ТЕСТВАНЕ НА УПРАВЛЯВАЩИЯ ПОТОК, ДАННОВИТЕ ЗАВИСИМОСТИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯТА

проф. д-р Десислава Петрова-Антонова

Съдържание

- Основни типове взаимодействия при изпълнение
- Тестване на управляващия поток
- Анализ на данновите зависимости
- Тестване на данновия поток

Софтуерна система

- Свързани функции или операции
- Компоненти
- Модули
- Подсистеми

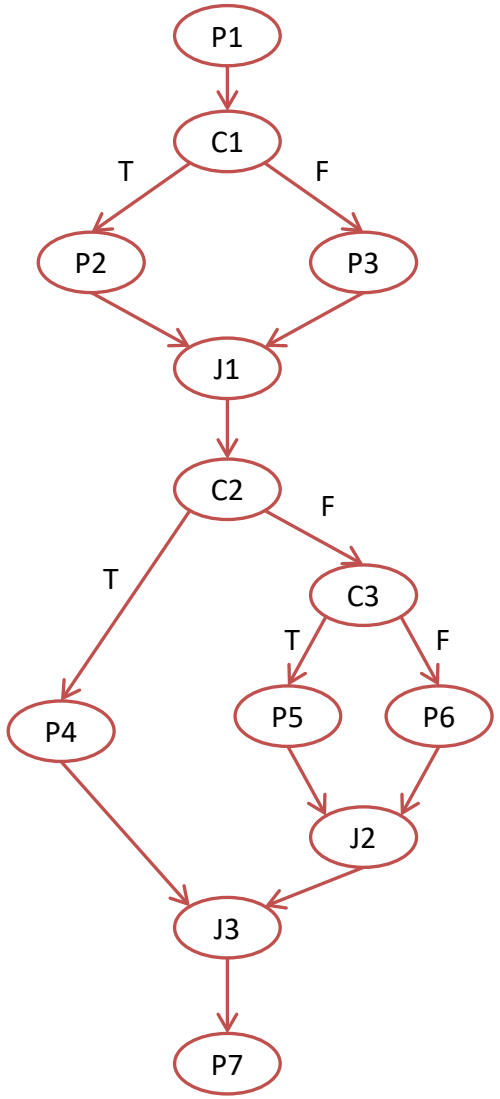
ТЕСТВАНЕ НА УПРАВЛЯВАЩИЯ ПОТОК

Тестване на управляващия поток: базова концепция

Използва граф на управляващия поток и се цели **пълно покритие на изпълнимите пътища**

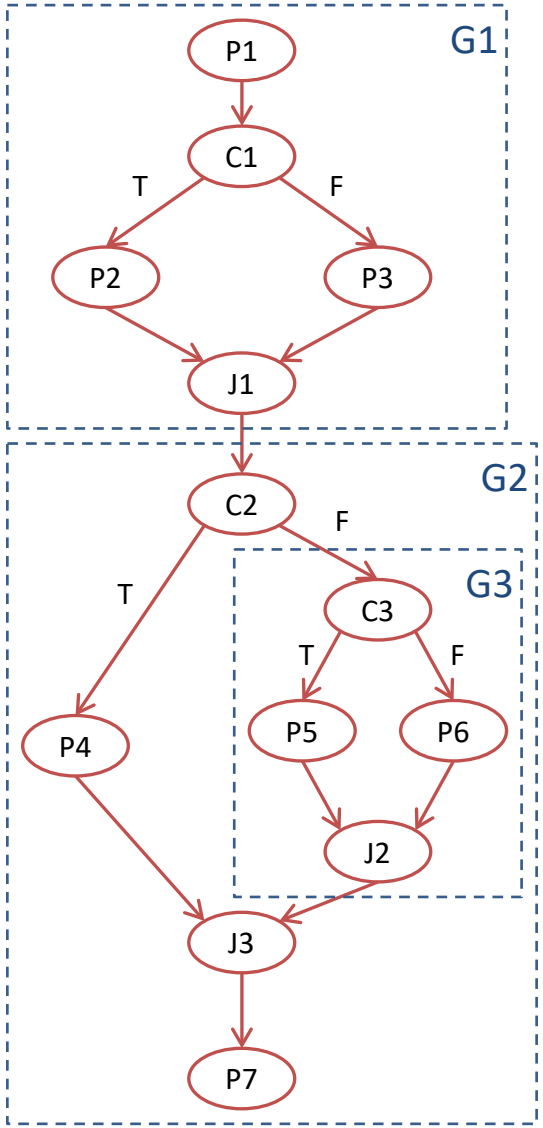
При тестването с краен автомат се цели **покритие на състоянията** или **покритие на преходите**

Граф на управляващия поток: структура



- Възли
  - Програмни единици за обработка на информация (White box) или работен товар (Black box)
- Дъги
  - Взаимовръзка от типа “е следван от”
- Начални и крайни възли
  - Възли, в които изпълнението на програмата съответно започва или приключва
- Изходна дъга
  - Дъга, която започва от определен възел
- Входна дъга
  - Дъга, която влиза в определен възел
  - При наличие на няколко входни дъги за възел изпълнението преминава по една от тях
- Възли за взимане на решение
  - Възел с множество изходни дъги (C1÷C3)
- Свързващи възли
  - Възел с множество входни дъги (J1÷J3)
- Обработващи възли
  - Възел, който извършва вътрешна или външна обработка и не е възел за взимане на решение или свързващ възел (P1÷P7)

