Distribuirani sistemi

Pojam distribuiranog sistema

- **Distribuirani sistem** je **skup nezavisnih računara** koji svojim **korisnicima izgleda kao jedinstven koherentan sistem**
  - Softver obezbeđuje da računari koji komuniciraju preko komunikacione mreže rade kao jedan sistem
  - Distribuirani sistem integriše razne aplikacije koje se izvršavaju na različitim računarima u jedan sistem
- Karakteristična svojstva:
  - Autonomni procesni elementi, poznati i kao **čvorovi** (engl. nodes), mogu biti hardverski uređaji ili softverski procesi
  - Jedinstven koherentan sistem: korisnici ili aplikacije imaju **doživljaj jedinstvenog sistema** ⇒ neophodna **saradnja čvorova**

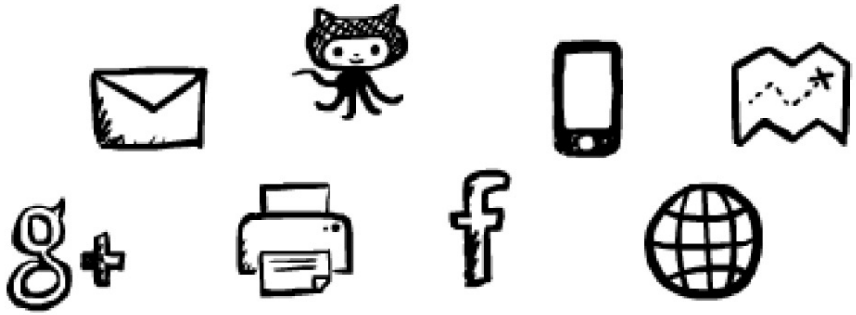
"The Internet was done so well that most people think of it as a natural resource like the Pacific Ocean, rather than something that was man-made. When was the last time a technology with a scale like that was so error-free? The Web, in comparison, is a joke. The Web was done by amateurs."

Alan Kay (1940-)

Izvor: http://www.drdobbs.com/architecture-and-design/interview-with-alan-kay/240003442

Primeri distribuiranih sistema

- Internet – razmena informacija
- Blokčejn – razmena vrednosti
- Računarstvo u oblaku (engl. *cloud computing*)
- Distribuirani fajl sistemi i skladišta podataka (Dropbox, Gdrive, IPFS)
- Takođe: mejl serveri, GPS, ATM, telefonija, senzorske mreže, git...



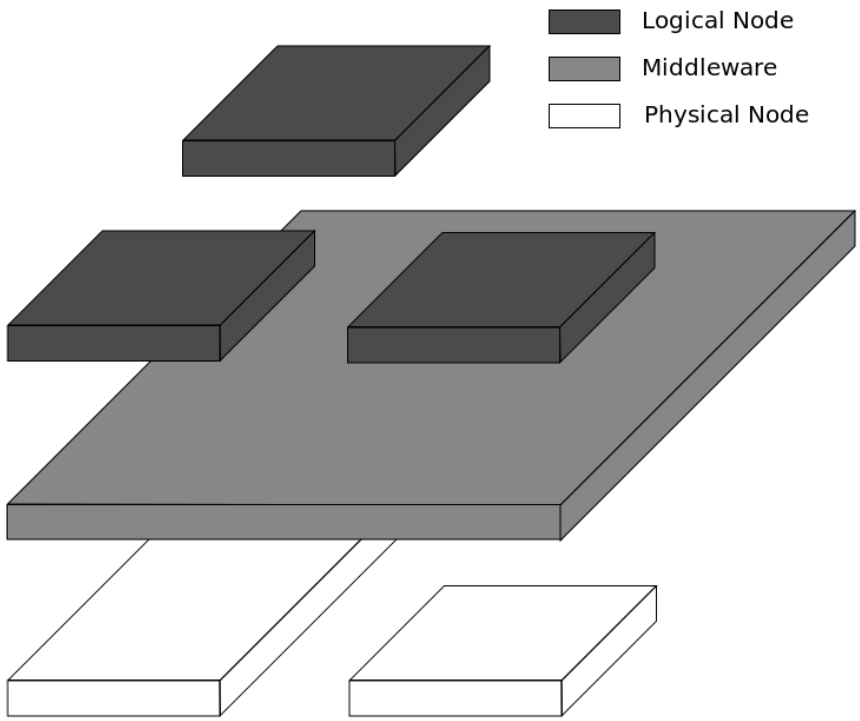
Izvor: http://www.csnedelja.mg.edu.rs/static/resources/v3.0/pet1_distribuirani_nj.pdf

Osobine distribuiranih sistema

- Tri glavne karakteristike distribuiranih sistema:
  - **konkurentnost komponenti** (engl. *concurrency*)
    - U distribuiranom sistemu je dozvoljeno da više klijenata istovremeno pristupi istom resursu
  - **nepostojanje globalnog sata** (engl. *global clock*)
    - Komunikacija se zasniva samo na slanju poruka putem mreže
  - **nezavisan otkaz komponenti** (engl. *independent failures*)
    - Otkaz pojedinačnih komponenti neće uticati na rad sistema

Midlver (engl. *middleware*)

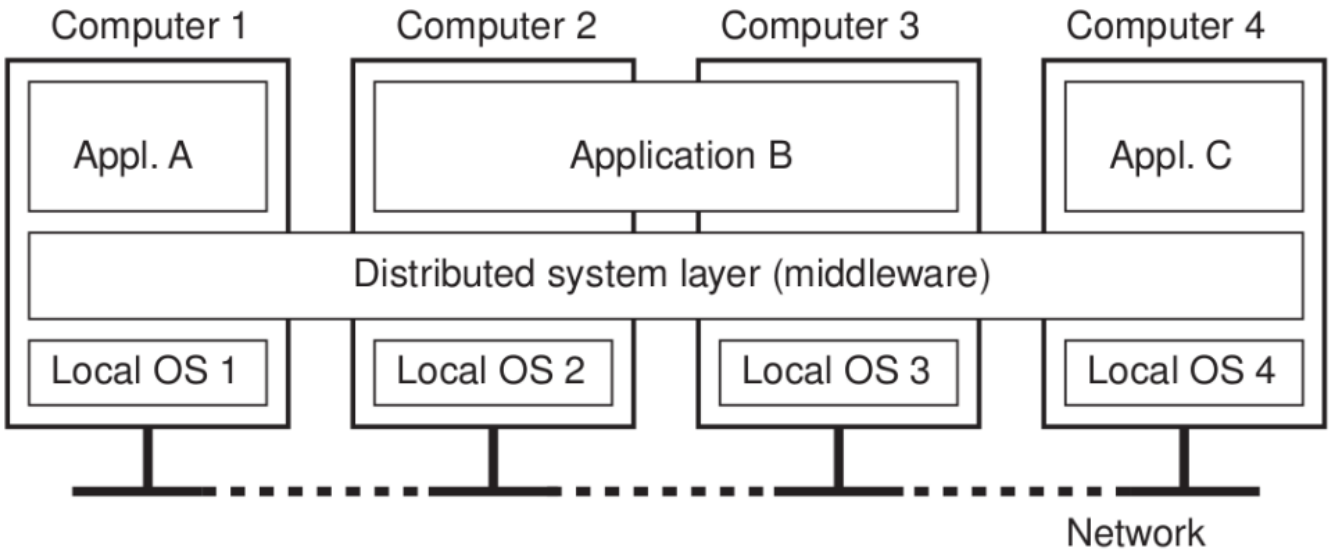
- Midlver je operativni sistem distribuiranih sistema
- Sadrži protokole, tj. najčešće korišćene komponente i funkcije i pruža svim aplikacijama jedinstven interfejs – softverski lepak



Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Middleware

Prednosti distribuiranih sistema

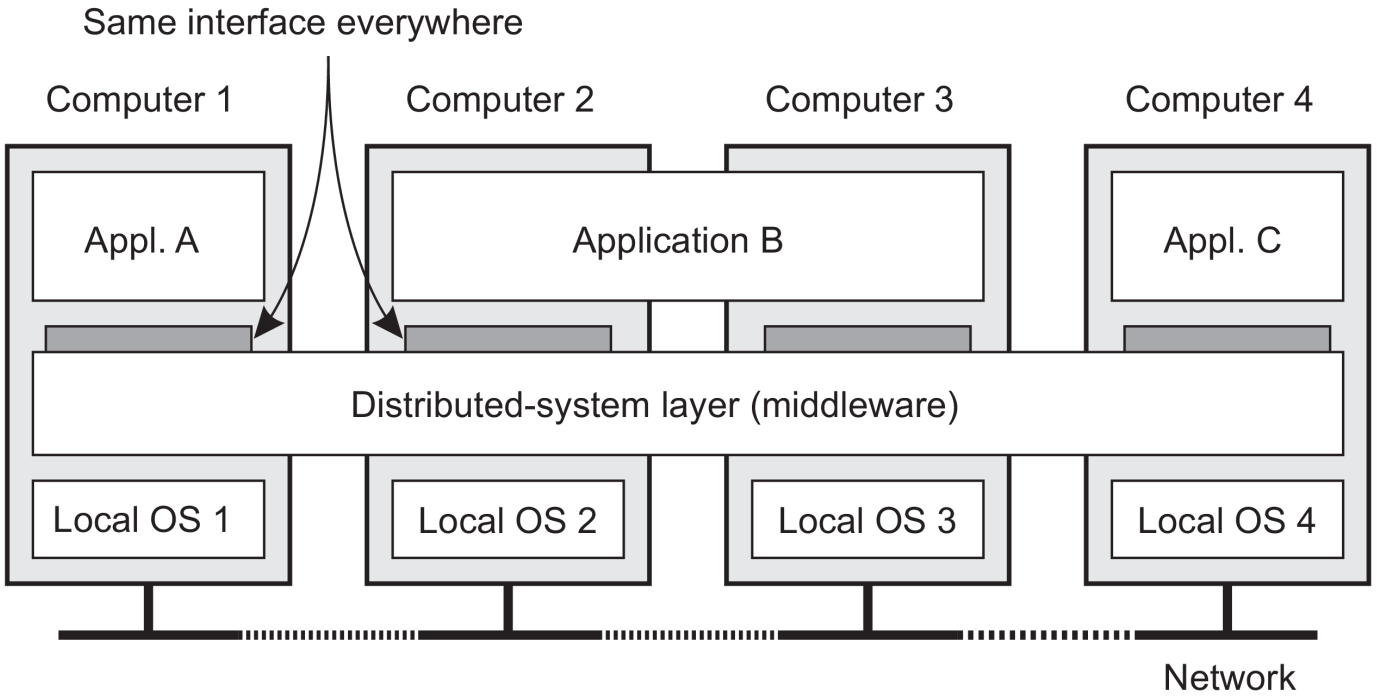
- **Razlike među računarima** i **način komunikacije sakriveni** su od korisnika
- Korisnici i aplikacije **interaguju** sa distribuiranim sistemom **na konzistentan i jednobrazan način** bez obzira na mesto i vreme interakcije



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

Prednosti distribuiranih sistema

- Lako se proširuju
- Podržavaju heterogene računare i mreže
  - Midlver sloj se prostire na više mašina i svim aplikacijama nudi isti interfejs, posreduje u povezivanju aplikacija – softverska magistrala



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

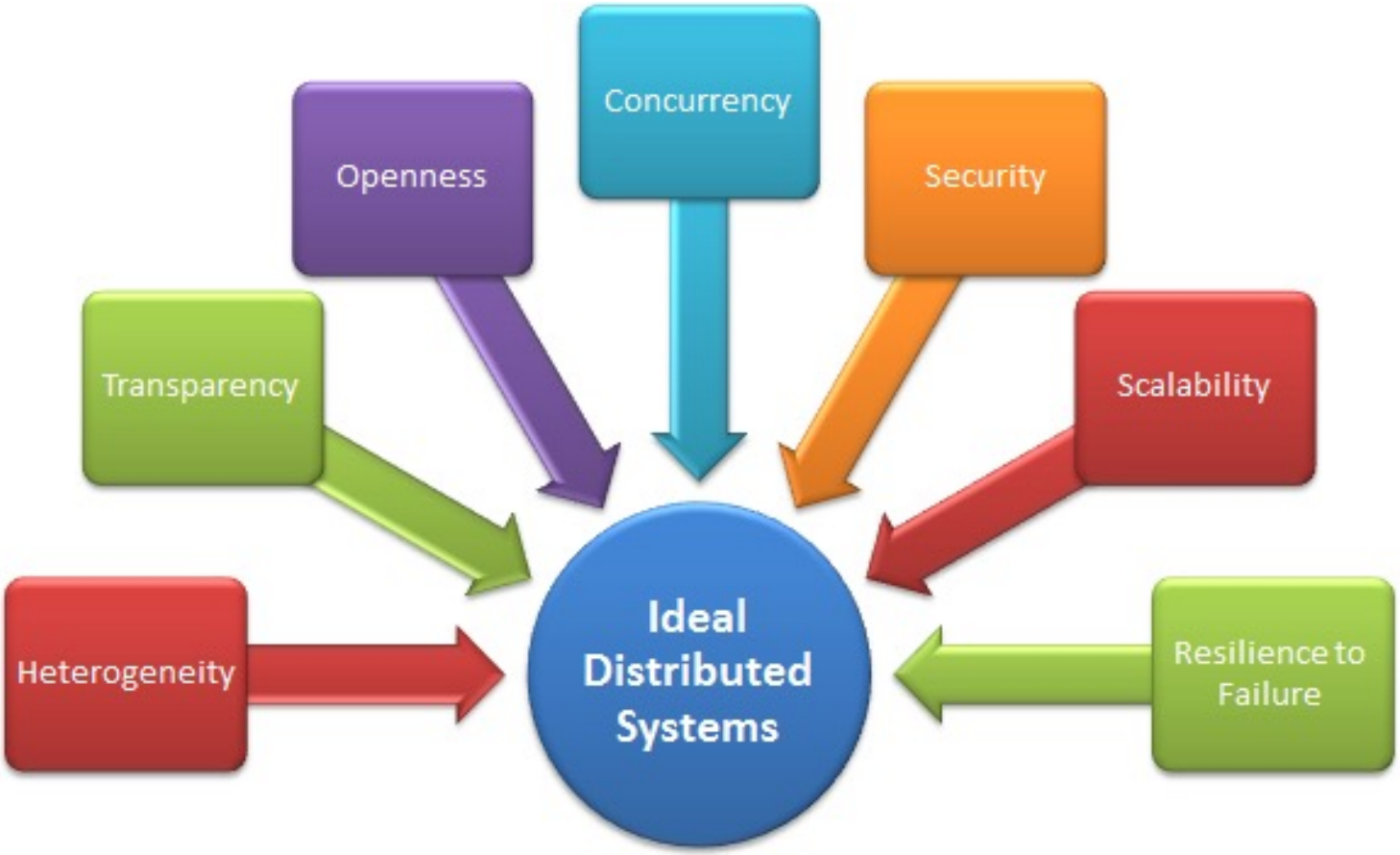
Nedostaci distribuiranih sistema

- U odnosu na centralizovane sisteme:
  - Softver je veoma složen
  - Umanjene su performanse zadataka koji se mogu obaviti na jednom računaru (zbog trajanja komunikacije)
  - Može biti smanjena je bezbednost sistema

Ciljevi razvoja distribuiranih sistema

1. Podržati **deljenje resursa**
   - Omogućiti korisnicima da lako pristupaju i dele udaljene resurse
   - Resursi mogu biti periferije, memorijski medijumi, podaci, fajlovi, servisi, mreže, itd.
   - Olakšavaju saradnju i razmenu informacija – npr. Internet
2. Učiniti **distribuiranost neprimetnom**
   - Cilj je učiniti distribuiranost procesa i resursa neprimetnim, tj. nevidljivim za krajnje korisnike i aplikacije
3. Učiniti sistem **otvorenim**
   - Sistem nudi komponente koja se lako koriste od i integrišu u druge sisteme, interoperabilnost, proširivost, odvajanje pravila od mehanizama
4. Omogućiti **skalabilnost** sistema

Osobine idealnog distribuiranog sistema



Izvor: http://www.ejbtutorial.com/distributed-systems/challenges-for-a-distributed-system

Transparentnost

- **Sakriti distribuiranost procesa i resursa**
  - Pristup – sakriti razlike u reprezentaciji podataka i kako se pristupa resursu
  - Lokacija – sakriti gde se resurs nalazi
  - Migracija – sakriti da se resurs može prebaciti na drugu lokaciju
  - Relokacija – sakriti da se resurs može prebaciti na drugu lokaciju dok je u upotrebi
  - Replikacija – sakriti da se resurs može kopirati na više mesta
  - Konkurentnost – sakriti da se resurs može takmičiti više korisnika
  - Greške – sakriti otkaz i oporavak resursa
  - Perzistentnost – sakriti da je resurs u memoriji ili na disku

