Klasične tehnike bele kutije

Testiranje tehnikama bele kutije

- Tehnike zasnovane na toku kontrole
  - Pokrivanje iskaza
  - Pokrivanje odluka
  - Pokrivanje putanja
  - Pokrivanje uslova
- Tehnike zasnovane na toku podataka

Pokrivanje iskaza (Statement Coverage)

- Metodologija:
  - Test primeri se tako projektuju da se svaki iskaz programa izvrši bar jednom.
- Motivacija:
  - Ne možemo znati da li u nekom iskazu postoji greška ukoliko ga ne izvršimo

Ograničenja metoda pokrivanja iskaza

- Ukoliko se utvrdi da se iskaz ispravno izvršava za jednu ulaznu vrednost:
  - Nema garancije da će se ispravno izvršavati za svaku drugu ulaznu vrednost.

Primer

```
int f1(int x, int y){ // Euklidov algoritam
while (x != y){       //  Nalaženje najvećeg
    if (x>y) then     //  zajedničkog delioca
        x=x-y;
    else y=y-x;
 }
return x;        }
```

Testiranje euklidovog algoritma

- Serija testova

  {(x=3,y=3),(x=4,y=3), (x=3,y=4)}

  – Izvršava sve iskaze prethodnog programa bar jednom.

Pokrivanje odluka (Branch coverage)

- Test primeri se projektuju tako da:
  - Svaka od različitih grana uslovnih iskaza izvrši bar jednom.
- Pokrivanje odluka garantuje pokrivanje iskaza:
  - Jači metod od pokrivanja iskaza.

Primer

- Test primeri za pokrivanje odluka kod Euklidovog algoritma:

  {(x=3,y=3), (x=4,y=3), (x=3,y=4)}

  while (A) { B ; break; }

  TP: A=true pokriva sve iskaze (while, B, break) ali ne pokriva odluku da se ne uđe u while petlju

Pokrivanje uslova

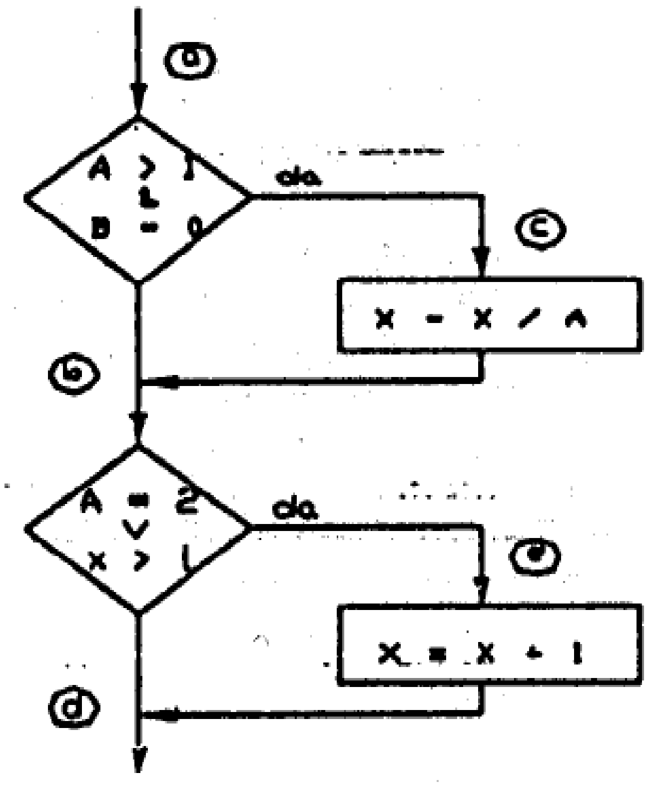
- Test primeri se projektuju tako da:
  - Svaka elementarna komponenta složenog uslovnog izraza uzima i tačnu i netačnu vrednost.
- Primer
  - Dat je uslovni izraz:

    ((c1.and.c2).or.c3)
  - c1, c2 i c3 ponaosob treba da uzmu obe logičke vrednosti:
  - {(c1=T, c2=T, c3=F), (c1=F,c2=F,c3=T)}

Poređenje različitih tehnika

- Pokrivanje uslova
  - Ne garantuje pokrivanje svih odluka (prethodni primer ne pokriva odluku F)
  - Samim tim nije garantovano ni pokrivanje svih iskaza

Poređenje različitih tehnika



Metode strategije bele kutije pokazaćemo na sledećem primeru.

