**Osnovne akademske studije**

**PREDMET:** Objektno-orijentisana simulacija

**TEMA:** Strategija raspoređivanja događaja 2

**Predmetni nastavnik:** Doc. dr Marko Đogatović

# Lehmerov generator slučajnih brojeva

**Lehmerov GSB je takođe poznat kao multiplikativni linearni kongruentni GSB. To je najčešće korišćeni linearni kongruentni generator. Postoje tri parametra:**

1. ***m* – modulus,**
2. ***a* – multiplikator,**
3. ***c* – aditivna konstantna (najčešće je jednaka 0).**

**Takođe postoji i početna vrednost $z_0$ (tzv. seme). Pseudoslučajne vrednosti se generišu primenom sledeće formule:**

$Z_i = (Z_{i-1}a+c) \bmod m$. **(mod je moduo - ostatak nakon deljenja dva cela broja)**

**Ova formula generiše slučajnu sekvencu od *m*-1 brojeva. Za kombinaciju parametara koja vodi ka sekvenci od *m*-1 brojeva se kaže da ima celi period. Najčešće se vrednosti $Z_i$ se normalizuju tako da se nalaze na jedničnom intervalu na sledeći način**

$U_i = Z_i / m$ za $i$=1,2,...

Uspeh ovakvog generatora zavisi od izbora parametara. Npr. izborom $m$ = 11 i multipikatorom $a$ = 8 dobija se sekvenca sa celim periodom, dok multilikator $a$ = 9 daje sekvencu dužine 5.

$a$ = 8 ... 1, 8, 9, 6, 4, 10, 3, 2, 5, 7, 1 ...
$a$ = 9 ...1, 9, 4, 3, 5, 1 ,...

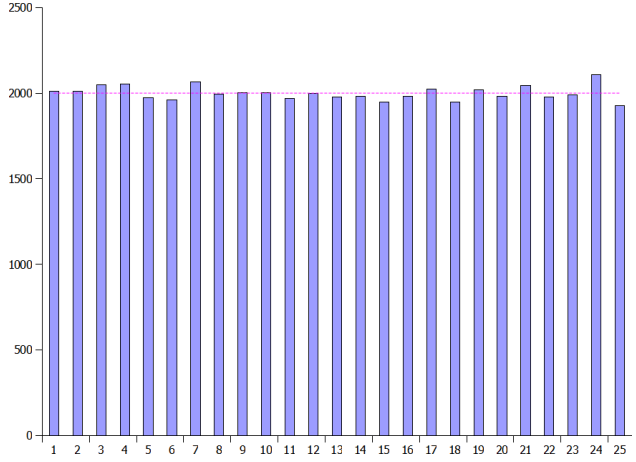
Park i Miller daju odgovarajući izbor parametara $m = 2147483647 = 2^{31}-1$ i $a = 16807 = 7^5$ za generator sa celim periodom. U nastavku su dati programi realizovani u C jeziku kojima je implementiran Lehmerov GSB.

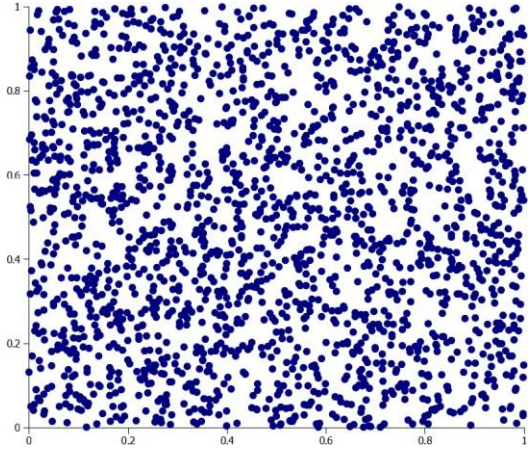
```
#include <stdio.h>
#include <limits.h>

struct rand {
  int seed,mult;
  double val;
};
void randu(struct rand* rnd) {
  rnd->seed *= rnd->mult;
  if(rnd->seed<0)
    rnd->seed += LONG_MAX+1;
  rnd->val = rnd->seed/(1.0*LONG_MAX);
}
```

```c
int main() {
  int i;
  struct rand rnd;
  rnd.seed = 1;
  rnd.mult = 16807;
  for(i=0; i<50000; ++i) {
    randu(&rnd);
    printf("%f\n", rnd.val);
  }
  return 0;
}
```

```c
int main() {
  int i;
  struct rand rnd;
  double r1, r2;
  rnd.seed = 1;
  rnd.mult = 16807;
  for(i=0; i<2000; ++i) {
    randu(&rnd);
    r1 = rnd.val;
    randu(&rnd);
    r2 = rnd.val;
    printf("%f,%f\n", r1, r2);
  }
  return 0;
}
```




**Histogram od 50000 vrednosti generisanih `randu` funkcijom i dvodimenzionalna raspodela 2000 pseudoslučajnih parova generisanih `randu` funkcijom**

# rand funkcija

```
int rand(void);
```

vraća pseudoslučajni ceo broj na intervalu od 0 do `RAND_MAX`. Broj se generiše algoritmom koji vraća sekvencu slučajnih brojeva svaki put kada se funkcija pozove. Najčešće je algoritam neka varijanta linearnog kongruentnog generatora slučajnih brojeva.

Ovaj algoritam koristi seme da generiše seriju. Seme treba da bude inicijalizovano nekom vrednošću korišćenjem funkcije `srand`.

`RAND_MAX` je konstanta definisana u `<stdlib.h>` (`<cstdlib>`). Ova vrednost je najmanje 32767. `rand()` vraća broj na intervalu od 0 do 1 korišćenjem sledećeg dela koda

```
double r = rand()/(RAND_MAX+1.0);
```

# `srand` funkcija

```
void srand(unsigned int seed);
```

Ova funkcija inicijalizuje generator slučajnih brojeva. GSB je inicijalizovan korišćenjem argumenta prosleđenog kao seme (`seed`).

Za različite vrednosti semena korišćene prilikom poziva `srand`, generator pseudoslučajnih brojeva će generisati različite sekvence brojeva.

Ukoliko se seme postavi na 1, generator se inicijalizuje na svoju početnu vrednost i vraća iste vrednosti kao i pre poziva `srand`.

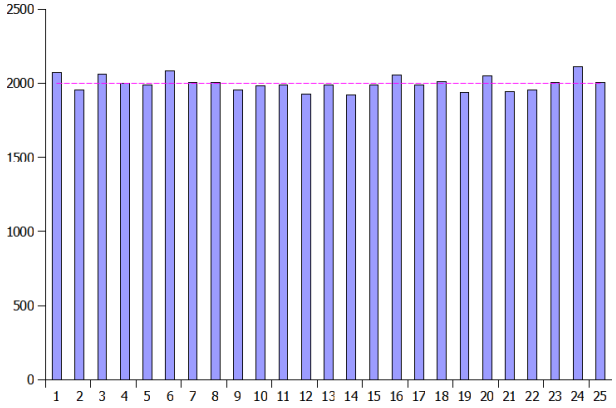
Moguće je seme inicijalizovati i vremenom na sledeći način

```
srand(time(NULL));
```

`time` funkcija se nalazi u zaglavlju `<time.h>` (`<ctime>`).

