

**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI FACULTATEA DE
MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ**

LUCRARE DE LICENȚĂ

Coordonator:
Prof. Dr. Radu Ionescu

Absolvent:
Moldovan George-Alexandru

București
Iunie (fingers crossed), 2020

**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI FACULTATEA DE
MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ**

Sistem pentru detectarea anomaliilor in video

Coordonator:
Prof. Dr. Radu Ionescu

Absolvent:
Moldovan George-Alexandru

București
Iunie (fingers crossed), 2020

Cuprins

1	Introducere	1
1.1	Motivatie	1
1.2	Context	2
1.3	Conținutul lucrării	3
2	Analiza arhitecturii si a tehnologiilor folosite	4
2.1	Etapa de antrenare	4
2.2	Etapa de inferență	6
2.3	Etapa de deployment	6
3	Plictiseala	9

Listă de figuri

1.1	Statistică ce evidențiază importanța domeniului cloud computing în ultimii ani	2
2.1	Arhitectura abstractactizată a API-ului	8

Rezumat

Având în vedere contextul actual, detectarea anomaliilor în video este un subiect de interes în mai multe arii, în mod special în securitatea publică. Putem spune că această problemă este încă nerezolvată, deoarece sistemele actuale, deocamdată, nu depășesc omul când vine vorba de detectarea anomaliilor. De asemenea, o altă problemă a sistemelor de detectare a anomaliilor în video este nevoia acestora de resurse computaționale mari în partea de inferență, făcând aproape imposibilă rularea acestora direct pe hardware-ul existent al sistemelor de supraveghere video actuale, acolo unde acestea prezintă un maxim interes. Astfel, putem spune că dezvoltarea unui sistem capabil să transforme sistemele de supraveghere actuale în sisteme ce pot recunoaște evenimente anormale este un subiect ce poate revoluționa domeniul supravegherii video. Această lucrare își propune o implementare al sistemului state-of-the-art la momentul redactării, așa cum este prezentat de *Ionescu et al.* [9]. Obiectivul este obținerea unei arhitecturi ce folosește o soluție PaaS și expunerea etapei de inferență printr-un API astfel încât convertirea unui sistem de supraveghere clasic într-unul inteligent să devină doar o problemă de implementare, fără a fi nevoie de schimbarea hardware-ului. Utilizarea unei soluții PaaS pentru etapa de inferență rezolvă problema executării cererilor fără complexitatea creeri și întreținerii unei infrastructuri de mașini virtuale sau fizice.

Capitolul 1

Introducere

1.1 Motivatie

Detectarea anomaliilor în video este în strânsă legătură cu sistemele de supraveghere inteligente, un domeniu care a fost și este de interes pentru mine. La rândul lor, sistemele de supraveghere inteligente, au o mare importanță în securitatea publică. Cu toții ne dorim o lume în care apelurile de urgență în caz de incendiu se fac automat, alunecările de teren sunt descoperite înainte să fie prea târziu, iar oamenii rău intenționați sunt opriți înainte să se întâmple tragedii.

Astfel, arhitectura folosită se bazează pe detecția caracteristicilor spațio-temporale ale evenimentelor prezente în video, care mai apoi sunt împărțite în clase de normalitate. Aceste caracteristici sunt extrase trecând evenimentul printr-o serie de auto-encodere pentru a folosi mai apoi reprezentarea latentă în cadrul clasificării finale. În etapa de antrenare, se folosesc filmări ce prezintă comportamentul normal în scenariul analizat. Analizând aceste video-uri putem crea un model capabil să recunoască dacă un eveniment aparține unei clase de normalitate analizate până acum, sau dacă este un caz anormal. Deoarece un eveniment poate fi ales în multe moduri, în cadrul acestui sistem un eveniment reprezintă orice obiect aflat în cadru. Analiza asupra fiecarui obiect conține și un cadru precedent dar și unul viitor, asemănător cu modalitatea folosită de *Ionescu et al.* [9]. O mențiune în acest sens ar fi că pentru fiecare obiect sunt analizate și cadrele de la pozițiile $t-3$ și $t+3$ respectiv la poziția t a cadrului analizat. Din acest motiv, atunci când sistemul va analiza un video în sistem live-feed, analiza se va face cu un decalaj de 3 cadre. Având în vedere că pentru un video actual viteza de redare este de minim 15 cadre pe secundă, acest decalaj este neglijabil.

