



Telekomunikaciona merenja TM P02 2018

Profesor dr Miroslav Lutovac

"This project has been funded with support from the European Commission. This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein"

Telekomunikaciona merenja

- Status predmeta: **izborni**
- Broj ESPB: **8**
- Cilj predmeta:
 - **upoznavanje sa principima rada i korišćenjem telekomunikacionih mernih uređaja**
- Ishod predmeta:
 - **Po završetku kursa studenti će imati potrebna znanja da pravilno upotrebe laboratorijske uređaje i izvrše merenja telekomunikacionih signala**

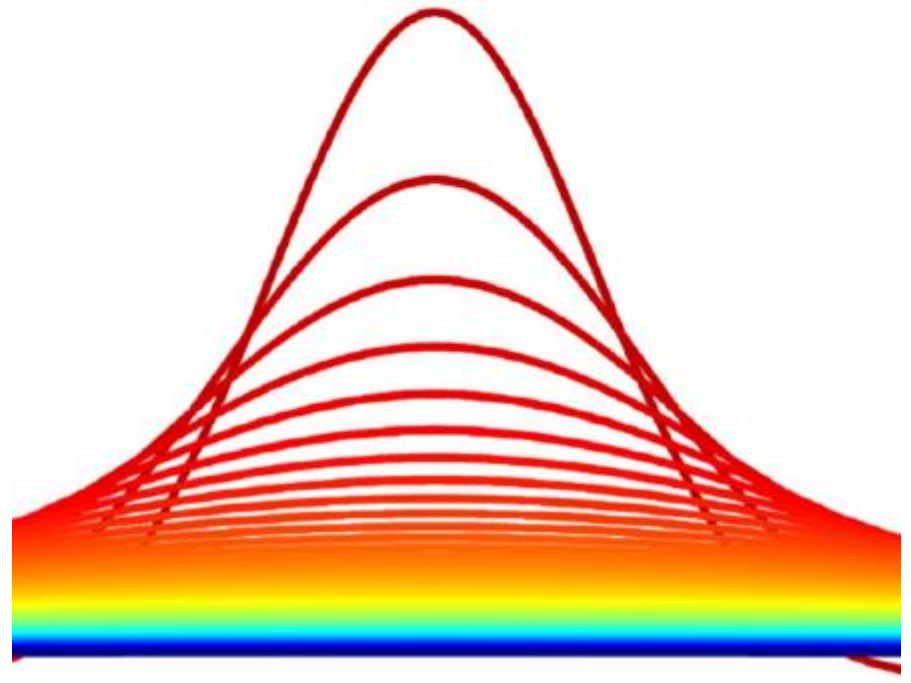
Literatura

1. **N. Miljković, Metode i instrumentacija za električna merenja, Elektrotehnički fakultet, Univ. Beograd, 2016**
2. Rauscher C., Fundamentals of Spectrum Analysis, Rohde & Schwarz, 2006.
3. M. Bjelica, Telekomunikaciona merenja 1 - zbirka rešenih zadataka, Elektrotehnički fakultet, Univ. Beograd, 2013.
4. Witte A. Robert, Spectrum and Network Measurements, SciTech Publishing edition 2006.
5. Time Domain Reflectometry Theory, Application Note, Agilent Technologies, Inc. 2000-2013 Published in USA

N. Miljković,
Metode i instrumentacija za
električna merenja,
Elektrotehnički fakultet,
Univerzitet u Beogradu,
2016.

Metode i instrumentacija za električna merenja

Nadica Miljković

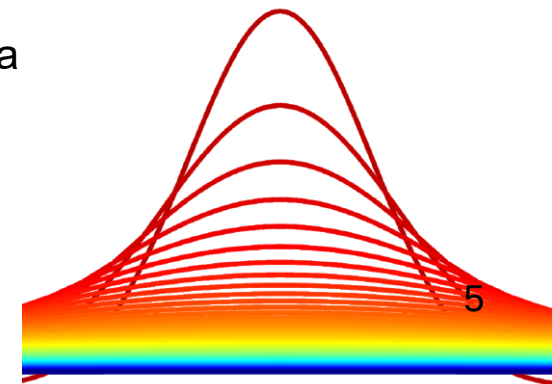


- Definicija merenja
 - Rezultat merenja8
 - Funkcija raspodele verovatnoće i funkcija gustine verovatnoće
- Merne greške I merna nesigurnost
 - Relativna i apsolutna greška merenja
 - Merna nesigurnost tipa A
 - Merna nesigurnost tipa A za Gausovu funkciju gustine verovatnoće
 - Merna nesigurnost tipa A za negausovske funkcije gustine verovatnoće
 - Primeri računanja merne nesigurnosti tipa A
 - Merna nesigurnost tipa B
 - Merna nesigurnost tipa B analognih instrumenata
 - Merna nesigurnost tipa B digitalnih instrumenata
 - Normalizacija rezultata merenja
 - Kombinovana merna nesigurnost
 - Kombinovana merna nesigurnost nekorelisanih veličina
 - Kombinovana merna nesigurnost korelisanih veličina
 - Kombinovana merna nesigurnost i sistematski efekti
 - Primer računanja kombinovane merne nesigurnosti

UDŽBENIK ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Metode i instrumentacija za
električna merenja

Nadica Miljković

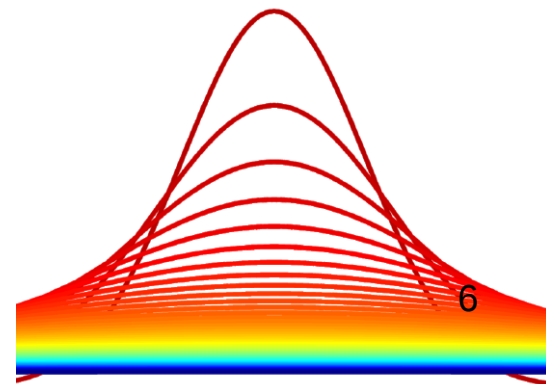


- Izveštaj rezultata merenja i uticaj merene veličine na mernu nesigurnost
- Merna nesigurnost - dodatna razmatranja i rezime
 - Predstavljanje rezultata merenja pomoću medijane i kvartila
- Metode za merenje električnih veličina
 - Merenje otpornosti
 - Ommetar (digitalni multimeter)
 - U/I metoda za merenje nepoznate otpornosti
 - Merenje otpornosti metodom poređenja i metodom zamene
 - Primer merenja otpornosti
 - Merenje kapacitivnosti
 - Primer merenja kapacitivnosti
 - Merenje induktivnosti
 - Merenje impedanse
 - U / I metoda za merenje impedanse
 - Merni mostovi za merenje električnih veličina

UDŽBENIK ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Metode i instrumentacija za
električna merenja

Nadica Miljković



- Instrumenti za merenje električnih veličina

- Princip rada osnovnih mernih instrumenata

- Instrument sa pokretnim kalemom
 - Instrument sa pokretnim gvožđem
 - Princip rada digitalnih instrumenata
 - Galvanometri u savremenim električnim merenjima

- Karakteristike mernih instrumenata

- Specijalizovani merni instrumenti

- Digitalni multimetar, Osciloskop, LCR metar

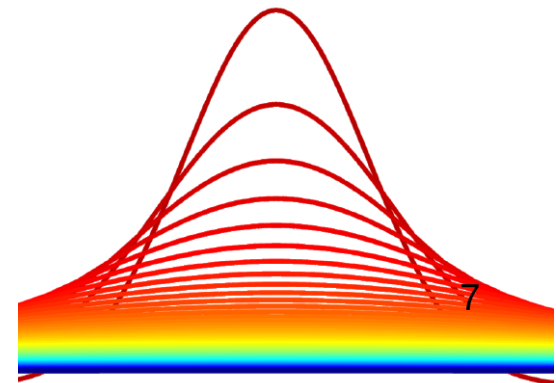
- Merenje neelektričnih veličina

- Princip rada senzora / pretvarača

- Merenje promene otpornosti

- Primeri sa rešenjima

- NTC termistor, PTC termistor,
 - Rezistivni senzor sile
 - Senzori zasnovani na promeni kapacitivnosti
 - Rezistivni ekran osetljiv na dodir
 - Kapacitivni ekrani osetljivi na dodir

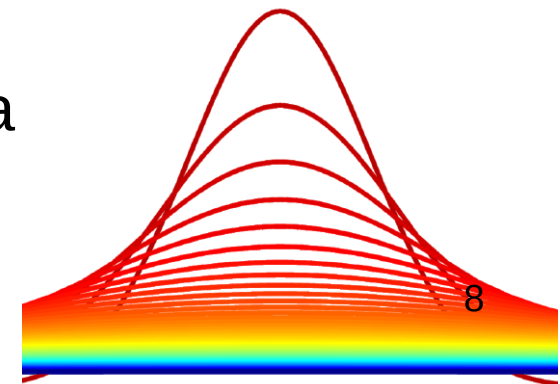


- Merni instrumenti zasnovani na primeni računara
 - Električni model
 - Primer određivanja električnog modela - PTC termistor
 - Kola za kondicioniranje signala
 - Pojačavači
 - Filtri
 - A / D konverzija signala
 - Obrada signala
 - Prenos podataka
 - Softver za akviziciju signala
 - Ready to run aplikacija
 - Programsko okruženje opšte namene
 - Virtuelni instrumenti i programska okruženja posebne namene
 - SCADA
- Trendovi u savremenim mernim sistemima
 - Merenja u dopunjenoj i pojačanoj realnosti

UDŽBENIK ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Metode i instrumentacija za
električna merenja

Nadica Miljković



Definicija merenja

- **Merenje je metoda** dodele kvantitativnih mernih jedinica određenoj veličini
- **Rezultat merenja** je kvantitativna **procena** merene veličine koja uključuje predstavljanje metode merenja i informaciju o validnosti rezultata merenja (mernoj nesigurnosti).
- Rezultat merenja je najbolja estimacija (procena) merene vrednosti, a može biti i njena aproksimacija

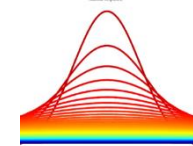
Osnovne merene veličine i jedinice

- Dužina (u metrima, m)
- Masa (u kilogramima, kg)
- Vreme (u sekundama, s)
- Električna struja (u Amperima, A)
- Temperatura (u Kelvinima, K)
- Jačina svetlosti (kandelama, cd)
- Količina materije (u molima, mol)



- ✓ litar L, da nije 1
- ✓ Paskal Pa
- ✓ ne italic
- ✓ nemaju . na kraju
- ✓ razmak razdvaja broj i simbol

Izvedene jedinice, preko osnovnih jedinica

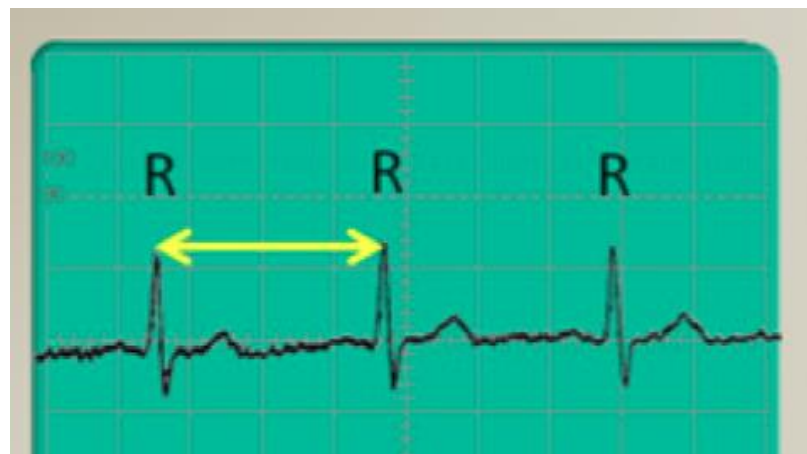


Prefiksi

- deci – d
- centi – c
- mili – m
- mikro – μ
- nano – n
- piko – p
- femto – f
- ato – a
- zepto – z
- jokto - y
- deka – da
- hekto – h
- kilo – k
- mega – M
- giga – G
- tera – T
- peta – P
- ekса – E
- zeta – Z
- jota - Y

Rezultat merenja

- pored **kvantitativne procene**, potrebno je da postoji podatak
 - o **pouzdanosti korišćene merne metode**
 - **opis** primenjene merne metode
- Da li merenje zahteva relativno veliku tačnost i preciznost?
- Da li je potrebno je primeniti kompleksniju ili jednostavniju proceduru?

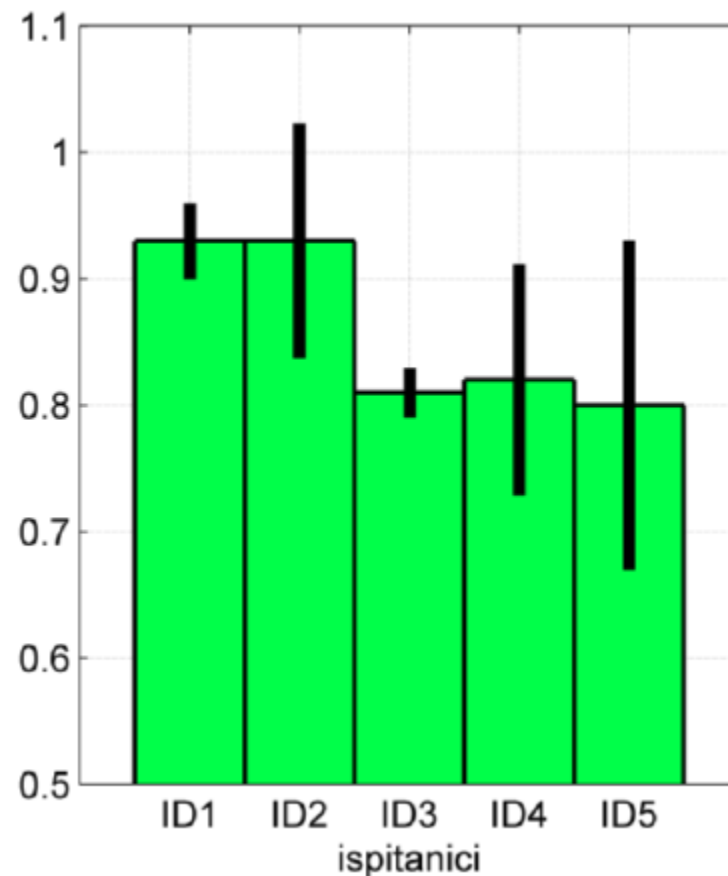
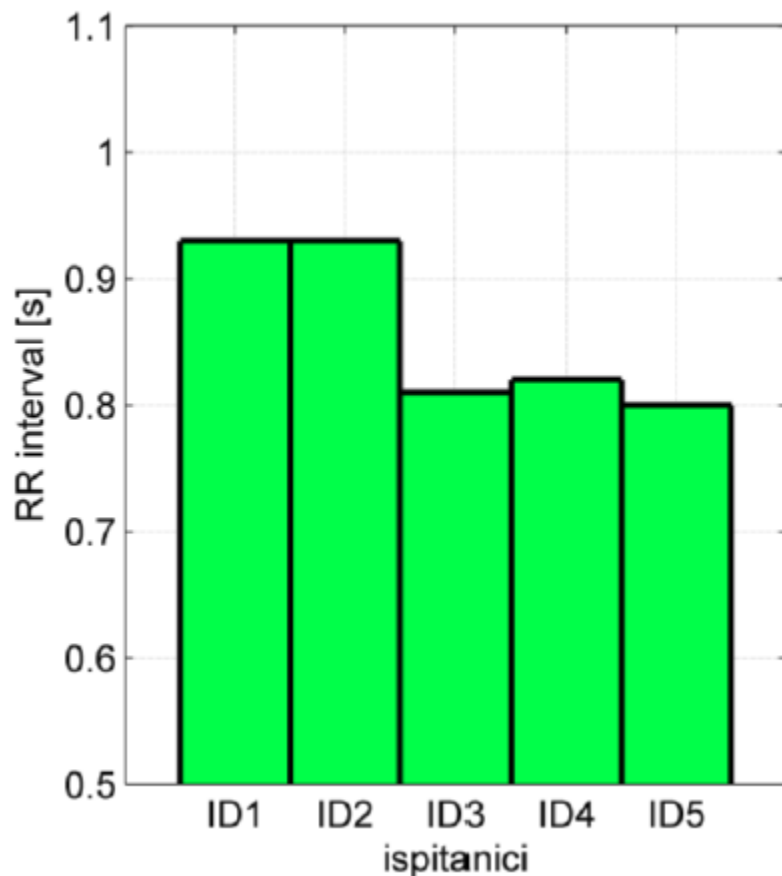


Kada vrednosti merenja nisu iste

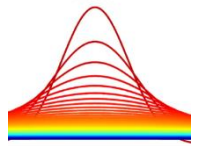
- Odnos signal / šum
- Pomeranje elektroda
- Nestabilan offset potencijal elektroda
- Metoda detekcije R intervala i druge
- ...
- fiziološki faktori koje nije moguće jednoznačno odrediti