# Histogram od 50000 vrednosti generisanih `rand` funkcijom

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
int main() {
  int i;
  double r;
  srand(time(NULL));
  for(i=0; i<50000; ++i) {
    r = rand()/(RAND_MAX+1.0);
    printf("%f\n", r);
  }
  return 0;
}
```



# Uniformna raspodela

**Gustina**

$f(x) = \frac{1}{b-a}, a \leq x \leq b$

**Raspodela**

$F(x) = \frac{x-a}{b-a},$

**Sr. vred.**

$E[X] = \frac{a+b}{2}$

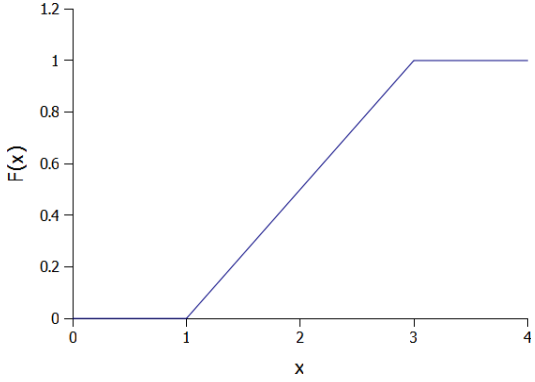
**Varijansa**

$Var[X] = \frac{(b-a)^2}{12}$

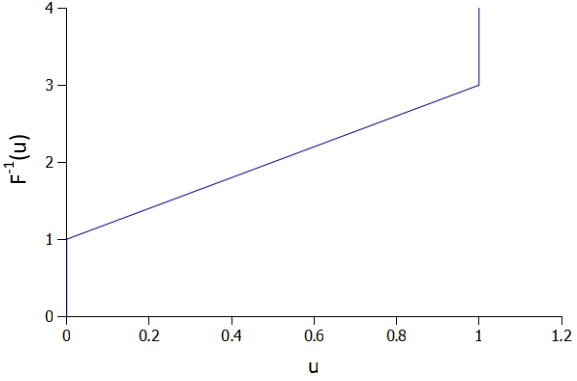
**Nalaženje inverzne raspodele**

$u = F(x) \Rightarrow x = F^{-1}(u)$

$$u = F(x) = \frac{x-a}{b-a} \Rightarrow x = a + (b-a)u$$




**Uniformna raspodela**




**Inverzna uniformna raspodela**

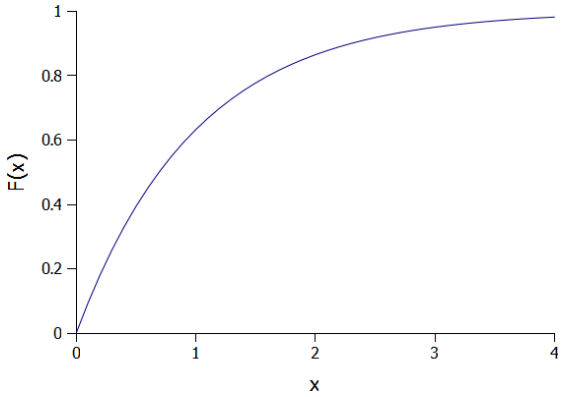
# Eksponencijalna raspodela

| Gustina | Raspodela | Sr. vred. | Varijansa |
|---|---|---|---|
| $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, x > 0,$ | $F(x) = 1 - e^{-\lambda x},$ | $E[X] = \lambda^{-1}$ | $Var[X] = \lambda^{-2}$ |

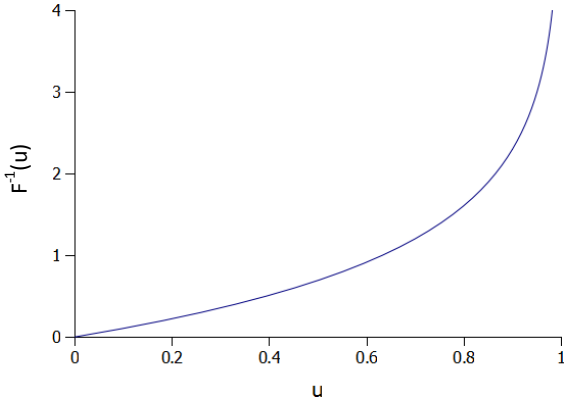
**Nalaženje inverzne raspodele**

$u = F(x) \Rightarrow x = F^{-1}(u)$

$u = F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \Rightarrow x = -\lambda^{-1}\ln(1-u)$ $\qquad x = -\lambda^{-1}\ln u$



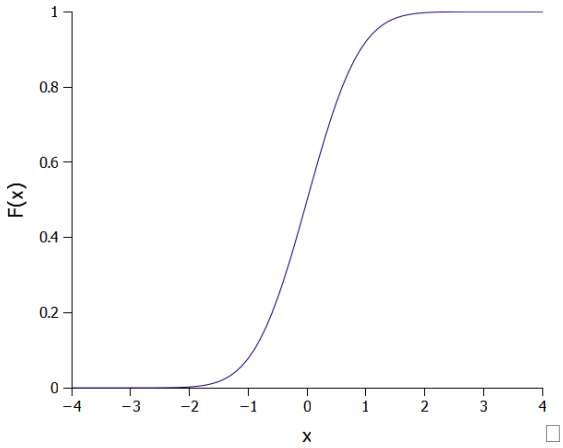

**Eksponencijalna raspodela**



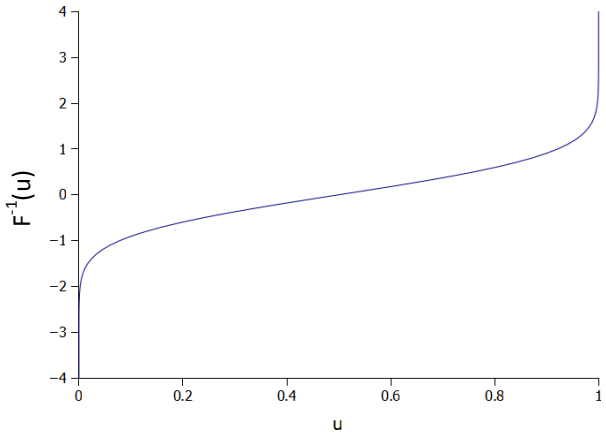

**Inverzna eksponencijalna raspodela**

# Normalna raspodela

| Gustina | Raspodela | Sr. vred. | Varijansa |
|---|---|---|---|
| $f(x) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{1}{2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$, | $F(x) = \frac{1}{2}\left(1 + \operatorname{erfc}\left(\frac{x-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)\right)$ | $E[X] = \mu$ | $Var[X] = \sigma^2$ |




**Normalna raspodela**




**Inverzna normalna raspodela**

**Obzirom da vrednosti iz normalne raspodele nije moguće generisati korišćenjem analitičkog izraza za inverznu funkciju raspodele u GPSS-u smo koristili metodu inverzne transformacije za generisanje normalne raspodele. Ovde ćemo pokazati kako se generišu vrednosti iz normalne raspodele korišćenjem metode sumiranja.**

## Metoda sumiranja

**Ova metoda se koristi za generisanje normalne rspodele. Zasniva se na primeni centralne granične teoreme. Ona se formuliše na sledeći način. Neka je $\widetilde{X}_1, \widetilde{X}_2, \dots, \widetilde{X}_n$ niz nezavisnih slučajnih promenljivih sa jednakim verovatnoćama, svaka sa srednjom vrednošću $\mu_x$ i konačnom varijansom $\sigma_x^2$ .**

**Njihova srednja vrednost data je sledećim izrazom**

$$X = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \widetilde{X}_i$$

**Tada novo usvojena promenljiva**

$$Y = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x / \sqrt{n}}$$

**konvergira ka standardnoj normalnoj raspodeli sa srednjom vrednošću $\mu_x$ i standardnoj devijaciji $\sigma_x/\sqrt{n}$ tj. za dovoljno veliko n razlika između promenljive i standardne normalne promenljive može se zanemariti iz praktičnih razloga.**

**Prema tome da bi generisali uzorak iz standardne normalne raspodele možemo uzeti n nezavisnih uniformno raspodeljenih slučajnih brojeva $\tilde{r}_i \in [0, 1)$ sa srednjom vrednošću $E(\tilde{r}_i) = \frac{1}{2}$ i varijansom $E(\tilde{r}_i - \mu)^2 = \frac{1}{12}$. Slučajna promenljiva**

$$Z = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \tilde{r}_i - \frac{1}{2}}{\sqrt{\frac{1}{12}}/\sqrt{n}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \tilde{r}_i - \frac{n}{2}}{\sqrt{\frac{n}{12}}}$$

ima normalnu raspodelu sa srednjom vrednošću 0 i varijansom 1 ($E[Z] = 0, E[(Z-\mu)^2] = 1$), kada $n \to \infty$. Zadovoljavajući rezultati aproksimacije se dobijaju za $n = 12$. Tada gornja jednačina postaje

$$Z = \sum_{i=1}^{12} \tilde{r}_i - 6$$

Ukoliko je potrebno generisati uzorke iz nestandardizovane normalne raspodele $\tilde{Z}$ koristiti se sledeći izraz.

$$\tilde{Z} = \mu + \sigma Z$$

Iako je ova metoda jednostavna za realizaciju ona pati od nekoliko nedostataka. Prvi, i najočigledniji nedostatak je da je za jednu vrednost normalne promenjive potrebno generisati dvanaest uniformnih raspodeljenih slučajnih brojeva. To znači da će korišćenjem metode sumiranja veoma brzo istrošiti sekvenca uniformnih brojeva čijim korišćenjem se generiše normalna raspodela. Drugi problem sa ovom metodom je da se na ovaj način standardna

**normalna raspodela ograničava na intervalu od [-6,6] iako je po definiciji neograničena.**

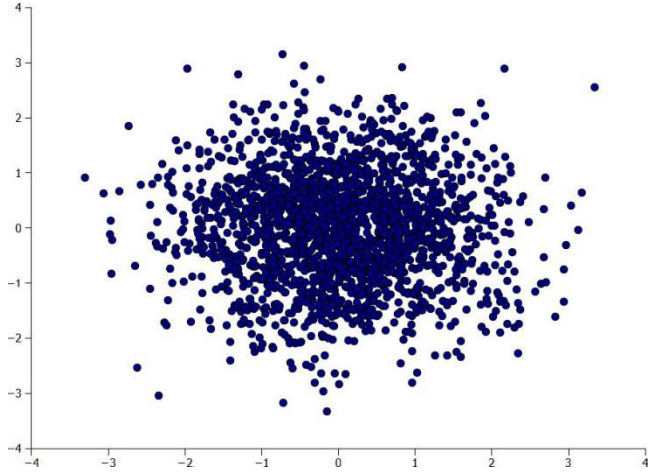
**Pored metode inverzne transformacije i metode sumiranja postoje i druge metode za generisanje normalne raspodele. Ovde ćemo kao alternativu navesti Box-Muller-ovu, polarnu i Ziggurat metodu.**

**Dvodimenzionalna raspodela 2000 pseudoslučajnih parova generisanih `norm(0,1)` funkcijom**

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

double norm(double m, double s) {
  int i;
  double z = 0.0;
  for(i=0; i<12; i++)
    z += rand()/(RAND_MAX+1.0);
  return z-6.0;
}

int main() {
  int i;
  double r;
  srand(time(NULL));
  for(i=0; i<2000; ++i)
    printf("%f,%f\n",norm(0,1),norm(0,1));
  return 0;
}
```