Граф на управляващия поток: понятия и тестване



- Път
  - Завършен път от начален до краен възел, преминаващ през множество дъги и междинни възли
- Сегмент
  - Част от завършен път, при която първият и последният възел може съответно да не са начален и краен възел (G1÷G3)
- Цикъл
  - Многократно посещение на възли в път или сегмент
- Особености
  - Ако се допуска обработка във всички възли, то някои от тях могат да се обединят (J1 и C2; J2, J3 и P7)

Базова идея


Определяне на входни тестови данни
Избор на пътища за тестови сценарии

Последователност на тестване

Създаване и верифициране на граф (базира се на блок схеми, програмен код, документи от фазата на проектиране)

Дефиниране и избор на пътища с цел покритие на определени тестови сценарии

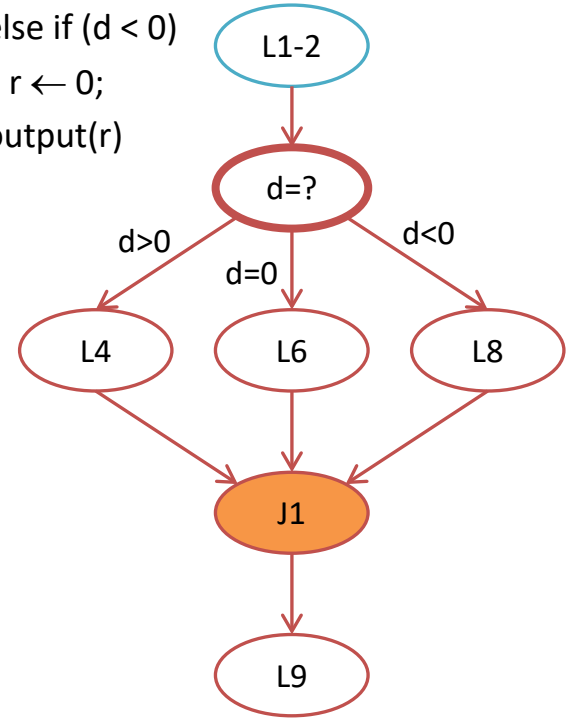
Определяне на входни стойности с цел изпълнение на пътищата

Изготвяне на план за проверка на резултата

Конструиране на модел при структурно тестване

$$ax^2 + bx + c = 0$$

```
L1:input(a, b, c)
L2: d ← b * b – 4 * a * c
L3: if (d > 0) then
L4:    r ← 2
L5: else if (d = 0) then
L6:    r ← 1
L7: else if (d < 0)
L8:    r ← 0;
L9: output(r)
```



- Последователност на конструиране на граф на управляващия поток
  - Асоцииране на обработващите възли с изразите за **присвояване, извикване на процедури** или **функции**
  - Асоцииране на възлите за взимане на решение с изразите за **условен преход** “if-then-else” или “if-then”, или **множествено разклонение** “switch-case”
  - Създаване на специален тип възли за разклонение и асоциирането им с **изразите за цикъл**
  - Асоцииране на началния и крайния възел на графа с **първия и последния израз в програмата**
- Проблеми
  - Създаване на граф с прекалено голям брой възли
    - ✓ Обединяване на последователни обработващи възли
  - Трудности при представяне на оператора “goto”

Конструиране на модел при функционално тестване

- Използване на потокови диаграми и случаи на употреба, описани в продуктовата спецификация
- Извличане на информация от продуктовата спецификация при отсъствие на потокови диаграми:
  - Асоцииране на обработващите възли с **действия**
  - Асоцииране на разклоняващите възли с **условия и взимане на решения**
  - Асоцииране на началните и крайните възли съответно с **първия и последния елемент в спецификацията**
- Проверка на конструирания модел
  - Липсващи или излишни възли и дъги, анализ на достижимостта

Конструиране на модел при функционално тестване

- Продуктово описание на програмата, решаваща уравнението $ax^2 + bx + c = 0$
  - За да реши уравнението, потребителят е необходимо да въведе параметри
  - Ако $b^2 - 4ac < 0$, то уравнението няма корен и потребителят трябва да бъде информиран
  - Ако $b^2 - 4ac = 0$, то коренът на уравнението се изчислява с формулата

$$r = -b/(2a)$$

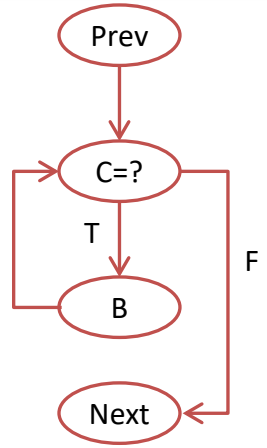
  - Ако $b^2 - 4ac > 0$, то корените на уравнението се изчисляват със следната формула

$$r = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

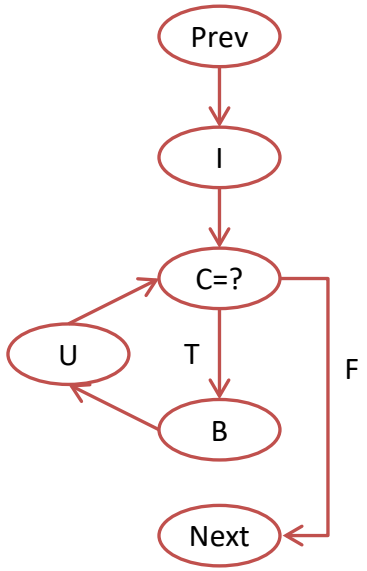
- *Графът на управляващия поток е аналогичен на този при пресмятане на броя на корените*
  - Фокусът е върху пътищата на изпълнение, а не върху специфичната обработка във възлите