1 *Metoda pokrivanja svih iskaza*. Moraju se izabrati takvi test-problemi da se svaki iskaz u programu izvrši bar jednom. Test-problem A = 2, B = 0, X = 3 omogućava prolaz kroz oba iskaza. Ako u prvom odlučivanju stoji "ili" umesto "i" ili, pak, u drugom stoji "X > 0", greška se ne može otkriti.

2 *Pokrivanje svih odluka*. Svaka grana u programu treba da se izvrši bar jednom. Formulisaćemo test-probleme A = 3, B = 0, X = 1 i A = 2, B = 1, X = 3. Prvom test-problemu odgovara putanja preko grana *a-c-d*, a drugom putanja *a-b-e*. Ovaj kriterijum ne bi mogao da otkrije grešku kada bi umesto "X > 1" pisalo "X < 1".

Pokrivanje višestrukih uslova (multiple conditions coverage)

- Test primeri se projektuju tako da se
  - pokriju sve moguće kombinacije vrednosti elementarnih komponenata u složenim uslovnim izrazima
- Primer
  - if (ch == 'x' || ch == 'y') ch = 'a';

Nemoguća kombinacija

Test p. / Elem.komp.	**ch == 'x'**	**ch == 'y'**	**ch == 'a'**	**ch == ?**
ch == 'x'	true	false	false	true
ch == 'y'	false	true	false	true

Pokrivanje višestrukih uslova

- Ako uslovni izraz ima n elementarnih komponenata:
  - Za pokrivanje razvijenih uslova potrebno nam je u opštem slučaju 2^n test primera.
- Praktično jedino ako je n malo.

Minimalno pokrivanje višestrukih uslova

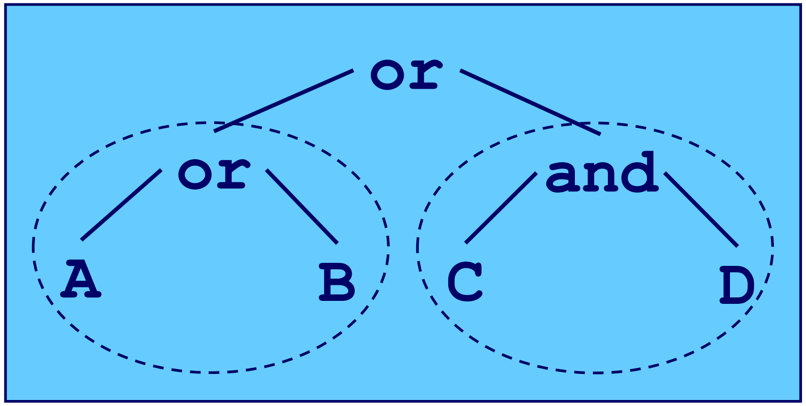
- Test primeri se projektuju tako da
  – Svaka elementarna i neelementarna komponenta složenog uslovnog izraza uzima i tačnu i netačnu vrednost.
- Primer
  – if (ch == 'x' || ch == 'y') ch = 'a';

Test primer / komponente	**ch='x'**	**ch='y'**	**ch='a'**
ch == 'x'	true	false	false
ch == 'y'	false	true	false
(ch=='x'||ch =='y')	true	true	false

Minimalno pokrivanje višestrukih uslova (2)

