

В. В. Кулямин

Институт системного программирования РАН

ЦЕЛИ, МЕТОДЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММАМ

ПЛАН

- Введение
 - Сложность программных систем
 - Ошибки в ПО и их последствия
- Формальные методы
 - Что это такое
 - Какие формализмы используются
 - Формальные методы на практике
- Формализация требований
 - Отличия от «классических» формальных методов?
 - Примеры
 - Ограничения формализации требований
- Заключение

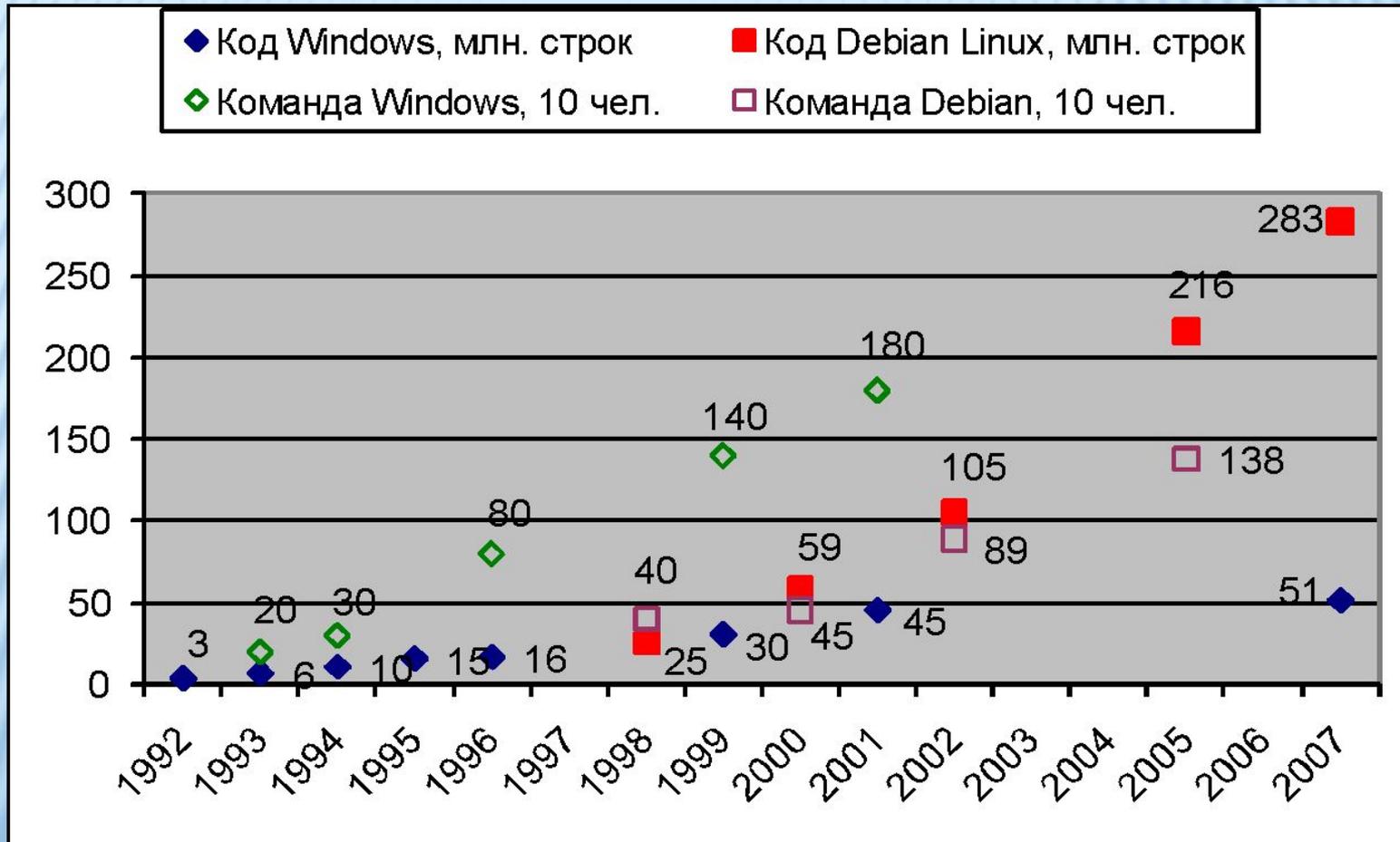
SOFTWARE CRISIS

- Конференция NATO 1968

Software сложнее hardware

- Программная инженерия

СЛОЖНОСТЬ – БОЛЬШИЕ РАЗМЕРЫ



СЛОЖНОСТЬ ИНТЕРФЕЙСА



СЛОЖНОСТЬ – МНОГО КОМПОНЕНТОВ

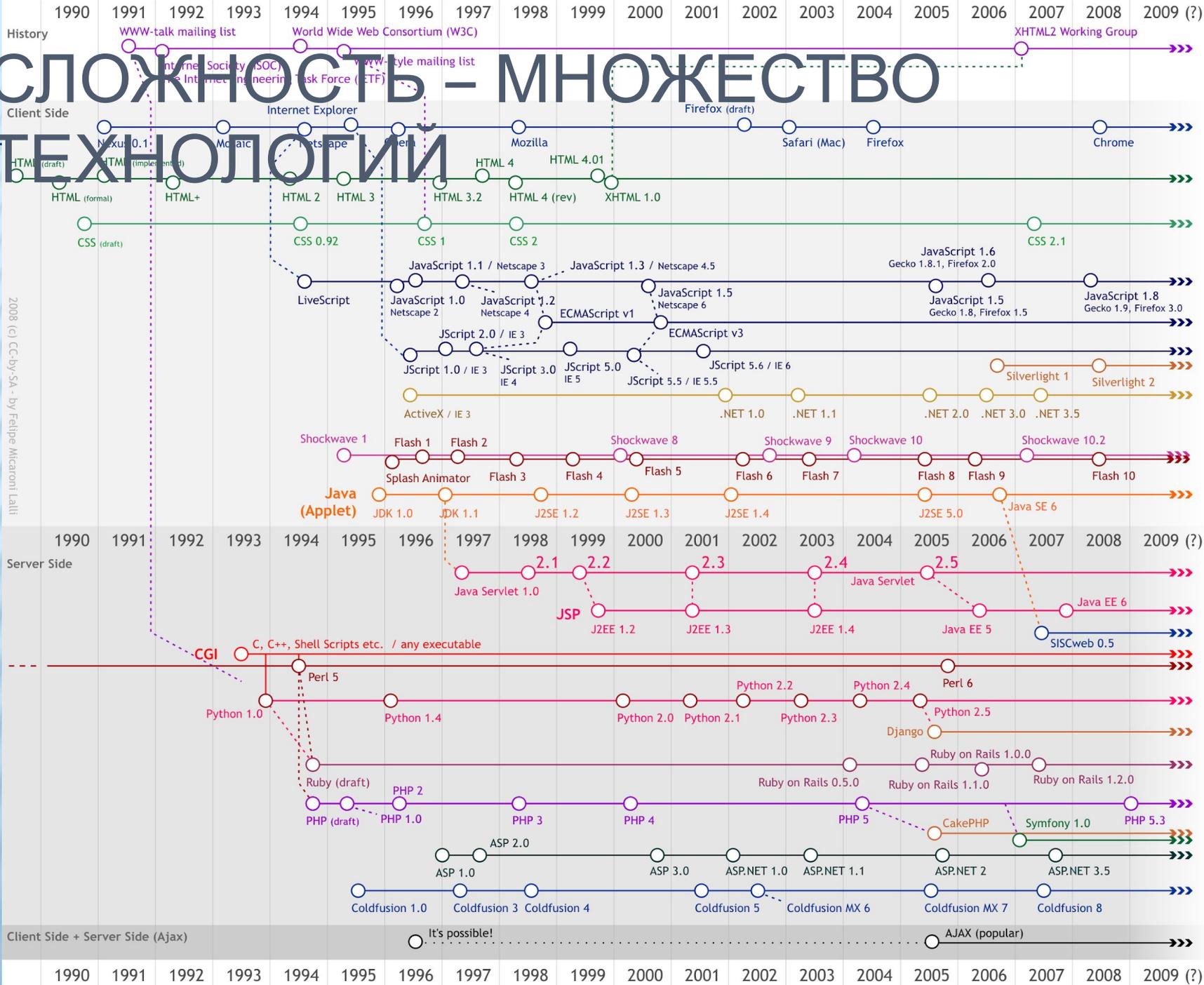


СЛОЖНОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ



СЛОЖНОСТЬ - МНОЖЕСТВО

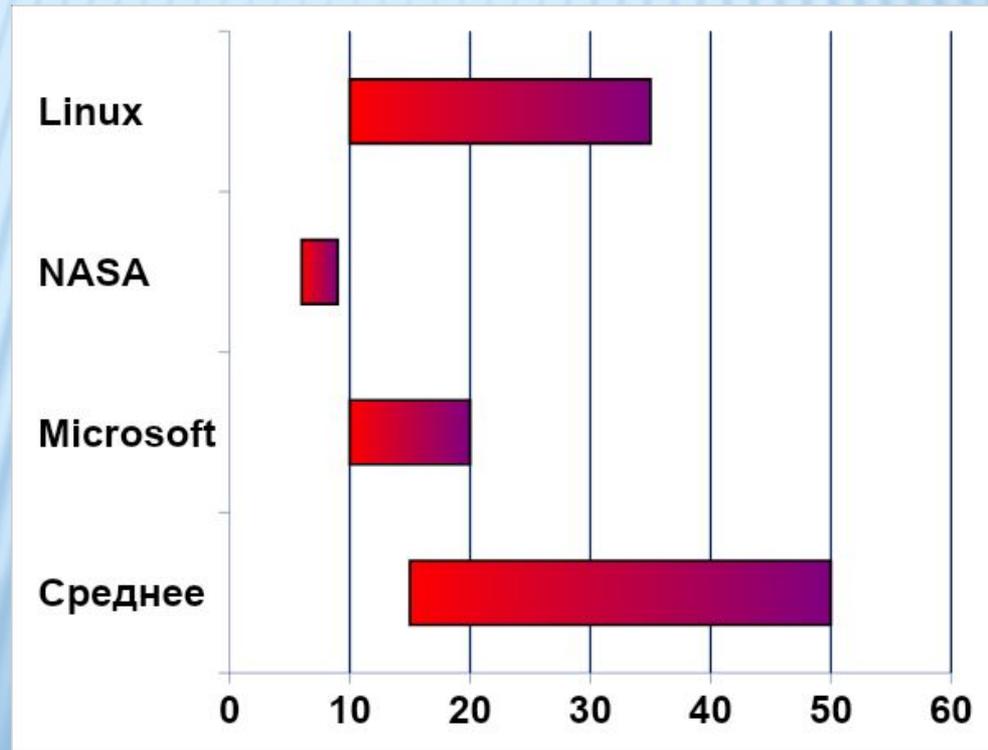
ТЕХНОЛОГИИ



2008 (c) CC-by-SA - by Felipe Micaroni Lalli

СТАТИСТИКА ОШИБОК

- ❑ Основная причина – сложность
- ❑ Среднее количество ошибок на 1000 строк кода



РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ОШИБКАМИ

- Космические аппараты
 - Mariner I (1962)
 - Фобос-1 (1988)
 - Ariane 5 (1996)
 - Mars Climate Orbiter (1999)
- Инфраструктура
 - AT&T long distance network crash (1990)
 - Northeast Blackout (2003)
 - OpenSSL rnd in Debian (2006-8)
 - Heathrow Airport Terminal 5 baggage system (2008)
- Автомобили
 - Toyota Prius (2005, 2010)
- Медицинское оборудование
 - Therac-25 (1985-7)
 - Medtronic Maximo (2008)
- Авионика и военное оборудование
 - Lockheed F-117 (1982)
 - MIM-104 Patriot (1991)
 - Chinook ZD576 (1994)
 - USS Yorktown (1997)
 - F-22 Raptor (2007)

Потери индустрии США в 2001 году – 60 G\$

ЧТО ДЕЛАТЬ?