Цикли в граф на управляващия поток

while

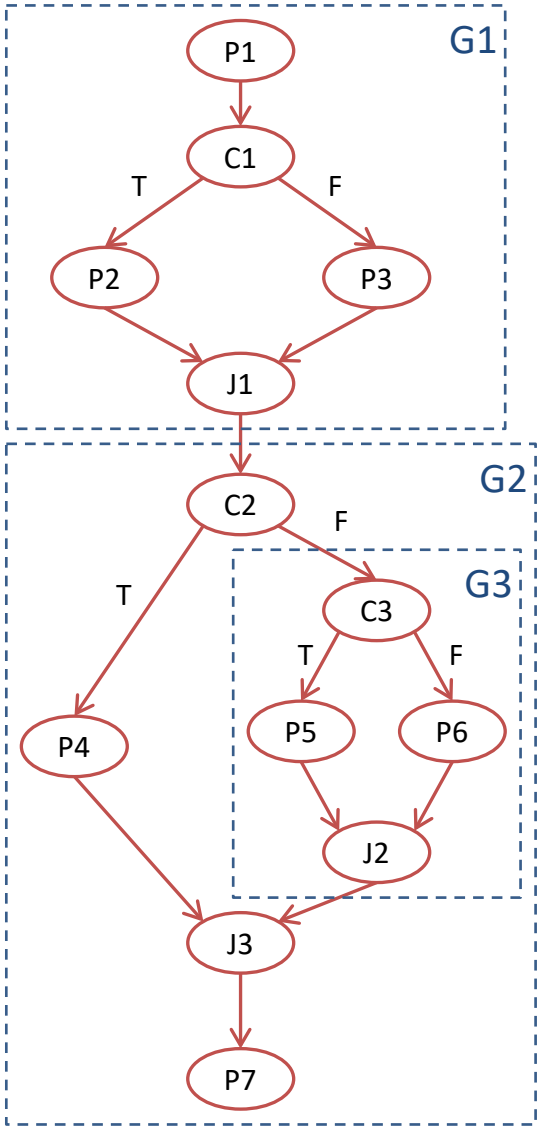


for



- Специфициране на цикъл “while”
  - “while (C) do { B }”
- Специфициране на цикъл “for”
  - “for (I; C; U) do { B }”
- Типове цикли
  - Детерминирани
    - ✓ “do (n) { B }”, броят на изпълнение на цикъла е известен (цикъл “for”)
    - ✓ Пример: обработка на масив
  - Недетерминирани
    - ✓ Броят на изпълнение на цикъла зависи от удовлетворяването на условие и е неизвестен (цикъл “while”)
    - ✓ Пример: функциониране на операционна система
  - Типа на цикъла зависи от програмния език и спецификата на операторите за реализацията им

Определяне на път



- Базови стъпки за определяне на път
  1. Декомпозиране на графа
  2. Дефиниране на път отдолу нагоре
- **Структуриран** граф на управляващия поток
  - Позволява само последователна конкатенация и влагане с единствени вход и изход
- Декомпозиция
  - G = G1 • G2 (-,G3); G3 е вложен във False разклонението
- Брой на пътищата при комбиниране на граф G1 с M пътища и граф G2 с N пътища
  - При последователна конкатенация G = G1 • G2 в G са налични M x N пътища
    - ✓ TT, TF, FT, FF (2 x 2 = 4)
  - При влагане G = G2(G3) в G са налчини M + N – 1 пътища
    - ✓ T, FT, FF (2 + 2 - 1 = 3)
- Дефиниране на път
  - Дефиниране на два пътя в G3, съответстващи на C3=T и C3=F
  - Влагане на пътищата от G3 в G2 и формирани на 3 пътища: **(1)** C2=T (**T-**); **(2)** C2=F и C3=T (**FT**); и **(3)** C2=F и C3=F (**FF**)
  - Конкатениране на G2(G3) с G1 и формиране на 6 пътища: **TT-**, **TFT**, **TFF**, **FT-**, **FFT**, **FFF**

Инициализиране на път

- Независими условия
  - Избор на стойности за променливите, които удовлетворяват специфичните условия за всеки път
    - ✓ При логически променливи в условията инициализацията на пътищата е директна
    - ✓ Пример: $C1 \equiv (x > 0)$, $C2 \equiv (y < 100)$ и $C3 \equiv (z = 10)$ се избират стойности за променливите x, y и z, така че да се удовлетворят условията по всеки път ($x = 1$, $y = 1024$ и $z = 10$ за път TFT)
- Зависими условия, определени от споделени логически или числови променливи
  - Елиминират се пътищата, които не могат да бъдат инициализирани
    - ✓ При конкатенация на два бинарни подграфа с противоположни условия $C1 = \neg C2$ се елиминират пътищата TT и FF
    - ✓ При конкатенация на два бинарни подграфа с условия $C1 \equiv (x > 0)$ и $C2 \equiv (x < 100)$ се елиминира пътят FF, както следва

$$(C1 = F) \wedge (C2 = F) \equiv \neg (x > 0) \wedge \neg (x < 100) \equiv (x \leq 0) \wedge (x \geq 100) \equiv \varnothing$$

Представяне на цикли

- Цикли
  - Многократно изпълнение на изрази в програмния код или функции от продуктовата спецификация
  - Имплицитни (рекурсия)
  - Експлицитни (goto)
- Тяло на цикъл
  - Представя се с възел или вложен граф
- Условие за изход от цикъл
  - Представя се с възел, който се асоциира с предикат, определен от управляващи променливи с динамични стойности за взимане на решение
- Входен и изходен възел от цикъла
- Два или повече цикъла могат да бъдат комбинирани посредством конкатенация и влагане