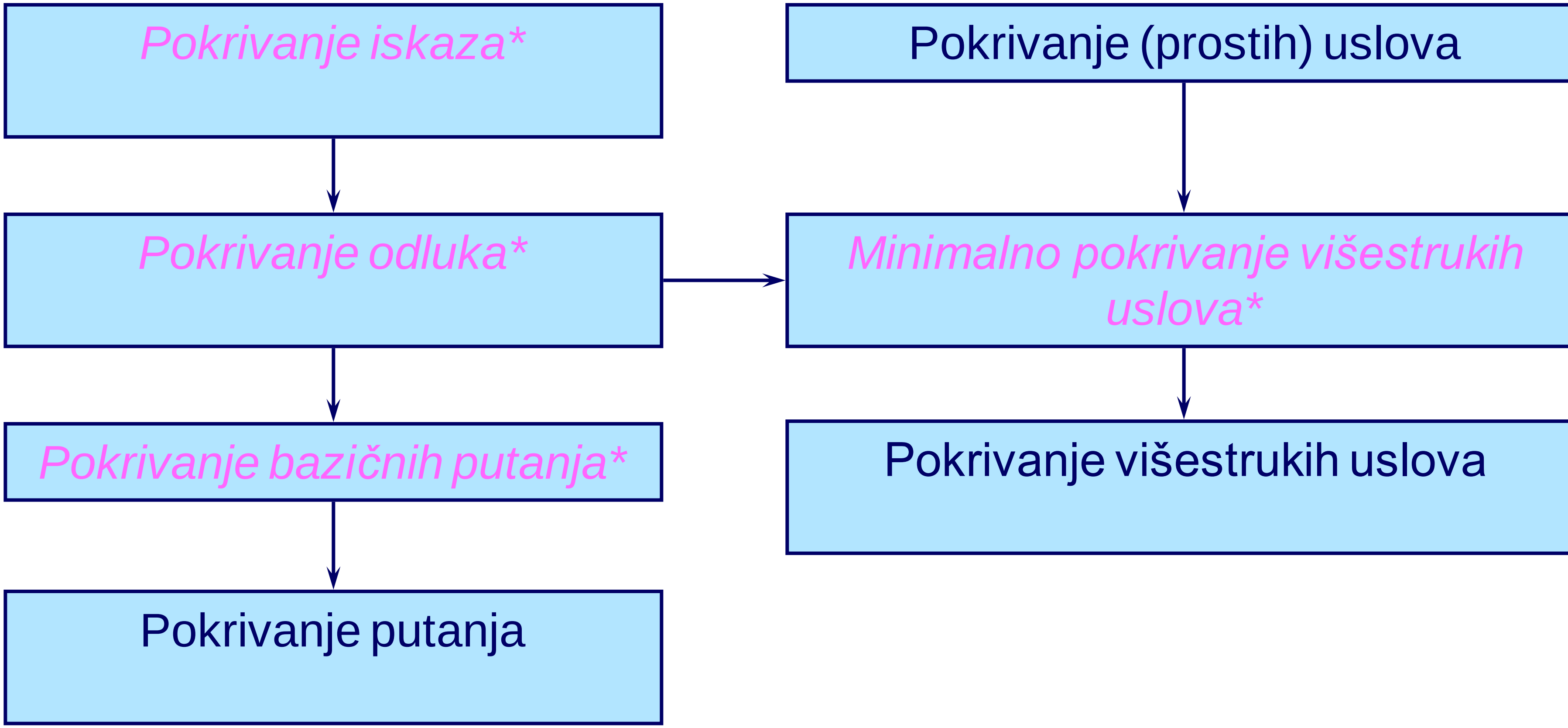
- Koje uslove treba razmatrati u sledećem izrazu?

  if A or B or (C and D)



- A
- B
- C
- D
- A or B
- C and D
- A or B or (C and D)

Poređenje metoda



T→U = U jače od T

* od praktičnog značaja

Pokrivanje putanja

- Test primeri se projektuju tako da
  - Se sve putanje u programu izvrše bar jednom.
- Data definicija se zasniva na
  - Grafu toka kontrole programa (engl. Control Flow Graph, CFG)

Graf toka kontrole (CFG)

- Graf toka kontrole programa opisuje
  - Redosled u kome se izvršavaju instrukcije programa.
  - Način na koji se kontrola prenosi kroz program.

Kako se iscrtava graf toka kontrole?

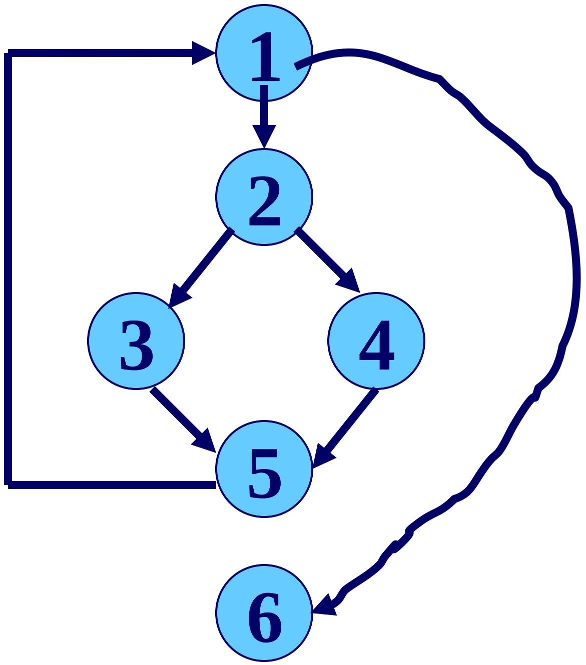
- Numerisati sve iskaze programa.
- Numerisani iskazi:
  - Predstavljaju se čvorovima u grafu toka kontrole.
- Između dva čvora grafa postoji grana:
  - Ako po izvršenju iskaza koji je pridružen izvorišnom čvoru kontrola može da se prenese na iskaz koji je pridružen odredišnom čvoru.

