Informaciona bezbednost

Kontrola pristupa

dr Milan Stojkov

Katedra za informatiku

2022.

Fakultet tehničkih nauka
Univerzitet u Novom Sadu

Identifikacija ≠ autentifikacija ≠ autorizacija

- Identifikacija je proces pripisivanja ID-a čoveku ili drugom računaru ili mrežnoj komponenti
- Autentifikacija je proces provere identiteta
- Autorizacija je utvrđivanje prava koja korisnik ima nad resursima u sistemu

Identifikacija ≠ autentifikacija ≠ autorizacija

- Autorizacija zahteva uspešnu autentifikaciju
  - Autentifikacija prethodi autorizaciji
- Autentifikacija podrazumeva identifikaciju
  - Identifikacija je sastavni deo postupka autentifikacije

Kontrola pristupa

- ”Ko može da uradi šta”
- Bezbednosni mehanizam koji je prisutan u svim delovima informacionih sistema
- Prvi bezbedan sistem za računanje - registar kasa (Dayton, Ohio, 1879)
  - Kupac vidi iznos koji je prodavac otkucao
  - Fioka se otvara samo prilikom unosa iznosa
  - Kasa zapisuje istoriju naplata

Rizici po bezbednost informacija

- CIA klasifikacija
  - Confidentiality (poverljivost)
    - Čuvanje podataka od neovlašćenog čitanja
  - Integrity (integritet)
    - Čuvanje podataka od izmena
  - Availability (dostupnost)
    - Informacije su dostupne u trenutku kada su i potrebne
- Mehanizmi kontrole pristupa bave se poverljivošću i integritetom
  - Onaj ko neovlašćeno pristupi nekom sistemu može da utiče i na dostupnost

Razvoj mehanizama kontrole pristupa

- Prvi radovi početkom 1970-tih
- Standardizacija početkom 1980-tih
- Role-based Access Control (RBAC) početkom 1990-tih

Koncepti kontrole pristupa

- Korisnik (*user*)
  - Čovek koji koristi informacioni sistem
  - Ima svoj identifikator
  - Može imati više identifikatora
  - Sistem može povezati više identifikatora sa istim korisnikom
  - Sesija je jedna instanca komunikacije korisnika sa sistemom

Koncepti kontrole pristupa

- Subjekat (*subject*)
  - Računarski proces ($\sim$ program) koji obavlja zadatke za korisnika
  - Jedan korisnik, sa istim ID-jem, može imati više subjekata (email klijent, web klijent, ...)
  - Kontrola pristupa sprovodi se za svaki subjekat posebno

Koncepti kontrole pristupa

- Objekat (*object*)
  - Bilo koji resurs informacionog sistema koji je dostupan korisniku
    - Fajl
    - Štampač
    - Baza podataka
    - Pojedini slogovi u bazi podataka
  - Tipično se tretiraju kao pasivni entiteti koji sadrže ili primaju podatke
  - Stari modeli kontrole pristupa uključivali su mogućnost da se programi, štampači i drugi aktivni entiteti posmatraju kao objekti

Koncepti kontrole pristupa

- Operacija (*operation*)
  - Aktivan proces koga je pokrenuo subjekat
- Primer: bankomat
  - Korisnik se autentifikuje karticom i PIN-om
  - Program koji opslužuje korisnika je subjekat
  - Subjekat može da pokrene više operacija
    - Upit stanja
    - Isplata
    - Uplata

Koncepti kontrole pristupa

- Dozvola (*permission*)
  - Dopuštenje da se obavi određena operacija u okviru sistema
  - Kombinuje objekat i operaciju
- Dva objekta i ista operacija $\rightarrow$ različite dozvole
- Isti objekat i dve operacije $\rightarrow$ različite dozvole

Koncepti kontrole pristupa

- Minimalne privilegije (*least privilege*)
  - Selektivno dodeljivanje dozvola korisnicima tako da nemaju više privilegija nego što je minimalno neophodno za obavljanje njihovog posla
- Ako korisnik ima mogućnost da izvrši nepotrebne ili štetne operacije $\rightarrow$ potencijalni problem
- Određivanje skupa minimalnih privilegija je zadatak administrativne prirode
  - Identifikacija funkcija vezanih za jedno radno mesto ili korisnika
  - Specifikacija dozvola potrebnih za obavljanje svake od funkcija
  - Restrikcija korisnika na neki domen uz dodeljene privilegije
- Striktno pridržavanje ovog principa $\rightarrow$ korisnik može imati različite dozvole u različitim trenucima
- Skup dozvola se menja tokom vremena (dinamička priroda)