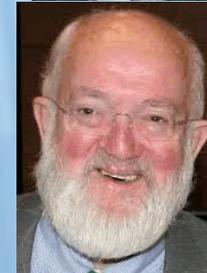
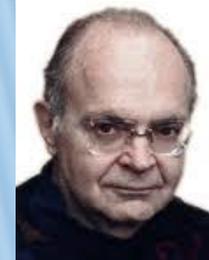
- ❑ Не делать ошибок
 - **Невозможно из-за сложности**
- ❑ Предотвращение ошибок
 - Тщательный анализ требований и возможных решений
 - Изоляция компонентов
 - Повышение уровня абстракции языков
 - Устранение error-prone конструкций
 - Стандартизация и документирование языков, протоколов и библиотек
- ❑ Выявление ошибок
 - Верификация и валидация
- ❑ Исправление ошибок

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ

- ❑ Программные системы – одни из самых сложных искусственных систем
- ❑ Нужны методы построения программного обеспечения с заданными свойствами
- ❑ **Формальные методы**
 - Формализация требований
 - Наиболее детальный и строгий их анализ
 - Формализация проектных решений
 - Формальный анализ и верификация свойств ПО

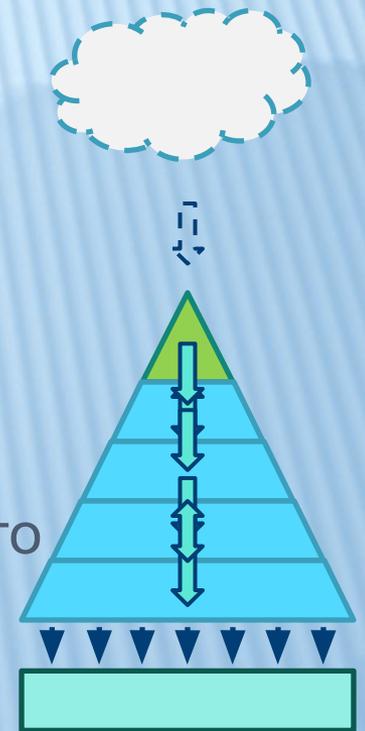
ИСТОКИ ФОРМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

- Формальные языки [N. Chomsky 1956]
 - BNF и описание языков FORTRAN, ALGOL60 [J. Backus 1957, P. Naur 1960]
 - Атрибутные грамматики [D. Knuth, 1968]
 - Описание PL/I [IBM Vienna, 1968]
- Формальная верификация программ [R. Floyd 1967, C. A. R. Hoare 1969]
- Формальная разработка компиляторов
 - Венский метод (VDM) [D. Bjørner, C. Jones, 1972]
 - Европейский компилятор Ada [1984]



«КЛАССИЧЕСКИЙ» ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ

- ❑ Формализуем постановку задачи (требования к ПО)
- ❑ Строим проектные решения (возможно, в несколько шагов)
 - Доказанно корректными трансформациями (корректность по построению, *correctness by construction*)
 - Строим решение независимо и доказываем, что оно соответствует требованиям или решению предыдущего шага (уточнение, *refinement*)
- ❑ Преобразуем полученное решение в код



СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕМАНТИКИ

- Денотационная семантика
Программы – функции, задаваемые явно
 - На основе множеств и отношений
 - На основе λ -исчисления и его расширений
- Аксиоматическая семантика
Программы – объекты, удовлетворяющие аксиомам
 - Функции или отношения, задаваемые пред- и постусловиями
 - Алгебраические системы аксиом
 - Аксиомы временных логик
- Операционная семантика
Программы – описания действий (простой) виртуальной машины

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ФОРМАЛИЗМЫ

- **Логико-алгебраические**
 - Различные логики
Предикаты, теории типов, временные, модальные, ...
 - Различные алгебраические структуры
- **Исполнимые**
 - Различные автоматы
FSM, LTS, расширенные, взаимодействующие, иерархические, временные, сети Петри, Statecharts, ...
- **Гибридные**
 - LTS ~ Алгебры процессов
 - Модели стандартных термов
 - Abstract State Machines
 - Программные контракты с состоянием

ПРИМЕР I – МАШИННЫЕ ЦЕЛЫЕ ЧИСЛА

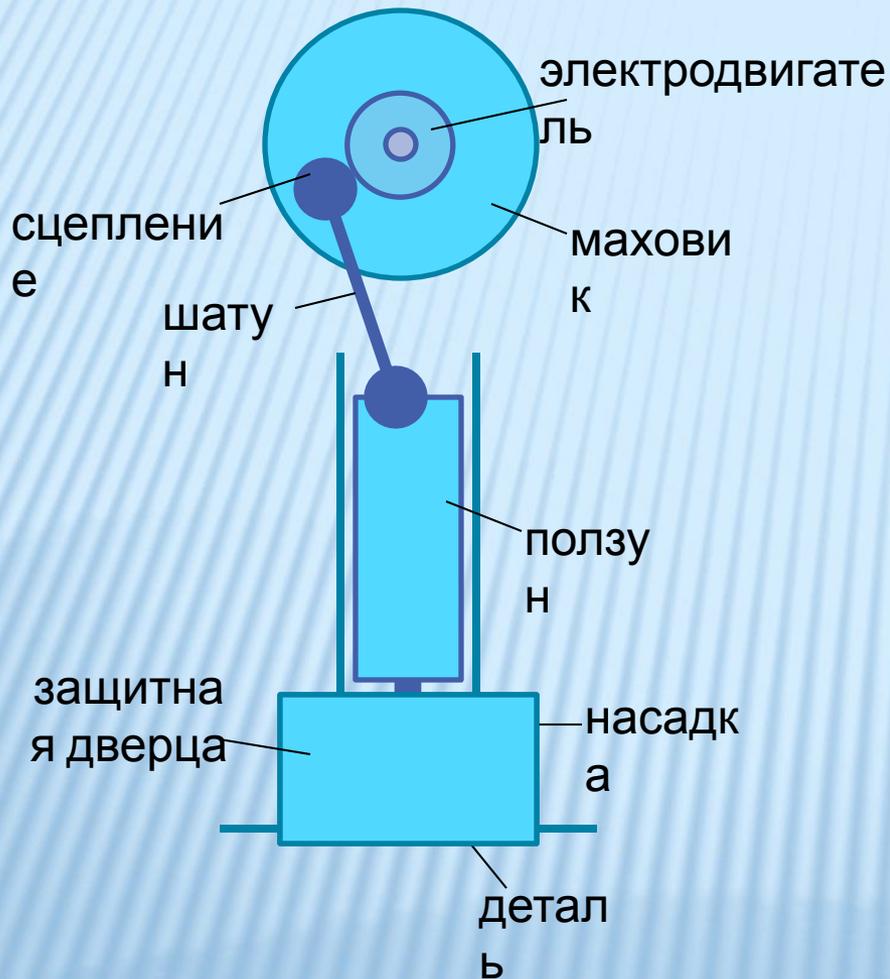
Как реализовать целые числа в компьютере?

- ❑ Образец – обычные целые числа \mathbb{Z}
- ❑ Конечное множество – 32 бита для хранения

Что точно нужно?

- ❑ Операции $+$, $-$, $*$ – алгебраическое кольцо
- ❑ $\leq 2^{32}$ элементов
- ❑ Действия над $0, 1, 2, -1, -2, \dots$ дают нужные результаты

ПРИМЕР II – МЕХАНИЧЕСКИЙ ПРЕСС



Действия рабочего

- Заменить насадку
- Положить деталь
- Убрать деталь

Кнопки

- Запустить двигатель (start motor)
- Остановить двигатель (stop motor)
- Включить сцепление (engage clutch)
- Выключить сцепление (disengage clutch)

Управляемые элементы

- Двигатель
- Сцепление
- Дверца

ПРИМЕР II – ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ

- Дверца должна перекрывать доступ к работающему прессу
 - При включении сцепления с работающим двигателем дверца должна быть закрыта
 - При включении двигателя с включенным сцеплением дверца должна быть закрыта
 - Дверца открывается только если либо двигатель не работает, либо сцепление выключено

ПРИМЕР II – УПРОЩЕНИЕ

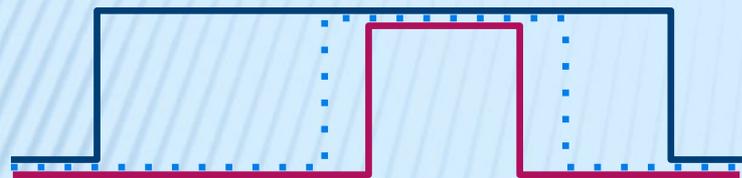
Поскольку выключение двигателя выключает весь пресс (обычно), трудно контролировать включено ли сцепление при выключенном двигателе

Запретим эту ситуацию!

