Univerzitet u Beogradu

Matematički fakultet



Master rad

Razvoj REST servisa u stilu arhitekture

“bez servera” na platformi Microsoft Azure

Miloš Milovanović

*Mentor*: prof. dr Vladimir Filipović *Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu   
  
  
  
Članovi komisije*: prof. dr Saša Malkov  
 *Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu* dr Aleksandar Kartelj  
 *Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu*

***Datum odbrane*: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Sažetak

Sadržaj

[1 Uvod 5](#_Toc73901937)

[2 Nastanak računarstva “bez servera” 7](#_Toc73901938)

[2.1 Monolitna, slojevita i mikroservisna arhitektura 7](#_Toc73901939)

[2.2 Virtuelizacija zasnovana na kontejnerima 9](#_Toc73901940)

[2.3 Računarstvo u oblaku, modeli servisa 11](#_Toc73901941)

[2.4 Računarstvo “bez servera” 13](#_Toc73901942)

[2.4.1 Funkcija kao servis 13](#_Toc73901943)

[2.4.2 Osobine 15](#_Toc73901944)

[2.4.3 Prednosti i nedostaci 16](#_Toc73901945)

[3 Funkcija kao servis platforme 17](#_Toc73901946)

[3.1 Pregled 17](#_Toc73901947)

[3.2 Azure Functions 18](#_Toc73901948)

[3.2.1 Osobine platforme, programski jezici i planovi korišćenja 18](#_Toc73901949)

[3.2.2 Funkcije i aplikacije funkcija 19](#_Toc73901950)

[3.2.3 Lokalni razvoj 20](#_Toc73901951)

[3.2.4 Okidači i vezivanja 22](#_Toc73901952)

[3.2.5 Trajne funkcije 24](#_Toc73901953)

[3.2.6 Postavljanje na Azure platformu 25](#_Toc73901954)

[4 Razvoj REST servisa Recepti API 27](#_Toc73901955)

[4.1 Funkcionalni opis i arhitektura 27](#_Toc73901956)

[4.2 Implementacija servisa 27](#_Toc73901957)

[4.2.1 Struktura projekta 27](#_Toc73901958)

[4.2.2 Baza podataka 27](#_Toc73901959)

[4.2.3 API resursi 27](#_Toc73901960)

[4.2.4 Implementacija funkcija 27](#_Toc73901961)

[5 Gradjenje, hostovanje i testiranje servisa Recepti API 28](#_Toc73901962)

[5.1 Resursi na platformi u oblaku i postavljanje servisa 28](#_Toc73901963)

[5.2 Testiranje 28](#_Toc73901964)

[5.3 Nadgledanje i održavanje 28](#_Toc73901965)

[6 Zaključak 29](#_Toc73901966)

1 Uvod

Isporučioci javnih platformi za računarstvo u oblaku beleže stalni rast u korišćenju svojih usluga od njihovog nastanka. Poslednjih godina primetno je da je ovaj rast mnogostruko uvećan. Celokupno tržište servisa računarstva u oblaku poraslo je za 17.5% u toku 2019. godine u odnosu na prethodnu po istraživanju kompanije Gartner [1]. Sa porastom popularnosti i dostupnosti ovih servisa, mnoge kompanije odlučuju se da hostovanje svog softvera delom ili u potpunosti premeste sa interne infrastrukture na neke od platformi u oblaku. Razvijaoci sve češće prate pristup kod kog se razvoj novih aplikacija primarno bazira na platforama u oblaku (*eng. Cloud native*). Isporučioci platformi sa druge strane teže da odgovore na zahteve tržišta većom i raznovrsnijom ponudom servisa.

Računarstvo “bez servera" (*eng. Serverless computing*) je jedan od novijih modela servisa računarstva u oblaku kod kog je isporučioc primarno zadužen za upravljanje delom arhitekture na serverskoj strani. Takođe, razvojem koncepata kao što su kontejneri (*eng. Containers*) i njihova orkestracija stvorili su se uslovi da se upravljanje infrastrukturnim resursima može obavljati na apstraktniji i automatizovan način. Sa tim dolazi i do stvaranja potpuno novog načina izvršavanja na platformama u oblaku pod nazivom funkcija kao servis (*eng. Function as a Service*). Računarstvo “bez servera" i funkcija kao servis su poslednjih godina vrlo popularni termini i kod velikih isporučioca platformi u oblaku, a takođe i u zajednici otvorenog koda. Vodeće kompanije u ovoj oblasti kao što su Amazon, Microsoft i Google imaju u svojoj ponudi sada već relativno zrele platforme na ovom modelu, a takođe primetan je napredak i kod drugih isporučioca.

Cilj ovog rada je da prikaže računarstvo “bez servera" i model funkcija kao servis kao jednog od pristupa u softverskoj arhitekturi na platformama u oblaku. Pored toga, da prikaže smisao, način rada i karakteristike platformi na ovom modelu, kao i pregled funkcionalnosti i praktična primena Azure Functions kao jedne od tri najpopularnije platforme ovog tipa.

U drugom poglavlju rada biće opisan nastanak i razvoj računarstva “bez servera", od slojevite i mikroservisne arhitekture, kroz pojavu virtualizacije zasnovane na kontejnerima do računarstva u oblaku i modela servisa. Biće objašnjeni teorijski aspekti arhitekture “bez servera" i modela izvršavanja funkcija kao servis, njihove glavne osobine, prednosti i nedostaci.

U trećem poglavlju biće dat kratak prikaz funkcija kao servis platformi. Pored toga će detaljno biti opisana Azure Functions platforma od načina razvoja funkcija, njihovih tipova, okidača i vezivanja, do internog načina izvršavanja i naplate.

U četvrtom poglavlju će biti demonstrirana implementacija REST API servisa korišćenjem arhitekture i tehnika opisanih u prethodna dva poglavlja. Servis koji će biti prikazan zamišljen je kao deo Recepti API veb servisa za kulinarske recepte. Biće dati funkcionalni opis, shema baze podataka i značajni delovi koda, a celokupan kod servisa biće dostupan javno na adresi <https://github.com/milosmi11166/Master>.

