Studiu Bibliografic

1. Introducere in Cloud Computing

În contextul celei de-a patra revoluții industriale (4IR), tehnologiile informatice au evoluat în direcția descentralizării și reducerii latenței[1], conducând la apariția a trei paradigme esențiale de calcul: Cloud Computing , Fog Computing și Edge Computing. Aceste trei moduri de procesare a datelor se diferențiază în funcție de poziționarea în rețea, de apropierea față de sursa datelor și de capacitatea de a răspunde cerințelor legate de latență, scalabilitate și distribuție geografică [2].

Diagram of a cloud network

AI-generated content may be incorrect.



**Figura 1.** Domeniile de aplicare ale cloud computing-ului, fog computing-ului și edge computing-ului (conform Mahmud et al. [3]).

Piața a crescut rapid ca urmare a adoptării cloud computing-ului ca standard pentru procesarea și stocarea datelor în întreaga lume. Acest lucru s-a datorat faptului că utilizatorii au avut acces la dispozitive inteligente, cum ar fi telefoane mobile, televizoare inteligente și ceasuri inteligente [6]. Acest lucru a dus la o creștere semnificativă a nevoii de resurse de rețea și servere pentru procesarea datelor, cee ace a determinat apariția unor paradigme noi precum Edge Computing și Fog Computing, care aduc procesarea și capacitatea de stocare mai aproape de utilizator, ceea ce reduce latența și crește disponibilitatea datelor.

O gamă largă de caracteristici și tehnologii care contribuie la procesarea și stocarea datelor la marginea rețelei formează domeniul de cercetare cunoscut sub numele de Edge Computing.

În cele din urmă, paradigma Fog Computing este un model stratificat cu scopul principal de a menține beneficiile cloud-ului pentru implementarea aplicațiilor sau serviciilor capabile să proceseze sau să stocheze date pentru utilizatorii finali în noduri distribuite. Acest lucru, împreună cu nodurile edge, permite reducerea timpului de răspuns necesar pentru sarcinile sau procesele care sunt create în timpul utilizării.

Dintre cele trei paradigme, cloud computing-ul s-a evidențiat ca fiind cel mai răspândit și matur model, utilizându-se atât în mediul academic, cât și în sectorul privat. În ultimii ani, instrumentele de simulare [4] au căpătat un rol tot mai important în cercetarea dedicată acestei tehnologii. Prin intermediul simulării, pot fi analizate în prealabil configurările de servicii și strategiile de alocare și gestionare a resurselor, ceea ce contribuie la îmbunătățirea performanței, testarea ipotezelor tehnice și comerciale și obținerea unor rezultate fiabile, reproductibile, cu investiții minime, riscuri reduse și timp de execuție scurt.

În cercetarea actuală, simularea este abordarea preferată la nivel internațional, permițând definirea unor medii virtuale care includ aplicații, sarcini, dispozitive și condiții de rețea specifice. Aceste simulări generează date valoroase privind performanța infrastructurii: precum utilizarea CPU-ului, lățimea de bandă sau latența, facilitând astfel deciziile fundamentate cu privire la implementarea în mediu real.

1. Platforme de simulare

Nu putem omite faptul ca există o varietate de simulatoare dedicate mediilor Cloud, Fog și Edge[4], fiecare cu propriile caracteristici și funcționalități. Ele permit configurarea parametrilor de sistem, cum ar fi arhitectura rețelei, tipurile de dispozitive, cerințele aplicațiilor, sau caracteristicile proceselor și oferă o platformă de testare flexibilă și accesibilă. Cu toate acestea, niciun simulator nu reușește să acopere complet toate cerințele pe care le poate presupune un scenariu complex. Această diversitate de instrumente ridică o provocare suplimentară: alegerea simulatorului potrivit în funcție de scopul cercetării. În literatura de specialitate au fost propuse mai multe clasificări și analize comparative ale simulatorilor, printre care se remarcă:

* CloudSim[8], cel mai utilizat simulator pentru infrastructuri cloud, axat pe alocarea resurselor și programarea sarcinilor (scheduling);
* iFogSim și YAFS[5], extensii axate pe mediile Fog și Edge, cu suport pentru distribuție geografică și topologii dinamice;
* LEAF și EdgeCloudSim[9], orientate spre simularea aplicațiilor IoT și testarea performanței în scenarii cu latență redusă;
* SimGrid[10], un instrument puternic pentru simulări distribuite, extins recent prin proiecte precum ENIGMA pentru a include mobilitate și vizualizare geografică

În acest context, comparația între aceste simulatoare devine crucială, nu doar din punct de vedere tehnic, ci și practice, în funcție de scenariile reale care se doresc a fi simulate.

Tabelul de mai jos prezintă o comparație sintetică între cele mai utilizate simulatoare din literatura de specialitate, evidențiind paradigma vizată, limbajul folosit, suportul pentru mobilitate și energie, precum și câteva observații cheie.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Simulator** | **Paradigmă** | **Limbaj** | **Mobilitate** | **Energie** | **Observații principale** |
| CloudSim | Cloud | Java | Nu | Parțial | Simulator clasic, larg adoptat |
| iFogSim | Cloud + Fog | Java | Limitat | Da | IoT pe topologii fixe |
| YAFS | Fog + Edge | Python | Da | Da | Grafuri dinamice, mobilitate reală |
| LEAF | Edge | Java | Da | Da | Evenimente discrete, IoT distribuit |
| EdgeCloudSim | Cloud + Edge | Java | Limitat | Da | Simplu, dedicat aplicațiilor edge |
| SimGrid | Distribuit | C/C++ | Da | Da | Foarte performant, greu de personalizat |
| ENIGMA | Fog + Edge (SimGrid) | C/C++ | Da (IoT mobil) | Da | Vizualizare geospațială, suport mobilitate IoT |

**Tabel1**. Comparație între cele mai utilizate simulatoare [5], [8], [9].

După analiza generală a simulatorilor disponibili, am decis să utilizez CloudSim ca bază pentru simulările din această lucrare, având în vedere popularitatea, maturitatea și flexibilitatea sa. În literatura de specialitate, CloudSim are mai multe versiuni dezvoltate în timp, fiecare aducând îmbunătățiri și extensii funcționale semnificative: CloudSim, versiunea de bază, CloudSim Plus, orientat pe obiect și modular, implicit CloudSim 7G, versiune de ultimă generație, extinsă cu funcționalități moderne.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Versiune** | **Limbaj** | **Organizare** | **Suport energie** | **Extensibilitate** | **Funcționalități cheie** |
| CloudSim | Java | Clasică | Limitat | Bună | Modelare VM, datacenters, politici simple |
| CloudSim Plus | Java | OOP | Limitat | Excelentă | OOP, modularitate, cod refactorizat |
| CloudSim 7G | Java | Avansată | Complet | Ridicată | Microservicii, SDN, energie, IoT, modern UI |

**Tabel2.** Comparație între simulatoarele CloudSim [7], [11]

Dintre versiunile existente ale simulatorului CloudSim, CloudSim 7G a fost selectat pentru această lucrare, reprezentând cea mai avansată și completă generație din această familie de instrumente. Spre deosebire de versiunile anterioare, care integrau module disparate, adesea greu de combinat și menținut, CloudSim 7G propune o arhitectură reconfigurată și standardizată, capabilă să susțină simulări complexe, multi-modulare, într-un mod coerent și eficient.

Unul dintre cele mai importante atuuri ale acestei versiuni este suportul robust pentru modelarea consumului energetic, integrat printr-o refactorizare semnificativă a modulului energetic și a altor componente, precum cele pentru containere și rețele. Într-un context în care eficiența energetică a centrelor de date este o preocupare majoră pentru cercetare și industrie [12], CloudSim 7G permite evaluarea realistă a strategiilor de economisire a energiei și a politicilor de scalare automată energetică, oferind posibilitatea de a simula suprapunerea de containere peste mașini virtuale, managementul supraîncărcării, migrarea sarcinilor și evaluarea penalizărilor cauzate de virtualizare.

