Arhitektura softvera u distribuiranim sistemima

Arhitekturalni stilovi

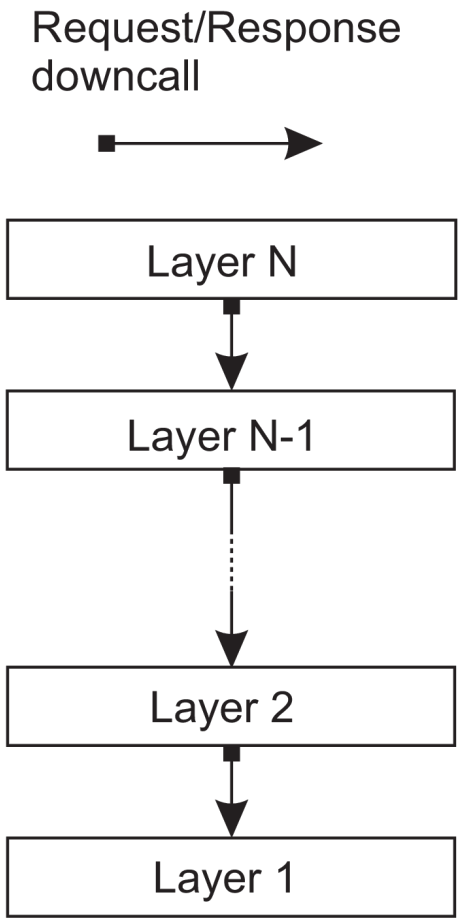
- Arhitekturalni stil se formuliše u vidu:
  - (zamenljivih) **komponenti** sa dobro definisanim interfejsima
  - **konektora** tj. načina na koji se komponente međusobno povezuju
  - **podataka** koji se razmenjuju između komponenti
  - načina kako se komponente i konektori zajedno konfigurišu u **sistem**
- **Komponenta** (engl. *component*) je modularna jedinica sa dobro definisanim interfejsima koja je zamenljiva unutar svog okruženja
- **Konektor** (engl. *connector*) je mehanizam koji vrši medijaciju prilikom komunikacije, koordinacije i saradnje između komponenti

Arhitekturalni stilovi

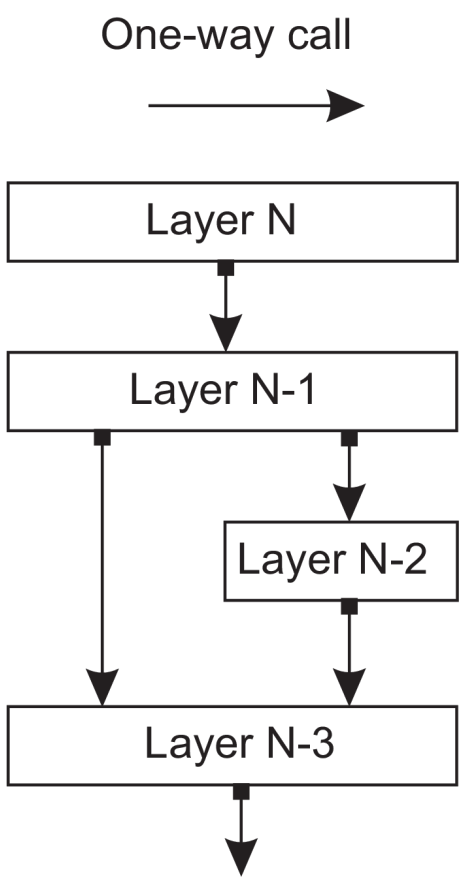
- **Slojevite arhitekture** (engl. *layered architectures*)
- **Arhitekture zasnovane na objektima** (engl. *object-based architectures*)
- **Arhitekture zasnovane na resursima** (engl. *resource-based architectures*)
- **Arhitekture zasnovane na događajima** (engl. *event-based architectures*)

Slojevite arhitekture

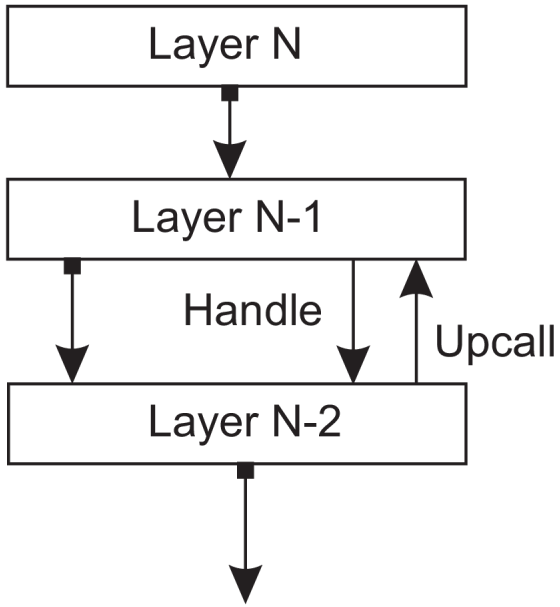
(a) Čista slojevita



(b) Mešani slojevi



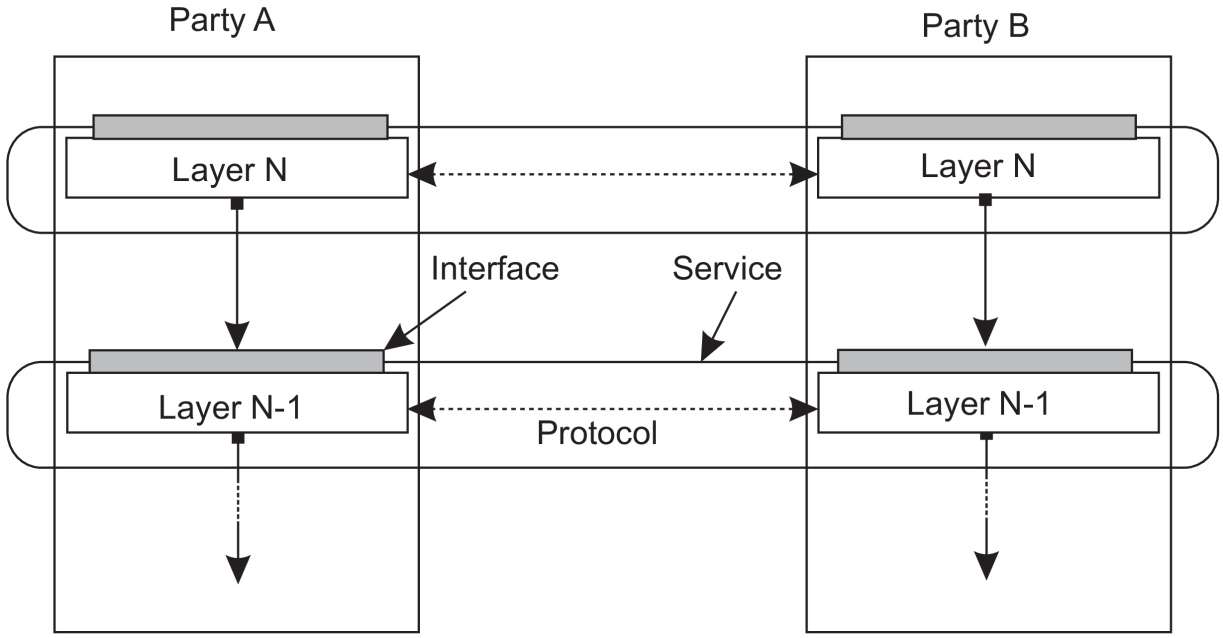
(c) Slojevita sa pozivima nagore (primer: ručke kod OS)



Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Primer: komunikacioni protokoli

- **Protokol** je skup pravila koje strane moraju ispoštovati kako bi razmenile informacije
- **Interfejs** specificira koje se funkcije mogu pozivati
- **Servis** pruža usluge slanja podataka do jednog ili više odredišta



- Važno je praviti razliku između **servisa** koje nudi sloj, **interfejsa** pomoću kojih su servisi dostupni, i **protokola** koje sloj implementira kako bi uspostavio komunikaciju

Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017

Dvostrana komunikacija: eho server

Server

```
1 from socket  import *
2 s = socket(AF_INET, SOCK_STREAM)
3 (conn, addr) = s.accept()  # returns new socket and addr. client
4 while True:                # forever
5   data = conn.recv(1024)   # receive data from client
6   if not data: break       # stop if client stopped
7   conn.send(str(data)+"*") # return sent data plus an "*"
8 conn.close()               # close the connection
```

Client

```
1 from socket  import *
2 s = socket(AF_INET, SOCK_STREAM)
3 s.connect((HOST, PORT)) # connect to server (block until accepted)
4 s.send('Hello, world')  # send some data
5 data = s.recv(1024)     # receive the response
6 print data               # print the result
7 s.close()               # close the connection
```