Pe lângă partea algoritmică a detectării anomaliilor, o altă arie de interes a acestei lucrări este cloud computing. Această parte analizează un nou mod de rulare, ce facilitează atât dezvoltarea cât și execuția ulterioară a unor sisteme complexe. Acest nou mod constă în folosirea unei arhitecturi plasată în cloud, ce oferă dezvoltatorului posibilitatea să creeze sisteme ce necesită multe resurse în timpul rulării, fără costurile asociate creerii și menținerii unei infrastructuri proprii. Pe de altă parte, având în

vedere că toate operațiunile sunt executate în cloud, utilizatorii serviciului au nevoie doar de conexiune la internet și cerințe minime pentru sistemele proprii, fara a fi nevoiți să achiziționeze echipamente noi pentru a folosi sisteme de detecție a anomaliilor.

1.2 Context

Detectarea anomaliilor în video poate fi văzută ca o problemă subiectivă, deoarece un eveniment este normal sau anormal doar dacă este luat în considerare și contextul în care acesta apare. Un exemplu foarte bun este comparația între două persoane care se luptă și o persoană care se plimbă. Care dintre aceste evenimente este anormal ? Desigur, depinde de context. Dacă sistemul supraveghează o arenă de lupte, atunci persoana care se plimbă în ring prezintă un comportament anormal, în timp ce luptătorii prezintă comportamentul așteptat. Din acest motiv majoritatea lucrărilor din domeniu [5, 9, 11]... abordează un mod de lucru bazat pe antrenarea folosind video-uri ce provin din aceeași locație cu cele de test. Tocmai din cauza dependenței de context, detectarea anomaliilor nu este o problemă ce poate fi generalizată, astfel fiecare scenariu necesită o antrenare și un model propriu.

Ca și moduri de expunere a soluției software către utilizatori, aceasta se poate face în 2 moduri :

- Folosind servere proprii
- Folosind servicii cloud

Folosirea serverelor proprii presupune, pe lângă prezența fizică a serverelor și cumpărarea tuturor serviciilor conexe, cum ar fi servere de baze de date, sisteme de distribuire a fișierelor, infrastructură de rețea, ș.a.m.d., este nevoie și de o echipă dedicată pentru întreținerea infrastructurii și repararea eventualelor probleme ce pot apărea. Aceste considerente, împreună cu faptul că scalarea soluțiilor software este foarte anevoioasă atunci când este folosită infrastructura proprie, fac această soluție să nu mai fie folosită în mod curent deoarece încetinește dezvoltarea aplicației, iar rezultatul final este și el unul mai puțin calitativ decât ce se poate obține folosind soluții în cloud.

Folosirea serviciilor cloud oferă multiple posibilități de dezvoltare a aplicațiilor, de la creare unei infrastructuri complete care este administrată în totalitate de către

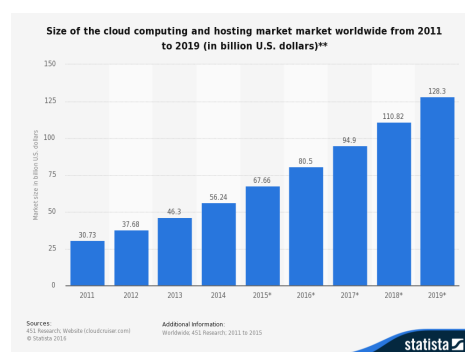


Figura 1.1: Statistică ce evidențiază importanța domeniului cloud computing în ultimii ani

dezvoltator, la medii de execuție serverless care sunt complet administrate de către provider-ul de servicii cloud. Deși crearea unei infrastructuri proprii încă este necesară acolo unde legislația nu permite ca datele să fie stocate în cloud, în toate celelalte cazuri se face migrarea spre soluții cloud, lucru vizibil și în evoluția cotei de piață a domeniului cloud-computing la nivel global, așa cum se poate observa și în figura 1.2.

1.3 Conținutul lucrării

Ca și structură, lucrarea este împărțită în 2 părți:

- Partea algoritmică a sistemului de detectare a anomaliilor în video
- Partea de deployment a sistemului

În prima parte sistemul va fi analizat și detaliat din punct de vedere algoritmic și teoretic studiind problema detecției propriu zisă. Ca și tehnologii, în această parte am ales să folosesc Python3 ca și limbaj de programare pentru avantajele pe care le are. Printre acestea se numără faptul că este un limbaj orientat pe obiecte care pune la dispoziția dezvoltatorului numeroase librării specifice pentru AI/ML mutând astfel atenția dinspre detalii de implementare spre detalii de arhitectură și probleme mai abstracte ale programului care sunt cu adevărat importante pentru rezultatul final. Una dintre librăriile care s-a dovedit esențială dezvoltării este *Keras* [6], care oferă un API ce ușurează dezvoltarea unei rețele neuronale adânci/convoluționale dar și optimizează timpul de antrenare pentru modelele create.

