, Л. Д. Черемисинова // Автоматика и вычислительная техника. – 2012. – № 5. – P. 13–25.
9. Черемисинова, Л. Д. Программные средства верификации описаний комбинационных устройств в процессе логического проектирования / Л. Д. Черемисинова, Д. Я. Новиков // Программная инженерия. – 2013. – № 7. – P. 8–15.