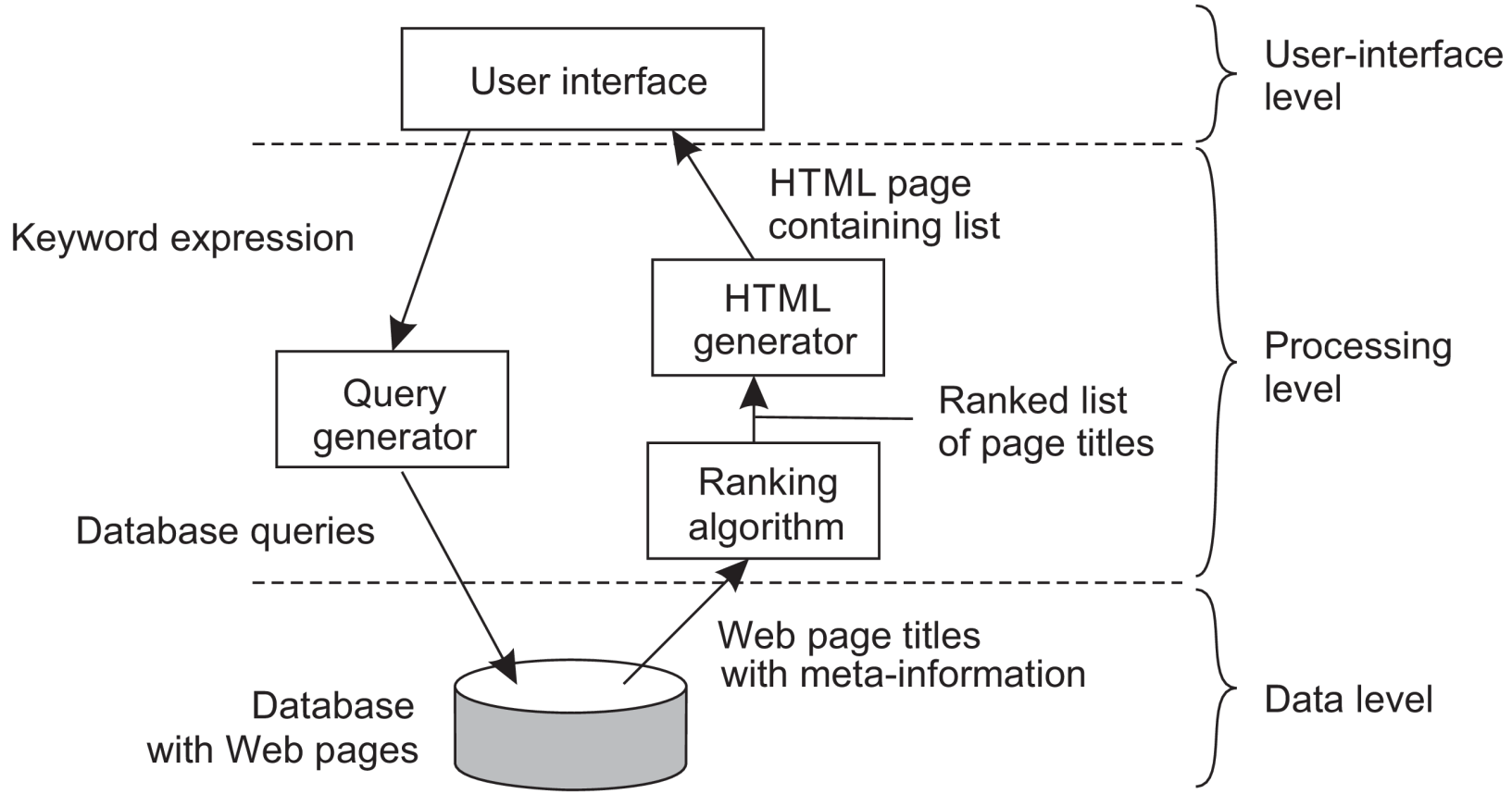
Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Aplikacioni slojevi

- Tradicionalni troslojni logički pogled:
  - **Sloj interfejsa aplikacije** (engl. *application-interface layer*) sadrži jedinice interfejsa ka korisnicima ili eksternim aplikacijama
  - **Sloj obrade** (engl. *processing layer*) sadrži funkcije aplikacije bez specifičnih podataka
  - **Sloj podataka** (engl. *data layer*) sadrži podatke kojima klijent želi da manipuliše putem komponenti aplikacije
- Opažanje:
  - Tradicionalna slojevita arhitektura se tipično nalazi u mnogim distribuiranim informacionim sistemima, koristeći pri tom klasičnu tehnologiju baza podataka i pratećih aplikacija

Aplikacioni slojevi

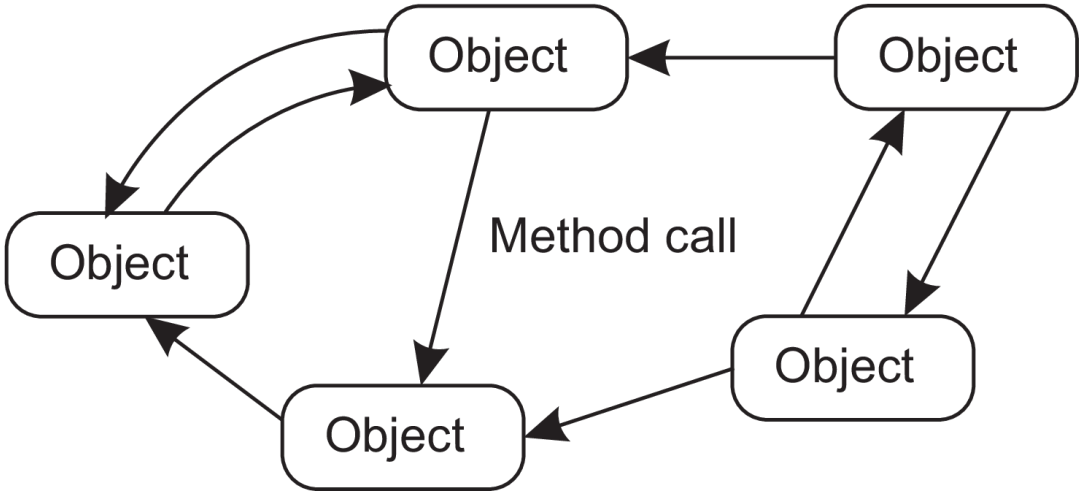
- Primer: jednostavan sistem za pretraživanje (engl. *search engine*)

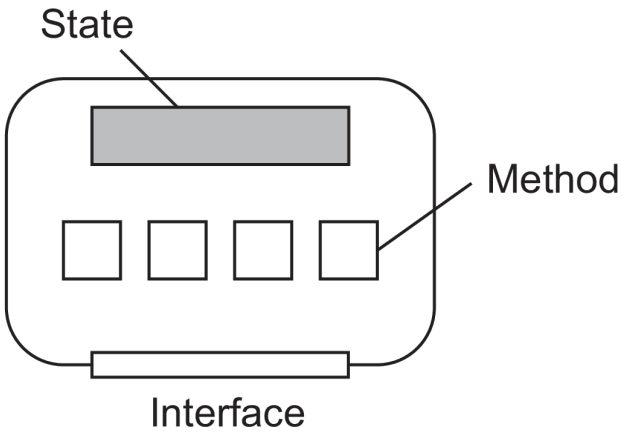


Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Arhitekture zasnovane na objektima

- **Komponente** su **objekti**, međusobno **povezani pozivima procedura**. Objekti se mogu nalaziti na različitim mašinama, s toga se pozivi mogu izvršavati preko mreže; **interfejs** može biti **na jednoj**, a **objekat na drugoj mašini – distribuirani objekat**
- **Enkapsulacija**: objekti **enkapsuliraju podatke** i nude **metode za rad sa tim podacima** bez otkrivanja interne implementacije

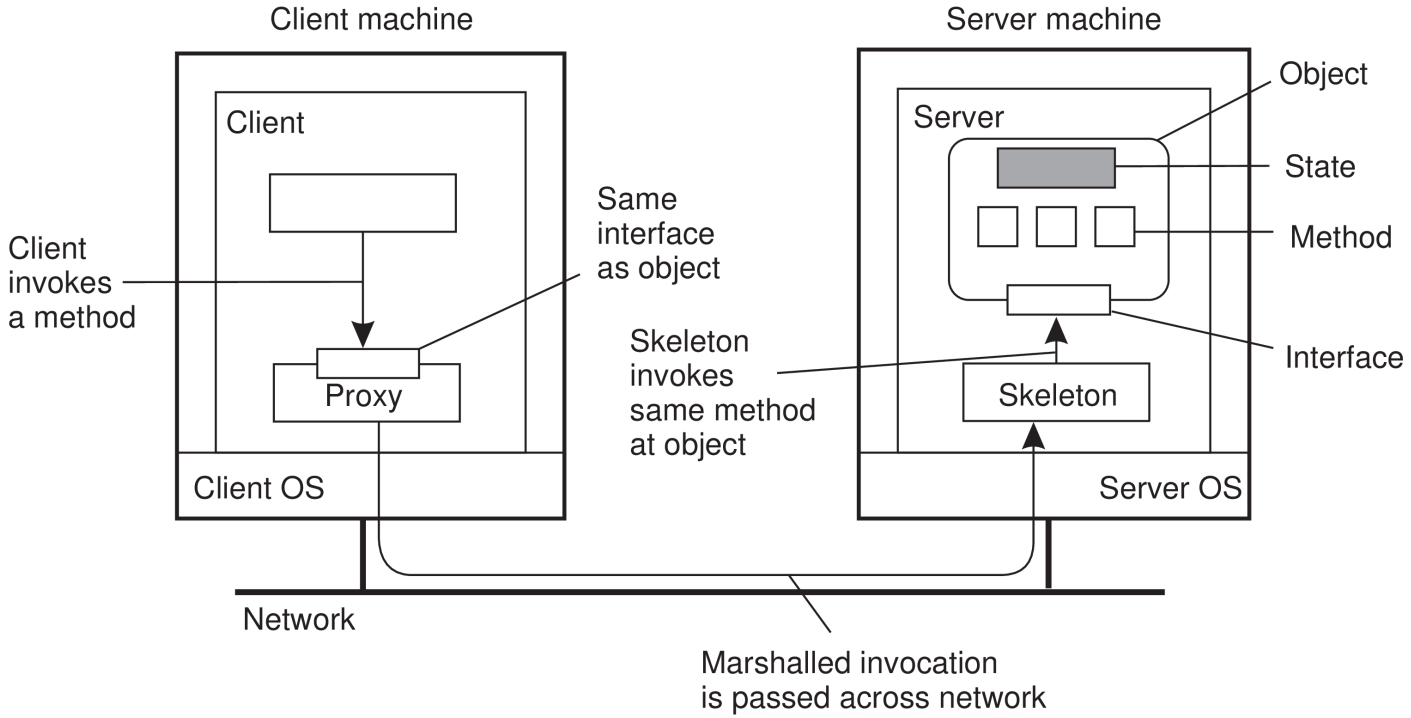




Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Arhitekture zasnovane na objektima

