

Uticaj performansi sistema na planiranje virtuelizacionih okruženja

Ognjen Joldžić, Zlatko Dejanović, Ratko Dejanović

Elektrotehnički fakultet

Banja Luka, Republika Srpska, BIH

ognjen.joldzic@etfbl.net, zlatko.dejanovic@etfbl.net,

ratko@etfbl.net

Duško Bajić

Banjalučka berza hartija od vrijednosti a.d.

Banja Luka, Republika Srpska, BIH

dusko.bajic@blberza.com

Sadržaj—U radu su opisane osnovne karakteristike virtuelnih računarskih sistema. Data je detaljna analiza prednosti virtuelizovanih sistema nad ostalim tipovima računarskih arhitektura, kao i najznačajniji problemi koji se javljaju prilikom planiranja implementacije ovakvog računarskog sistema. Na kraju rada je dato testiranje performansi najčešće korištenih rješenja za virtuelizaciju. (Abstract)

Ključne riječi—serverska virtuelizacija; planiranje sistema; performanse virtuelnih okruženja (key words)

I. UVOD

Ubrzan razvoj informacionih tehnologija i njihova primjena u gotovo svim sferama poslovanja doveli su do porasta interesovanja za tehnologijom virtuelizacije. Iako se, sa tehničkog aspekta, ne radi o novoj tehnologiji, zahtjevi koji se u današnje vrijeme postavljaju pred najnovije informacione sisteme i računarske mreže su takvi da su prednosti virtuelizacije očigledne i kod manjih sistema, a ne samo kod kompleksnijih infrastrukture. Od navedenih prednosti svakako su najznačajnije cijena, povećanje dostupnosti servisa, bolja iskoristivost dostupnih sistemskih resursa i jednostavnija implementacija i administracija same platforme, ali i virtuelizovanih sistema. U ovom radu su opisani najznačajniji koncepti tehnologije virtuelizacije, kao i najznačajnije karakteristike dostupnih sistema za virtuelizaciju.

II. OSNOVNI KONCEPTI VIRTUELIZACIJE

Virtuelizacija je način predstavljanja jednog fizičkog sistema kao više virtuelnih sistema. Drugim riječima, ona predstavlja koncept podjele računarskih resursa između većeg broja okruženja istovremeno, pri čemu svako od okruženja (virtuelnih mašina) predstavlja efikasnu i izolovanu kopiju realnog sistema [1]. Da bi fizički sistem bio osposobljen za ovakvu podjelu, potrebno je obezbijediti softversku reprezentaciju (apstrakciju) fizičkih komponenti sistema putem posebnog apstrakcionog sloja poznatog pod nazivom HAL (engl. *Hardware Abstraction Layer*). Apstrakcioni sloj, u sprezi sa virtuelizacionim softverom (monitor virtuelnih mašina ili hipervizor), vrši koordinaciju funkcionisanja virtuelne mašine u odnosu na fizički sistem. U opštem slučaju, ovo podrazumijeva kontrolisanje rada virtuelne mašine i

prilagođavanje nekompatibilnosti klijentskog (gostujućeg) sistema stvarnim karakteristikama hardvera, ukoliko se one razlikuju od apstrakcije koju dodatni sloj pruža [2].

U zavisnosti od osobina apstrakcionog sloja, kao i njegove pozicije u kompletnoj strukturi virtuelizovanog sistema, tipove virtuelizacije je moguće kategorisati na sljedeći način:

a) hardverska virtuelizacija – ovaj tip virtuelizacije dodaje apstrakcioni sloj između fizičkog sloja i gostujućih operativnih sistema, čime se efektivno obezbjeđuje da veći broj sistema koristi isti hardver,

b) softverska virtuelizacija – u slučaju softverske virtuelizacije apstrakcioni sloj se nalazi iznad operativnog sistema, pa virtuelizovani softver ne dolazi u direktan kontakt sa hardverom. Hardverska i softverska virtuelizacija su često objedinjene terminom serverska virtuelizacija,