Primer

```
int f1(int x,int y){
  while (x != y){
      if (x>y) then
          x=x-y;
      else y=y-x;
  }
  return x;       }
```

Primer grafa toka kontrole

- koji odgovara datom programu

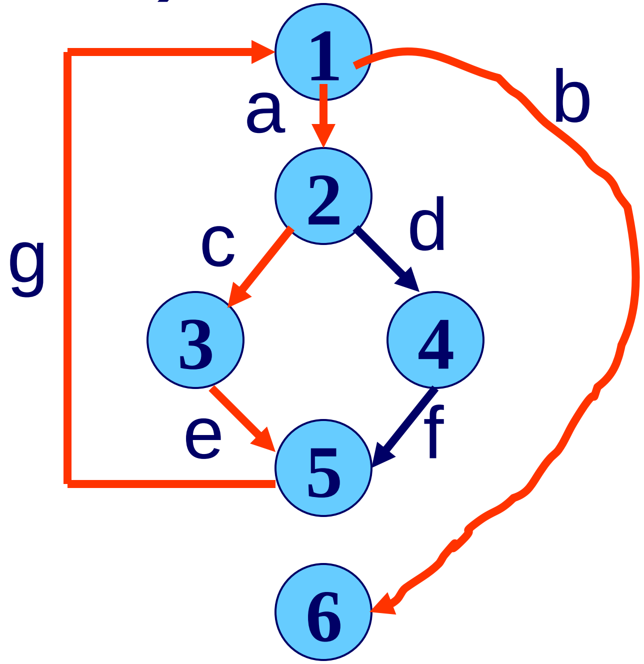


Putanje

- Programska putanja je:
  - Sekvenca čvorova i grana od početnog do završnog čvora grafa toka kontrole programa.
  - Primedba: u opštem slučaju graf kontrole toka može imati više početnih i završnih čvorova.

Putanje

- Putanje se predstavljaju sekvencom čvorova (ili alternativno, sekvencom grana):