Ponovljena merenja



srednja vrednost, slučajno raspodeljene vrednosti

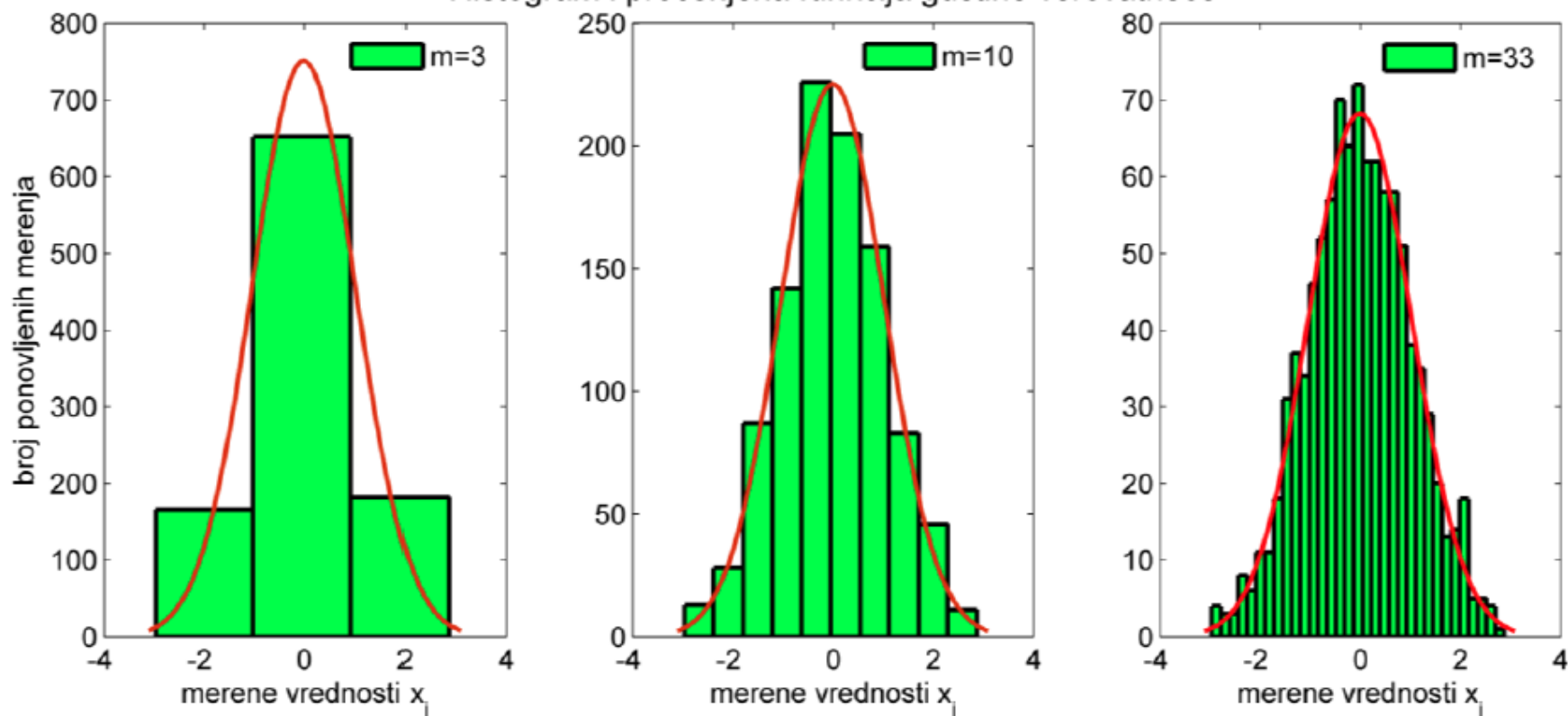


Merna nesigurnost

- daje informaciju o rasipanju (raspodeli) rezultata merenja oko srednje vrednosti
- Merenje vremena je na primer 0.83 ± 0.01 s

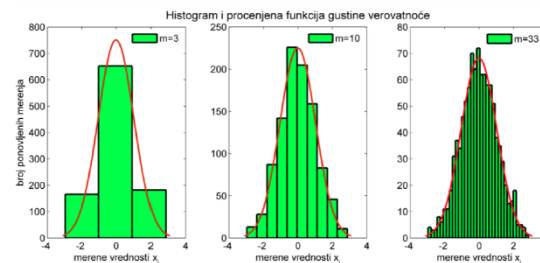
Histogram

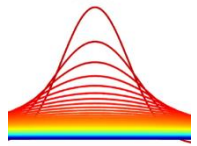
Histogram i procenjena funkcija gustine verovatnoće



Histogram

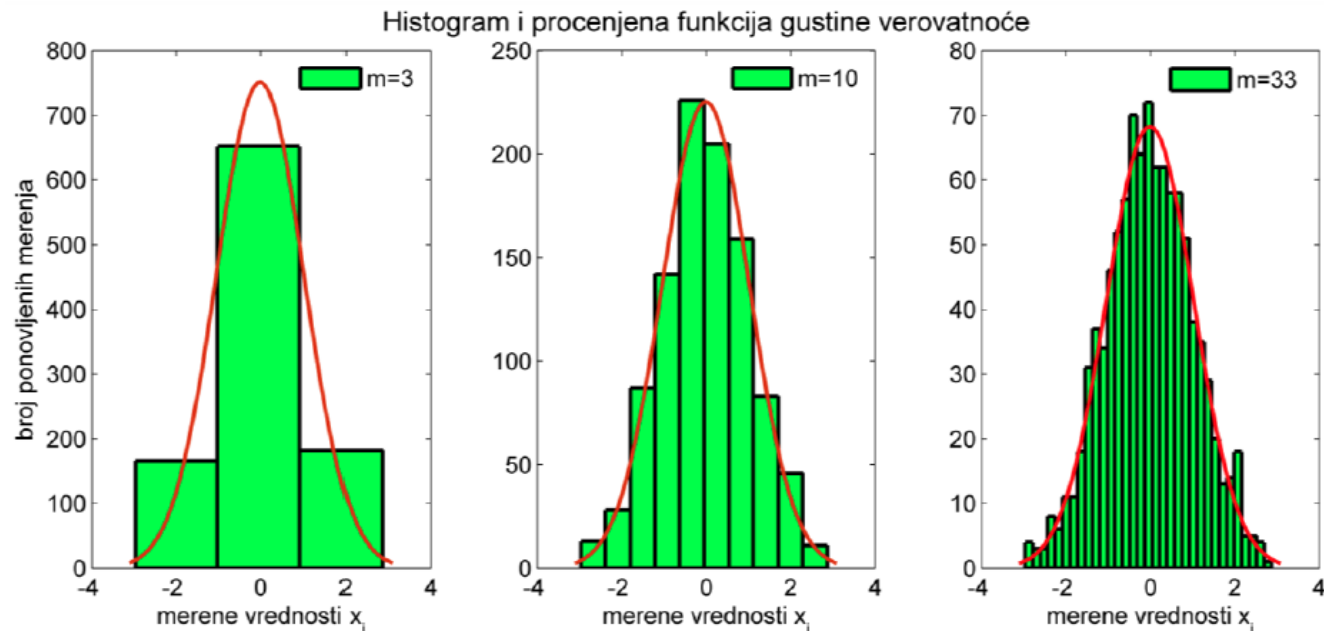
- Na ordinati (y osi), nalazi se broj merenja, na apscisi (x osi) se nalaze merene vrednosti
- Analizom histograma utvrđuje se koja je vrednost “najčešće” merena
- vrednost je najverovatnije (sa najvećom verovatnoćom) vrednost najbliža tačnoj vrednosti
- jednaka srednjoj vrednosti kao u prethodnom primeru
- Eksperimentalno, manje slučajne greške javljaju se češće od većih, odnosno postoji grupisanje merenih rezultata oko tačne vrednosti



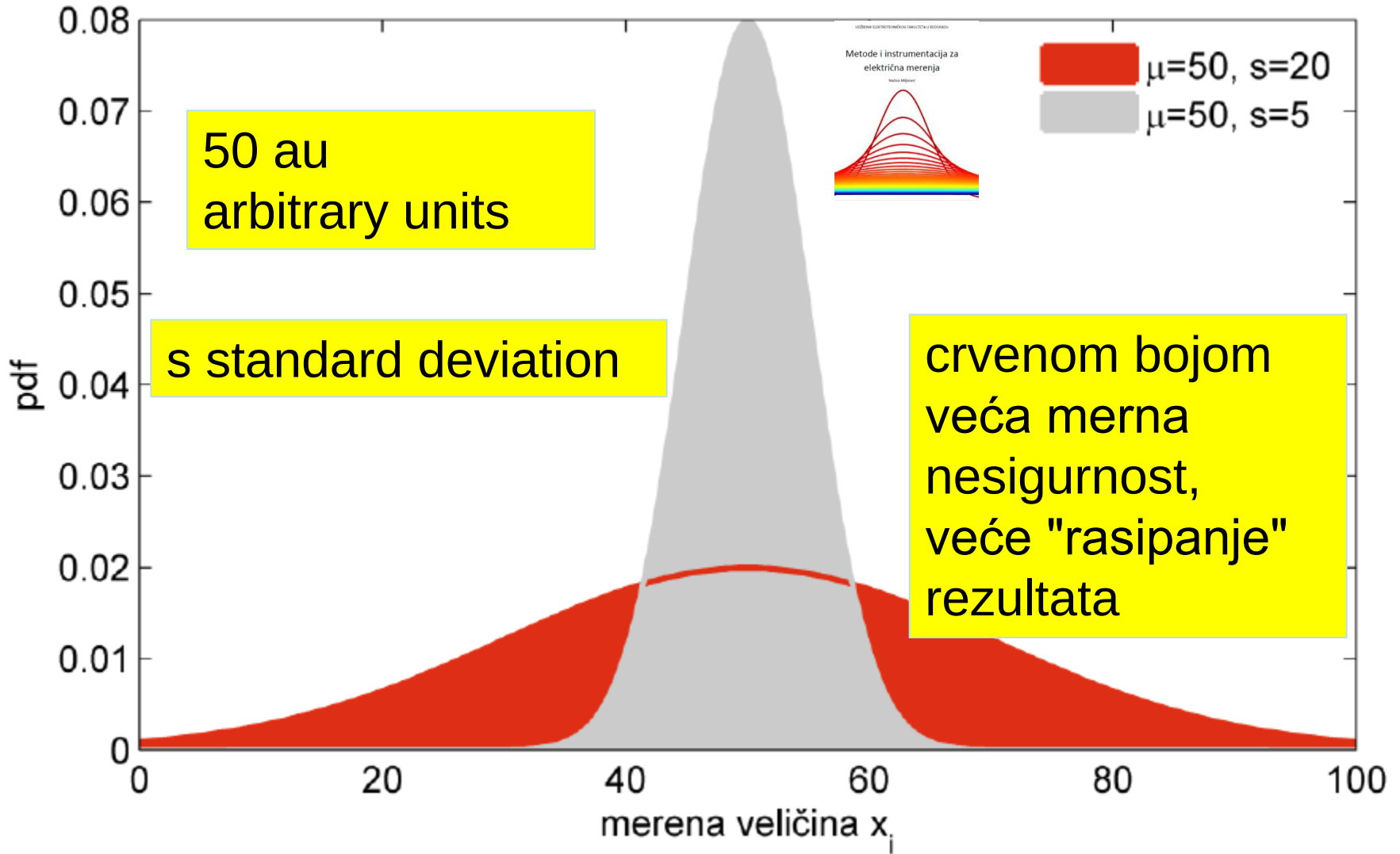


Funkcija gustine verovatnoće

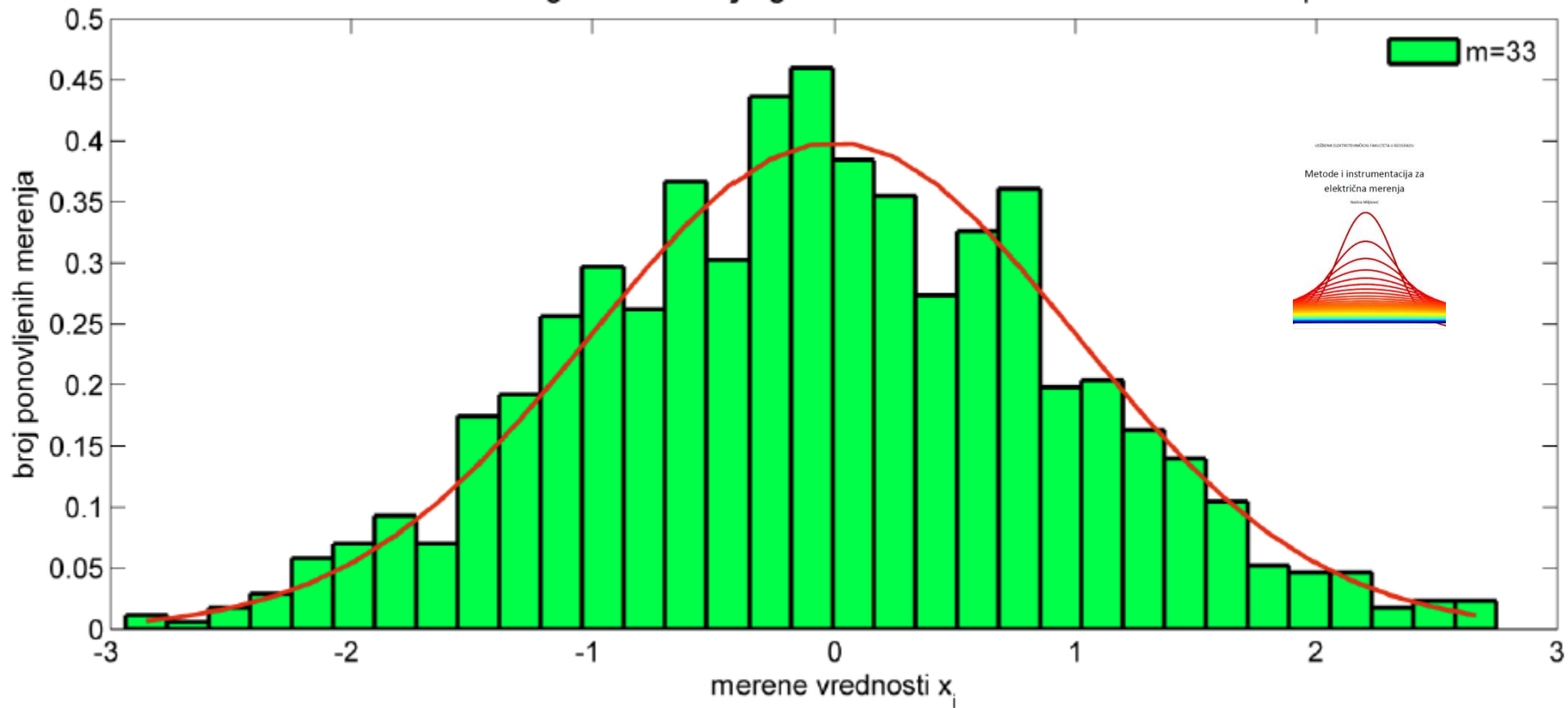
- opisuje raspodelu merenih vrednosti oko srednje vrednosti
- U primeru na sva tri histograma je prikazano merenje koje kao rezultat daje istu srednju vrednost, a prikaz merenja razlikuje se po broju intervala

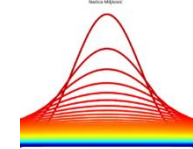


Gausova funkcija gustine verovatnoće



Normalizovani histogram





Preporuke

Najvažniji element prilikom predstavljanja rezultata merenja pomoću histograma je definisanje broja intervala merenja m za broj ponovljenih merenja n . Generalno, važi preporuka da je za opseg merenih vrednosti $[x_{min} \ x_{max}]$ poželjno odabrati broj intervala merenja kao $m \approx \sqrt{n} + 1$. Za relativno malo m ,

Ako se sa n_i označi broj ishoda u intervalu opsega i , tada važi:

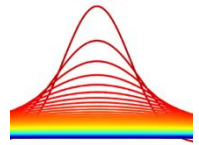
$$\sum_{i=1}^m n_i = n$$

Broj ishoda u intervalu n_i se naziva učestanost intervala. Ako se sa p_i označi relativan broj ishoda u intervalu opsega i , tada važi:

$$\sum_{i=1}^m p_i = 1$$

Relacija 2

$$p_i = \frac{n_i}{n}$$



Preporuke

Ukoliko su rezultati prikazani u formi normalizovanog histograma i ako je sa x_i označena sredina intervala i , srednja vrednost se može proceniti i kao:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^m x_i p_i$$

Relacija 3

Definicija slučajnog signala

- **Merenjem se određuje aproksimacija nekog signala, parametar procesa**
- **Deterministički signal** je signal koji je na jedinstven način određen dobro definisanim procesom (može se opisati matematičkim relacijama, tabelama, pravilima)
- **Slučajni signal** je signal čije se vrednosti ne mogu unapred predvideti
- Slučajni signal $\{\xi[n]\}$ se može posmatrati kao jedna moguća realizacija slučajnog procesa opisuje se korišćenjem **statističkih principa**