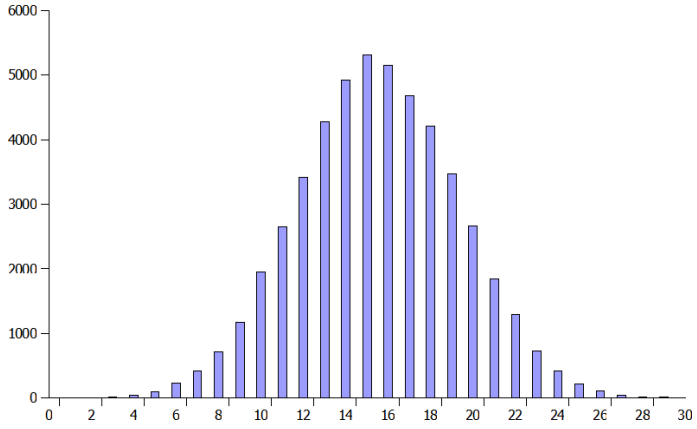


# Histogram od 50000 vrednosti generisanih `norm(0,1)` funkcijom

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

double norm(double m, double s) {
  int i;
  double z = 0.0;
  for(i=0; i<12; i++)
    z += rand()/(RAND_MAX+1.0);
  return z-6.0;
}

int main() {
  int i;
  double r;
  srand(time(NULL));
  for(i=0; i<50000; ++i)
    printf("%f\n",norm(0,1));
  return 0;
}
```



# Klasa raspodela

```
class raspodela {
  // Seme generatora slucajnih brojeva (GSB)
  uint32_t s;
  // Multiplikator
  uint32_t a;
  // Modulus
  uint32_t m;
public:
  // Konstruktor
  raspodela(const uint32_t s):s(s) {
    // Postavljamo vrednost multiplikatora
    a = 16807;
    // Postavljamo vrednost modulusa
    m = 2147483647;
  }
  // Lehmerov multiplikativni kongruentni generator
  double operator() () {
    s = static_cast<uint64_t>(a*s)%m;
    return s/(1.0*m);
  }
  // Uniformna raspodela
  double unif(const double l,const double u) {
    return l+(u-l)*(*this)();
  }
  // Eksponencijalna raspodela
  double expo(const double mi) {
    return -mi*log((*this)());
  }
  // Normalna raspodela
  double norm(const double mi,const double sd) {
    double z = 0.0;
    for(int i=0; i<12; i++)
      z += (*this)();
    return mi+(z-6)*sd;
  }
};
```

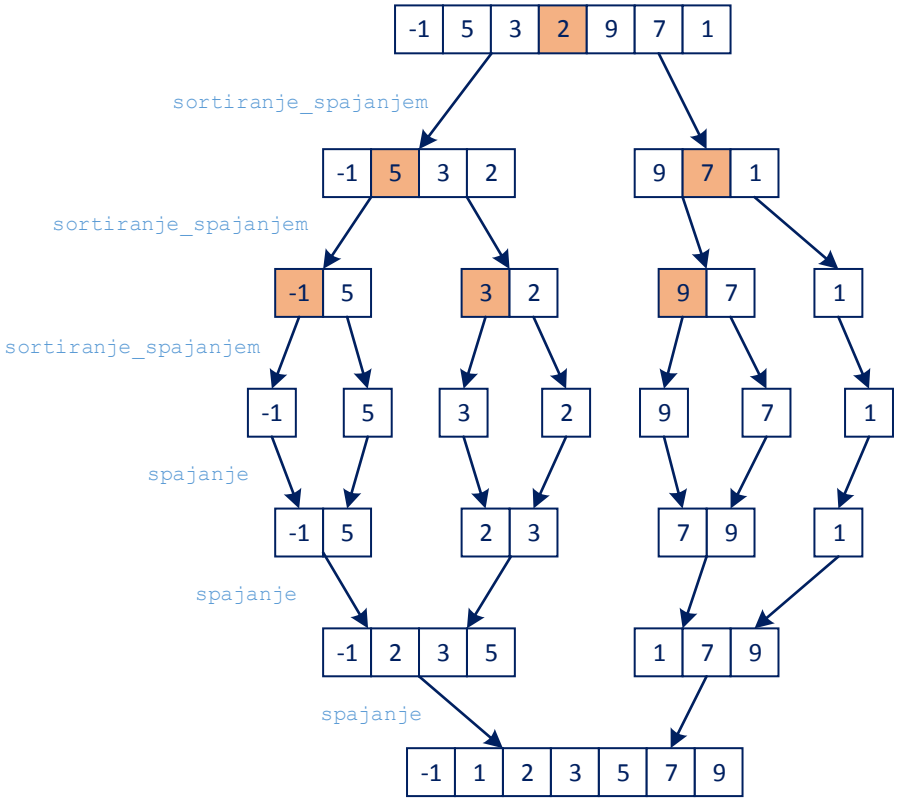
Klasa `raspodela` sadrži tri privatna člana `seme`, `a` i `m` (tipa `unsigned int`). `seme` je seme Lehmerovog generatora slučajnih brojeva. `a` je multiplikator Lehmerovog multiplikativnog GSB, dok je `m` modulus GSB-a. U konstruktoru se postavljaju vrednosti multiplikatora i modulusa i te vrednosti odgovaraju vrednostima Park-Millerovog minimalnog standardnog GSB-a (`a = 16807` i `m = 2147483647`). Konstruktoru se prosleđuje vrednost početnog semena GSB-a. U klasi postoje još četiri javno vidljive funkcije. Jedna je operatorska funkcija `operator()` čijim korišćenjem se vraća vrednost slučajnog broja korišćenjem Lehmerovog generatora. Ostale tri funkcije odgovaraju uniformnoj, eksponecijalnoj i normalnoj raspodeli. Ove tri funkcije koriste izraze koji su prethodno prikazani i izvedeni.

`this` je ključna reč koja predstavlja pokazivač na tekuću instancu klase u funkciji članice klase u kojoj se `this` koristi. `(*this)()` poziva `operator()` i vraća vrednost slučajnog broja. `log()` je funkcija prirodnog logaritma (zaglavlje `<cmath>`).

# „Merge sort“ algoritam

**„Merge sort“ algoritam (algoritam sortiranja spajanjem) je rekurzivni algoritam sortiranja elemenata polja. Odabira se središnji element polja i nakon toga se polje deli na levu i desnu polovinu. Polje se rekurzivno deli na levu i desnu polovinu sve dok se ne dođe do polja veličine jednog elementa. Nakon toga tako podeljena polja se spajaju sve dok se ne dobije sortirano polje. Algoritam je složenosti O(nlog n) i stabilan je.**

**Primer: Sortirati celobrojno polje -1, 5, 3, 2, 9, 7, 1 korišćenjem „merge sort“ agoritma.**


-1 5 3 2 9 7 1
sortiranje_spajanjem
-1 5 3 2
9 7 1
sortiranje_spajanjem
-1 5
3 2
9 7
1
sortiranje_spajanjem
-1
5
3
2
9
7
1
spajanje
-1 5
2 3
7 9
1
spajanje
-1 2 3 5
1 7 9
spajanje
-1 1 2 3 5 7 9

# Sortiranje celobrojnog polja – „Merge sort“ algoritam

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <cstring>
#include <ctime>

void sortiranje_spajanjem(int x[],const size_t l,const size_t r) {
  void spajanje(int x[],const size_t l,const size_t m,const size_t r);
  // Proverava se da li ima elemenata u listi koja se sortira
  if(l<r) {
    // Pivot elemet
    size_t m = (l+r)/2;
    // Sortira se deo polja do pivota
    sortiranje_spajanjem(x,l,m);
    // Sortira se deo polja od pivota
    sortiranje_spajanjem(x,m+1,r);
    // Spajaju se polja
    spajanje(x,l,m,r);
  }
}
void spajanje(int x[],const size_t l,const size_t m,const size_t r) {
  // Velicina pomocnih polja
  size_t nl = m-l+1, nd = r-m;
  // Pomocna polja
  int *levo  = new int[nl];
  int *desno = new int[nd];
  // Polja koja se spajaju se kopiraju u pomocna polja
  std::memcpy(levo ,x+l  ,nl*sizeof(int));
  std::memcpy(desno,x+m+1,nd*sizeof(int));
  // Smestamo elemente iz pomocnih polja u novo, sortirano polje
  size_t i,j,k;
  for(i=0,j=0,k=l; i<nl && j<nd; ++k) {
    // Poredjenje
    if(levo[i]<=desno[j])
      x[k] = levo[i++];
    else
      x[k] = desno[j++];
  }


  // Preostali elementi se smestaju u novo polje
  if(i<nl) std::memcpy(x+k,levo+i ,(nl-i)*sizeof(int));
  else     std::memcpy(x+k,desno+j,(nd-j)*sizeof(int));
```

```
  // Brisemo pomocna polje
  delete [] levo;
  delete [] desno;
}
int main() {
  int x[] = {-1, 5, 3, 2, 9, 7, 1};
  size_t n = sizeof(x)/sizeof(int);
  int *x = new int[n];
  for(size_t i=0;i<n;++i)
    x[i] = 10+rand()%50;
  sortiranje_spajanjem(x,0,n-1);
  for(size_t i=0;i<n;++i)
    std::cout << x[i] << " ";
  std::cout << std::endl;
  delete [] x;
  return 0;
   }
```

