

O analiză a modelelor de energie pentru servere dintr-un centru de date

Delia Mihaela RĂDULESCU¹, Gheorghe LĂZĂROIU²

¹Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București

²Universitatea Politehnica București

delia.radulescu@ici.ro, glazaroiu@yahoo.com

Rezumat: Creșterea numărului de centre de date, în ultimii ani, generează un consum din ce în ce mai mare de energie, cu un impact considerabil asupra consumului global de energie și cu efecte asupra mediului. Monitorizarea eficientă a energiei este fundamentul construirii unui centru de date „verde”. Pentru a realiza un management al consumului de energie în centrele de date, este necesar un model de energie pentru servere. În această articol, se prezintă și se analizează mai multe modele de energie pentru server, mai des utilizate pentru centre de date. Variabilele implicate în modelele de energie pentru server sunt frecvența și gradul de utilizare procesor, utilizarea memoriei și a hard disk-ului, performanța, temperatura și viteza ventilatorului. Modelele de energie pentru server sunt clasificate în principal în modele aditive și modele activ-bază. Se realizează o analiză comparativă a modelelor de energie pentru server și a erorii de aplicare a acestora. În mod experimental, a fost realizată o analiză a consumului de energie pentru diferite servere.

Cuvinte cheie: centru de date, server, modele de energie, modele aditive, modele activ-bază.

An analysis of energy models for servers in a Data Center

Abstract: The increase in the number of Data Centers, in recent years, generates an increasing consumption of energy, with a considerable impact on global energy consumption and effects on the environment. Efficient energy monitoring is the foundation of building a "green" data center. A energy model for servers is required to achieve energy management in data centers. This article presents and analyzes several server energy models, more often used for data centers. The variables involved in server energy models are the frequency and degree of processor usage, memory and hard disk usage, performance, temperature, and fan speed. Server energy models are mainly classified into additive models and active-base models. A comparative analysis of server energy models and their application error is performed. Experimentally, an analysis of energy consumption for different servers was performed.

Keywords: Data Center, server, energy models, additive models, active-base models.

1. Introducere

Pe măsură ce transformarea digitală a societății continuă să se accelereze, noi cercetări în domeniul integrării IT (de exemplu: internet mobil, internet al lucrurilor, Cloud Computing, Big Data, inteligență artificială etc.) sunt din ce în ce mai active. Aceste noi cercetări conduc la creșterea economiei și îmbunătățesc productivitatea muncii. În fiecare zi tot mai multe date sunt stocate sau transferate prin Internet. Aceasta înseamnă că sunt necesare mai multe centre de date, iar numărul lor crește.

Eficiența energetică în toate sectoarele economice este unul dintre principalele obiective globale. Centrele de date reprezintă un sector caracterizat de o creștere mare a consumului de energie, care are un impact considerabil asupra consumului global de energie. Îmbunătățirea eficienței energetice a centrelor și serverelor de date depinde de capacitatea de a măsura și de a evalua această eficiență (Rădulescu & Rădulescu, 2017). O metodă completă de evaluare poate permite proprietarilor centrelor de date să achiziționeze dispozitive mai eficiente. De asemenea, poate ajuta furnizorii de servicii pentru a selecta cele mai eficiente servere pentru aplicațiile lor specifice și pentru a monitoriza consumul de energie.

Monitorizarea eficientă a energiei este fundamentul construirii unui centru de date „verde”, sustenabil. Sustenabilitatea poate fi măsurată prin amprenta de carbon sau eficiența energetică a unui centru de date (Mitan, 2019).

În mediul Cloud, sistemul de monitorizare ar trebui să fie extrem de scalabil și să poată furniza date precise cu privire la consumul de energie. Tehnicile tradiționale de măsurare a energiei utilizează contoare fizice sau senzori hardware pentru a colecta consumul de energie al unui server. Aceste metode sunt fezabile în centrele de date la scară mică. Ele, de obicei, nu sunt aplicabile în centrele de date mari și eterogene, deoarece este prea costisitor să se instaleze un contor sau un sistem de achiziție de date (Verma et al., 2008). În prezent, este utilizat pe scară largă, un model de energie ca metodă de estimare a energiei unui server dintr-un centru de date. Majoritatea studiilor relevante în domeniu au construit modele la nivelul serverului fizic, unde procesorul și memoria sunt componentele majore care consumă energie (Lin et al., 2018).

În articol se prezintă și se analizează mai multe modele de energie, mai des utilizate, pentru serverele dintr-un centru de date. În secțiunea a-2-a se prezintă componentele principale ale unui centru de date și ale unui server. Se prezintă apoi consumul de energie la nivelul componentelor unui server și factorii de care se ține cont în calculul consumului de energie pentru diferite componente ale unui sistem. Se arată că utilizarea procesorului este cea mai des utilizată variabilă în modelele de energie pentru server, urmată de frecvența procesorului, performanța și temperatura.

O clasificare a modelelor de energie pentru server este realizată în secțiunea a-3-a. Aceste modele sunt clasificate în modele aditive și modele activ-bază. Se realizează o analiză comparativă a modelelor de energie pentru server și a erorii de aplicare a acestora.