Diskretni slučajni proces

Neka se vrše merenja u diskretnim vremenskim trenucima $t=nT$ na različitim mestima ψ tada se izmerene vrednosti ξ mogu predstaviti kao funkcija $\xi[n, \psi]$. Skup slučajnih funkcija se naziva **slučajni proces** i on može predstavljati

1. **ansambl** ako su n i ψ promenljive
2. **član ansambla** ako je n promenljiva a ψ konstanta
3. **slučajno promenljiva** ako je n konstanta a ψ promenljiva
4. **broj** ako su n i ψ konstante

Osobine slučajnog signala

- **Kumulativna funkcija raspodele** signala $\{\xi[n]\}$ pokazuje sa kojom je verovatnoćom vrednost signala $\xi[n]$ u funkciji indeksa n manja ili jednaka nekoj vrednosti x
- $P(x, n) = \text{Probability}(\xi[n] \leq x)$
- **Funkcija gustine verovatnoće** definiše se kao izvod kumulativne funkcije raspodele

$$p(x, n) = \frac{dP(x, n)}{dx}$$

$$P(x, n) = \int_{-\infty}^x p(u, n) du$$

x i $\xi[n]$ mogu da imaju bilo koju vrednost iz opsega

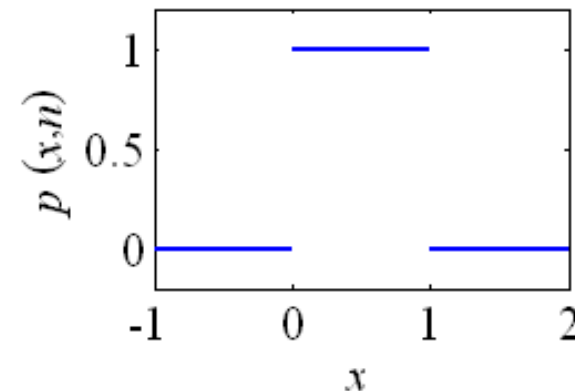
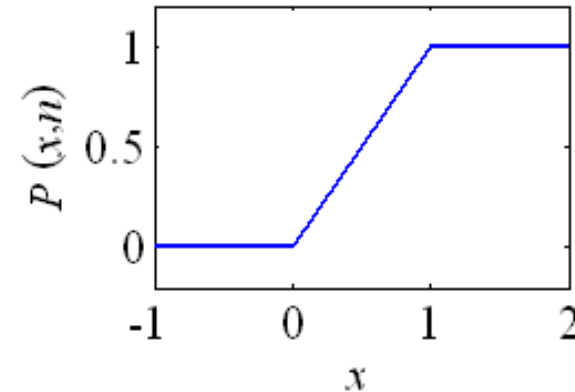
$$-\infty < x < +\infty$$

$$-\infty < \xi[n] < +\infty$$

Primer slučajnog signala

$$P(x, n) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 1, & x > 1 \end{cases}$$

$$p(x, n) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & x > 1 \end{cases}$$



- Kumulativna funkcija raspodele je linearno rastuća

- Funkcija gustine verovatnoće je konstantna u opsegu $0 \leq x \leq 1$

Važnije osobine

pdf (probability density function)
= **funkcija gustine verovatnoće**

$$p(x, n) \geq 0, \quad \text{za svako } x$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(u, n) du = 1$$

cdf (cumulative distribution function)
= **kumulativna funkcija raspodele**
je monotonu neopadajuća funkcija

$$0 \leq P(x, n) \leq 1, \quad -\infty \leq x \leq \infty$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} P(x, n) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} P(x, n) = 1$$

Srednja vrednost slučajnog procesa

Srednja vrednost slučajnog signala

$$E(\xi[n]) = \int_{-\infty}^{\infty} x p(x, n) dx$$

Srednja kvadratna vrednost slučajnog signala

$$E(\xi^2[n]) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x, n) dx$$

$E(.)$ je očekivana vrednost

Varijansa slučajnog procesa

$$\sigma_{\xi}^2 = E(\xi^2[n]) - E^2(\xi[n])$$

srednja kvadratna vrednost

kvadrat srednje vrednosti

- **Varijansa** slučajnog signala σ^2
- **Standardna devijacija** slučajnog signala σ

Statističke karakteristike II reda

Združena raspodela verovatnoće

$$P(x, y, n, m) = \text{Probability}(\xi[n] \leq x, \zeta[m] \leq y)$$

Združena gustina verovatnoće

$$p(x, y, n, m) = \frac{\partial^2 P(x, y, n, m)}{\partial x \partial y}$$

Korelacione funkcije

Autokorelaciona funkcija slučajnog procesa

$$r_{\xi\xi}(n, m) = E(\xi[n] \xi[m]) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} xy \, p(x, y, n, m) \, dx \, dy$$

Međukorelacija - kroskorelacija

$$r_{\xi\zeta}(n, m) = E(\xi[n] \zeta[m]) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} xy \, p(x, y, n, m) \, dx \, dy$$

$E(.)$ je očekivana vrednost

Kovarijansa

Autokovarijansa slučajnog procesa

autokorelacija

srednja vrednost

$$\gamma_{\xi\xi}(n, m) = r_{\xi\xi}(n, m) - E(\xi[n]) E(\xi[m])$$

Kroskovarijansa dva slučajna procesa

$$\gamma_{\xi\zeta}(n, m) = r_{\xi\zeta}(n, m) - E(\xi[n]) E(\zeta[m])$$

kroskorelacija

TM 2018

Korelisanost dva procesa

Dva slučajna procesa su statistički nezavisna

$$p_{\xi\xi}(x, y, n, m) = p_{\xi}(x, n) p_{\xi}(y, m)$$

združena gustina verovatnoće

Dva slučajna procesa su nekorelisana

$$r_{\xi\xi}(n, m) = E(\xi[n]) E(\zeta[m])$$

kroskorelacija

TM 2018

srednja vrednost

Stacionarnost slučajnog procesa

- Slučajni proces je **striktno stacionaran** ako
 $\xi[n]$ i $\xi[n+k]$ imaju iste statističke osobine za bilo koje k
Statističke karakteristike I reda su vremenski nezavisne
Statističke karakteristike II reda zavise samo od k
- Slučajni proces je **stacionaran u širem smislu**
ako je srednja vrednost konstantna
a autokorelaciona funkcija zavisi samo od k

$$E(\xi[n]) = \text{const}$$

$$r_{\xi\xi}(n, n+k) = r_{\xi\xi}(k)$$

Ergodičnost

- Slučajni proces koji se predstavlja skupom slučajnih funkcija $\xi[n, \psi]$, za konstantnu vrednost ψ , naziva se **član ansambla**
- Neka je član ansambla predstavljen nizom $\{\xi[n]\}$; ako su statističke osobine jednog predstavnika ansambla **iste** kao i za ceo ansambl, kaže se da je **slučajni proces ergodičan**

Ergodični slučajni procesi

Srednja vrednost (po vremenu)

$$\overline{\xi[n]} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N \xi[n]$$

$$\overline{\xi[n, \psi]} = \overline{\xi[n]}$$

Autokorelaciona funkcija

$$\overline{\xi[n] \xi[n+k]} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N \xi[n] \xi[n+k] = r_{\xi\xi}(k)$$

Koncept snage slučajnog signala

Snaga pridružena slučajnom signalu $\{\xi[n]\}$

$$P = E \left(\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |\xi[n]|^2 \right)$$

- U većini praktičnih slučajeva, operacija izračunavanja očekivane vrednosti i sume mogu da zamene mesta

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} E \left(\sum_{n=-N}^N |\xi[n]|^2 \right) = E \left(|\xi[n]|^2 \right)$$

Snaga stacionarnog slučajnog signala

Snaga stacionarnog slučajnog signala
u širem smislu $\{\xi[n]\}$

$$P = E\left(|\xi[n]|^2\right)$$

- **Srednja snaga** stacionarnog slučajnog signala je jednaka zbiru varijanse i kvadrata srednje vrednosti

$$P = \sigma^2 + m^2$$

Slučajni signali konačne dužine

Procena statističkih osobina slučajnog procesa iz segmenta signala konačne dužine $\{\xi[n]\}$

$$\hat{m} = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N \xi[n]$$

srednja vrednost

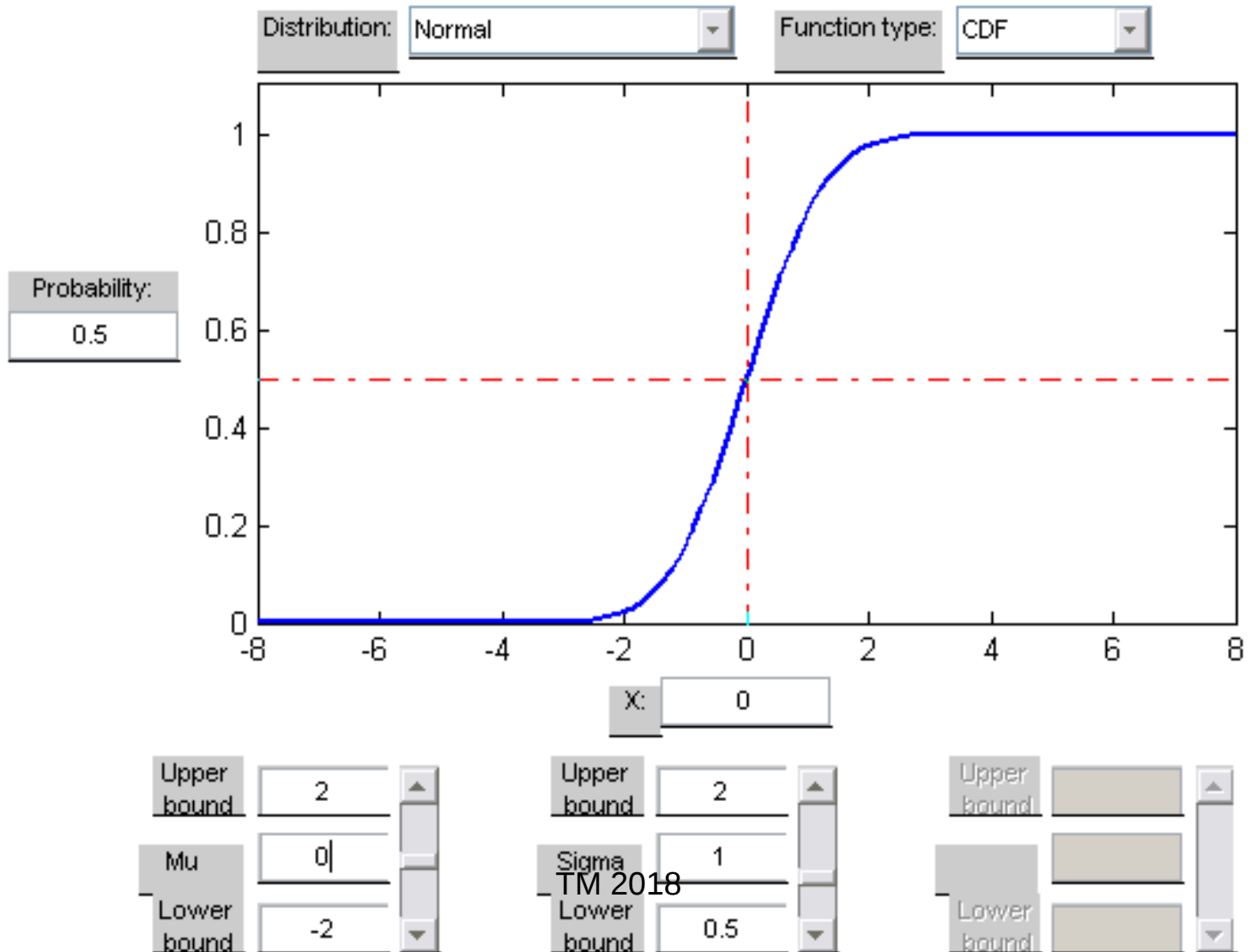
$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N (\xi[n] - \hat{m})^2$$

varijansa

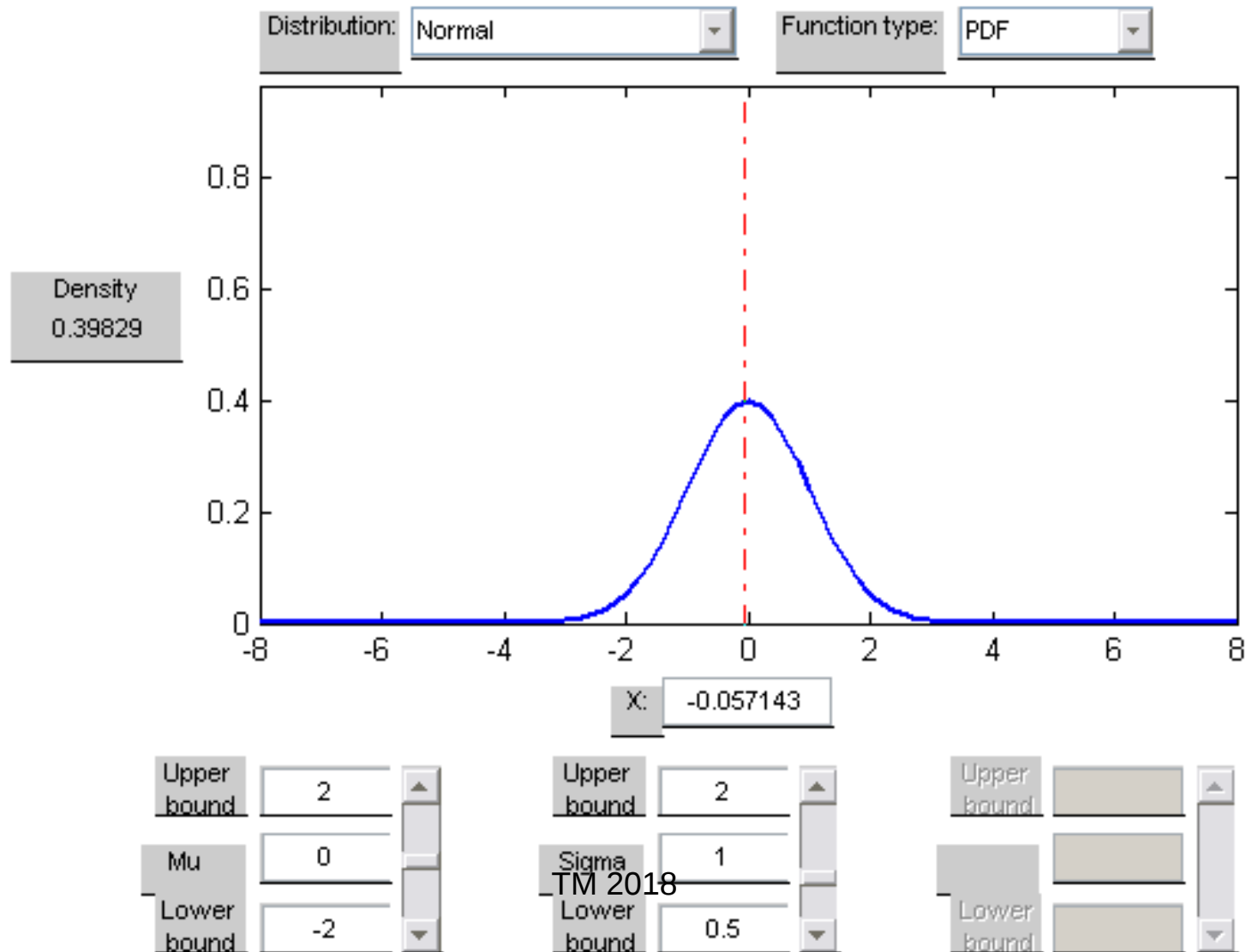
autokovarijansa

$$\hat{\gamma}[l] = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N (\xi[n] - \hat{m})(\xi[n+l] - \hat{m})$$