# Klasa simulacija

```
// Klasa simulacija
class simulacija {
private:
  // Isto kao u aes1
  // Sortiranje LBD - sortiranje spajanjem
  void sortiraj_lbd() {
    sortiranje_spajanjem(_lbd,0,_broj-1);
  }
  void sortiranje_spajanjem(dogadjaj* x[],const size_t l,const size_t r) {
    // Proverava se da li ima elemenata u listi koja se sortira
    if(l<r) {
      // Pivot elemet
      size_t m = (l+r)/2;
      // Sortira se deo polja do pivota
      sortiranje_spajanjem(x,l,m);
      // Sortira se deo polja od pivota
      sortiranje_spajanjem(x,m+1,r);
      // Spajaju se polja
      spajanje(x,l,m,r);
    }
  }
  void spajanje(dogadjaj* x[],const size_t l,const size_t m,const size_t r) {
    // Velicina pomocnih polja
    size_t nl = m-l+1, nd = r-m;
    // Pomocna polja
    dogadjaj **levo  = new dogadjaj*[nl];
    dogadjaj **desno = new dogadjaj*[nd];
    // Polja koja se spajaju se kopiraju u pomocna polja
    std::memcpy(levo ,x+l   ,nl*sizeof(dogadjaj*));
    std::memcpy(desno,x+m+1,nd*sizeof(dogadjaj*));
    // Smestamo elemente iz pomocnih polja u novo, sortirano polje
    size_t i,j,k;
    for(i=0,j=0,k=l; i<nl && j<nd; ++k) {
      // Poredjenje
      if(levo[i]->vrati_vreme()<=desno[j]->vrati_vreme())
        x[k] = levo[i++];
      else
        x[k] = desno[j++];
    }
    // Preostali elementi se smestaju u novo polje
    if(i<nl) std::memcpy(x+k,levo+i ,(nl-i)*sizeof(dogadjaj*));
    else     std::memcpy(x+k,desno+j,(nd-j)*sizeof(dogadjaj*));
    // Brisemo pomocna polje
```

```
    delete [] levo;
    delete [] desno;
  }
  // Isto kao u aes1
};
```

**Klasa `simulacija` je uglavnom ista kao i klasa `simulacija` iz prethodne verzije programa (vidi Strategija raspoređivanja događaja 1). Ono što je promenjeno u odnosu na prethodnu verziju je to da su dodate privatne funkcije `void sortiranje_spajanjem(dogadjaj* x[],const size_t l,const size_t r)` i `void spajanje(dogadjaj* x[],const size_t l,const size_t m,const size_t r)` koje se pozivaju iz postojeće privatne funkcije `void sortiraj_lbd()`.**

**Primer 2.** Posmatrajmo poštu u kojoj se nalazi četiri univerzalna šaltera ispred koga se formira zajednički red čekanja. Vreme opsluge je eksponencijalno raspodeljeno sa srednjim vremenom 200 sekundi.

Klijenti dolaze po puasonovom toku sa srednjim vremenom od 100 sekundi.

Simulirati rad pošte za period od 12 časova. Vremenska jedinica je 1 sekunda. Takođe, potrebno je izračunati statistike resursa i reda čekanja.

**Bezuslovni događaji u ovom primeru su gotovo isti kao i u primeru 1. Ponovo postoje dva bezuslovna događaja *DolazakKlijenta* i *OdlazakKlijenta*. Pseudokodovi ova dva događaja su isti kao i u prethodnom primeru. Pored ova dva događaja uvodi se i treći događaj koji se aktivira nakon isteka vremena simulacije i služi da prekine simulaciju. Ovaj događaj nosi naziv *KrajSimulacije*. Pseudokod tog dođaja je jednostavan i on glasi:**

```
procedure KrajSimulacije
begin
        Zaustavi simulaciju.
end
```

**Za realizaciju primera koristićemo zaglavlje aes.h, aes_proc.h i aes_dist.h. Zaglavlje aes.h je jako slično prethodnoj verziji tog zagavlja, osim što je promenjena klasa `simulacija` (funkcija `sortiranje_spajanjem`). Takođe se menja i početak datoteke, na taj način da se pored prethodno uvedenih zaglavlja uvozi i zaglavlje `<cstring>`.**

```
// Zaglavlje aes.h
#ifndef __AES_H__
#define __AES_H__

#include <iostream>
#include <string>
#include <cstdlib>
#include <cstring>

// Ukljucujemo prostor imena std;
using namespace std;

// Prostor imena esa
namespace aes {
     // Realizicije klasa raspodela, entitet, fifo_red, resurs i simulacija
     // ...
}
#endif // __AES_H__
```

# zad2.cpp

**U ovoj izvornoj datoteci neće biti mnogo izmena u odnosu na zad1.cpp. Kao i u zad1.cpp, na početku se učitavaju odgovarajuća zaglavlja i dozvoljava se korišćenje odgovarajućih prostora imena.**

```
// Datoteka zad1.cpp
#include "aes.h"
#include "aes_proc.h"
#include "aes_dist.h"
#include <iostream>

// Ukljucujemo prostore imena esa i std
using namespace aes;
using namespace std;
```

**Zatim realizujemo deklaracije klasa koje predtavljaju te bezuslovne događaje.**

```
// Klasa dogadjaja dolazak korisnika
class dolazak_korisnika:public dogadjaj {
public:
  // Konstruktor
  dolazak_korisnika():dogadjaj(1) {}
  // Akcija
  void akcija();
  // Pomocna funkcija za pravljenje dogadjaja
  static dolazak_korisnika* napravi(korisnik* kor,vreme vn) {
    dolazak_korisnika* dk = new dolazak_korisnika;
    dk->postavi_agenta(0,kor);
    dk->postavi_vreme(simu.vrati_vreme()+vn);
    return dk;
  }
};

// Klasa dogadjaja odlazak korisnika
class odlazak_korisnika:public dogadjaj {
public:
  // Konstruktor
  odlazak_korisnika():dogadjaj(1) {}
  // Akcija dogadjaja
  void akcija();
  // Pomocna funkcija za pravljenje dogadjaja
  static odlazak_korisnika* napravi(korisnik* kor,vreme vn) {
    odlazak_korisnika* ok = new odlazak_korisnika;
    ok->postavi_agenta(0,kor);
    ok->postavi_vreme(simu.vrati_vreme()+vn);
    return ok;
  }
};


// Klasa dogadjaja zavrsetka simulacije
class kraj: public dogadjaj {
public:
  // Konstruktor dogadjaja kraj
  kraj():dogadjaj(0) {}
```

```
public:
  // Akcija dogadjaja
  void akcija();
  // Pomocna funkcija za pravljenje dogadjaja
  static kraj* napravi(vreme vn) {
    kraj* k = new kraj;
    k->postavi_vreme(simu.vrati_vreme()+vn);
    return k;
  }
};
```

**Dalje, kreiramo objekte raspodele, reda čekanja, četiri šatera i simulacije koji će kontrolisati izvršenje simulacije.**

```
// Objekat reda cekanja
red salt_red;
// Salteri
resurs salteri(4);
// Objekat simulacije
simulacija simu;
// Raspodele
raspodela rn1(11615), rn2(36517);
```

**Takođe, uvodimo i dve konstante koje će predstavljati srednje vreme dolaska i srednje vreme opsluge entiteta.**

```
// Srednje vreme dolaska entiteta
const double SRVRDOL = 100;
// Srednjevreme opsluge entiteta
const double SRVROPS = 200;
```

**Događaji *DolazakKlijenta* i *OdlazakKlijenta* su gotovo isti kao i u primeru 1. Jedino se menja raspoređivanje događaja obzirom da vremena ne uzimamo iz polja već vreme dobijamo korišćenjem objekata klase raspodela.**

**U pozivima funkcije rasporedi**

```
// Postavljamo vreme narednog dolaska
simu.rasporedi(dolazak_korisnika::napravi(novi_kor,rn1.expo(SRVRDOL)));

// Rasporedi klijenta za kraj opsluge
simu.rasporedi(odlazak_korisnika::napravi(prvi_kor,rn2.expo(SRVROPS)));
```

**`rn1.expo(SRVRDOL)` i `rn2.expo(SRVROPS)` vraćaju vreme između dva dolaska entiteta i vreme trajanja opsluge. Vremenski trenuci nastupanja događaja dolaska novog entiteta i događaja završetka opsluge dobijaju se kada se na vreme između dolazaka i vreme opsluge doda vreme simulacionog časovnika `simu.vrati_vreme()`.**