U petom poglavlju biće prikazano hostovanje, postavljanje na platformu, testiranje i nadgledanje servisa Recepti API na Microsoft Azure platformi.

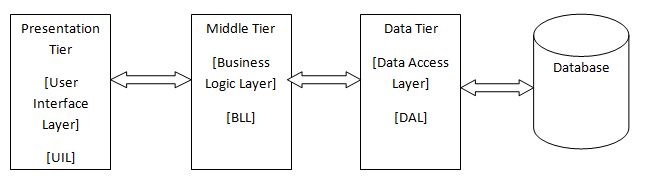
U poslednjem šestom poglavlju biće izveden zaključak.

2 Nastanak računarstva “bez servera”

U ovom poglavlju biće predstavljeno računarstvo “bez servera” i tehnologije i arhitekture koje su na njega uticale. Biće dati koncepti računarstva “bez servera” i modela funkcija kao servis, njihove karakteristike i prednosti i nedostaci.

2.1 Monolitna, slojevita i mikroservisna arhitektura

U domenu veb aplikacija, monolitnim aplikacijama nazivamo jednoslojne aplikacije koje u sebi sadrže čvrsto vezane komponente, kao što su korisnički interfejs i komunikacija sa sistemima za čuvanje podataka. Ovakve aplikacije se sastoje se iz jedne ili nekoliko usko povezanih izvršnih datoteka koje se najčešće postavljaju na virtualnim mašinama ili direktno na operativnom sistemu serverskog računara. U slučaju kada su komponente jasno odvojene i labavo vezane po definisanim principima, koristi se i naziv slojevita arhitektura (*eng. N-Tier architecture*). Čest primer je troslojna arhitektura, koja aplikacije deli na sloj korisničkog interfejsa, aplikativni sloj i sloj podataka. Sloj korisničkog interfejsa je zadužen za interakciju sa korisnikom, aplikativni sloj za implementaciju poslovne logike, a sloj podataka za implementaciju pristupa sistemima za skladištenje podataka, kao što je prikazano na slici 1.

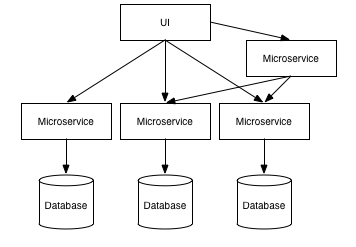


Slika 1. Komponente troslojne arhitekture

U slučaju manjih ili manje složenih aplikacija slojevita arhitektura ima dosta predosti zbog svoje jednostavnosti za razvoj, testiranje i postavljanje u produkciju. Kod većih i kompleksnijih aplikacija pojavljuju se neki od nedostataka ovog pristupa. Sa većim brojem funkcionalnosti povećava se i složenost aplikacije što otežava izvodjenje izmena. Vremenom održavanje i odgovaranje na nove funkcionalne zahteve postaje dugotrajnije. Takodje greške pri izvršavanju na nekom delu sistema na bilo kom sloju mogu uticati na dostupnost cele aplikacije. Horizontalno skaliranje moguće je jedino postavljanjem više identičnih instanci cele aplikacije iza raspoređivača mrežnog opterećenja (*eng. Load balancer*).

Mikroservisna arhitektura je nastala sa ciljem da poveća fleksibilnost i proširivost aplikacije podelom na male labavo vezane servise koji se mogu nezavisno razvijati, testirati i postavljati na server [2]. Servisi su dizajnirani tako da implementiraju minimalni broj operacija koje podržavaju jednu poslovnu funkcionalnost i imaju mogućnost medjusobnog komuniciranja sa drugim servisima. Ova ideja nije nova i mnogi koncepti zasnivaju se na starijoj servisno orijentisanoj arhitekturi (SOA). Pored toga, svaki od servisa može imati nezavisan sistem za skladištenje podataka. Implementacija komunikacije zasniva se uglavnom na univerzalno poznatim komunikacionim stilovima kao što su REST (*eng. Representational state transfer*) ili gRPC (*eng. Remote procedure call*) koji nisu zavisni od konkretne tehnologije razvoja. Na ovaj način omogućava se decentralizovana komunikacija i upravljanje servisima, za razliku od SOA kod koje su ovi procesi centralizovani i najčešće ih obavlja nezavisna komponenta. Takođe, servisi su dizajnirani tako da budu tolerantni na nedostupnost i kvarove, odnosno drugi servisi koji ih koriste moraju biti spremni na takve situacije i odgovoriti elegantno. Na slici 2 prikazan je primer arhitekture mikroservisa.

Prednosti mikroservisne arhitekture su brojni. Prvenstveno, servisi se mogu potpuno nezavisno razvijati i postavljati u produkciju, nasuprot monolitnim aplikacijama kod kojih je to moguće samo u celini. Takođe na ovaj način omogućeno je skaliranje na nivou servisa, odnosno samo delova sistema gde je to potrebno. Zbog nezavisnog postavljanja na server i isporuka servisa može biti nezavisna. Omogućena je lakša primena kontinualne integracije i veći je prostor za optimizaciju sa strane infrastrukture. Ipak povećana kompleksnost operacionih zadataka prilikom razvoja, postavljanja u produkciju i nadgledanja mikroservisnih aplikacija često se spominje kao jedan od nedostataka ovog pristupa.