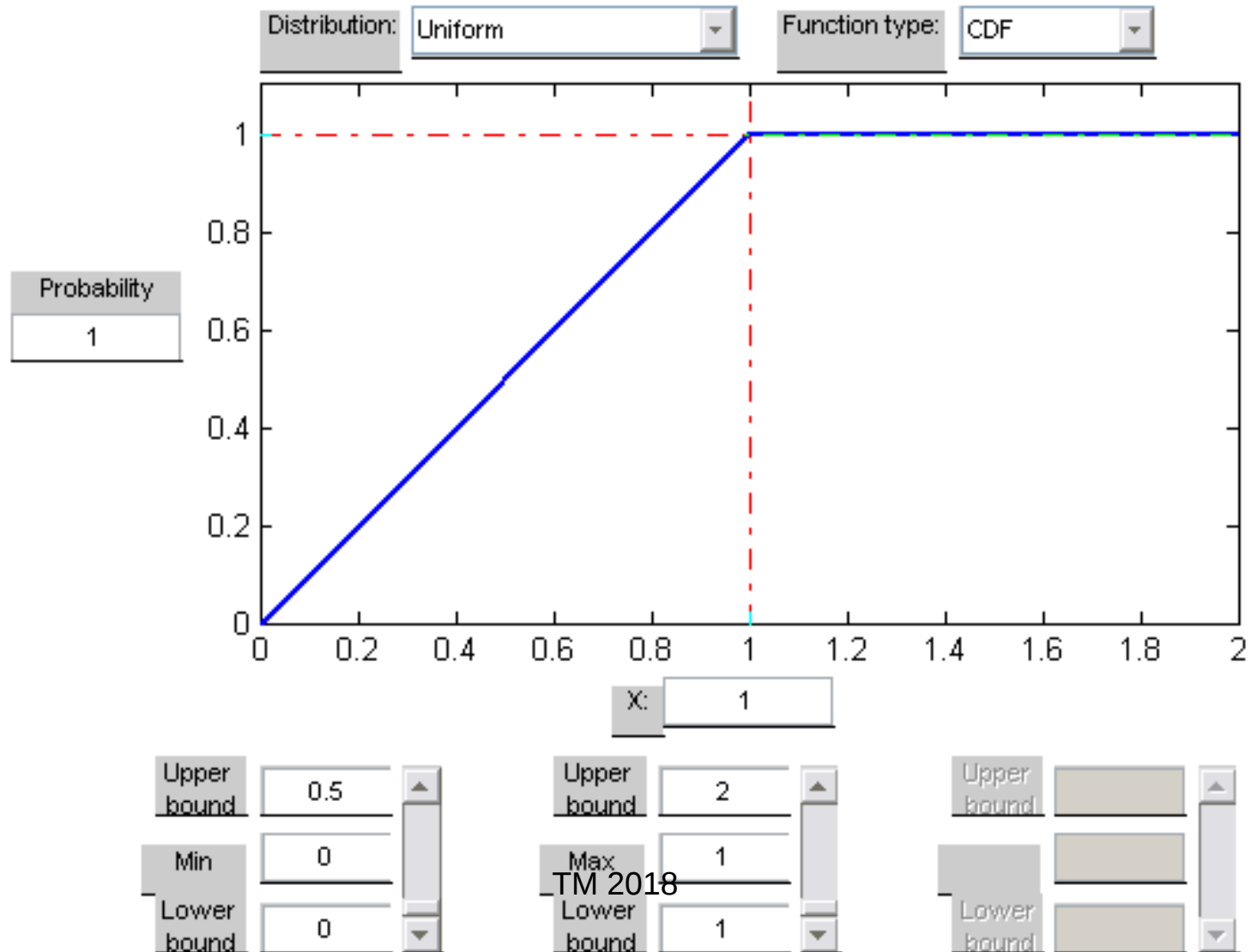
Normalna CDF



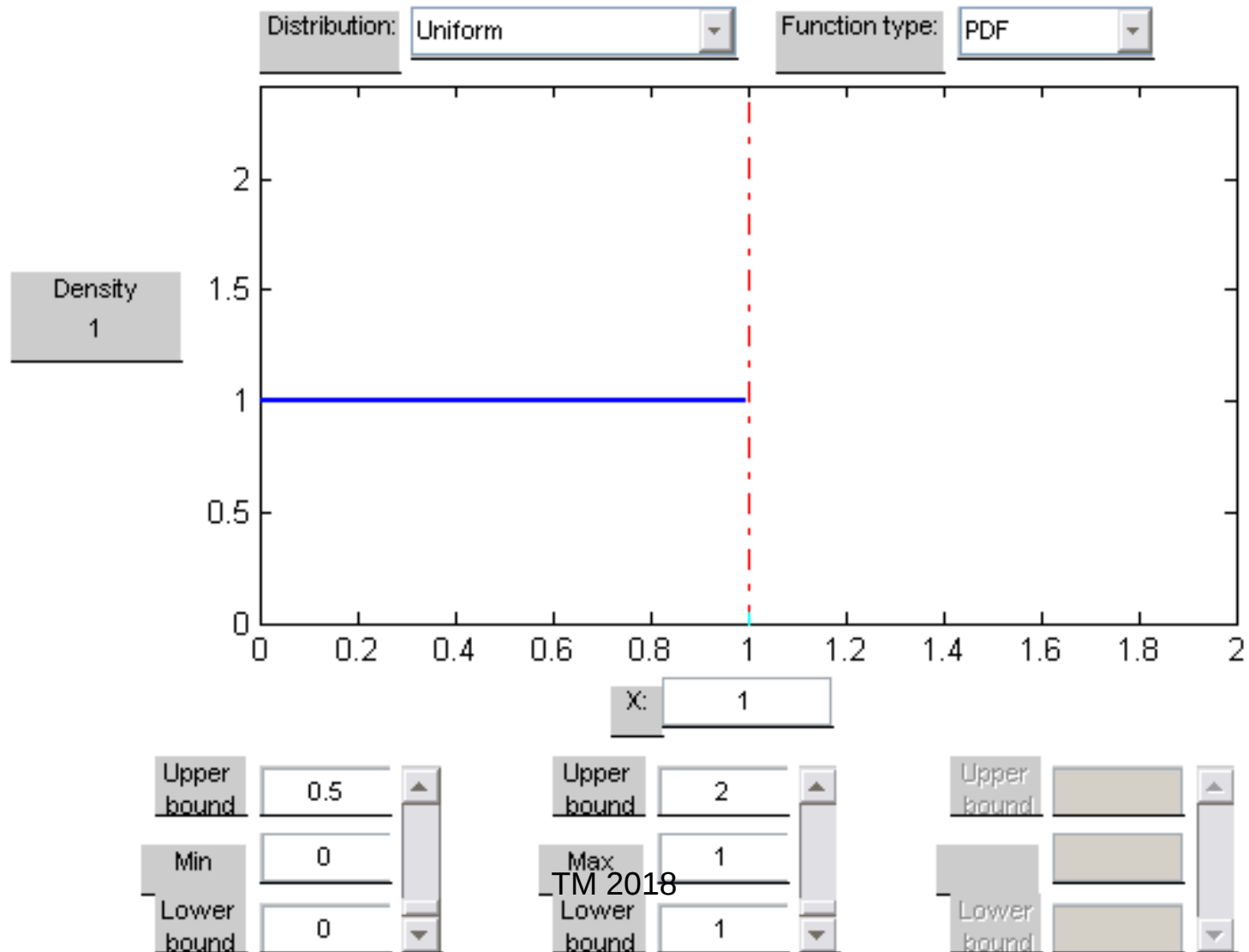
Normalna PDF



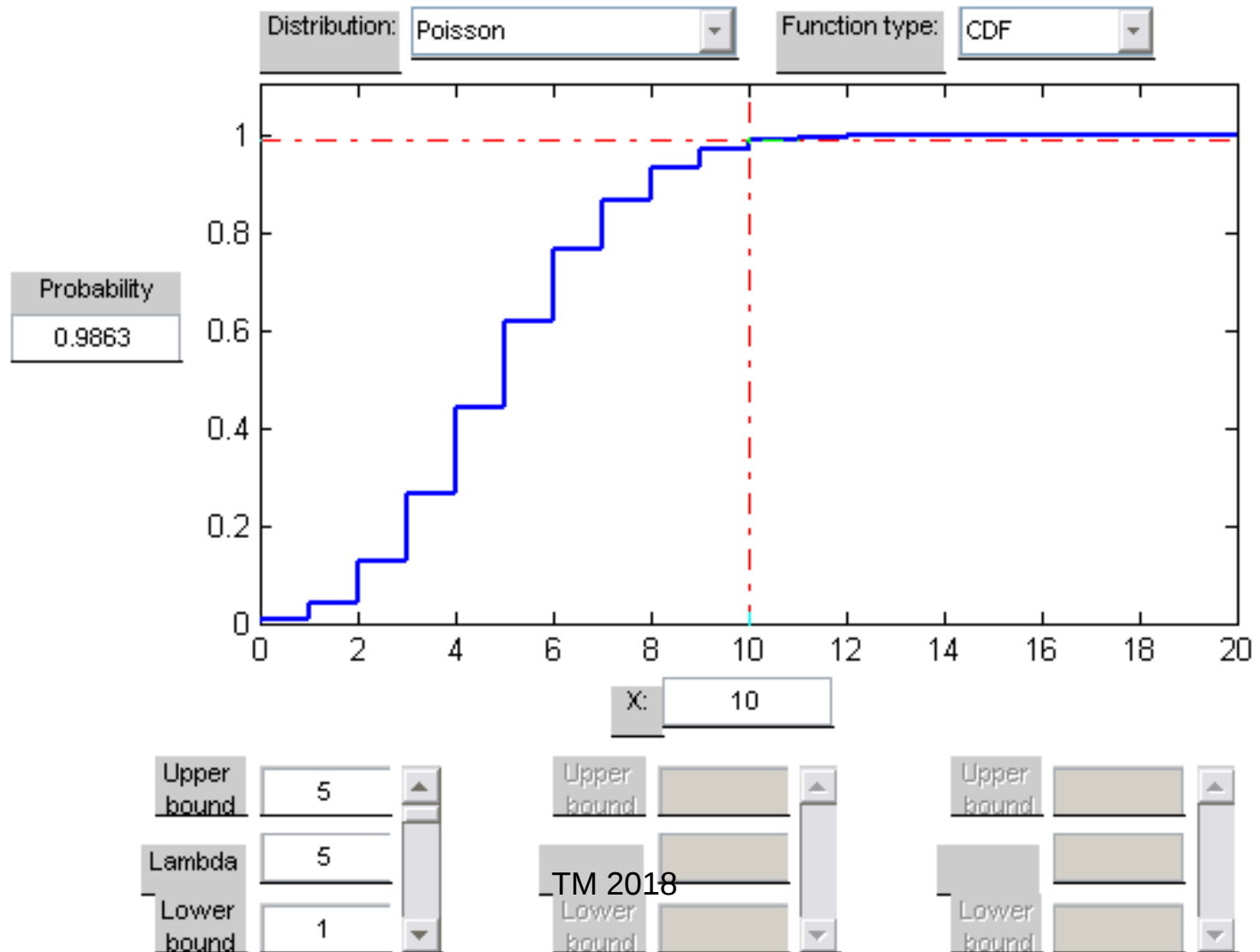
Uniform CDF



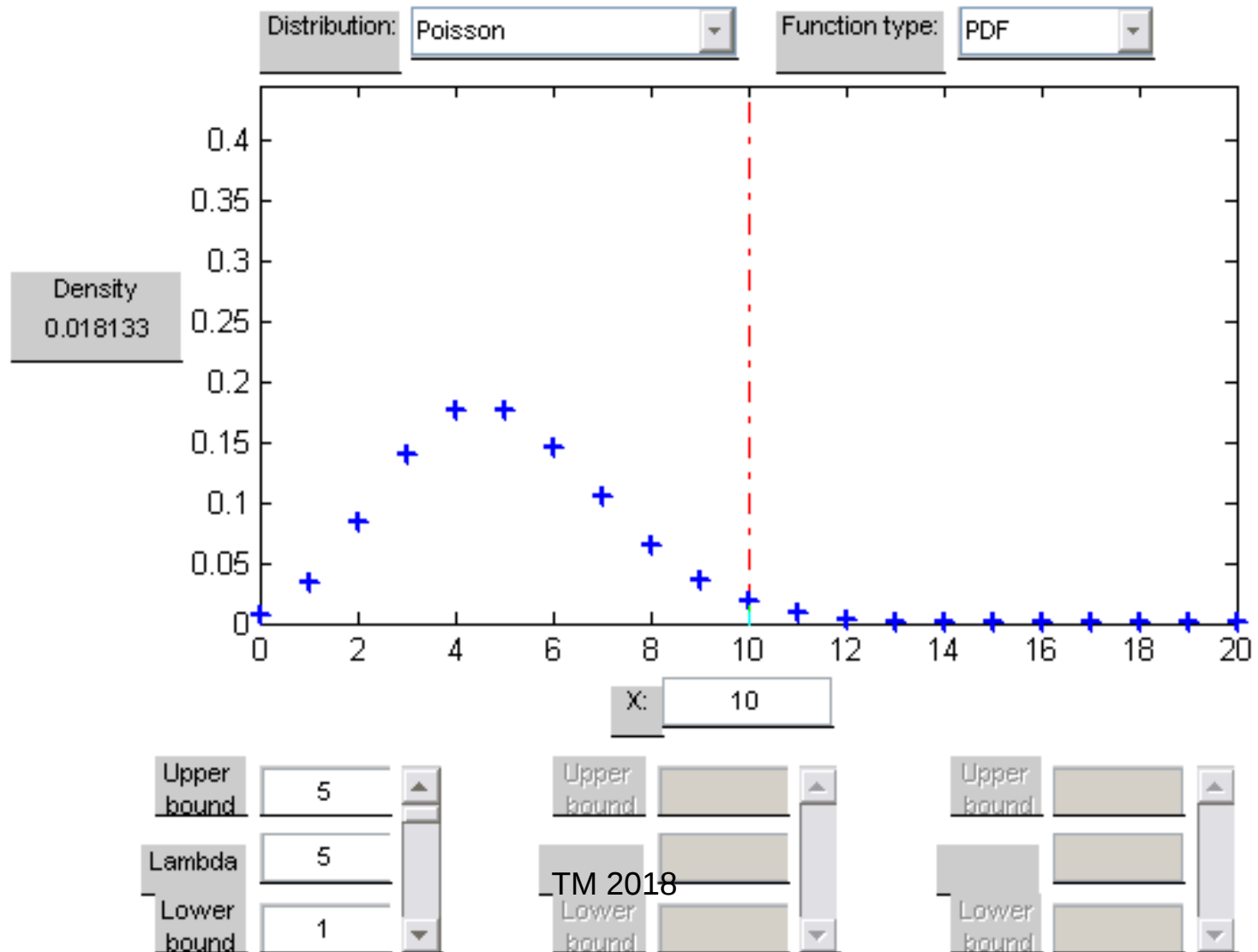
Uniformna PDF



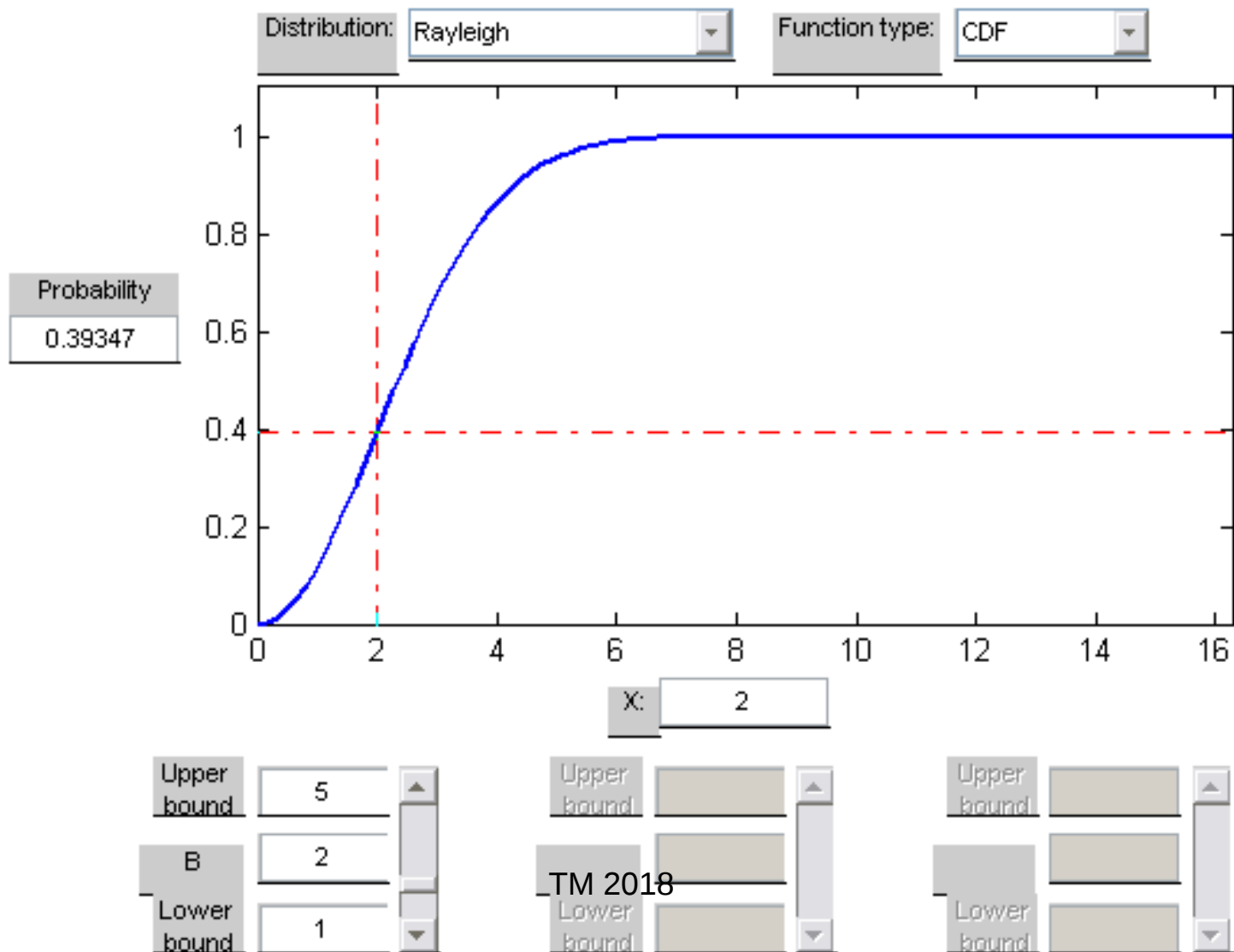
Poisson CDF



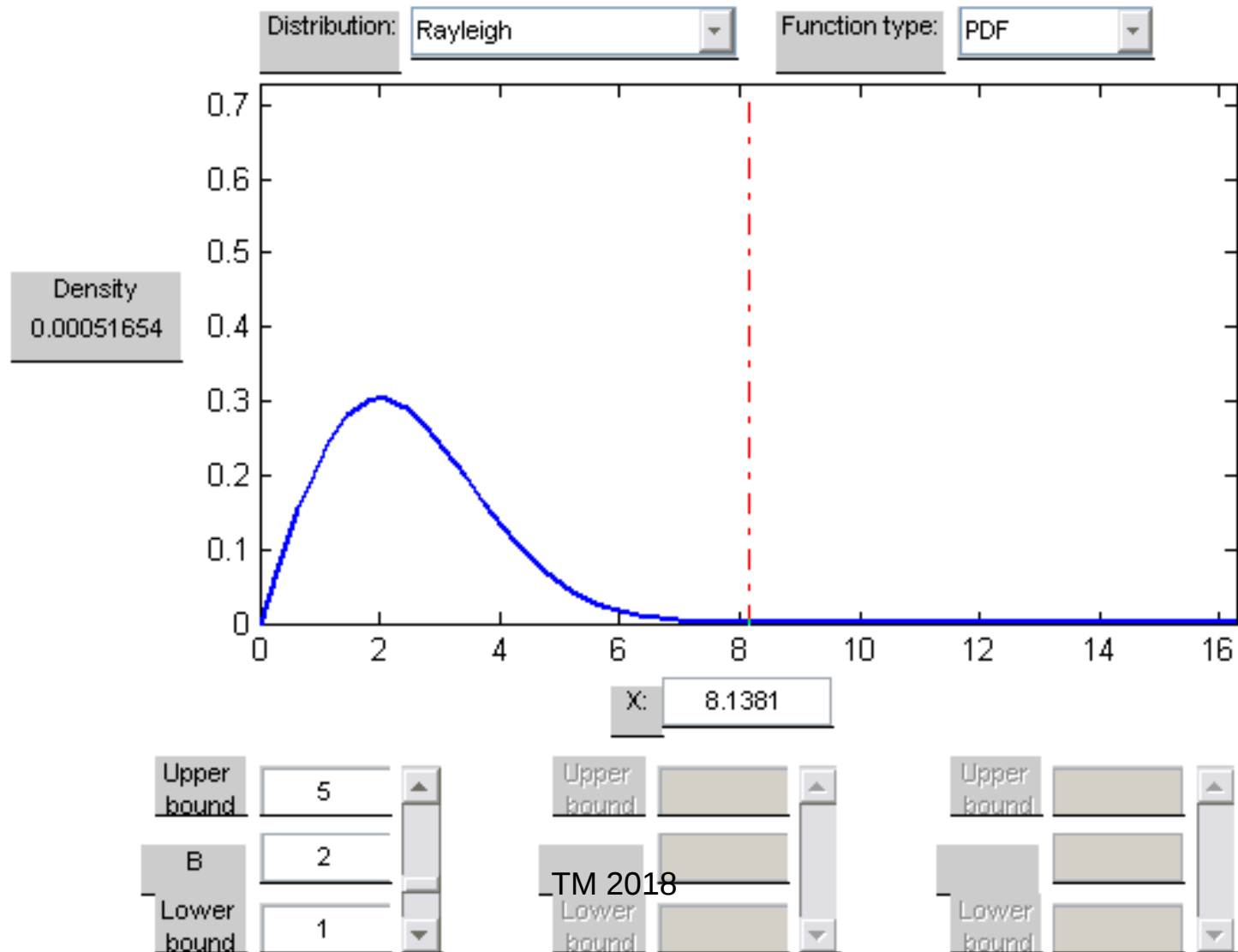
Poisson PDF



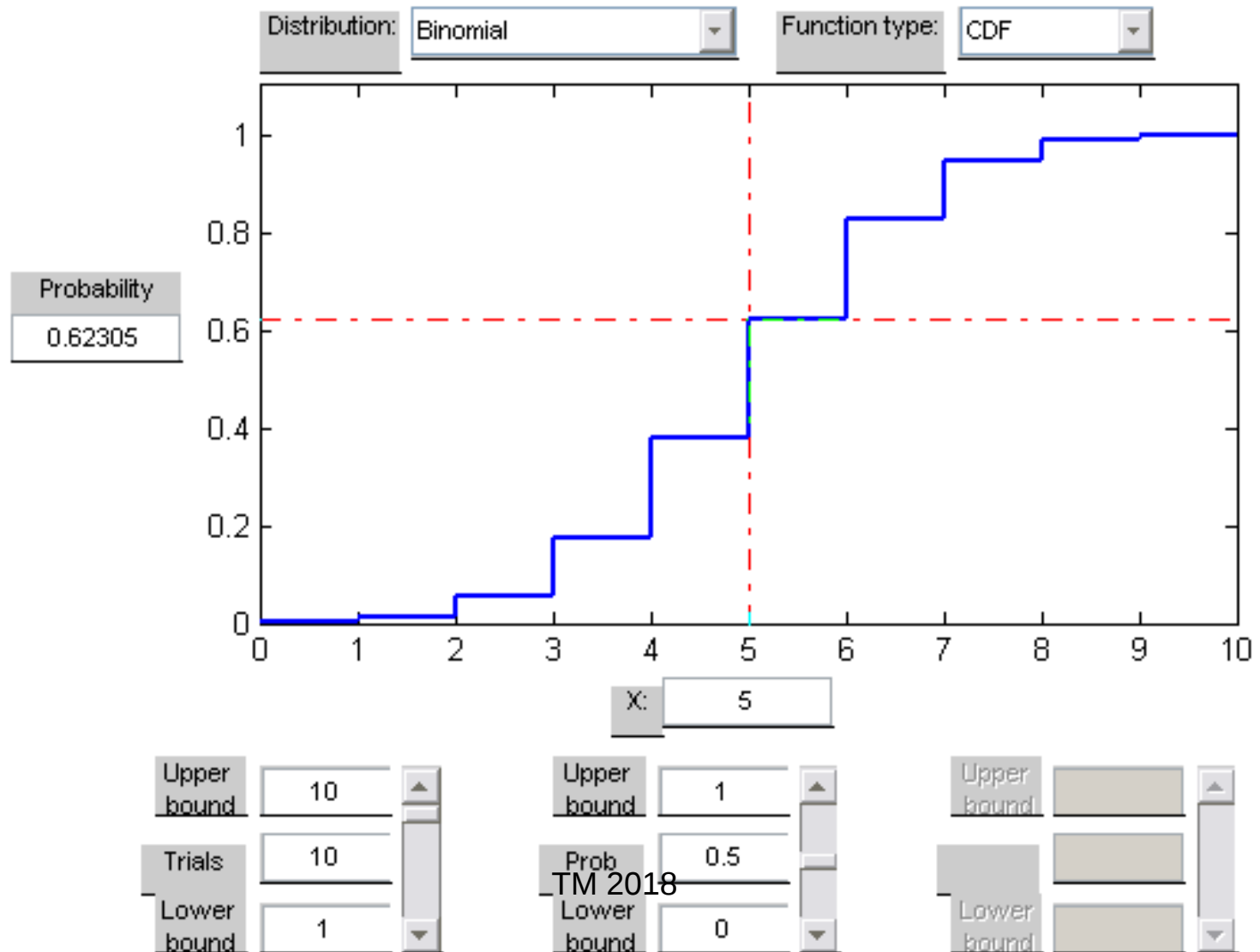
Rayleigh CDF



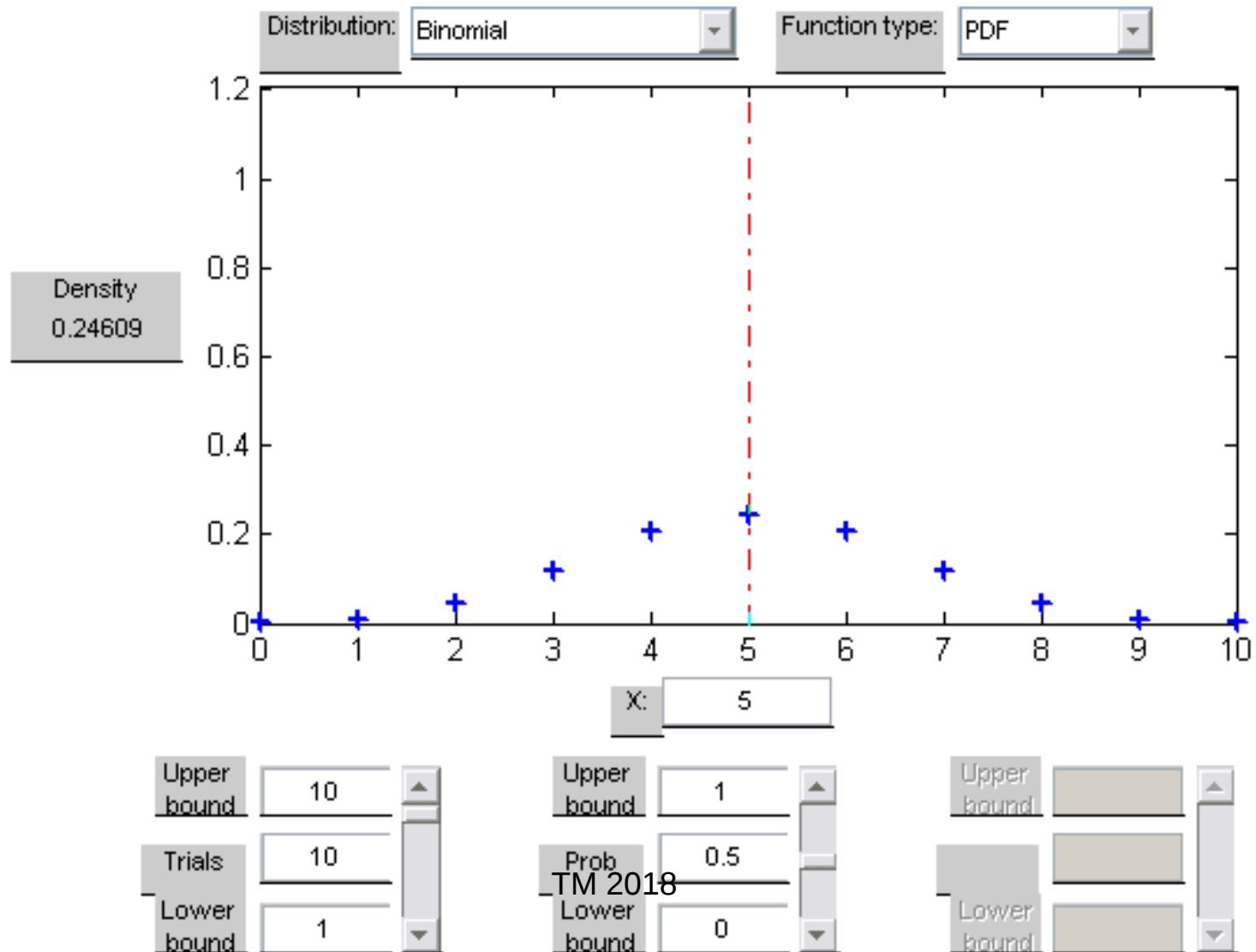
Rayleigh PDF



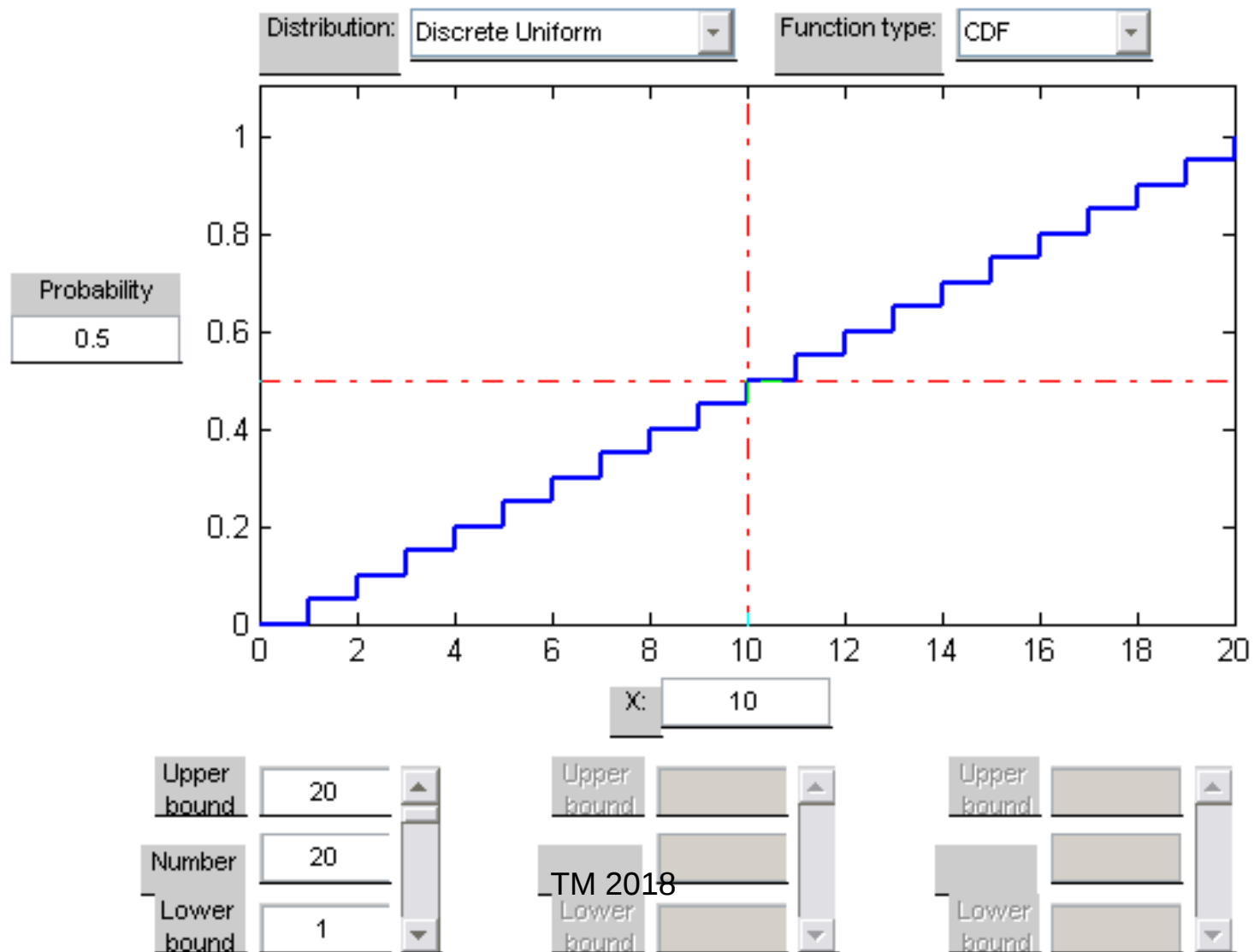
Binomial CDF



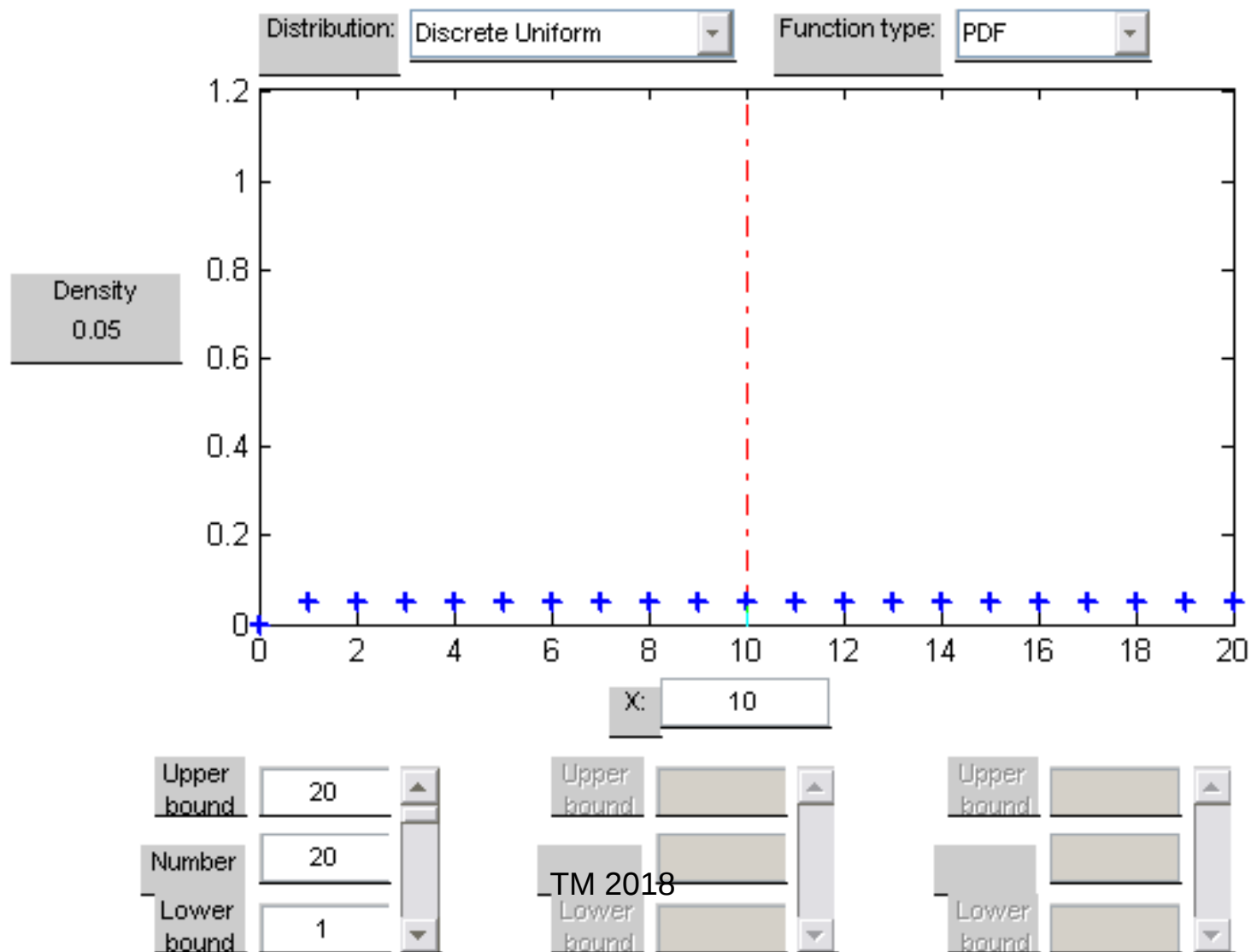
Binomial PDF



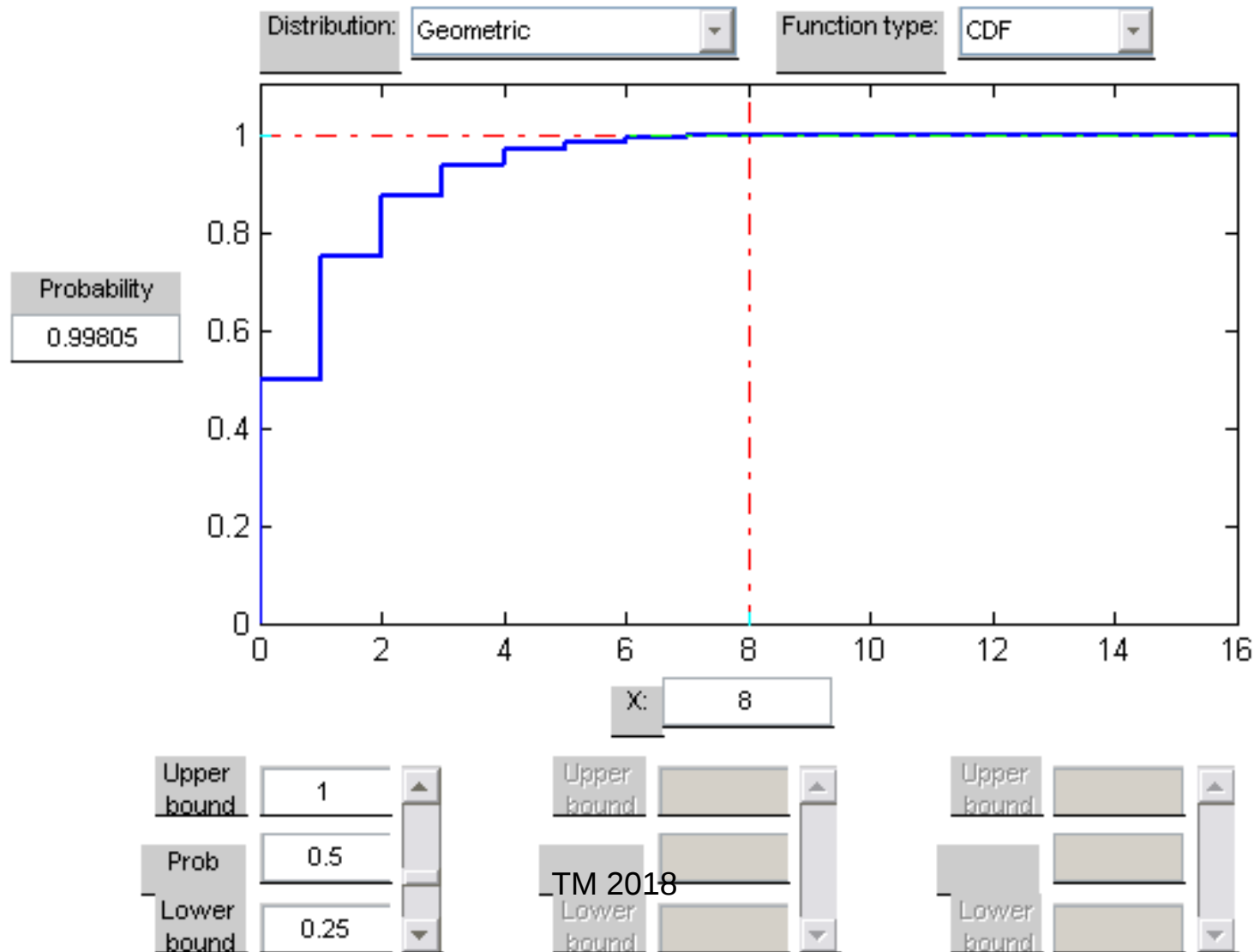
Diskretna uniformna CDF



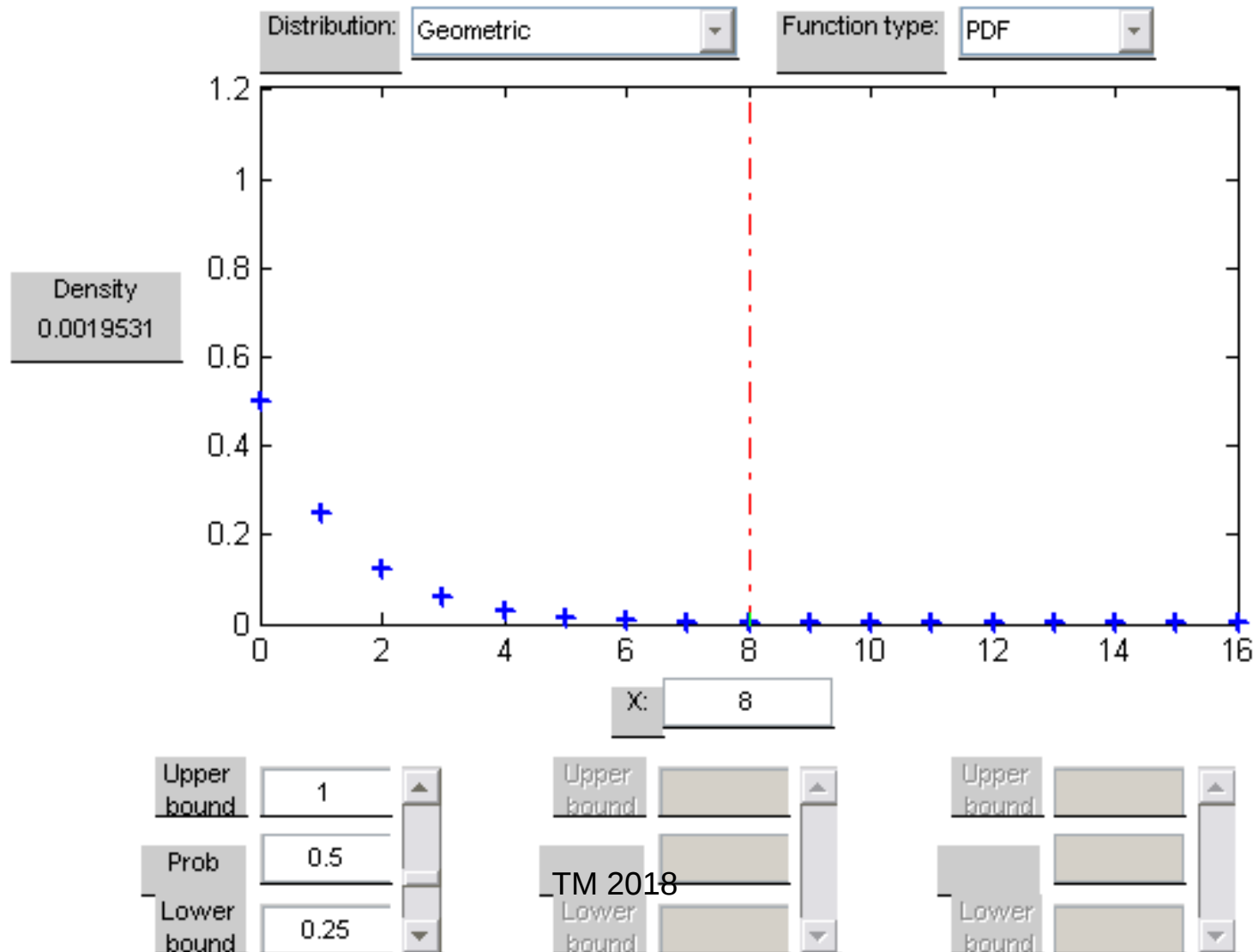
Diskretna uniformna PDF



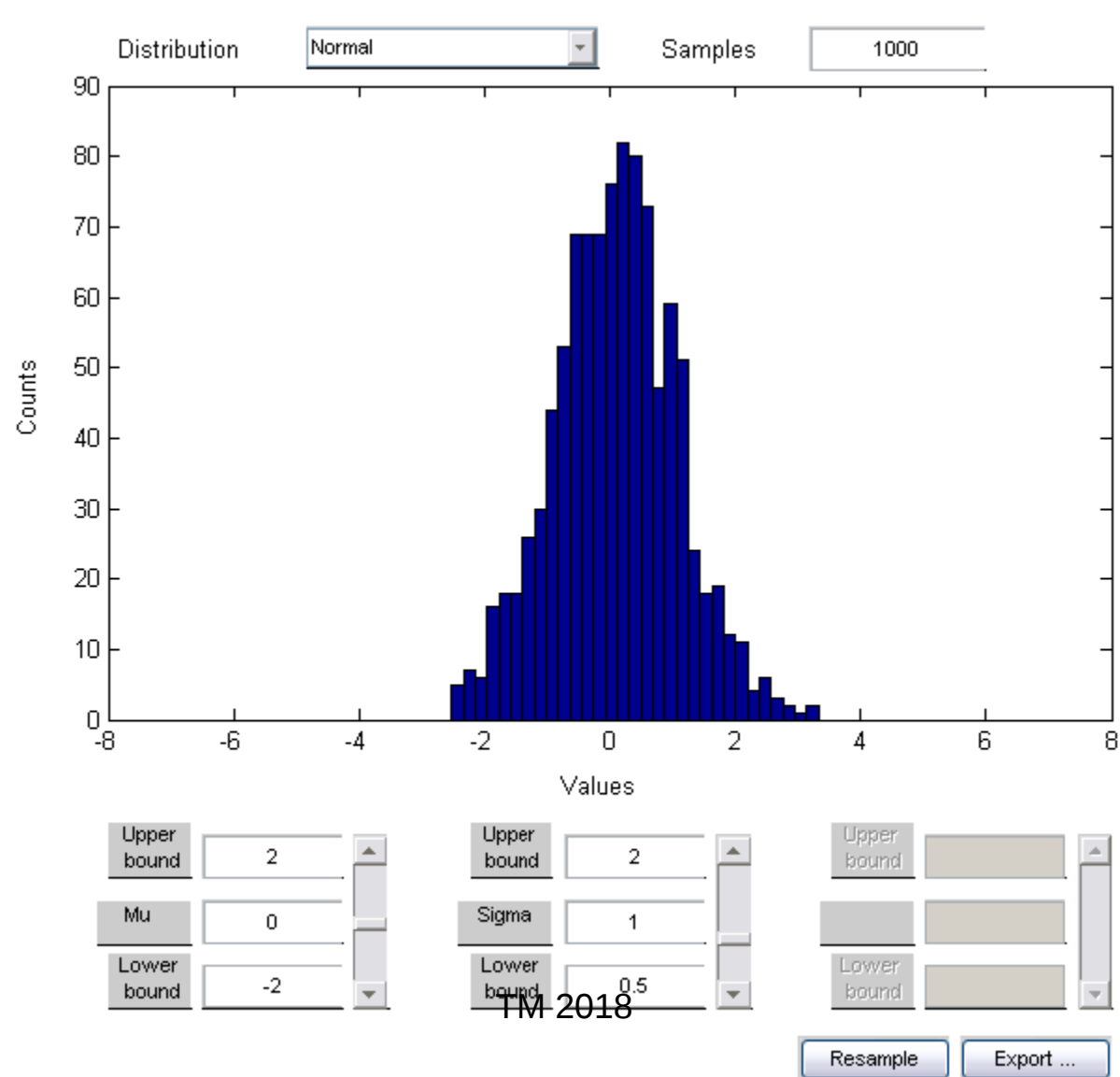
Geometric CDF



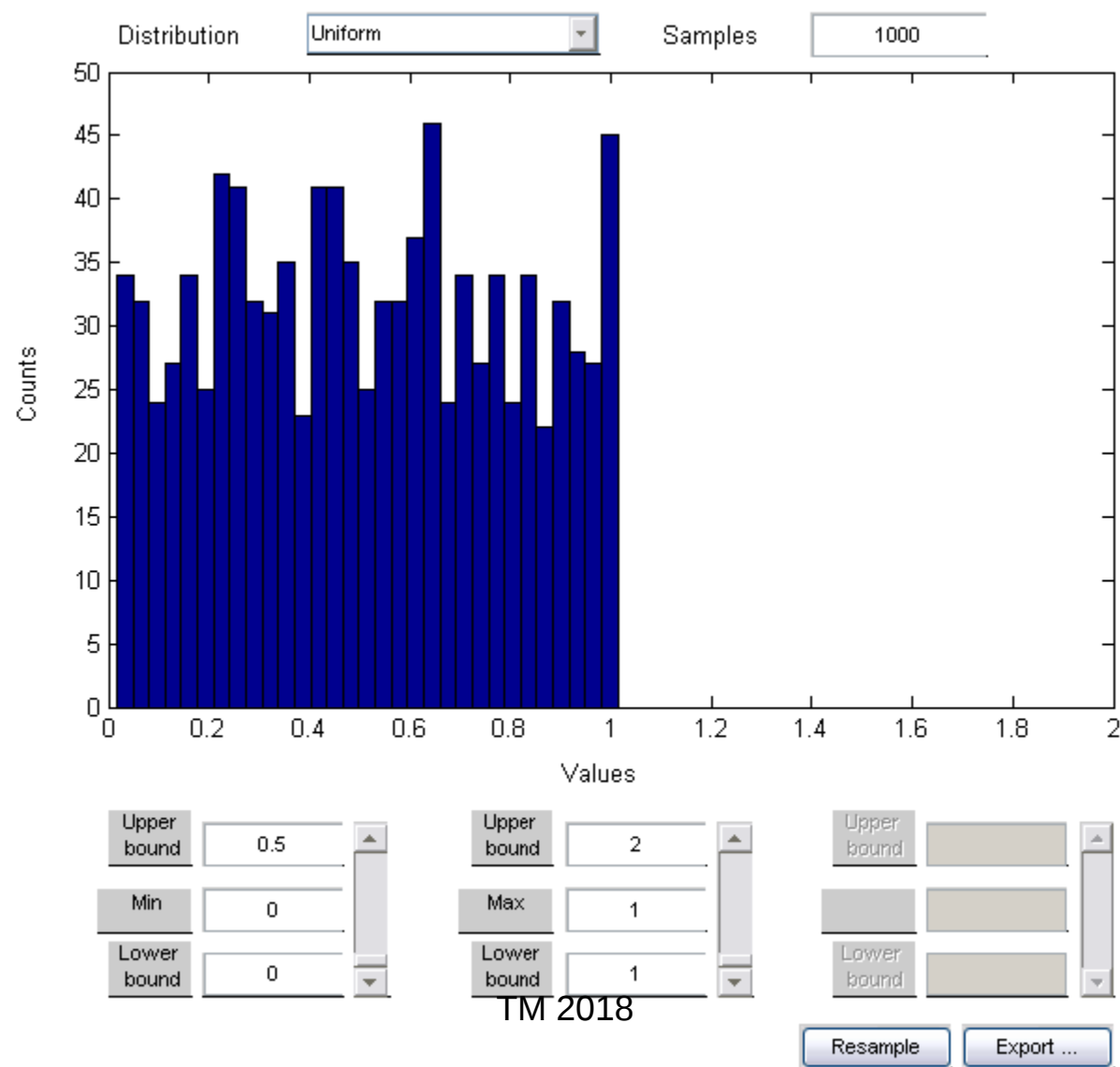
Geometric PDF



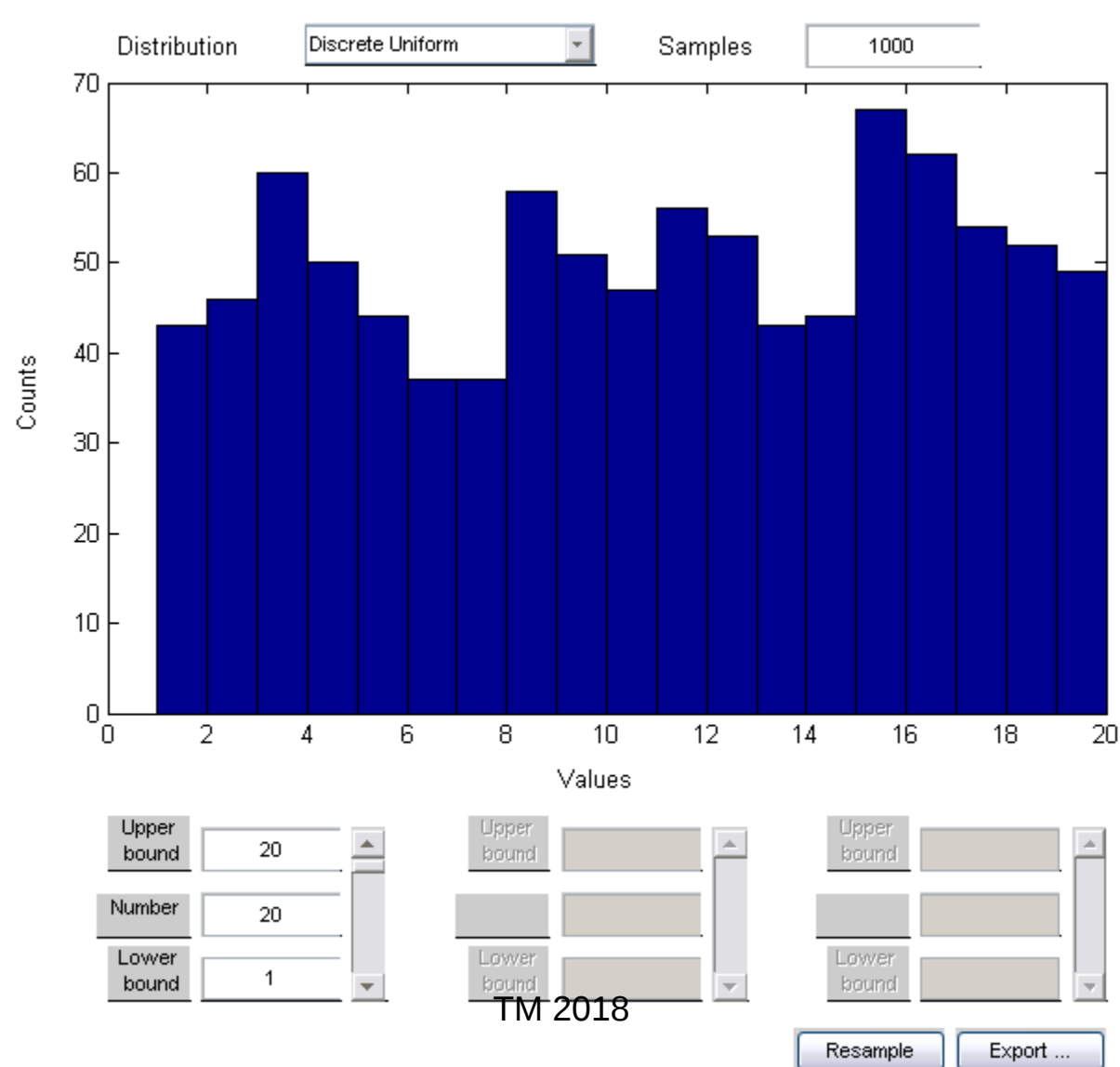
Normalna raspodela - generator



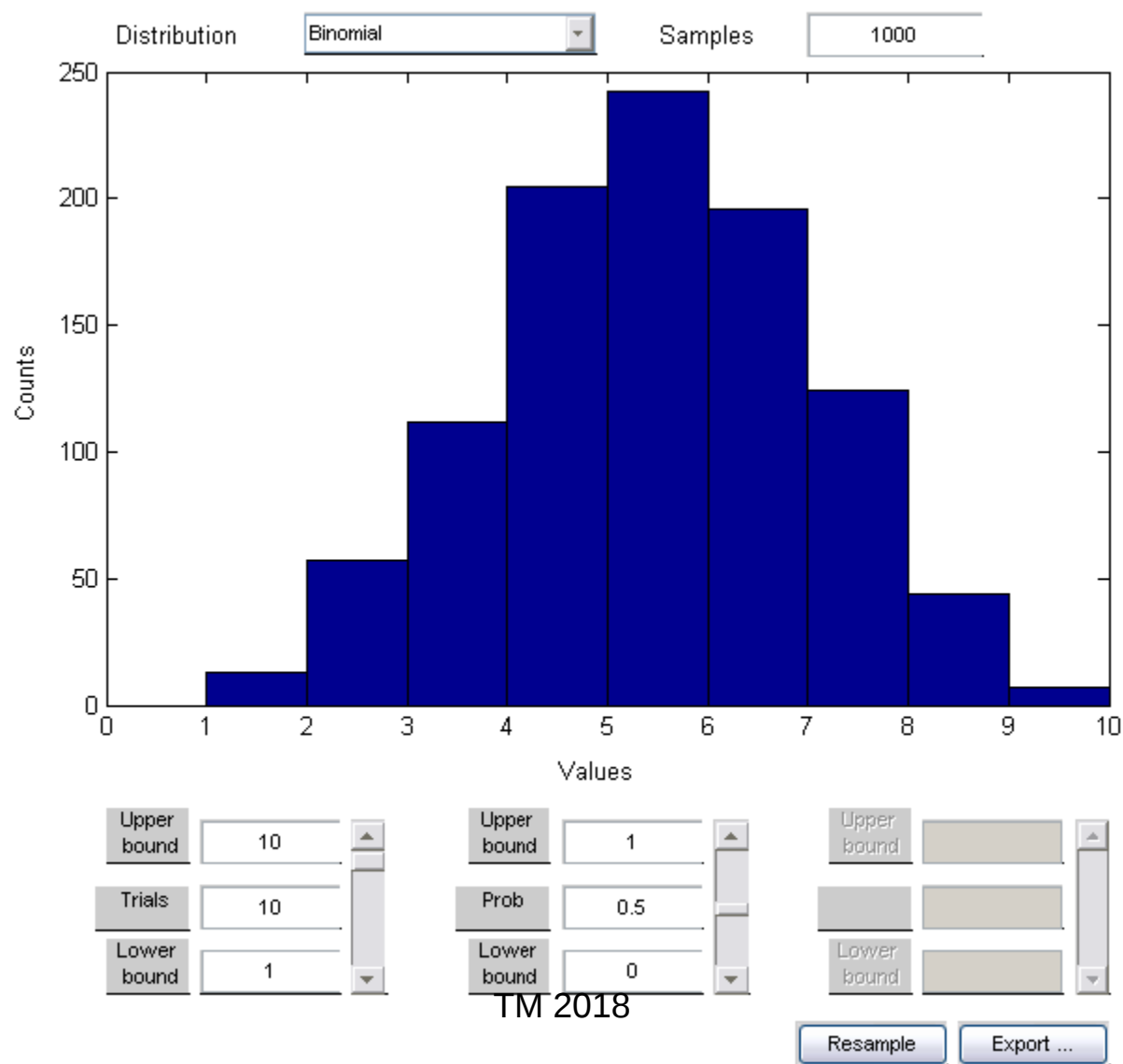
Uniformna raspodela - generator



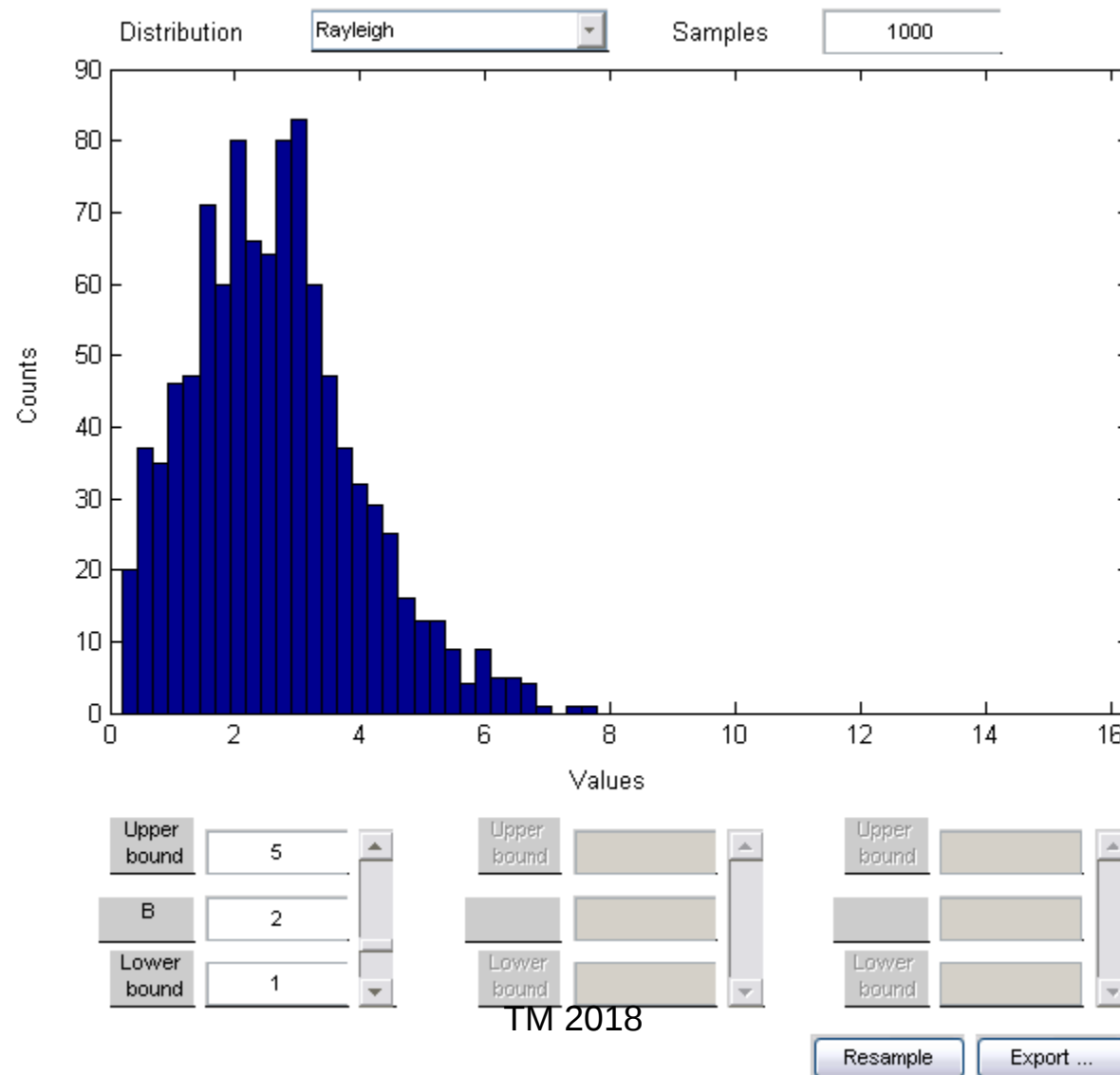