Otvorenost

- Omogućiti interakciju sa servisima iz drugih otvorenih sistema, nezavisno od okruženja:
  - Sistemi treba da su **usaglašeni sa dobro definisanim interfejsima**
  - Sistemi treba da **lako međusobno sarađuju**
  - Sistemi treba da podrže **prenosivost aplikacija**
  - Sistemi treba da budu **lako proširivi**
- Implementacija otvorenosti – pravila:
  - Koji nivo konzistentnosti se traži za podatke koji se keširaju na klijentu?
  - Koje operacije dozvoljavamo da izvršava preuzeti programski kod?
  - Koje zahteve po pitanju kvaliteta usluge podešavamo kada se suočavamo sa promenljivim propusnim opsegom?
  - Koje nivo tajnosti zahteva komunikacija?
- Implementacija otvorenosti – mehanizmi:
  - Dozvoliti (dinamičko) podešavanje pravila keširanja
  - Podržati različite nivoe poverenja za programski kod
  - Pružiti podesive parametre kvaliteta usluge (engl. *Quality of service* – QoS) na nivou pojedinačnih tokova podataka (engl. *data stream*)
  - Ponuditi različite enkripcione algoritme

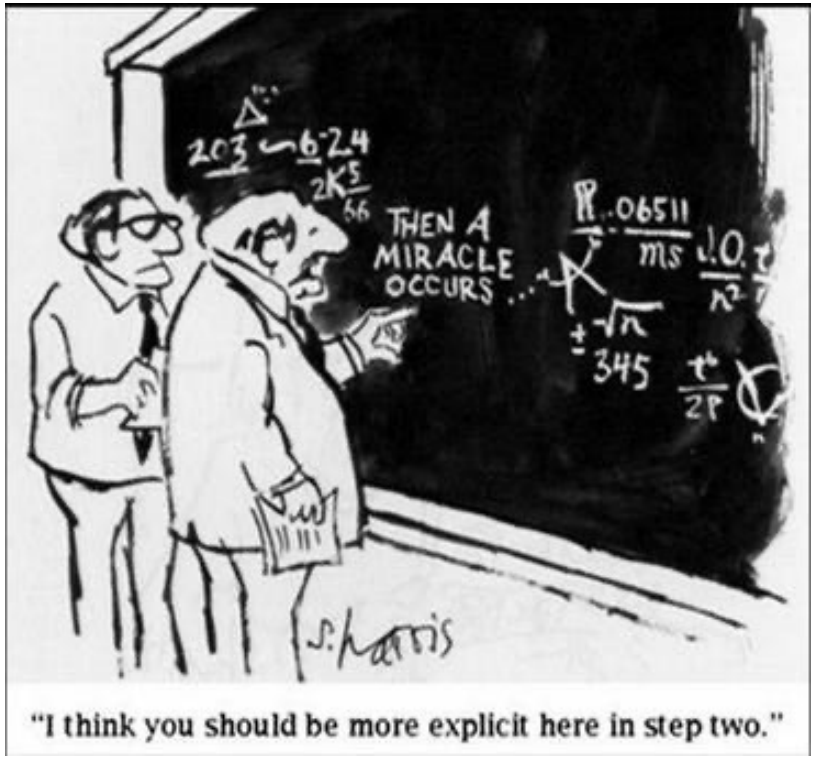
Skalabilnost

- Za mnoge moderne distribuirane sisteme olako se koristi pridev "skalabilni" bez jasnog objašnjenja zašto se sistem smatra skalabilnim
- Skalabilnost se može meriti po najmanje tri osnova:
  - **Skalabilnost veličine** (engl. *size scalability*) : broj korisnika i/ili procesa
  - **Geografska skalabilnost** (engl. *geographical scalability*): maksimalna udaljenost između čvorova
  - **Administrativna skalabilnost** (engl. *administrative scalability*): broj administrativnih domena
- Većina sistema se, u određenoj meri, nose sa skalabilnošću veličine.
  - Tipično rešenje: više moćnih servera koji rade nezavisno i paralelno. Danas je glavni izazov u omogućavanju geografske i administrativne skalabilnosti

Pogrešne pretpostavke (engl. *pitfalls*)

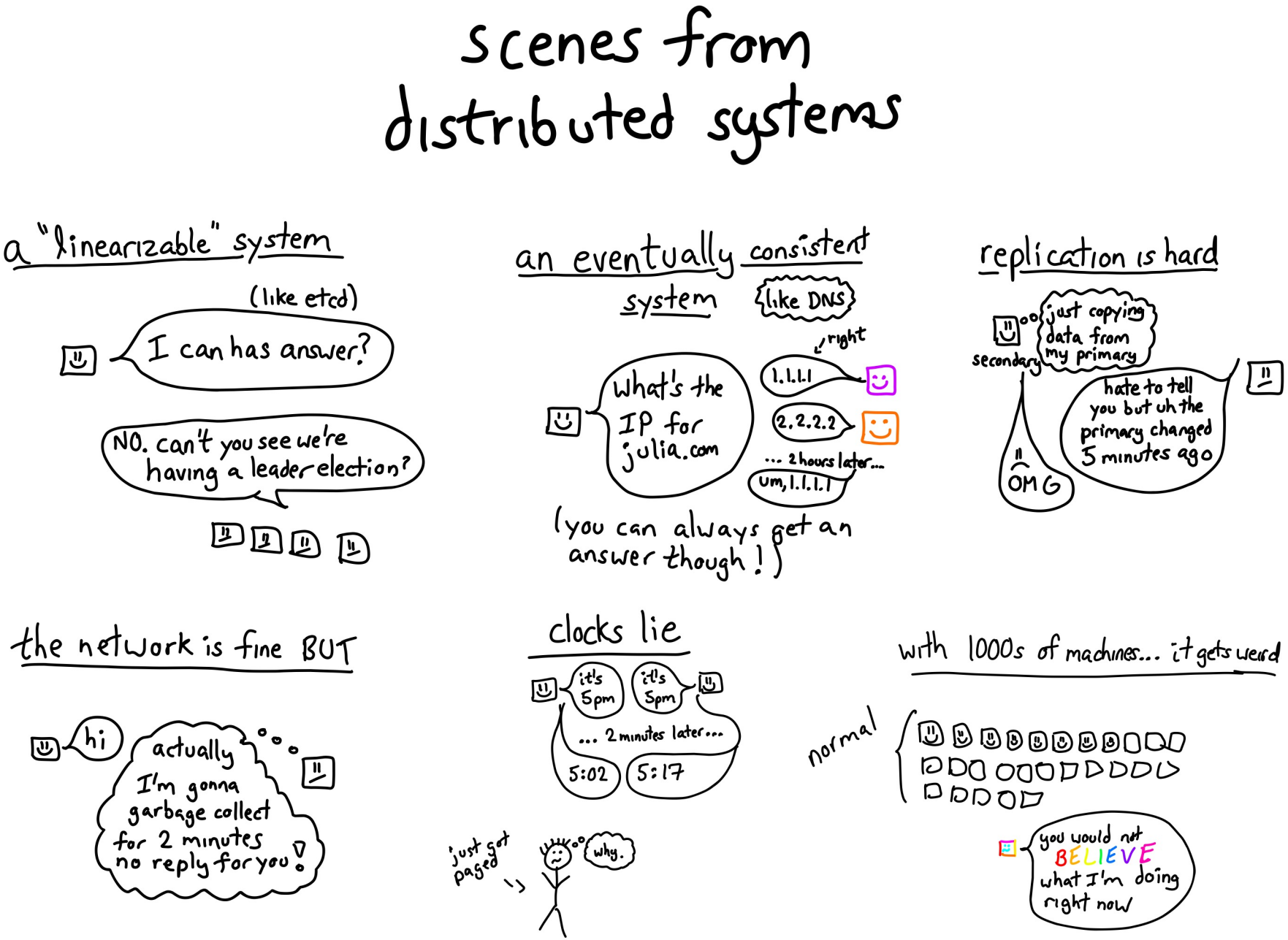
Mnogi distribuirani sistemi su nepotrebno kompleksni usled grešaka koje zahtevaju naknadne ispravke. Prema Deutsch-u, u česte pogrešne pretpostavke spadaju:

- Mreža je pouzdana
- Mreža je sigurna
- Topologija se ne menja
- Ne postoji kašnjenje
- Protok je beskonačan
- Cena transporta je nula
- Postoji jedan administrator
- Mreža je homogena



"I think you should be more explicit here in step two."