În secțiunea a 4-a se prezintă metodologia „Server Efficiency Rating Tool (SERT)” recunoscută de câțiva ani ca fiind printre cele mai bune metode pentru caracterizarea eficienței serverelor. Din colecția de date construită cu ajutorul metodologiei SERT a fost creată o bază de date și a fost realizată, în secțiunea a-5-a, o analiză a consumului de energie pentru diferite sisteme și diferite încărcări cu sarcini de lucru.

2. Componente centre de date și servere

Centrele de date au patru componente majore: echipamente de alimentare, echipamente de răcire, echipamente IT și componente diverse (Dai et al., 2014). Echipamentele IT și echipamentele de răcire sunt cele două componente principale, reprezentând aproximativ 90% din consumul total de energie al unui centru de date (Vasques et al., 2019). Conform datelor statistice, serverele și dispozitivele de stocare consumă 45% din energia totală a unui centru de date (Rong et al., 2016).

Serverul este un termen larg care descrie o componentă specifică de echipament IT care oferă capacitate de calcul și rulează aplicații software într-un mediu în rețea cu alte echipamente IT, inclusiv alte servere.

Evaluarea ofertei de servicii cloud gazduite în centre de date presupune existența unor criterii de comparație care pot fi măsurate. Metricile pentru serviciile cloud oferă cunoștințe despre caracteristicile unui serviciu cloud (Rădulescu et al., 2019).

După cum se menționează în (Kansal et al., 2010), procesorul (CPU), memoria și hard disk-ul sunt componentele majore care consumă cea mai mare parte a energiei unui server. Consumul de energie al altor componente este considerată ca energie inactivă. S-a constatat (Vasques et al., 2019) că procesorul este cel mai mare consumator de energie, urmat de sloturi periferice (inclusiv dispozitive de I/O), unitate de alimentare, memorie, placă de bază, hard disk/stocare și ventilator (vezi Figura 1).

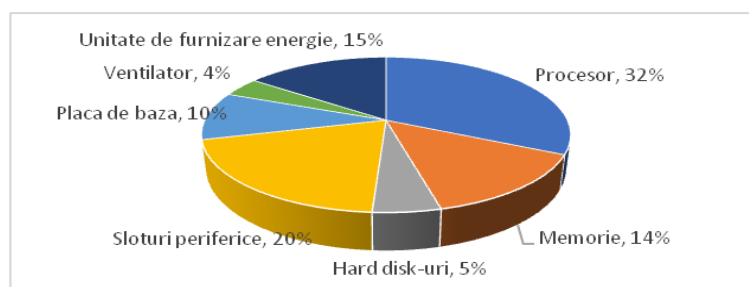


Figura 1. Consumul de energie la nivelul unui server (adaptare după (Vasques et al., 2019))

Consumul de energie al procesorului este în funcție de tensiunea, frecvența și utilizarea acestuia, consumul de energie al memoriei este în funcție de mărimea, frecvența și utilizarea acesteia, consumul de energie al hard disk-ului este în funcție de viteza de citire și de scriere, iar consumul de energie al ventilatorului este în funcție de viteza de rotație. Principalele componente care consumă energie pot fi diferite pentru configurații diferite de servere, iar proporția consumului de energie al fiecărei componente nu este constantă (Jin et al., 2020).

3. Modele de energie pentru servere dintr-un centru de date

Modelul de energie pentru server se referă în principal la consumul curent de energie al unui sistem (inclusiv sisteme fizice și mașini virtuale), consum rezultat prin utilizarea resurselor și/sau considerând indicatori de performanță (starea sistemului, evenimentele sistemului etc.).

Resursele dinamice de consum de energie pentru servere sunt compuse în principal din procesor, memorie și hard disk. Kansal și colaboratorii (Kansal et al., 2010) au efectuat un test folosind serverul Dell PowerEdge pentru a explora impactul celor trei resurse majore consumatoare de energie (procesoare, memorii și hard disk-uri) asupra consumului de energie al serverului într-un centru de date cloud. Acest server avea două procesoare quad-core, memorie de 12 GB și hard disk-uri de 4300 GB. Rezultatele au arătat că, odată cu modificarea utilizării procesorului, consumul de energie al serverului a crescut continuu, iar odată cu creșterea utilizării memoriei și a hard disk-ului, schimbarea consumului de energie a fost evidentă. Consumul de energie luând în considerare utilizarea memoriei și a hard disk-ului a fost în concordanță cu curba de utilizare a procesorului în cadrul acțiunii combinate a celor trei resurse. Totuși, rata de contribuție a consumului de energie pentru memorie, hard disk și alte componente ale sistemului este relativ scăzută.

Modelele de energie pentru server acoperă atât mașinile fizice (severele) cât și mașinile virtuale (Virtual Machines-VM) și pot fi clasificate în modele aditive, modele activ-bază și alte modele, luând în considerare formula de calcul și alți factori (Jin et al., 2020).

3.1. Modele aditive

Modelele aditive aplică cea mai directă modalitate de modelare a consumului de energie prin adăugarea consumului de energie al tuturor componentelor unui server. Expresia este următoarea:

$$P_{Total} = P_{CPU} + P_{Mem} + P_{Disk} + \dots + P_{I/O}$$

unde P_{CPU} , P_{Mem} , P_{Disk} și $P_{I/O}$ reprezintă consumul de energie pentru CPU, memorie, disk și operații de intrare – ieșire (Input/Output-I/O).

