Качество программного обеспечения

Тенденции индустрии разработки ПО

- Объем программ растет
- Время разработки новых версий ПО сокращается
- Все большее число задач решается программно
- ПО все больше используется при решении критически важных задач
- Существенная часть ПО является свободной и поставляется “as is”

Известные примеры программных ошибок

- **США, 1962 год.** Гибель несущего аппарата “Маринер-1”.
  - Причина – ошибка в одном символе программы
    - DO 100 I = 1, 10
    - DO100I = 1.10
- **США, 1987 год.** Ускоритель Therac-25. Переоблучение пациентов онкоклиник.
  Причина – ошибка «race condition»
- **США, 1991 год.** Комплекс Patriot. Погибло 28 чел.
  - Причина – ошибка округления
- **Европа, 1996 год.** Ракета Ариан-5. Ущерб $7 млрд.
  - Причина – использование унаследованного кода

Известные примеры программных ошибок

- **США, 2003 год.** Сбой в энергосистеме (Blackout). Ущерб 7-10 млрд.$.
  - Причина – ошибка «race condition»
- **Израиль.** Сбой навигационной системы самолетов F16.
  - Причина - высотомер выдавал значение ≤0.
- **Голландия, 2000 год.** Остановка доменной печи 29 февраля. Гибель 6 человек.
  - Причина - ошибка в процедуре расчета даты.
- …

Что такое качественное ПО?

- Вариант 1: ПО, в котором отсутствуют ошибки
- Вариант 2: ПО, соответствующее требованиям

Качество ПО

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 (ISO 9126):
  - ***Качество ПО*** – весь объем признаков и характеристик программной продукции, который относится к её способности удовлетворять установленным и предполагаемым свойствам
  - ***Характеристики качества*** – набор свойств программной продукции, по которым её качество описывается и оценивается

Характеристики качества ПО

- Функциональность (Functionality)
- Надежность (Reliability)
- Практичность (Usability)
- Эффективность (Efficiences)
- Сопровождаемость (Maintainability)
- Мобильность (Portability)

Характеристики качества. Функциональность

- ***Функциональность*** - набор атрибутов характеризующий, соответствие функциональных возможностей ПО набору требуемой пользователем функциональности.
- Подхарактеристики:
  - Пригодность (соответствие требуемому набору функций)
  - Корректность (правильность, точность)
  - Способность к взаимодействию (с другими компонентами и системами)
  - Согласованность (соответствие стандартам)
  - Защищенность

Характеристики качества. Надежность

- ***Надежность*** - набор атрибутов, относящихся к способности ПО сохранять свой уровень качества функционирования в установленных условиях за определенный период времени.
- Подхарактеристики:
  - Стабильность (число отказов при ошибках)
  - Устойчивость к ошибкам
  - Восстанавливаемость
  - Доступность/Готовность

Характеристики качества. Практичность

- **Практичность** (удобство) - набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для исполнения и индивидуальной оценки такого исполнения определенным или предполагаемым кругом пользователей.
- Подхарактеристики:
  - Понятность (организации)
  - Изучаемость
  - Простота использования
  - Привлекательность

Характеристики качества. Эффективность

- **Эффективность** - набор атрибутов, относящихся к соотношению между уровнем качества функционирования ПО и объемом используемых ресурсов при установленных условиях.
- Подхарактеристики:
  - Временная эффективность
  - Используемость ресурсов

Характеристики качества. Сопровождаемость

- ***Сопровождаемость*** - набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для проведения конкретных изменений (модификаций).
- Подхарактеристики:
  - Анализируемость
  - Изменяемость
  - Стабильность
  - Тестируемость

Характеристики качества. Мобильность

- **Мобильность** (переносимость)- набор атрибутов, относящихся к способности ПО быть перенесенным из одного окружения в другое.
- Подхарактеристики:
  - Адаптируемость
  - Простота установки (внедрения)
  - Соответствие стандартам (подчинение стандартам или соглашениям, относящимся к мобильности)
  - Взаимозаменяемость