Izvor: http://www.stufffundieslike.com/2011/05/the-false-premise/



Izvor: https://drawings.jvns.ca/distributed-systems/

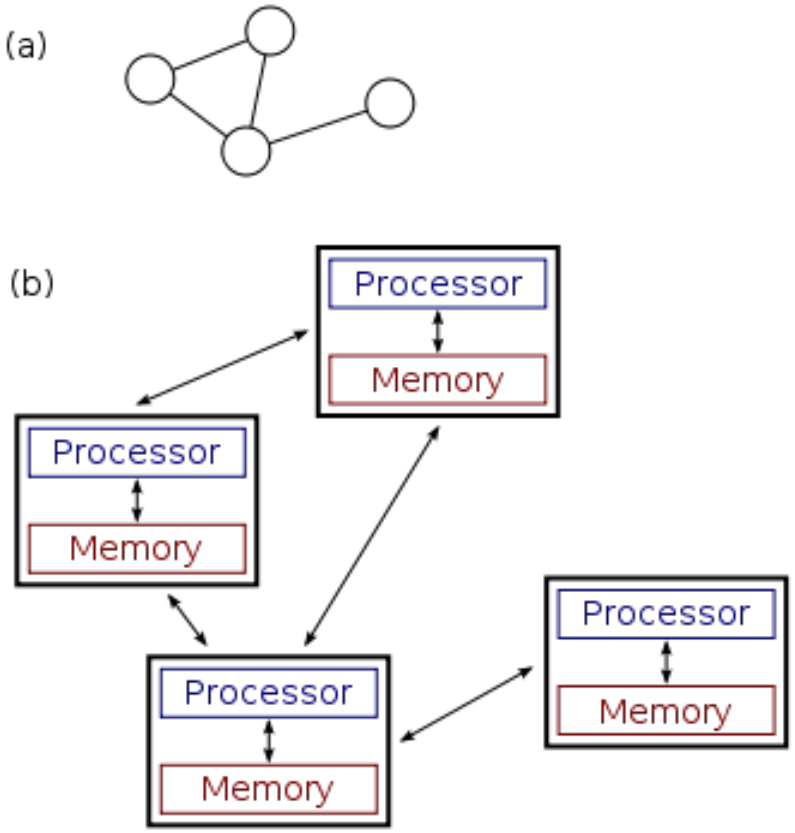
Klase distribuiranih sistema

Tipovi paralelnih i distribuiranih sistema

- **Sistemi sa deljenom memorijom** (engl. *shared memory*)
  - Teže se implementiraju u hardveru
  - Lakše se programiraju
  - Neki autori ih posmatraju **samo kao paralelne sisteme**
- **Sistemi sa slanjem poruka** (engl. *message passing*)
  - Lakše se implementiraju u hardveru
  - Teže se programiraju

Tipovi arhitektura sistema

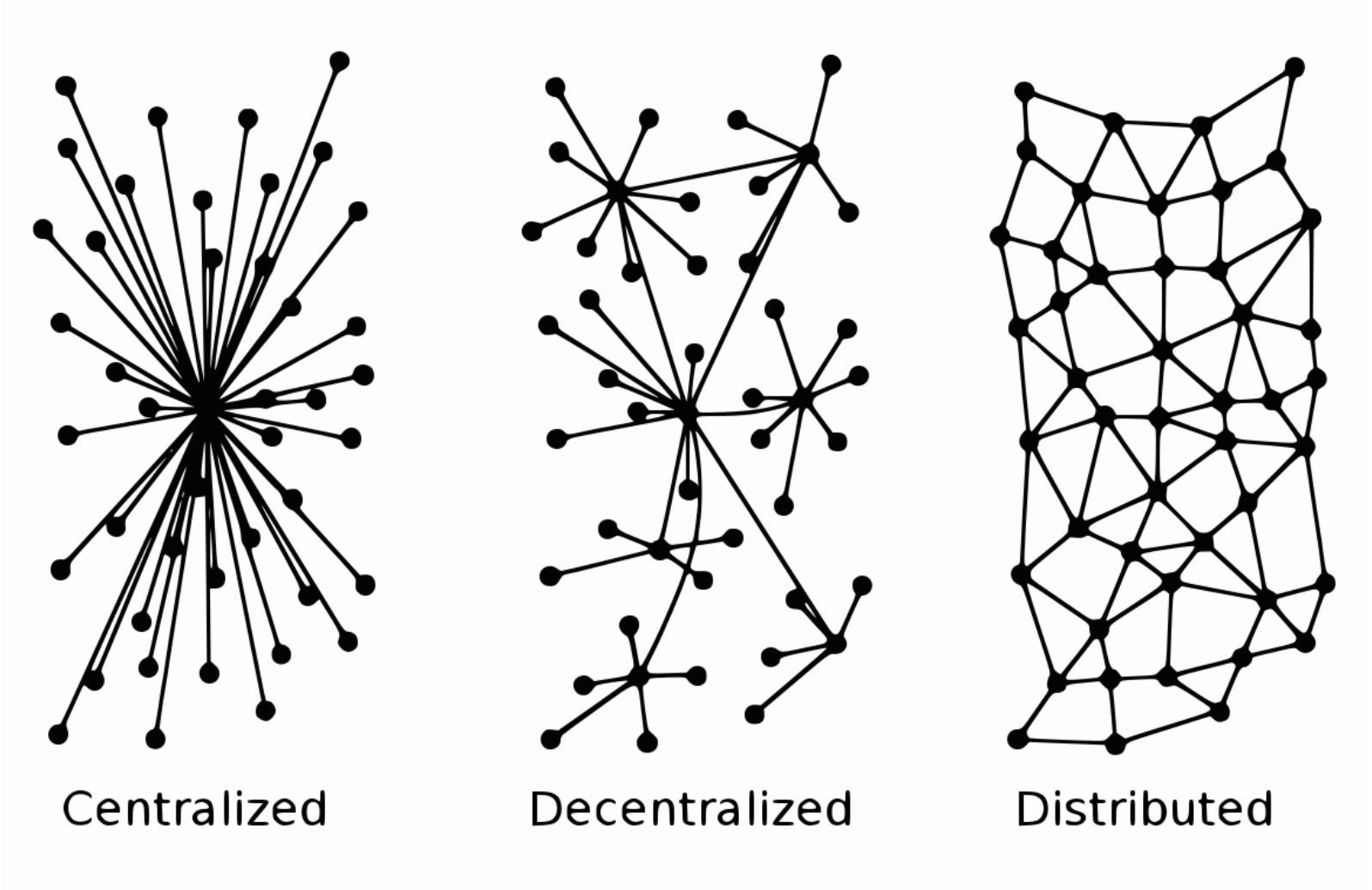
Slanje poruka



Deljena memorija

Izvor: http://cs312.osuosl.org/slides/22_distributed_systems.html#1

Organizacija sistema



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

Formalni opis konkurentnih sistema

- CSP (engl. *Communicating Sequential Processes*) – Tony Hoare 1978.
  - **Formalni jezik** za **opis obrazaca interakcije** u **konkurentnim sistemima**
  - Vrsta procesne algebra (računa) bazirana na slanju poruka putem kanala
  - Primenjen za specifikaciju i verifikaciju konkurentnih aspekata bezbedonosno-kritičnih sistema, implementiran u jeziku Go
  - Opis dozvoljenih kombinacija procesa i događaja u BNF notaciji:

$$
\begin{array}{lcll}
Proc & ::= & STOP & \\
 & | & SKIP & \\
 & | & e \rightarrow Proc & \text{(prefixing)} \\
 & | & Proc \,\Box\, Proc & \text{(external choice)} \\
 & | & Proc \,\sqcap\, Proc & \text{(nondeterministic choice)} \\
 & | & Proc \,|||\, Proc & \text{(interleaving)} \\
 & | & Proc \,[|\{X\}|]\, Proc & \text{(interface parallel)} \\
 & | & Proc \setminus X & \text{(hiding)} \\
 & | & Proc; Proc & \text{(sequential composition)} \\
 & | & \text{if } b \text{ then } Proc \text{ else } Proc & \text{(boolean conditional)} \\
 & | & Proc \,\triangleright\, Proc & \text{(timeout)} \\
 & | & Proc \,\triangle\, Proc & \text{(interrupt)}
\end{array}
$$

Formalni opis konkurentnih sistema

- CCS (*Calculus of Communicating Systems*) – Robin Milner 1980.
  - Formalni jezik uključuje primitive za paralelno slaganje, izbor između akcija i ograničavanje opsega
- Pi-calculus (račun) – Robin Milner, Tjuring kompletan model
  - Dozvoljava da kanali međusobno šalju svoja imena, na ovaj način omogućava opis konkurentnih izračunavanja u kojima konfiguracija mreže može da se menja tokom izvršavanja
  - U BNF notaciji:

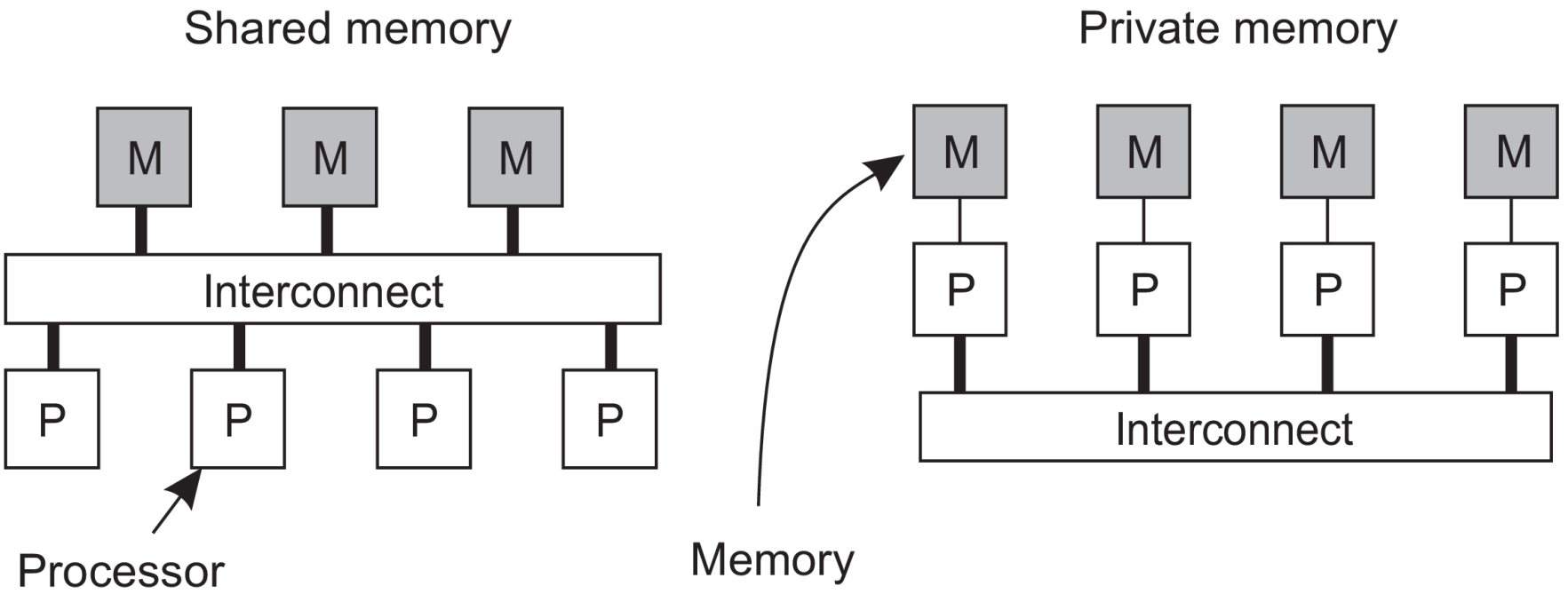
$$
\begin{aligned}
P, Q, R ::= {} & x(y).\,P && \text{Receive on channel } x\text{, bind the result to } y\text{, then run } P \\
\mid {} & \overline{x}\langle y\rangle.\,P && \text{Send the value } y \text{ over channel } x\text{, then run } P \\
\mid {} & P|Q && \text{Run } P \text{ and } Q \text{ simultaneously} \\
\mid {} & (\nu x)P && \text{Create a new channel } x \text{ and run } P \\
\mid {} & !P && \text{Repeatedly spawn copies of } P \\
\mid {} & 0 && \text{Terminate the process}
\end{aligned}
$$

Klase distribuiranih sistema

- **Distribuirani računarski sistemi (visokih performansi)** (engl. *high performance distributed computing systems*)
  - Klasteri
  - Grid računarstvo
  - Računarstvo u oblaku (engl. *cloud computing*)
- **Distribuirani informacioni sistemi** (engl. *distributed information systems*)
- **(Distribuirani sistemi za) prožimajuće računarstvo** (engl. *distributed systems for pervasive computing*)

Paralelno računarstvo

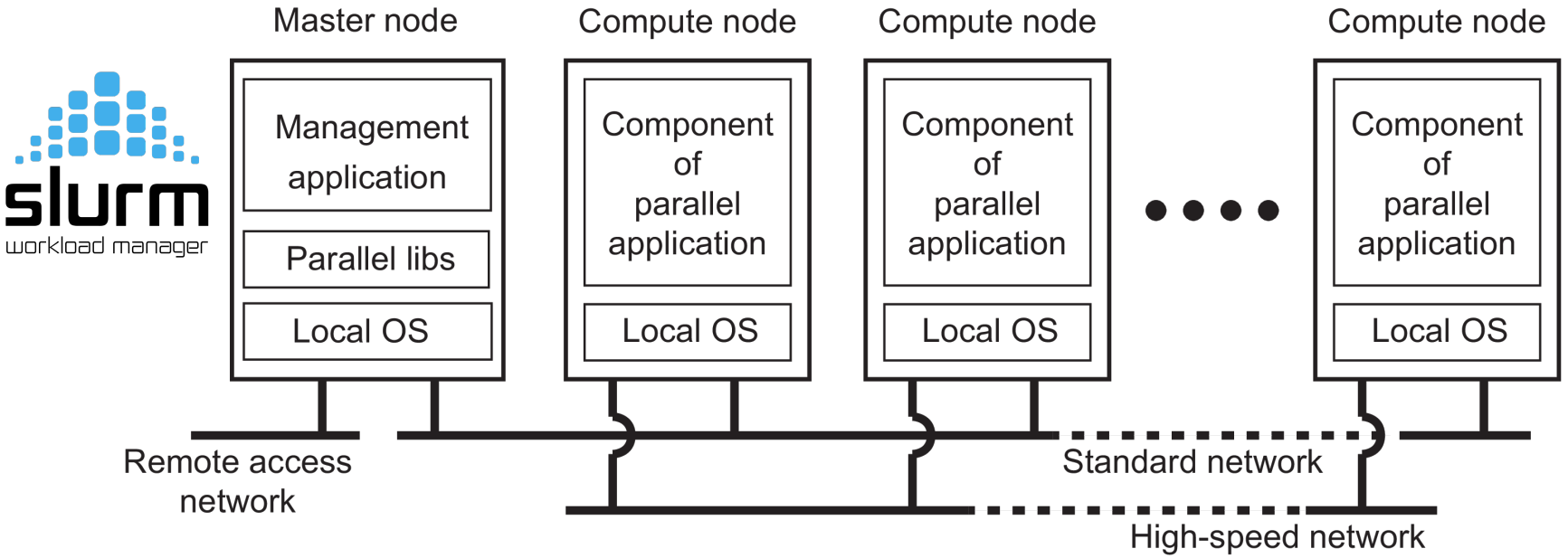
- Računarski sistemi visokih performansi nastali su kao paralelni multiprocesorski računari
- Multiprocesor/višejezgarni procesor naspram multiračunara



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

Klasteri

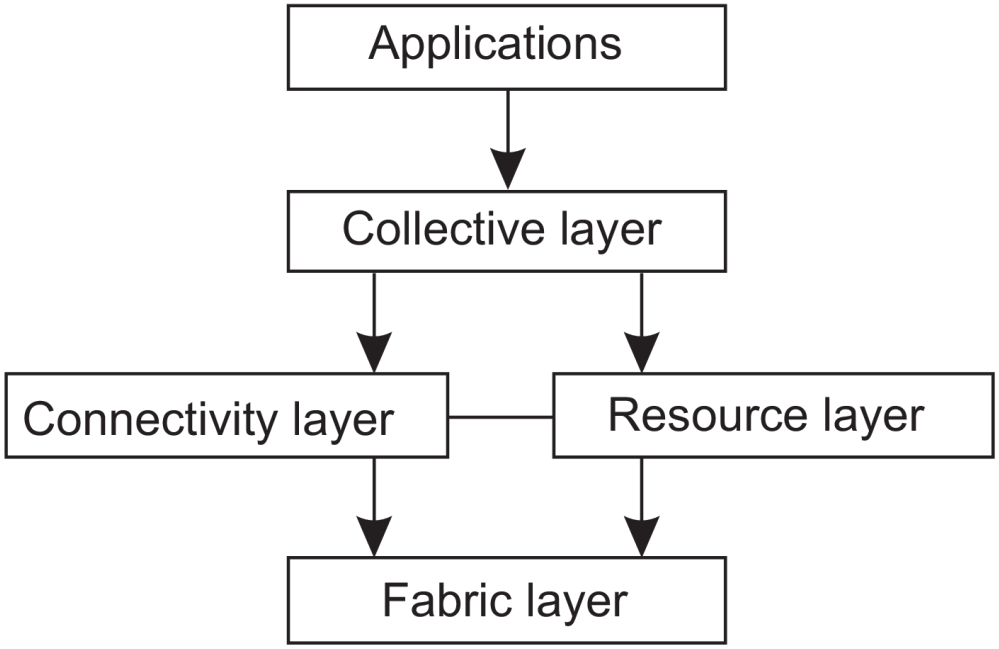
- U suštini skup "klasičnih" računara visokih performansi povezanih putem LAN (engl. *Local Area Network*)
  - Homogen: isti operativni sistem, skoro identičan hardver
  - Jedan upravljački čvor



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

Grid računarstvo

- Viši stepen distribuiranosti – puno čvorova na raznim lokacijama
  - Heterogeni, razmešteni u okviru više organizacija, povezani WAN
  - Koriste virtuelne organizacije (grupisanje korisnika) kako bi upravljali autorizacijom dodele resursa



Slojevi u grid računarstvu

Fabric: pruža interfejse ka lokalnim resursima (radi upita stanja i mogućnosti, zaključavanja resursa, itd.)