Mai mult, CloudSim 7G integrează funcționalități din module istorice precum NetworkCloudSim, ContainerCloudSim și CloudSimSDN, unificându-le sub o structură compatibilă și extensibilă. Acest lucru elimină problemele de compatibilitate anterioare și facilitează construirea de scenarii hibride, în care pot coexista VM-uri, containere, funcții serverless și servicii distribuite – toate într-un singur mediu de simulare.

În termeni de performanță, versiunea 7G aduce optimizări majore ale codului, reducând cu peste 13.000 de linii codul de bază, îmbunătățind semnificativ timpul de execuție și consumul de memorie cu până la 25% mai puțină memorie heap alocată, fără a compromite funcționalitatea. De asemenea, introduce concepte moderne precum suport pentru virtualizare imbricată și modelarea penalizărilor de latență cauzate de interfețele virtuale aspecte esențiale pentru simularea realistă a infrastructurilor cloud de nouă generație.

Prin urmare, CloudSim 7G oferă un echilibru optim între realismul simulării, extensibilitate și eficiență computațională, fiind alegerea ideală pentru obiectivele acestei lucrări, axate pe analiza performanței și a consumului energetic în scenarii cloud avansate.

[1] Van Dijk, J. *The Network Society*; Sage Publications: Thousand Oaks, CA, USA, 2012.

[2] S. Yi, C. Li, and Q. Li, "Fog computing: A taxonomy, survey and future directions," in *Proc. 2015 Workshop on Mobile Big Data (Mobidata '15)*, pp. 1–6, ACM, 2015.

[3] Mahmud, R.; Kotagiri, R.; Buyya, R. Fog computing: A taxonomy, survey and future directions. In *Internet of Everything*; Springer: Berlin, Germany, 2018; pp. 103–130.

[4] E. Del-Pozo-Puñal, F. García-Carballeira, and D. Camarmas-Alonso, "A scalable simulator for cloud, fog and edge computing platforms with mobility support," *Future Generation Computer Systems*, vol. 144, pp. 117–130, 2023.

[5] M. Fahimullah, G. Philippe, S. Ahvar, and M. Trocan, "Simulation tools for fog computing: A comparative analysis," *Sensors*, vol. 23, no. 7, p. 3492, 2023.

[6] K. Kok, S. Karnouskos, D. Nestle, A. Dimeas, A. Weidlich, C. Warmer, *et al*., "Smart houses for a smart grid," in *Proc. 20th Int. Conf. and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2009)*, Stevenage, UK: IET, Jun. 2009, p. 0751.

[7] R. Andreoli, J. Zhao, T. Cucinotta, and R. Buyya, "CloudSim 7G: An integrated toolkit for modeling and simulation of future generation cloud computing environments," *Software: Practice and Experience*, 2025. (în curs de apariție / in press, dacă nu are volum și pagini)

[8] M. A. Shahid, M. M. Alam, and M. M. Su’ud, "A systematic parameter analysis of cloud simulation tools in cloud computing environments," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 15, p. 8785, 2023.

[9] M. Ashouri, F. Lorig, P. Davidsson, and R. Spalazzese, "Edge computing simulators for IoT system design: An analysis of qualities and metrics," *Future Internet*, vol. 11, no. 11, p. 235, 2019.

[10] P. Velho and A. Legrand, "Accuracy study and improvement of network simulation in the SimGrid framework," in *Proc. 2nd Int. Conf. on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools '09)*, Mar. 2009.

[11] S. N. A. Jawaddi and A. Ismail, "Integrating OpenAI Gym and CloudSim Plus: A simulation environment for DRL agent training in energy-driven cloud scaling," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 130, p. 102858, 2024.

[12] R. Schmidt, D. Beaty, and J. Dietrich, "Increasing energy efficiency in data centers," *ASHRAE Journal*, vol. 49, no. 12, p. 18, 2007.