Unele cercetări au selectat procesorul, memoria, hard disk-ul, rețeaua, placa de bază și ventilatorul drept componente principale ale unui model de energie pentru server, în timp ce alte studii au considerat că CPU și memoria sunt componentele principale (Jin et al., 2020). Astfel, energia consumată de server este o funcție a procesorului, a memoriei și a altor dispozitive.

În articolul (Basmadjian et al., 2011) se prezintă un model aditiv pentru consum energie server care ține cont de tensiunea și frecvența CPU, frecvența memoriei, viteza de citire și scriere a hard disk-ului și viteza de rotire a ventilatorului. Dacă un server este compus din mai multe plăci de bază, ventilatoare și unități surse de energie, atunci consumul de energie este calculat după cum urmează:

$$P_{Server} = \sum_{i=1}^l P_{PB,i} \text{ pentru serverul de tip blade și}$$

$$P_{Server} = \sum_{i=1}^l P_{PB,i} + \sum_{j=1}^m P_{V,j} + \sum_{k=1}^n P_{UP,k} \text{ pentru serverul de tip tower sau rack.}$$

Energia totală a serverului este suma puterilor consumate de plăcile de bază (Mainboard) $P_{PB,i}$, de ventilatoare $P_{V,j}$ și de unitățile de furnizare energie (Power Source Unit - PSU) $P_{UP,k}$. Indicele l indică numărul total de plăci de bază, m reprezintă numărul total de ventilatoare, iar n reprezintă numărul total de unități surse de energie.

Un model aditiv de energie pentru server ce ține cont de modul de frecvență a unui server este prezentat în (Arroba et al., 2014) :

$$P_{Server}(m, k) = P_{CPU}(m, k) + P_{mem}(m, k) + P_{ate}(m, k)$$

În acest model, m reprezintă mașina, iar k reprezintă un mod de frecvență al mașinii m (Dynamic Voltage and Frequency Scaling -DVFS).

În (Song et al., 2013) se descrie o abordare generală pentru construirea unui model de performanță și energie unificat pentru aplicații paralele care rulează sub o configurație de server HPC (High Performance Computing). Metodologia utilizează o combinație de modelare analitică și analiză empirică. Avantajul major al utilizării unei asemenea abordări este că se poate izola cu ușurință energia și performanța componentelor individuale de execuție (de exemplu: calcul, acces la memorie și operații I/O), astfel încât tehnicile utilizate pentru construirea modelului de performanță să poată fi reutilizate pentru modelul de energie corespunzător. Acest model este:

$$E_{Total} = E_{CPU} + E_{Mem} + E_{Disc} + E_{NIC} + E_{Retea-dispoz}$$

În acest model energia totală este calculată ca sumă a energiei consumate de procesor (CPU), memorie, hard disk, rețea (Network Interface Card – NIC) și energia rețelei minus cea a dispozitivelor.

Modelul prezentat în (Perumal & Subbiah, 2014) se referă la energia unui nod de rețea și însumează energia consumată de procesor (CPU), memorie, hard disk, interfața de rețea și placa de bază. Acest model este:

$$E_{nod} = E_{CPU} + E_{mem} + E_{disc} + E_{NIC} + E_{placabaza}$$

3.2. Modele activ-bază

Un alt tip de modele pentru energie sunt modele care consideră faptul că serverele pot avea niveluri de încărcare diferite, existând și posibilitatea de a fi și neîncărcate (idle). Energia consumată poate fi împărțită astfel în energie de bază care este energia consumată atunci când un server este neîncărcat și energia activă care reprezintă consumul de energie datorat încărcării cu sarcini de lucru. Energia de bază include energia consumată de ventilatoare, procesor, operații de I/O și alte componente de pe placa de bază în starea neîncărcat. Aceste consumuri de energie sunt considerate, de obicei, valori fixate. Energia activă este energia consumată când se utilizează procesorul, memoria și componentele pentru operații de I/O. Formula pentru un astfel de model este:

$$P_{AB} = P_{baza} + P_{activa} + \delta$$

unde:

- P_{AB} este energia totală consumată activă și de bază;
- P_{baza} este energia consumată când serverul este neîncărcat;
- P_{activa} este energia când serverul este încărcat;
- δ este un termen de corecție, care poate să fie o valoare fixă sau o expresie.

În plus, P_{baza} poate fi considerată un termen constant, iar P_{activa} poate fi exprimată ca o funcție (de exemplu, funcție liniară, funcție de putere, polinom de grad mare). Prin urmare, modelele de tip activ-bază pot fi clasificate în modele liniare, modele cu funcții de putere, modele neliniare și modele polinomiale. Din perspectiva producerii de căldură și disiparea căldurii,

consumul de energie al serverului include componentele IT și componentele de răcire (Ham et al., 2015; Garraghan et al., 2016).