**Pored događaja *DolazakKlijenta* i *OdlazakKlijenta* potrebno realizovati i bezuslovni događaj *KrajSimulacije*. U akciji događaja `kraj` pozivamo funkciju klase `simulacija zaustavi()` kojom se zaustavlja simulacija. Prvo izvršenje događaja *KrajSimulacije* dovodi do završetka simulacije.**

```
// Dogadjaj kraj simulacije
void kraj::akcija() {
  simu.zaustavi();
}
```

**procedure** *KrajSimulacije*
**begin**
    *Zaustavi simulaciju.*
**end**

# main funkcija

**Kao što smo i u prethodnom primeru rekli da bi simulacija uopšte mogla da započne neophodno je napraviti i rasporediti prvi entitet za događaj dolaska klijenta. Postoje dva načina raspoređivanja prvog entiteta. Prvi način je da se prvi entitet rasporedi na događaj dolaska u trenutku *t*=0, dok je drugi način, da se dolazak prvog entiteta rasporedi na vreme koje se dobija iz raspodele vremena dolaska (u našem slučaju to je eksponecijalna raspodela sa srednjim vremenom 100 sek). Mi ćemo za raspoređivanje dolaska prvog entiteta koristiti drugi način:**

```
// Stvaramo prvog korisnika
korisnik *kor = new korisnik;

// Postavljamo prvi dogadja u listu sto je odgovara dolasku prvog klijenta
simu.rasporedi(dolazak_korisnika::napravi(kor,rn1.expo(SRVRDOL)));
```

**Takođe potrebno je na početku potrebno rasporediti i entitet koji će dovesti do završetka simulacije, odnosno koji će izvršiti događaj *KrajSimulacije*.**

```
// Rasporedi dogadjaj zavrsetka simulacije
simu.rasporedi(kraj::napravi(43200));
```

## Funkcija `main` će glasiti

```
int main() {
  // Stvaramo prvog korisnika
  korisnik *kor = new korisnik;
  // Postavljamo prvi dogadja u listu sto je odgovara dolasku prvog klijenta
  simu.rasporedi(dolazak_korisnika::napravi(kor,rn1.expo(SRVRDOL)));
  // Rasporedi dogadjaj zavrsetka simulacije
  simu.rasporedi(kraj::napravi(43200));
  // Izvrsavamo simulaciju
  simu.izvrsi();
  #ifdef STAMPA
  // Stampamo vreme simulacije
  cout << "vsim" << "," << -1 << "," << simu.vrati_vreme() << endl;
  #endif
  return 0;
}
```

## Štampanje izveštaja

**Da bi smo mogli da izračunamo statistike neophodno je zabeleziti trenutke u kojima dolazi do promene stanja sistema. Dva stanja pratimo i to su dužina reda čekanja i broj zauzetih kanala opsluge u resursu. Promene koje se dešavaju su sledeće: ulazak u red čekanja (`ured`), izlazak iz reda čekanja (`izred`), ulazak u resurs (`usal`) i izlazak iz resursa (`izsal`). Takođe je potrebno zabeležiti i trenutak prekida simulacije, tj. vreme simulacije (`vsim`). Pored vrste promene i vremena nastupanja potrebno je zabeležiti i redni broj entiteta koji dovodi do promene stanja.**

```
cout << "ured" << "," << e->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme_simulacije() << endl;

cout << "izred" << "," << fe->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme_simulacije() << endl;

cout << "usal" << "," << fe->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme_simulacije() << endl;

cout << "izsal" << "," << e->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme_simulacije() << endl;

cout << "vsim" << "," << -1 << "," << simu.vrati_vreme_simulacije() << endl;
```

## Kompajliranje i izvršenje programa

**Microsoft Visual C++**

```
cl zad2.cpp -O2 -W4 -DSTAMPA /EHsc
```

**MingW C++**

```
g++ zad2.cpp -O3 -DSTAMPA -Wall -static -ozad2.exe
```

**Izvršenje**

```
zad2 > out.txt
```

# Zaglavlje aes.h

```
// Zaglavlje aes.h
#ifndef   AES_H
#define __AES_H__

#include <iostream>
#include <string>
#include <cstdlib>
#include <cstring>

// Ukljucujemo prostor imena std;
using namespace std;

// Prostor imena esa
namespace aes {
  // Konstante
  const int max_broj_uredu  = 10;
  const int max_broj_ulisti = 50;

  // Predefinisacemo tip double u vreme
  using vreme = double; // alternativno, typedef double vreme;

  // Klasa agenta
  class agent {
  public:
    virtual ~agent() {}
  public:
    void posalji_poruku(const agent* ap,const string& poruka) {
      const_cast<agent*>(ap)->primi_poruku(this,poruka);
    }
    virtual void primi_poruku(const agent*,const string&) {};
  };
  // Apstraktna klasa dogadjaja
  class dogadjaj {
  protected:
    // Vreme nastupanja
    vreme   _vreme;
    // Agent
    agent** _agenti;
    // Broj agenata
    size_t  _broj;
  public:
    // Kontruktor
```

```
  dogadjaj(const size_t n):_vreme(0.0),_broj(n) {
    _agenti = new agent*[_broj];
  }
  // Destruktor
  virtual ~dogadjaj() {
    delete [] _agenti;
  }
  // Postavi agenta
  void postavi_agenta(const size_t n,const agent* a) {
    if(n<_broj)
      _agenti[n] = const_cast<agent*>(a);
    else {
      cerr << "dogadjaj::postavi_agenta - Pogresan indeks" << endl;
      exit(1);
    }
  }
  // Vrati agenta
  agent* vrati_agenta(const size_t n) const {
    if(n<_broj)
      return _agenti[n];
    else {
      cerr << "dogadjaj::vrati_agenta - Pogresan indeks" << endl;
      exit(1);
    }
    return nullptr;
  }
  // Postavi vreme nastupanja
  void postavi_vreme(const vreme v) {
    _vreme = v;
  }
  // Vrati vreme nastupanja
  vreme vrati_vreme() const { return _vreme; }
public:
  // Cista virtuelna funkcija dogadjaja
  virtual void akcija() = 0;
};
// Klasa simulacija
class simulacija {
private:
  // Flag zaustavljanja
  bool _stop;
  // Broj entiteta u LBD listi
  size_t _broj;
  // Vreme simulacije
  vreme _vreme;
  // Polje entiteta u LBD listi
  dogadjaj* _lbd[max_broj_ulisti];
```

```
  // Sortiranje LBD - sortiranje spajanjem
  void sortiraj_lbd() {
    sortiranje_spajanjem(_lbd,0,_broj-1);
  }
  void sortiranje_spajanjem(dogadjaj* x[],const size_t l,const size_t r) {
    // Proverava se da li ima elemenata u listi koja se sortira
    if(l<r) {
      // Pivot elemet
      size_t m = (l+r)/2;
      // Sortira se deo polja do pivota
      sortiranje_spajanjem(x,l,m);
      // Sortira se deo polja od pivota
      sortiranje_spajanjem(x,m+1,r);
      // Spajaju se polja
      spajanje(x,l,m,r);
    }
  }
  void spajanje(dogadjaj* x[],const size_t l,const size_t m,const size_t r) {
    // Velicina pomocnih polja
    size_t nl = m-l+1, nd = r-m;
    // Pomocna polja
    dogadjaj **levo  = new dogadjaj*[nl];
    dogadjaj **desno = new dogadjaj*[nd];
    // Polja koja se spajaju se kopiraju u pomocna polja
    std::memcpy(levo ,x+l  ,nl*sizeof(dogadjaj*));
    std::memcpy(desno,x+m+1,nd*sizeof(dogadjaj*));
    // Smestamo elemente iz pomocnih polja u novo, sortirano polje
    size_t i,j,k;
    for(i=0,j=0,k=l; i<nl && j<nd; ++k) {
      // Poredjenje
      if(levo[i]->vrati_vreme()<=desno[j]->vrati_vreme())
        x[k] = levo[i++];
      else
        x[k] = desno[j++];
    }
    // Preostali elementi se smestaju u novo polje
    if(i<nl) std::memcpy(x+k,levo+i ,(nl-i)*sizeof(dogadjaj*));
    else     std::memcpy(x+k,desno+j,(nd-j)*sizeof(dogadjaj*));
    // Brisemo pomocna polje
    delete [] levo;
    delete [] desno;
  }
public:
  // Konstruktor
  simulacija():_stop(false),_broj(0),_vreme(0.0) {}
  // Destruktor
  ~simulacija() {
```

```
      // Uklanjamo preostale entitete iz LBD na kraju simulacije.
      for(size_t i=0; i<_broj; ++i)
        delete _lbd[i];
    }
    // Rasporedjivanje dogadjaja
    void rasporedi(const dogadjaj* d) {
      if(_broj < max_broj_ulisti) {
        // Smestamo entitet u listu
        _lbd[_broj] = const_cast<dogadjaj*>(d);
        ++_broj;
        // Sortiramo LBD
        sortiraj_lbd();
      }
      else {
        cerr << "simulacija::rasporedi - Previse entiteta u listi dogadjaja" << endl;
        exit(1);
      }
    }
    // Izvrsavanje simulacije
    void izvrsi() {
      // Flag zaustavljanja je netacan
      _stop = false;
      // Izvrsavamo simulaciju. Simulacija se zavrsava ukoliko
      // nema dogadjaja u LBD ili ukoliko je flag zaustavljanja tacan.
      do {
        // Vadimo prvi dogadjaj iz liste. Taj dogadjaj postaje tekuci dogadjaj.
        dogadjaj*_tekuci = _lbd[0];
        for(size_t i=1;i<_broj;++i)
          _lbd[i-1] = _lbd[i];
        --_broj;
        // Faza A: Azurirarmo vreme simulacije
        _vreme = _tekuci->vrati_vreme();
        // Faza B: Izvrsavamo dogadjaj
        _tekuci->akcija();
        // Brisemo tekuci dogadjaj iz memorije
        delete _tekuci;
      } while(_broj && !_stop);
    }
    // Zaustavljamo izvrsenje simulacije
    void zaustavi() { _stop = true; }
    // Vraca vreme simulacije
    vreme vrati_vreme() { return _vreme; }
  };
}

#endif // __AES_H__
```