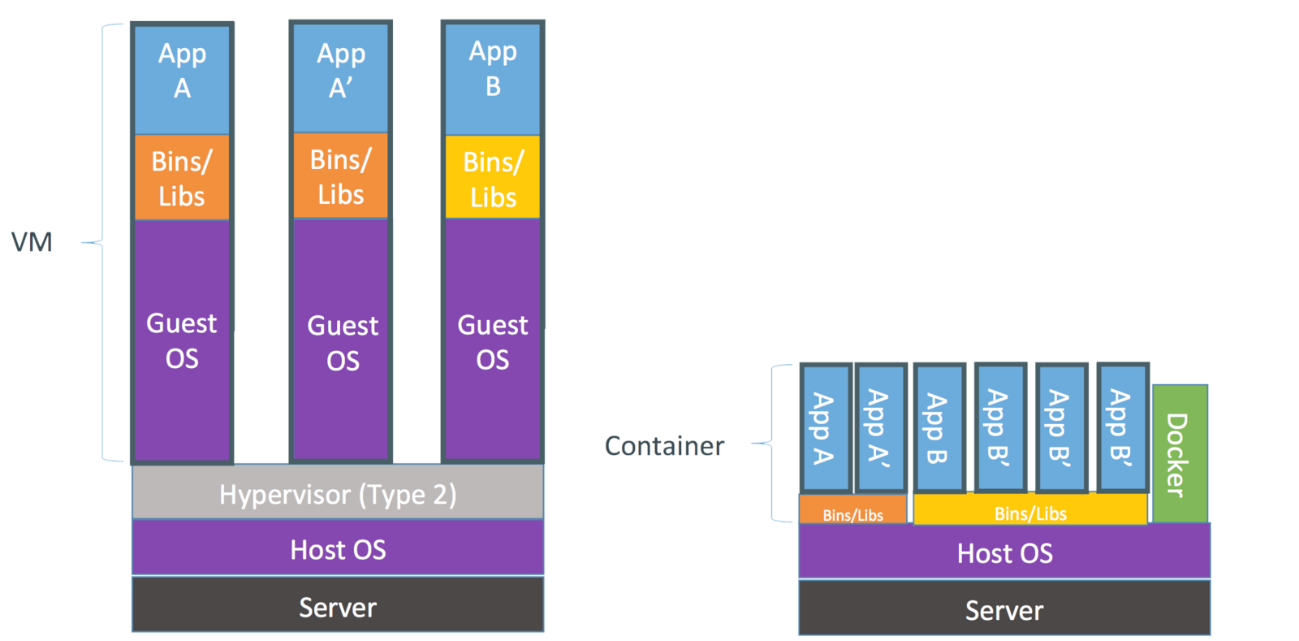


Slika 2. Mikroservisna arhitektura

2.2 Virtuelizacija zasnovana na kontejnerima

Softverski kontejneri su jedan od oblika virtualizacije na nivou operativnog sistema. U idealnom slučaju slika kontejnera (*eng. Container image*) enkapsulira jedan ili više procesa zajedno sa njihovim kodom, zavisnim bibliotekama, parametrima okruženja (*eng. Environment variables*) i drugim datotekama koje su potrebne prilikom njihovog izvršavanja. Kontejnerom nazivamo jednu insancu slike koju je moguće nezavisno izvršavati. U poređenju sa virtualnim mašinama koje pokreće hipervizor (*eng. Virtual Machine Hypervisor*) i u sebi sadrže kompletan gostujući operativni sistem, softverski kontejneri koriste kernel operativnog sistema domaćina. Na Linuks operativnim sistemima izolacija izmedju kontejnera postiže se korišćenjem prostora imena (*eng. Linux namespaces*). Na ovaj način resursi kao što su pristup sistemu datoteka, alocirana memorija i mrežni portovi jednog kontejnera su izolovani od drugih. Na slici 3 prikazan je odnos kontejnera i virtualne mašine.

Jedna od najkorišćenijih platformi rad sa kontejnerima je Docker, sa repozitorijumom DockerHub na kome su javno dostupne mnogobrojne slike kontejnera kreirane od strane korisnika. Nove slike kontejnera definišu se preko komandi u posebnoj datoteci sa nazivom Dockerfile. Za pokretanje i upravljanje aplikacijama koje se sastoje od više kontejnera može se koristiti alat Docker Compose.



Slika 3. Odnos kontejnera i virtualne mašine

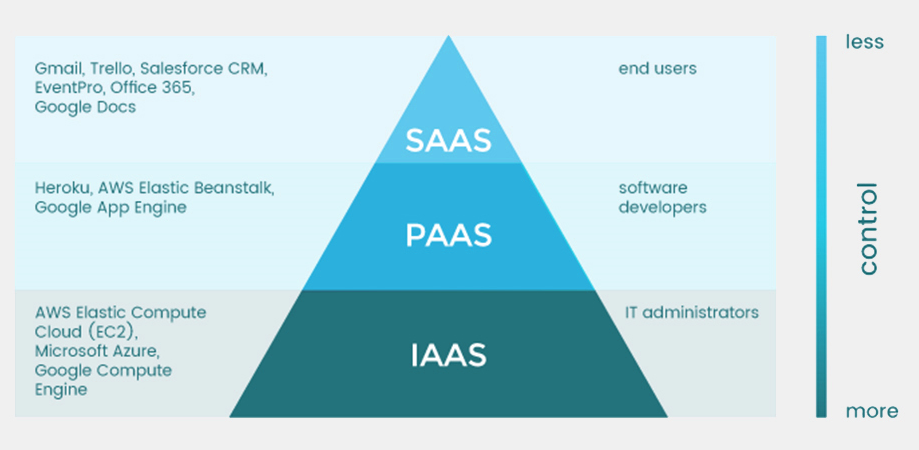
Orkestracija kontejnera je naziv za automatizovanu konfiguraciju, postavljanje, upravljanje i skaliranje sistema koji su zasnovani na kontejnerima. Kroz alate za orkestraciju moguće je definisati upotrebu serverskih resursa od strane kontejnera, mrežnu komunikaciju izmedju samih kontejnera kao i sa eksternim činiocima. Pored toga omogućavaju pokretanje odnosno zaustavljanje instanci kontejnera kako bi se osiguralo željeno stanje sistema i nivo skaliranja. Neki od sistema ovog tipa su Kubernetes, Docker Swarm i drugi.

Kontejneri se često u praksi koriste sa mikroservisnom arhitekturom, na način gde se svaki mikroservis enklapsulira u posebnu sliku kontejnera. Neke od prednosti sistema koji koriste ovaj oblik virtualizacije su povećana enkapsuliranost i lakša prenosivost. Takođe, zbog svoje male veličine i dobre izolovanosti, kontejneri su doneli mogućnost pokretanja novih instanci servisa za veoma kratko vreme, reda veličine nekoliko sekundi. Zajedno sa alatima za orkestraciju doneli su veliku fleksibilnost u proces skaliranja sistema. Mnoge moderne platforme za računarstvo “bez servera” u pozadini koriste ovaj oblik virtualizacije.