În articolul (Ham et al., 2015) a fost dezvoltat un model de energie pentru server care ține cont de caracteristicile termice și de energia serverului, de fluxul de aer al ventilatorului și de temperatura de evacuare. După validarea modelului de server propus, a fost simulat consumul anual de energie pentru răcire în centrele de date modulare. Modelul de energie pentru server este exprimat ca suma dintre energia IT (excluzând energia ventilatorului) plus energia ventilatorului:

$$P_{server} = P_{IT} + P_{ventilator}$$

P_{IT} și $P_{ventilator}$ sunt calculate apoi separat. Pentru a verifica modelul de server propus, au fost utilizate date de test reale (Ham et al., 2015). Serverul de test avea 1.5 U și era format din două procesoare Intel Xeon®5600, șase DIMM-uri, două chipset-uri, patru ventilatoare de răcire, o unitate de alimentare (PSU) și un hard disk. Datele obținute s-au bazat pe gradele de utilizare a procesorului de 10%, 50%, 70% și 100%. A fost obținută o curbă ca funcție a gradelor de utilizare a procesorului și a temperaturii procesorului:

$$P_{IT} = 1,566 \times 10^{-5} + 42,29 u_{CPU} + 0,379 T_{idle} + 0,03002 T_{idle}^2$$

unde u_{CPU} reprezintă gradul de utilizare a procesorului iar T_{idle} reprezintă temperatura procesorului în condițiile lipsei de încărcare.

Energia de răcire a serverului a fost calculată prin formula:

$$P_{ventilator} = 0,0012 RPM - 12 \times 10^{-8} RPM^2 + 28 \times 10^{-2} RPM^3$$

unde RPM reprezintă viteza de rotație a ventilatorului de răcire, adică, numărul de rotații pe minut (Revolutions Per Minute - RPM).

În general, consumul de energie al unui server fizic este compus din energie statică și energie dinamică. Energia statică este adesea considerată a fi constantă și invariabilă, atât timp cât serverul este pornit. Energia dinamică depinde de utilizarea componentelor serverului. Majoritatea modelelor de energie ce iau în considerare gradul de utilizare se bazează pe o simplă presupunere și anume: consumul de energie al unei componente fizice crește liniar cu gradul de utilizare a acesteia, care poate fi în general formulată astfel (Xiao et al., 2013):

$$P_{server} = P_{static} + \sum_{j \in J} (k_j \times U_j)$$

unde P_{static} este consumul de energie fixă când nu există încărcare cu sarcini de lucru, U_j este utilizarea pentru orice fel de componentă fizică i iar k_j este un coeficient de energie dinamică care

este obținut, de obicei, prin abordări empirice. $J = \{CPU, RAM, Disk, \frac{I}{O}\}$ reprezintă componentele care consumă energie (procesorul, memoria, disk-ul și dispozitivele de intrare/ieșire).

Când un server este virtualizat, atunci modelul de energie poate fi rescris astfel:

$$P_{server} = P_{static} + \sum_{i=1}^M P_i^{VM}$$

unde P_i^{VM} este consumul de energie dinamic al mașinii virtuale VM_i , unde M este numărul total de mașini virtuale active pe server. Cum consumul de energie al unei mașini virtuale nu poate fi legat de o componentă hardware, consumul ei de energie ar trebui măsurat în mod indirect. Un model de energie pentru mașini virtuale este următorul:

$$P_i^{VM} = \frac{P_{static}}{M} + W_i \times \sum_{j \in J} (k_j \times U_j)$$

Unde W_i este rata de utilizare a procesorului unde este alocată mașina virtuală VM_i .

Modelul de energie pentru o mașina virtuală VM_i de mai sus, presupune că energia statică consumată este împărțită în egală măsură de toate mașinile virtuale, iar consumul de energie dinamică este strict proporțional cu parametrii mașinii virtuale, care au fost stabiliți în momentul creării ei. Cu scopul de a păstra corect modelul de energie, planificatorul mașinii virtuale trebuie să satisfacă următoarea ecuație:

$$\left| \frac{U_i(t_1, t_2)}{W_i} - \frac{U_j(t_1, t_2)}{W_j} \right| = 0, \quad \forall i, j$$

Unde $U_i(t_1, t_2)$ este utilizarea actuală realizată de VM_i în timpul perioadei (t_1, t_2) .

Această condiție presupune că planificatorul mașinii virtuale trebuie să păstreze actuala utilizare $U_i(t_1, t_2)$ strict în concordanță cu rata de utilizare planificată W_i pentru toate mașinile virtuale. Din păcate nici unul dintre planificatorii locali de mașini virtuale nu pot satisface această condiție, deoarece caracteristicile run-time ale aplicațiilor au efecte semnificative asupra utilizării în timp real a mașinii virtuale. Astfel, considerând că mașina virtuală VM_i este consumatoare de date și mașina virtuală VM_k este intensivă în calcul, atunci se tinde ca:

$$\frac{U_i(t_1, t_2)}{W_i} < \frac{U_k(t_1, t_2)}{W_k}.$$

Astfel, o formă mai generală a condiției de mai sus este:

$$\left| \frac{U_i(t_1, t_2)}{W_i} - \frac{U_j(t_1, t_2)}{W_j} \right| \leq \delta, \quad \forall i, j$$

Este clar că, acuratețea modelului depinde de parametrul δ . Cu cât este mai mare valoarea lui δ cu atât mai mult va scădea acuratețea modelului. Astfel:

$$\left| P_{actual}^{VM} - P_{masurat}^{VM} \right| \leq \delta$$

Deci, parametrul δ poate fi considerat drept limita superioară de eroare atunci când se măsoară consumul de energie pentru o mașină virtuală. Din câte se cunosc, niciunul dintre modelele de energie existente pentru mașini virtuale nu poate furniza o eroare certă atunci când îl utilizăm pentru a măsura energia. Motivul este că, acuratețea unui model bazat pe utilizare este afectată în mod semnificativ de prea mulți factori, incluzând caracteristicile mașinii virtuale individuale, decizia locală a planificatorului, volumul de lucru dinamic pe server etc. De aceea, se apelează la abordări experimentale pentru testarea exactității modelului. În plus, deoarece coeficientul de energie dinamică k_j este obținut prin abordări empirice, modelele de energie bazate pe rata de utilizare a serverului sunt legate de o anumită arhitectură a serverelor fizice (Xiao et al., 2013).

