4. Analiză și fundamentare Teoretică

1. Scopul si contextual teoretic al aplicatiei

În contextul zilelor noastre, respectiv a continuei dezvoltări și evoluției constante a tehnologiei, problematica resurselor necesare unui centru de date de mari dimensiuni a devenit una tot mai actuală. În continuarea acestei idei, centrele de date de proporții însemnate, ori mai simplu zis, de dimensiuni mari consumă în fiecare moment al zilei cantități însemnate de resurse, sau cu alte cuvinte, de energie electrică, atât pentru operarea de bază a centrelor de date aferente, cât și pentru funcționarea în parametrii normali a sistemelor de întreținere, respectiv de răcire necesare operării eficiente. Așadar, importanța unei bune optimizări a planificării sarcinilor, respectiv a alocării optime a resurselor nu reprezintă o chestiune de o importanță deosebită strict prin perspectiva performanței obținute, ci deschide noi oportunități prin prisma sustenabilității economice pe care o prezintă, implicit șansa de desfășurare a activităților specifice într-un echilibru deosebit cu mediul înconjurător, sau folosind termeni specifici, o oportunitate de sustenabilitate ecologică aparte.

Căutând o dezvolare a aspectelor prezentate în rândurile de mai sus, subiectul central abordat este, din punct de vedere teoretic, problema pe care o reprezintă alocarea eficientă a sarcinilor de procesare către resursele disponibile, accentul fiind pus pe echilibrarea dintre performanța maximă ce poate fi atinsă și consumul de energie rezultat. Întrucât în general se pune prea puțin accent pe impactul energetic pe care îl au algoritmii clasici de planificare, sau mai bine zis, tradiționali, rezultatul acestui procedeu este reprezentat de o utilizare precară sau de-a dreptul ineficientă a resurselor fizice și în mod natural, la un consum energetic excesiv. Așadar, având situația dată în care sarcinile sunt de natură eterogenă, cu cerințe variabile din punct de vedere al timpului, se evidențiază nivelul de importanță ridicat pe care îl are implmentarea și utilizarea unui model flexibil, ce oferă posibilitatea adaptării unei stragegii de alocare la un scenariu specific, creat concret.

În plus, este impetuos necesar a fi menționat nivelul de importanță pe care îl are maparea corectă a Virtual Machine-urilor pe host-urilor fizice, pentru a se putea supraveghea pașii pe care îî face fiecare sarcină în parte de la origine și până la resursa fizică pe care a fost efectiv executată, având în vedere esențialitatea respectivei mapări pentru psobilitatea efectuării unui calcul exact al consumului de energie rezultat.

1. Arhitectura abstracta a aplicatiei

Fundamentarea structurii logice a aplicației descrise în această lucrare se regăsește pe arhitectura de tip CloudSim 7G, un cadru evoluat ce se dedică simulărilor în mediile de tip cloud, conceput pentru experimentarea de scenarii complexe, de natura alocării de resurse, de planificare a sarcinilor sau de optimizare a consumului de energie. Astfel, simulatorul CloudSim 7G dezvoltă versiunea de bază CloudSim, prin intermediul unei abordări modulare, cu o flexibilitate aparte și o eficiență ridicată, bazată pe performanță, un suport bine dezvoltat pentru modelele energetice detaliate și tototdată o scalabilitate ridicată. Cu o arhitectură stratificată, conține și oferă oportunitatea folosirii unei platforme teoretice robuste, care ulterior se constituie într-o bază solidă pentru posibilitatea efectuării analizei comparative a algoritmilor de planificare.

Conceput cu scopul de a generaliza, respectiv unifica capabilitățile fragmentate ale extensiilor CloudSim anterioare, CloudSim 7G reușește să integrese sub forma unei singure arhitecturi funcționalități avansate pentru cloud, edge sau fog computing. Oferind o structură de tip modular, stratificată logic, CloudSim 7G este potrivit pentru efectuarea de analize comparative și experimente controlate, întrucât permite modelarea detaliată a resurselor, a comportamentului energetic sau a proceselor de planificare.

A screenshot of a computer screen

AI-generated content may be incorrect.