- Tipična organizacija udaljenog objekta sa proksijem na klijentskoj strani
  - **proksi** je implementacija interfejsa objekta koja se učitava u klijentski adresni prostor (odgovara klijent stub-u kod RPC), na serverskoj strani je **skeleton** koji omogućava serverskom midlveru da pristupi korisničkim objektima, **maršaling** je proces transformacije memorijske reprezentacije objekta u format podataka pogodan za slanje



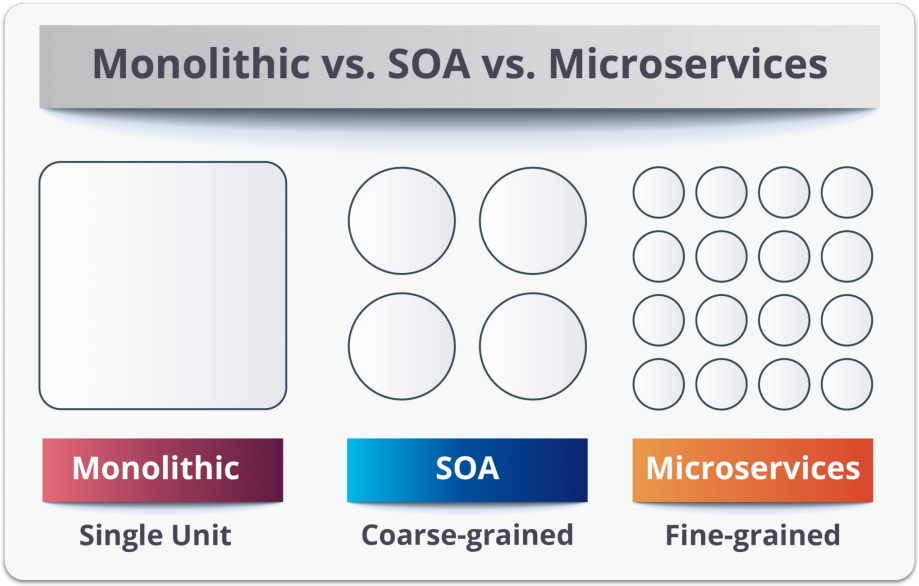
Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

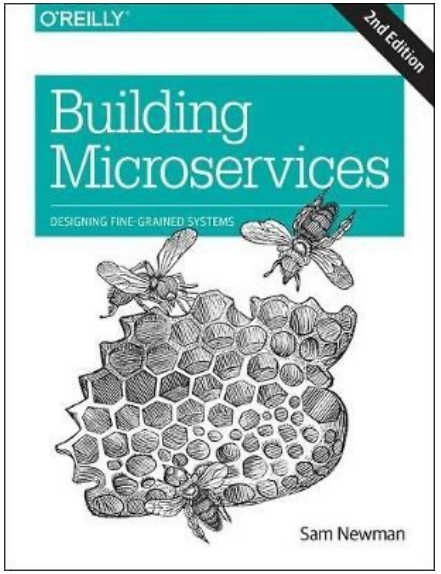
Servisno-orijentisane arhitekture

- Arhitekture zasnovane na objektima pružaju osnovu za **enkapsulaciju servisa u nezavisne jedinice**
- **Enkapsulacija** ovde igra ključnu ulogu: servis kao celina se realizuje kao samostalni entitet, iako može koristiti i druge servise
- Jasnim razdvajanjem različitih servisa tako da mogu da rade nezavisno, dolazi se do **servisno-orijentisanih arhitektura** (**SOA** – engl. *service-oriented architectures*)
- Kod SOA, distribuirana aplikacija ili sistem se u suštini konstruiše putem slaganja različitih servisa, koji se mogu nalaziti u različitim organizacijama
- Na ovaj način, problem razvoja distribuiranog sistema se delom svodi na **slaganje servisa** (engl. *service composition*) i osiguravanje da ti servisi rade u harmoniji. Ovaj problem je potpuno analogan pitanjima kod integracije poslovnih aplikacija (engl. *enterprise application integration*)

SOA i mikroservisi

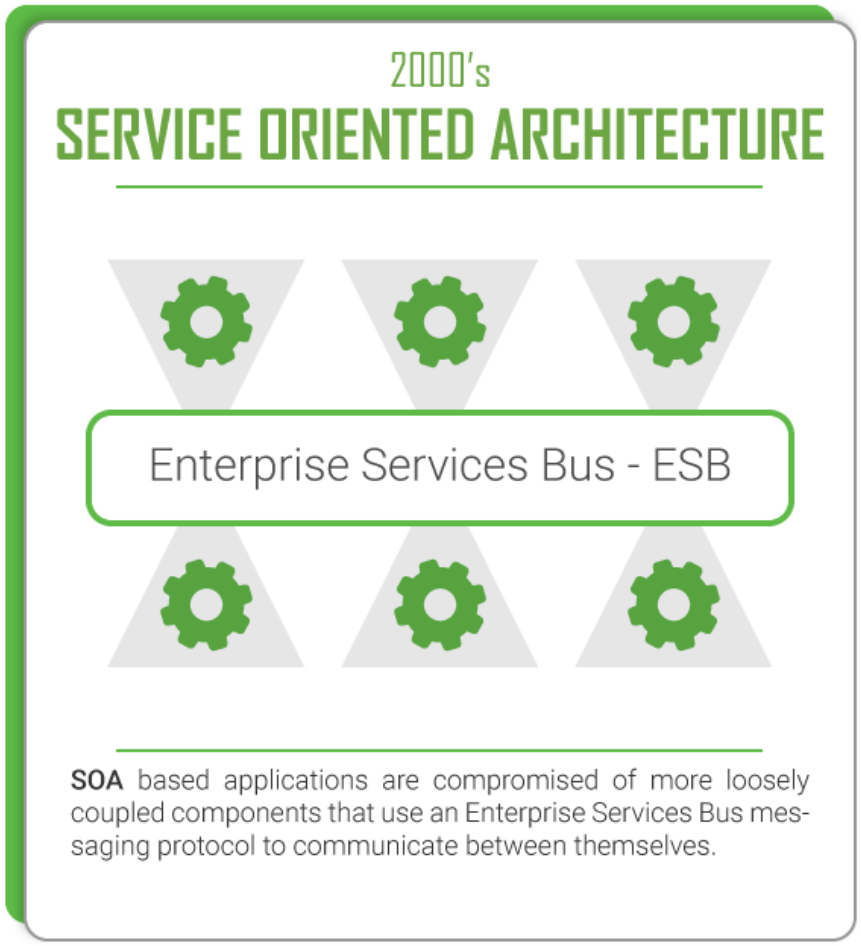
- **Mikroservisi** su **tehnika razvoja softvera**, podvrsta SOA arhitekturalnog stila, kojom se aplikacija strukturira kao **skup slabo spregnutih servisa**. U mikroservisnim arhitekturama, servisi su fine rezolucije (engl. *fine-grained*), a protokoli su lagani (engl. *lightweight*)
- Mikroservisna arhitektura omogućava da mali autonomni timovi paralelno i nezavisno razvijaju, isporučuju i skaliraju svoje servise – **kontinualna integracija i kontinualna isporuka** (engl. *continunous integration/continuous delivery* CI/CD)