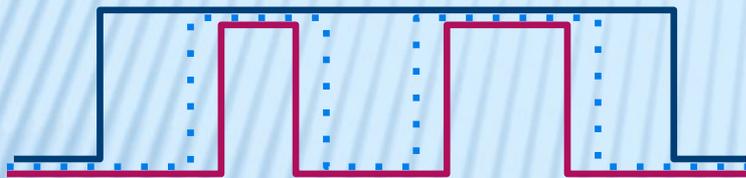
Дополнительные ограничения

- ❑ Сцепление можно включать лишь при работающем двигателе
- ❑ Нельзя выключить двигатель при включенном сцеплении

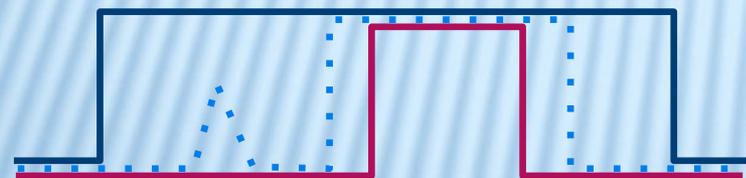
ПРИМЕР II – ДОПУСТИМЫЕ СЦЕНАРИИ



Обработка одной детали



Замена детали без выключения двигателя



Неудачная попытка закрыть дверцу

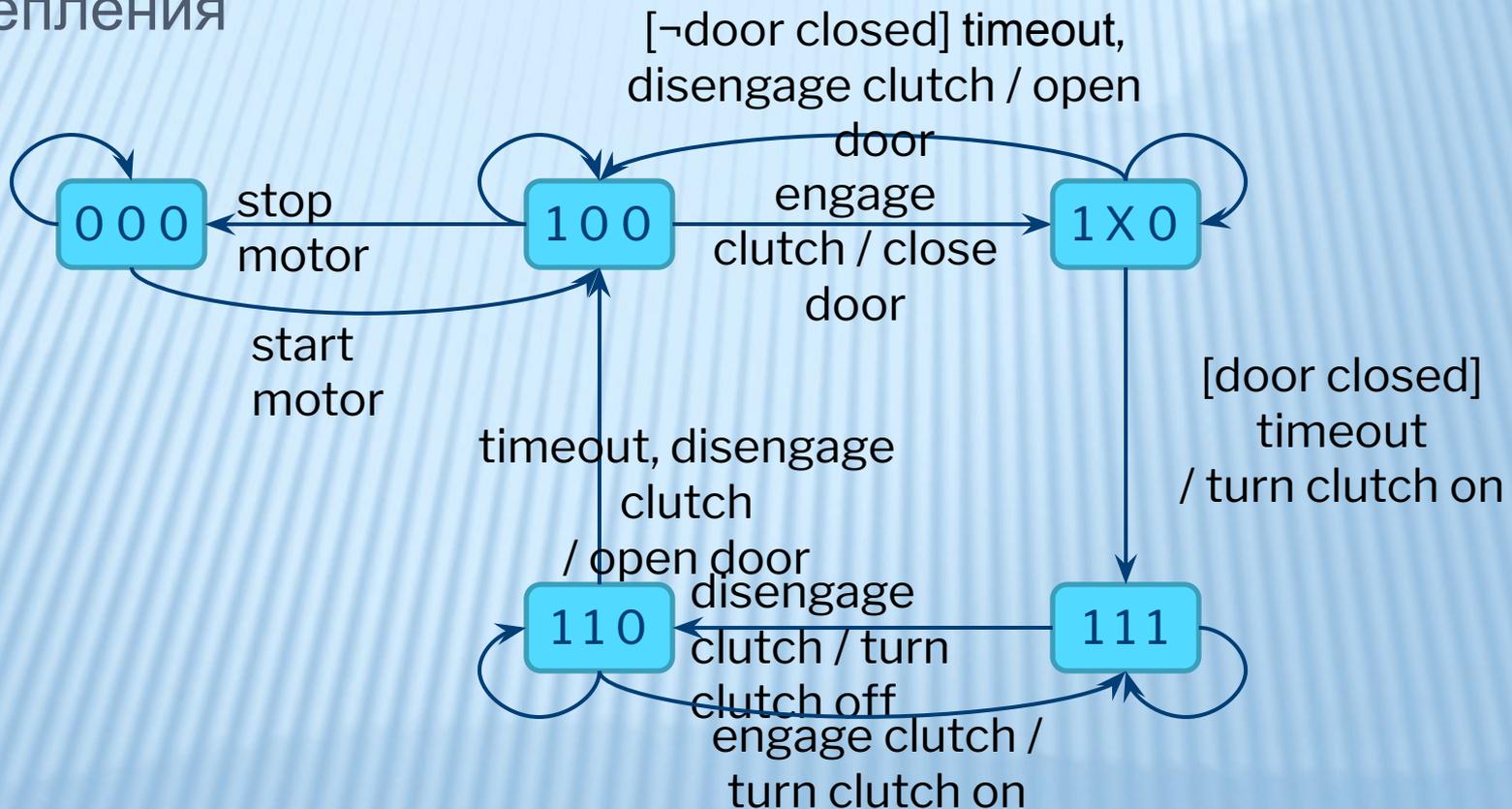
- двигатель
- сцеплени
- ... дверц
- а

ПРИМЕР II - ТРЕБОВАНИЯ

- [clutch engaged] \Rightarrow [door closed]
- [door closed] \Rightarrow [motor working]
- \neg [motor working] \wedge [start motor] \Rightarrow X [motor working]
- \neg [door closed] \wedge [motor working] \wedge [stop motor] \Rightarrow X \neg [motor working]
- [door closed] \Rightarrow \neg [stop motor]
- \neg [motor working] \Rightarrow \neg [engage clutch]
- \neg [door closed] \wedge [motor working] \wedge [engage clutch] \Rightarrow X [door closing]
- [door closing] \Rightarrow X \neg [door closing]
- [door closed] \wedge \neg [disengage clutch] \Rightarrow X [clutch engaged]
- [door closed] \wedge [disengage clutch] \Rightarrow X \neg [clutch engaged] \wedge X \neg [door closed]

ПРИМЕР II – КОНЕЧНЫЙ АВТОМАТ

Состояние – текущее положение двигателя, дверки и сцепления



ПРИМЕР III – СПИСОК

Абстрактный тип данных List<E> – список объектов типа E

□ Операции

empty : List<E> insert : List<E>×N×E → List<E>

size : List<E> → N remove : List<E>×N → L<E> get : List<E>×N → E

□ Аксиомы

- empty.size() = 0
- [0 ≤ i ≤ X.size()] X.insert(i, e).size() = X.size() + 1
- [0 ≤ i < X.size()] X.remove(i).size() = X.size() - 1
- [0 ≤ i ≤ X.size()] X.insert(i, e).get(i) = e
- [0 < i ≤ X.size() ∧ 0 ≤ j < i] X.insert(i, e).get(j) = X.get(j)
- [0 ≤ i < X.size() ∧ i < j ≤ X.size()] X.insert(i, e).get(j) = X.get(j-1)
- [0 ≤ i ≤ X.size()] X.insert(i, e).remove(i) ≡ X
- [0 < i ≤ X.size() ∧ 0 ≤ j < i] X.insert(i, e).remove(j) ≡ X.remove(j).insert(i-1, e)
- [0 ≤ i ≤ X.size() ∧ i < j ≤ X.size()] X.insert(i, e).remove(j) ≡ X.remove(j-1).insert(i, e)
- [0 ≤ i ≤ X.size() ∧ 0 ≤ j ≤ i] X.insert(i, e₁).insert(j, e₂) ≡ X.insert(j, e₂).insert(i+1, e₁)
- [0 < i < X.size() ∧ 0 ≤ j < i] X.remove(i).remove(j) ≡ X.remove(j).remove(i-1)

ПРИМЕР IV – ПОИСК ЭЛЕМЕНТА В СПИСКЕ

- В этом примере список – из Лисп
 $\text{List}\langle E \rangle \equiv \text{nil}\langle E \rangle \mid \text{cons}(E, \text{List}\langle E \rangle)$
- Исчисление индуктивных конструкций
Позволяет задавать типы при помощи индуктивных конструкторов
 - $\forall l : \text{List}\langle E \rangle \ l = \text{nil}\langle E \rangle + \exists e : E \ \exists m : \text{List}\langle E \rangle \ l = \text{cons}(e, m)$
 - $\forall e : E \ \forall l : \text{List}\langle E \rangle \ \text{nil}\langle E \rangle \neq \text{cons}(e, l)$
 - $\forall P : \text{List}\langle E \rangle \rightarrow \text{Bool} \ P(\text{nil}\langle E \rangle) \wedge [\forall e : E \ \forall l : \text{List}\langle E \rangle \ P(l) \Rightarrow P(\text{cons}(e, l))]$
 $\Rightarrow \forall l : \text{List}\langle E \rangle \ P(l)$
- Определения также индуктивны
 $\text{contains} : \text{List}\langle E \rangle \times E \rightarrow \text{Bool} \equiv$
 $\text{contains}(\text{nil}\langle E \rangle, e) \equiv \text{false}$
 $\mid \text{contains}(\text{cons}(e, l), f) \equiv (e=f) ? \text{true} : \text{contains}(l, f)$

ПРИМЕР IV – СПЕЦИФИКАЦИЯ

Результат поиска элемента,
удовлетворяющего $P : E \rightarrow \text{Bool}$

$$\text{res}(l, P) \equiv \{e : E \mid \text{contains}(l, e) \wedge P(e)\} \\ + \{\forall x : E \text{ contains}(l, x) \Rightarrow \neg P(x)\}$$

Можно извлечь программу из спецификации
с помощью соответствия Карри-Ховарда
(Curry-Howard)

СООТВЕТСТВИЕ КАРРИ-ХОВАРДА

В конструктивной логике или конструктивных теориях типов

- Доказательство ~ Программа
 - Логическое выражение ~ Тип
 - Конъюнкция ~ Декартово произведение
 - Импликация ~ Функция
 - Разбор случаев (дизъюнкция) ~ if ... then ... else ...
 - Индукция в доказательстве ~ Рекурсия в программе

ПРИМЕР IV – ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ

- Строим доказательство $\text{res}(l, P) \equiv \{e : E \mid \text{contains}(l, e) \wedge P(e)\} + \{\forall x:E \text{ contains}(l, x) \Rightarrow \neg P(x)\}$
- Тип $\{x : A \mid \phi(x)\} + \{\psi\}$ имеет два конструктора
 - `success` получается из элемент `a` типа `A` вместе с доказательством $\phi(a)$
 - `fail` получается из доказательства ψ
- Разбор случаев
 - $l = \text{nil}\langle E \rangle$, тогда можно доказать $\forall x:E \text{ contains}(l, x) \Rightarrow \neg P(x)$, т.е. получаем `fail`
 - $l = \text{cons}(e, m)$, тогда можно проверить $P(e)$ или использовать индуктивную гипотезу для m , т.е. получаем $P(e) + \text{res}(m, P)$
- Таким образом, программа поиска такова

```
search(l, P) ≡
if (l = nil⟨E⟩) then fail
else let l = cons(e, m)
    if(P(e)) then e
    else search(m, P)
```

ОГРАНИЧЕНИЯ ФОРМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

- ❑ Трансформации спецификаций в программы (correctness by construction) работают только для ограниченного набора задач
- ❑ При уточнении из n шагов получается $n+1$ формальная модель, каждая из которых по сложности приближается к итоговой системе
- ❑ Даже в простейшем случае нужно сделать модель требований, модель решения и еще саму систему – в 2-3 раза больше работы
- ❑ Формальный анализ сложной системы сам сложен ⇒ в нем возможны ошибки!