2.3 Računarstvo u oblaku, modeli servisa

Računarstvo u oblaku u svojim počecima predstavljalo je iznajmljivanje infrastrukturnih resursa kao što su serveri ili sistemi za skladištenje podataka, tako da su korisniku dostupni na zahtev i naplativi po utrošku ili vremenskoj rezervisanosti. Razvijaocu je omogućeno da upravlja, održava i nadgleda svoje resurse u oblaku putem odgovarajućih servisa. Vremenom i porastom popularnosti isporučioci su uvrstili u svoje ponude veliki broj servisa različitih namena. Prema nivou raspodele odgovornosti prilikom upravljanja resursima izmedju isporučioca platforme i korisnika, mogu se uočiti različiti modeli servisa [3]. Tri glavna modela servisa računarstva u oblaku su opisana u nastavku.

* Infrastruktura kao servis (*eng. Infrastructure as a service*) se odnosi na rezervisanje korišćenja tri vrste infrastrukturnih resursa putem servisa. To su serveri, resursi za skladištenje podataka i mrežna infrastruktura. Jedinica rezervisanja servera najčešće je virtualna mašina sa željenim operativnim sistemom i definisanim hardverskim resursima za centralno procesiranje, memoriju i drugima. Kod servisa za skladištenje podataka moguće je rezervisati skladištenje generičkih objekata (*eng. Blob Objects*) ili specijalizovanih sistema za blokovsko skladištenje i skladištenje datoteka. Mrežni servisi omogućavaju povezivanje rezervisanih resursa u virtualnu mrežu na platformi u oblaku kao i njihovo povezivanje sa drugim mrežama ili Internetom. Plaćanje kod servisa koji pripadaju ovom modelu obavlja se najčešće po vremenu rezervisanosti, ali se može i razlikovati u zavisnosti od tipa servisa. Isporučioci na platformi uglavnom imaju u ponudi i servise koji olakšavaju operacione aktivnosti na rezervisanim infrastururnim resursima, preko servisa za nadgledanje, upravljanje datotekama dnevnika, pravljenja rezervnih kopija (*eng. Backup*), bezbednosti, oporavka od katastrofe (*eng. Disaster recovery*) i drugih.
* Platforma kao servis (*eng. Platform as a service*) se odnosi na rezervisanje korišćenja platforme za razvoj, postavljanje i izvršavanje aplikacija na platformi u oblaku. Ovakve platforme nude mogućnost izbora programskih jezika, razvojnih okvira, biblioteka, korišćenja kontejnera za virtualizaciju, kontinualne integracije i drugih alata prilikom razvoja aplikacija. Osim toga omogućavaju podešavanja platforme prilikom izvršavanja aplikacije korišćenjem parametara okruženja, nadgledanje, upravljanje datotekama dnevnika i podešavanja bezbednosti na nivou aplikacije. Razvijaoc nema mogućnost direktne kontrole i operacionih aktivnosti nad infrastrukturnim resursima koji se nalaze ispod platforme. Naplata kod ovakvih servisa može se razlikovati od vremena korišćenja, broja korisnika, količine prostora za skladištenje, broja zahteva i transakcija i drugih.
* Softver kao servis (*eng. Software as a service*) predstavlja iznajmljivanje korišćenja gotovih aplikacija razvijenih od strane isporučioca ili trećih kompanija koje se izvršavaju na platformi u oblaku. Ove aplikacije najčešće se koriste preko korisničkog interfesa, dostupnog preko veb pregledača, mobilnih uređaja ili drugih. Korisnik nema kontrolu nad okruženjem aplikacije kao ni infrastrukturnim resursima prilikom njenog izvršavanja. Upravljanje je moguće jedino u samoj aplikaciji i to nad dodeljenim korisničkim nalozima i dozvolama, odnosno limitiranim skupom funkcionalnosti same aplikacije. Plaćanje kod ovog modela se često definiše pretplatom na mesečnom ili godišnjem nivou.



Slika 4. Modeli servisa računarstva u oblaku

2.4 Računarstvo “bez servera”

Iako izraz računarstvo “bez servera” (*eng. Serverless computing*) nagoveštava da ne postoji serverska komponenta u smislu hardvera i serverskih procesa kao dela arhitekture sistema, to nije u potpunosti tačno. Zapravo odnosi se na prebacivanje odgovornosti za upravljanje serverima i drugim resursima potrebnim za izvršavanje koda na treće lice. U velikom broju primera je u pitanju isporučioc platforme u oblaku, ali to ne mora uvek biti slučaj.

U osnovi računarstvo “bez servera” se može podeliti u dve grupe servisa. Prva grupa je takozvani zadnji kraj kao servis (*eng. Back end as a service*). To su servisi koji su u potpunosti razvijeni od strane trećih lica i hostovani na nekoj od platformi u oblaku. Kao takve moguće ih je integrisati u veb ili mobilnu aplikaciju razvijaoca. Ovde spadaju servisi različitih namena od autentikacije korisnika (Auth0, Okta), preko baza podataka (AWS Aurora, Firebase) do servisa za slanje notifikacija i mnogih drugih. Drugu i značajniju grupu čini model funkcija kao servis (*eng. Function as a service*) i on će biti detaljnije opisan u narednim sekcijama.

2.4.1 Funkcija kao servis

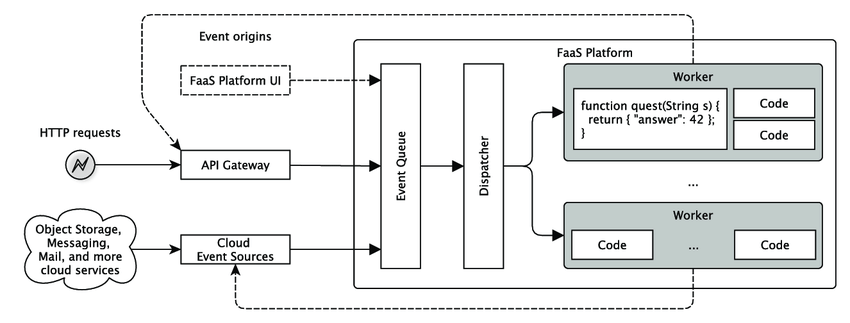
Funkcija kao servis je relativno nov model servisa računarstva u oblaku koji je širu popularnost stekao predstavljanjem AWS Lambda platforme zasnovane na ovom modelu krajem 2014 godine. Model je organizovan je tako da kod na serverskoj strani piše razvojaoc u obliku funkcija koje su bez stanja, pokreću se na osnovu događaja i njihovo izvršavanje u potpunosti kontroliše isporučioc platforme.