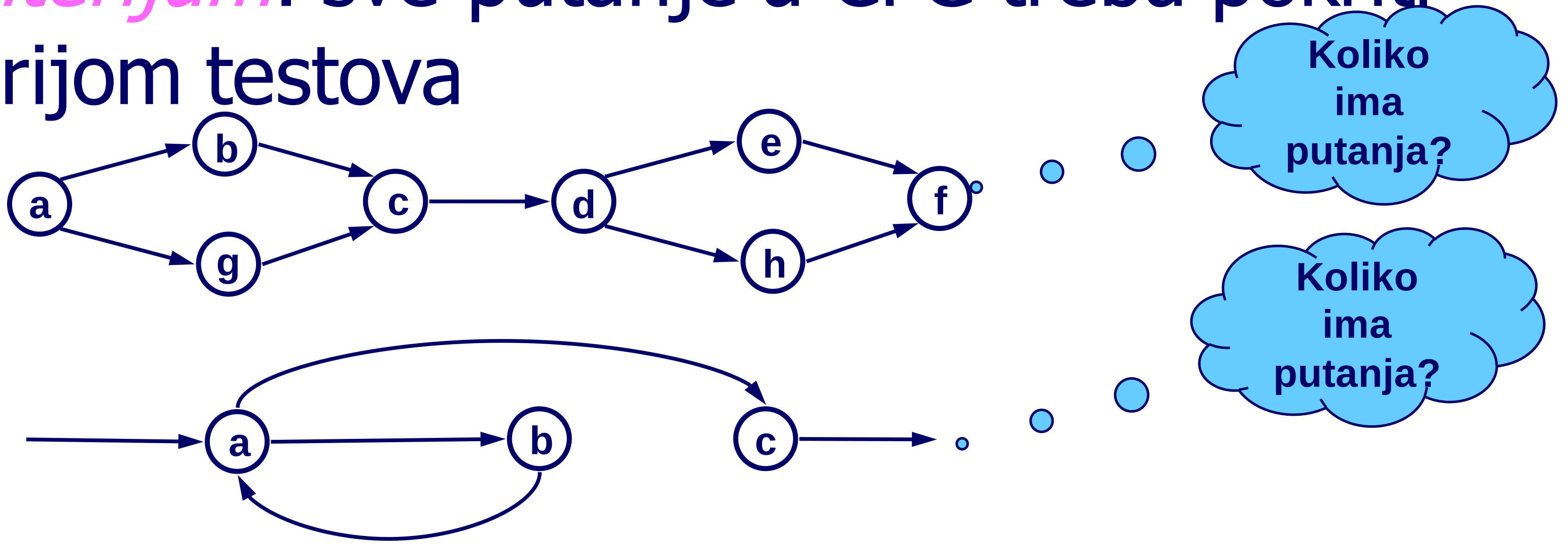


P1: 1-2-3-5-1-6

P1: a-c-e-g-b

Testiranje potpunim pokrivanjem putanja

- *Kriterijum*: sve putanje u CFG treba pokriti serijom testova



ac, abac, ababac,... i.e.: a{ba}c

- Najbolji pristup – ali nije praktično primenljiv

Pokrivanje bazičnih putanja

- Thomas McCabe, sredina '70tih, primena teorije vektorskih prostora
- Projektovati test primere tako da se:
  - Sve linearno nezavisne putanje u CFGu izvrše bar jednom.

Linearno kombinovanje putanja

- Definišemo dve operacije nad putanjama: **sabiranje** i **množenje skalarom**
- Sabiranje dve putanje rezultuje u putanji gde druga putanja sledi prvu
- Množenje odgovara ponavljanju putanje
- Skup svih putanja sada predstavlja jedan vektorski prostor

Linearno kombinovanje putanja

- Najlakše se obavlja putem matrice incidencije

Grane CFGa Putanje	a	b	c	d	e	f	g
P1:1-2-3-5-1-6	1	1	1	0	1	0	1
P2:1-2-4-5-1-6	1	1	0	1	0	1	1
P3:1-6	0	1	0	0	0	0	0
P4: P1+P2-P3	2	1	1	1	1	1	2
P5: 2P1-P3	2	1	2	0	2	0	2

Linearno nezavisne putanje

- Putanja je **linearno nezavisna** od skupa drugih putanja ako i samo ako:
  - Ne može biti predstavljena kao linearna kombinacija putanja iz skupa.
- Na primer, P1 je nezavisna od {P2, P3} zbog c
- P2 je nezavisna od {P1,P3} zbog d
- P3 je nezavisna od {P1,P2} jer svaki pokušaj da se izrazi preko njih uvodi neželjene grane

Bazični skup putanja

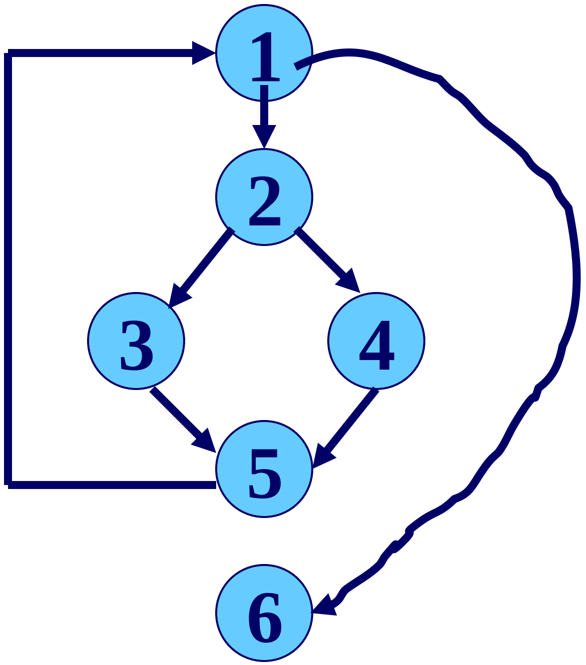
- Skup putanja naziva se **bazičnim** ako i samo ako su
  - Putanje u skupu međusobno linearno nezavisne i
  - Bilo koja druga putanja u CFGu može biti predstavljena kao linearna kombinacija putanja iz posmatranog skupa
- U opštem slučaju može biti više različitih bazičnih skupova za jedan CFG, ali svi oni imaju isti broj elemenata
- {P1,P2,P3} je bazični skup u našem primeru

Broj ciklomatske kompleksnosti V(G)

- Daje maksimalni broj linearno nezavisnih putanja u grafu G (karidnalnost bazičnog skupa):
- $V(G) = e - n + 2$ za grafove sa jednim početnim i jednim završnim čvorom
- e – broj grana grafa
- n – broj čvorova grafa

Primer računanja cikl. kompleksnosti

- V(G) =
  7 – 6 + 2 = 3.