Проблеми при тестване на цикли

- Комбиниране на цикли
  - Конкатениране на цикли
    - ✓ Броят на циклите при конкатенация е произведение от броя на циклите във всеки цикъл
  - Влагане на цикли
    - ✓ Вътрешния цикъл се изпълняна N на брой пъти за всяка итерация i на външния цикъл

$$\sum_{i=0}^{M-1} N^i = \frac{N^M - 1}{N - 1}$$

- *Пълно покритие е недостижимо*
- Приложение на граничното тестване
  - Проблеми, свързани с долна граница
    - ✓ Инициализация на цикъла, обработка при 0 или 1 елемент
  - Проблеми, свързани с горна граница
    - ✓ Изпълнение на N $\pm$ 1 итерации в цикъла
- Приложение на тестване с класове на еквивалентност
  - Ако тестовете преминават за цикъл с N/2 итерации, то те ще преминат и за N/2+1 итерации

Стратегия за тестване на цикли 1/2

- Тестване на долна граница на цикъла
  - Пропускане на цикъл (**bypass**)
    - ✓ Решава проблеми, свързани с инициализация на променливи извън цикъла и промяна на стойностите им в него
  - Еднократно изпълнение на цикъл (**once**)
    - ✓ Решава проблеми, свързани с липса на инициализация на променливи, използвани в цикъла
  - Двукратно изпълнение на цикъл (**twice**)
    - ✓ Решава проблеми, които пречат на повторното изпълнение на цикъла
  - Изпълнение на минимален брой итерации в цикъл
    - ✓ Решаване на min и min±1 проблеми

Стратегия за тестване на цикли 2/2

- Тестване на горна граница N на цикъла
  - Изпълнение на тестове за N-1, N и N+1 итерации
- Тестване на типични случаи (typical)
- Тестване на конкатенирани цикли
  - bypass, once, twice, typical, max - 1, max, max + 1 (7 тестови сценария)
  - Броят на тестовите сценарии за два конкатенирани цикъла е 49
- Тестване на вложени цикли
  - Броят на тестовите сценарии при външен цикъл с горна граница N е 7^N
  - Редуциране на тестовите сценарии
    - ✓ Йерархична стратегия за тестване: тестване на вътрешния цикъл и замяна с единичен възел
    - ✓ Случаен избор на тестов сценарий за вътрешния цикъл

Приложимост на тестването на управляващия поток

- Тестване с граф на управляващия поток vs. тестване с машина на крайните състояния
  - Брой на генерираните тестови сценарии
  - Покритие на проблеми, свързани с динамично взимане на решение и взаимодействие
  - Приложение при системи с взаимосвързани интензивни изчисления
- Приложение
  - Структурно тестване на малки програми или тестване на отделни програмни единици
  - За големи софтуерни системи се препоръчва създаване на граф с груба гранулярност
    - ✓ Възлите представят главни функции (black-box) или компоненти (white-box)
  - Статистическо тестване, базирано на употреба
    - ✓ Асоцииране на вероятност за изпълнение на отделните пътища (използване на експлицитен оперативен профил на Муса)

ТЕСТВАНЕ НА ПОТОКА ОТ ДАННИ

Даннови зависимости: операции

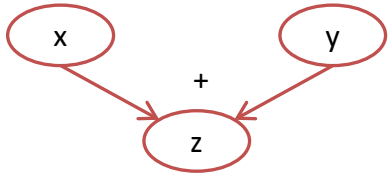
- Анализ на данновите зависимости
  - Анализ на взаимовръзката между променливите
- Тестване на данновите зависимости
  - Верификация на коректното реализиране на взаимовръзките между програмните променливи
- Типове използване на променливи или елементи с данни
  - P-use: използване в предикат
  - C-use: използване за изчисление
- Операции върху даннови променливи
  - D-operation: дефиниране на данни посредством създаване, инициализиране, присвояване и др.
    - ✓ Деструктивна операция (стойността на променливата се променя)
  - U-operation
    - ✓ P-use или C-use
    - ✓ Недеструктивна операция

Даннови зависимости: релации

- D-U relation
  - Първоначално дефиниране на променлива и последващо използване
- D-D relation
  - Двукратно дефиниране на променлива, при което първоначалната ѝ стойност се унищожава
  - Възниква при **припускане** на U-операция или при опит за запис на нова стойност от паралелни процеси
    - ✓ Индикация за проблем или неефективност в софтуера
- U-U relation
  - Двукратно използване на променлива
  - Игнорира се при анализ на данновите зависимости, тъй като засяга реализацията на конкретен изпълним път в софтуера
- U-D релация
  - Използване и последващо дефиниране на променлива
    - ✓ Създава проблеми, ако променливата не е инициализирана

Тестване на данновите зависимости: концепция

- Генериране на тестови сценарии
  - Извършва се анализ на данновите зависимости с фокус върху релациите от тип D-U
- Граф на данновите зависимости
  - Асоцииране на възлите с дефиниции на даннови елементи (променлива, константа, структура)
  - Асоцииране на дъгите с релации от тип D-U (“is-used-by”)
    - ✓ $z \leftarrow x + y$



- Предимство на тестването на данновите зависимости
  - Фокусира се върху проверка на взаимовръзките между данните вместо върху последователността на изчисление
    - ✓ $z \leftarrow x + y$
    - ✓ $i \leftarrow i + 1$