Качество ПО. Заинтересованные лица

- Пользователь/заказчик
  - Функциональность
  - Надежность
  - Практичность
  - Эффективность
- Разработчик/руководитель
  - Сопровождаемость
  - Мобильность

Стандарты качества ПО

- Мировые стандарты
  - ISO/IEC 9126. Software engineering - Product quality:
    - Part 1: Quality model
    - Part 2: External metrics
    - Part 3: Internal metrics
    - Part 4: Quality in use metrics
  - ISO/IEC 25000:2005. Software Engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)
- Российские стандарты
  - ГОСТ 28195-89 «Оценка качества программных средств»
  - ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 «Оценка программной продукции»

Оценка качества ПО. Программометрика

- Программометрика - наука о количественном оценивании свойств программного обеспечения
- Программная метрика - мера, позволяющая получить численное значение некоторого свойства программного обеспечения или его спецификаций

Использование метрик для оценки качества

- Функциональность – метрики тестирования
- Практичность – метрики эргономики
- Сопровождаемость – ***метрики кода***
- Мобильность – ***метрики кода***
- Надежность – метрики тестирования, динамические методы
- Эффективность – только динамические методы

Метрики программного обеспечения

- Различные системы метрик позволяют оценивать различные характеристики ПО:
  - Локализация
  - Инкапсуляция
  - Информационная закрытость
  - Наследование
  - Абстракция
  - Связность объектов программы
  - Сложность
  - Размер
  - И т.п.

Метрики программного обеспечения

- Существует множество систем метрик:
  - Метрики Холстеда
  - Метрики Л. Константейна и Э. Йордана
  - Метрики Л. Отта и Б. Мехра
  - Метрики Д. Биемена и Б. Кенга
  - Метрики С. Чидамбера и К. Кемерера
  - Метрики М. Лоренца и Д. Кидда
  - Метрики Ф. Абреу
  - Метрики Р. Байндера
  - И т.п.

Метрики Ф. Абреу (MOOD)

- Набор метрик MOOD (Metrics of Object-Oriented Design)
- Разработаны Фернандо Абреу в 1994 г.
- Цели:
  - Описание ОО-механизмов: инкапсуляция, наследование, полиморфизм, обмен сообщений
  - Формализованность метрик
  - Независимость от размера ПО
  - Независимость от ЯП

Метрики MOOD

- Фактор закрытости метода (MHF)
- Фактор закрытости свойства (AHF)
- Фактор наследования метода (MIF)
- Фактор наследования свойства (AIF)
- Фактор полиморфизма (POF)
- Фактор сцепления (COF)

MOOD. Фактор закрытости метода

- MHF – Method Hiding Factor
- Показывает долю скрытых методов в программе
- $MHF = \sum_{1..N}(Mh_i) / \sum_{1..N}(Mh_i + Mv_i)$
  - Mh_i – число скрытых неунаследованных методов класса i
  - Mv_i – число видимых неунаследованных методов класса i

MOOD. Фактор закрытости свойства

- AHF – Attribute Hiding Factor
- Показывает долю скрытых свойств в программе
- $AHF = \sum_{1..N}(Ah_i) / \sum_{1..N}(Ah_i + Av_i)$
  - Ah_i – число скрытых неунаследованных свойств класса i
  - Av_i – число видимых неунаследованных свойств класса i

MOOD. Фактор наследования метода

- MIF – Method Inheritance Factor
- Показывает долю унаследованных непереопределенных методов в программе
- $MIF = \sum_{1..N}(MI_i) / \sum_{1..N}(MN_i + MI_i + MO_i)$
  - MI_i – число унаследованных непереопределенных методов класса i
  - MN_i – число новых методов класса i
  - MO_i – число унаследованных переопределенных методов класса i

MOOD. Фактор наследования свойств

- AIF – Attribute Inheritance Factor
- Показывает долю унаследованных непереопределенных свойств в программе
- $AIF = \sum_{1..N}(AI_i) / \sum_{1..N}(AN_i + AI_i + AO_i)$
  - AI_i – число унаследованных непереопределенных свойств класса i
  - AN_i – число новых свойств класса i
  - AO_i – число унаследованных переопределенных свойств класса i