Elementi kontrole pristupa

- Tri apstrakcije kontrole se mogu razmatrati:
  - **Politike/polise** kontrole pristupa
  - **Mehanizmi** kontrole pristupa
  - **Model** kontrole pristupa

Politika kontrole pristupa

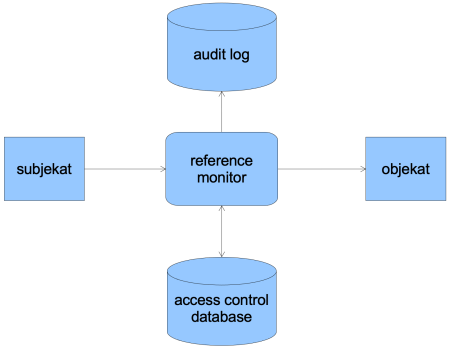
- Politika
  - Zahtevi visokog nivoa kojima se definiše ko može da pristupi čemu i pod kojim uslovima
- Politika se može definisati posebno za različite aplikacije ali često je definisana u okviru realnog sistema (njegove organizacione strukture)
  - Finansijska institucija
  - Vojna institucija
  - Zdravstvena institucija
- Politika se menja tokom vremena, jer odslikava promene u načinu rada organizacije
  - Pri tome ne moraju da se menjaju model ili mehanizmi kontrole pristupa

Mehanizmi kontrole pristupa

- Sprovode politiku kontrole pristupa
- Zahtevaju da se bezbednosni atributi o korisnicima i resursima čuvaju
  - Atributi korisnika mogu biti ID, grupe, uloge kojima pripada, nivo poverenja koje mu je dato
  - Atributi resursa mogu biti nivoi osetljivosti, tipovi, pristupne liste
- Mehanizam 1: poređenje vrednosti bezbednosnih atributa
  - Za *read* operaciju - *clearance level* korisnika $\geq$ *classification level* resursa
- Mehanizam 2: poklapanje u bezbednosnim atributima
  - Za fajl je vezana lista parova (korisnik, pravo)
  - Provera obuhvata pretragu liste za korisnika koji traži pristup i operaciju koju zahteva

Mehanizmi kontrole pristupa - reference monitor

- Apstraktni pogled na (pod)sistem za kontrolu pristupa
- Služi kao vodič za dizajn, implementaciju i analizu bezbednih IT sistema
- Predstavlja hardverske i softverske delove sistema koji su odgovorni za primenu bezbednosnih polisa



Mehanizmi kontrole pristupa - reference monitor

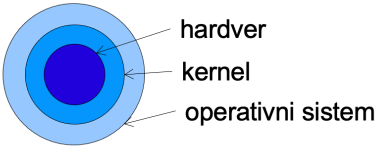
- Zahtevi za implementaciju reference monitora se sastoje iz tri principa:
  - Kompletnost (*completeness*) – uvek se mora pozvati i nije ga moguće zaobići
  - Izolacija (*isolation*) – mora biti otporan na neovlašćene izmene (*tampering*)
  - Proverivost (*verifiability*) – njegova korektna implementacija mora biti proveriva/dokaziva

Mehanizmi kontrole pristupa - reference monitor

- Kompletnost
  - Subjekat može da pristupi objektu **isključivo** preko RM-a
- Problem 1: šta su objekti u sistemu?
  - Očigledne stvari: fajlovi, memorija, baferi, ...
  - Manje očigledne stvari: imena fajlova, poruke o greškama, ...
  - Kompletnost zahteva da se zaštite **svi** objekti, ne samo očigledni
- Problem 2: kako sprečiti zaobilaženje RM-a?
  - Kako sprečiti pristup fajlu ako se pristup vrši preko fizičke adrese na disku?
  - Kako SUBP da spreči pristup svojim fajlovima od strane operativnog sistema?