Računanje ciklomatske kompleksnosti

- Drugi način računanja ciklomatske kompleksnosti:
  - V(G) = b + 1
  - b je broj binarnih odluka u programu (odgovara ranije definisanim uslovima; na primer

    if a or b then…

    ima dve binarne odluke)

Primer – računanje cikl. kompleksnosti

```
int f1(int x,int y){
1.  while (x != y){
2.      if (x>y) then
3.          x=x-y;
4.      else y=y-x;
5.   }
6.   return x;        }
```

- Broj binarnih odluka je 2.
- Ciklomatska kompleksnost = 2+1=3.

Računanje ciklomatske kompleksnosti

- Šta kada graf sadrži više od jednog početnog i/ili završnog čvora?
- Prvo, transformišemo graf u jako povezani (proizvoljan čvor može se posetiti iz bilo kojeg drugog prateći usmerene grane) povezujući svaki završni čvor sa svakim od početnih.
- Potom, upotrebimo formulu V(G)=e-n+p, gde je broj jako povezanih komponenata grafa p=1

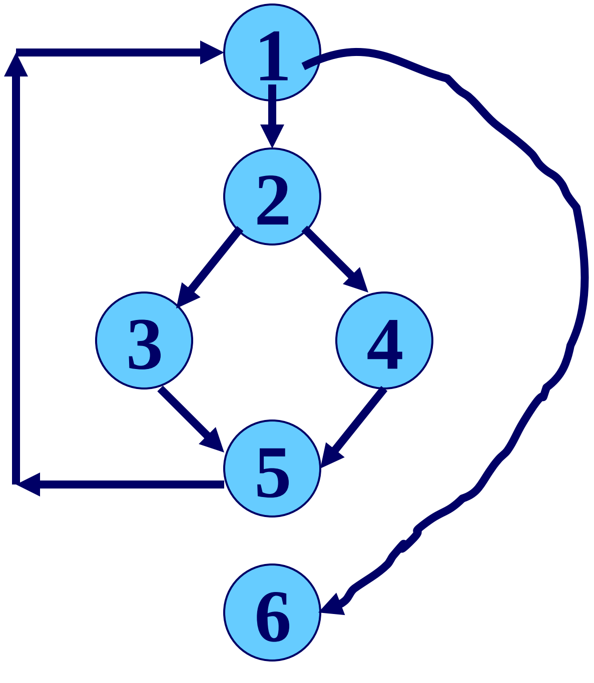
Određivanje test primera

- Nacrtati graf toka kontrole programa
- Izračunati V(G).
- Odrediti bazični skup putanja.
- Pripremiti test primere:
  - Koji forsiraju izvršavanje programa po svakoj od putanja iz bazičnog skupa

McCabe-ov Baseline metod

- Algoritam za određivanje bazičnog skupa:
  1. Odabrati "baseline" putanju, koja treba da odgovara "normalnom slučaju" izvršavanja programa. Izbor putanje je donekle proizvoljan; McCabe savetuje izbor putanje sa što više čvorova odlučivanja (dva i više izlaznih grana).
  2. Zatim, prateći prethodno izabranu putanju , pronaći prvi nerazmatran čvor odlučivanja i izabrati izlaznu granu koja nije na putanji, čime se dobija nova putanja.
  3. Ponavljati korak 2 dok se ne izabere V(G) putanja.

Primer grafa toka kontrole



Određivanje test primera

- Broj nezavisnih putanja: 3
  - 1, 2, 3, 5, 1, 6 test primer (x=2, y=1)
  - 1, 6 test primer (x=1, y=1)
  - 1, 2, 4, 5, 1, 6 test primer (x=1, y=2)

Druge primene ciklomatske kompleksnosti

- Ciklomatska kompleksnost programa:
  - Takođe pokazuje nivo psihološke kompleksnosti programa, odnosno
  - Nivo težine razumevanja programa (od strane drugog programera).

Druge primene ciklomatske kompleksnosti

- Sa stanovišta održavanja softvera,
  - Treba ograničiti ciklomatsku kompleksnost svakog modula na neku razumnu vrednost.
  - Dobre softverske kompanije:
    - Imaju pravilnike o stilu kodiranja u kome je često ograničena ciklomatska kompleksnost funkcije na maksimalno 10 ili približno tome
    - Postoje alati za proveru poštovanja ovih pravila (npr. Abraxas CodeCheck alat ima bazu pravila koju korisnik može da menja)

Testiranje zasnovano na toku podataka

Tehnike testiranja zasnovane na toku podataka

- Programske putanje se selektuju za testiranje :
  - Vodeći računa o lokacijama dodele promenljivama i lokacijama upotrebe istih.