c) aplikativna virtuelizacija – ovaj tip virtuelizacije odvaja pojedinačne aplikacije od sistema na kojem se izvršavaju, čime se pojednostavljuje instaliranje, testiranje i administracija virtuelizovanih aplikacija,

d) mrežna virtuelizacija – ovaj tip virtuelizacije omogućava kreiranje virtuelnog mrežnog okruženja kreirajući apstrakcioni sloj iznad postojeće mrežne infrastrukture. Mrežna virtuelizacija se vrlo često koristi u kombinaciji sa serverskom virtuelizacijom, kako bi se virtuelizacionoj platformi omogućilo kreiranje mrežnog okruženja u zavisnosti od potreba konkretne implementacije. Implementacija takvog sistema bez upotrebe mrežne virtuelizacije ne bi bila moguća zbog ograničenja koja nameću fizičke karakteristike hardverske platforme.

Način podjele resursa sistema na virtuelna okruženja je poznat pod nazivom particionisanje. Od tipa particionisanja zavise u velikoj mjeri i performanse sistema, ali i kompleksnost njegove implementacije i administracije. Samim tim, izbor odgovarajućeg načina particionisanja predstavlja važan faktor kod implementacije rješenja za virtuelizaciju. Osnovni tipovi particionisanja su:

a) hardversko (fizičko) particionisanje – predstavlja fizičko razdvajanje resursa sistema korištenjem odvojenih

hardverskih uređaja. Aplikacije koje su projektovane tako da rade samostalno u okviru operativnog sistema (ili za koje se ne preporučuje paralelno korištenje fizičkih resursasa drugim aplikacijama) imaju najviše koristi od hardverskog particionisanja. Drugačija primjena fizičkog razdvajanja resursa se sreće kod sistema sa neadekvatnim upravljanjem raspoloživim resursima, gdje se ovakvim pristupom povećava stabilnost, jer se fizički resursi sistema dodjeljuju malom broju aplikacija koje se izvršavaju nad istim operativnim sistemom,

b) logičko particionisanje – predstavlja razdvajanje radnih okruženja unutar računarskog sistema, pri čemu se radi o softverskoj implementaciji particija. Na sličan način kao kod hardverskog particionisanja, kreirane particije predstavljaju samostalna okruženja u okviru kojih je moguće izvršavanje odvojenih operativnih sistema, ali se upravljanje particijama vrši putem posebnog softverskog međusloja koji se naziva monitor virtuelne mašine (hipervizor). Logičko particionisanje može biti softversko, aplikativno, servisno ili resursno, u zavisnosti od pozicije softverskog međusloja koji kontroliše podjelu resursa. Kod softverskog particionisanja, aplikacije se izvršavaju unutar particija koje se nalaze u okviru istog operativnog sistema ili fizičkog hardvera. Aplikativno particionisanje podrazumijeva odvajanje resursa potrebnih za izvršavanje aplikacije u posebno, virtuelno skladište, čime se omogućava izvršavanje više instanci iste aplikacije bez međusobnog konflikta u radu. Servisno particionisanje pruža mogućnost izolovanja pojedinih servisa iste aplikacije, pri čemu se različite instance servisa krajnjem korisniku predstavljaju kao različite instance aplikacije, kao da se radi o aplikativnom ili softverskom particionisanju. Konačno, particionisanje resursa omogućava bolju kontrolu korištenja resursa od strane aktivnih procesa na sistemu. Implementira se podjelom resursa dostupnih procesima putem niza parametara koji definišu dozvoljene granice potrošnje resursa od strane instanci aplikacije ili procesa.

