6. Testare și validare

În acest capitol este prezentat procesul de testare a aplicației dezvoltate, cu scopul de a evalua comportamentul acestuia în diferite scenarii de simulare, precum și pentru a valida corectitudinea implementării algoritmilor de programare a sarcinilor și a mecanismelor de alocare a resurselor. Testarea a fost realizată progresiv, în două etape distincte, fiecare reflectând o abordare diferită de funcționare a sistemului.

Prima etapă constă în rularea simulării în mod normal, fără aplicarea unor mecanisme de optimizare a consumului energetic și are scopul de a observa comportamentul standard al aplicației.

A doua etapă presupune activarea mecanismelor de eficiență energetică , prin aplicarea strategiilor de consolidare sau scalare dinamică a mașinilor virtuale. În acest mod, se urmărește compararea rezultatelor obținute în raport cu prima etapă, din perspectiva consumului total de energie, a timpilor de execuție și a utilizării resurselor.

În continuare sunt prezentate scenariile de intrare utilizate, algoritmii testați, precum și rezultatele obținute în urma rulării celor două runde de testare, cu accent pe validarea funcționalității și evaluarea performanței generale a sistemului.

# Parametrii de intrare

Pentru a asigura comparabilitatea rezultatelor obținute în cadrul testelor, toate simulările prezentate în continuare au fost realizate pe baza aceleiași configurații hardware și a acelorași parametri de intrare. Astfel, după cum observăm în figura de mai jos, mediul de simulare include 1000 de host-uri, fiecare cu 8 nuclee, 32 GB RAM și o capacitate de procesare de 10.000 MIPS, 4000 de mașini virtuale, cu 2500 MIPS, 2GB RAM, 10.000 MB stocare și 1 core fiecare, respectiv 5000 de cloudlet-uri, adică task-uri distribuite automat de algoritm către VM-uri. Pentru fiecare test, s-a modificat fie modul de simulare dacă este Normal sau Energy Efficient, fie algoritmul de planificare a sarcinilor utilizat.

Această configurație a fost aleasă pentru a simula un mediu cloud de dimensiuni mari, în care distribuția eficientă a sarcinilor și optimizarea consumului de resurse devin esențiale.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

1. Testare
2. Algoritmul Round Robin

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Mod Simulare | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | Round Robin | Round Robin |
| Timp execuție real | 3.61 sec | 5.01 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 9355.64 sec | 5907.58 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~36.87 % mai rapid |
| Consum total energie | 11700.74 kJ | 7390.85 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~36.85 % mai mic |

Tabel 6.3.1 Performanța algoritmului Round Robin

Din graficele afișate mai jos, se observă o distribuție mai lină și o curbă mai plată a consumului energetic pe cloudlet în cazul simulării pe modul Energy Efficient. Acest lucru indică faptul că VM-urile au fost alese într-un mod care evită suprasolicitarea celor mai consumatoare.

A graph with numbers and a number of numbers

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.1.1 Simulare normală folosind algoritmul Round Robin

A graph with numbers and a line

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.1.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul Round Robin

1. Algoritmul FCFS

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | FCFS | FCFS |
| Timp execuție real | 3.32 sec | 5.52 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 9167.19 sec | 6074.63 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~33.71% mai rapid |
| Consum total energie | 11464.88 kJ | 7579.48 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~33.89% mai puțin |

Tabel 6.3.2 Performanța algoritmului FCFS

A graph with numbers and a number of other numbers

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.1.1 Simulare normală folosind algoritmul FCFS

A graph with numbers and a line

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.2.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul FCFS

1. Algoritmul Random Scheduler

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | Random Scheduler | Random Scheduler |
| Timp execuție real | 4.62 sec | 4.48 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 14091.20 sec | 5818.26 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~58% mai rapid |
| Consum total energie | 17620.24 kJ | 7401.87 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~58% mai puțin |

Tabel 6.3.3 Performanța algoritmului Random Scheduler

A graph with orange and white lines

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.3.1 Simulare normală folosind algoritmul Random

A graph with numbers and a line

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.3.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul Random