[CloudSim 7G: An Integrated Toolkit for Modeling and Simulation of Future Generation Cloud Computing Environments - Andreoli - 2025 - Software: Practice and Experience - Wiley Online Library](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/spe.3413)

1. Fundamentele arhitecturii CloudSim 7G

Simulatorul CloudSim 7G funcționează în baza orientării pe evenimente discrete, în contextul în care entitățile principale, de tipul cloudlet-urilor, VM-urilor, Host-urilor sau brokerilor interacționează prin intermediul unor evenimente planificate și gestionate cu ajutorul unui motor de simulare centralizat, model ce permite simularea unui mediu real fără a necesita costuri de execuție în mediile fizice. Principiile esențiale pe care se bazează arhtiectura CloudSim 7G sunt reprezentate, în primul rând, de modularitate și reconfigurabilitate, întrucât componentele principale sunt independente logic, putând fi înlocuite ori extinse fără ca restul sistemului să fie afectat. În plus, trebuie să vorbim și despre abstracizare completă a infrastructurii cloud, pornind de la nivelul fizic, ce implică datare și host-uri, la nivelul virtual, prin VM-uri și mergând până la cel al aplicației, folosindu-se de cloudet-uri, respectiv despre separarea clară între alocarea de VM-uri și planificarea sarcinilor, întrucât fiecare este controlată prin intermediul politicilor independente, testabile în mod izolat. Nu în ultimul rând, suportul extins pe care îl prezintă când vine vorba despre consumul energetic și politicile energetice, cu posibilitatea încorporării modelelor personalizate specific nivelului de utilizare al resurselor.

1. Structura teoretică a aplicației CloudSim7G

Simulatorul de tip CloudSim 7G are abilitatea de a reproduce arhitectura stratificată prin intermediul mai multor componente abstracte. Astfel, pentru a începe cu începutul, trebuie să vorbim despre stratul de modelare a infrastructurii, întrucât în cadrul acestuia sunt definite entități fundamentale, precum Host-urile fizice, reprezentând unități de procesare configurabile, te tipul CPU, RAM, BW, ce pot fi ocupate concomitent de mai multe VM-uri. În acest context, VM-urile reprezintă entități de nivel intermediar ce simulează instanțte virtualizate, iar cloudlet-urile sunt definite drept sarcini de calcul ce rulează pe VM-uri în mod independent. Nu putem omite nici datacenter-ul ca element de bază, cu o structură logică cu rol de a grupa host-urile într-un spațiu de simulare unitar. Nu în ultimul rând, trebuie menționat faptul că fiecare entitate este descrisă teoretic printr-un set de parametri, de tip MIPS, memorie sau număr de nuclee, cu relații modelate logic, fără dependență în ceea ce privește implementarea.

Prin intermediul acestui simulator se oferă o separare clară între două tipuri de politici, element esențial în cadrul acestei lucrări, și anume politicile de alocare a VM-urilor pe host-uri, sau în termeni tehnici, VMAllocationPolicy, ce decid plasarea fiecărei mașini virtuale, strat cunoscut sub denumirea de strat de planificare și alocare. Ulterior, avem Cloudletscheduler-ul, sau politicile de planificare a cloudlet-urilor pe VM-uri, ce determină în mod esențial ordinea, respectiv modul de execuție al sarcinilor. Nu în ultimul rând, cu ajutorul acestei diviziuni putem să testăm individual performanța fiecărei politici, fără a avea parte de interferențe logice, fiind asigurate condiții controlate pentru facilitarea evaluării de algoritmi analizați în lucrare, situații întâlnite în cazurile FCFS, RR sau Min-Min.

Prin intermediul stratului execuției simulate, executarea este dusă la bun sfârșit printr-un eveniment discret, temporizat și gestionat de un Scheduler central, fie că vorbim despre alocare, începutul sarcinii sau finalizarea acesteia, aici fiind calculat consumul energetic estimativ, aplicat pe fiecare host, în funcție utilizarea sa curentă, utilizarea resurselor de tip CPU, RAM sau BW penru fiecare entitate, respectiv timpul calculat al fiecărei sarcini.

Nu în ultimul rând, stratul de analiză a performanței și consumului este esențial în realizarea comparației dintre consumul de energie raportat la performanță prin folosirea datelor generate ori procurate ca urmare a unui scenariu de simulare, utilizând diferite politici de scheduling, implicit algoritmi cu preocuparea consumului de energie.

1. Avantajele arhitecturii CloudSim 7G

Multiple avantaje teoretice fundamentează alegerea CloudSim 7G pentru simularea realizată în cadrul acestei lucrări, iar cea mai eficientă modalitate de a le expune este enumerarea lor. Astfel, prin utilizarea acestui simulator, se reduce redundanța și refactorizarea codului cu 67% și pastrându-se totodată acoperirea funcțională completă. În plus, spre deosebire de alte simulatoare, are capacitatea de a simula medii cloud, edge și fog într-un cadru unificat, și nu trebuie omis nici suportul pentru politici dinamice, inclusiv în ceea ce privește consolidarea energetică și scalarea de tip dinamic, iar nu în utlimul rând, interoperabilitatea cu modele personalizate și module prestabilite. Așadar, caracteristicile specifice oferă un cadru teoretic ideal studiilor comparative în ceea ce privește algoritmii de alocare și scheduling, fiind oferită o platformă robustă și foarte extensibilă în ceea ce privește cercetarea academică.