Mehanizmi kontrole pristupa - reference monitor

- Izolacija
  - Mora biti nemoguće za napadača da pristupi/promeni RM tako da on više ne funkcioniše pravilno
  - Potrebna je podrška i u hardveru i u softveru
- Jedno rešenje: security kernel
  - Minimalna implementacija onih funkcija sistema koje su relevantne za bezbednost
  - Oslanja se na hardver
  - Pruža usluge delovima operativnog sistema na višem nivou
  - Koristi se i za razdvajanje koda i podataka operativnog sistema od aplikacija
  - Kernel softver je takođe podložan greškama u implementaciji



Mehanizmi kontrole pristupa - reference monitor

- Proverivost
  - Ispravnost security kernela je potrebno proveriti
- Testiranje security kernela može biti veoma komplikovano
- Napraviti kernel što manjim
  - Isključiti sve funkcije koje nisu potrebne za bezbednost sistema
  - Definisati mali i jednostavan skup interfejsa
- Olakšati testiranje kernela dobrom implementacijom
  - Apstrakcija
  - Skrivanje informacija
  - Modularnost
- Formalno modeliranje kernela, formalne metode provere korektnosti

Mehanizmi kontrole pristupa - reference monitor

- RM je potreban uslov za sprovođenje kontrole pristupa
- RM nije dovoljan uslov
  - Najčešće se RM kupuje u okviru nekog većeg sistema
- Kako svoju politiku implementirati na kupljenom RM-u?
- Tri dodatna uslova za sistem za kontrolu pristupa
  - Fleksibilnost – sistem mora da podrži politiku kontrole pristupa u organizaciji
  - Upravljivost – sistem mora biti jednostavan za korišćenje i upravljanje
  - Skalabilnost – funkcije sistema moraju raditi na isti način i za realan (veliki) broj korisnika i resursa u realnom (velikom) sistemu

Modeli kontrole pristupa

- Zasnivaju se na konceptima kontrole pristupa
- Predstavljaju apstraktni pogled na mehanizme za sprovođenje kontrole pristupa
  - Jednostavnija analiza
  - Mogućnost izbora različitih implementacija
- Različiti modeli kontrole pristupa postoje
  - Lampson
  - Bell-LaPadula
  - US DoD standardi
    - Discretionary Access Control (DAC)
    - Mandatory Access Control (MAC)
  - Clark-Wilson
  - Role-based Access Control (RBAC)

Lampson model

- „Matrica pristupa“
  - Jedan red po subjektu
  - Jedna kolona po objektu
- Koristi koncepte subjekta i objekta
  - Subjekti: procesi koje je pokrenuo korisnik
  - Objekti: resursi sistema (fajlovi, ...)
  - Operacije: operacije nad resursima (čitanje, pisanje)
- Elementi matrice su skupovi dozvoljenih operacija

Lampson model

- „Matrica pristupa“

Objekat / Subjekat	Fajl_1	Fajl_2	Fajl_3	Proces_1
Pera	Read, Write	-	Write	-
Mika	-	Execute	-	Suspend
Žika	-	Read	Read	-
Gaja	Read	-	-	-

Lampson model

- U realnim sistemima matrice su velike (puno korisnika, puno objekata)
- I retko popunjene (*sparse*)
- Dva uobičajena mehanizma za implementaciju:
  - Liste sposobnosti (*capability lists*)
    - Za svaki subjekat čuva se lista njegovih „sposobnosti“ (objekat, pravo)
    - Kako dobiti sve subjekte koji mogu da pristupe određenom objektu? Samo prolazom kroz sve liste
  - Liste kontrole pristupa (*access control lists*, ACLs)
    - Za svaki objekat čuva čuva se lista parova (subjekat, pravo)
    - Ne mora biti puno ACL listi u sistemu ako se korisnici raspodele u grupe

Lampson model

- Capability List

Subjekat		
Pera	Fajl_1: Read, Write	Fail_3: Write
Mika	Fajl_2: Execute	Proces_1: Suspend
Žika	Fajl_2: Read	Fajl_3: Read
Gaja	Fajl_1: Read	

- Access Control List

Objekat		
Fajl_1	Pera: Read, Write	Gaja: Read
Fajl_2	Mika: Execute	Žika: Read
Fajl_3	Pera: Write	Žika: Read
Proces_1	Mika: Suspend	

Bell-LaPadula model

- Formalizacija vojnih pravila za kontrolu pristupa
- Objekti = dokumenti
- Objekti imaju svoj nivo poverljivosti (classification level)
  - Poverljivo
  - Strogo poverljivo
  - Državna tajna
- Korisnici imaju svoj nivo pristupa (clearance level)