Osnovni pojmovi

- Za iskaz S, definišemo skupove
  - **DEF(S)** = {X | iskaz S sadrži dodelu vrednosti promenljivoj X}
  - **USE(S)**= {X | iskaz S sadrži upotrebu promenljive X}
  - Primer: 1: a=b; DEF(1)={a}, USE(1)={b}.
  - Primer: 2: a=a+b; DEF(2)={a}, USE(2)={a,b}.

Osnovni pojmovi

- Upotreba se naziva **predikatskom** (**p-use**) ako se pojavljuje u predikatskom izrazu naredbi kontrole toka (if, while, switch itd.)
- U suprotnom, upotreba se naziva računskom (**computational use** or **c-use**)

Osnovni pojmovi – život promenljive

- Za promenljivu X kaže se da je **živa** u iskazu S1, akko
  - X je definisana u nekom iskazu S i
  - postoji putanja od S do S1 koja ne sadrži novu dodelu promenljivoj X.

Lanac Dodele-upotrebe (DU lanac)

- Označava se sa [X,S,S1], gde su
  - S i S1 iskazi, a X promenljiva tako da važi
  - $X \in DEF(S)$ i
  - $X \in USE(S1)$ i
  - X ima dodelu u iskazu S koja je živa u iskazu S1.

Primer DU lanaca

```
// Is_Complex is true if the roots are not real.
// If the two roots are real, they are produced in R1, R2.
void Solve_Quadratic(float A, float B, float C) {      //0
      float Discrim = B*B - 4.0*A*C;                  //1
      bool Is_Complex;                                // 2
      float R1, R2;                                   // 3
      if (Discrim < 0.0) {                            // 4
            Is_Complex = true;                        // 5
      } else {                                        // 6
            Is_Complex = false;                            // 7
      }                                               // 8
      if (!Is_Complex) {                              // 9
            R1 = (-B + sqrt(Discrim))/ (2.0*A);   // 10
            R2 = (-B - sqrt(Discrim))/ (2.0*A);   //  11
      }                                               // 12
}                                                     // 13
```

Primer: definicije i upotrebe

line	category		
	definition	c-use	p-use
0	A,B,C		
1	Discrim	A,B,C	
2			
3			
4			Discrim
5	Is_Complex		
6			
7	Is_Complex		
8			
9			Is_Complex
10	R1	A,B,Discrim	
11	R2	A,B,Discrim	
12			
13			

Primer: DU lanci

definition-use pair (start line -> end line)	variable(s)	
	c-use	p-use
0 ---> 1	A,B,C	
0 ---> 10	A,B	
0 ---> 11	A,B	
1 ---> 4		Discrim
1 ---> 10	Discrim	
1 ---> 11	Discrim	
5 ---> 9		Is_Complex
7 ---> 9		Is_Complex

Testiranje zasnovano na toku podataka

- Različite strategije zahtevaju pokrivanje različitih DU lanaca. Testovi se generišu da postignu 100% pokrivenost za svaki od kriterijuma ako je moguće.
- Realna pokrivenost izražava se formulom:

  Coverage = (N/T) * 100%

  Gde je T broj lanaca po nekom kriterijumu (utvrđuje se statičkom analizom programa) a N je broj tih lanaca koje su testovi zaista pokrili.

Strategije testiranja zasnovanog na toku podataka

- Prema radu Rapps-Weyuker imamo sledeće strategije pokrivanja:
- Sve definicije
- Sve upotrebe
- Sve p-upotrebe
- Sve c-upotrebe
- Sve c-upotrebe, neke p-upotrebe
- Sve p-upotrebe, neke c-upotrebe
- Svi du-lanci

Sve definicije

- 100% pokrivenost se postiže ako se izvrši bar po jedan du lanac od svake definicije svake promenljive do neke od upotreba (bilo p-use bilo c-use)

- Primer

	All Definitions			INPUTS			EXPECTED OUTCOME		
test case	variable(s)	du-pair	subpath	A	B	C	Is_Complex	R1	R2
1	A,B,C	0 --> 1	0-1	1	1	1	T	unass.	unass.
2	Discrim	1 --> 4	1-4	1	1	1	T	unass.	unass.
3	Is_Complex	5 --> 9	5- 9	1	1	1	T	unass.	unass.
4	Is_Complex	7 --> 9	7- 9	1	2	1	F	-1	-1

Sve c-upotrebe

- 100% pokrivenost se postiže ako se izvrši bar po jedan du lanac od svake definicije do svih c upotreba te definicije