MOOD. Фактор полиморфизма

- POF – Polymorphism factor
- POF = $\sum_{1..N}(MO_i) / \sum_{1..N}(MN_i * D_i)$
  - MN_i – число новых методов класса i
  - MO_i – число унаследованных переопределенных методов класса i
  - D_i – количество потомков класса i

MOOD. Фактор сцепления

- COF – Coupling Factor
- Определяет долю пар классов, связанных отношением «клиент-поставщик»
- $COF = \sum_{i \in 1..N} \sum_{j \in 1..N} (C_{ij}) / (N \cdot (N-1))$
  - C_{ij} = 1, если класс i имеет собственную ссылку на класс j

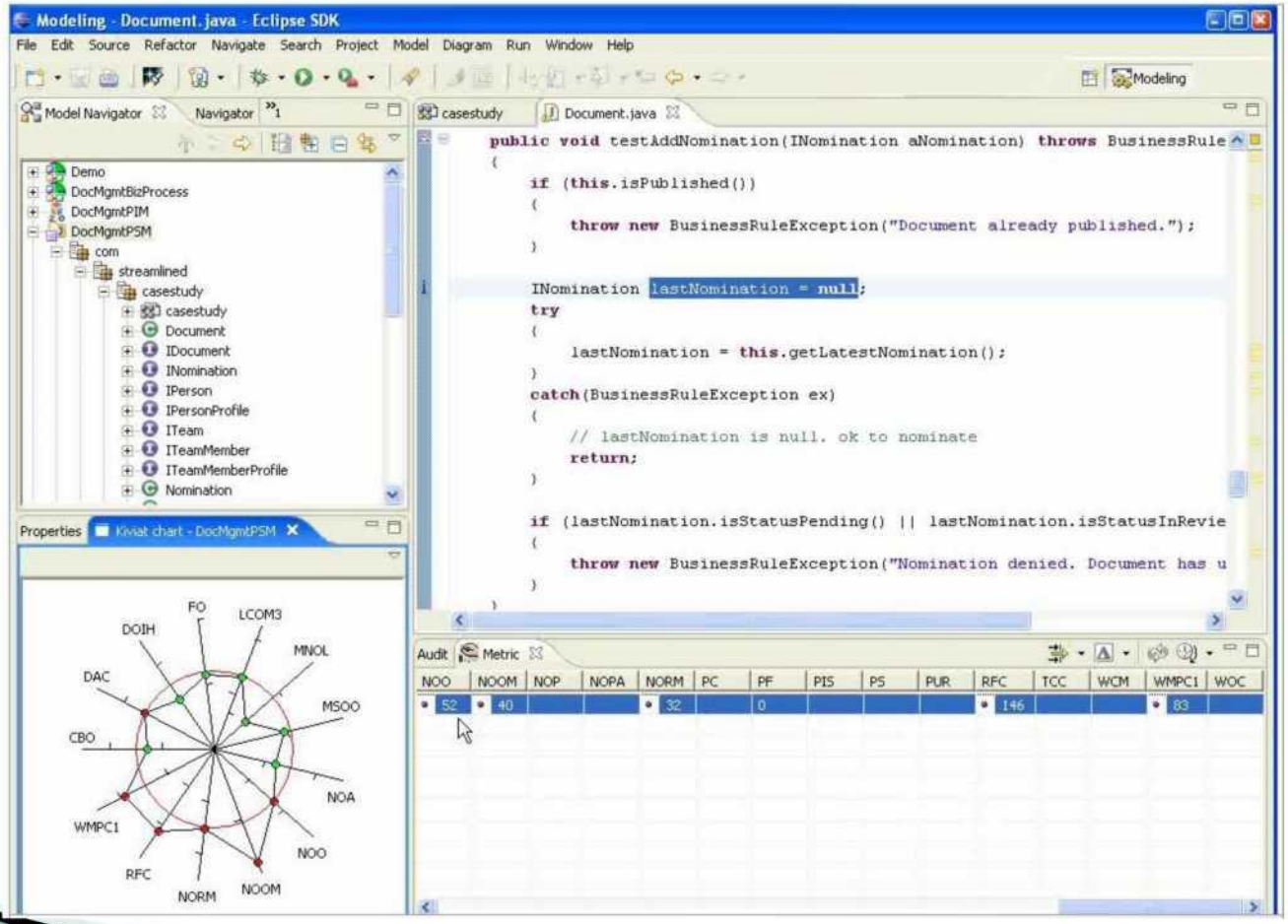
Аудит программного кода

- Аудит (review) – процесс контроля и оценки программного кода в процессе его эволюции
- Ручной аудит проводится экспертами в области программирования
- Автоматизированный аудит проводится на основе программных метрик
- Автоматизированный аудит является частью многих сред разработки