1. Modele abstracte utilizate

Simulatorul CloudSim 7G, prin intermediul abstractizării entităților principale și a standardizării acestora, implementează o abordare îmbunătățită asupra modelării infrastructurilor de tip cloud, fog sau edge. Astfel, acest simulator utilizează interfețe generalizate în detrimentul claselor rigide, specifice versiunilor anterioare, permițând astfel coabitarea unor entități de tip virtual și fizic în contextul unei singure simulări. Prin intermediul acestui lucru, se subliniază modelele abstracte moderne, folosite pentru reprezentarea entităților și a comportamentelor dinr-un scenariu simulativ.

1. Modelul HostEntity

În simulatorul CloudSim 7G, comportamentele asociate unui host, și anume alocare, monitorizare, executarea entităților virtuale, precum și evaluarea consumului energetic sunt definite prin intermediul HostEntity, care totodată modelează resursele fizice. Astfel, se reduce nevoia de utilizare a unor clase de tipul ContainerHost sau PowerHost, întrucât clasa menționată anterior se poate extinde înspre funcționalități specifice, precum energie, rețea sau virtualizare imbricată, cu ajutorul unor interfețe suplimentere, precum PowerHostEntity. Un host poate fi definit, teoretic, prin capactățile hardware, fie ele PEs, RAM sau BW, prin politicile de alocare a resurselor, consumului energetic prin prisma funcției de utilizare CPU, respectiv capabilitățile de partajare prin intermediul GuestEntity.

1. Modelul GuestEntity

Fie că vorbim despre mașini virtuale, containere sau funcții serverless, toate entitățile virtuale care au nevoie de un host pentru a rula se modelează prin intermediul interfeței GuestEntity, definind comportamentele standard asociate, fie ele execuția sarcinilor, gestionarea de resurse sau interacțiunea cu entitățile gazdă. În acest fel, VM-urile și containerele nu sunt percepute drept entități de sine, independente, cum erau în versiunile anterioare, ci drept implementări ale aceleiași interfețe, reducându-se astfel definitoriu complexitatea sistemului și permițând totodată scenarii de tip hibrid. Dacă vorbim despre exemplificarea acestor aspecte, trebuie să menționăm notificarea evenimentelor către HostEntity, actualizarea stării interne, fe că vorbim despre idle, running sau waiting, respectiv gestionarea cozii de cloudlet-uri în baza scenariilor alese, sau mai bine zis, CloudletScheduler.

1. Modelul VirtualEntity

VirtalEntity, un model introdus prin intermediul CloudSim 7G, poate fi perceput atât ca un host, cât și ca un guest, întrucăt poate găzdui și totodată poate fi găzduită de alte entități, extinzând funcționalitatea arhitecturii pentru a putea permite simularea de virtualizări imbricate. Așadar, acest model permite rularea de containere într-un VM, permite simularea edge device-urilor care funcționează ca mini-centre de date și chiar permite definirea unor ierarhii flexibile de entități virtuale și fizice. Un exemplu concludent al acestor lucruri poate fi situația în care un VirtualEntity are rolul de container pe un VM, însă găzduiește guest-uri de nivel inferior la rândul său.

1. Modelul Cloudlet și ciclul de viață generalizat

Prin termenul de Cloudlet, înțelegem sarcina de lucru sau task-ul, în termeni specifici, ce urmează afi executată în baza unui scenariu simulativ, iar în CloudSim 7G, cloudlet-uril au fost generalizată pentru a permite existența mai multor categorii, respectiv execuții simple, sau MI, execuții în etape sau workflow-uri, comportamente reconfigurabile prin CloudletScheduler și nu în ultimul rând, deadline-uri și QoS personalizate. Dezvoltând informațiile prezentate până acum, ciclul de viață al unui cloudlet este gestionat de CoudletScheduler prin intermediul a trei metode, și anume update logic handler, ce actualizează progresul execuției, stop condition handler-ul, care definește momentul opririi și unpause logic handler, ce reia execuția unui cloudlet în așteptare. Astfel, se induce o flexibilitate ce avantajează suportul simultan pe mai multe tipuri e cloudlet-un în contextul unui singur scenariu, fără a apărea conflicte în acest sens.