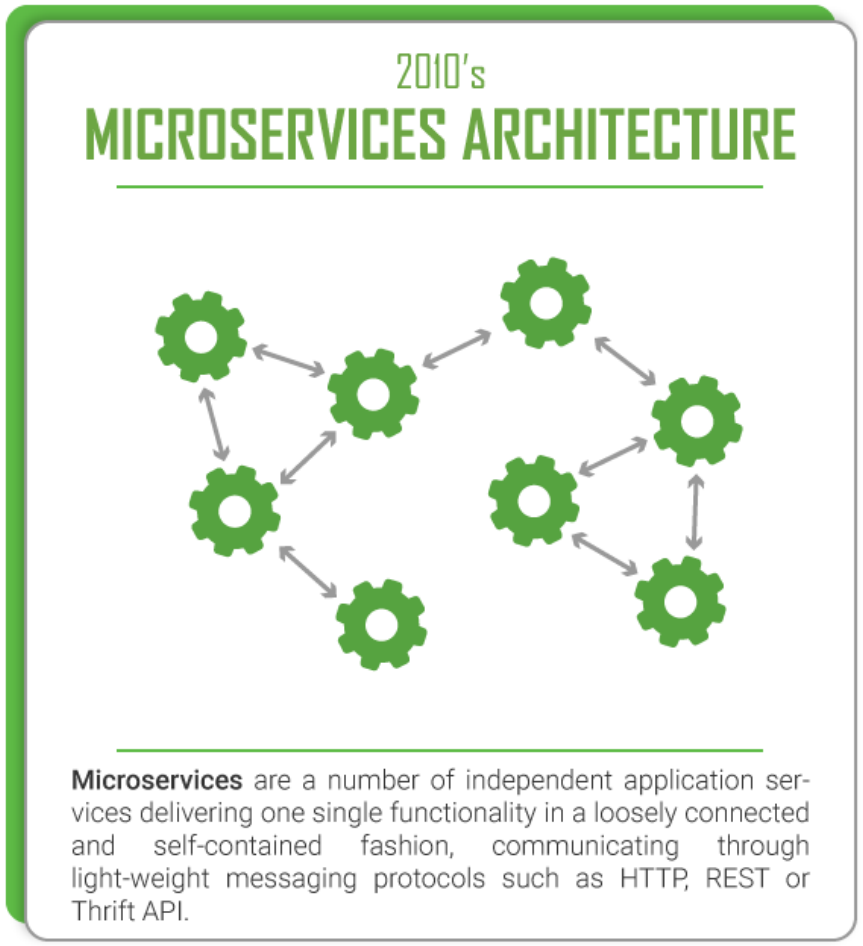




Izvor: https://dzone.com/articles/microservices-vs-soa-is-there-any-difference-at-al

SOA i mikroservisi





Izvor: https://dzone.com/articles/microservices-vs-soa-is-there-any-difference-at-al

Arhitekture zasnovane na resursima

- **Distribuirani sistem** se posmatra kao **skup resursa** kojima **pojedinačno upravljaju komponente**
- **Resursi** se mogu dodavati, brisati, pribavljati i modifikovati od strane (udaljenih) aplikacija – **Representational State Transfer** (**REST**), karakteristike **RESTful arhitektura**:
  1. Resursi se identifikuju putem **jedinstvene šeme imenovanja** (engl. *naming scheme*)
  2. **Svi servisi** pružaju **isti interfejs**
  3. **Poruke** poslate ka i od servisa su **potpuno samo-opisujuće**
  4. Nakon izvršenja operacije od strane servisa, komponenta zaboravlja sve o pozivaocu (engl. *caller*) – **izvršavanje bez pamćenja stanja** (engl. *stateless execution*)
- **Osnovne operacije**:

Operacija	Opis
`PUT`	Stvaranje novog resursa
`GET`	Pribavljanje stanja resursa u nekoj reprezentaciji
`DELETE`	Brisanje resursa
`POST`	Izmena resursa prenosom novog stanja

Primer: Amazon Simple Storage Service (S3)

- **Objekti** (tj. fajlovi) se smeštaju u **kofe** (engl. *buckets*), tj. direktorijume. Kofe se ne mogu smestiti u kofe
- Kako bi se izvršile operacije nad objektom `ImeObjekta` u kofi `ImeKofe` neophodan je sledeći identifikator:

  `http://ImeKofe.s3.amazonaws.com/ImeObjekta`

- Sve **operacije** se izvode **slanjem HTTP zahteva**:
  - Kreiranje kofe ili objekta: `PUT` zajedno sa URI-jem (engl. *Uniform Resource Identifier*) – **uniformni identifikator resursa** je string koji jednoznačno identifikuje neki resurs
  - Listanje objekata: `GET` nad imenom kofe
  - Čitanje objekta: `GET` nad celim URI-jem

REST i SOAP interfejsi

- RESTful pristup je popularan zato što je interfejs ka servisima vrlo jednostavan. Nedostatak je što zahteva puno posla u parametarskom prostoru
- Tradicionalni pristup – Amazon S3 Simple Object Access Protocol (SOAP) interfejs, za komunikaciju se koristi XML
- Amazon S3 SOAP interfejs:

Operacije nad kofama	Operacija nad objektima
`ListAllMyBuckets`	`PutObjectInline`
`CreateBucket`	`PutObject`
`DeleteBucket`	`CopyObject`
`ListBucket`	`GetObject`
`GetBucketAccessControlPolicy`	`GetObjectExtended`
`SetBucketAccessControlPolicy`	`DeleteObject`
`GetBucketLoggingStatus`	`GetObjectAccessControlPolicy`
`SetBucketLoggingStatus`	`SetObjectAccessControlPolicy`

REST i SOAP interfejsi

- Upotreba interfejsa `bucket` koji ima operaciju `create`, koja zahteva ulazni string `mybucket`, kako bi se kreirala kofa pod nazivom "mybucket" primenom SOAP i REST interfejsa:

SOAP

```
import bucket
bucket.create("mybucket")
```

RESTful

```
PUT "http://mybucket.s3.amazonsws.com/"
```

- Prvim pristupom greške se mogu uočiti u vreme prevođenja, dok je kod drugog to moguće samo u vreme izvršavanja. Specifikacija semantike operacije je lakša kod SOAP, dok se REST generički pristup lakše prilagođava promenama

Arhitekture zasnovane na događajima

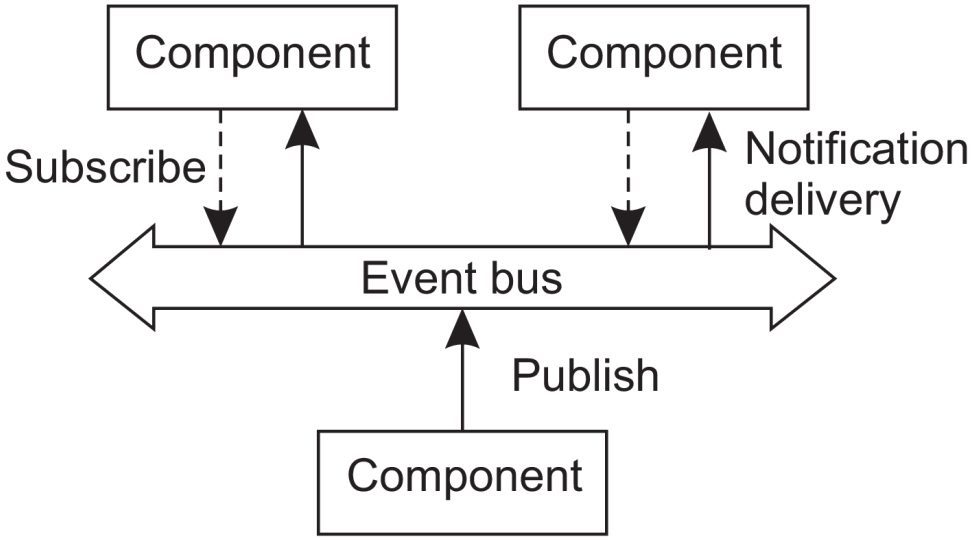
- Arhitekture zasnovane na događajima poznate su i kao **objavi-pretplati se** ili **izdavač-pretplatnik** (engl. *publish-subscribe*) **arhitekture**
- Distribuirani sistemi sa arhitekturom kod koje postoji jako razdvajanje između **obrade** i **koordinacije**, ideja je da se **sistem** posmatra kao **skup procesa** koji se **nezavisno izvršavaju**, **koordinacija** ovde obuhvata **komunikaciju** i **koordinaciju** procesa
- Tipovi koordinacije između procesa:

	Temporalno spojeni	**Temporalno razdvojeni**
Referencijalno spojeni	direktna	sanduče
Referencijalno razdvojeni	zasnovana na događajima	sa deljenim prostorom podataka

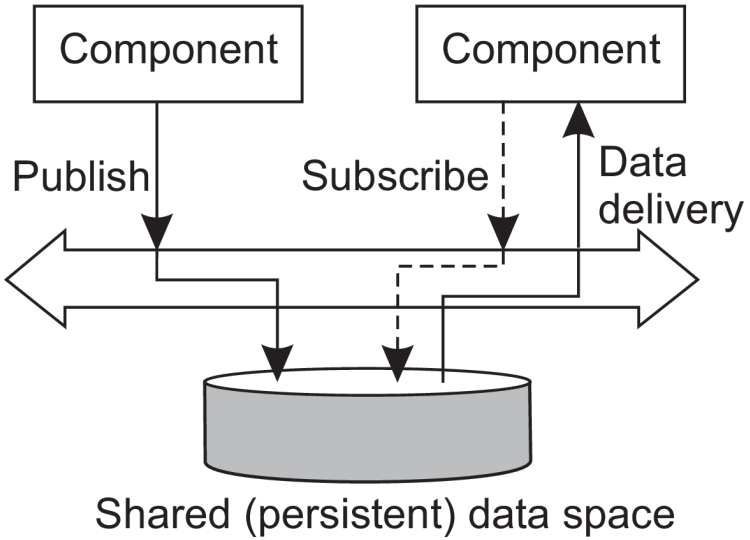
Arhitekture zasnovane na događajima

- Koordinacija kod referencijalno razdvojenih procesa:

(a) **zasnovana na događajima**



(b) **sa deljenim prostorom podataka**



- Procesi komuniciraju putem torki (engl. *tuples*)
- Asocijativni mehanizam pretrage torki

Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

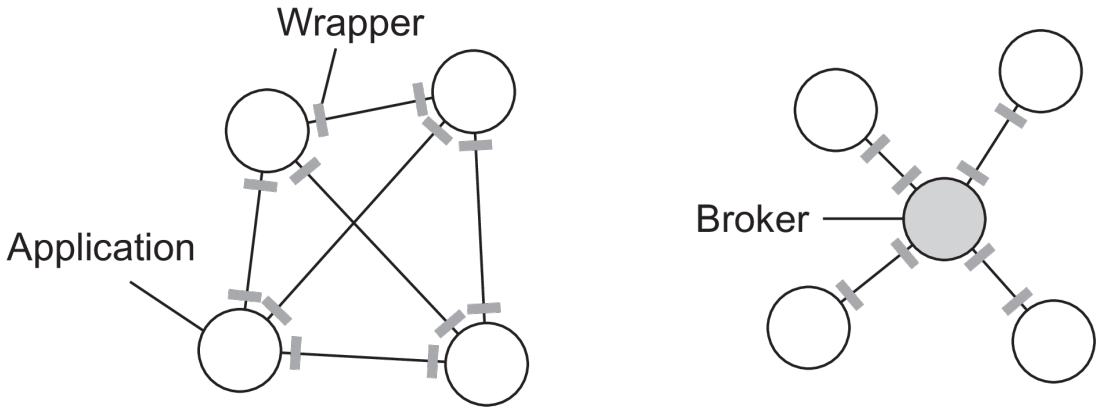
Organizacija midlvera

- Dva glavna tipa **projektnih obrazaca** koja se koriste prilikom **organizacije midlvera** su **omotači** (engl. *wrappers*) i **presretači** (engl. *interceptors*)
- Omotači i presretači omogućavaju **proširenje i adaptaciju midlvera, promenljivost midlvera** je jako važna u savremenim distribuiranim sistemima
- Glavni cilj organizacije midlvera je **otvorenost**, koja se u najboljem slučaju postiže slaganjem midlvera u vreme izvršavanja
- Tipičan problem je da interfejs stare komponente najverovatnije ne odgovara svim aplikacijama
- Rešenje je primena omotača tj. adaptera koji nudi interfejs prihvatljiv klijentskoj aplikaciji, funkcije adaptera se transformišu u one dostupne na komponenti i time se rešava problem nekompatibilnih interfejsa

Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017

Omotači

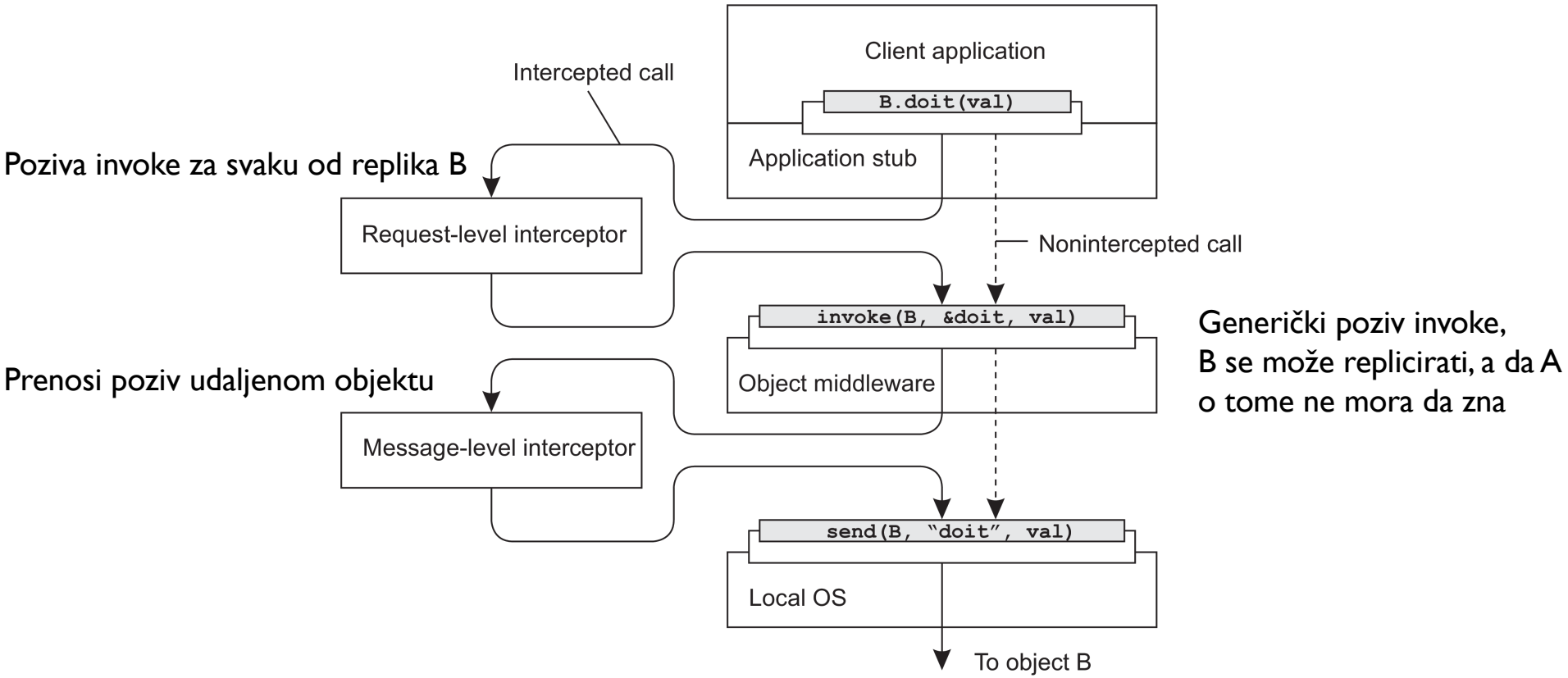
- Dva moguća pristupa: 1-na-1 ili putem brokera
  - 1-na-1 zahteva da svaka aplikacija ima omotač za svaku drugu aplikaciju
  - putem brokera: aplikacije šalju zahteve sa informacijom šta im je potrebno, broker ima sve relevantne informacije o svim aplikacijama, kontaktira odgovarajuću aplikaciju, po potrebi transformiše i kombinuje odgovore i vraća rezultat inicijalnoj aplikaciji
  - Složenost:
    - Kod 1-na-1 neophodno je $O(N^2)$ omotača, dok broker omogućava $O(N)$ omotača



Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017

Presretači

- Sredstvo za **adaptaciju midlvera specifičnim potrebama** aplikacija
- Objekat A može da pozove metodu koji pripada objektu B, iako se nalaze na različitim mašinama

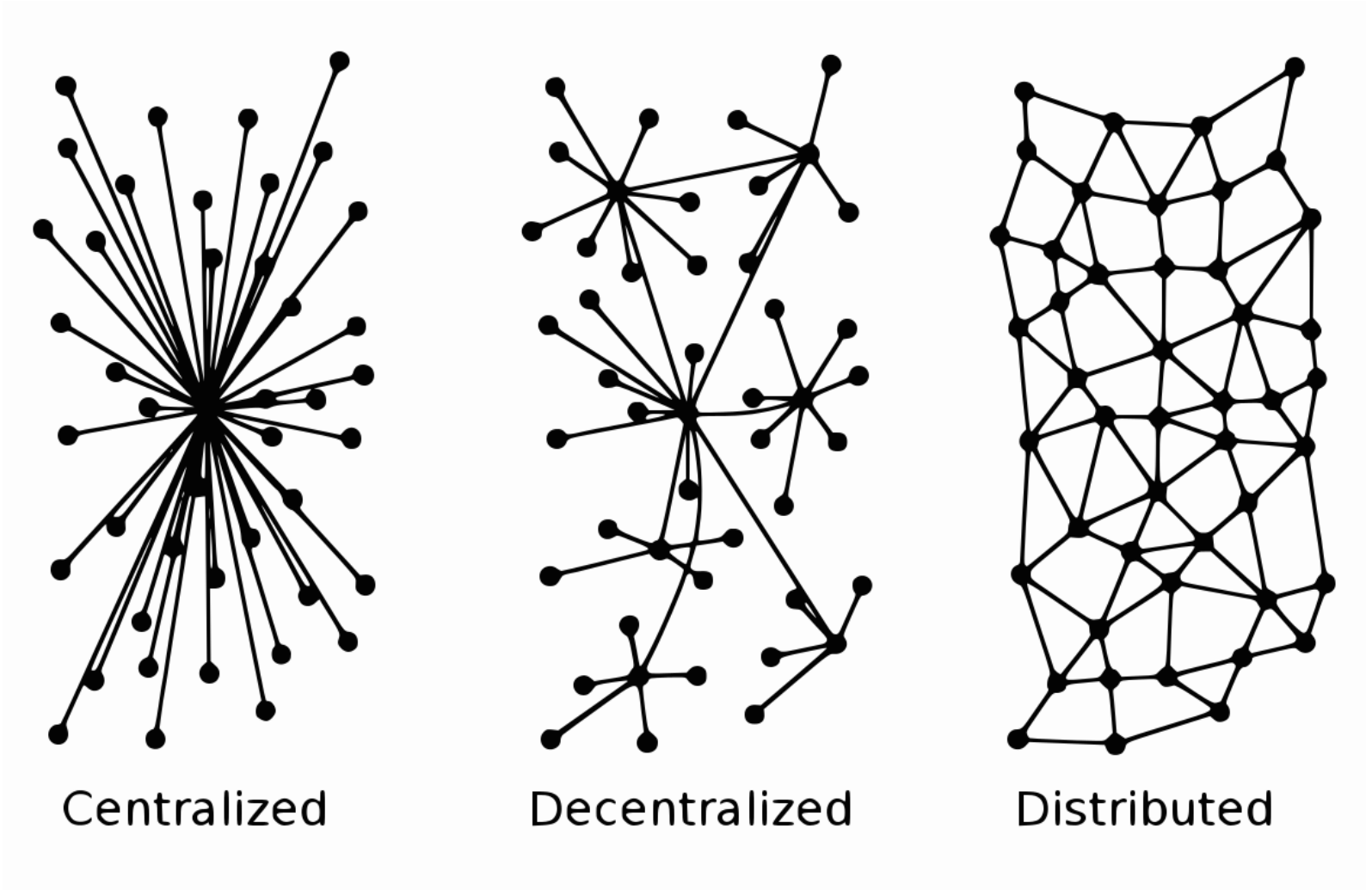


Generički poziv invoke,
B se može replicirati, a da A
o tome ne mora da zna

Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Arhitekture distribuiranih sistema