Connectivity: komunikaciono/transakcioni protokoli, npr. za prenos podataka između resursa. Uključuje različite autentifikacione protokole

Resource: upravlja jednim resursom, kao što je kreiranje procesa ili čitanje podataka

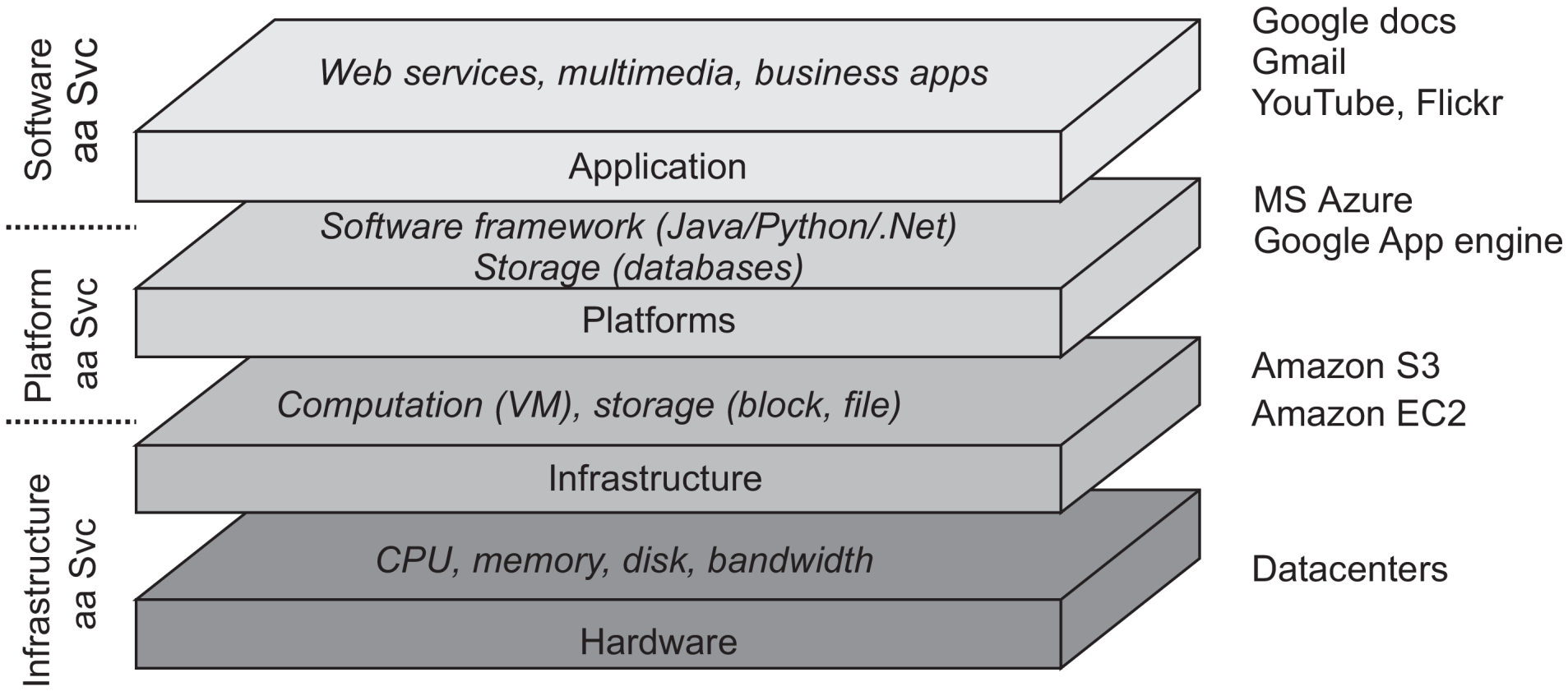
Collective: upravlja pristupom ka više resursa: otkrivanje, planiranje, replikacija

Application: sadrži same grid aplikacije u jednoj organizaciji.

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

Računarstvo u oblaku

- Utility computing – klijent šalje posao u data centar, plaća prema resursima
- Pruža lako upotrebljiv i dostupan skup virtuelizovanih resursa



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

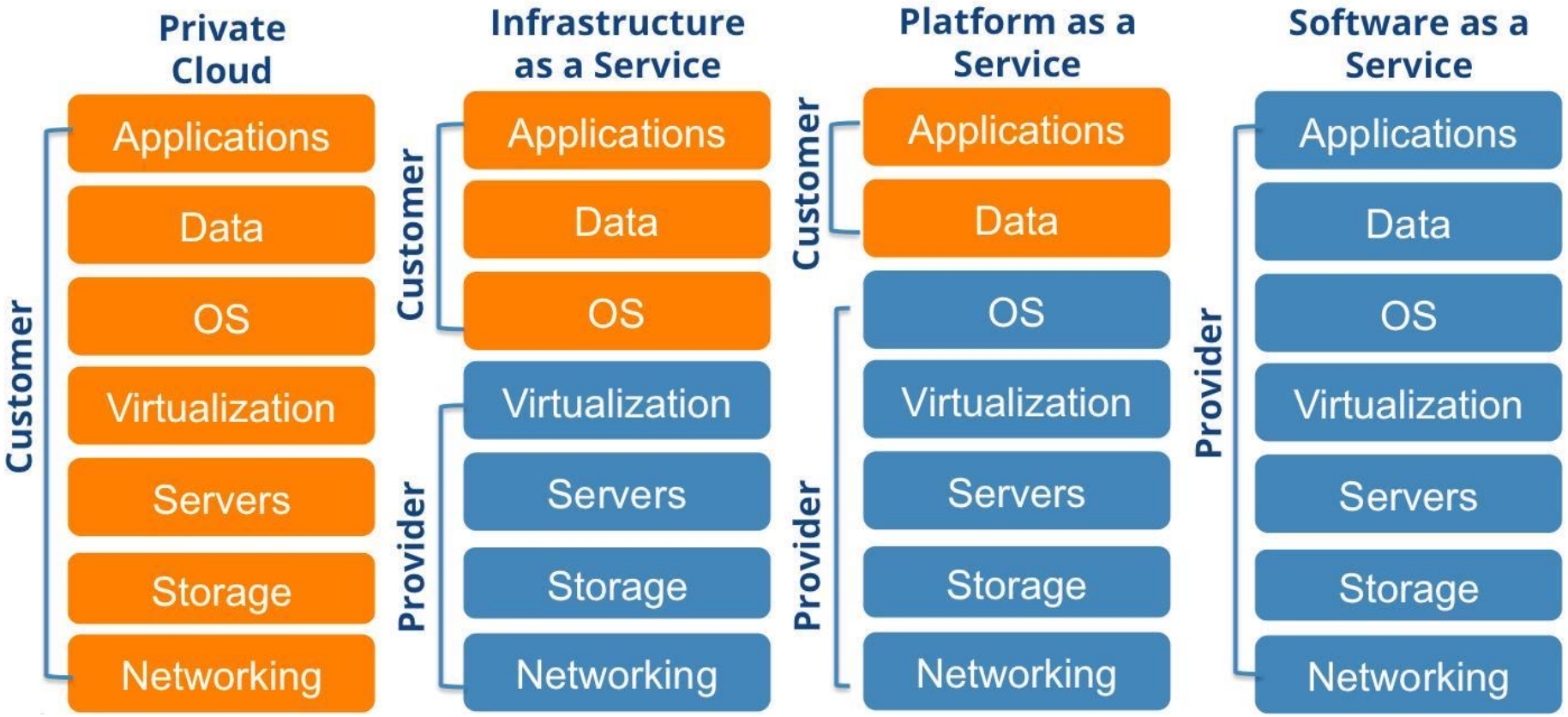
Računarstvo u oblaku

- U praksi se računarski oblaci organizuju u četiri sloja:
  - **Hardverski**: procesori, memorija, ruteri, napajanje i sistemi za hlađenje. Klijenti nemaju pristup ovom delu sistema.
  - **Infrastrukturni**: koristi virtuelizacione tehnike. Razvija se oko alokacije i upravljanja virtuelnim uređajima za čuvanje podataka i virtuelnim serverima.
  - **Platformski**: pruža apstrakcije višeg nivoa za čuvanje podataka i slične primene. Primer: Amazon S3 sistem za čuvanje podataka pruža API pomoću koga se (lokalno kreirani) fajlovi mogu organizovati i čuvati u tzv. koficama (engl. *buckets*).
  - **Aplikacioni**: same aplikacije, kao što su kancelarijski alati (tekst procesori, tabelarna izračunavanja, izrada prezentacija). Uporediv sa skupom aplikacija koje dolaze sa operativnim sistemima.