ПЛЮСЫ ФОРМАЛЬНОСТИ

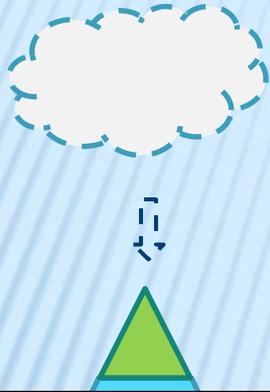
- ❑ Требования анализируются систематично и детально
- ❑ Возникает глубокое понимание задачи
- ❑ Получаемое решение доказуемо корректно (если хватит сил провести доказательство)

Что же делать?

«ЛЕГКИЕ» ФОРМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

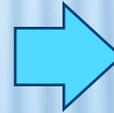
- Формализация требований
 - Сохраняем аккуратность анализа
 - Сохраняем бонус глубокого понимания
- Формальную модель решения не строим
 - Избавляемся от высоких затрат
- Пытаемся извлекать ее автоматически из кода или работы самой системы, чтобы верифицировать саму систему
 - Статический анализ
 - Проверка извлекаемых моделей (model checking)
 - Тестирование на основе моделей
- В итоге тратим в ~1.5 раза больше усилий, но получаем гораздо более качественный результат
 - Это окупается для систем, некорректность которых стоит дорого

ТЕХНИКИ ВЕРИФИКАЦИИ



- ❑ Статический анализ + проверка моделей
- ❑ Тестирование на основе моделей

```
do {  
  nPacketsOld = nPackets;  
  ...  
  if(request) {  
    ...  
    nPackets++;  
  }  
} while (nPackets != nPacketsOld);
```



```
do {  
  b = true;  
  ...  
  if(r) {  
    ...  
    b = b?false:*;  
  }  
} while (!b);
```

ПРИМЕР V – ALTERNATING BIT PROTOCOL

- Протокол канального уровня
 - 7-уровневая модель OSI
 - Физический уровень
 - Канальный уровень
 - Сетевой уровень
 - Транспортный уровень
 - Уровень представления
 - Сеансовый уровень
 - Прикладной уровень
- Симплексный – передача в одну сторону
- Должен гарантировать надежную доставку кадра

ПРИМЕР V – ОТПРАВИТЕЛЬ

```
typedef enum { frame_arrival, cksum_err, timeout } event_type;
#include "protocol.h"

void sender() {
    seq_nr next_frame_to_send;      /* номер следующего кадра */
    frame s;                        /* временная переменная - кадр для передачи */
    packet buffer;                  /* буфер для исходящего пакета */
    event_type event;

    next_frame_to_send = 0;        /* инициализация номеров исх. кадров */
    from_network_layer(&buffer);   /* получаем первый пакет */
    while(true) {
        s.info = buffer;          /* формируем кадр для передачи */
        s.seq = next_frame_to_send;
        to_physical_layer(&s);    /* послать кадр по каналу */
        start_timer(s.seq);       /* таймер для подтверждения */
        wait_for_event(&event);   /* ожидаем события */

        if(event == frame_arrival) {
            from_physical_layer(&s); /* получить подтверждение */
            if(s.ack == next_frame_to_send) {
                from_network_layer(&buffer); /* получаем след. пакет */
                inc(next_frame_to_send); /* меняем четность */
            }
        }
    }
}
```

ПРИМЕР V – ПОЛУЧАТЕЛЬ

```
void receiver() {
    seq_nr frame_expected;          /* номер ожидаемого кадра */
    frame r, s;                    /* получаемый кадр и кадр подтверждения */
    event_type event;

    frame_expected = 0;            /* инициализация номера ожидаемого кадров */
    while(true)
    {
        wait_for_event(&event);

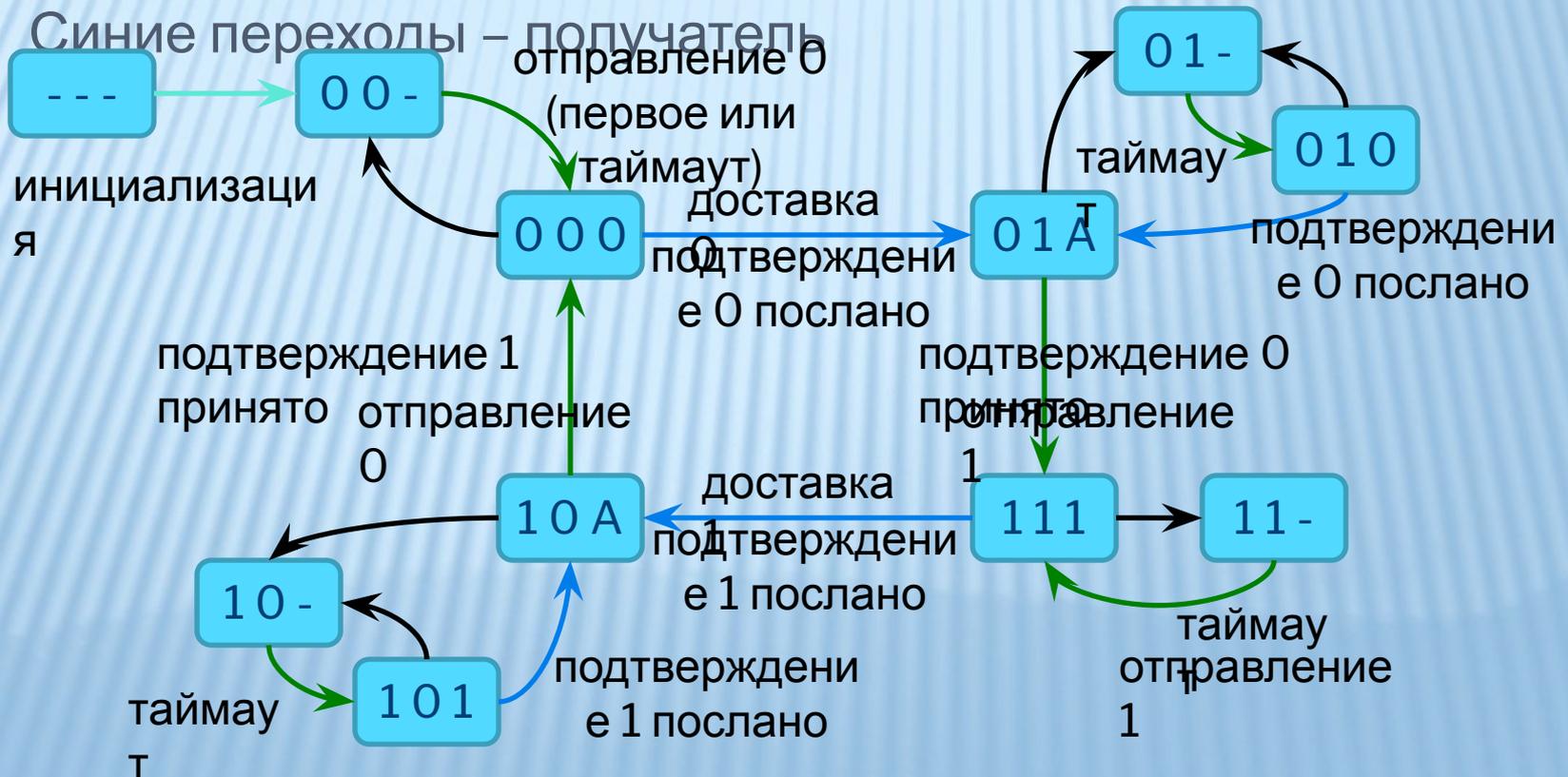
        if(event == frame_arrival) /* приходит какой-то кадр */
        {
            from_physical_layer(&r); /* получаем его с физического уровня */
            if(r.seq == frame_expected) /* если ожидаем именно его */
            {
                to_network_layer(&r.info); /* отдаем пакет на сетевой уровень */
                inc(frame_expected); /* меняем четность */
            }

            s.ack = previous(frame_expected); /* выставаем четность подтверждения */
            to_physical_layer(&s); /* отправляем подтверждение */
        }
    }
}
```

ПРИМЕР V – АВТОМАТ

Состояние: номер посылаемого кадра, номер ожидаемого кадра и содержимое канала (номер кадра, подтверждение A или мусор -)

- Зеленые переходы – отправитель
- Черные переходы – потери информации в канале
- Синие переходы – получатель



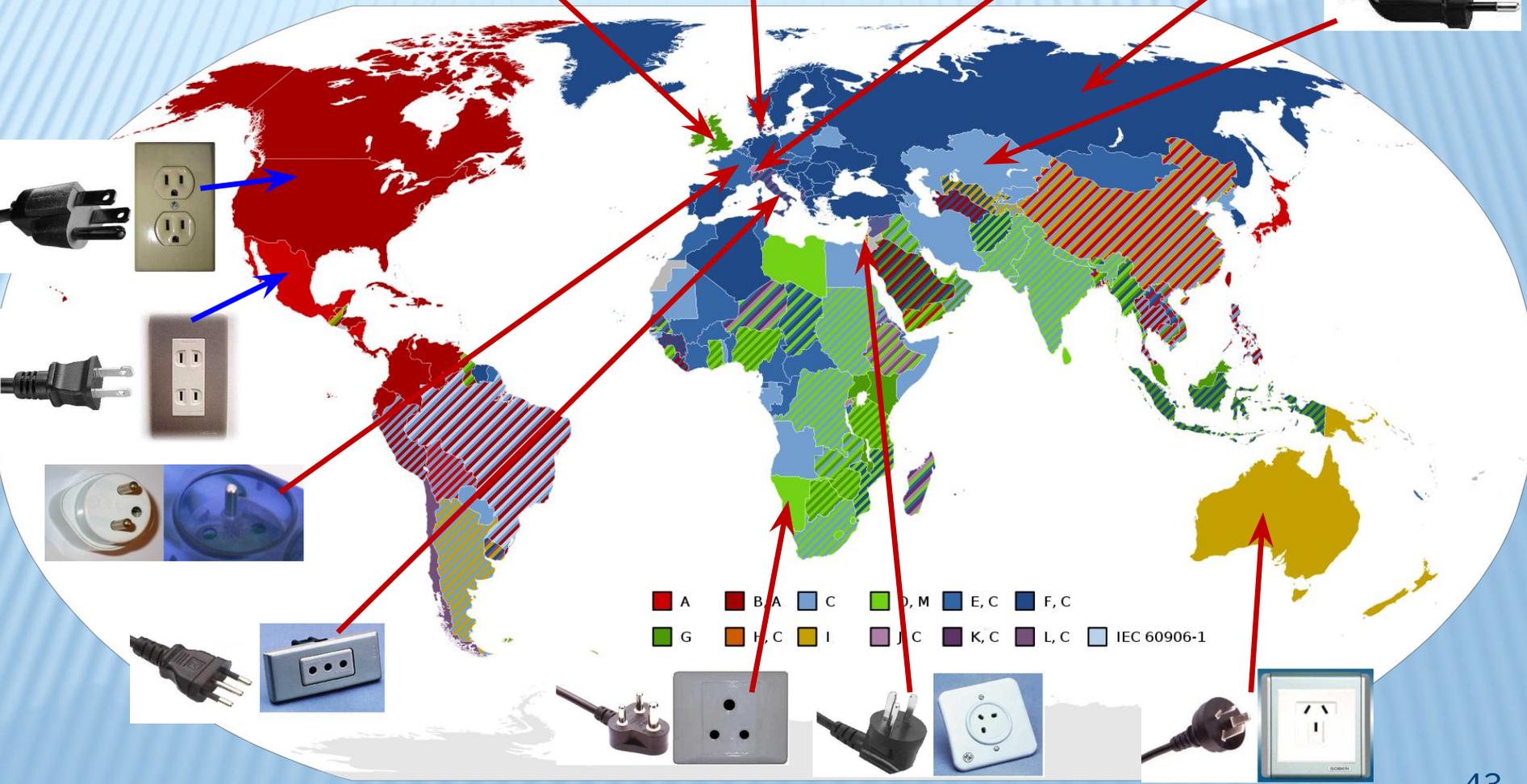
ОБЛАСТЬ ПРИМЕНИМОСТИ

- Где формализация требований оправдана?
 - Стандарты
 - Устоявшиеся протоколы, интерфейсы и языки
 - ✓ Системное ПО
 - ✓ Широко используемые и достаточно стабильные API (Application Programming Interface)
- Иначе – огромные усилия уходят на выявление неявно подразумеваемых деталей, а потом анализ нужно начинать сначала из-за возникающих изменений