Bell-LaPadula model

- Osnovna pravila:
  1. *No read up* - subjekat ima pristupa samo onim dokumentima čiji nivo je manji ili jednak njegovom
  2. *No write down* - subjekat može da piše samo u dokumente čiji nivo je veći ili jednak njegovom (ali ne može da čita)
- Dodatni koncept: kategorija
  - Svaki dokument spada u jednu ili više kategorija
  - Korisnik mora imati odgovarajući nivo pristupa za svaku kategoriju

Bell-LaPadula model

- Problem ovog modela:
  - Sistem nije odlučiv (*undecidable*) - ne može se znati da li će konfiguracija za koju se smatra da je ispravna ostati ispravna
  - Harrison, Ruzzo, Ullman 1976. - formalan dokaz
  - Korisnici mogu (čak i bez namere) dodeliti prava pristupa kroz mehanizme za delegiranje prava

TCSEC standard

- Standardizacija modela kontrole pristupa u okviru US Department of Defense
- *Trusted Computer System Evaluation Criteria* („Orange Book“) 1983.
- Definiše dva modela kontrole pristupa
  - Discretionary Access Control (DAC)
    - Vlasnici objekata dodeljuju prava pristupa
    - Subjekti imaju posebno pravo delegiranja sopstvenog prava drugim subjektima
    - Model nije odlučiv
  - Mandatory Access Control (MAC)
    - Model jeste odlučiv jer subjekti ne mogu da daju prava drugima
    - Višenivojski model, na osnovu Bell-LaPadula

Discretionary Access Control

- Ograničavanje pristupa objektima na osnovu identiteta korisnika ili grupe korisnika
- „Diskrecija“ - korisnik koji ima odgovarajuće pravo može delegirati pravo pristupa objektu drugim korisnicima
- Uvodi koncept „vlasništva“ nad objektom
  - Vlasnik objekta ima pravo da dodeljuje prava pristupa drugim korisnicima
- Najčešći mehanizam za implementaciju DAC modela su ACLs

Discretionary Access Control

- Dve osnovne slabosti:
  - Dodeljivanje prava čitanja je tranzitivno
    - Alice dozvoli Bobu da čita određeni fajl (Alice je vlasnik fajla)
    - Bob iskopira sadržaj fajla u svoj fajl (Bob je vlasnik novog fajla)
    - Bob dozvoli Carol da čita novi fajl
    - Alice ne zna da Carol ima pristup podacima iz njenog fajla!
  - Ranjivost na napade trojanskim konjem
    - Programi nasleđuju identitet korisnika koji ih je pokrenuo
    - Bob napiše program za Alice koji će sadržaj Alicinog fajla iskopirati na neko mesto koje je dostupno i Bobu i Alice
    - Alice će pokrenuti program, ne znajući šta sve on radi
    - Bob će dobijeni fajl skloniti na svoje privatno mesto
    - Bobov program može čak i obrisati Alicine fajlove
    - U audit logu piše da je Alice pokrenula program koji je obrisao fajlove

Discretionary Access Control

- Primer implementacije - *protection bits:*
  - Kontrola pristupa fajl-sistemu na UNIX/Linux operativnim sistemima
  - Svaki objekat u fajl-sistemu ima dodeljen atribut koji definiše pravila za kontrolu pristupa
- Tri kategorije korisnika:
  - *Self* – vlasnik fajla
  - *Group* – kolekcija korisnika koji dele zajednički pristup fajlu
  - *Other* – svi ostali osim vlasnika ili članova grupe

Discretionary Access Control

- Primer implementacije - *protection bits:*
  - Kontrola pristupa fajl-sistemu na UNIX/Linux operativnim sistemima
  - Svaki objekat u fajl-sistemu ima dodeljen atribut koji definiše pravila za kontrolu pristupa
- Za svaku kategoriju definisana su po tri bita
  - r - dozvola čitanja
  - w - dozvola pisanja
  - x - dozvola izvršavanja (za direktorijume: dozvola listanja)

Discretionary Access Control

- Npr. (r w x)(r – x)(– – x)
  - Vlasnik ima prava čitanja, pisanja i izvršavanja
  - Članovi grupe imaju prava čitanja i izvršavanja
  - Ostali korisnici imaju prava izvršavanja
- Vlasnik i super korisnik mogu da modifikuju zaštitne bite nad fajlom
- Samo jedna grupa je dostupna za fajl i administrator upravlja članstvom
- Zaštitni biti ne odgovaraju u potpunosti ”matrici pristupa” zbog čega sistem ne može precizno da da pristup objektu na individualnom nivou
- Zbog ovoga mnoge novije verzije UNIX-like operativnog sistema uključuju ACL mehanizam