III. PREDNOSTI VIRTUELIZACIJE NAD KLASIČNIM RAČUNARSKIM ARHITEKTURAMA

Iako je tehnologija virtuelizacije u današnje vrijeme zastupljena i na serverskim platformama kao i na korisničkim sistemima, u ovom radu su detaljnije analizirane karakteristike serverske virtuelizacije. Većina ovih karakteristika ujedno predstavljaju i prednosti virtuelizacije u odnosu na klasične računarske arhitekture, pa samim tim predstavljaju i osnovne razloge za migraciju postojećeg sistema ili implementaciju novog sistema korištenjem virtuelne platforme. Najznačajnije karakteristike tehnologije virtuelizacije za serverska okruženja se mogu definisati na sljedeći način:

a) manji troškovi hardvera – bez obzira na tip računarske arhitekture u kojem se implementira virtuelizacija, smanjenje cijene uspostavljanja i održavanja sistema predstavljaju rezultat koji je uvijek prisutan. Bitno je naglasiti da efekti virtuelizacije u pogledu uštede direktno zavise od uložених sredstava, ali da su prisutni već i kod najjednostavnijih računarskih arhitektura. Uopšteno rečeno, razlika u potrošnji se najjednostavnije može uočiti iz poređenja potrebnih hardverskih resursa u sistemima sa i bez

virtuelizacionih rješenja. Uzimajući u obzir jednu od osnovnih karakteristika virtuelizacije - mogućnost iskorištenja istih hardverskih resursa od strane proizvoljnog broja servisa - dolazi se do zaključka da sistemi sa većim brojem različitih servisa imaju znatno veću mogućnost optimizacije troškova, odnosno da mogućnost optimizacije troškova raste sa porastom broja servisa,

b) bolja iskorištenost serverskih resursa – karakteristika virtuelizacije obuhvaćena ovom kategorijom predstavlja jedno od najznačajnijih tehničkih unapređenja u odnosu na klasični način funkcionisanja računarskih sistema. Za bilo koji tip servisa, bilo da se radi o servisima aplikativnog sloja OSI modela ili o mrežnim servisima, moguće je registrovati vremenski interval pojačane upotrebe, kao i interval u kojem je frekvencija korisničkih zahtjeva manja. Tehnika virtuelizacije servisa nudi rješenje problema suboptimalnog iskorištenja resursa, odnosno nemogućnost smanjenja potrošnje u intervalima smanjenog opterećenja – što je slučaj kod klasičnih, nevirtuelizovanih arhitektura. Svakom virtuelizovanom servisu je na raspolaganju znatno veća količina zajedničkih hardverskih resursa, koji se u ovom slučaju alociraju prema potrebi i trenutnom opterećenju sistema. Kontrolni segment upravljačkog softvera je u poziciji da pojedinim virtuelizovanim servisima ili virtuelnim mašinama omogući pristup hardverskim resursima koje drugi servisi trenutno ne koriste, čime se dobija iskorištenost koja je direktno proporcionalna stvarnom opterećenju sistema generisanom od strane korisnika koji upućuju zahtjeve. Osim segmenata hardverske platforme, optimizacija je moguća i kod mrežnih resursa dostupnih sistemu. Kod klasičnih računarskih arhitektura, pristup mreži je morao biti omogućen svakom pojedinačnom članu infrastrukture (u ovom slučaju, svakom serveru zasebno). To je dalje za sobom povlačilo postojanje kompleksnijih uređaja u tačkama koncentracije mreže, veće troškove za infrastrukturu fizičkog sloja, i kompleksniju sigurnosnu politiku (posljednji segment je detaljnije opisan u jednom od narednih odjeljaka). Kod integrisanih rješenja za virtuelizaciju u opštem slučaju postoji znatno manji broj fizičkih veza postojeće platforme prema ostatku mreže. Ukupan kapacitet mreže je manji od umnoška maksimalne potrošnje za svaki od hostova i njihovog broja i zavisi od iskorištenja servisa u datom trenutku. Postojanje manjeg broja fizičkih veza znači i manji broj potrebnih uređaja u distribucionom i centralnom sloju mreže kako bi se ostvarila komunikacija između centra za virtuelizaciju i drugih resursa. Kod konfiguracije samih virtuelnih mašina, nema potrebe za dodatnom administracijom, jer je ukupan dio propusnog opsega koji je alociran svakoj mašini vidljiv kao odvojen komunikacioni link, pri čemu je kao i u slučaju drugih tipova resursa, u svakom trenutku moguće upravljanje i realokacija ukupnog propusnog opsega.