Dakle funkcija kao servis platforme omogućavaju izvršavanje koda bez podešavanja servera ili na njima postavljenih serverskih procesa koji su dugog životnog veka. Kod je organizovan u obliku funkcija. Funkcije se grupišu u izvršne jedinice, često kontejnere, o čijem se pokretanju, životnom veku i upravljanju prilikom izvršavanja stara platforma. Ovde se ogleda i razlika u odnosu na model platforma kao servis, kod koga razvijaoc nema kotrolu upravljanja serverom, ali ima nad serversim procesima putem odgovarajućih servisa [4].

Posmatrano sa strane koda, funkcije na ovom modelu su regularne i nisu zavisne od konkretnog programskog jezika ili razvojnog okvira. Isporučioci platformi u oblaku omogućavaju pisanje funkcija u većini popularnih programskih jezika kao što su Java, C#, Javascript, Python i drugi. Sa druge strane postavljanje u produkciju se dosta razlikuje od ostalih modela, na taj način što se kod aplouduje na posebno određene lokacije na plaformi isporučioca koje zatim platforma koristi za instanciranje izvršnih jedinica. Rezervisanje infrastrukturnih resursa za izvršavanje i upravljanje procesima obavlja platforma na automatizovan način.

Funkcije se pokređu putem događaja koji mogu biti HTTP zahtev, tajmer, ili događaj koji si dogodio na nekim od drugih servisa na platformi u oblaku. Veliki isporučioci omogućavaju veliki broj različitih tipova događaja na osnovu ostalih servisa koje imaju u ponudi. Primeri bi bili upis u neku od baza podataka na platformi, pristigla poruka u redu za obradu i drugi.

Na slici 5 prikazan je uprošćen diagram arhitekture platforme na modelu funkcija kao servis. Nakon pristizanja novog zahteva, zadatak platforme je da zahtev primi u red i zatim ga prosledi odgovarajućoj aktivnoj izvršnoj jedinici ili alocira novu izvršnu jedinicu za njegovu obradu. Platforma mora pokrenuti dovoljan broj instanci izvršne jedinice da opsluži sve pristigle zahteve u zavisnosti od količine saobraćaja. Takođe i dealocira određenu izvršnu jedinicu ukoliko je neaktivna odnosno ukoliko je istekao definisani vremenski period nakon poslednjeg obrađenog zahteva. Na ovaj način horizontalno skaliranje je prebačeno na plaftormu, i odvija se na automatizovan način, bez bilo kakvog podešavanja razvijaoca.



Slika 5. Arhitektura platforme zasnovane na modelu funkcija kao servis

2.4.2 Osobine

Postoji veći broj osobina koje karakterišu računarstvo “bez servera” i model funkcija kao servis. Njihovo poznavanje omogućava razvijaocu poređenje različitih platformi i bolji uvid prilikom izbora i korišćenja odgovarajuće platforme.

* Čuvanje stanja – za funkcije na ovom modelu se kaže da su bez stanja (*eng. Stateless*) i podaci se čuvaju samo u promenljivama funkcije. Odnosno nema garancija da se stanje može čuvati između više različitih poziva funkcije, i za ove potrebe moraju se koristiti eksterni sistemi za skladištenje. Ipak, neki od isporučioca imaju u ponudi i mehanizme koji čuvaju stanje i olakšavaju ulančane pozive i integraciju više funkcija.
* Performanse – različiti činioci i limiti utiču na performanse koda na ovom modelu, od broja konkurentnih zahteva, do maksimalne veličine memorije i procesorskih resursa za jedan poziv. Pored ovih platforme često imaju i vremensko ograničenje trajanja jednog zahteva, nakon čega se procesiranje zahteva zaustavlja. Takođe, vreme od pristizanja zahteva do početka izvršavanja funcije se može razlikovati u slučajevima kada se koristi postojeća izvršna jedinica, što nazivamo topli start (*eng. Warm start*) i kada se alocira nova, odnosno hladni start (*eng. Cold start*). Ova ralika može iznositi od nekoliko milisekundi do čak nekoliko sekundi.
* Naplata – naplata zavisi od količine i vremenske raspoređenosti zahteva i vrši se samo za utrošene resurse prilikom izvršavanja. Sve veće platforme imaju mogućnost skaliranja do nule u periodima kada nema zahteva za obradu i u tim trenucima razvijaoc nema troškova.
* Otvorenost koda – iako je većina platformi zatvorenog koda, postoje i one otvorenog koda kao što su OpenFaaS i Fission. Ove platforme je moguće hostovati i na lokalnim serverima na kojima postoji Kubernetes ili drugi odgovarajući sistem za orkestraciju kontejnera. Od velikih javnih isporučioca platforme koje su otvorenog koda su IBM Cloud Functions koji je baziran na Apache OpenWhisk platformi i Microsoft Azure Functions, i njihovi kodovi su javno dostupni na servisu GitHub pod Apache, odnosno MIT licencom.
* Bezbednost – bezbednost na ovom modelu ima dosta sličnosti sa modelom platforma kao servis. S obzirom da nema servera ili virtualnih mašina, nije potrebno održavanje sigursnosnih zakrpa na tom nivou. Isporučioci platformi u oblaku često imaju posebne servise za upravljanje nalozima i dozvolama na platformi poput AWS IAM ili Azure AD i oni imaju primenu i ovde. Podešavanju bezbednosti na ovim servisima treba prisupiti pažljivo, bar na produkcionim nalozima.
* Lokalni razvoj, nadgledanje i testiranje – neki od isporučioca imaju alate koji olakšavaju lokalno pokretanje i debagovanje funkcija. Kod drugih debagovanje i nadgledanje je moguće kroz upis u dnevnik datoteke funkcija. Jedinično testiranje funkcija je jednostavno s obzirom da se one sastoje samo od koda. Sa druge strane, integraciono testiranje složenih aplikacija na ovom modelu može biti veliki izazov.