ИНТЕРФЕЙСНЫЕ СТАНДАРТЫ

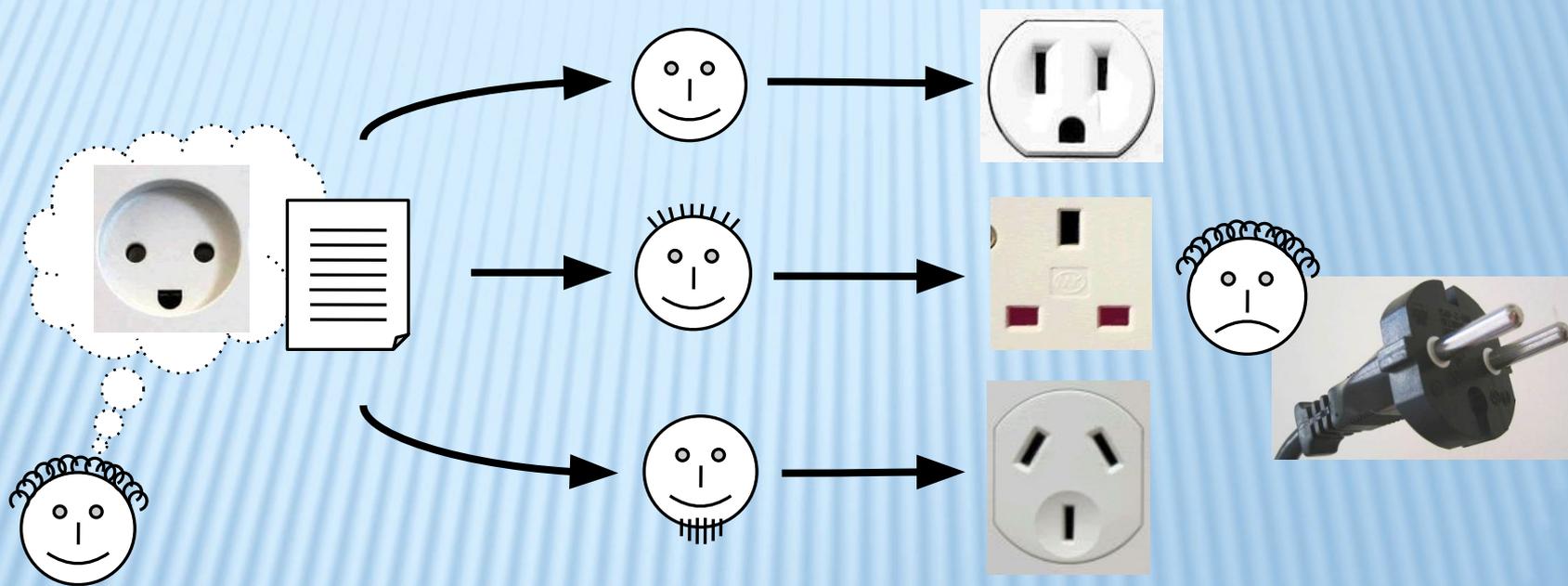
- ❑ Программно-аппаратные интерфейсы
 - x86, MIPS, ARM
- ❑ Телекоммуникационные и аппаратные протоколы
 - Ethernet, Wi-Fi, IP, TCP, HTTP, SMTP, SOAP, Radius
- ❑ API общих библиотек
 - POSIX, Linux Standard Base, JDK, DOM, MPI, OpenGL
- ❑ Форматы файлов
 - XML, HTML, PDF, ODF, MP3, GIF, ZIP
- ❑ Языки программирования и моделирования
 - C++, Java, C#, Fortran, Ada, Scheme, Verilog

ИНТЕРФЕЙСНЫЙ СТАНДАРТ – ЭЛЕКТРОСЕТИ



■ A	■ B, A	■ C	■ D, M	■ E, C	■ F, C
■ G	■ H, C	■ I	■ J, C	■ K, C	■ L, C
					■ IEC 60906-1

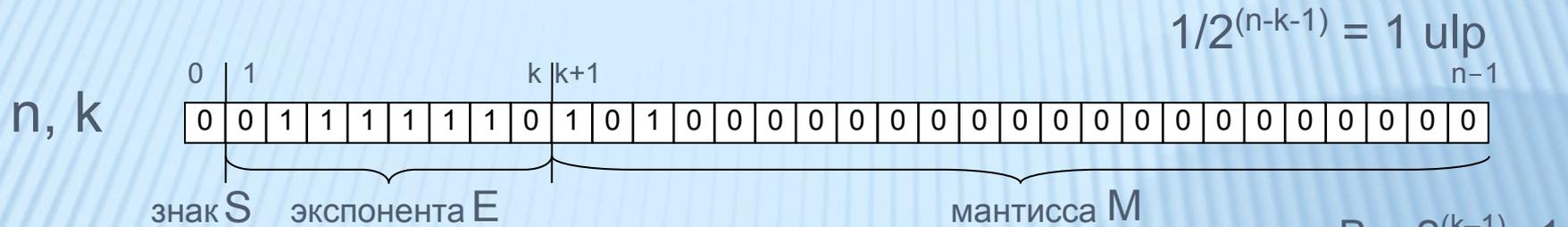
ОДНОЗНАЧНОСТЬ И СОВМЕСТИМОСТЬ



ПРИМЕР VI – ЧИСЛА С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ

- Представляют вещественные числа
 - Бесконечное (даже несчетное) множество представляется конечным
 - Двоичная система счисления точно представляет лишь числа вида $N/2^n$
 - Вводятся ограничения на величину и малость
- Стандарт IEEE 754 [1982, 2008]

ПРИМЕР VI – ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЧИСЕЛ



- Нормализованные: $E > 0 \wedge E < 2^k - 1$ $X = (-1)^S \cdot 2^{(E-B)} \cdot (1 + M/2^{(n-k-1)})$

$2^{(-1)} \cdot 1.10100_2 = 13/16 = 0.8125$
- Денормализованные: $E = 0$ $X = (-1)^S \cdot 2^{(-B+1)} \cdot (M/2^{(n-k-1)})$

$0, -0$
- Exceptional : $E = 2^k - 1$

 - $M = 0$: $+\infty, -\infty$ $1/0 = +\infty, (-1)/0 = -\infty$
 - $M \neq 0$: NaN $0/0 = \text{NaN}$

n = 32, k = 8 – float (single precision)
n = 64, k = 11 – double
n ≤ 79, k = 15 – extended double
n = 128, k = 15 – quadruple

ПРИМЕР VI – НЕКОТОРЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

	Общий вид	float	double	ext. double	quadruple
min денорм.	$2^{-B-n+k+2}$	2^{-149}	2^{-1074}	2^{-16446}	2^{-16494}
min норм.	2^{-B+1}	2^{-126}	2^{-1022}	2^{-16382}	2^{-16382}
max	$2^{B-n+k+1}(2^{n-k}-1)$	$2^{104}(2^{24}-1)$	$2^{971}(2^{53}-1)$	$2^{16319}(2^{65}-1)$	$2^{16271}(2^{113}-1)$
max < 1	$1-2^{-n+k}$	$1-2^{-24}$	$1-2^{-53}$	$1-2^{-65}$	$1-2^{-113}$
min > 1	$1+2^{-n+k+1}$	$1+2^{-23}$	$1+2^{-52}$	$1+2^{-64}$	$1+2^{-112}$

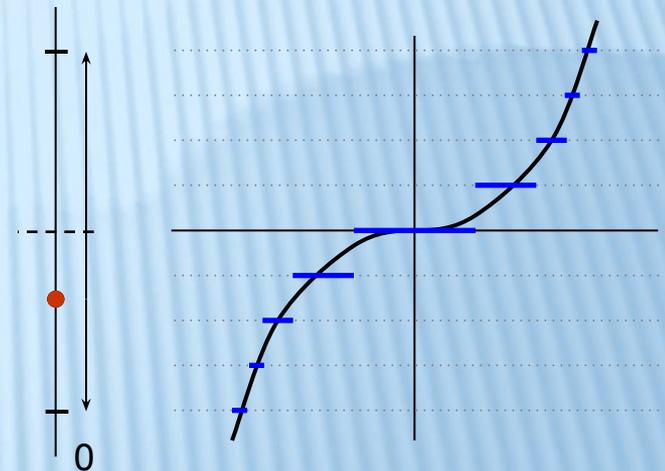
ПРИМЕР VI – ОПЕРАЦИИ

- $+, -, *, /$
- $\text{fma}(x,y,z)=x*y+z$ [2008]
- $\text{remainder}(x,y) = x - y*n : n=\text{round}(x/y)$
- sqrt
- Преобразования между типами с плавающей точкой ($\text{float} \leftrightarrow \text{double}, \dots$)
- Преобразования к целым типам и обратно
- (Рекомендуемые) [2008]
 $\text{floor}, \text{ceil}, \text{abs}, \text{ilogb}, \text{exp}, \text{log}, \text{exp10}, \text{sin}, \text{sinp}, \dots$

ПРИМЕР VI – РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

□ Корректное округление – 4 режима

- к $+\infty$
- к $-\infty$
- к 0
- к ближайшему (к четному)
- (опция, 2008) к ближайшему (от 0)



□ Флаги исключений

- INVALID : некорректные аргументы (результат NaN)
- DIVISION-BY-ZERO : бесконечный результат (точно $\pm\infty$)
- OVERFLOW : переполнение (результат $\pm\infty$)
- UNDERFLOW : слишком маленький (или денорм.) результат
- INEXACT : неточный результат

ПРИМЕР VI – ТРЕБОВАНИЯ К SIN В POSIX

NAME sin, sinf, sinl - sine function

SYNOPSIS #include <math.h> double sin(double x); float sinf(float x); long double sinl(long double x);

DESCRIPTION

These functions shall compute the sine of their argument x , measured in radians.