Organizacija sistema



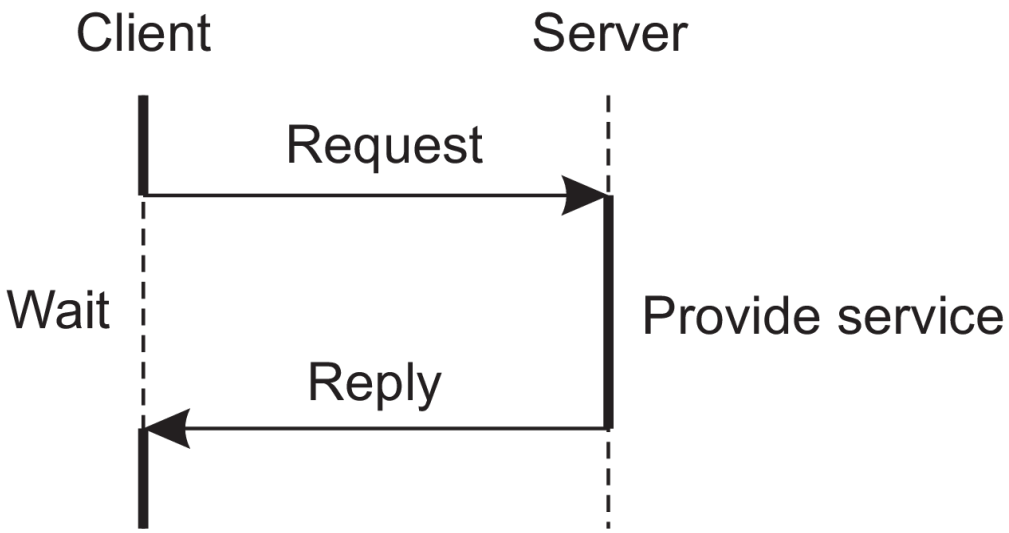
Izvor: Centralized, decentralized and distributed network models, Paul Baran (1964)

Arhitektura sistema

- Arhitektura sistema je instanca softverske arhitekture sa određenim softverskim komponentama, njihovom interakcijom i rasporedom
- **Centralizovane organizacije**
  - Klijent-server arhitektura
  - Višeslojne (engl. *multitiered*) arhitekture
- **Decentralizovane organizacije** – *peer-to-peer* (P2P) sistemi
  - Strukturirani P2P sistemi (distribuirane heš tabele)
  - Nestrukturirani P2P sistemi
    - Plavljenje (engl. *flooding*)
    - Slučajne šetnje (engl. *random walks*)
  - Hijerarhijski organizovane P2P mreže (primer: Skype)
- **Hibridne organizacije**
  - Sistemi sa serverima na ivici (engl. *edge-server*)
  - Kolaborativni distribuirani sistemi (primer: BitTorrent)

Jednostavna klijent-server arhitektura

- Postoje procesi koji nude usluge (**serveri**)
- Postoje procesi koji koriste usluge (**klijenti**)
- Klijenti i serveri mogu da se nalaze na različitim mašinama
- Klijenti prate zahtev/odgovor model u odnosu na servise

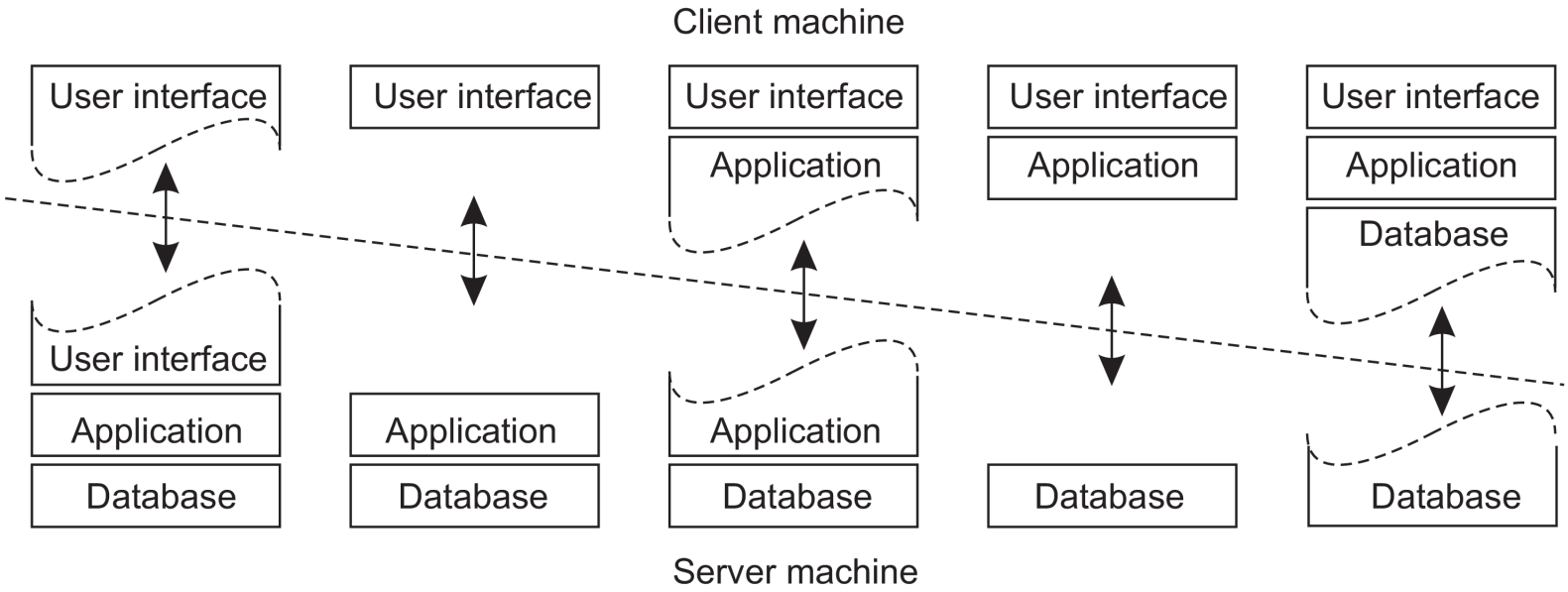


Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Višeslojne arhitekture

- Tradicionalne fizičke organizacije:
  - **Jednoslojna**: konfiguracija glupi terminal/mejnfrejm
  - **Dvoslojna**: konfiguracija klijent/jedan server
  - **Troslojna**: svaki sloj na posebnoj mašini

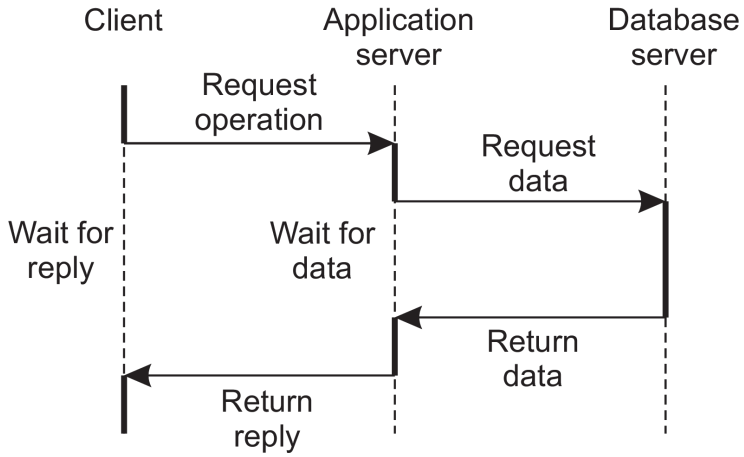
(Fizički) dvoslojna konfiguracija



Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Troslojne arhitekture

- Mašine mogu biti istovremeno i klijenti i serveri
- Primer je arhitektura za **obradu transakcija**, poseban proces (monitor za praćenje obrade transakcija) koordiniše sve transakcije koje se izvršavaju na više servera
- Primer je i **organizacija veb sajtova**. **Veb server** je ulazna tačka za sajt, prosleđuje zahteve **aplikacionom serveru** koji vrši obradu i interaguje sa **serverom baze podataka**
- Primer servera koji se ponaša kao klijent:



Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Decentralizovana organizacija