Последователност на тестване

!Създаване и верифициране на граф на данновите зависимости

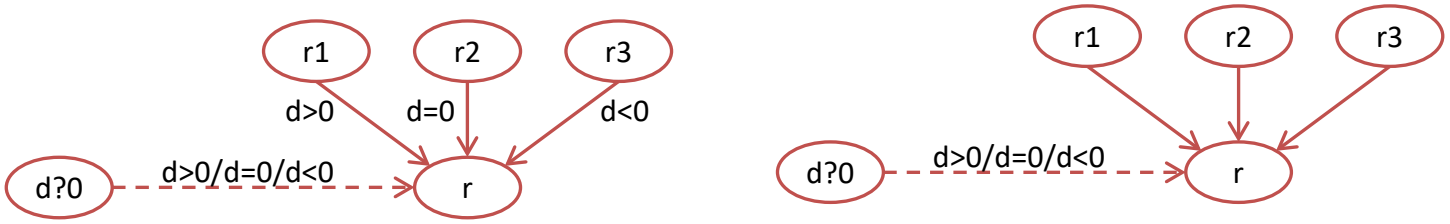
Дефиниране и избор на даннови елементи за създаване на тестови сценарии

Инициализиране на входните променливи

Планиране на проверката на резултата

Граф на данновите зависимости: елементи

- Всеки възел представя дефиниция на даннов елемент x, означена с $D(x)$
  - Изходен възел или възел-резултат
    - ✓ Представя изчислителен резултат в програмата
  - Входен възел или възел-константа
    - ✓ Представя вход, определен от потребителя или предварително дефинирана константа
  - Междинни възли или възли за съхранение
    - ✓ Улесняват изчислителната процедура, правейки по-лесното получаване на резултат от входа на системата
- Всички релации в графа са от тип D-U
- Селекторен или условен възел
  - Представя дефиниция за избор или условие върху определен даннов елемент
    - ✓ Възможните стойности за r за уравнение $ax^2 + bx + c = 0$ се представят с $r1$, $r2$ и $r3$ и зависят от $d = b^2 - 4ac$

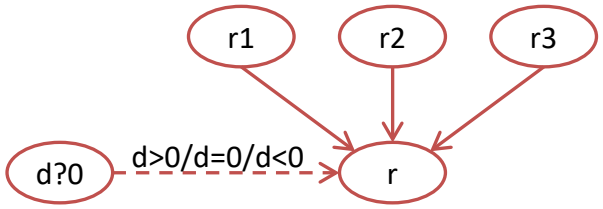


Селекторен възел и характеристики на графа

$(d > 0) \Rightarrow r \leftarrow 2$

$(d = 0) \Rightarrow r \leftarrow 1$

$(d < 0) \Rightarrow r \leftarrow 0$



Типове операции в примера

- C-use
  - ✓ Асоциира се с изчисляване на променливите $r1$, $r2$ и $r3$ и използване на константите 0, 1 и 2
- P-use
  - ✓ Асоциира се с променливата d и константата 0

Характеристики на графа

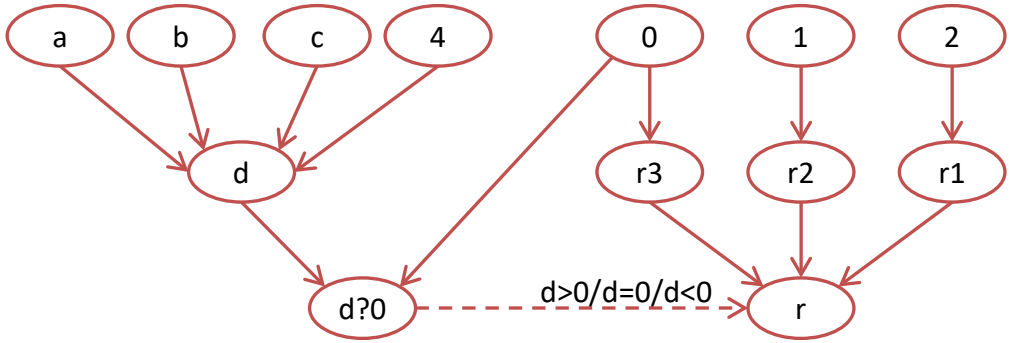
- Наличие на една или малък брой изходни променливи
- Наличие на множество входни променливи и константи
- Наличие на множество входни дъги
- Наличие на “дървовидна” форма на графа

Базова процедура за конструиране на граф

- Източници на информация
  - Програмна реализация на малки компоненти от програмата (white-box)
  - Детайлна функционална спецификация (black-box)
- Начини за конструиране на граф на данновите зависимости

Конструиране на граф: пример

- Всички листа на графа са входни променливи или константи
- Изчисляване на корените на уравнението $ax^2 + bx + c = 0,\ d = b^2 - 4ac$
  - $(d > 0) \Rightarrow r \leftarrow 2$
  - $(d = 0) \Rightarrow r \leftarrow 1$
  - $(d < 0) \Rightarrow r \leftarrow 0$



- Приложение
  - Идентифициране на променливи в спецификацията или реализацията, които не са включени в граф на данновия поток
    - ✓ Даннови проблеми или загуба на ресурси
  - Идентифициране на възли, които не са свързани с път до изходните възли
    - ✓ Загуба на ресурси за конструиране на ненужни пътища