3.3. Analiză modele de energie pentru server

Variabilele implicate în modele de energie pentru servere sunt frecvența și gradul de utilizare a procesorului, utilizarea memoriei și utilizarea hard disk-ului, performanța, temperatura, viteza ventilatorului și gradul de utilizare a serverului. O analiză statistică asupra acestor variabile a arătat că rata de utilizare a procesorului este cea mai des utilizată variabilă în modelele de energie pentru servere urmată de frecvența procesorului, indicatoarele de performanță și temperatură.

Unele studii au validat acuratețea modelelor și conform statisticilor, erorile modelelor aditive și ale modelelor activ-bază sunt mai mici de 9%, respectiv 11% (Jin et al., 2020). Pentru modelele aditive, erorile majorității studiilor au fost mai mici de 5%, iar cea mai mare rată de eroare a fost de 10% în cel mai rău caz. Pentru modelele activ-bază, erorile modelelor de regresie liniară simplă,

modelelor de regresie liniară multivariate, modelelor de funcții de energie și modelelor polinomiale au fost, în general, mai mici de 4,6%, 7%, 6% și, respectiv, 4% (Jin et al., 2020). Lin și colaboratorii (Lin et al., 2018) au analizat erorile dintre șase modele de energie și au ajuns la concluzia că modelul polinomial are cea mai mică eroare (1,615%), urmată de modelul funcției de energie (2,794%) și modelul pătratic (2,974%).

4. Metodologia Server Efficiency Rating Tool (SERT)

La cererea U.S. Environmental Protection Agency (EPA), pentru utilizarea în Programul Energy Star pentru servere, a fost dezvoltată o metodologie numită Server Efficiency Rating Tool (SERT) (SPEC Power, 2020). SERT a fost dezvoltată de Standard Performance and Evaluation Corporation - SPEC un consorțiu global înființat în 1988 de către principalii producători din industrie, cu scopul de a proiecta și de a lansa standarde de calcul pentru industrie (Information Technology Industry Council, 2011). SERT este recunoscută de câțiva ani ca fiind printre cele mai bune metode pentru caracterizarea eficienței serverelor.

O serie de corporații au efectuat experimente pe computerele lor gazdă folosind SERT și au încărcat rezultatele pe site-ul web SPEC. Raportul performanță-energie, este calculat ca numărul de operații Server finalizate într-o anumită perioadă de timp, împărțite la consumul mediu de energie activă în acea perioadă.

Deși câțiva factori, inclusiv procesorul, memoria, hard disk-urile și NIC pot contribui la consumul total de energie al unui sistem de calcul, cercetările recente ale Google (Fan et al, 2007; Ruan et al., 2019) dezvăluie faptul că, prin utilizarea numai a procesorului, suntem capabili să estimăm foarte precis costul de alimentare al întregului sistem. Această concluzie a fost obținută prin măsurarea costului total al energiei, utilizând cele mai reprezentative criterii.

5. Analiză consum energie servere

Pentru a realiza o analiză a consumului de energie pentru diferite sisteme și diferite încărcări cu sarcini de lucru, am creat o bază de date pornind de la colecția de date construită cu metodologia SPEC. Am selectat 225 de servere testate pentru perioada ianuarie 2015 – martie 2020, 156 de tip Single Node și 69 de tip Multi Node.

Consumul mediu de energie pentru diferite încărcări cu sarcini de lucru și servere cu diferite forme, este prezentat în Tabelul 1. În ultima coloană a tabelului este afișată media consumului de energie al serverelor de o anumită formă, fără încărcare cu sarcini de lucru. Pe ultima linie a tabelului sunt calculate mediile consumului de energie pentru toate formele de servere și pentru diferite încărcări de lucru. Se constată că cea mai mare energie consumată este pentru încărcarea maximă 100% cu sarcini de lucru pentru toate formele de sistem (Figura 2).

Tabelul 1. Consumul mediu de energie pentru diferite încărcări cu sarcini de lucru și servere cu diferite forme

Formă server	10%	30%	40%	50%	60%	70%	100%	Idle
10U	1779.00	2350.33	2627.33	2913.67	3244.67	3668.00	5213.00	1106.00
12U	1676.00	2005.00	2181.00	2360.00	2578.50	2880.50	4146.50	1165.00
1U	89.29	117.83	131.95	145.44	160.83	179.16	252.16	49.42
2U	174.12	233.92	263.05	293.40	328.67	371.63	555.44	86.77
3U	256.67	332.00	370.00	410.67	455.33	506.33	698.33	145.17
4U	244.41	333.73	374.82	418.82	478.82	543.00	830.73	124.85
7U	979.55	1277.00	1423.82	1595.91	1823.00	2089.00	3186.45	587.55
Blade	1116.24	1544.00	1775.57	2023.48	2303.10	2636.14	3977.76	588.71
Alte forme	1358.55	1841.32	2079.18	2347.50	2698.14	3122.45	4893.64	683.73
Tower	61.30	83.81	95.40	108.11	122.63	139.81	210.45	32.14
Media	773.51	1011.89	1132.21	1261.70	1419.37	1613.60	2396.45	456.93