1. Politica de selecție

Prin intermediul modelului abstract esențial al Politicii de selecție, sau mai bine zis, SelectionPolicy, se generalizează procesul selecției în baza unui criteriu anume dintr-un set de candidați al unei entități, concept ce unifică selectarea unui host pentru un VM, selectarea unui VM pentru migrare sau alocarea de sarcini sau resurse în funcție de starea sistemului.Așadar, această politică de selecție este reprezentată cu ajutorul unei funcții, și anume:

Unde reprezinta mulțimea de candidați, in timp ce f(e) este funcția de evaluare, fie ele utilizarea CPU, cunsum, latența sau alte valori.

1. Modelul de simulare cu eveimente discrete CloudSim 7G

Modelul de simulare determinist bazat pe evenimente discrete, unde fiecare acțiune se asociază cu un timp și este procesată crogologic de către un motor central numit Simulațion engine este menținut în cadrul CloudSim 7G, îmntrucât principalele avantaje sunt reprezentate de repetabilitate și control asupra stării, de către decuplarea dintre entități și execuție, respectiv simularea realistă a fluxurilor de execuție, care conține, în ordinea enumerării, deployment, scheduling, execuțion și completion.

Astfel, în baza tuturor informațiilor prezentate în acest subcapitol, putem concluziona că CloudSim 7G introduce o arhitectură actualizată, unificată a entităților simulate, clasele specializate redundante fiind înlocuite de către interfețe abstracte puternic generalizate, iar prin modele cum sunt HostEntity, GuestEntity sau VirtualEntity, împreună cu politicile de selecție și planificare, procedura cercetării devine una flexibilă, extensibilă și totodată precisă. Cu alte cuvinte, simulatorul CloudSim 7G reușește să creeze o bază teoretică solidă și totodată modulară, cu un rol esențial în analiza algoritmilor de scheduling și a scenariilor de optimizare în ceea ce înseamnă cloud computing.

1. Algoritmi de planificare analizați

Planificarea de sarcini în domeniul cloud computing-ului reprezintă o procedură esențială în vederea utilizării eficiente a resuselor și a optimizării performanței în general, prin intermediul selectării unei strategii potrivite alocării sarcinilor sau a cloudlet-urilor către Mașinile Virtuale sau VM-uri, în baza disponibilității, pentru atingerea unui obiectiv, fie el reprezentat de către reducerea timpului total de execuție, echilibrarea sarcinilor sau minimizarea consumului de energie. Astfel, această aplicație simulează trei categorii centrale de algoritmi de scheduling, respectiv algoritmi clasici sau basic, euristici și metaeuristici, acompaniați de o strategie privind un consum energetic mai redus, folosing un model de consolidare și alocare dinamică a VM-urilor.

1. FCFS (First-Come First-Served)

Momentul în care sarcinile au fost generate au ordinea de execuție stabilită de algoritmul FCFS, considerându-se că sarcinile sunt sortate în ordine cronologică, iar planificatorul le atribuie către primele VM-uri disponibile. Totuși, trebuie menționat faptul că acest algoritm nu ia în calcul nici dimensiunea, nici complexitatea sarcinii. Pentru exemplificarea acestor aspecte, avem pseudocodul de mai jos:

FCFS(C, V)

1. se sortează lista C dupa timpul de sosire
2. index\_vm 0
3. pentru fiecare cloudlet c in C:
4. vm V[index\_vm]
5. asociaza cloudlet c cu vm
6. index\_vm (index\_vm + 1) mod |V|
7. rulează simularea CloudSim
8. returnează atribuirea cloudlet-urilor la VM-uri

Unde avem C ce reprezintă lista de cloudet-uri, adica sarcinile ce trebuie executate, care ulterior vor fi sortate dupa timpul de sosire sau ID, respectiv lista de mașini virtuale disponibile reprezentată de V. Acest scenariu se evidențiază modul in care sarcinile sunt lansate secvențial și executate de îndata ce o mașină virtuală devine disponibilă.