# Zaglavlje aes_dist.h

```
// Zaglavlje aes_dist.h
#ifndef   AES_DIST_H
#define __AES_DIST_H__

#include "aes.h"
#include <cmath>
#include <cstdint>

// Ukljucujemo prostor imena std;
using namespace std;

namespace aes {
  // Klasa raspodela
  class raspodela {
    // Seme generatora slucajnih brojeva (GSB)
    uint32_t s;
    // Multiplikator
    uint32_t a;
    // Modulus
    uint32_t m;
  public:
    // Konstruktor
    raspodela(const uint32_t s):s(s) {
      // Postavljamo vrednost multiplikatora
      a = 16807;
      // Postavljamo vrednost modulusa
      m = 2147483647;
    }
    // Lehmerov multiplikativni kongruentni generator
    double operator() () {
      s = static_cast<uint64_t>(a*s)%m;
      return s/(1.0*m);
    }
    // Uniformna raspodela
    double unif(const double l,const double u) {
      return l+(u-l)*(*this)();
    }
    // Eksponencijalna raspodela
    double expo(const double mi) {
      return -mi*log((*this)());
    }
    // Normalna raspodela
    double norm(const double mi,const double sd) {
      double z = 0.0;
```

```
      for(int i=0; i<12; i++)
        z += (*this)();
      return mi+(z-6)*sd;
    }
  };
}
#endif // __AES_DIST_H__
```

# Izvorna datoteka zad2.cpp

```
// Datoteka zad3.cpp
#include "aes.h"
#include "aes proc.h"
#include "aes dist.h"
#include <iostream>

// Ukljucujemo prostore imena esa i std
using namespace aes;
using namespace std;

  // Objekat reda cekanja
red salt_red;
// Salteri
resurs salteri(4);
// Objekat simulacije
simulacija simu;
raspodela rn1(11615), rn2(36517);
// Srednje vreme dolaska entiteta
const double SRVRDOL = 100;
// Srednjevreme opsluge entiteta
const double SRVROPS = 200;

// Klasa korisnika
class korisnik:public agent {
  // Brojac korisnika
  static size_t _idc;
  // Redni broj korisnika
  size_t _id;
public:
  // Konstruktor
  korisnik():agent() { _id = ++_idc; }
public:
  // Vraca id korisnika
  size_t vrati_id() { return _id; }
};
size_t korisnik::_idc = 0;

// Klasa dogadjaja dolazak korisnika
class dolazak_korisnika:public dogadjaj {
public:
  // Konstruktor
  dolazak_korisnika():dogadjaj(1) {}
```

```
  // Akcija
  void akcija();
  // Pomocna funkcija za pravljenje dogadjaja
  static dolazak_korisnika* napravi(korisnik* kor,vreme vn) {
    dolazak_korisnika* dk = new dolazak_korisnika;
    dk->postavi_agenta(0,kor);
    dk->postavi_vreme(simu.vrati_vreme()+vn);
    return dk;
  }
};

// Klasa dogadjaja odlazak korisnika
class odlazak_korisnika:public dogadjaj {
public:
  // Konstruktor
  odlazak_korisnika():dogadjaj(1) {}
  // Akcija dogadjaja
  void akcija();
  // Pomocna funkcija za pravljenje dogadjaja
  static odlazak_korisnika* napravi(korisnik* kor,vreme vn) {
    odlazak_korisnika* ok = new odlazak_korisnika;
    ok->postavi_agenta(0,kor);
    ok->postavi_vreme(simu.vrati_vreme()+vn);
    return ok;
  }
};

// Klasa dogadjaja zavrsetka simulacije
class kraj: public dogadjaj {
public:
  // Konstruktor dogadjaja kraj
  kraj():dogadjaj(0) {}
public:
  // Akcija dogadjaja
  void akcija() { simu.zaustavi(); }
  // Pomocna funkcija za pravljenje dogadjaja
  static kraj* napravi(vreme vn) {
    kraj* k = new kraj;
    k->postavi_vreme(simu.vrati_vreme()+vn);
    return k;
  }
};

// Akcija
void dolazak_korisnika::akcija() {
  korisnik *kor,*prvi_kor,*novi_kor;
  // Korisnik koji dolazi u postu
```

```
  kor = dynamic_cast<korisnik*>(vrati_agenta(0));
  #ifdef STAMPA
  cout << "ured" << "," << kor->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme() << endl;
  #endif
  // Postavi klijenta u red cekanja
  salt_red.smesti(kor);
  // Ukoliko je salter raspoloziv
  if(salteri.raspoloziv()) {
    // Izvadi prvog klijenta iz reda
    prvi_kor = dynamic_cast<korisnik*>(salt_red.prednji());
    // Prvi korisnik izlazi iz reda
    salt_red.vadi();
    #ifdef STAMPA
    cout << "izred" << "," << kor->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme() << endl;
    #endif
    // Zauzmi jedno mesto u salteru
    salteri.zauzmi();
    #ifdef STAMPA
    cout << "usal" << "," << kor->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme() << endl;
    #endif
    // Rasporedi klijenta za kraj opsluge
    simu.rasporedi(odlazak_korisnika::napravi(prvi_kor,rn2.expo(SRVROPS)));
  }
  // Stvaramo narednog korisnika
  novi_kor = new korisnik;
  // Postavljamo vreme narednog dolaska
  simu.rasporedi(dolazak_korisnika::napravi(novi_kor,rn1.expo(SRVRDOL)));
}

// Akcija dogadjaja
void odlazak_korisnika::akcija() {
  korisnik *kor, *prvi_kor;
  // Korisnik koji odlazi
  kor = dynamic_cast<korisnik*>(vrati_agenta(0));
  // Vrati salter
  salteri.oslobodi();
  #ifdef STAMPA
  cout << "izsal" << "," << kor->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme() << endl;
  #endif
  // Klijent odlazi iz poste - unistavamo tekuceg klijenta
  delete kor;
  // Ukoliko red nije prazan
  if(salt_red.vrati_velicinu()>0) {
    // Izvadi prvog korisnika iz reda
    prvi_kor = dynamic_cast<korisnik*>(salt_red.prednji());
    salt_red.vadi();
    #ifdef STAMPA
```

```
    cout << "izred" << "," << prvi_kor->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme() << endl;
    #endif
    // Zauzmi jedno mesto u salteru
    salteri.zauzmi();
    #ifdef STAMPA
    cout << "usal" << "," << prvi_kor->vrati_id() << "," << simu.vrati_vreme() << endl;
    #endif
    // Rasporedi klijenta za kraj opsluge
    simu.rasporedi(odlazak_korisnika::napravi(prvi_kor,rn2.expo(SRVROPS)));
  }
}

int main() {
  // Stvaramo prvog korisnika
  korisnik *kor = new korisnik;
  // Postavljamo prvi dogadja u listu sto je odgovara dolasku prvog klijenta
  simu.rasporedi(dolazak_korisnika::napravi(kor,rn1.expo(SRVRDOL)));
  // Rasporedi dogadjaj zavrsetka simulacije
  simu.rasporedi(kraj::napravi(43200));
  // Izvrsavamo simulaciju
  simu.izvrsi();
  #ifdef STAMPA
  // Stampamo vreme simulacije
  cout << "vsim" << "," << -1 << "," << simu.vrati_vreme() << endl;
  #endif
  return 0;
}
```

# Statistike simulacionog programa

## Statistike resursa

| | |
|---|---|
| $R(t)$ , | trenutni broj klijenata u resursu |
| $J_R$, | broj promena stanja u resursu u toku simulacije |
| $t_R^i$, | vremenski trenuci u kojima se menja stanje resursa |
| $N_R$, | broj entiteta koji je ušao u resurs u toku simulacije |
| $n_R$, | broj kanala opsluge |
| $W_R^i$, | vreme opsluge *i*-tog entiteta |
| $T$, | vreme simulacije |