Индиректно конструиране на граф

- Идентифициране на променливите и константите $x_1, x_2, \ldots, x_n$, използвани за дефиниране на текущ възел y с операция $D(y)$:

$$y \leftarrow (x_1, x_2, \ldots, x_n)$$

- За всеки даннов елемент x_i се извършва връщане към последната му дефиниция посредством идентифициране на двойка D-U за x_i.
- Ако $D(y)$не е в разклонение, то се създава дъга между възел x_i и възел y
- Ако $D(y)$ е в условно разклонение, се изпълнява следното
  - Анализира се ситуация **“blockI; if C then A else B”**
  - Създават се последователни подграфи “blockI; A” (y_1) и “blockI; B” (y_2) за всяко разклонение
  - Създава се подграф за условен селектор “blockI; C”
  - Селекторният възел се използва от y за избор на даннова дефиниция y_1 или y_2
    - ✓ Дефинициите y_1 и y_2 могат да бъдат директно свързани със селекторния възел y
    - ✓ Управляващата входна дъга към y изхожда от селекторния подграф

Примери

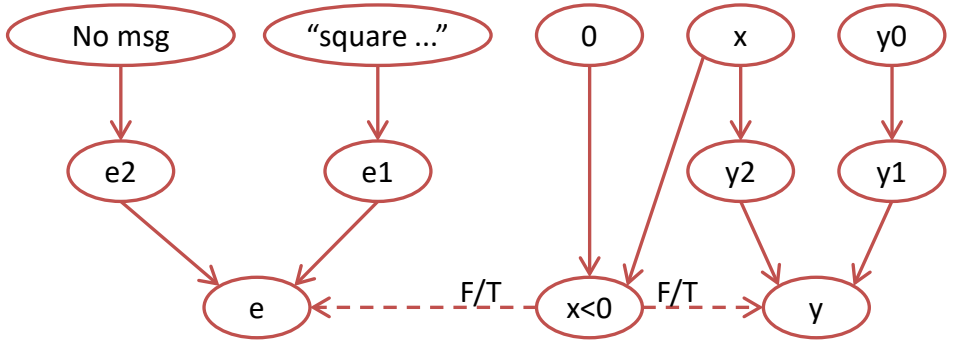
- Липса на “else” клауза

```
input (x)
y ← x;
if (x < 0) then y ← – x;
output(y)
```

y има 2 възможни стойности в зависимост от условието $x < 0$!

- Използване на няколко променливи при наличие на разклонение

```
input (x)
if (x < 0) then
    exit(“squire root undefined for negative numbers”);
else y ← sqrt(x)
return(y)
```



Представяне на цикли

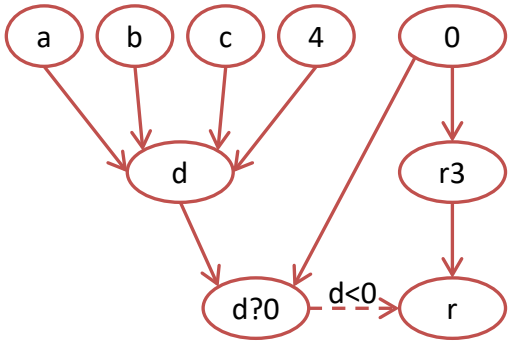
- Особености и проблеми при представянето на цикли с граф на данновите зависимости
  - Наличие на данни, които се споделят между итерациите на цикъла
  - Невъзможност да се извърши пълен даннов анализ дори и при цикли с ограничен брой итерации
  - Циклите в реалната реализация могат да не съответстват на цикли в концептуалните модели или функционалните спецификации
    - ✓ Пример: сума на елементите в масив

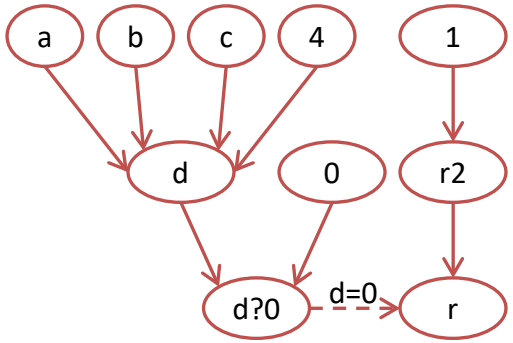
$$S = \sum_{i=1}^{n} A[i]$$

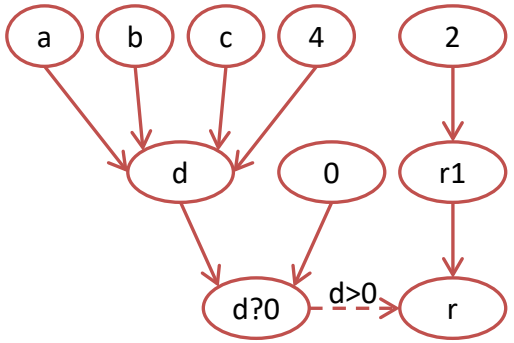
    - ✓ Фокусиране върху концептуалните зависимости между S и A, вместо върху индивидуалните елементи A[i]
- Възможни решения
  - Прилагане на двуфазната стратегия за тестване
    - ✓ Тестване на цикъла с граф на управляващия поток
    - ✓ Замяна на цикъла с единичен изчислителен възел от вида “S ← arraysum(A)” и изпълнение на тестване с граф на потока от данни
  - Представяне на цикъла с един или два вложени “if” оператори
    - ✓ Преобразуване на “while C do B” в “if C then {B; if C then B}”