c) U ovom kontekstu se mogu posmatrati i drugi resursi, koji po svojoj prirodi ne pripadaju grupi računarskih resursa. Naime, optimizacijom servisa po pitanju utilizacije hardvera dolazi se do značajnog smanjenja potrošnje električne energije, što predstavlja pozitivan efekat po bilo kojem od dva prethodno posmatrana kriterijuma - iskorištenja serverskih

resursa i smanjenja cijene implementacije kompletnog računarskog sistema. Većina današnjih rješenja za upravljanje sistemima za virtualizaciju u sklopu funkcija optimizacije nude mogućnosti migriranja i grupisanja slabo iskorištenih servisa, kako bi se omogućilo privremeno ili trajno oslobađanje jednog dijela računarskog hardvera, odnosno gašenje virtuelnih mašina čiji servisi su migrirani ili grupisani. U kontekstu potrošnje električne energije, ušteda je direktno proporcionalna veličini računarskog sistema i značajno raste sa porastom broja servisa na sistemu,

d) manji rast broja servera – rast broja servera je pojava koja se vrlo često javlja u serverskim okruženjima kod kojih dođe do neplaniranog i iznenadnog porasta broja korisničkih zahtjeva. Nastaje kao posljedica činjenice da zbog neadekvatnog planiranja potrebnih resursa u početnim fazama implementacije, u kasnijim fazama nije moguće optimalno proširiti dostupne kapacitete. Pod optimalnim proširenjem u ovom slučaju se podrazumijeva nemogućnost grupisanja sličnih servisa u okviru iste hardverske platforme usljed različitog obima posla koji izvršavaju. Smanjenje broja rasta servera je u direktnoj vezi sa prethodnom tezom, jer efikasnije iskorištenje resursa za sobom obavezno povlači i smanjenje rasta broja servera. Ovo proizilazi iz činjenice da je proširenje kapaciteta sistema za virtualizaciju potrebno samo u slučajevima kada kumulativno opterećenje virtualizovanih servisa pređe ukupnu količinu dostupnih resursa, a ne vezuje se ni na koji način za opterećenje jednog ili grupe servisa u okviru čitavog računarskog sistema,

e) jednostavnost održavanja – održavanje serverskih sistema u okruženjima sa velikim brojem različitih hardverskih platformi, operativnih sistema i aplikativnih servisa predstavlja značajan problem sa aspekta upravljivosti ovakvih računarskih sistema. Za održavanje jedne takve infrastrukture je potrebno dodatno vrijeme zbog razlika u načinu konfiguracije i razlika u funkcionisanju pojedinih servisa. Sa druge strane, zajednička osnova virtualizacije platforme, u zavisnosti od pozicije apstrakcionog sloja, u manjoj ili većoj mjeri eliminiše najznačajnije probleme koji se javljaju pri administraciji virtualizovanih sistema, bez obzira na njihovu kompleksnost. U prvom redu, softverski aspekt konfiguracije i instalacije sistema je pojednostavljen i unificiran, tako da sistem za upravljanje virtuelnim mašinama pruža jedinstveno mjesto konfiguracije i kontrole za sve segmente sistema koji dijele isti hardver. Što se tiče održavanja hardverskih komponenata sistema, okruženja za virtualizaciju imaju znatno veću otpornost na hardverske otkaze i greške, te je problem kompatibilnosti drastično manje izražen,

f) smanjeno vrijeme nedostupnosti servisa – ovu karakteristiku virtualizacije nije moguće posmatrati odvojeno od osobina navedenih u prethodnom odjeljku. Nedostupnost servisa dolazi kao direktna posljedica otkaza neke od komponenata servisa, na hardverskom ili softverskom nivou, što dovodi do prekida u normalnom funkcionisanju sistema ili nekih njegovih segmenata. Ozbiljnost problema je u sprezi sa vremenom potrebnim za njegovo otklanjanje, pa samim tim i