1. Round Robin

Funcționând prin rotație, acest algoritm alocă un interval de timp fix fiecărei sarcini în parte, acest interval fiind cunoscut drept quantum, iar după fiecare execuție parțială, sarcinile ce au rămas nefinalizate sunt reintroduse în coadă. În tot acest timp, VM-urile execută ciclic cloudlet-urile, fără prioritizarea sarcinilor după un anumit criteriu, fie el dimensiune sau deadline. Cu titlu de exemplu, putem lua următoarea situație:

RoundRobin(C, V, quantum)

1. index\_vm 0
2. Pentru fiecare cloudet c in C:
3. vm V[index\_vm]
4. asociaza cloudlet c cu vm
5. index\_vm (index\_vm + 1) mod |V|
6. rulează simularea CloudSim
7. returnează atribuirea cloudlet-urilor la VM-uri

Unde avem C ce reprezintă lista de cloudet-uri, adica sarcinile ce trebuie executate, lista de mașini virtuale disponibile reprezentată de V, implicit quantum-ul, ce reprezintă timpul exact alocat unei cerei in fiecare iterație, care nu exista in simulare, însa se poate folosi cu scopul de a planifica sarcini de intrerupere.

Dupa cum se vede mai sus, acest algoritm are o tehnică de planificare echitabilă, unde fiecare cerere primeste o porțiune fixă de timp processor, pe care am numit-o quantum, cererile fiind procesate ciclic, intr-o coada FIFO, altfel spus, primul venit, primul servit. În mod contrariu, daca o cerere nu se finalizeaza in timpul alocat, este reintrodusă la finalul cozii pentru urmatoarea iterație.

1. Random Scheduler

Acest algoritm asociază fiecare sarcină în mod aleatoriu unui VM, fără a exista reguli de prioritate ori selecție, fiind o simplă distribuție aleatorie a respectivelor sarcini, demonstrându-și utlilitatea în crearea de scenarii de test ori stres în care nu este urmărită o optimizare explicită. Exemplificând, avem:

+++++

1. LJF

În acest algoritm, au regim prioritar sarcinile consumatoare de resurse, fiind sortate descrescător în baza lungimii acestora, cele mai lungi sarcini fiind alocate progresiv înspre VM-uri disponibile, sub forma:

++++++

1. MIN-MIN

Acest algoritm identifică timpul minim de execuție pentru fiecare VM în parte, iar ulterior efectuării unui calcul, este selectată sarcina ce se poate finaliza în cel mai scurt timp, dupa fiind alocată VM-ului corespunzător, proces reluat până la planificarea completă a tuturor sarcinilor existente. Transpunerea acestor informații sub formă de pseudocod se face astfel:

++++

1. MAX-MIN

Cu o logică asemănătoare algoritmului prezentat anterior, există totuși o diferență prin faptul că în cadrul acestuialgoritm este selectată sarcina cu timpul de execuție cel mai mare dintre toate, sarcină ce se alocă VM-ului cu cea mai eficientă putere de procesare, urmărindu-se evitarea acumulării de sarcini costisitoare la final. În acest caz, avem

++++

1. MinLenghtRoundRobin

Algoritm hibrid bazat pe sortarea sarcinilor în ordine crescătoare în funcție de lungime, acesta le ditribuie ulterior circlar pe VM-uri, combinând logica Min-Min cu cea de tip Round Robin, distribuind sarcinile scurte în mod uniform în cadrul sistemului.

+++

1. ACO

Algoritm metaeuristic inspirat din comportamentul furnicilor, fiecare dintre furnici clădește o soluțe de alocare a sarcinilor pe VM-uri în baza unor probablități influențate de o matrice de feromoni alăturată unei funcții euristice. Ulterior fiecărei iterații, feromonii sunt actualizați în baza celei mai optime soluții identificate.

+++++

1. Genetic Algorithm

Acest algoritm evoluează prin selecție, crossover și mutație, folosind o populație de soluții, sau altfel spus, cromozomi, soluțiile fiind evaluate cu ajutorul unei funcții de fitness, cele mai bune fiind ulterior combinate pentru a se obține soluții noi, optime.

+++++

1. Consolidare dinamică

Algoritmul de consolidare dinamică are ca scop principal reducerea radicală a consumului energetic, întrucât la fiecare iterație se calculează variația estimaă a energiei pentru fiecare alocare posibilă, iar dacă se ajunge la situația identificării unui host ce nu este utilizat, se va declanșa consolidarea, adică VM-urile fiind migrate, iar host-ul fiind închis.

+++

Având în vedere varietatea algoritmilor studiați, pornind de la metode simple, și ajungând până la strategii avansate, implicit algoritmi ce au ca scop reducerea consumului de energie, aplicația propusă oferă un codru cuprinzător urmărindu-se scopul de analiză al planificării sarcinilor în cloud. În contextul în care fiecare dintre algoritmi are la bază o logică teoretică puternic fundamentată, clară, este oferit un echilibru între cele mai importante criterii, și anume consumul de energie, eficiență și timp.