Diskretna uniformna raspodela



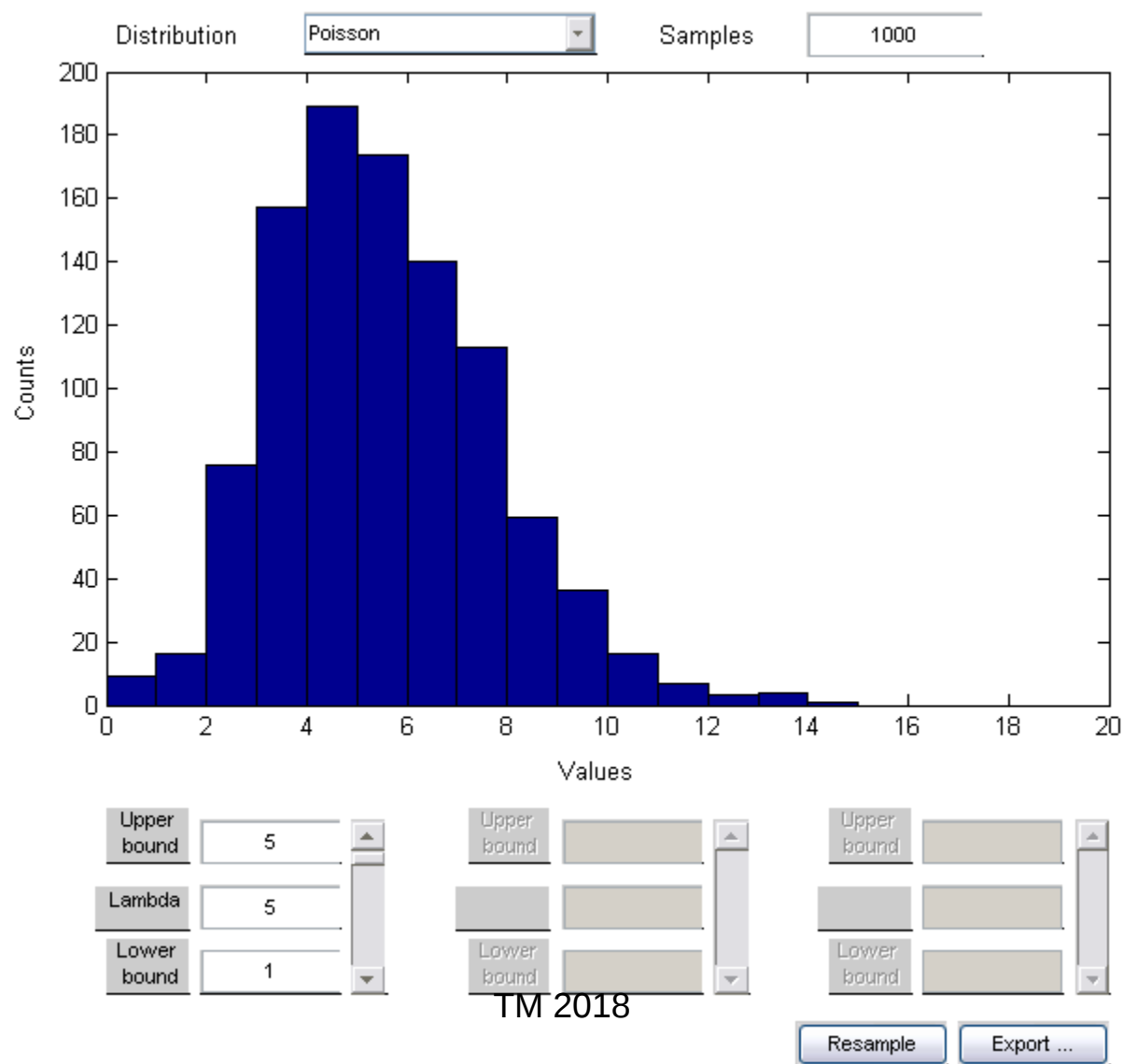
Binomial raspodela



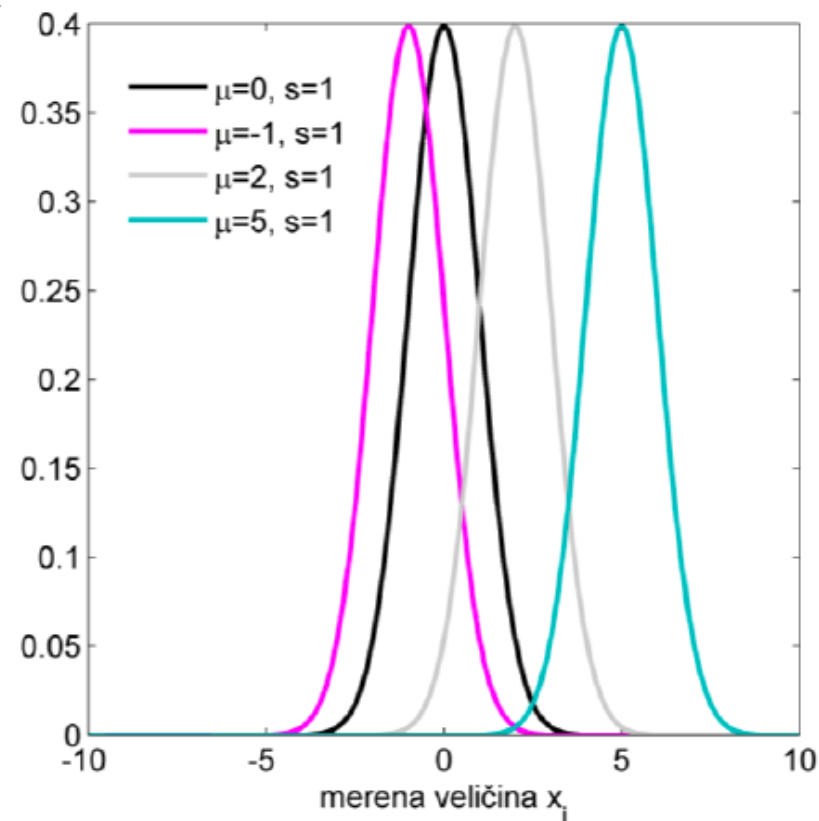
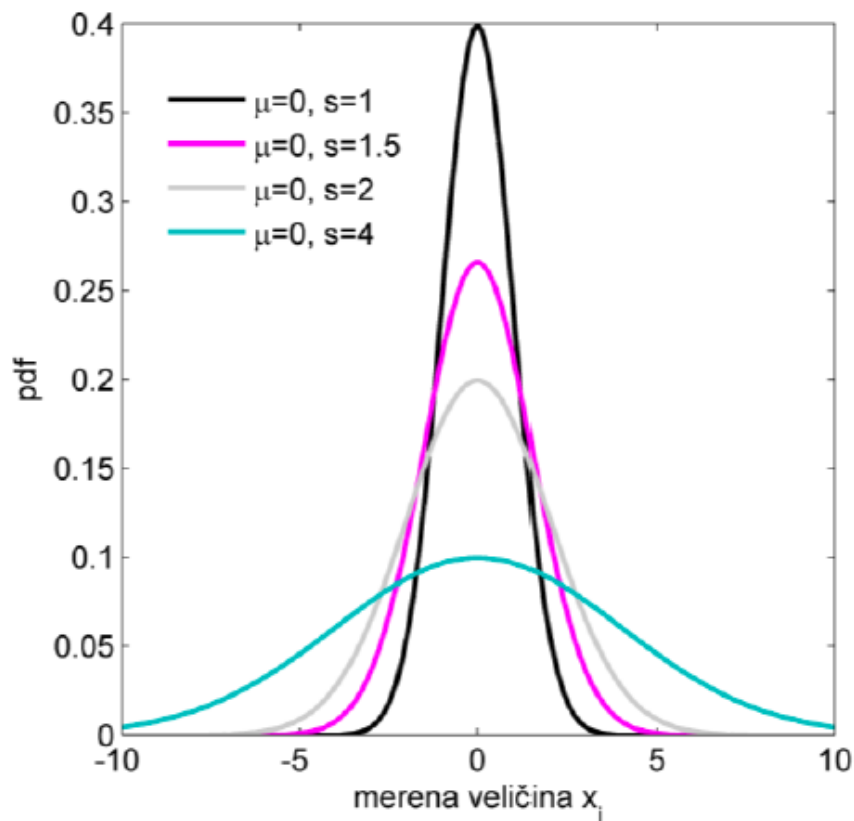
Rayleigh raspodela

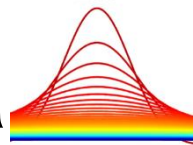


Poisson raspodela

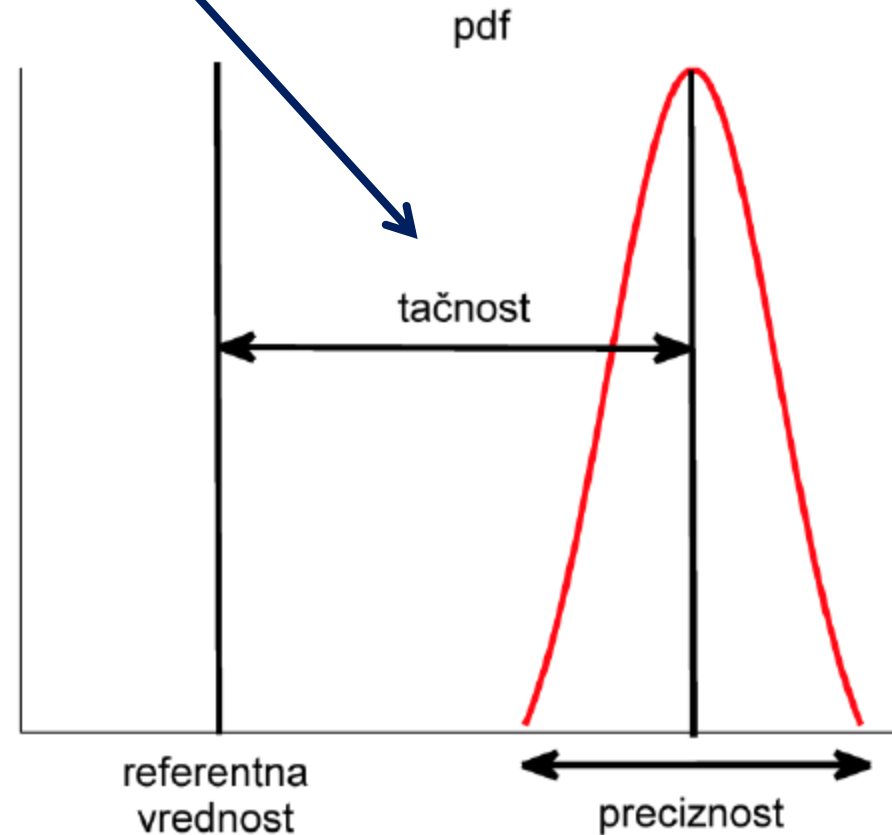
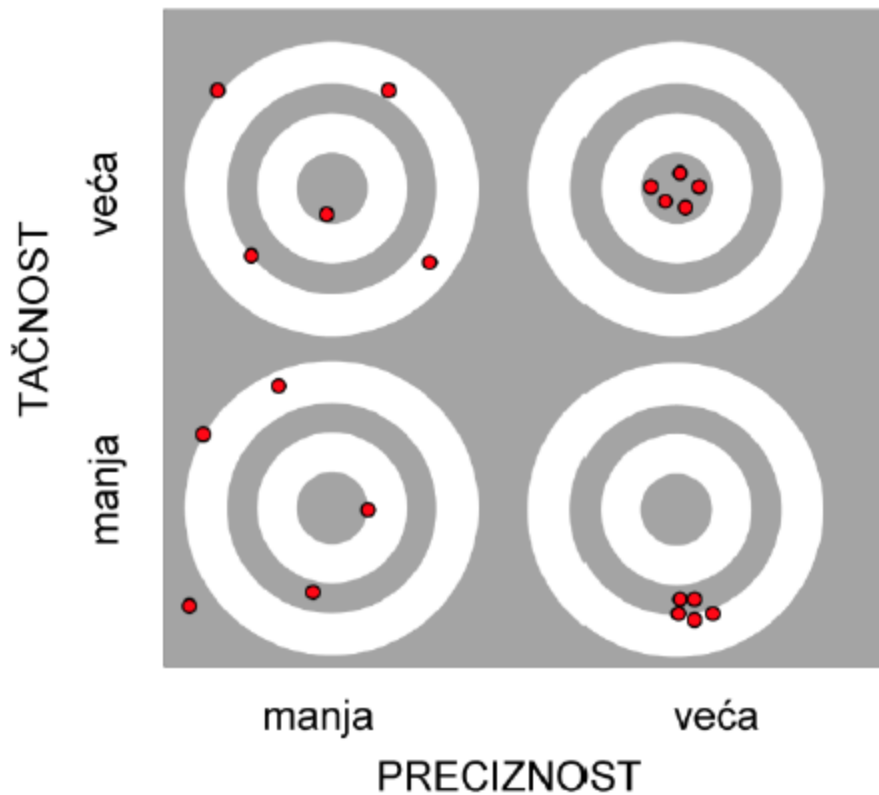


Gausove raspodele





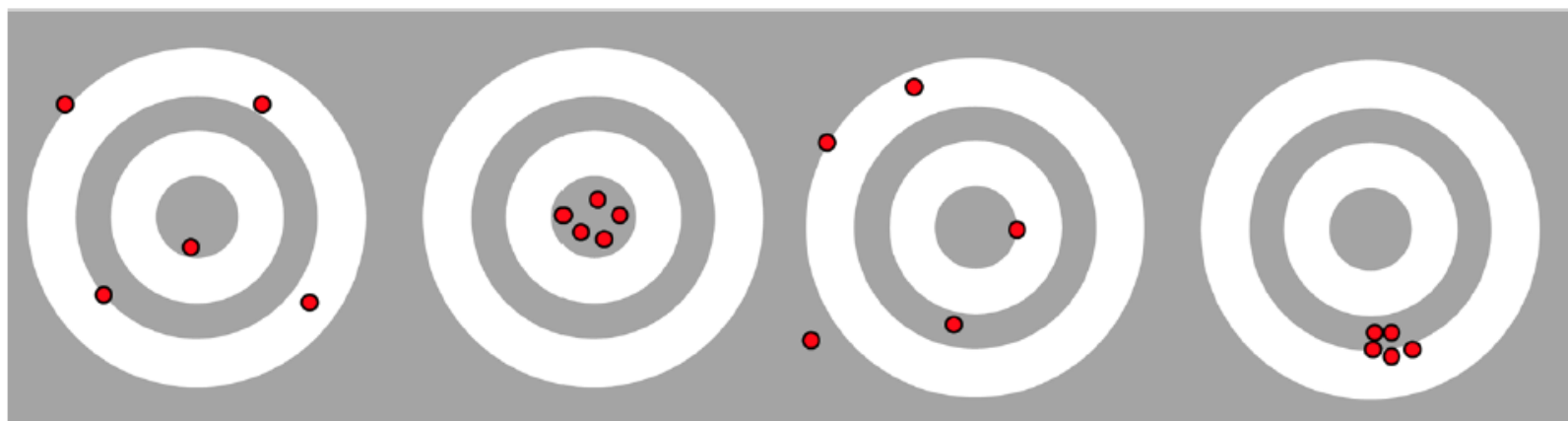
Preciznost i tačnost merenja



Merne greške i merna nesigurnost

- **Precizno i netačno merenje** odgovara merenju sa relativno malom mernom nesigurnošću (manje rasipanje ponovljenih merenja oko rezultata merenja) u kome procena srednje vrednosti nije tačna i ima konstanto odstupanje
- **Tačno i precizno merenje** je najpoželjnija situacija u kojoj je merna nesigurnost relativno mala (ne postoji veliko odstupanje od tačne vrednosti) i procena tačne vrednosti (srednja vrednost) je relativno dobra

Merne greške i merna nesigurnost



neprecizno i tačno

precizno i tačno

neprecizno i netačno