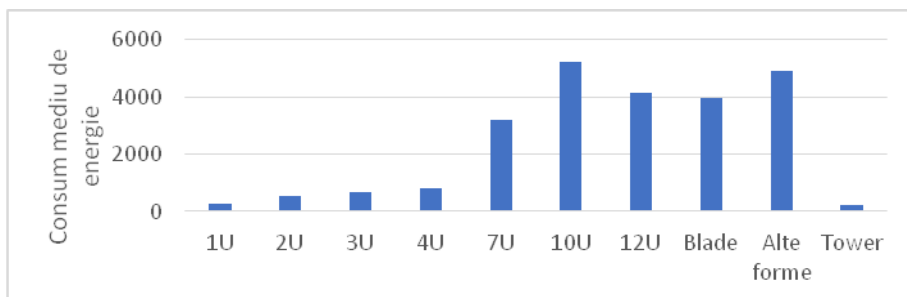


Figura 2. Consumul mediu de energie la încărcare de 100%

Am analizat apoi performanța a 5 sisteme cu procesor Intel Xeon Platinum 8280 cu 56 nuclee la diferite încărcări cu sarcini de lucru. (Tabelul 2 și Figura 3). Performanța a fost calculată ca raport între numărul de operații și energia în watt.

Tabelul 2. Performanța a 5 sisteme cu procesor Intel Xeon Platinum 8280 cu 56 nuclee

Sistem	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Fusion Server 2288H V5	14604	16824	17529	17195	16203	15692	12862	11077	8581	5129
Fusion Server 5288 V5	14479	16499	17285	16712	15518	15728	13061	11111	8605	5156
ProLiant ML350 Gen10	13193	13438	14052	14169	14025	13508	12272	10381	7937	4679
SuperServer SYS-6029P-WTR	14386	15981	16166	16163	15607	14650	13041	10883	8260	4781
PowerEdge R740	13454	13879	14556	14730	14569	14010	12809	10998	8519	5107

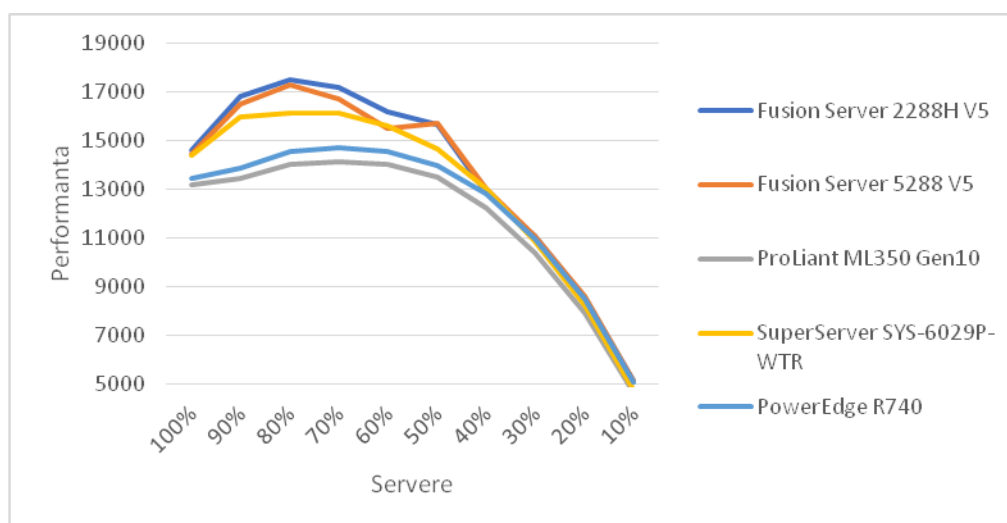


Figura 3. Performanța a 5 sisteme cu procesor Intel Xeon Platinum 8280 cu 56 nuclee

Din analiza datelor obținute se constată ca performanța cea mai bună pentru sistemele Fusion Server 2288H V5 și Fusion Server 5288 V5 este pentru încărcarea de 80%, iar pentru sistemele PowerEdge R740, SuperServer SYS-6029P-WTR și ProLiant ML350 Gen10 este pentru 70% încărcare. Performanța cea mai redusă, în cazul tuturor sistemelor considerate, este pentru 10% încărcare.

6. Concluzii

În articol, s-au prezentat și s-au analizat mai multe modele de energie pentru server dintr-un centru de date. A fost realizată o clasificare a modelelor de energie pentru server în modele aditive și modele activ-bază. S-au prezentat câteva modele din fiecare tip de modele de energie pentru server.

Modelele de energie pentru server joacă un rol esențial în managementul termic și în managementul energiei centrelor de date. Consumul de energie a serverelor a crescut mult în ultimul timp, iar energia inactivă a scăzut datorită tehnologiilor de economisire a energiei. Mai mult, performanța de procesare a serverului pe watt a crescut semnificativ. Aceste modificări și volumul de lucru al serverelor trebuie luate în considerare pentru aplicarea modelelor existente și pentru dezvoltarea modelelor noi.