Discretionary Access Control

- Primer: relacione baze podataka
- Objekti su:
  - Tabele
  - Pogledi
- Objekat ima vlasnika
- Operacije su:
  - SELECT
  - INSERT
  - UPDATE
  - DELETE

Discretionary Access Control

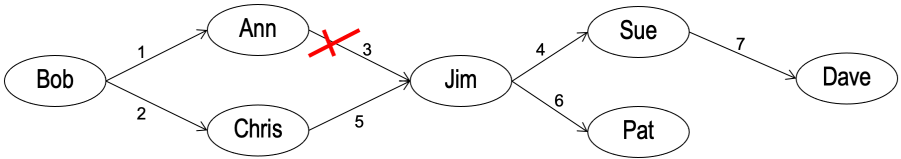
- Kako organizovati administraciju?
- Centralizovana administracija
  - Samo određeni privilegovani korisnici mogu da daju i oduzimaju prava pristupa
- „Vlasnička“ administracija
  - Davanje i oduzimanje prava pristupa može da izvrši samo vlasnik objekta
  - Delegiranje vlasničkih prava – vlasnik objekta može i drugim korisnicima dodeliti pravo da daju i oduzimaju prava pristupa
  - GRANT Select ON Employee TO Tim WITH GRANT OPTION;

Discretionary Access Control

- SQL GRANT naredba: dodeljivanje prava pristupa
  - (Bob): GRANT Select ON Employee TO Ann WITH GRANT OPTION;
  - (Ann): GRANT Select ON Employee TO Jim;
  - (Bob): GRANT Update, Insert ON Employee TO Jim;
- SQL REVOKE naredba: uklanjanje prava pristupa
  - (Bob): REVOKE Select ON Employee TO Jim;

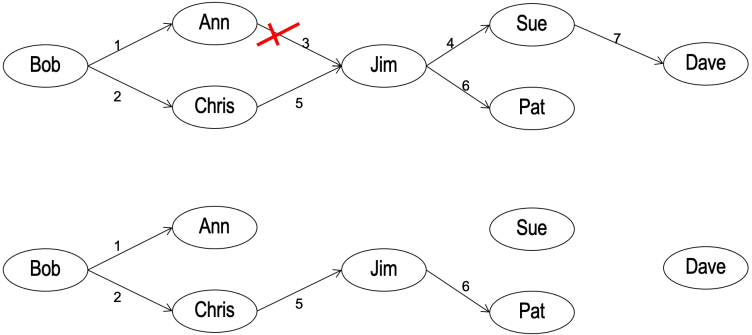
Discretionary Access Control

- Ukidanje prava može biti
  - Kaskadno
  - Kaskadno bez vremenske odrednice
  - Nekaskadno
- Primer:
  - Ann ukida pravo koje je dodelila Jimu
  - (brojevi predstavljaju hronologiju dodeljivanja prava)



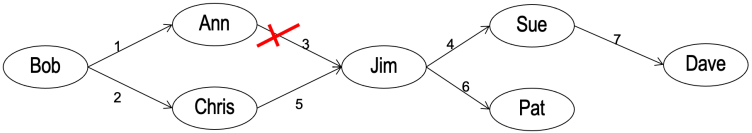
Discretionary Access Control

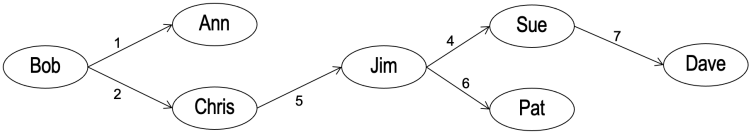
- Kaskadno ukidanje prava
  - Prava se ukidaju tako da novo stanje odgovara situaciji kada se sprovede ista sekvenca dodela izuzimajući ukinutu
  - Mora se voditi računa o redosledu dodeljivanja prava, odnosno o trenutku (timestamp) kada je neko pravo dodeljeno