Тестово покритие на подграфи

- Подграф в граф на потока от данни
  - Специфична стойност на изходна променлива от специфични стойности на входни променливи и константи
- Създаване на <u>един</u> подграф за покритие на всички входни променливи и константи
  - Наличие на една изходна променлива и липса на селекторни възли
- Създаване на <u>няколко</u> подграфи за всяка входна даннова дъга на селекторния възел
  - Наличие на селекторни възли
- Формиране на подграфи за селекторния възел при изчисляване на корените на уравнението $ax^2 + bx + c = 0,\ d = b^2 - 4ac$

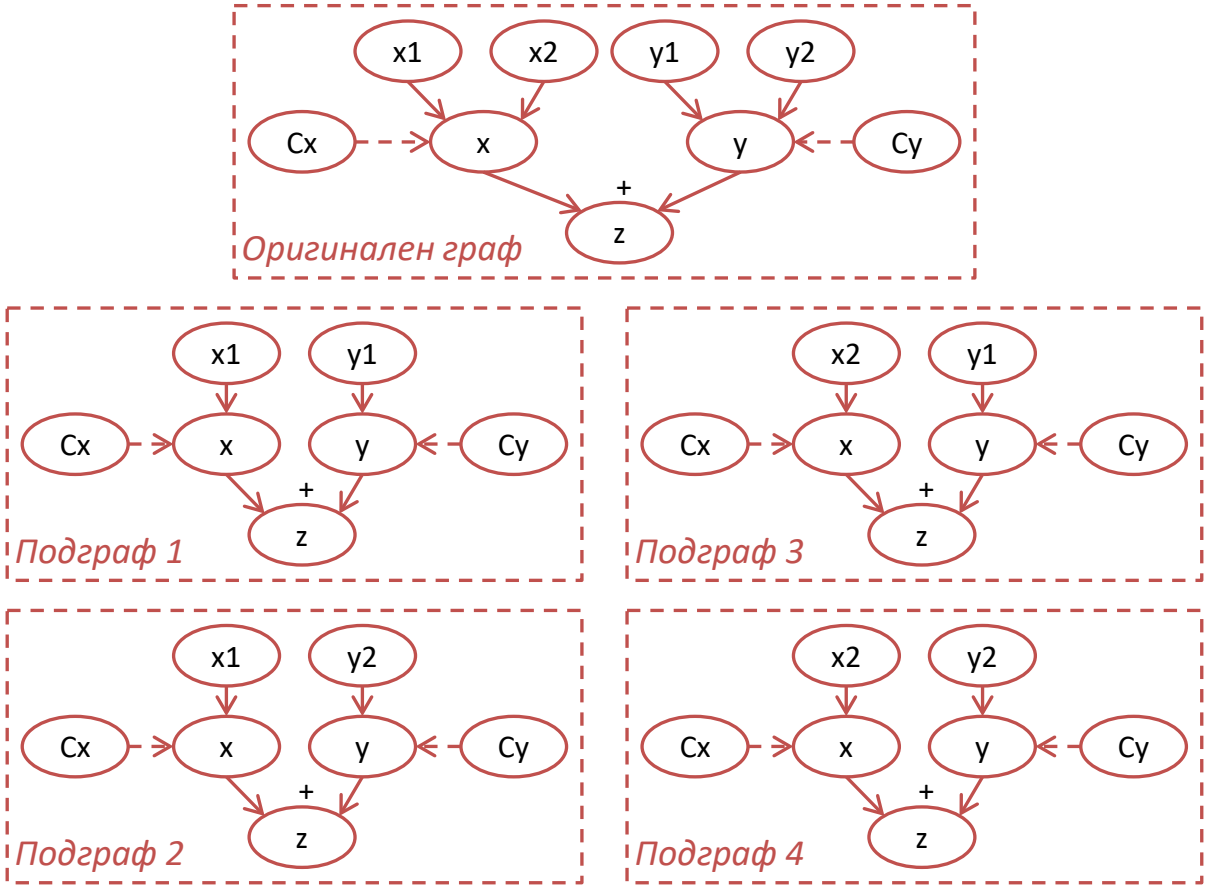






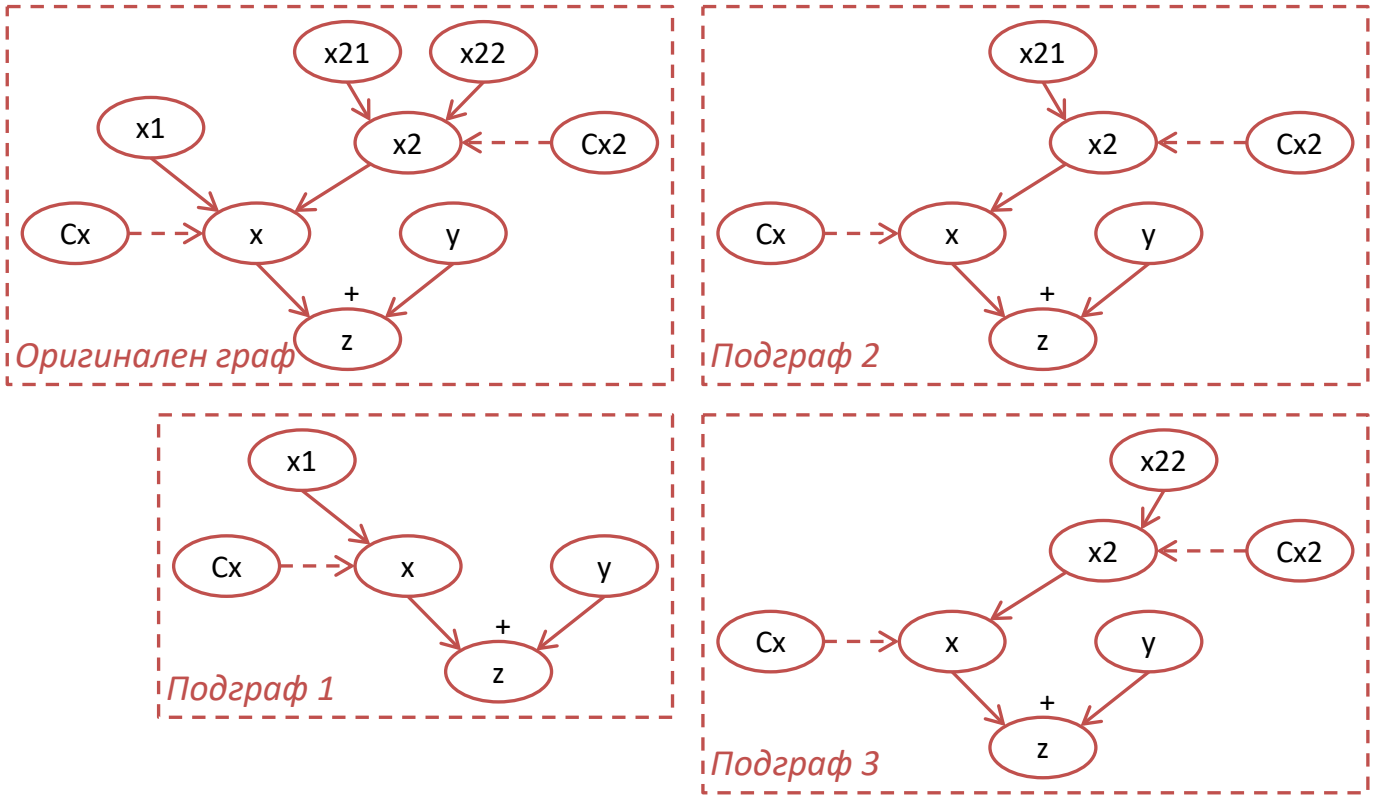
Комбинация от независими даннови селектори

- Изчисляване на израз $z \leftarrow x + y$
  - Кандидат стойности: x_1, x_2, y_1, и y_2
  - Комбиниране на условията за x и y и дефиниране на подграфи



Комбинация от вложени даннови селектори

- Изчисляване на израз $z \leftarrow x + y$
  - Наличие на селектор за стойности x_1 и x_2
  - Наличие на селектор за стойности x_{21} и x_{22}
  - Липса на селектор за y



Инициализация на променливи

- Инициализация на входни променливи и константи, включени в подграфа
  - Ако променливата е включена в предикат, то нейната стойност трябва да осигури подходящо изчисляване на предиката (прилага се стратегия с връщане назад)
  - Ако променливата е включена като даннов вход, то инициализацията е с произволна стойност
- Инициализация на променливи и константи, които не са включени в подграфа
  - Инициализацията е с произволна стойност, тъй като променливите не влияят на изчислителния резултат

Граф на даннов поток vs. Граф на управляващ поток

Граф на управляващия поток

- Представлява специален тип машина на крайните състояния
- Представя програмния код или потока на изпълнение, асоцииран с последователните изчислителни модели
- Храктеризира се с по-малка сложност
- По-малки ограничения при представяне на цикли

Граф на данновия поток

- Различава се значително от машината на крайните състояния
- Представя детайлите на взаимодействието и данновите зависимости
- Храктеризира се с по-голяма сложност
- По-големи ограничения при представяне на цикли