An application wishing to check for error situations should set *errno* to zero and call *feclearexcept*(FE_ALL_EXCEPT) before calling these functions. On return, if *errno* is non-zero or *fetestexcept*(FE_INVALID | FE_DIVBYZERO | FE_OVERFLOW | FE_UNDERFLOW) is non-zero, an error has occurred.

RETURN VALUE

Upon successful completion, these functions shall return the sine of x .

If x is NaN, a NaN shall be returned.

If x is ± 0 , x shall be returned.

If x is subnormal, a range error may occur and x should be returned.

If x is $\pm \text{Inf}$, a domain error shall occur, and either a NaN (if supported), or an implementation-defined value shall be returned.

ERRORS

These functions shall fail if:

Domain Error The x argument is $\pm \text{Inf}$. If the integer expression (*math_errhandling* & MATH_ERRNO) is non-zero, then *errno* shall be set to [EDOM]. If the integer expression (*math_errhandling* & MATH_ERREXCEPT) is non-zero, then the invalid floating-point exception shall be raised.

These functions may fail if:

Range Error The value of x is subnormal. If the integer expression (*math_errhandling* & MATH_ERRNO) is non-zero, then *errno* shall be set to [ERANGE]. If the integer expression (*math_errhandling* & MATH_ERREXCEPT) is non-zero, then the underflow floating-point exception shall be raised.

ПРИМЕР VI – POSIX VERSUS IEEE 754

IEEE 1003.1 (POSIX)

63 действительных функций + 22 complex

- ❑ Все флаги IEEE 754 (кроме INEXACT) для действительных функций

- ❑ Выставление Domain error ~ Range error ~
 - glibc : $+\infty$
 - MSVCRT : max double (1.797693134862316e+308)
 - Solaris libc : max float (3.402823466385289e+38)

- ❑ Для денормализованного x $f(x) \sim x$ для всех функций $f(x) \sim x$ (asin, sinh, expm1...)

- ❑ При переполнении должно возвращаться HUGE_VAL (точное значение HUGE_VAL не определено)

Источник несовместимости

Противоречие с режимами округления

ПРИМЕР VI – ДРУГИЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ

POSIX :
HUGE_VAL
ВМЕСТО $+\infty$



Корректное округление в соответствии с режимом



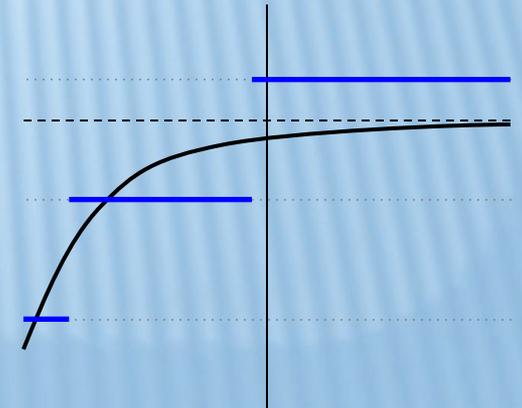
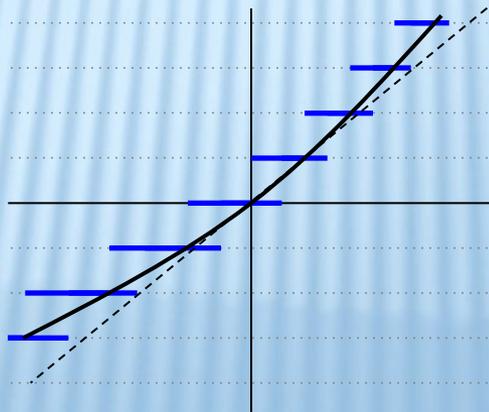
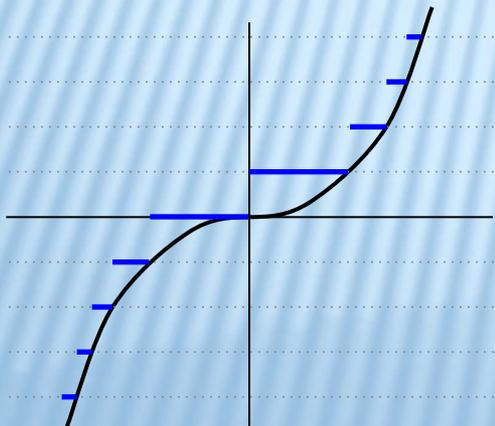
Нечетность,
др. симметрии $-x$, $1/x$



POSIX : $f(x) = x$ при
денорм. x и $f(x) \sim x$ в 0



Ограничения значений



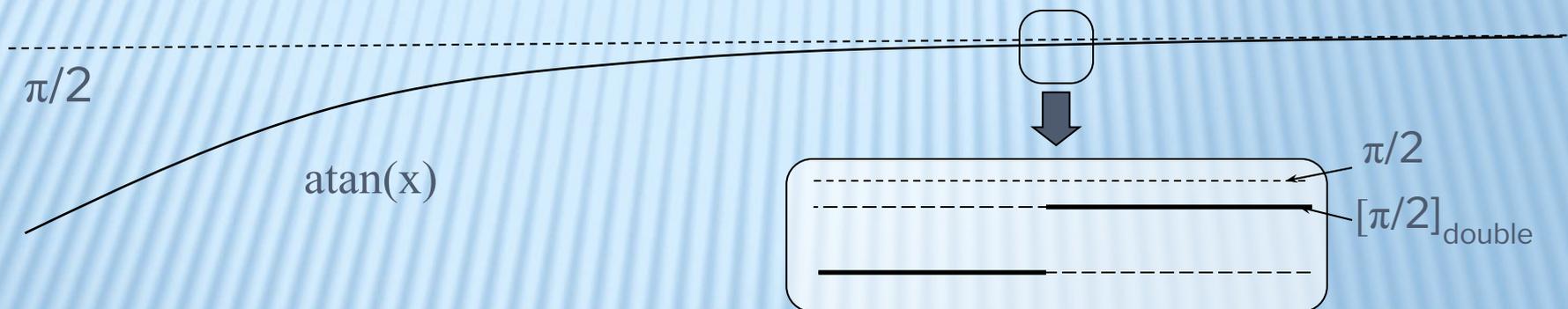
ПРИМЕР VI – КОРРЕКТНОЕ СВОЙСТВО

$\tan(x)$, $\text{atan}(x)$ – тангенс и арктангенс

- $\tan(\text{atan}(x)) \sim x$ при $x \rightarrow +\infty$

Для чисел с плавающей точкой (double)

- $(\tan(\text{atan}(10^{50}))) = 1.633123935319537... \cdot 10^{16}$



$$[\pi/2]_{\text{double}} = 884279719003555/2^{49}$$

$$\text{при } x > \tan([\pi/2]_{\text{double}}) \quad \tan(\text{atan}(x)) = \tan([\pi/2]_{\text{double}}) \approx 1/(\pi/2 - [\pi/2]_{\text{double}})$$

$$(\pi/2 - [\pi/2]_{\text{double}}) = 6.1232339957367658... \cdot 10^{-17}$$

ПРИМЕР VI – ТЕСТИРОВАНИЕ БИБЛИОТЕК

ID	Процессор	Библиотека	ОС
x86	i686	glibc 2.5	Linux Fedora
ia64	ia64	glibc 2.4	Linux Debian
x86_64	x86_64	glibc 2.3.4	Linux RHEL
s390	s390	glibc 2.4	Linux Debian
ppc64	ppc64	glibc 2.7	Linux Debian
ppc32	ppc32	glibc 2.3.5	Linux SLES
sparc	UltraSparc III	Solaris libc	Solaris 10
VC8	x86_64	MS Visual C 2005	Windows XP
VC6	i686	MS Visual C 6.0	Windows XP

ПРИМЕР VI – РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТОВ

rint(262144.25) = 262144
 expm1(2.2250738585072e-308) = 5.421010862427522e-20

	ceil	floor	round	trunc	nearby int	fabs	logb	cbrt	exp	expm1	log	log10	log2	log1p	to nearest	to -∞
x86	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
ia64	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
x86_64	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
s390	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
ppc64	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
ppc32	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
sparc	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
VC6	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

exp(553.8042397037792) = -1.710893968937284e+239

exp(-6.453852113757105e-02) = 0.9371111111111111

erf(3.296656889776298) = 0.9999999999999999

erfc(3.296656889776298) = 8.035526204864467e-8

	gamma	j0	j1	y0	y1
x86	Green	Green	Green	Green	Green
ia64	Green	Green	Green	Green	Green
x86_64	Green	Green	Green	Green	Green
s390	Green	Green	Green	Green	Green
ppc64	Green	Green	Green	Green	Green
ppc32	Green	Green	Green	Green	Green
sparc	Green	Green	Green	Green	Green
VC6	Green	Green	Green	Green	Green
VC8	Green	Green	Green	Green	Green

cos(917.2279304172412) = -13.44757421002838

erfc(-5.179813474865007) = -3.419501182737284e+287

sinh(29.22104) = 9.801714032956058e-2

Legend for error types:

- 1 ulp errors* (Light Green)
- 2-5 ulp errors (Olive Green)
- 2¹⁰-2²⁰ ulp errors (Light Blue)
- >2²⁰ ulp errors (Red)
- Errors for denormals (Yellow)
- Completely buggy (Dark Red)
- Unsupported (Black)

ПРИМЕР VI – ОДИНАКОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

	ceil	floor	round	trunc	rint	nearbyint	fabs	logb	sqrt	cbrt	exp	exp2	expm1	log	log10	log2	log1p				
x86																					
ia64																					
x86_64																					
s390																					
ppc64																					
ppc32																					
sparc																					
VC6																					
VC8																					
	sinh	cosh	tanh	asinh	acosh	atanh	sin	cos	tan	asin	acos	atan	erf	erfc	tgamma	lgamma	j0	j1	y0	y1	
x86																					
ia64																					
x86_64																					
s390																					
ppc64																					
ppc32																					
sparc																					
VC6																					
VC8																					