Discretionary Access Control

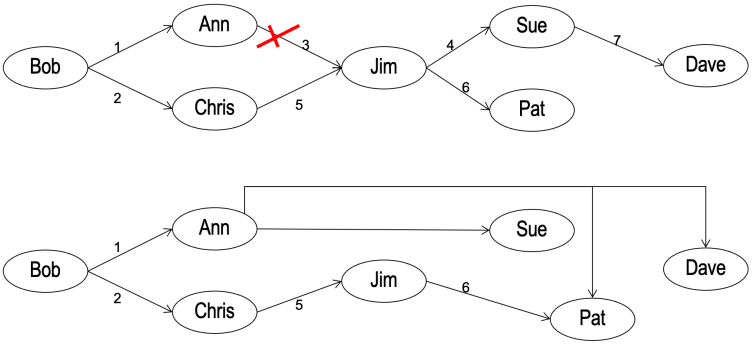
- Kaskadno bez vremenske odrednice
  - Prava se ukidaju tako da se ne vodi računa o trenutku kada je pravo i dodeljeno





Discretionary Access Control

- Nekaskadno
  - Ukidanje prava ne sme utiče na prava koja je dodelio korisnik koji ih je upravo izgubio (Jim)



Mandatory Access Control

- Baziran na Bell-LaPadula modelu
- Bezbednosni nivoi se dodeljuju korisnicima i objektima gde subjekti u ime korisnika rade akcije
- Bezbednosni atributi korisnika i objekata imaju
  - Hijerarhijsku komponentu - bezbednosni nivo (clearance level)
    - Unclassified (U)
    - Confidential (C)
    - Secret (S)
    - Top secret (TS)
  - Nehijerarhijsku komponentu - dodeljene kategorije, npr.
    - NATO
    - NUCLEAR
    - ...

Mandatory Access Control

- Primer:
  - TS $\geq$ S $\geq$ C $\geq$ U
  - S(NATO, NUCLEAR) $\geq$ S(NUCLEAR) $\geq$ S
- Pravila *no read up* i *no write down*
- Korisnik sa atributima S(NUCLEAR) može da pristupa objektima sa atributima S(NUCLEAR), S, C, U

Mandatory Access Control

- Model je odlučiv
- Važno je razlikovati korisnika i subjekta (program)
  - Alice ima TS nivo: trebalo bi da može da čita i piše sve dokumente
  - Alice (korisnik) neće odavati TS informacije na nižim nivoima, ali možda program koji ona koristi (subjekat) hoće
  - Alice mora da promeni (”spusti”) svoju sesiju na S nivo da bi pisala u fajlove na S nivou
- *No write down* pravilo obezbeđuje od napada trojanskim konjem
  - Korisnik ne može da piše u objekat koji je dostupan korisnicima sa nižim nivoima od njegovog
  - Alice ima nivo S(NUCLEAR)
  - Bob ima nivo S
  - Bob podmeće trojanskog konja Alice
  - Program će moći da čita podatke sa nivoa S(NUCLEAR) kada ga pokrene Alice
  - Ali neće moći da ih piše u fajl nivoa S (koga Bob može da čita)
  - Zaštita od brisanja trojanskim konjem nije rešena
  - Alice može Bobovim trojanskim konjem da pobriše sve svoje fajlove

Mandatory Access Control

- Primer: baze podataka
- Korisnici X, Y i Z sa nivoima poverljivosti:
  - clearance(X) = TS
  - clearance(Y) = S
  - clearance(Z) = U
- Podaci u tabeli baze podataka su sledeći

Project Name	Topic	Location	
Black, TS	Databases, TS	Los Angeles, TS	
Silver, S	Supply Chain, S	New York, S	
Gold, U	Inventories, S	Atlanta, S	
Indigo, U	Telecommunication, U	Austin, U	

Mandatory Access Control

- Primer: podacima pristupa Y, clearance(Y) = S

Project Name	Topic	Location	
Black, TS	Databases, TS	Los Angeles, TS	
Silver, S	Supply Chain, S	New York, S	
Gold, U	Inventories, S	Atlanta, S	
Indigo, U	Telecommunication, U	Austin, U	

Project Name	Topic	Location	
Silver, S	Supply Chain, S	New York, S	
Gold, U	Inventories, S	Atlanta, S	
Indigo, U	Telecommunication, U	Austin, U	

Mandatory Access Control

- Primer: podacima pristupa Z, clearance(Z) = U

Project Name	Topic	Location	
Black, TS	Databases, TS	Los Angeles, TS	
Silver, S	Supply Chain, S	New York, S	
Gold, U	Inventories, S	Atlanta, S	
Indigo, U	Telecommunication, U	Austin, U	

Project Name	Topic	Location	
Gold, U	-, U	-, U	
Indigo, U	Telecommunication, U	Austin, U	

Mandatory Access Control

- Primer: Z hoće da doda novi red (Silver, Linear Programming, Omaha)

Project Name	Topic	Location	
Black, TS	Databases, TS	Los Angeles, TS	
Silver, S	Supply Chain, S	New York, S	
Gold, U	Inventories, S	Atlanta, S	
Indigo, U	Telecommunication, U	Austin, U	
Silver, U	Linear Programming, U	Omaha, U	

- Problem: ponavljanje podataka sa istim ključem!