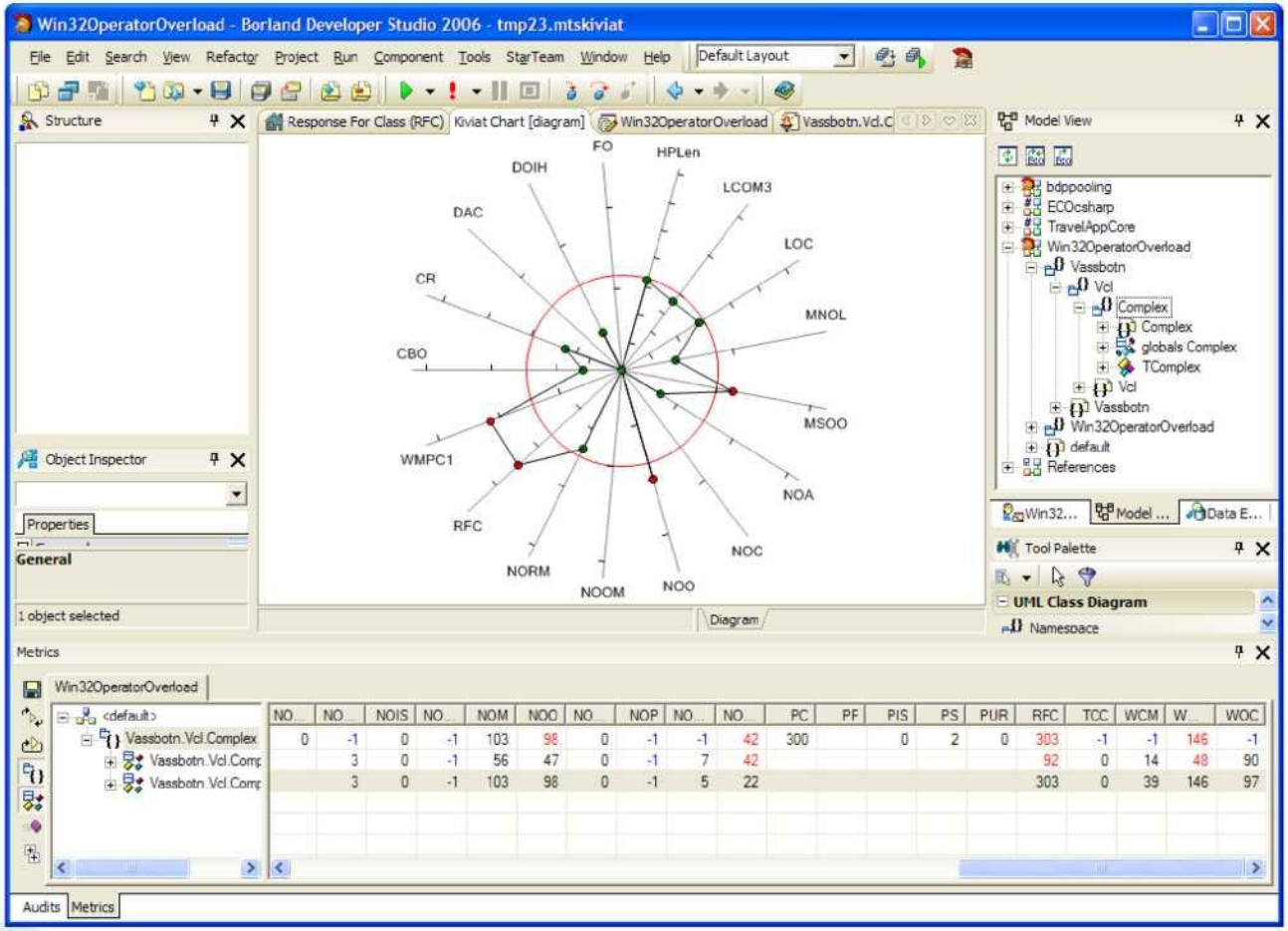
Использование метрик

- Для проекта выбирается набор(ы) метрик
- Для каждой метрики:
  - Если метрика неоднозначна – доопределяется
  - Формируются эталонные значения
  - Значение метрик - нормируются
- Осуществляется непрерывный аудит программного кода
- Метрики, значения которых неудовлетворительны, выбираются для анализа
- Программный код модифицируется с целью улучшения метрик
- Накапливается статистика
- * Возможно корректируются эталонные значения метрик

Отображение метрик



Отображение метрик

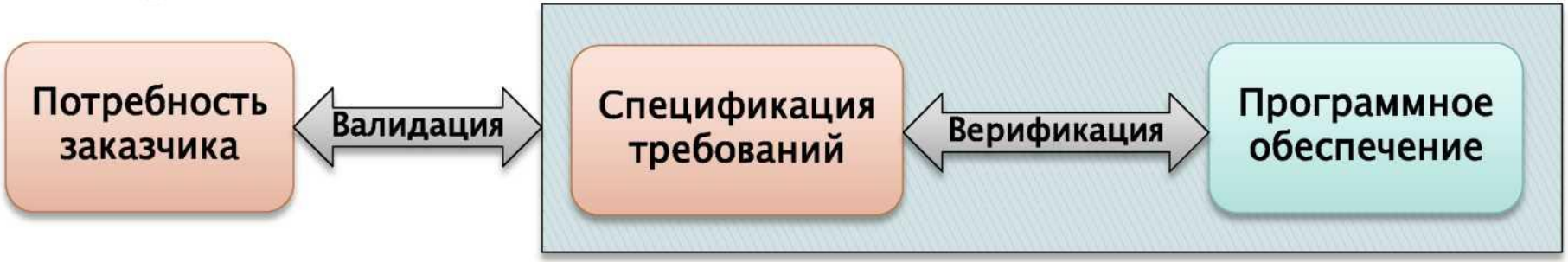


Обеспечение качества программных систем

Обеспечение качества ПО

- Методы, направленные на проектирование качественного ПО
  - Формальные спецификации
  - Синтез ПО на основе спецификаций и моделей (MDD, etc)
  - Контрактное программирование (Design by contracts)
  - И т.п.
- Методы, направленные на обеспечение качества существующего ПО

Обеспечение качества ПО. Терминология



- **Верификация** - подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены
- **Валидация** - подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены, декларируемые свойства и характеристики подтверждаются, а поставленная цель (предназначение системы, комплекса, устройства и т. д.) достигнута.

Методы обеспечения качества ПО

- По используемым формализмам
  - Формальные методы
  - Неформальные методы
- По необходимости запуска анализируемой программы
  - Динамические
  - Статические
  - Гибридные
- По уровню автоматизации
  - Ручные
  - Автоматизированные
  - Автоматические

Методы обеспечения качества

- Динамические методы
  - Тестирование
  - Профилирование
  - Динамический анализ
    - Мониторинг
    - Анализ трасс исполнения
    - Контрактное программирование
  - …
- Статические методы
  - Формальная верификация
    - Дедуктивная верификация
    - Model checking (методы проверки модели)
  - Статический анализ
  - Трансформации программ
    - Рефакторинги
    - Модификации
  - Аудит