vremenom u kojem servisi koji zavise od neispravnog segmenta sistema neće biti dostupni. U okruženjima u kojem je vrijeme reakcije na otkaze i kompleksnost rješavanja ovakvih problema svedeno na minimum, nedostupnost servisa je mnogo manje izražena. U ovom smjeru se kreće i razvoj softverskih sistema za upravljanje radom virtualizacionih okruženja, koji pružaju mogućnost automatske reakcije na greške i izolovanja neispravnih segmenata, odnosno aktivne migracije servisa i podataka prema dijelovima sistema koji funkcionišu bez problema, čime je moguće reagovati na hardverski ili softverski prekid bez obustavljanja rada servisa i aplikacija,

g) jednostavno čuvanje podataka (engl. *backup i recovery*) – gotovo sva rješenja za upravljanje virtualizacionim mehanizmima podržavaju napredne tehnike upravljanja eksternim skladištima podataka. Takva skladišta mogu biti implementirana u vidu lokalnih diskova kod manjih sistema, ili namjenskih rješenja koja omogućavaju konkurentan pristup podacima velikim brzinama od strane većeg broja virtuelnih mašina istovremeno. Tipična postavka virtuelnog sistema koja koristi eksterno skladište podataka (engl. *storage*) se sastoji iz alokacije određenog dijela ukupnog prostora na disku svakoj virtuelnoj mašini. Pritom je uobičajena praksa da se kod implementacije skladišta podataka iskoristi neka tehnika redundantnog upravljanja memorijom (implementacija RAID polja). Na taj način je omogućena brza reakcija sistema u situacijama u kojima dođe do otkaza nekog dijela skladišta podataka ili je potrebna jednostavna migracija podataka sa jedne lokacije na drugu. Migracija je dodatno pojednostavljena činjenicom da svaka virtuelna mašina ima inicijalno alociran memorijski prostor unutar kojeg se nalazi kompletan sadržaj virtuelne mašine, pa se promjena lokacije svodi na jednostavnu migraciju odgovarajućeg bloka memorije sa jednog mjesta na drugo. Ovakve migracije se često izvode automatski od strane kontrolera koji upravlja radom svih virtuelnih mašina, pri čemu je bitno naglasiti da sve navedene operacije nemaju uticaja na rad krajnjih korisnika koji koriste servise virtuelne mašine nad kojom se izvode operacije,

h) održavanje starijih (engl. *legacy*) sistema – virtualizacija kao koncept donosi i mogućnost simuliranja funkcionalnosti nekih komponenata hardverskog sistema u zavisnosti od njihove kompatibilnosti sa stvarnim hardverom prisutnim na sistemu. Ovo donosi mogućnost simuliranja okruženja potrebnog za izvršavanje starijeg softvera ili servisa - u opštem slučaju bilo kojeg računarskog sistema koji je moguće definisati pojmom *legacy* sistem,

i) poboljšan odziv sistema – ova karakteristika je, praktično, rezultat svega prethodno navedenog u sklopu osobina virtualizacijskih sistema. Mogućnosti reagovanja na greške, boljeg iskorištenja dostupnih sistemskih resursa, prilagođavanja frekvenciji upotrebe servisa sa stanovišta potrebnih resursa, poboljšan rad sa podacima i pojednostavljena administracija kompletnog sistema kao rezultat imaju statistički veoma mali broj situacija u kojima sistem nije u mogućnosti da odgovori na zahtjev korisnika.