Mandatory Access Control

- Primer: Z hoće da zameni NULL vrednosti konkretnim podacima (Markov Chain, New Jersey)

Project Name	Topic	Location	
Gold, U	-, U	-, U	
Indigo, U	Telecommunication, U	Austin, U	

Project Name	Topic	Location	
Black, TS	Databases, TS	Los Angeles, TS	
Silver, S	Supply Chain, S	New York, S	
Gold, U	Inventories, S	Atlanta, S	
Indigo, U	Telecommunication, U	Austin, U	
Gold, U	Markov Chain, U	New Jersey, U	

Biba model

- MAC model se fokusira na poverljivost podataka, a zapostavlja integritet
- Biba model (1977) fokusira se na integritet a zapostavlja poverljivost
- Uvodi read-write ograničenja bazirana na nivoima integriteta (sa hijerarhijskom i kategorizacijskom komponentom)
  - Za korisnika: indikacija nivoa poverenja u korisnika u pogledu menjanja podataka na datom nivou
  - Za objekat: osetljivost objekta na izmene
- Primer nivoa:
  - Critical (C)
  - Important (I)
  - Ordinary (O)
- Pravila za kontrolu pristupa su inverzna u odnosu na Bell-LaPadula model
  - Subjekat S može da čita objekat O ako je clearance(S) $\leq$ classification(O)
  - Subjekat S može da piše u objekat O ako je clearance(S) $\geq$ classification(O)

Clark-Wilson model

- Clark-Wilson 1987: u komercijalnim (ne-vojnim) primenama daleko je važniji integritet nego poverljivost
  - Integritet: podaci se menjaju samo na ispravan način od strane autorizovanih korisnika
- Dva centralna koncepta modela:
  - Dobro formirana transakcija (*well-formed transaction*, WFT)
    - Sistem ograničava korisnika na promene podataka samo pomoću odgovarajućih transakcija
    - Podaci iz jednog validnog stanja mogu preći u drugo validno stanje
    - Npr. bankarski službenik ne može da modifikuje proizvljni deo podataka o klijentu već samo onaj deo koji je deo transakcije (kao što je skidanje novca sa računa ili uplata)
  - Razdvajanje zaduženja (*separation of duty*, SoD)
    - Osigurava konzistentnost izmena u podacima
    - Npr. nabavku zahteva korisnik A, odobrava korisnik B, kontroliše (nadgleda) korisnik C

Clark-Wilson model

- Osnovna jedinica kontrole pristupa je uređena trojka
  - Korisnik (*user*)
  - Transformaciona procedura (*transformation procedure*, TP)
  - Podatak sa ograničenim pristupom (*constrained data item*, CDI)
- Pored toga, postoji i:
  - Podatak bez ograničenja pristupa (*unconstrained data item*, UDI)
  - Procedura za proveru integriteta (*integrity verification procedure*, IVP) - utvrđuje da li je podatak u validnom stanju

Clark-Wilson model

- Devet pravila za obezbeđivanje integriteta podataka
  1. Za svaki CDI mora postojati IVP koja proverava da li je CDI u validnom stanju
  2. Svaka TP koja menja CDI mora biti sertifikovana da ga menja isključivo na validan način
  3. CDI može da menja samo sertifikovana TP
  4. Svaka TP mora da vodi dnevnik promena koje sprovodi nad CDI
  5. Svaka TP koja kao ulaz ima UDI mora da transformiše UDI u CDI isključivo na validan način
  6. Samo sertifikovane TP mogu da menjaju UDI
  7. Korisnik može da pristupi CDI samo kroz TP za koju je autorizovan
  8. Svaki korisnik mora biti autentifikovan pre pozivanja TP
  9. Samo bezbednosni administrator može da autorizuje korisnika da poziva TP
- TP - transformaciona procedura (*transformation procedure*)
- CDI - podatak sa ograničenim pristupom (*constrained data item*)
- UDI - podatak bez ograničenja pristupa (*unconstrained data item*)
- IVP - procedura za proveru integriteta (*integrity verification procedure*)