Формальная верификация

- Верификация - подтверждение соответствия конечного продукта функциональной спецификации
- Формальная верификация – доказательство корректности с помощью формальных методов
- Используемые методы и мат. аппарат
  - Пропозициональные логики
  - Темпоральные логики
  - Формальные семантики
  - Формальные преобразования программ
  - Формальные спецификации
  - Логика Хоара
  - Сепарационная логика (separation logic)
  - И т.п.
- Наиболее известные подходы:
  - Верификация методом Хоара (на основе троек Хоара)
  - Верификация по Флойду

Формальная верификация

- Достоинства:
  - В случае успеха – в программе нет ошибок!
- Недостатки:
  - Формальные спецификации на порядок сложнее программ
  - Для большинства программ задача формального доказательства корректности – очень трудоёмка
  - Для некоторых случаев – задача формального доказательства корректности – неразрешима
- В реальных системах при формальной верификации рассматривают часть системы и частичные спецификации
- Редко применяется для обеспечения качества программных систем общего назначения

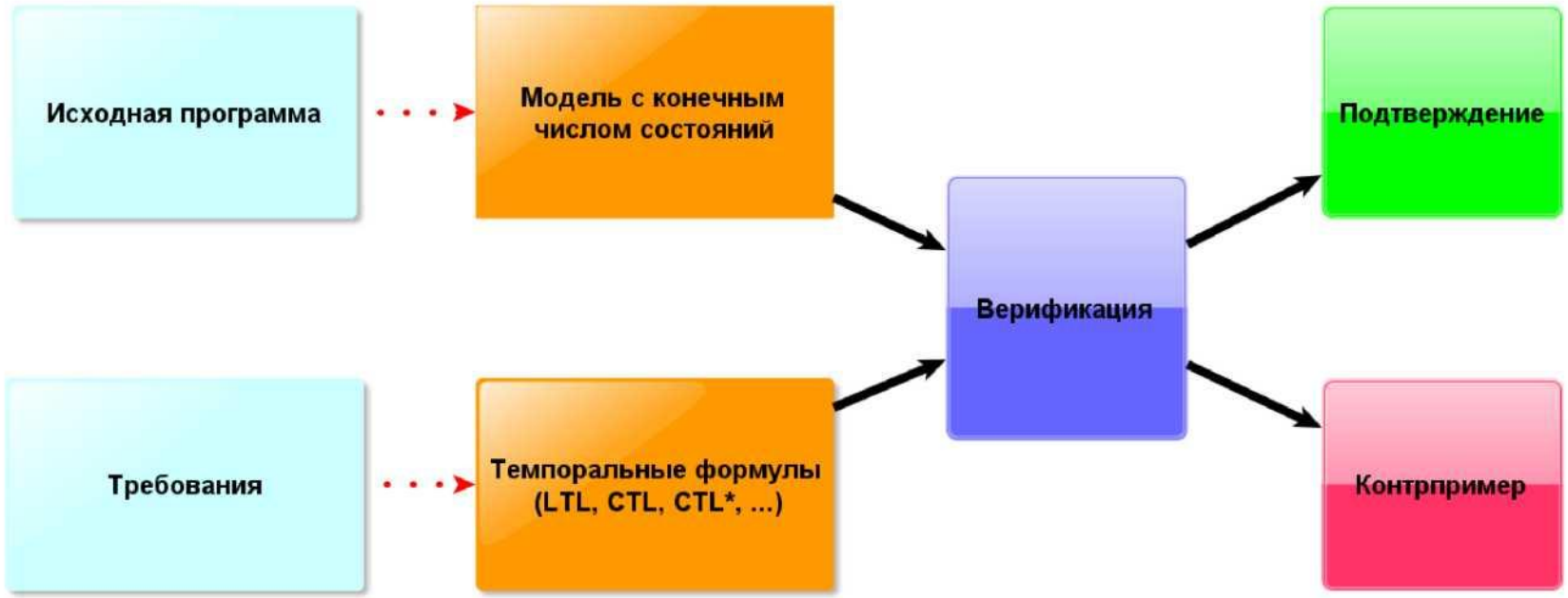
Метод проверки моделей

- Проверка модели, проверка на модели, model checking
- Метод формальной верификации для систем с конечным числом состояний
- Позволяет проверить, удовлетворяет или нет система некоторому свойству (требованию)