- **Vertikalna distribucija** proizilazi iz podele distribuiranih aplikacija na tri logička sloja i izvršavanja komponenti iz svakog od slojeva na drugom serveru
- **Horizontalna distribucija** omogućava da se klijent ili server mogu fizički podeliti u logički ekvivalentne delove, ali da svaki od delova radi na sopstvenom delu ukupnog skupa podataka – **peer-to-peer** (**P2P**) sistemi
- Kod **P2P arhitektura svi procesi su ravnopravni**, funkcije koje je neophodno izvršiti predstavljene su svakim od procesa, tj. svaki od procesa ponaša se istovremeno **i kao klijent i kao server** (ponaša se kao **sluga** – engl. *servant*), ključno kako organizovati procese u **prekrivajuću mrežu** (engl. *overlay network*)
- **Čvorovi** prekrivajuće mreže su **procesi**, a **potezi** predstavljaju moguće **komunikacione kanale** (koji se obično realizuju kao TCP konekcije)

Strukturirani P2P sistemi

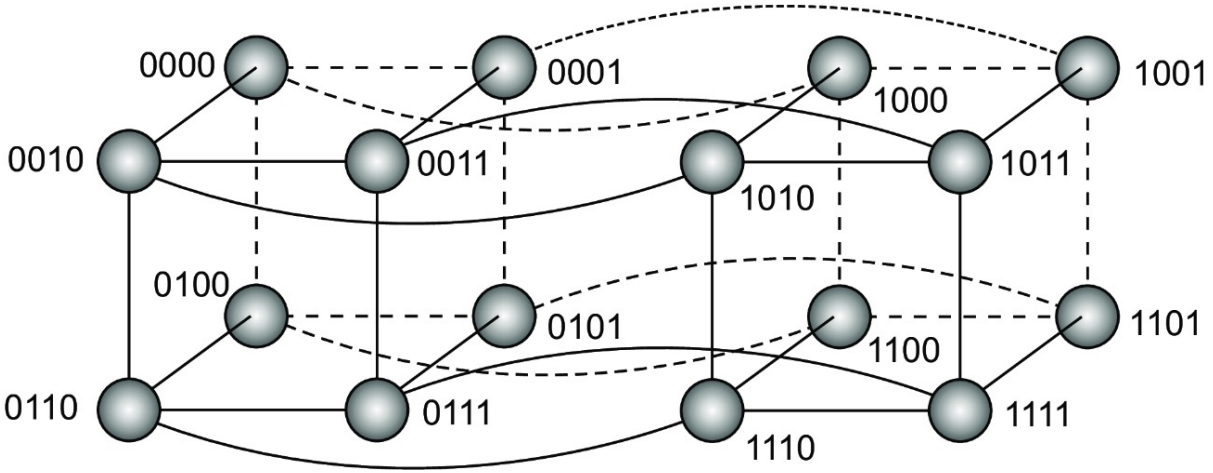
- Koriste se **semantički slobodni indeksi** (engl. *semantic-free index*): svaka od **jedinica podataka** je na **jedinstven način** pridružena **ključu**, te se koristi kao **indeks**. Obično se koriste **heš funkcije**

  ključ(*podatak*) = *heš*(*vrednost podatka*)

- **P2P sistem** je odgovoran za **čuvanje parova** (*ključ, vrednost*). Svaki od čvorova dobija identifikator iz istog skupa svih mogućih heš vrednosti i svaki od čvorova postaje odgovoran za čuvanje podatak pridruženih određenom podskupu ključeva. Sistem praktično implementira **distribuiranu heš tabelu** (engl. *distributed hash table* – DHT) – primer Chord protokol
- Ovakav P2P sistem pruža efikasnu implementaciju *lookup* funkcije koja mapira *ključ* na *postojeći čvor*: *postojeći čvor* = *lookup*(*ključ*), pri čemu topologija strukturiranog P2P sistema igra značajnu ulogu jer je neophodno efikasno rutiranje lookup zahteva do čvora odgovornog za čuvanje podataka pridruženih datom ključu

Strukturirani P2P sistemi

- Jednostavan primer: **hiperkocka** (engl. *hypercube*) – *n*-dimenzionalna kocka koja povezuje fiksni broj čvorova
- P2P sistem organizovan kao četvoro-dimenzionalna hiperkocka:



- Traženje *d* sa ključem $k \in \{0, 1, 2, \ldots, 2^4 - 1\}$ podrazumeva rutiranje zahteva čvoru sa identifikatorom *k*

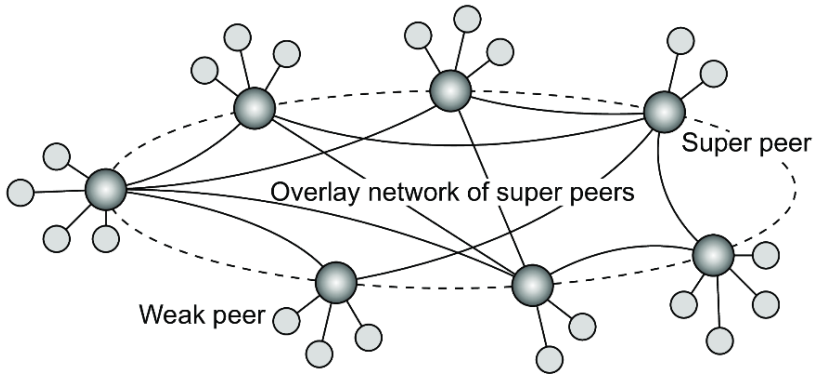
Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Nestrukturirani P2P sistemi

- Svaki od čvorova održava **ad hoc listu suseda**. Rezultujuće prekrivanje podseća na **slučajni graf** (engl. *random graph*), **poteg** $\langle u, v \rangle$ postoji samo **sa određenom verovatnoćom** $\mathrm{P}[\langle u, v \rangle]$. U idealnom slučaju ova verovatnoća je jednaka za sve parove čvorova, ali u praksi se nalazi širok spektar distribucija
- Traženje podataka ne može ići unapred određenom rutom kao kod strukturiranih P2P, već moramo vršiti **pretragu**:
  - **Plavljenjem** (engl. *flooding*): čvor *u* predaje zahtev *d* svim susedima. Zahtev se ignoriše od strane primajućeg čvor ako ga je već video ranije. U suprotnom, *v* traži lokalno *d* (rekurzivno)
  - **Slučajnom šetnjom** (engl. *random walk*): čvor *u* predaje zahtev *d* slučajno izabranom susedu *v*. Ako *v* ne poseduje *d*, prosleđuje zahtev jednom od svojih slučajno izabranih suseda i tako redom
- **Slučajna šetnja** je **komunikaciono efikasnija**, ali joj može trebati **više vremena** da **pronađe rezultat**

Hijerarhijski organizovane P2P mreže

- Ponekad ima smisla razbiti simetriju u P2P mrežama:
  - Kada pretražujemo u nestrukturiranim P2P mrežama, **indeks serveri** značajno unapređuju performanse
  - Odluka o tome gde treba čuvati podatke može se efikasnije doneti primenom **brokera**
- Uvode se posebni čvorovi – **super peerovi**, koji održavaju indeks podataka ili se ponašaju kao brokeri
- U ovakvoj organizaciji, svaki od **slabih peerova** (engl. *weak peers*) povezuje se kao klijent na super peer



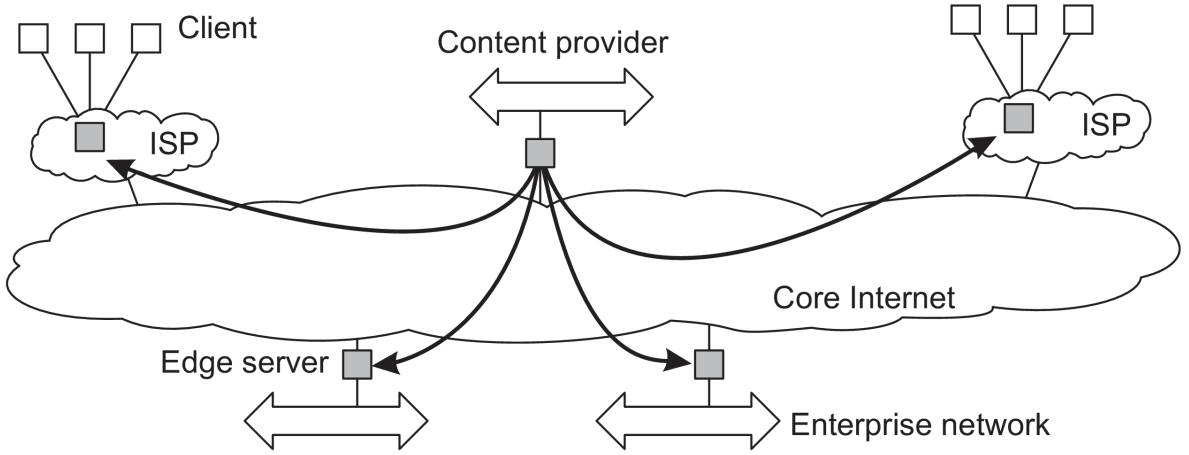
Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Primer: Skype VOIP mreža

- Postoji dodatni centralizovani Skype login server, super peer-ovi su Skype super čvorovi
- Kada A želi da kontaktira B preko Skype-a:
  - Ako su A i B na javnom Internetu
    - Uspostavlja se TCP konekcija za kontrolne pakete između A i B
    - Sam poziv se realizuje putem UDP paketa između dogovorenih portova
  - Ako se A nalazi iza firewall-a, a B je na javnom Internetu
    - A uspostavlja TCP konekciju (za kontrolne pakete) ka super peer-u S
    - S uspostavlja TCP konkeciju (za preusmeravanje kontrolnih paketa) ka B
    - Sam poziv se realizuje putem UDP paketa između dogovorenih portova
  - Ako se i A i B nalaze iza firewall-a
    - A se povezuje na onlajn super peer S putem TCP
    - S uspostavlja TCP konekciju ka B
    - Za sam poziv, drugi super peer se kontaktira kako bi radio kao relej R: A uspostavlja konekciju ka R, kao i B
    - Sav video saobraćaj se prosleđuje preko dve TCP konekcije putem R