1. Algoritmul Min Length Round Robin

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | Min Length Round Robin | Min Length Round Robin |
| Timp execuție real | 3.82 sec | 5.36 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 8358.58 sec | 4689.43 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~43.9% mai rapid |
| Consum total energie | 10478.45 kJ | 5859.90 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~44.07% mai puțin |

Tabel 6.3.4 Performanța algoritmului Min Length Round Robin

A graph showing the amount of a number of clouds

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.4.1 Simulare normală folosind algoritmul Min Length Round Robin

A graph showing the number of clouds

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.4.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul Min Length Round Robin

1. Algoritmul LJF

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | LJF | LJF |
| Timp execuție real | 4.21 sec | 4.73 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 8385.09 sec | 5382.09 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~35.0% mai rapid |
| Consum total energie | 10476.25 kJ | 6731.95 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~35.7% mai puțin |

Tabel 6.3.5 Performanța algoritmului LJF

A graph showing the number of clouds

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.5.1 Simulare normală folosind algoritmul LJF

A graph showing the amount of energy

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.5.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul LJF

1. Algoritmul Min-Min

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | Min-Min | Min-Min |
| Timp execuție real | 455.27 sec | 437.65 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 8373.14 sec | 17325.28 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | ~51,67% mai rapid | - |
| Consum total energie | 10461.20 kJ | 21639.39 kJ |
| Reducere consum energie | ~51,65% mai puțin | - |

Tabel 6.3.6 Performanța algoritmului Min-Min

A graph showing the amount of energy

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.6.1 Simulare normală folosind algoritmul Min-Min

A graph showing the amount of energy

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.6.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul Min-Min

1. Algoritmul Max-Min

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | Max-Min | Max-Min |
| Timp execuție real | 372.54 sec | 468.20 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 8358.28 sec | 17518.87 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | ~52.3% mai rapid | - |
| Consum total energie | 10464.07 kJ | 21917.25 kJ |
| Reducere consum energie | ~52.26% mai puțin | - |

Tabel 6.3.7 Performanța algoritmului Max-Min

A graph showing the number of the number of clouds

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.7.1 Simulare normală folosind algoritmul Max-Min

A graph showing a number of numbers and a graph

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.7.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul Max-Min

1. Algoritmul ACO

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | ACO | ACO |
| Timp execuție real | 148.18 sec | 180.34 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 13841.02 sec | 5934.39 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~ 57.45% mai rapid |
| Consum total energie | 17432.03 kJ | 7424.47 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~57.42% mai puțin |

Tabel 6.3.8 Performanța algoritmului ACO

A graph with orange and white lines

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.8.1 Simulare normală folosind algoritmul ACO

A graph with numbers and a line

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.8.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul ACO

1. Algoritmul Genetic

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | Genetic | Genetic |
| Timp execuție real | 5.14 sec | 6.68 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 13950.44 sec | 6149.40 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~55.93% mai rapid |
| Consum total energie | 17443.56 kJ | 7691.20 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~55.91% mai puțin |

Tabel 6.3.9 Performanța algoritmului Genetic

A graph showing the number of patients

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.9.1 Simulare normală folosind algoritmul Genetic

A graph showing the number of energy efficiency

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.9.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul Genetic

1. Algoritmul PSO

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | PSO | PSO |
| Timp execuție real | 5.46 sec | 6.48 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 14344.46 sec | 6094.55 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~57.52% mai rapid |
| Consum total energie | 17936.17 kJ | 7626.04 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~57.50 % mai puțin |

Tabel 6.3.10 Performanța algoritmului PSO

A graph with numbers and a line

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.10.1 Simulare normală folosind algoritmul PSO

A graph with numbers and a number of people

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.3.10.2 Simulare cu îmbunătățirea eficienței energetice folosind algoritmul PSO