Верификация по методу Model Checking

- Исследуемая система приводится к модели с конечным числом состояний (например, модель Крипке)
- Проверяемые свойства представляются формулами темпоральной логики (LTL, ALTL, CTL, CTL* и т.д.)
- Проверка модели – формальная проверка выполнимости формулы на модели
  - Результат проверки:
    - Формула выполняется
    - Формула не выполняется. Контрпример.
  - Существуют методы проверки систем с $10^{100\text{-}200}$ состояний

Верификация по методу Model Checking



Верификация по методу Model Checking

- Ограничения
  - Проверяются свойства, связанные только с корректностью смены состояний
  - Не все свойства представляются в виде темпоральных формул
  - В общем случае задача - NP-полная
  - В общем случае неформализуется переход от реальной системы к модели с конечным числом состояний
- Программные средства:
  - SPIN
  - NuSMV
  - …

Обеспечение качества ПО путем обнаружения ошибок

- Ошибки
  - Функциональные ошибки
  - Нефункциональные ошибки (дефекты)
- Проявление дефектов:
  - Сбои ПО
  - Зависания ПО
  - Аварийное завершение ПО
  - Уязвимости
  - Отсутствие проявлений
  - …

Обнаружение программных дефектов

- Динамические методы:
  - Тестирование
  - Динамический анализ
- Статические методы:
  - Статический анализ
  - Верификация (частично)

Статический анализ

- Использует исходный код ПО для анализа
- Применяется для
  - Форматирования программ
  - Вычисления программных метрик
  - Оптимизации программ
  - Распараллеливания программ
  - Преобразования программ
  - Обфускации программ
  - Деобфускации программ
  - **Обнаружения дефектов**
  - …

Статический анализ

- Цель – обнаружение дефектов в программном коде
- Использует исходный код ПО для анализа
- Позволяет проанализировать все возможные трассы исполнения
- Позволяет проанализировать все наборы входных данных
- Может быть полностью автоматизирован
- Позволяет обнаружить *нефункциональные* дефекты

Программные дефекты

- Основные виды дефектов:
  - Неправильная работа с буферами:
    - Переполнение буферов
    - Выход за границу массива
    - …
  - Неправильная работа с динамической памятью:
    - Утечки памяти
    - «Висячие» указатели
    - Разыменование нулевого указателя
    - …
  - Использование неинициализированных переменных
  - Ошибки работы с объектами
  - Ошибки работы с библиотечными функциями
  - Ошибки работы со строками
  - Арифметические ошибки
  - И т.п.

Схема проведения СА

Статический анализ

- Достоинства СА:
  - Обнаружение дефектов на ранних стадиях
  - Сокращение стоимости разработки, отладки, тестирования, сопровождения
- Недостатки СА:
  - Невозможность обнаруживать функциональные ошибки
  - Недостаточность информации о путях выполнения -> наличие ложных обнаружений
  - Невозможность обнаружить все ошибки статически
  - Высокие требования к вычислительным ресурсам

Статический анализ

- Программные средства анализа кода и поиска дефектов:
  - IBM Rational Code Analyzer
  - Coverity Prevent
  - Fortify 360
  - Klocwork
  - Flexlint/PCLint
  - Splint
  - Microsoft PREFix/PreFast
  - ParaSoft C++Test
  - Frama-C
  - Aegis (http://digiteklabs.ru/aegis)
  - …(более 20)

Методы обеспечения качества ПО

	Х-ка качества	Проблема	Обеспечение качества
1	Функциональность	Функциональные ошибки, несоответствие спецификации	Верификация Тестирование
2	Надежность	Низкая надежность Наличие уязвимостей	Статический анализ Тестирование
3	Практичность	Сложность использования	Тестирование*
4	Эффективность	Проблемы с производительностью, ресурсами	Тестирование Профилирование Динамический/статический анализ
5	Сопровождаемость	Сложность сопровождения, модификации	Рефакторинг Документирование
6	Мобильность	Несоответствие стандартам, сложность адаптации	Аудит, рефакторинг Статический анализ