Приложение на тестването с граф на данновия поток

- Типични приложения на двете техники
  - Тестване на малки програми
  - Тестване на малки модули от големи системи
  - Тестване на големи системи с груба гранулярност на представяне на операциите
- Йерархична тестова стратегия
  - Комбиниране на тестването с управяващ поток и тестването с даннов поток
    - ✓ Използване на CFT за циклите
    - ✓ Изпълнение на CFT и последващо изпълнение на DFT
- Структурно тестване
  - Фокусиране върху детайлна информация, налична в програмния код (CFG)
- Функционално тестване
  - Фокусиране върху резултата (DFG)
- Статистическо тестване, базирано на употреба
  - При извършване на йерархично тестване, по-важните даннови подграфи или тези с по-голяма вероятност за използване се развиват по-детайлно
  - Взимане на решение за представяне на циклите
- Анализ на паралелни и разпределени системи
  - Прихващане на зависимости между различни системни задачи и идентифициране на възможности за извършване на паралелни изчисления

Приложение при тестване на синхронизация

- Дефиниране на синхронизация
  - Изчисление на задача $y \leftarrow f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$
  - Интерпретиране на като x_i паралелна задача
  - Условие за синхронизация
    - ✓ Приключване на всички задачи x_i преди да приключи y
- Коректното изпълнение на синхронизацията включва два елемента:
  - Получаване на коректен резултат за y или получаване на подходяща y обработка за x_i
  - Синхронизация на получаването на резултат от x_i
    - ✓ Последователно или паралелно пристигане във времето
- Тестване на синхронизация
  - Тества се различен ред на получаване резултат от x_i и проверка за коректен резултат
  - Синхронизация на A и B за получаване на C
    - ✓ Липса на изход поради липса на резултат от A и B
    - ✓ Липса на изход поради липса на резултат от A или B (2 тестови случая)
    - ✓ Наличие на изход (3 тестови случая в зависимост реда, в който се получават резултати от A и B)
  - Ограничаване на броя на тестовите сценарии посредство създаване на групи от x_i
    - ✓ Тестване на синхронизацията в подгрупите и последващо тълкуване на подгрупите като единични входове


Q&A