■ Unsupported

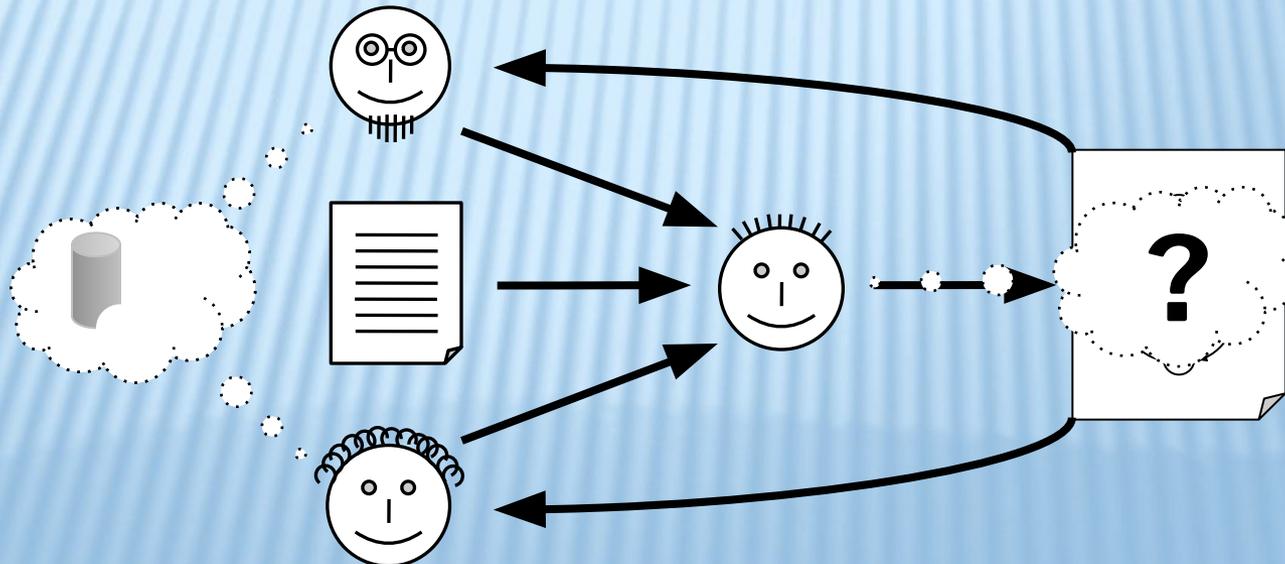
БОНУСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ

Представление требований в виде математической модели

- Возможности анализа
 - Однозначности
 - Непротиворечивости
 - Полноты
- Возможности проверки (верификации)
 - Правила для статического анализа
 - Критерии корректности для тестов
- Адекватность **не**
гарантируется!

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ

- Как проверить понимание?
- Переформулировка + оценка + правка
- Представить информацию в другой форме
 - Текст □ таблицы, диаграммы, схемы
 - Таблицы □ диаграммы, грамматики
 - Диаграммы □ структурированный текст, таблицы



ПРИМЕР VII – STRTOD(), POSIX

`strtod` – преобразование строки в число с плавающей точкой

□ Интерфейс

```
double strtod(const char *nptr, char **endptr)
```

□ Описание

- Преобразует начало строки `nptr` в число типа `double`
- Декомпозиция исходной строки
 - Начальные пробелы
 - Далее – то, что можно считать числом
 - Нераспознанные символы (начало записывается в `endptr`)
- Преобразование распознанной части в число

□ Результаты

- При успешной конвертации – число
- Иначе
 - При переполнении – `+HUGE_VAL` или `-HUGE_VAL`, `errno := [ERANGE]` (shall)
 - При слишком малом результате – `0`, `errno := [ERANGE]` (shall)
 - Иначе `0`, `errno := [EINVAL]` (may)

ПРИМЕР VII – РАЗМЕТКА ТРЕБОВАНИЙ

The expected form of the subject sequence is an optional plus or minus sign, then one of the following:

- A non-empty sequence of decimal digits optionally containing a radix character, then an optional exponent part
- A 0x or 0X, then a non-empty sequence of hexadecimal digits optionally containing a radix character, then an optional binary exponent part
- One of INF or INFINITY, ignoring case
- One of NAN or NAN(*n-char-sequence_{opt}*), ignoring case in the NAN part, where:

n-char-sequence:
digit
nondigit
n-char-sequence digit

The subject sequence is defined as the longest initial subsequence of the input string, starting with the first non-white-space character, that is of the expected form. The subject sequence contains no characters if the input string is not of the expected form.

If an exponent part nor a radix character appears in a decimal floating-point number, or if a binary exponent part does not appear in a hexadecimal floating-point number, an exponent part of the appropriate type with value zero is assumed to follow the last digit in the string. If the subject sequence begins with a minus sign, the sequence shall be interpreted as negated. A character sequence INF or INFINITY shall be interpreted as an infinity, if representable in the return type, else as if it were a floating constant that is too large for the range of the return type. A character sequence NAN or NAN(*n-char-sequence_{opt}*) shall be interpreted as a quiet NaN, if supported in the return type, else as if it were a subject sequence part that does not have the expected form; the meaning of the *n-char-sequence* is implementation-defined. A pointer to the final string is stored in the object pointed to by *endptr*, provided that *endptr* is not a null pointer.

If the subject sequence has the hexadecimal form and FLT_RADIX is a power of 2, the value resulting from the conversion is correctly rounded.

[CX] The radix character is defined in the program's locale (category LC_NUMERIC). In the POSIX locale, or in a locale where the radix character is not defined, the radix character shall default to a period ('.').

In other than the C [CX] or POSIX locales, other implementation-defined subject sequences may be accepted.

If the subject sequence is empty or does not have the expected form, no conversion shall be performed; the value of *str* is stored in the object pointed to by *endptr*, provided that *endptr* is not a null pointer.

[CX] The *strtod*() function shall not change the setting of *errno* if successful.

Since 0 is returned on error and is also a valid return on success, an application wishing to check for error situations should set *errno* to 0, then call *strtod*(), *strtodf*(), or *strtold*(), then check *errno*.

ПРИМЕР VII – РАЗБОР СТРОКИ

```
( [whitespace] ) *  
( '+' | '-' ) ?  
(  
  [digit or . '!'] + ( # 'e' ( '+' | '-' ) ? [digit] * ) ?  
  | # '0x' [hdigit or . . ] + ( # 'p' ( '+' | '-' ) ? [digit] * ) ?  
  | # 'inf' ( # 'inity' ) ?  
  | # 'nan' [any] *  
)
```

Exponent

Binary exponent

Radix character

ПРИМЕР VII – ВОЗВРАЩАЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

❑ **не число** ❑ result = 0,
 endptr = &nptr
 errno = may EINVAL

❑ **overflow** ❑ result = ±HUGE_VAL,
 endptr = .../
 errno = ERANGE

❑ **underflow** ❑ result = \$ (...),
 endptr = .../
 errno = ERANGE

❑ **normal** ❑ result =
 endptr = .../
 errno не менять

Денормализованный результат или 0

Указатель на хвост из неинтерпретированных символов

ПРИМЕР VII – СПЕЦИФИКАЦИЯ STR TOD()

```
specification Unifloat* strtod_spec(CString* st, CString** endptr, ErrorCode* errno) {  
  pre { REQ("", "endpt should be not NULL", endptr != NULL); return true; }  
  post {  
    CString* model_endptr; IntT model_err = 0;  
    Unifloat* model_res = strtod_model(st, &model_endptr, &model_err);  
    round_Unifloat(strtod_spec); round_Unifloat(model_res);  
    if (model_err == 1) {  
      REQ("strtod.13", "If no conversion is performed, the value of nptr shall be stored"  
        "in the object pointed to by endptr", equals(st, *endptr)); }  
    if (*errno == SUT_EINVAL) {  
      REQ("strtod.15", "If no conversion could be performed, 0 shall be returned"  
        , isZero_Unifloat(strtod_spec)); }  
    if (isOverflow_Unifloat(model_res)) {  
      REQ("strtod.16", "If the correct value is outside the range of representable values,"  
        "HUGE_VAL shall be returned", isInfinity_Unifloat(strtod_spec)); }  
    if (isUnderflow_Unifloat(model_res)) {  
      REQ("strtod.17", "If the correct value would cause underflow, the smallest normalized"  
        "positive number shall be returned"  
        , (compare_Unifloat(abs_Unifloat(strtod_spec), min_Unifloat(type)) != 1)  
        && (strtod_spec->sign == 1)); }  
    ...  
  }  
}
```

ПРИМЕР VII – АНАЛОГ STRTOD() ИЗ QT

```
double QString::toDouble ( bool * ok = 0 ) const
```

Returns the string converted to a double value.

Returns 0.0 if the conversion fails.

If a conversion error occurs, **ok* is set to false; otherwise **ok* is set to true.

Various string formats for floating point numbers can be converted to double values.

This function tries to interpret the string according to the current locale.

The current locale is determined from the system at application startup and can be changed by calling [QLocale::setDefault\(\)](#). If the string cannot be interpreted according to the current locale, this function falls back on the "C" locale.

Due to the ambiguity between the decimal point and thousands group separator in various locales, this function does not handle thousands group separators. If you need to convert such numbers, see [QLocale::toDouble\(\)](#).

See also [number\(\)](#), [QLocale::setDefault\(\)](#), [QLocale::toDouble\(\)](#), and [trimmed\(\)](#).

ПРИМЕР VIII – DOM

<http://www.w3.org/DOM/DOMTR>

□ Основные документы

- Core <http://www.w3.org/TR/2004/REC-DOM-2-0/>
- HTML <http://www.w3.org/TR/2003/REC-DOM-1-0/>
- Style (StyleSheets + CSS) <http://www.w3.org/TR/2000/REC-DOM-1-0/>
- Traversal and Range <http://www.w3.org/TR/2000/REC-DOM-Level-2-Traversal-Range/>
- Load-Save <http://www.w3.org/TR/2000/REC-DOM-1-0/>
- Validation <http://www.w3.org/TR/2000/REC-DOM-1-0/>
- Element Traversal <http://www.w3.org/TR/2008/REC-ElementTraversal-1-0/>
- Xpath <http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-DOM-Query-1-0/>
- Views and Formatting <http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-DOM-Views-1-0/>
- Events <http://www.w3.org/TR/2009/WG-DOM-Events-1-0/>

□ Дополнительные части

- DOM Events <http://www.w3.org/TR/2009/WG-DOM-Events-1-0/>
- MathML http://www.w3.org/TR/#tr_mathml
- SMIL http://www.w3.org/TR/#tr_smil
- SVG http://www.w3.org/TR/#tr_svg
- SVG Tiny http://www.w3.org/TR/#tr_svg_tiny

Interface Document

The Document interface represents the entire HTML or XML document. Conceptually, it is the `root` [p.207] of the document tree, and provides the primary access to the document's data.

Since elements, text nodes, comments, processing instructions, etc. cannot exist outside the context of a Document, the Document interface also contains the factory methods needed to create these objects. The `Node` [p.56] objects created have a `ownerDocument` attribute which associates them with the Document within whose context they were created.