Clark-Wilson model

- Bell-LaPadula model kontroliše tok podataka pomoću kontrole operacija čitanja i pisanja niskog nivoa
- Clark-Wilson model teži da se podaci menjaju samo na autorizovan način od strane autorizovanih korisnika
  - Ovo se ne može implementirati samo na nivou kernela
  - Primer: baza podataka gde tabele nisu neposredno dostupne korisnicima, nego samo uskladištene procedure

Clark-Wilson model

- Razdvajanje zaduženja (SoD) - način da sprečimo da autorizovani korisnici naprave pogrešne izmene u podacima
- Npr. kupovina robe
  - Formiranje i slanje porudžbine (korisnik A)
  - Evidentiranje prispeća robe (korisnik B)
  - Odobravanje plaćanja (korisnik C)
- Ako bi sve ove podoperacije radila ista osoba moguće su prevare
- Ako ove podoperacije rade različite osobe, moguća je prevara, uz „zločinačko udruživanje“

Politika kineskog zida

- Osnovna namera: sprečiti tok podataka koji mogu izazvati konflikt interesa
- Primer:
  - Finansijski konsultanti dobijaju privatne podatke svojih klijenata (banaka)
  - Ako konsultant poznaje privatne podatke ovih banaka može to da zloupotrebi (za privatni profit, za dobrobit jedne banke a na štetu druge)
- Privatni podaci o organizaciji se nalaze u jednoj od (međusobno disjunktnih) kategorija za konflikt interesa (COI)
- Svaka organizacija pripada u tačno jednu COI
- Svaki COI sadrži bar dve organizacije, koje se bave istom ili sličnom delatnošću
- Konsultant ne može da pristupi podacima više od jedne organizacije iz istog COI
  - Ako pristupi privatnim podacima jedne organizacije iz datog COI, ne može da pristupa podacima drugih organizacija iz istog COI
- Rešenje za kontrolu operacije čitanja, ne i pisanja

Brewer-Nash model

- Svaka organizacija je predstavljena skupom podataka
- Skupovi podataka su smešteni u COI
- Pravilo za čitanje podataka: subjekat S ima pravo da čita objekat O ako je zadovoljeno nešto od sledećeg
  - O je u istom skupu podataka kao i neki drugi objekat koga je S već čitao
  - O pripada COI iz koga S još nije čitao ništa
- Pravilo za pisanje podataka: subjekat S ima pravo da piše u objekat O ako je zadovoljeno sve od sledećeg
  - S može da čita O prema pravilu za čitanje
  - Nijedan objekat iz drugih skupova u odnosu na skup kome pripada O nije dostupan za čitanje

Brewer-Nash model

- Pravilo za pisanje je zamišljeno kao zaštita od trojanskih konja
- Alice ima pravo
  - Čitanja podataka energetske kompanije A i
  - Čitanja i pisanja podataka banke A
- Bob ima pravo
  - Čitanja podataka energetske kompanije B i
  - Čitanja podataka banke B
- Trojanski konj koji je pokrenula Alice (sa svojim privilegijama) bi mogao da pokuša da
  - Čita podatke o banci A i
  - Piše te podatke u banku B (ne može)
  - Piše te podatke u energetsku kompaniju B (ne može)

Domain Type Enforcement model

- Subjekti = aktivni entiteti (procesi, programi)
- Subjektu se dodeljuje **domen**
- Objekti = pasivni entiteti (fajlovi, uređaji, delovi memorije)
- Objektu se dodeljuje **tip**
- Dozvole se vezuju za domene i tipove
- Domen-domen dozvole
  - Izražene tabelarno: domain-domain access control table (DDACT)
- Domen-tip dozvole
  - Izražene tabelarno: domain-type acces control table (DTACT)
  - U ćelijama tabele nalazi se skup dodeljenih prava

Domain Type Enforcement model

- Primer: fajl sistem
  - Domen-domen dozvole: create (C) i kill (K)
  - Domen-tip dozvole: read (R), write (W), execute (E), browse directory (T)
  - Proces A može da pokrene proces B samo ako postoji pravo C u ćeliji tabele koja povezuje A i B
- Slično kao i Lampson model (matrica pristupa) ali je matrica znatno manja zbog grupisanja procesa u domene i objekata u tipove