1. Concluzii finale

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Algoritm | Reducere Energie(%) | Reducere Timp (%) | Scor Final (%) |
| PSO | 57.50% | 57.52% | 57.51% |
| ACO | 57.42% | 57.45% | 57.44% |
| Genetic | 55.91% | 55.93% | 55.92% |
| MinLengthRoundRobin | 44.07% | 43.9% | 43.99% |
| RoundRobin | 36.85% | 36.87% | 36.86% |
| LJF | 35.7% | 35.8% | 35.75% |
| FCFS | 33.89% | 33.71% | 33.8% |
| Random | 58% | 58% | 58% |
| Min-Min | -106.8% | -106.9% | -106.85% |
| Max-Min | -109.4% | -109.6% | -109.5% |

Tabel 6.4 Performanță în modul Energy Efficient

Analizând scorul care ia în considerare atât reducerea consumului energetic, cât și scăderea timpului total de execuție a cloudlet-urilor, se conturează clar un top ai celor mai eficienți si echilibrați algoritmi, și anume pe primele trei poziții se află algoritmii PSO, ACO, respectiv Genetic, toți trei aparținând clasei metaeuristice. Aceștia au demonstrat o capacitate remarcabilă de adaptare la scenariile de optimizare energetică, obținând atât economii semnificative de energie, peste 55%, cât și reducerea timpului total de execuție cu un procent similar. Datorită acestui echilibru între performanță și sustenabilitate, acești algoritmi reprezintă cele mai bune alegeri în mediile cloud orientate spre eficiență.

Deși algoritmul Random a obținut un scor ridicat din punct de vedere numeric, comportamentul său aleatoriu îl face mai puțin fiabil în practică, deoarece nu oferă predictibilitate și stabilitate în rezultate. Poate genera atât execuții extrem de bune, cât și rezultate slabe, în funcție de distribuția inițială aleasă aleatoriu.

Dintre algoritmii clasici, MinLengthRoundRobin a fost cel mai eficient, reușind să atingă un echilibru rezonabil între distribuția sarcinilor și conservarea energiei. Acesta poate fi considerat o alegere solidă în implementări mai simple, în care nu se dorește utilizarea metaeuristicilor.

În constrast, algoritmii Min-Min, respectiv Max-Min s-au dovedit a fi total ineficienți în contextul energetic. Activarea modului de eficiență energetică în combinație cu acești algoritmi a dus la o dublare a timpului total de execuție, însoțit de o creștere dramatică a consumului energetic. Acest comportament negativ îl plasează la finalul clasamentului și indică faptul că aceste două abordări trebuie evitate în scenarii în care optimizarea energetică este un obiectiv prioritar.

1. Analiza performanței în medii cloud de dimensiuni foarte mari

A graph showing the amount of energy consumption

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.5.1 Normal

A graph showing the amount of energy consumption

AI-generated content may be incorrect.

Figura 6.5.1 Energy Efficient

Pentru a valida comportamentul aplicației și în scenarii de tip large-scale, apropiate de cele întâlnite în viața reală în practică, am realizat o simulare extinsă folosind parametrii de intrare foarte mari și anume 15.000 de host-uri, 60.000 mașini virtuale, respectiv 100.000 de cloudlet-uri. Algoritmul utilizat a fost MinLengthRoundRobin, testat în ambele moduri, cu și fără eficiență energetică.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Criteriu | Mod Normal | Mod Energy Efficient |
| Algoritm | MinLengthRoundRobin | MinLengthRoundRobin |
| Timp execuție real | 5460.74 sec | 11355.62 sec |
| Timp total de execuție cloudlet-uri | 209889.40 sec | 142119.18 sec |
| Reducere timp de execuție a cloudlet-urilor | - | ~32.29% mai rapid |
| Consum total energie | 262734.53 kJ | 177899.05 kJ |
| Reducere consum energie | - | ~32.29 % mai puțin |

Tabel 6.5 Performanța algoritmului Min Length Round Robin în scenariu cu parametrii foarte mari

Activarea modului de eficiență energetică a dus la o reducere de aproximativ 32,3% atât a consumului total de energie, cât și a duratei totale de execuție a cloudlet-urilor. Această oprimizare semnificativă confirmă eficiența scalării dinamice în medii cloud de mari dimensiuni, mai ales când volumul de lucru este ridicat.