2.4.3 Prednosti i nedostaci

Neke od prednosti ovog modela proizilaze direktno iz njegovog načina rada. Zbog automatskog skaliranja i ne korišćenja resursa u neaktivnom stanju, razvijaoc može imati veće uštede prilikom naplate servisa. Najbolji primeri su aplikacije kod kojih postoje periodi kada nema zahteva ili je saobraćaj nekonzistentan. Takođe, u odnosu na sisteme zasnovane na virtualnim mašinama i kontejnerima, može se govoriti o uštedi u operacionim aktivnostima, zbog toga što upravljanje infrastrukturom obavlja isporučioc. Prednost ovog modela kod razvoja kompletno novih aplikacija je i to što se razvijaoc može više fokusirati na sam dizajn arhitekture i aplikativni kod, i tako brže doći do prvih upotrebljivih verzija aplikacije.

Sa druge strane, zbog vremenskog ograničenja za izvršavanje zahteva i ne postojanja stanja na serverskoj strani, arhitektura “bez servera” nije adekvatna za neke vrste aplikacija. Slično se može reći i u slučajevima u kojima postoji potreba razvijaoca za specifičnom kontrolom i konfiguracijom infrastrukture. Generalno, aplikacije na ovom modelu su manje prenosive u odnosu na standardne virtualne mašine ili kontejnere. Događaji koji prouzrokuju pokretanje funkcija mogu se bazirati na drugim servisima platforme u oblaku, što može dovesti do veće zavisnosti razvijaoca od konkretnog isporučioca platforme.

3 Funkcija kao servis platforme

U ovom poglavlju biće dat kratak pregled platformi na modelu funkcija kao servis. U drugom delu poglavlja biće detaljno predstavljena platforma Azure Functions i njene karakteristike, razvoj funkcija i aplikacija i postavljanje na platformu u oblaku.

3.1 Pregled

Jedna od prvih i najpoznatijih platformi na ovom modelu je svakako Amazon AWS Lambda. Ova platforma omogućava pisanje funkcija bez stanja u jezicima Java, Python, C#, Node.js, Go, Ruby i PowerShell [5]. Funkcije se pokreću na osnovu događaja na drugim servisima na AWS platformi u oblaku, kao što su postavljanje dokumenta na S3 servis za skladištenje, prosleđen HTTP zahtev sa API Gateway servisa i mnogi drugi. Za debagovanje i nadgledanje aplikacija mogu se koristiti AWS X-Ray i Amazon Cloud Watch servisi. Pored toga dostupan je AWS Serverless Application Repository gde je moguće pronaći gotove aplikacije ili funkcije razvijene od strane zajednice koje je moguće koristiti.

Google Cloud Functions je funkcija kao servis platforma kompanije Google. Podržani jezici su Go, Node.js, Java i Python [5]. Platforma ima integrisane funkcionalnosti za debagovanje, nadgledanje i upis u dnevnik datoteke. Funkcije se pokreću na osnovu HTTP zahteva ili događaja na servisima Google Cloud platforme. Kod funkcija je moguće modifikovati lokalno i preko veb portala platforme. Platforme velikih ispručioca na ovom modelu upotpunjuju IBM Cloud Functions i Oracle Cloud Functions.

Jedan od najznačajnijih funkcija kao servis projekata otvorenog koda je Apache OpenWhisk. Platfomu je moguće hostovati na Kubernetes klasteru na lokalnim serverima ili na nekim od Kubernetes servisa na platformama u oblaku. Takođe IBM Cloud Functions je bazirana na ovom projektu i moguće je koristiti kao gotovo rešenje na platformi ovog isporučioca. Podržani su jezici Go, Java, Javascript, C#, Python, PHP, Ruby i Swift. Projekat pruža i alate komandne linije za kreiranje i debagovanje funkcija, kao i za postavljanje i upravljanje funkcijama u produkciji. Na sličan način funkcionišu i druge platforme otvorenog koda, kao što su OpenFaas, Knative i Kubeless.

3.2 Azure Functions

Azure Functions je funkcija kao servis platforma kompanije Microsoft i deo je Microsoft Azure platforme za računarstvo u oblaku. Zajedno sa Logic Apps, Event Grid i Cosmos DB servisima čini grupu servisa koji omogućavaju računarstvo „bez servera“ na ovoj platformi i u narednom delu biće predstavljen njen detaljniji pregled.

3.2.1 Osobine platforme, programski jezici i planovi korišćenja

Azure Functions platforma je zadužena za izvršavanje funkcija na plaftormi u oblaku, a alternativno moguće je i njeno hostovanje na lokalnim serverima. Razvijena je kao softver otvorenog koda u kompaniji Microsoft i prvi put predstavljeno u Januaru 2017. godine. U trenutku pisanja ovog rada aktuelna je bila stabilna verzija 3.1. platforme. Za razvoj funcija inicijalno bili su podržani jezici C#, Javascript i F#, a kasnije verzije donele su podršku za druge jezike. U tabeli 1 prikazana je podrška jezika i njihovih radnih okvira po verzijama, a postoji mogućnost dodavanja podrške za nove jezike korišćenjem jezičkih proširenja (*eng. Language Extensibility*).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Jezik | 1.x | 2.x | 3.x |
| C# | Da (.NET 4.7) | Da (.NET Core 2.2) | Da (.NET Core 3.1) |
| Javascript | Da (Node 6) | Da (Node 10 i 8) | Da (Node 12 i 11) |
| F# | Da (.NET 4.7) | Da (.NET Core 2.2) | Da (.NET Core 3.1) |
| Java | Ne | Da (Java 8) | Da (Java 11 i 8) |
| PowerShell | Ne | Da (PowerShell 6) | Da (PowerShell 7 i 6) |
| Python | Ne | Da (Python 3.7 i 3.6) | Da (Python 3.8, 3.7 i 3.6) |
| Typescript | Ne | Da | Da |

Tabela 1. Podržani jezici

Kao i kod većine ostalih servisa na platformi u oblaku Microsoft Azure, platforma je dostupna kao servis i se oslanja na planove za korišćenje (*eng. Azure App Service plans*). Različiti planovi korišćenja definišu resurse koje je moguće koristiti, region dostupnosti, načine hostovanja, dinamiku skaliranja, limite u veličini zahteva, maksimalnu količinu memorije, veličinu prostora na nalogu za skladištenje, maksimalno vreme izvršavanja (*eng. Execution timeout*) i druge parametre prilikom hostovanja [6]. Ponudjeno je pet planova za korišćenje Azure Functions platforme korisnicima i oni su redom: Consumption plan, Premium plan, Dedicated plan, ASE i Kubernetes.