Čak i u slučajevima u kojima dođe do greške, brzina reakcije sistema na grešku je dovoljno velika da krajnji korisnici nisu u stanju da registruju bilo kakvu vanrednu situaciju na strani sistema. U ispravno konfigurisanom sistemu za virtualizaciju, rad pratećih servisa za održavanje funkcionalnosti je transparentan krajnjem korisniku,

j) sigurnosni aspekti – sigurnost predstavlja jedan od najkompleksnijih aspekata bilo kojeg računarskog sistema, pa samim tim i sistema koji koristi virtualizaciju. Sigurnosna politika mora biti implementirana u bilo kojem računarskom sistemu, bez obzira da li je virtualizacija iskorištena u samo jednom dijelu sistema, ili za implementaciju kompletnog rješenja. Ako je u pitanju sigurnost na mrežnom nivou, virtualne mašine su ostatku mrežne infrastrukture vidljive kao standardni hostovi na mreži, i njihovo učešće u komunikaciji se ni po čemu ne razlikuje od komunikacije servera koji se nalaze unutar infrastrukture koja ne implementira tehnike virtualizacije. S druge strane, zbog manjeg broja potrebnih mrežnih uređaja u tački koncentracije mreže, zadatak ograničavanja i zaštite mrežne komunikacije je u slučaju integrisanog rješenja za upravljanje virtualnim mašinama znatno jednostavnije. Drugi aspekt u kojem prednosti virtualizacije dolaze do izražaja prilikom implementacije sigurnosne politike se sreće u domenu administracije operativnih sistema. Funkcija koju podržava većina kontrolera virtualnih mašina je kreiranje šablona virtualne mašine (engl. *virtual machine template*) na osnovu kojeg će po potrebi biti kreirane sve instance u kasnijem radu. Konfiguracijom sigurnosne politike direktno na apstraktnom šablonu dobija se unificirana konfiguracija na svim operativnim sistemima, odnosno virtualnim mašinama, kreiranim iz istog šablona,

k) mogućnost kreiranja testnih lokacija – jednostavnost kreiranja virtualnih mašina dovodi do mogućnosti generisanja testnih okruženja koja će biti korištena u kratkom vremenskom periodu, nakon čega bi korišteni resursi bili oslobođeni za drugu namjenu. U klasičnim arhitekturama računarskih sistema, testna okruženja su morala biti planirana sa istom pažnjom kao da se radi o produkcionom sistemu, jer je količina dostupnog hardvera bila znatno manja nego što je to slučaj kod virtualnih sistema.

IV. NAJVAŽNIJI FAKTORI KOD PLANIRANJA VIRTUELIZACIONOG OKRUŽENJA

Da bi se omogućilo iskorištenje svih prednosti upotrebe virtuelizacionog okruženja, kao i da bi se opravdala nešto značajnija inicijalna ulaganja, potrebno je u planiranje uključiti čitav niz faktora koji utiču na rad ovakvog okruženja. Od potreba platforme zavisi i izbor nekog od rješenja dostupnih na tržištu, jer pojedina rješenja imaju specifične karakteristike, koje u određenim implementacijama donose pozitivne rezultate, dok u ostalim slučajevima predstavljaju ograničavajući faktor u realizaciji. Osnovne osobine virtuelizacionih okruženja koje se moraju uzeti u obzir prilikom planiranja su:

a) kompatibilnost hardvera – za klasične računarske sisteme važi pravilo da je sistem kompatibilan sa onim

hardverom za koji operativni sistem posjeduje drajvere. Kod virtuelizacionih okruženja, u ovom segmentu je potrebno napraviti podjelu na sisteme koji koriste usluge nekog postojećeg operativnog sistema i sisteme koji direktno komuniciraju sa fizičkim komponentama platforme (engl. „*bare-metal*“). Predstavnik prve grupe je Microsoft Hyper-V [3], koji koristi usluge Windows Server 2008 operativnog sistema za komunikaciju sa hardverom, dok se sistem za virtualizaciju izvršava kao jedan od procesa unutar operativnog sistema. Sa druge strane, rješenja kao što su VMware ESXi i Citrix XenServer komuniciraju direktno sa hardverskom platformom, zadržavajući osnovne funkcionalnosti za rad bez potrebe za instaliranjem nekog od klasičnih operativnih sistema [4]. Korištenje rješenja iz prve grupe donosi veću kompatibilnost sa specifičnim hardverskim komponentama, kao i znatno širu bazu drajvera za takve komponente, dok rješenja iz druge grupe pružaju manju potrošnju resursa od strane samog apstrakcionog sloja sistema,