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

Računarstvo u oblaku (engl. *cloud computing*)

- Tri različita tipa servisa: IaaS, PaaS, SaaS



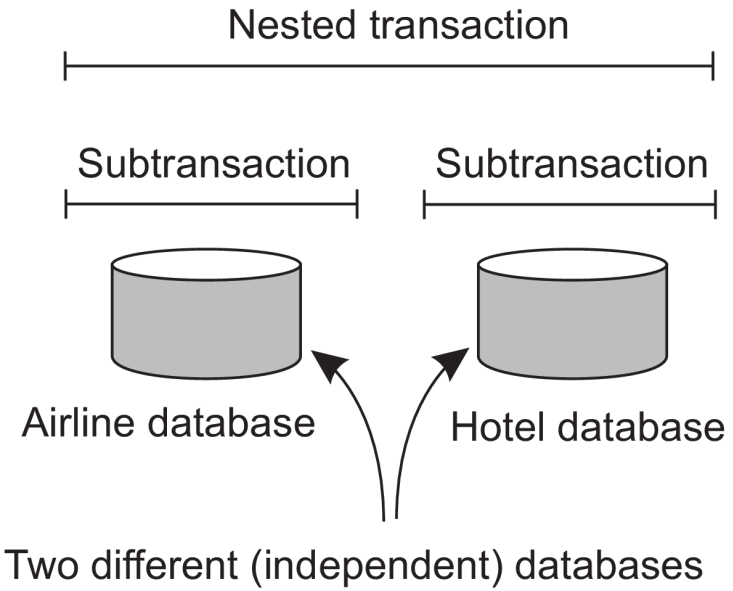
Izvor: http://www.smartcloudcomputing.net/2017/09/09/the-cloud-models-demystified/

Distribuirani informacioni sistemi

- Situacija:
  - Organizacije suočene sa tim da u radu koriste mnogo mrežnih aplikacija, s toga je postizanje interoperabilnosti teško
- Osnovni pristup:
  - Mrežna aplikacija se izvršava na serveru čime su njene usluge (servisi) dostupni udaljenim **klijentima**. Jednostavna integracija: klijenti kombinuju zahteve za (različite) aplikacije u jedan zahtev, šalju ga, zahtev se izvršava kao **distribuirana transakcija** i potom se predstavlja koherentan rezultat klijentu – glavna ideja: **ili se izvrše svi ili nijedan zahtev**
- Sledeći korak:
  - Omogućiti direktnu komunikaciju između aplikacija što dovodi do pojma **integracije poslovnih aplikacija** (engl. *Enterprise Application Integration* – EAI)

Primer EAI: ugnježdene transakcije

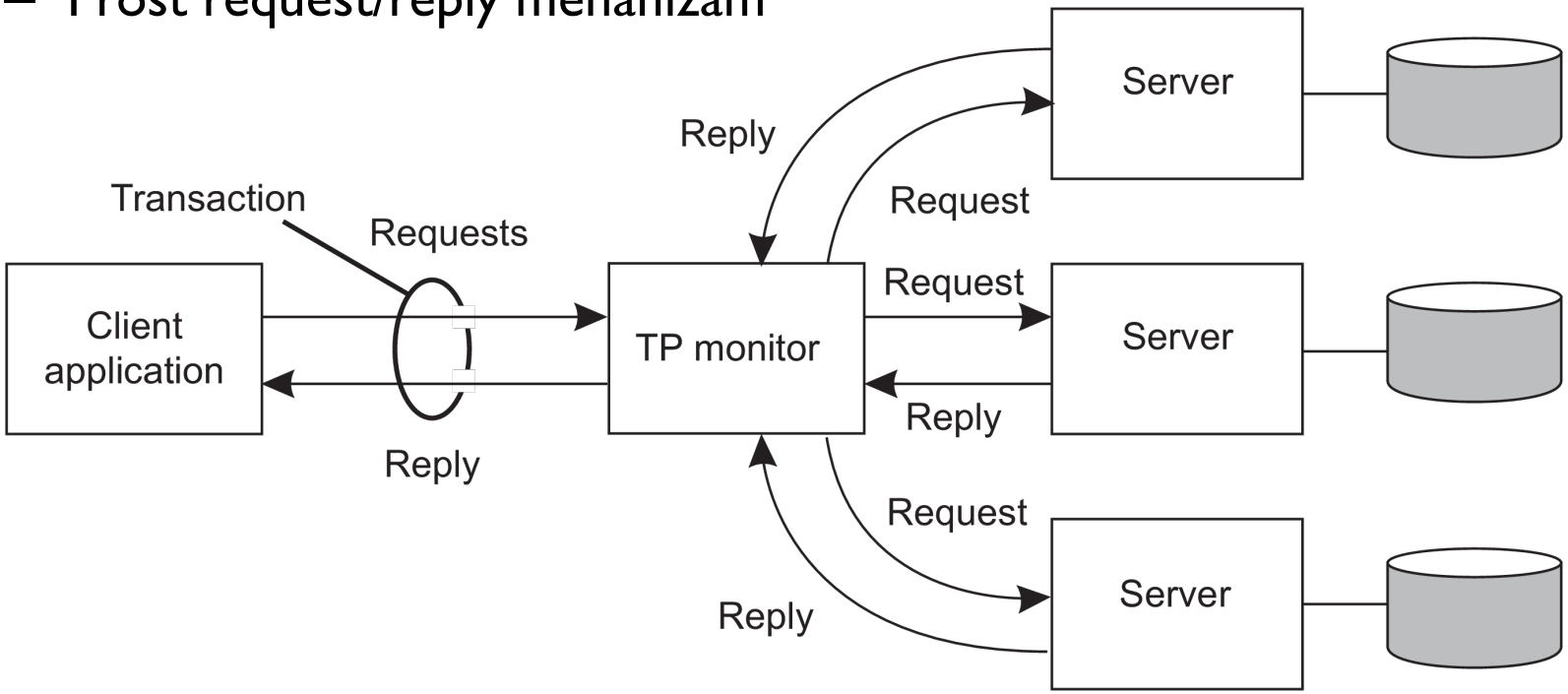
- Operacije sa bazom u vidu **transakcija**
  - Zahtevaju specijalne primitive: BEGIN_TRANSACION, END_TRANSACTION, ABORT_TRANSACTION, READ, WRITE…
  - Glavno svojstvo transakcije: **ili se izvrše sve operacije ili nijedna**
  - **Ugnježdene transakcije** omogućavaju distribuiranje transakcije na više računara
  - Transakcije podležu **ACID pravilima**:
    - **Atomic**: spoljni svet ima utisak da se dešavaju nedeljivo
    - **Consistent**: transakcija ne krši sistemske invarijante
    - **Isolated**: konkurentne transakcije ne smetaju jedna drugoj
    - **Durable**: komit transakcije označava da su promene trajne



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

TPM: Transaction Processing Monitor

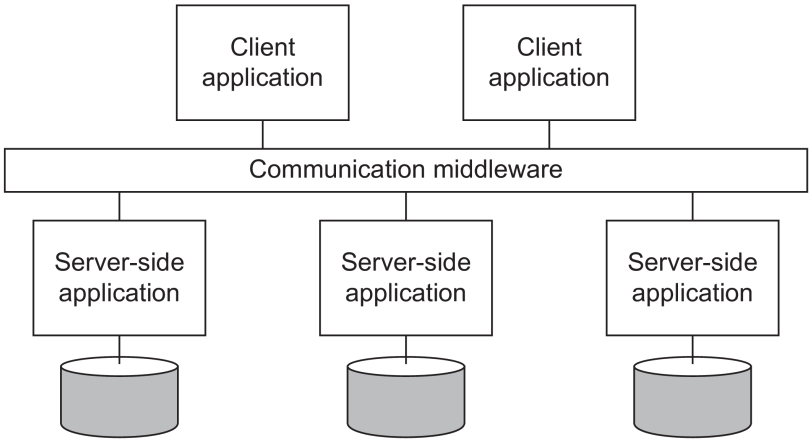
- TPM je prvo rešenje za koordinaciju izvršavanja ugnježdenih transakcija u distribuiranim sistemima
  - Protokol distribuirani komit
  - Prost request/reply mehanizam