1. Srednji broj zauzetih kanala: $\overline{R} = \frac{1}{T}\int_0^T R(\tau)\,d\tau = \frac{1}{T}\left[\sum_{i=1}^{J_R-1} R(t_R^i)(t_R^{i+1} - t_R^i) + R(t_R^J)(T - t_R^J)\right]$

2. Srednje vreme opsluge: $\overline{W}_R = \frac{\sum_{i=1}^{N_R-R(T)} W_R^i}{N_R-R(T)}$

3. Iskorišćenost: $\rho = \frac{\overline{R}}{n_R}$

# Statistike reda čekanja

$Q(t)$ , trenutni broj klijenata u redu čekanja
$J_Q$, broj promena stanja u redu čekanja u toku simulacije
$t_Q^i$, vremenski trenuci u kojima se menja stanje reda čekanja
$N_Q$, broj entiteta koji je ušao u red čekanja u toku simulacije
$N'_Q$ broj entiteta koji je ušao u red čekanja, a nije se zadržavao u redu
$W_Q^i$, vreme čekanja *i*-tog entiteta
$T$, vreme simulacije

1. Srednja dužina reda čekanja: $\overline{Q} = \frac{1}{T}\int_0^T Q(\tau)\, d\tau = \frac{1}{T}\left[\sum_{i=1}^{J_Q-1} Q(t_Q^i)(t_Q^{i+1} - t_Q^i) + Q(t_Q^J)(T - t_Q^J)\right]$

2. Srednje vreme čekanja: $\overline{W}_Q = \frac{\sum_{i=1}^{N_Q-Q(T)} W_Q^i}{N_Q-Q(T)}$

3. Srednje vreme čekanja u redu isključujući one entitete koji se nisu zadržavali u redu $\overline{W}_Q = \frac{\sum_{i=1}^{N_Q-N'_Q-Q(T)} W_Q^i}{N_Q - N'_Q - Q(T)}$

# Parametri SMO M/M/n/∞

$\lambda$, intenzitet dolazaka

$\mu$, intenzitet opsluživanja

1. Verovatnoća da je sistem prazan: $P_0 = \left[\sum_{j=1}^{n-1}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j \frac{1}{j!} + \frac{1}{n!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \frac{n\lambda}{n\mu-\lambda}\right]^{-1}$
2. Srednja dužina reda čekanja: $\bar{k}_R = \frac{P_0\lambda\mu(\lambda/\mu)^n}{(n-1)!(n\mu-\lambda)^2}$
3. Srednje vreme čekanja u redu: $\bar{t}_R = \frac{\bar{k}_R}{\lambda}$
4. Srednje vreme opsluge: $\bar{t}_o = \frac{1}{\mu}$
5. Iskorišćenost: $\rho = \frac{\lambda}{n\mu}$

# Listing simulacionog programa realizovanog u GPSS/H

```
Student GPSS/H Release 3.70 (UN214)     22 Dec 2017   08:28:38     File: zad1.gps

Line# Stmt#  If Do  Block#  *Loc    Operation A,B,C,D,E,F,G       Comments

    1     1                      SIMULATE
    2     2                      STORAGE S(1),4
    3     3              1       GENERATE RVEXPO(3,100)
    4     4              2       QUEUE 1
    5     5              3       ENTER 1
    6     6              4       DEPART 1
    7     7              5       ADVANCE RVEXPO(7,200)
    8     8              6       LEAVE 1
    9     9              7       TERMINATE
   10    10                 *
   11    11              8       GENERATE 43200
   12    12              9       TERMINATE 1
   13    13                      START 1
   14    14                      END

Entity Dictionary (in ascending order by entity number; "*" => value conflict.)

          Queues: 1

        Storages: 1

   Random Numbers: 3               7

Symbol   Value   EQU Defns  Context      References by Statement Number

1            1              Queue            4     6

1            1           2  Storage          5     8

3            3              Random Nmbr      3
7            7              Random Nmbr      7


Storage Requirements (Bytes)

Compiled Code:      336
Compiled Data:       80
Miscellaneous:        0
Entities:           896
Common:           10000
----------------------
Total:            11312
```

```
GPSS/H Model Size:

Control Statements      4
Blocks                  9


Simulation begins.

Relative Clock: 43200.0000   Absolute Clock: 43200.0000


Block Current     Total
1                   409
2                   409
3                   409
4                   409
5           1       409
6                   408
7                   408
8                     1
9                     1


          --Avg-Util-During--
 Storage  Total  Avail  Unavl     Entries    Average   Current  Percent    Capacity     Average     Current     Maximum
           Time   Time   Time               Time/Unit   Status   Avail                 Contents    Contents    Contents
       1  0.478                       409     202.096    AVAIL   100.0            4       1.913           1           4


   Queue     Maximum      Average       Total        Zero     Percent      Average     $Average     Qtable     Current
            Contents     Contents     Entries     Entries      Zeros     Time/Unit    Time/Unit     Number    Contents
       1           5        0.109         409         354       86.6        11.496       85.491                       0


  Random    Antithetic     Initial     Current      Sample   Chi-Square
  Stream      Variates    Position    Position       Count   Uniformity
       3           OFF      300000      300410         410      0.69
       7           OFF      700000      700409         409      0.84


Status of Common Storage

    9448 bytes available
     552 in use
    1528 used (max)

Simulation complete.  Absolute Clock: 43200.0000
```

```
Total Block Executions: 2863

Blocks / second:        8559557

Microseconds / Block:   0.12


Elapsed Time Used (Sec)

Pass1:            0.00
Sym/Xref          0.00
Pass2:            0.00
Load/Ctrl:        0.00
Execution:        0.00
Output:           0.00
---------------------
Total:            0.00
```

# Rezultati dobijeni u programskom jeziku C++

```
Vreme simulacije: 43200.000

STATISTIKE REDA CEKANJA
Broj entiteta koji je usao u red cekanja: 428
Preostali broj entiteta u redu cekanja: 0
Maksimalni broj entiteta u redu: 5
Srednje vreme cekanja u redu: 18.254
Srednji broj entiteta u redu: 0.252
Broj entiteta koji je prosao kroz red bez zadrzavanja: 348
Procenat ulaza bez zadrzavanja: 81.308
Srednje vreme cekanja u redu (iskljuc. ent. koji se nisu zadrzali): 97.661

STATISTIKE RESURSA
Broj entiteta koji je usao u resurs: 428
Preostali broj entiteta u resursu: 1
Maksimalni broj zauzetih kanala opsluge: 4
Srednje vreme opsluge: 214.647
Srednji broj zauzetih kanala: 2.128
Iskoriscenost: 0.532
```

# Uporedne statistike reda čekanja i resursa (skladišta) dobijene simulacionim programom realizovanim u GPSS/H i C++

## Uporedne statistike reda čekanja

| Statistike reda čekanja | GPSS/H | C++ | Analitičke vrednosti |
|---|---|---|---|
| Broj entiteta koji je ušao u red čekanja | 409 | 431 | 432 |
| Preostali broj entiteta u redu čekanja | 0 | 0 | - |
| Maksimalni broj entiteta u redu | 5 | 5 | - |
| Srednje vreme čekanja u redu | 11.496 | 15.049 | 16.667 |
| Srednji broj entiteta u redu | 0.109 | 0.220 | 0.167 |
| Broj entiteta koji je prošao kroz red bez zadržavanja | 354 | 350 | - |
| Procenat ulaza bez zadržavanja | 86.6 | 81.206 | - |
| Srednje vreme čekanja u redu (isključ. ent. koji se nisu zadržali) | 85.491 | 80.075 | - |

## Uporedne statistike resursa (skladišta)

| Statistike resursa (skladišta) | GPSS/H | C++ | Analitičke vrednosti |
|---|---|---|---|
| Broj entiteta koji je ušao u resurs | 409 | 431 | 432 |
| Preostali broj entiteta u resursu | 1 | 4 | - |
| Maksimalni broj zauzetih kanala opsluge | 4 | 4 | - |
| Srednje vreme opsluge | 202.096 | 194.199 | 200.000 |
| Srednji broj zauzetih kanala | 1.913 | 1.938 | 2.167 |
| Iskorišćenost | 0.478 | 0.485 | 0.500 |

## Kompajliranje i izvršenje programa

**Microsoft Visual C++**

```
cl stat_zad2.cpp /O2 /W4 /EHsc
```

**MingW C++**

```
g++ stat_zad2.cpp -O3 -Wall -static -ostat_zad2.exe
```

**Izlaz**

```
stat_zad2 < out.txt
```

# Program stat_zad2.cpp

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;

const int max_id_num = 20;

class resurs_stat {
  public:
    // Ukupni, tekuci i maksimalni broj entiteta u resursu
    int broj, tek_broj, max_broj;
    // Ukupno vreme za koje je resur bio zauzet
    double ukupno_vreme;
    // Vreme za koje se entitet zadrzava u resursu
    double povrsina_cekanja;
    // Poslednji trenutak promene stanja entiteta u resurs
    double vreme_promene;
    // Ukupno vreme simulacije
    double vreme_sim;
    // Polje rednih brojeva entiteta koji se nalaze u resursu
    int id[max_id_num];
    // Vremenski trenutak promene stanja resursa od strane entiteta
    double vreme[max_id_num];
  private:
    // Broj entiteta u polju id i polju vreme
    int broj_id;
  public:
    resurs_stat(): broj(0),tek_broj(0),max_broj(0),
                   ukupno_vreme(0),povrsina_cekanja(0),
                   vreme_promene(0), broj_id(0) {}
    // Dodajemo redni broj entiteta u polje id
    void dodaj_id(int novi_id,double novo_vreme) {
      if(broj_id<max_id_num) {
        id[broj_id] = novi_id;
        vreme[broj_id] = novo_vreme;
        broj_id++;
      }
      else {
        cerr << "Greska dodaj id" << endl;
        exit(1);
```