S-a prezentat metodologia „Server Efficiency Rating Tool (SERT)” recunoscută de câțiva ani ca fiind printre cele mai bune metode pentru caracterizarea eficienței serverelor. Din colecția de date construită cu ajutorul metodologiei SERT a fost creată o bază de date și a fost realizată o analiză a consumului de energie pentru diferite sisteme și diferite încărcări cu sarcini de lucru.

Analiza celor 5 sisteme analizate a aratat faptul că cea mai bună performanță este obținută pentru încărcarea cu sarcini de lucru între 70% și 90%. A fost analizat, de asemenea, consumul mediu de energie pentru diferite încărcări cu sarcini de lucru pentru 255 de sisteme cu diferite forme și s-a constatat că cea mai mare energie consumată este pentru încărcarea cu sarcini de lucru maximă de 100% pentru toate formele de sistem.

Mulțumiri

Acest articol a fost suportat de proiectul PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0404/31PCCDI/2018 finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.

BIBLIOGRAFIE

1. Arroba, P., Risco-Martin, J. L., Zapater, M., Moya, J. M., Ayala, J. L. Olcoz, K. (2014). *Server power modeling for run-time energy optimization of cloud computing facilities*. Energy Procedia, 62, 401–10.
2. Basmadjian, R., Ali, N., Niedermeier, F., De Meer, H. Giuliani, G. (2011). *A methodology to predict the power consumption of servers in data centres*. In Proceedings of the 2nd International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking (pp. 1-10).
3. Dai, J., Ohadi, M. M., Das, D. Pecht, M. G. (2014). *Optimum cooling of data centers, Application of Risk Assessment and Mitigation Techniques*. Springer.
4. Fan, X., Weber, W. D. Barroso, L. A. (2007). *Power provisioning for a warehouse sized computer*. In Proceedings of the 34th Annual International Symposium on Computer Architecture, (ISCA'07) (pp. 13–23).

5. Garraghan, P., Al-Anii Y, Summers J., Thompson, H., Kapur, N., Djemame, K. (2016). *A Unified model for holistic power usage in cloud datacenter servers*. In Proceedings of the IEEE/ACM 9th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC) (pp. 11–9).
6. Ham, S. W., Kim, M. H., Choi, B. N. Jeong, J. W. (2015). *Simplified server model to simulate data center cooling energy consumption*. *Energiny Building*, 86, 328–39.
7. Information Technology Industry Council, *Position on Global Adoption of Energy Efficiency Programs for Personal Computers and Server Products*. <https://www.itic.org/dotAsset/4f1cd3b2-23e5-4d95-aeefb-ecb299bde403.pdf>. (last accessed 27 april 2020).
8. Jin, C., Bai, X., Yang, C., Mao, W., Xu, X. (2020). *A review of power consumption models of servers in data centers*. *Applied Energy*, 265, 114806.
9. Kansal, A., Zhao, F., Liu, J., Kothari, N. Bhattachrya, A. (2010). *Virtual machine power metering and provisioning*. In Proceedings of the ACM Symposium on Cloud Computing (pp. 39–50).
10. Lin, W., Wu, W., Wang, H., Wang, J. Z., & Hsu, C. H. (2018). *Experimental and quantitative analysis of server power model for cloud data centers*. *Future Generation Computer Systems*, 86, 940-950.
11. Mitan, E. (2019). *Probleme de decizie: selecția furnizorilor ecologici*. *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*, 29(4), 35-46.
12. Perumal, V., Subbiah, S. (2014). *Power-conservative server consolidation based resource management in cloud*. *International Journal of Network Management*, 24(6), 415–32.
13. Rădulescu, C. Z., Rădulescu, D. M. (2017). *Attributes and associated metrics for quality assessment of cloud computing services*. *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*, 27(2), 17-30.
14. Rădulescu, D. M., Lăzăroiu, G. Rădulescu, C. Z. (2019). *Power Consumption Minimization Models in Data Centers*. In Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM 19), no. 2.1, 517-524.
15. Rong, H., Zhang, H., Xiao, S., Li, C. Hu, C. (2016). *Optimizing energy consumption for data centers*, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 58, 674–691.
16. Ruan, X., Chen, H., Tian, Y., Yin. S. (2019). *Virtual machine allocation and migration based on performance-to-power ratio in energy-efficient clouds*, *Future Generation Computer Systems* 100, 380–394.
17. Song, S. L., Barker, K., Kerbyson, D. (2013). *Unified performance and power modeling of scientific workloads*. In Proceedings of the 1st International Workshop on Energy Efficient Supercomputing (pp. 1-8).
18. SPEC Power, <https://www.spec.org/power/> (last accessed 27 april 2020).
19. Vasques, T. L., Moura, P. Almeida, A. (2019). *A review on energy efficiency and demand response with focus on small and medium data centers*. *Energy Efficiency*, 12, 1399–428.
20. Verma, P. Ahuja, A. Neogi. A. (2008). *pMapper: Power and migration cost aware application placement in virtualized systems*. In Proceedings of the 9th Int'l Middleware Conference (ACM/IFIP/USENIX) (pp. 243–264).
21. Xiao, P., Hu, Z. G., Liu, D. B., Yan, G. F. Qu, X. L. (2013). *Virtual machine power measuring technique with bounded error in cloud environments*. *Journal of Network and Computer Applications*, 36(2), 818–828.