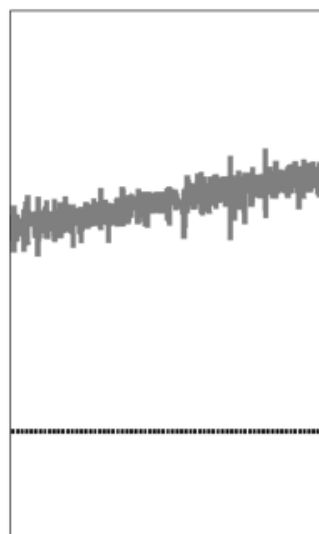
precizno i netačno



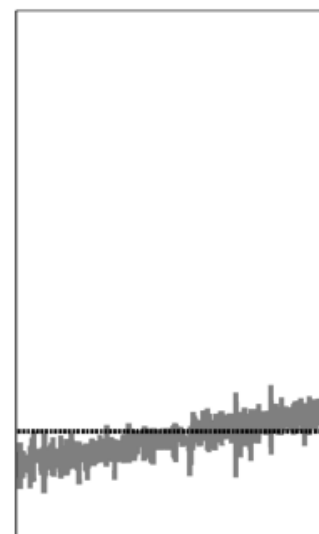
nestabilno i tačno



stabilno i tačno

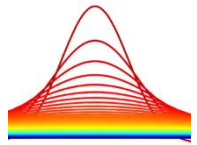


nestabilno i netačno
TM 2018



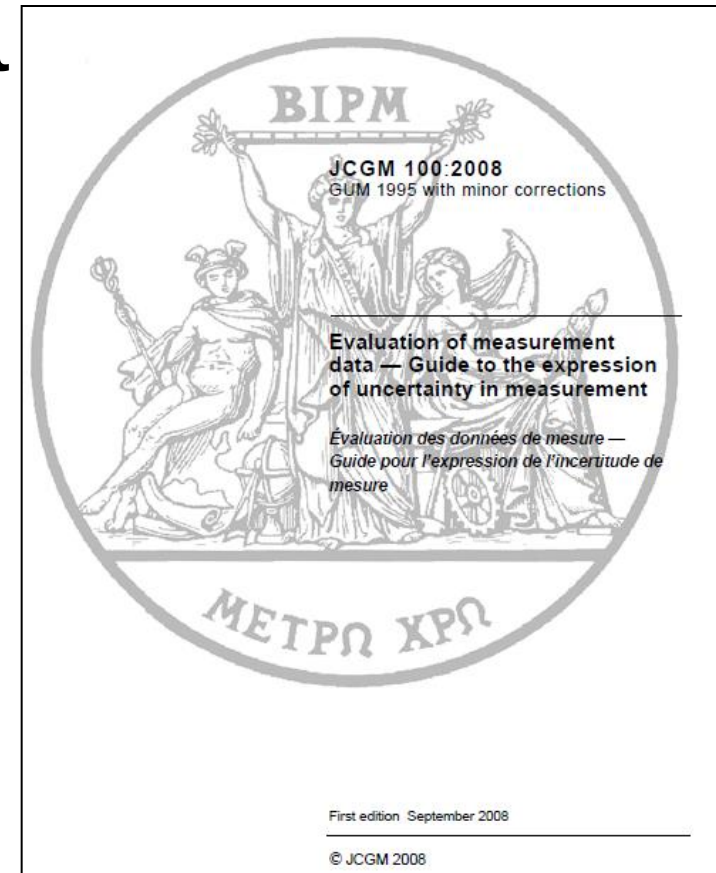
stabilno i netačno

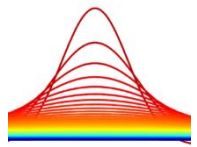




Referenca za mernu nesigurnosti rezultata merenja

- Guide to
Expression of
Uncertainty in
Measurement
- Uputstvo za
izražavanje merne
nesigurnosti





Merna nesigurnost i greške

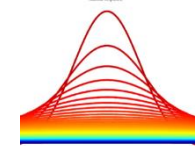
- Merna nesigurnost određuje širinu intervala u kojoj se može naći merena vrednost sa određenom verovatnoćom
- Vrednost merne nesigurnosti je uvek pozitivnog znaka
- Pri ponovljenim merenjima
 1. izvor greške nije poznat
 2. izvor greške nije jednostavno jednoznačno odrediti
- Na tačnost merenja utiču i greške prilikom merenja
 1. grube greške,
 2. sistematske greške
 3. slučajne greške

Greška merenja

- Pod greškom merenja se podrazumeva razlika između merene i tačne vrednosti