3.2.2 Funkcije i aplikacije funkcija

Validne funkcije se sastoje od dve datoteke, prve koja sadrži kod za izvršavanje u jeziku koji je korisnik odabrao i druge pod nazivom function.json koja sadrži konfiguracioni kod u formatu JSON. U ovoj datoteci definisan je okidač, sva vezivanja i dodatni konfiguracioni parametri okruženja. Za kompilirane programske jezike moguće je automatski generisati function.json datoteku prilikom faze kompilacije, dok se za interpretirane jezike ona mora posebno napisati.

Funkcije su najčešće grupisane u aplikacije funkcija (*eng. Function App*), iako se mogu razvijati i koristiti i samostalno. Od verzije 2.0 platforme funkcije koje su deo iste aplikacije moraju biti napisane u istom programskom jeziku i koristiti istu verziju okruženja. Dok sa druge strane aplikacije omogućavaju lakše upravljanje grupom funkcija i njihovo postavljanje i podešavanje na Microsoft Azure plaftormi. Aplikacije imaju definisanu strukturu direktorijuma kako bi postavljanje na platformu i izvršavanje bilo uniformno i ona mora biti poštovana bez obzira na programski jezik i radni okvir razvoja [7].



Slika 6. Struktura aplikacije funkcija

Na slici 6 data je organizacija tipične aplikacije funkcija. U čvornom direktorijumu se nalazi host.json datoteka sa konfiguracionim podešavanjima aplikacije, svaka od funkcija smeštena je u posebnom poddirektorijumu, kao i opcioni deljeni kod, dok se u bin direktorijumu nalaze izvršne datoteke. U zavisnosti od programskog jezika mogu biti definisana dodatna pravila u strukturi.

3.2.3 Lokalni razvoj

Za potrebe pokretanja funkcija na lokalnom računaru potrebno je instalirati alat komandne linije Azure Functions Core Tools [8] kao i radni okvir za programski jezik koji je izabran, njihove trenutne verzije su prikazane u tabeli 1. Alternativno za pokretanje funkcija mogu se koristiti dodataci za razvojno okruženje Visual Studio i Visual Studio Code, a za pisanje koda samih funkcija i druga okruženja koja olakšavaju rad u izabranom jeziku.

U nastavku biće dat primer u jeziku C# i korišćenjem Azure Functions Core Tools [8] alata iz komandne linije i generičkog tekstualnog editora. Na slici 7 data je komanda kojom kreira se C# biblioteka klasa (*eng. Class library*) koja predstavlja aplikaciju funkcija.



Slika 7. Kreiranje aplikacije funkcija

Funkcije dodajemo kreirajući datoteke sa ekstenzijom „.cs“ za kod funkcija u odgovarajućim direktorijumima. Na slici 8 dat je primer koda funkcije sa okidačem na HTTP zahtev. Funkcija čita sadržaj parametra ime i na osnovu njega vraća odgovarajuću poruku u telu HTTP odgovora. Iz primera se može videti da se okidači mogu specifikovati kao C# atributi parametara funkcije. Više reči o okidačima i vezivanjima biće u narednoj sekciji.



Slika 8. Primer funkcije sa Http okidačem

Kompiliranje i pokretanje aplikacije se vrši komandom na slici 9. Nakon toga funkcija je dostupna lokalno za pozivanje na predefinisanom portu 7071, odnosno na lokaciji <http://localhost:7071/api/httpPrimer>.



Slika 9. Kompilacija i pokretanje aplikacije

Na ovaj način automatski je izgenerisana i konfiguraciona datoteka function.json i njen sadržaj dat je na slici 10.



Slika 10. Primer function.json datoteke

3.2.4 Okidači i vezivanja

Vezivanja (*eng. Bindings*) definišu načine na koji funkcija komunicira sa spoljašnjim svetom ili ostalim servisima razvijaoca na Microsoft Azure platformi [7]. Funkcija može imati veći broj vezivanja i ona mogu biti ulazna, izlazna ili dvosmerna. Podaci iz ulaznih vezivanja su prilikom izvršavanja dostupni kao parametri funkcije, dok se na izlazna vezivanja mogu slati podaci u telu funkcije ili kao njena povratna vrednost. Primeri ulaznog vezivanja bi bili tajmer, HTTP zahtev, upis koji se dogodio na Blob storage servisu, ulazna poruka u Queue Storage servisu, dogadjaj na Cosmos DB bazi ili na drugim servisima. Izlazno vezivanje može biti prosledjivanje rezultata funkcije na ove ili druge servise. U tabeli 2 data su svi podržani tipovi vezivanja.