b) podrška za klijentske operativne sisteme – vrlo bitan faktor u planiranju predstavlja mogućnost izbora klijentskog operativnog sistema za virtualizaciju. Hyper-V rješenje nameće određena ograničenja po pitanju operativnih sistema koji nisu bazirani na Windows platformi [5], dok ESXi i XenServer rješenja podržavaju većinu poznatih operativnih sistema,

c) performanse sistema – obzirom da se radi o vrlo kompleksnom problemu, nije moguće dati jednostavan odgovor na pitanje koje rješenje pruža najbolje performanse u radu. Performanse sistema zavise od čitavog niza faktora, bilo da se radi o segmentima koji čine hardverski dio platforme ili o softverskim detaljima implementacije. U okviru ovog rada su prikazani rezultati testiranja performansi prethodno spomenutih rješenja za serversku virtualizaciju.

V. TESTIRANJE PERFORMANSI NAJPOZNATIJIH RJEŠENJA ZA VIRTUELIZACIJU

Korištena je serverska konfiguracija bazirana na 4-jezgarnom Intel Xeon X3430 procesoru, sa 8 GB dostupne radne memorije. Resursi sistema su u potpunosti bili dostupni svakom od testiranih rješenja, jer je testiranje sprovedeno zasebno za svaki od hipervizora. Bitno je naglasiti da hardverske osobine, kao i izbor gostujućeg operativnog sistema nisu od direktnog značaja za dobijene rezultate, već da dobijene rezultate treba posmatrati u međusobnom odnosu za sva testirana rješenja. Drugim riječima, lošije relativne vrijednosti jednog rješenja u odnosu na ostala su znak lošeg upravljanja ili iskorištenja konkretnog tipa resursa, te predstavljaju probleme koji se manifestuju bez obzira na karakteristike hardverske platforme.

Testiranje performansi je izvršeno korištenjem testova koji se mogu grupisati u dvije kategorije:

a) testiranje upravljanja raspodjelom procesorskog vremena,

b) testiranje upravljanja raspodjelom radne memorije.

Upravljanje raspodjelom procesorskog vremena od strane monitora virtualnih mašina je testirano korištenjem

standardnih aplikacija kod kojih su računске operacije često korištene: 7zip alat za kompresiju, kod kojeg je kompresovanje izvršeno korištenjem p7zip biblioteke; *Himeno benchmark* – specijalizovani alat za mjerenje performansi procesora kod izvršavanja računskih operacija nad podacima u pokretnom zarezu i OpenSSL alat, kod kojeg je opterećenje procesora izvršeno upotrebom funkcije za digitalno potpisivanje korištenjem RSA algoritma.

Opisani testovi su izvršeni nad svim opisanim rješenjima za virtualizaciju. Kao referenca su dati i rezultati istih testova izvršenih nad nevirtualizovanim okruženjem (odnosno, u slučaju u kojem je gostujući operativni sistem instaliran direktno na hardversku platformu). Za potrebe gostujućih operativnih sistema su odabrane najnovije dostupne verzije Windows Server i Linux (baziranog na Debian Linux distribuciji) operativnih sistema u trenutku pisanja rada. Tabela I. daje rezultate sprovedenih testova performansi procesora.

TABELA I. REZULTATI TESTIRANJA PROCESORSKOG OPTEREĆENJA

Okruženje	Tip testa		
	7zip (MIPS)	Himeno (MFLOPS)	OpenSSL (broj potpisa)
Nevirtualizovano okruženje	8245	152	36
VMware ESXi	8045	152	36
Microsoft Hyper-V	2429	146	34
Citrix XenServer	7649	151	36

Obzirom da veće vrijednosti predstavljaju bolje rezultate, dolazi se do zaključka da je kod Hyper-V rješenja upravljanje procesorskim vremenom značajno lošije u odnosu na ostala rješenja, koja po performansama u većini slučajeva dostižu rezultate dobijene na nevirtualizovanom okruženju.