- Greška merenja može biti pozitivnog ili negativnog znaka
- Podela grešaka na sistematske i slučajne je na osnovu fizičkih uzoraka tih grešaka

Gruba greška

- Grube greške (blunder) su rezultat nestručnosti i nepažnje koje vode izboru neodgovarajućeg mernog postupka ili pogrešnog korišćenja instrumenta
- Pretpostavlja se da su stručnost i obazrivost svakog inženjera na prvom mestu prilikom rukovanja laboratorijskom opremom



Sistematska greška

- su najčešće invarijantne (nepromenljive u vremenu) ili se menjaju po određenom zakonu prilikom svakog merenja
- do sistematske greške dolazi ako instrument nije adekvatno baždaren (kalibrisan) za merenje odgovarajuće veličine
- Sistematske greške se mogu izbeći pravilnim izborom metode merenja, redovnom kontrolom tačnosti instrumenta i eliminisanjem uticaja spoljnih faktora
- Radi eliminisanja uticaja sistematske greške, može da se uvede korekcija merenja

Kalibracija

- Kalibracija podrazumeva širok skup operacija
- Operacija za koju se pod određenim uslovima,
 - u prvom koraku, određuje relacija između merene vrednosti i nesigurnosti primenom odgovarajućih mernih standarda i indikacija
 - u drugom koraku, koristi se informacija iz prvog koraka kako bi se odredio rezultat merenja
- Primer kalibracija ommetra za merenje nepoznate otpornosti

Profesor dr Miroslav Lutovac
mlutovac@viser.edu.rs

Ova prezentacija je nekomercijalna.

Slajdovi mogu da sadrže materijale preuzete sa Interneta, stručne i naučne građe, koji su zaštićeni Zakonom o autorskim i srodnim pravima.

Ova prezentacija se može koristiti samo privremeno tokom usmenog izlaganja nastavnika u cilju informisanja i upućivanja studenata na dalji stručni, istraživački i naučni rad i u druge svrhe se ne sme koristiti –

Član 44 - Dozvoljeno je bez dozvole autora i bez plaćanja autorske naknade za nekomercijalne svrhe nastave:

(1) javno izvođenje ili predstavljanje objavljenih dela u obliku neposrednog poučavanja na nastavi;

- ZAKON O AUTORSKOM I SRODNIM PRAVIMA

("Sl. glasnik RS", br. 104/2009 i 99/2011)