- Primer

	All-c-uses			INPUTS			EXPECTED OUTCOME		
test case	variable(s)	du-pair	subpath	A	B	C	Is_Complex	R1	R2
1	A,B,C	0 --> 1	0-1	1	1	1	T	unass.	unass.
2	A,B	0 --> 10	0-1-4-7-9-10	1	2	1	F	-1	-1
3	A,B	0 --> 11	0-1-4-7-9-10-11	1	2	1	F	-1	-1
4	Discrim	1 --> 10	1-4-7-9-10	1	2	1	F	-1	-1
5	Discrim	1 --> 11	1-4-7-9-10-11	1	2	1	F	-1	-1

Sve c-upotrebe, neke p-upotrebe

- 100% pokrivenost se postiže ako se izvrši bar po jedna du lanac od svake definicije do svih c upotreba te definicije; ako definicija nema c-upotreba, mora se pokriti bar jedan du lanac sa p-upotrebom.

- Primer
  - Pored du lanaca iz svih c upotreba, treba pokriti i jedan du lanac za p-upotrebu promenljive Is_Complex:

				INPUTS			EXPECTED OUTCOME		
test case	variable(s)	d-u pair	subpath	A	B	C	Is_Complex	R1	R2
8	Is_Complex	7 --> 9	7- 9	1	2	1	F	-1	-1

Sve p-upotrebe

- 100% pokrivenost se postiže ako se izvrši bar po jedan du lanac od svake definicije do svih p upotreba te definicije

- Primer

	All-p-uses			INPUTS			EXPECTED OUTCOME		
test case	variable(s)	du-pair	subpath	A	B	C	Is_Complex	R1	R2
1	Discrim	1 --> 4	1-4	1	1	1	T	unass.	unass.
2	Is_Complex	5 --> 9	5- 9	1	1	1	T	unass.	unass.
3	Is_Complex	7 --> 9	7- 9	1	2	1	F	-1	-1

Sve p-upotrebe, neke c-upotrebe

- 100% pokrivenost se postiže ako se izvrši bar po jedan du lanac od svake definicije do svih p upotreba te definicije; ako definicija nema p-upotreba, mora se pokriti bar jedan du lanac sa c-upotrebom.

- Primer
  - Pored du lanaca iz svih p upotreba, treba pokriti i po jedan du lanac za c-upotrebe promenljivih A,B,C:

				INPUTS			EXPECTED OUTCOME		
test case	variable(s)	du-pair	subpath	A	B	C	Is_Complex	R1	R2
1	A,B,C	0 --> 1	0-1	1	1	1	T	unass.	unass.

Sve upotrebe

- 100% pokrivenost se postiže ako se izvrši bar po jedan du lanac od svake definicije do svih upotreba (i p-use i c-use) te definicije

- Primer

	All-uses / All du-paths			INPUTS			EXPECTED OUTCOME		
test case	variable(s)	d-u pair	subpath	A	B	C	Is_Complex	R1	R2
1	A,B,C	0 --> 1	0-1	1	1	1	T	unass.	unass.
2	A,B	0 --> 10	0-1-4-7-9-10	1	2	1	F	-1	-1
3	A,B	0 --> 11	0-1-4-7-9-10-11	1	2	1	F	-1	-1
4	Discrim	1 --> 4	1-4	1	1	1	T	unass.	unass.
5	Discrim	1 --> 10	1-4-7-9-10	1	2	1	F	-1	-1
6	Discrim	1 --> 11	1-4-7-9-10-11	1	2	1	F	-1	-1
7	Is_Complex	5 --> 9	5- 9	1	1	1	T	unass.	unass.
8	Is_Complex	7 --> 9	7- 9	1	2	1	F	-1	-1

Sve DU putanje

- 100% pokrivenost se postiže ako se izvrši <u>svaka</u> ‘jednostavna’ putanja od svake definicije do svih upotreba (i p-use i c-use) te definicije

- ‘jednostavna’ putanja u grafu toka kontrole je putanja kod koje se svaki njen deo posećuje minimalan broj puta (npr. otvorene putanje, jedna iteracija kroz petlju).

- Za posmatrani primer, postoje dve jednostavne putanje van onih koje pokrivaju testovi za ’sve upotrebe’. To su:

  0-1-4-5-9-10 i 1-4-5-9-10

  Medjutim, nije ih moguće pokriti testovima.

Testiranje zasnovano na toku podataka

- Strategije zasnovane na toku podataka:
  - Korisne za izbor test putanja programa koji poseduju ugnežđene if-ove i petlje