IDL Definition

```
interface Document : Node {
    // Modified in DOM Level 3:
    readonly attribute DocumentType doctype;
    readonly attribute DOMImplementation implementation;
    readonly attribute Element documentElement;
    Element createElement(in DOMString tagName)
        raises (DOMException);

    DocumentFragment createDocumentFragment();
    Text createTextNode(in DOMString data);
    Comment createComment(in DOMString data);
    CDATASection createCDATASection(in DOMString data)
        raises (DOMException);
    ProcessingInstruction createProcessingInstruction(in DOMString target,
        in DOMString data)
        raises (DOMException);

    Attr createAttribute(in DOMString name)
        raises (DOMException);
    EntityReference createEntityReference(in DOMString name)
        raises (DOMException);
    NodeList getElementsByTagName(in DOMString tagName);
}
```

createAttribute

Creates an `Attr` [p.81] of the given name. Note that the `Attr` instance can then be set on an `Element` [p.85] using the `setAttributeNode` method.

To create an attribute with a `qualified name` [p.207] and `namespace URI` [p.207], use the `createAttributeNS` method.

Parameters

name of type `DOMString` [p.24]

The name of the attribute.

Return Value

`Attr` [p.81] A new `Attr` object with the `nodeName` attribute set to `name`, and `localName`, `prefix`, and `namespaceURI` set to null. The value of the attribute is the empty string.

Exceptions

`DOMException` [p.31] `INVALID_CHARACTER_ERR`: Raised if the specified name is not an XML name according to the XML version in use specified in the `Document.xmlVersion` [p.43] attribute.

ПРИМЕР VIII – ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ DOM

Модуль	Типы	Константы	Методы	Атрибуты	R/W Атрибуты
Core	34	64	89	75	10
HTML	56		36	293	255
Events	15	29	35	45	
Views	25	13	32	67	21
Style Sheets	5		4	12	2
CSS	22	37	22	158	132
Traversal	4	16	13	9	1
Range	3	8	19	7	
Load-Save	15	15	14	27	15
Validation	5	14	22	13	1
XPath	6	15	7	9	
Всего	190	211	283	715	437

ПРИМЕР VIII – РАЗМЕТКА ТРЕБОВАНИЙ

Node insertBefore (Node newChild, Node refChild)

Inserts the node newChild before the existing child node refChild. If refChild is null, insert newChild at the end of the list of children. If newChild is a DocumentFragment [p.40] object, all of its children are inserted, in the same order, before refChild. If the newChild is already in the tree, it is first removed.

Общее, N1

N2

N4

N3

Note: Inserting a node before itself is implementation dependent.

Parameters: newChild of type Node – The node to insert.

refChild of type Node – The reference node, i.e., the node before which the new node must be

inserted.

N5

E1

E2

E3

E4

E5

E6

Return Value: The node being inserted.

Exceptions: DOMException

HIERARCHY_REQUEST_ERR: Raised if this node is of a type that does not allow children of the type of the newChild node, or if the node to insert is one of this node's ancestors or this node itself, or if this node is of type Document [p.41] and the DOM application attempts to insert a second DocumentType [p.115] or Element [p.85] node.

WRONG_DOCUMENT_ERR: Raised if newChild was created from a different document than the one that created this node.

NO_MODIFICATION_ALLOWED_ERR: Raised if this node is readonly or if the parent of the node being inserted is readonly.

NOT_FOUND_ERR: Raised if refChild is not a child of this node.

NOT_SUPPORTED_ERR: if this node is of type Document [p.41], this exception might be raised if the DOM implementation doesn't support the insertion of a DocumentType [p.115] or Element [p.85] node.

E7

E9

E10

E11

E8

ПРИМЕР VIII – НЕОДНОЗНАЧНОСТИ

insertBefore modified in DOM Level 3

Inserts the node `newChild` before the existing child node `refChild`. If `refChild` is `null`, insert `newChild` at the end of the list of children.

If `newChild` is a `DocumentFragment` [p.40] object, all of its children are inserted, in the same order, before `refChild`. If the `newChild` is already in the tree, it is first removed.

Note: Inserting a node before itself is implementation dependent.

Parameters

`newChild` of type `Node` [p.56]
The node to insert.

`refChild` of type `Node`

The reference node, i.e., the node before which the new node must be inserted.

Return Value

`Node` [p.56] The node being inserted.

Что имеется в виду под «the node being inserted»?

`DocumentFragment` или его элемент?

- ❑ Что будет при вставке `null`?
- ❑ При вставке `DocumentFragment`
 - Что будет результатом?
 - Как изменится список «детей» при некорректном «ребенке» в конце?
 - Можно ли добавить пустой `DocumentFragment`, если добавлять «детей» нельзя?
- ❑ Как определить, поддерживается ли вставка `DocumentType` и `Element`?
- ❑ Почему нет ограничений на порядок «детей» в `Document`?

		Firefox 3.6.3		Opera 10.53.3374		Chrome 5.0.307.1		Safari 4.0.5 (531.22.7)		Internet Explorer 8.0.6015.5082		Internet Explorer 9.0.7744.0		
Interface	Member	Level	Support	Value	Support	Value	Support	Value	Support	Value	Support	Value	Support	Value
Node		1	supported		supported		supported		supported		supported		supported	
Node	nodeName	1	string	HEAD	string	HEAD	string	HEAD	string	HEAD	string	HEAD	string	HEAD
Node	nodeValue	1	object	<null>	object	<null>	object	<null>	object	<null>	object	<null>	object	<null>
Node	nodeType	1	number	1	number	1	number	1	number	1	number	1	number	1
Node	parentNode	1	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]
Node	childNodes	1	object	[object Node]	object	[object Node]	object	[object Node]	function	[object Node]	object	[object Node]	object	[object Node]
Node	firstChild	1	object	[object Text]	object	[object Text]	object	[object Text]	object	[object Text]	object	[object Text]	object	[object Text]
Node	lastChild	1	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]
Node	previousSibling	1	object	<null>	object	<null>	object	<null>	object	<null>	object	<null>	object	<null>
Node	nextSibling	1	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]
Node	attributes	1	object	[object NamedNodeMap]	object	[object NamedNodeMap]	object	[object NamedNodeMap]	object	[object NamedNodeMap]	object	[object NamedNodeMap]	object	[object NamedNodeMap]
Node	ownerDocument	1	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]	object	[object HTMLDocument]
Node	namespaceURI	2	string	http://www.w3.org/1999/xhtml	object	<null>	string	http://www.w3.org/1999/xhtml	string	http://www.w3.org/1999/xhtml	undefined		undefined	
Node	prefix	2	object	<null>	object	<null>	object	<null>	object	<null>	undefined		undefined	
Node	localName	2	string	head	string	HEAD	string	head	string	head	undefined		undefined	
Node	baseURI	3	string	file:///E:/w3c/20080925/xml-test-2.0	string	file:///local	string	file:///E:/w3c/20080925/xml-test-2.0	string	file:///E:/w3c/20080925/xml-test-2.0	undefined		undefined	
Node	textContent	3	string	Test - DOM	string	Test - DOM	string	Test - DOM	string	Test - DOM	undefined		undefined	
Node	insertBefore()	1	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	object	[object]	object	[object]
Node	replaceChild()	1	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	object	[object]	object	[object]
Node	removeChild()	1	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	object	[object]	object	[object]
Node	appendChild()	1	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	object	[object]	object	[object]
Node	hasChildNodes()	1	function	TRUE	function	TRUE	function	TRUE	function	TRUE	object	TRUE	object	TRUE
Node	cloneNode()	1	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	function	[object HTMLDocument]	object	[object]	object	[object]
Node	normalize()	1	function	-	function	-	function	-	function	-	object	-	object	-
Node	isSupported()	2	function	TRUE	function	TRUE	function	TRUE	function	TRUE	undefined		undefined	
Node	hasAttributes()	2	function	TRUE	function	TRUE	function	TRUE	function	TRUE	undefined		undefined	
Node	compareDocumentPosition()	3	function	<empty>	function	<empty>	function	<empty>	function	<empty>	undefined		undefined	
Node	isSameNode()	3	function	TRUE	function	TRUE	function	TRUE	function	TRUE	undefined		undefined	
Node	lookupPrefix()	3	function	<null>	function	<null>	function	<null>	function	<null>	undefined		undefined	
Node	isDefaultNamespace()	3	function	TRUE	function	<empty>	function	<empty>	function	<empty>	undefined		undefined	
Node	lookupNamespaceURI()	3	function	<null>	function	<empty>	function	<null>	function	<null>	undefined		undefined	
Node	isEqualNode()	3	function	TRUE	undefined		function	TRUE	function	TRUE	undefined		undefined	
Node	getFeature()	3	function	<null>	function	<null>	undefined		undefined		undefined		undefined	
Node	setUserData()	3	function	<null>	undefined		undefined		undefined		undefined		undefined	
Node	getUserData()	3	function	<null>	undefined		undefined		undefined		undefined		undefined	
NodeList		1	supported		supported		supported		supported		supported		supported	
NodeList	length	1	number	2	number	2	number	2	number	2	number	2	number	2
NodeList	item()	1	function	[object Text]	function	[object Text]	function	[object Text]	function	[object Text]	string	[object]	string	[object]
NamedNodeMap		1	supported		supported		supported		supported		supported		supported	
NamedNodeMap	length	1	number	1	number	1	number	1	number	1	number	108	number	108
NamedNodeMap	getNamedItem()	1	function	<null>	function	<null>	function	<null>	function	<null>	object	call failed	object	call failed
NamedNodeMap	setNamedItem()	1	function	<null>	function	<null>	function	<null>	function	<null>	object	<null>	object	<null>
NamedNodeMap	removeNamedItem()	1	function	[object Attr]	function	[object Attr]	function	[object Attr]	function	[object Attr]	object	[object]	object	[object]
NamedNodeMap	item()	1	function	[object Attr]	function	[object Attr]	function	[object Attr]	function	[object Attr]	string	[object]	string	[object]
NamedNodeMap	getNamedItemNS()	2	function	<null>	function	<null>	function	<null>	function	<null>	undefined		undefined	
NamedNodeMap	setNamedItemNS()	2	function	<null>	function	<null>	function	<null>	function	<null>	undefined		undefined	
NamedNodeMap	removeNamedItemNS()	2	function	[object Attr]	function	call failed	function	[object Attr]	function	[object Attr]	undefined		undefined	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ I

- ❑ «Классические» формальные методы слишком трудоемки для подавляющего большинства сложных задач
- ❑ Формализация требований одна уже дает многие их бонусы
 - ❑ Позволяет проводить строгий анализ задачи
 - ❑ Оставляет затраты приемлемыми
 - ❑ При дополнении автоматизированными техниками верификации работает во многих практически значимых ситуациях

ЗАКЛЮЧЕНИЕ II

- Формализация – не панацея
 - Не гарантирует адекватности модели, для этого нужны дополнительные усилия
 - В сложных случаях все-таки очень сложна
- Нужны компонентные методы построения и анализа формальных моделей
 - Есть надежда, что они позволят эффективно работать со сверхсложными моделями

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!