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

Midlver i EAI

- Savremeni midlver DS pruža komunikaciona sredstva za integraciju:
  - **Remote Procedure Call** (RPC): zahtevi (engl. *requests*) se šalju pozivom lokalne procedure, pakuju se u poruke, obrađuju, odgovor se šalje kao poruka i rezultat se dobija kao povratna vrednost poziva
    - RMI (Remote Method Invocation) – isto kao RPC, samo sa objektima umesto funkcija
    - Mana: caller i calee moraju da rade u isto vreme i da znaju tačno kako da se obraćaju
  - **Message-Oriented Middleware** (MOM): poruke se šalju logičkoj tački kontakta, tj. objavljuju se i potom prosleđuju pretplaćenim (engl. *subscribed*) aplikacijama, objavi/pretplati se (engl. *publish/subscribe*) sistemi



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

Mehanizmi integracije aplikacija

- **Prenos fajla** (engl. *file transfer*): tehnički prost, nije fleksibilan:
  - Utvrditi format i strukturu fajla (XML, JSON, …)
  - Rešiti upravljanje fajlovima
  - Propagacija ažuriranja i notifikacije
- **Deljena baza** (engl. *shared database*): mnogo fleksibilniji, ali zahteva zajedničku shemu podataka i predstavlja potencijalno usko grlo (engl. *bottleneck*)
- **RPC**: efikasan kada je neophodno izvršavanje serije akcija
  - Omogućava aplikaciji A da koristi informacije dostupne samo aplikaciji B, bez da A dobije direktan pristup tim informacijama
- **Slanje poruka** (engl. *messaging*): RPC traži da se pozivajuća (caller) i pozvana (callee) procedura izvršavaju istovremeno. Slanje poruka omogućava razdvajanje u vremenu i prostoru

Distribuirani prožimajući računarski sistemi

- Rastuća sledeća generacija distribuiranih sistema kod kojih su **čvorovi mali, mobilni** i vrlo **često ugrađeni u veće sisteme**, karakteriše ih činjenica da se **računarski sistem prirodno uklapa u korisničko okruženje**
- Tri (preklapajuće) klase:
  - **Svepristuni** (engl. *ubiquitous*) **računarski sistemi**: prožimajući i kontinualno prisutni, tj. postoji kontinualna interakcija između sistema i korisnika. Računarstvo se pojavljuje bilo kada i bilo gde
  - **Mobilni računarski sistemi**: prožimajući, ali sa naglaskom na činjenicu da su uređaju inherentno prenosivi
  - **Senzorske (i aktuatorske) mreže**: prožimajući, ali sa naglaskom na stvarno (kolaborativno) osećanje (engl. *sensing*) i dejstvo (engl. *actuation*) na okruženje

Sveprisutni računarski sistemi

- Glavne karakteristike **sveprisutnih računarskih sistema**:

1. **Distribuiranost** (engl. *distribution*) – uređaji su umreženi, distribuirani i pristupačni na transparentan način
2. **Interakcija** (engl. *interaction*) – interakcija između korisnika i uređaja je krajnje neprimetna
3. **Razumevanje konteksta** (engl. *context awareness*) – sistem je „svestan“ korisničkog konteksta kako bi optimizovao interakciju
4. **Autonomija** (engl. *autonomy*) – uređaji rade autonomno bez ljudske intervencije te su s toga visoko samo-upravljivi
5. **Inteligencija** (engl. *intelligence*) – sistem kao celina može da prihvati širok spektar dinamičkih akcija i interakcija

Mobilni računarski sistemi

- Glavne karakteristike **mobilnih računarskih sistema**:

1. **Širok spektar** različitih mobilnih uređaja (pametni telefoni, tableti, GPS uređaji, daljinski upravljači, …), tipično bežično povezanih
2. **Mobilnost** povlači da se **lokacija uređaja menja tokom vremena** ⇒ promena lokanih servisa, dostupnosti, itd. Ključan servis: otkrivanje (engl. *discovery*)
3. **Komunikacija može postati teška:** nema stabilnih ruta, ali takođe ni garantovane povezanosti (engl. *connectivity*) ⇒ umrežavanje otporno na prekide (engl. *disruption-tolerant networking*) – tehnike slanja poruka zasnovane na plavljenju (engl. *flooding*)

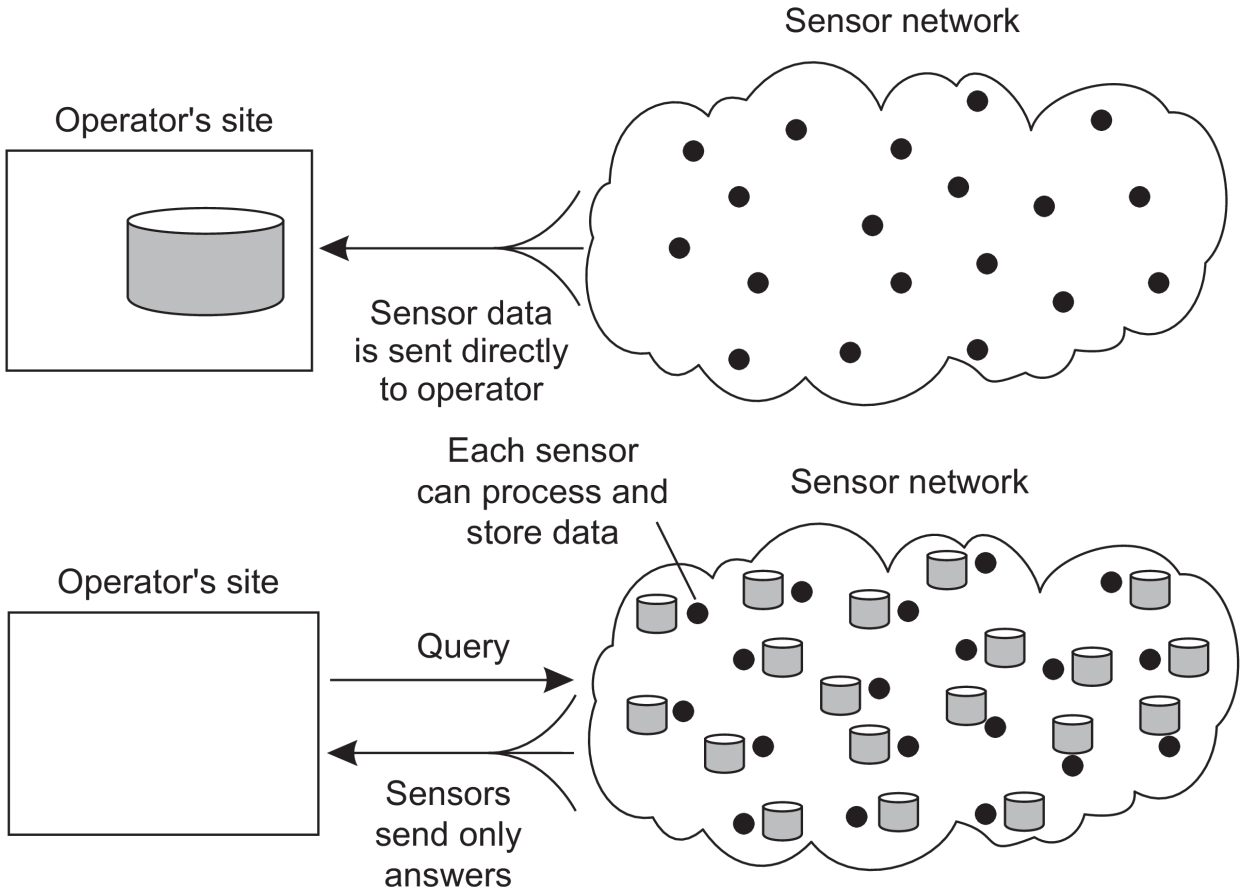
Senzorske mreže

- Glavne karakteristike **senzorskih mreža**:

1. Sastoji se od **čvorova** za koje je **priključen jedan ili više senzora**
2. **Čvorovi** mogu da se ponašaju i kao **aktuatori**, npr. automatska aktivacija prskalica kada se detektuje požar
3. Čvorovi su:
   - **Mnogobrojni** (od desetina pa do hiljada)
   - **Jednostavni** (mali kapacitet memorije/izračunavanja/komunikacije)
   - Najčešće **napajani pomoću baterija** (ili čak bez baterija)

Senzorske mreže

- Senzorske mreže kao distribuirane baze podataka, potreba za obradom podataka unutar mreže (npr. stablo u mreži i agregacija), dva ekstremna rešenja:



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