```
      }
    }
    // Nalazimo redni broj entiteta u polju id
    int nadji_id(int trazi_id) {
      int i;
      for(i=0; i<broj_id; i++)
        if(id[i]==trazi_id)
          break;
      return i;
    }
    // Uklanjamo redni broj i tekuce vreme entiteta iz polja id i vreme sa pozicije pos
    void ukloni_id(int pos) {
      for(int i=pos+1; i<broj_id; i++) {
        id[i-1] = id[i];
        vreme[i-1] = vreme[i];
      }
      broj_id--;
    }
    void vreme_simulacije(double vs) { vreme_sim = vs; }
    inline double srednje_vreme() {
      return ukupno_vreme/(broj-tek_broj);
    }
    inline double srednji_broj_entiteta() {
      return povrsina_cekanja/vreme_sim;
    }
    inline double iskoriscenost(int broj_kanala) {
      return srednji_broj_entiteta()/broj_kanala;
    }
};
// Klasa statistika reda cekanja
class fifo_red_stat: public resurs_stat {
  public:
    // Broj klijenata koji nisu cekali
    int broj_bezcekanja;
  public:
    fifo_red_stat():resurs_stat(),broj_bezcekanja(0) {}
    inline double procenat_entiteta_bez_zadrzavanja() {
      return (100.0*broj_bezcekanja)/broj;
    }
    inline double srednji_broj_entiteta_bez_zadrzavanja() {
      return ukupno_vreme/(broj-tek_broj-broj_bezcekanja);
    }
};
int main() {
  int pos,posn,idv;
  string str,tip,id,vreme;
  char line[1024];
```

```
resurs_stat salt;
fifo_red_stat red;
double vremev, vreme_sim,
       vreme_u_redu, vreme_u_res;
// Ucitavamo izvestaj
ifstream in("zad3.txt",ifstream::in);
// Ucitavamo podatke iz izvestaja sve dok ne dodjemo do kraja datoteke
while(in.good()) {
  // Ucitavamo liniju iz izvestaja
  in.getline(line,1024);
  // Dodeljujemo liniju stringu
  str = line;
  // Izdvajamo tip obavestenja
  posn = str.find_first_of(',');
  tip = str.substr(0,posn);
  pos = posn;
  // Izdvajamo vrednost rednog broja entiteta
  posn = str.find_first_of(',',pos+1);
  id = str.substr(pos+1,posn-pos-1);
  pos = posn;
  // Izdvajamo vremenski trenutak
  vreme = str.substr(pos+1);
  // Prevodimo id i vremenski trenutak u broj
  idv = atoi(id.c_str());
  vremev = atof(vreme.c_str());
  // Proveravamo tip obavestenja
  if(!tip.compare("ured")) {
    // Broj entiteta koji su usli u red cekanja
    red.broj++;
    // Uvecavamo ukupno cekanje u redu
    red.povrsina_cekanja += red.tek_broj*(vremev-red.vreme_promene);
    // Pamtimo trenutak dolaska entiteta u red
    red.vreme_promene = vremev;
    // Uvecavamo broj entiteta u redu
    red.tek_broj++;
    // Ukoliko je tekuci broj klijenata u redu veci od maksimalnog
    // tekuci broj postaje maksimalni broj
    if(red.tek_broj>red.max_broj)
      red.max_broj = red.tek_broj;
    // Pamtimo redni broj i trenutak ulaska entiteta u redu
    red.dodaj_id(idv,vremev);
  }
  else if(!tip.compare("izred")) {
    // Nalazimo poziciju entiteta u redu
    int n = red.nadji_id(idv);
    // Izracunavamo vreme cekanja u redu
    vreme_u_redu = vremev-red.vreme[n];
```

```
    // Ukupno vreme koje su entiteti proveli u redu
    red.ukupno_vreme += vreme_u_redu;
    //
    red.povrsina_cekanja += red.tek_broj*(vremev-red.vreme_promene);
    // Ukoliko je vreme koje je entitet proveo u redu 0
    if(vreme_u_redu==0.0)
      // Uvecavamo broj entiteta koji nisu cekali u redu
      red.broj_bezcekanja++;
    // Uklanjamo redni broj entiteta sa pozicije n
    red.ukloni_id(n);
    // Umanjujemo tekuci broj entiteta u redu
    red.tek_broj--;
  }
  else if(!tip.compare("usal")) {
    // Uvecamo broj entiteta koji su usli resurs
    salt.broj++;
    //
    salt.povrsina_cekanja += salt.tek_broj*(vremev-salt.vreme_promene);
    // Pamtimo trenutak poslednje promene broja zauzetih mesta
    salt.vreme_promene = vremev;
    // Uvecavamo tekuci broj zauzetih mesta u salteru
    salt.tek_broj++;
    // Ukoliko je tekuci broj zauzetih mesta veci od maksimalnog
    // tekuci broj postaje maksimalni broj
    if(salt.tek_broj>salt.max_broj)
      salt.max_broj = salt.tek_broj;
    // Pamtimo redni broj entiteta u resursu i trenutak ulaska entiteta u resurs
    salt.dodaj_id(idv,vremev);
  }
  else if(!tip.compare("izsal")) {
    // Nalazimo poziciju entiteta u resursu
    int n = salt.nadji_id(idv);
    // Vreme koje entitet provodi u resursu
    vreme_u_res = vremev-salt.vreme[n];
    // Ukupno vreme koje su entiteti proveli u salteru
    salt.ukupno_vreme += vreme_u_res;
    //
    salt.povrsina_cekanja += salt.tek_broj*(vremev-salt.vreme_promene);
    // Pamtimo vreme ulaska entiteta u resurs
    salt.vreme_promene = vremev;
    // Uklanjamo redni broj entiteta sa pozicije n
    salt.ukloni_id(n);
    // Umanjujemo tekuci broj entiteta u resursu
    salt.tek_broj--;
  }
  else if(!tip.compare("vsim")) {
    // Pamtimo vreme simulacije
```

```
        vreme_sim = vremev;
        // Postavljamo vreme simulacije
        red.vreme_simulacije(vremev);
        salt.vreme_simulacije(vremev);
        //
        salt.povrsina_cekanja += salt.tek_broj*(vremev-salt.vreme_promene);
        red.povrsina_cekanja += red.tek_broj*(vremev-red.vreme_promene);
      }
    }
    // Zatvaramo datoteku
    in.close();
    // Podesavamo preciznost izlaznih rezulata
    cout.precision(3);
    cout.setf(ios_base::fixed);
    // ISPISUJEMO STATISTIKE
    // Ispisujemo vreme simulacije
    cout << "Vreme simulacije: " << vreme_sim << endl;
    cout << endl;
    // Statistike reda cekanja
    cout << "STATISTIKE REDA CEKANJA" << endl;
    cout << "Broj entiteta koji je usao u red cekanja: " << red.broj << endl;
    cout << "Preostali broj entiteta u redu cekanja: " << red.tek_broj << endl;
    cout << "Maksimalni broj entiteta u redu: " << red.max_broj << endl;
    cout << "Srednje vreme cekanja u redu: " << red.srednje_vreme() << endl;
    cout << "Srednji broj entiteta u redu: " << red.srednji_broj_entiteta() << endl;
    cout << "Broj entiteta koji je prosao kroz red bez zadrzavanja: " << red.broj_bezcekanja << endl;
    cout << "Procenat ulaza bez zadrzavanja: " << red.procenat_entiteta_bez_zadrzavanja() << endl; cout <<
    "Srednje vreme cekanja u redu (iskljuc. ent. koji se nisu zadrzali): "
         << red.srednji_broj_entiteta_bez_zadrzavanja() << endl;
    cout << endl;
    // Statistike resursa
    cout << "STATISTIKE RESURSA" << endl;
    cout << "Broj entiteta koji je usao u resurs: " << salt.broj << endl;
    cout << "Preostali broj entiteta u resursu: " << salt.tek_broj << endl;
    cout << "Maksimalni broj zauzetih kanala opsluge: " << salt.max_broj << endl;
    cout << "Srednje vreme opsluge: " << salt.srednje_vreme() << endl;
    cout << "Srednji broj zauzetih kanala: " << salt.srednji_broj_entiteta() << endl;
    cout << "Iskoriscenost: " << salt.iskoriscenost(4) << endl;
    return 0;
}
```