U function.json datoteci vezivanja su definisana u posebnom nizu sa istim nazivom (*eng. Bindings*). Svaki element niza minimalno sadrži parametre tip (*eng. Type*) servisa za koji se definiše vezivanje, naziv (*eng. Name*), smer (*eng. Direction*) i tip podataka (*eng. DataType*) koje vezivanje očekuje. Ukoliko se koristi jezik C# moguće je specifikovanje vezivanja preko strogo tipiziranih C# atributa u kodu funkcije, da bi se na osnovu njih u fazi kompilacije generisala odgovarajuća sekcija u datoteci function.json.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Servis | 1.x | 2.x i više | Okidač | Ulazno vezivanje | Izlazno vezivanje |
| Blob storage | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ |
| Cosmos DB | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ |
| Dapr |  | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ |
| Event grid | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |
| Event hubs | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |
| HTTP | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |
| IoT hubs | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |
| Kafka |  | ✔ | ✔ |  | ✔ |
| Mobile Apps | ✔ |  |  | ✔ | ✔ |
| Notification Hubs | ✔ |  |  |  | ✔ |
| Queue storage | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |
| RabbitMQ |  | ✔ | ✔ |  | ✔ |
| SendGrid | ✔ | ✔ |  |  | ✔ |
| Service Bus | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |
| SignalR |  | ✔ |  | ✔ | ✔ |
| Table storage | ✔ | ✔ |  | ✔ | ✔ |
| Tajmer | ✔ | ✔ | ✔ |  |  |
| Twillio | ✔ | ✔ |  |  | ✔ |

Tabela 2. Podržani okidači i vezivanja

Poseban tip ulaznog vezivanja koja prouzrokuje izvršavanje funkcije je okidač i svaka funkcija mora imati tačno jedan okidač. Okidači u svom nazivu moraju imati nastavak “Trigger“ kako bi se razlikovali od ostalih ulaznih vezivanja. Na slici 11 dat je primer na kome je okidač poruka sa Queue Storage servisa. Poruka se zatim formatira i prosledjuje na izlazno vezivanje što je u ovom slučaju nova datoteka na Blob storage servisu. Na slici 12 je data odgovarajuća function.json datoteka za ovu funkciju.



Slika 11. Primer funkcije sa ulaznim i izlaznim vezivanjem



Slika 12. Primer konfiguracije vezivanja

3.2.5 Trajne funkcije

Trajne funkcije (*eng. Durable functions*) je nadogradnja na platformu Azure Functions koja je otvorenog koda i omogućava pisanje funkcija koje imaju mogućnost čuvanja stanja.

Trajne funkcije nastavak...

3.2.6 Postavljanje na Azure platformu

Za postavljanje lokalno razvijene aplikacije funkcija na platformu potrebno je da prethodno budu kreirani zavisni resursi na platformi i to resursna grupa (*eng. Resource group*), nalog za skladištenje (*eng. Storage account*), a potom i sama aplikacija funkcija. Kreiranje resursa je moguće uraditi na više načina, preko Azure veb portala, korišćenjem Azure alata komandne linije (*eng. Azure CLI*) ili korišćenjem ARM šablona (*eng. ARM template*). Na slici 13 prikazano je kreiranje nove aplikacije funkcija iz komandne linije.



Slika 13. Kreiranje aplikacije funkcija na Azure platformi

Prilikom kreiranja moguće je specifikovati region, razvojnu platformu, verziju izvršnog okruženja, naziv aplikacije, naziv resursne grupe, nalog za skladištenje, operativni sistem, plan korišćenja, i da li će se prilikom postavljanja koristiti kod ili priloženi Docker kontejner.

Na nalogu za skladištenje čuvaju se datoteke aplikacije u tri direktorijuma:

* data – u ovom direktorijumu se čuvaju host.json i druge datoteke za konfiguraciju izvršnog okruženja.
* LogFiles – čuva datoteke dnevnika koje nastaju prilikom izvršavanja.
* site – u njemu se nalazi aplikacija funkcija po definisanoj strukturi ili Docker kontejner ukoliko je tako odabrano prilikom kreiranja resursa.

Platforma koristi ove datoteke za pokretanje novih instanci izvršnih jedinica aplikacije u slučajevima kada je to potrebno. Postavljanje nove verzije aplikacije omogućeno je na više načina od kojih su najkorišćenija dva:

* Postavljanje iz zip datoteke (*eng. Zip deployment*) – koristi se zip datoteka koja sadrži datoteke aplikacije nakon kompilacije, postavljanje se vrši preko alata komandne linije, Azure veb portala ili REST API poziva.
* Pokretanje iz paketa (*eng. Run from package*) – postavljanjem parametra pod nazivom WEBSITE\_RUN\_FROM\_PACKAGE u host.json datoteci, čija se vrednost postavi na link sa paketom za pokretanje koji je javno dostupan na internetu.

Na slici 14 je dat primer komande za postavljanje iz lokalne zip datoteke.



Slika 14. Postavljanje aplikacije na platformu iz zip datoteke

Osim ovih omogućeno je i postavljanje novih verzija aplikacije na platfomu koristeći alate za kontinualnu integraciju Azure DevOps, GitHub Actions, Jenkins i drugih.

4 Razvoj REST servisa Recepti API

4.1 Funkcionalni opis i arhitektura

4.2 Implementacija servisa

4.2.1 Struktura projekta

4.2.2 Baza podataka

4.2.3 API resursi

4.2.4 Implementacija funkcija

5 Gradjenje, hostovanje i testiranje servisa Recepti API

5.1 Resursi na platformi u oblaku i postavljanje servisa

5.2 Testiranje

5.3 Nadgledanje i održavanje

6 Zaključak

Literatura

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | "Gartner," 2019. [Online]. Available: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-04-02-gartner-forecasts-worldwide-public-cloud-revenue-to-g. |
| [2] | S. Newman, Building Microservices, O'Reilly Media, Inc., 2015. |
| [3] | M. J. Kavis, Architecting the Cloud: Design Decisions for Cloud Computing Service Models (SaaS, PaaS, and IaaS), Wiley, 2014. |
| [4] | P. C. K. C. P. C. S. F. V. Ioana Baldini, "Serverless Computing: Current Trends and Open Problems," IBM Research, Bentley University, 2017. |
| [5] | K. Chowhan, Hands-On Serverless Computing, Build, run and orchestrate serverless applications using AWS Lambda, Microsoft Azure Functions, and Google Cloud Functions, Packt Publishing, 2018. |
| [6] | Microsoft, "Azure Functions Consumption Plans," 2020. [Online]. Available: https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-functions/functions-scale. |
| [7] | S. Rosenbaum, Serverless computing in Azure with .NET, Packt Publishing, 2017. |
| [8] | "Azure Functions Core Tools," 2020. [Online]. Available: https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-functions/functions-run-local. |