Delia Mihaela Rădulescu este cercetător științific în cadrul Departamentului „Sisteme inteligente distribuite intensive ca date” din Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București. A absolvit Facultatea de Energetică din cadrul Universității Politehnica din București (UPB) cu specializarea „Ingineria mediului” și Masterul în „Managementul mediului” la Facultatea de Energetică din cadrul Universității Politehnica din București cu bursă de studii la Ecole de Mines de Douai, Franța. Este doctorand în cadrul Universității Politehnica din București, Facultatea de Energetică. Domeniile sale de interes, pentru activitatea de cercetare, sunt: centre de date (CD) verzi, modele de energie pentru servere, eficiență consum energie în CD, modele de minimizare a consumului de energie în CD, metrici de măsurare a eficienței energetice în CD, modelarea poluării aerului și apei, dezvoltare durabilă.

Delia Mihaela Rădulescu is a scientific researcher at the „Intelligent distributed systems intensive as data” Department of the National Institute for Research and Development in Informatics - ICI Bucharest. She has graduated from the Faculty of Energy at the University POLITEHNICA of Bucharest (UPB) specialized in „Environmental Engineering” and she holds a master's degree in „Environmental Management” from the UPB- The Faculty of Energy with a scholarship to the Ecole de Mines de Douai, France. She is a PhD student at UPB , Faculty of Energy. Her areas of interest are: green data centers, power modelsfor servers, energy efficiency in data centers (DC), models for minimizing energy consumption in DC, metrics for measuring energy efficiency in DC, modeling air and water pollution, sustainable development.



Gheorghe LĂZĂROIU este profesor universitar în cadrul Facultății de Energetică a Universității Politehnica din București. A absolvit Facultatea de Energetică a Institutului Politehnic București, în anul 1979, obținând titlul de inginer, specializarea „Energetică” și titlul de doctor inginer în 1998. Începând cu februarie 1988 activează în învățământul universitar, parcurgând toate treptele ierarhiei didactice până la profesor și conducător de doctorat în domeniul „Energetică”. Pe tot parcursul celor peste 40 de ani de activitate a avut o colaborare activă cu specialiști din domeniu, participând la numeroase studii, cercetări și proiecte. A activat în echipa de management a Programului MENER (2000-2006) și a fost Secretar Științific al Facultății de Energetică (2008-2012). A participat la peste 45 de contracte de cercetare obținute prin competiție cu evaluatori naționali și internaționali. A fost director de proiect la peste 10 proiecte, responsabil UPB la peste 20 de proiecte și membru în echipe de cercetare la alte peste 30 de proiecte. A publicat peste 15 cărți și capitole de cărți în edituri internaționale, mai mult de 60 de articole indexate, cu WOS,

în baza de date ISI-Thomson Reuters, din care 30 de articole publicate în reviste cu factor de impact, 20 de articole publicate în jurnale indexate SCOPUS și peste 100 de articole indexate în alte baze de date internaționale și comunicări științifice la conferințe. Are înregistrate 4 brevete de invenție. Este membru IEEE, AREN, IRE și membru în colectivul de redacție al revistei: „Environmental Engineering and Management Journal”, EEMJ, ISSN:1582-9596, indexat ISI. Are indicele Hirsch peste 8 și peste 130 de citari ISI fără a lua în considerare autocitățile. Este recenzent la o serie de reviste prestigioase precum Energy, Biomass and Bioenergy, Applied Energy, Energy and Buildings, Energy Policy, Combustion Theory and Modelling etc.

Gheorghe LĂZĂROIU is a professor at the Faculty of Energy of the University POLITEHNICA of Bucharest. In 1979 he graduated from the Faculty of Power Engineering of the Bucharest Polytechnic Institute, and earned the engineer in Power Engineering title. In 1998 he earned a PHD in Power Engineering. Starting with February 1988, he works in the field of university education. He is a full professor and doctoral supervisor in the field of Power Engineering. Throughout over 40 years of activity he has actively collaborated with specialists in the field, participating in numerous studies, researches and projects. He worked in the management team of the MENER Program (2000-2006) and acted as Scientific Secretary of the Faculty of Power Engineering (2008-2012). He has participated in over 45 research contracts obtained through competition with national and international evaluators. He has been Project Director in over 10 research projects, responsible on behalf his university UPB at over 20 projects and member of the research teams at over 30 projects. He has published over 15 books and volume contributions from international publishing houses and authored more than 60 ISI Thomson Reuters-indexed articles, of which 30 with impact factor journals, 20 in SCOPUS indexed articles and over 100 articles were indexed in other international databases or scientific conferences (mai reformulati putin, e prea lunga fraza) . He has registered 4 patents. He is a member of IEEE, AREN, IRE and also of of the Editorial Board of the „Environmental Engineering and Management Journal”, EEMJ, ISSN: 1582-9596, ISI-listed. His papers have a Hirsch index of over 8 and received over 130 ISI citations without counting self-citations. He is a reviewer at several prestigious research journals such as Energy, Biomass and Bioenergy, Applied Energy, Energy and Buildings, Energy Policy, Combustion Theory and Modelling.