Hibridne organizacije

- **Sistemi sa serverima na ivici** (engl. *edge-server systems*) su sistemi povezani na Internet pri čemu se serveri nalaze na ivici mreže, tj. na granici između poslovne (engl. *enterprise*) mreže i samog Interneta koju npr. pružaju Internet servis provajderi (ISP)
- Klijenti se povezuju na Internet putem edge servera čija je glavna uloga da pruža sadržaje, eventualno nakon primene funkcija filtriranja i transkodiranja
- Pogled na Internet kao kolekciju edge servera:



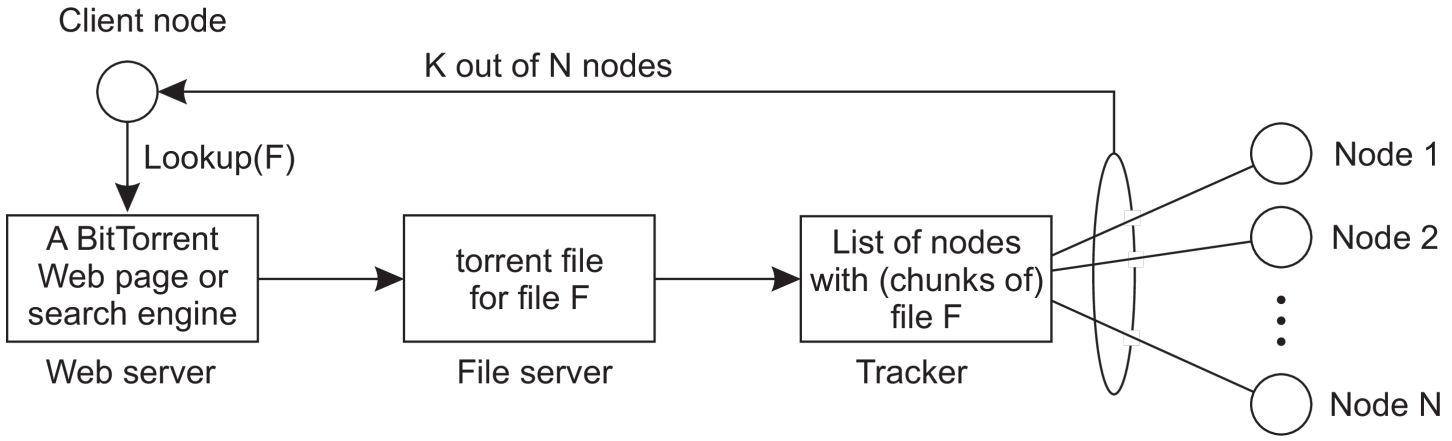
Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Hibridne organizacije

- Kod **kolaborativnih distribuiranih sistema** tipično se koristi klasični klijent-server pristup kako bi se uspostavila komunikacija, ali čim se čvor priključi sistemu uspostavlja se potpuno decentralizovana šema za saradnju
- Tipičan primer je **BitTorrent sistem za deljenje fajlova**
  - Glavna ideja je da kada korisnik traži neki fajl, on preuzima komade (engl. *chunks*) fajla od drugih korisnika dok god se od preuzetih komada ne može sastaviti kompletan fajl
  - Kako bi se sprečila slobodna vožnja (engl. *free riding*), kod BitTorrent-a se fajl može preuzimati samo kada klijent i pruža sadržaj nekom drugom
  - U implementaciji BitTorrent-a, čvor se može pridružiti i posebnom strukturiranom P2P sistemu u vidu DHT koji pomaže u praćenju preuzimanja fajla. Pri tome se opterećenje centralnog pratioca distribuira na uključene čvorove

Primer: BitTorrent

- Princip: traženje fajla *F*
  - fajl se traži u globalnom direktorijumu koji potom vraća odgovarajući **torrent fajl**
  - torrent fajl sadrži reference ka **pratiocu** (engl. *tracker*) koji predstavlja server koji održava tačan spisak aktivnih čvorova koji imaju (delove) *F*
  - *P* može da se pridruži roju (engl. *swarm*), dobije komad besplatno i potom zameni kopiju tog komada sa peerom *Q*, koji se takođe nalazi u roju, za neki drugi



Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/

Primer: BitTorrent

- Glavni detalji rada:
  - **Pratilac** za fajl *F* vraća skup svih njegovih procesa za preuzimanje – aktuelni **roj**
  - *A* komunicira samo sa **podskupom roja**: **skupom suseda N_A**
  - Ako je $B \in N_A$ tada je i $A \in N_B$
  - Skupovi suseda se redovno ažuriraju od strane pratioca
- Blokovi za razmenu:
  - Fajl se deli u komade iste veličine (tipično 256 KB)
  - Peerovi razmenjuju blokove komada, tipično 16 KB
  - *A* može da pošalje blok *d* komada *D*, samo ako ima komad *D*
  - Sused *B* pripada **potencijalnom skupu P_A, ako *B* ima blok koji je potreban A**
  - Ako je $B \in P_A$ i $A \in P_B$, onda su *A* i *B* u poziciji da zamene blok

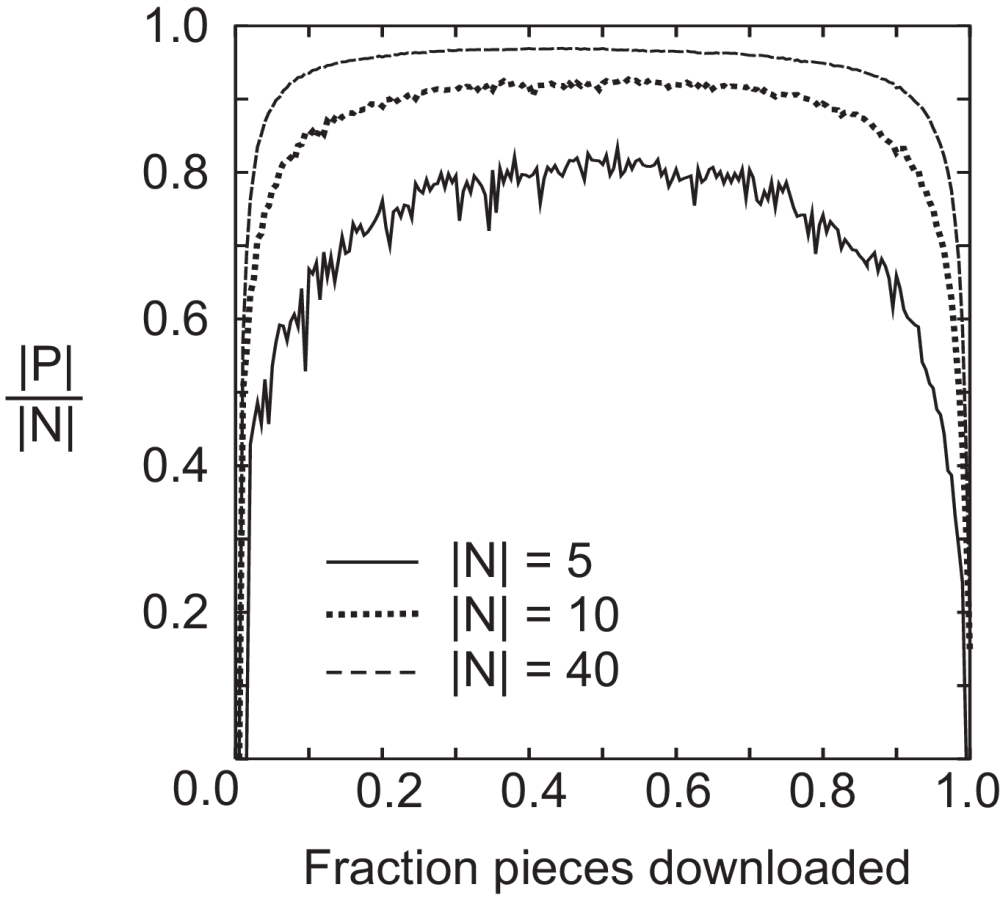
Primer: BitTorrent

- Tri faze rada:

1. **Faza podizanja** (engl. *bootstrap*)
   - *A* je upravo dobio prvi komad (kroz mehanizam optimističnog odglavljivanja (engl. *unchoking*) kojim čvor iz N_A nesebično pruža blokove komada novopridošlom čvoru kako bi mu omogućio da se pokrene), čime može da počne sa trgovinom
2. **Faza trgovine** (engl. *trading*)
   - U ovoj fazi je $|P_A| > 0$ što znači da uvek postoji peer sa kojim *A* može da razmenjuje blokove. U praksi je u ovoj fazi preuzimanje fajla jako efikasno
3. **Faza poslednjeg preuzimanja** (engl. *last download*)
   - $|P_A| = 0$ zbog čega *A* zavisi od novopridošlih peer-ova u N_A kako bi dobio poslednje nedostajuće komade. N_A se može promeniti samo od strane pratioca

Primer: BitTorrent

- Razvoj potencijalnog skupa veličina $|P|$ u odnosu na veličinu susedstva $|N|$:



Izvor: https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/