Kod testiranja performansi radne (RAM) memorije, korišteni su sljedeći testovi za testiranje performansi memorijskih sistema koji rade sa znatno većim blokovima podataka od veličine keš memorije bilo kojeg računarskog sistema, testirajući propusnost radne memorije: *Stream benchmark* i *RAMspeed/SMP*. Na istoj konfiguraciji su dobijeni rezultati dati u tabeli II.

TABELA II. REZULTATI TESTIRANJA MEMORIJSKOG OPTEREĆENJA

Okruženje	Tip testa	
	Stream (MB/s)	RAMspeed/SMP (MB/s)
Nevirtualizovano okruženje	11094	10207
VMware ESXi	10852	9925
Microsoft Hyper-V	6854	8104
Citrix XenServer	11074	9927

Analizom dobijenih rezultata se potvrđuje zaključak izveden iz testiranja procesorskog opterećenja.

Testiranje znatno šireg razmjera provedeno korištenjem sistema za upravljanje bazom podataka (SUBP) daje slične rezultate kakvi su dobijeni u okviru ovog rada, čime se potvrđuje premisa da se relativni odnos dobijenih performansi različitih sistema za virtualizaciju ne mijenja sa promjenom karakteristika hardverske platforme, kao ni promjenom broja

virtuelnih mašina, odnosno da je dobijeni rezultat u najvećoj mjeri posljedica karakteristika samog sistema za upravljanje virtuelnim okruženjem.

VI. ZAKLJUČAK

Sve navedene karakteristike sistema za virtualizaciju, kao i rezultati testiranja svrstavaju tehnologiju virtualizacije u red najznačajnijih tehnologija za razvoj računarskih sistema uopšte. U skorijoj budućnosti može se očekivati još agresivnija ekspanzija broja korisnika nekog od mnogobrojnih oblika virtualizacije. Bitno je naglasiti značaj virtualizacije u svjetlu *cloud computing*-a, kao jednog od najznačajnijih novih trendova u pružanju servisa krajnjim korisnicima. Uzimajući u obzir da iza čitavog koncepta *cloud computing*-a stoji zahtjev za visokom dostupnošću i skalabilnošću, virtualizacija predstavlja jednu od malobrojnih tehnologija koja može ispuniti oba zahtjeva uz relativno mala ulaganja, kako u inicijalnom periodu, tako i tokom održavanja produkcionih sistema. S tim u vidu, realno je očekivati progresivan rast broja implementacija virtuelnih platformi. U radu su testirane tri platforme za virtualizaciju i pokazano je da dvije pružaju približno iste performanse krajnjem korisniku kao i nevirtualizovano okruženje.

LITERATURA

- [1] Danielle Ruest, Nelson Ruest, *Virtualization: A Beginner's Guide*. The McGraw-Hill Companies, 2009,
- [2] James E. Smith, Ravi Nair, *The Architecture of Virtual Machines*, IEEE Computer Society, 2005,
- [3] David Marshall, Wade A. Reynolds and Dave McCrory, *Advanced Server Virtualization - VMware and Microsoft® Platforms in the Virtual Data Center*, Auerbach Publications, 2006,
- [4] Jenna Matthews, *Running Xen: A hands-on guide to the art of virtualization*, Prentice Hall, 2008,
- [5] In-depth Lab Experiment: Hypervisors, <http://virtualizationreview.com/Articles/2009/03/02/Lab-Experiment-Hypervisors.aspx?Page=1>, posjećeno u oktobru 2011. godine

ABSTRACT

This paper presents the basic characteristics of virtual computing environments. A detailed analysis of virtual systems is presented, including their advantages over other types of computer architectures. Some of the most important virtual environment planning issues are discussed. Finally, the paper presents the results of an extensive performance test for the most commonly used virtualisation solutions.

PERFORMANCE IMPACT ON VIRTUAL ENVIRONMENT PLANNING

Ognjen Joldžić, Zlatko Dejanović, Ratko Dejanović, Duško Bajić