

Математическая логика и логическое программирование

mk.cs.msu.ru → Лекционные курсы

→ Математическая логика и логическое программирование (3-й поток)

Блок 52

Формальная верификация

Лектор:

Подымов Владислав Васильевич

E-mail:

valdus@yandex.ru

ВМК МГУ, 2024/2025, осенний семестр

Вступление

В математической логике есть ещё много такого,
что было бы полезно и интересно обсудить, но не получится,
так как времени до конца осталось не так уж и много

Поэтому остановимся подробно только на одном разделе:
как можно при помощи логических методов решить какую-нибудь
очень нетривиальную и очень полезную прикладную задачу,
казалось бы не связанную с логикой

Обсудим в деталях одну такую задачу из области программирования

Ошибки в программах

«Любая нетривиальная программа
содержит хотя бы одну ошибку»

(автор неизвестен)

Правильная программа¹ не содержит ошибок и решает задачу, которую требовалось решить при помощи этой программы

Эти утверждения выглядят разумно, но порождают ряд нетривиальных вопросов, например:

- ▶ Что такое «ошибка», насколько плохо её наличие, и нужно ли её вообще искать?
- ▶ Можно ли как-нибудь убедиться, что ошибок в программе нет и она действительно решает поставленную задачу?

¹ Из утверждения выше следует, что такой программы не существует среди нетривиальных — но можно и пофантазировать

Ошибки в программах

Подход к проверке правильности работы программы, про который знает каждый программист — это **тестирование**:

- ▶ придумывается показательный набор входных данных программы (тестовое покрытие)
- ▶ программа выполняется на тестовом покрытии
- ▶ результаты выполнения программы сравниваются с ответами к задаче, которые считаются правильными

Основной недостаток такого подхода:

ошибки всё равно остаются в программе, хотя их и становится меньше

Кроме того, в современном мире широко применяются вычислительные системы, для которых даже после «качественного» тестирования

не гарантируется отсутствие критичных ошибок:

аппаратные и программно-аппаратные, интерактивные и распределённые системы, сложные программные комплексы, ...

Ошибки в программах

В некоторых случаях протестировать код — это приемлемо («более-менее работает, а дальше пусть пользователь разбирается»), но далеко не всегда: даже от небольших ошибок серьёзно зависит прибыль компаний¹, успешность проектов мирового масштаба², быт людей³ и даже их жизни⁴

1 1994. Процессор Intel, ошибка в реализации деления чисел с плавающей точкой
⇒ замена дефектных процессоров, сотни миллионов \$ убытка

2 1962–сейчас. Ракеты и спутники, взорвавшиеся и исчезнувшие из-за программных ошибок: Фобос (пропущена кавычка), Ariane 5 (ошибка в округлении чисел), Mars Global Surveyor (перепутаны английская и метрическая системы мер), Hitomi (ошибка в программе стабилизации вращения), ...

3 2003. Полное отключение электричества в нескольких областях США и Канады
⇐ ошибка в реализации взаимодействия программ оповещения об электрической нагрузке (race condition)

4 1980-е гг. Пять смертей при лечении рака аппаратом Therac-25 ⇐ ошибочное увеличение мощности радиационного облучения при очень редком сочетании времён выполнения параллельных подпрограмм (race condition)

Формальная верификация

Есть и другой подход к проверке правильности вычислительных систем:

- ▶ формулируется набор требований к выполнению системы, означающих «система функционирует правильно»
- ▶ **строго** доказывается или опровергается утверждение о том, что математическая модель, достаточно точно описывающая систему, удовлетворяют этим требованиям

Требования такого вида, записанные на математическом языке, называются **формальной спецификацией** системы, и соответствующий язык — **языком спецификаций**

Проверка соблюдения требований с помощью математических методов называется **формальной верификацией** системы

Если в качестве языка спецификаций выбрать какой-либо **логический язык**, то для проверки правильности программы можно будет использовать **логические методы**