În cea de a doua parte este analizat tipul de deployment al aplicației. Aici vor fi prezentate analize detaliate ale avantajelor și dezavantajelor soluțiilor cloud, dar și motivele pentru care modul final de deployment a fost ales.

Soluțiile de cloud-computing analizate vor fi:

- Infrastructure as a Service (IaaS) - analiză pe Amazon EC2
- Platform as a Service (PaaS) - analiză pe Amazon Elastic Beanstalk
- Function as a Service (FaaS) - analiză pe Amazon Lambda

Capitolul 2

Analiza arhitecturii si a tehnologiilor folosite

Pentru o mai bună înțelegere a contextului în care tehnologiile prezentate au fost folosite, acestea vor fi prezentate mai jos în cadrul secțiunii corespunzătoare locului în care a fost folosită în cadrul proiectului. Pentru toate etapele sistemului, limbajul folosit este Python3, deoarece, împreună cu librăriile și framework-urile existente pentru inteligență artificială, reprezintă mediul ideal pentru dezvoltarea unei soluții modulare, rapide și ușor de modificat.

2.1 Etapa de antrenare

Pentru etapa de antrenare, sistemul trece prin următoarea serie de etape:

- Detectează obiectele din setul de date
- Antrenează un autoencoder pe imaginile obiectelor și un alt autoencoder pe gradientii obiectelor.
- Obține reprezentarea latentă a fiecărui eveniment
- Stabilește k clase de normalitate folosind reprezentările latente
- Antrenează k clasificatori de tipul one-versus-rest

Ca prim pas, pentru obținerea obiectelor dintr-o imagine, atât în etapa de antrenare cât și în cea de inferență este folosit un detector de obiecte pre-antrenat. Un detector de obiecte este un sistem ce primește ca input o imagine și după procesarea acesteia rezolvă problema detecției de obiecte și întoarce pozițiile la care sunt plasate obiectele în imagine, și etichetele asociate acestora. Deși detectorul de obiecte face parte din arhitectură, deoarece detectarea de obiecte este un subiect în sine, implementarea unui astfel de algoritm nu face obiectul acestei lucrări. Datorită acestui lucru, este folosit un detector deja antrenat din biblioteca *gluoncv* și testat pe setul de date COCO.

După aceasta etapă sunt antrenate cele două autoencodere convoluționale. Unul pentru imaginea propriu-zisă și altul pentru gradient. Un autoencoder este un tip de rețea neuronală alcătuit din 2 părți (encoder și decoder) care este folosit pentru a obține reprezentarea latentă a unui obiect folosind un mod de învățare nesupervizată. În timpul antrenării, autoencoder-ele au ca scop modificarea parametrilor interni pentru a obține la ieșire, datele primite la intrare. Deși ieșirea unui autoencoder nu prezintă interes, ceea ce este folositor este reprezentarea latentă (rezultatul encoder-ului) a datelor. Folosind această tehnică, se obține o reducere a dimensionalității ce îmbunătățește semnificativ performanțele clasificatorilor ulteriori.

Obținerea reprezentării latente a fiecărui obiect se realizează trecând imaginea, respectiv gradientul său prin encoderul autoencoderului corespunzător și păstrarea rezultatului.

Odată obținut vectorul de caracteristici pentru toate obiectele din setul de date, urmează stabilirea claselor de normalitate. Acest lucru se realizează prin aplicarea algoritmului k-means de clustering. Pentru implementare a fost folosit algoritmul *LLoyd* implementat în biblioteca python *sklearn*. Aplicând acest algoritm peste vectorii de caracteristici obținuți, rezultă k categorii de normalitate cu vectorii de caracteristici aferenți.

Folosind categoriile de normalitate obținute la pasul anterior, putem spune că față de o anumită categorie i , celelalte $k-1$ categorii reprezintă categorii *artificial* anormale. Le numim *artificial* anormale deoarece în mod obiectiv ele sunt acțiuni normale pentru sistemul de detectare a anomaliilor, dar pentru antrenarea unor clasificatori conform schemei one-vs-rest acestea sunt tratate drept anormale. Astfel, putem antrena un clasificator binar $g(i)$ în așa fel încât să separăm elementele din categoria i de cele din categoriile $\{1, 2, \dots, k\}/i$ generând funcția :

$$f_i(x) = \sum_1^n w_j * x_j + b$$

. Unde $x \in R^n$ reprezintă vectorul de caracteristici, w este vectorul de parametri a funcției, iar b reprezintă bias-ul funcției. [9].

Astfel, generăm k astfel de funcții corespunzătoare celor k clasificatori ce vor fi folosiți pentru a stabili dacă un eveniment este anormal. Conform schemei one-vs-rest, un eveniment este anormal dacă este clasificat drept anormal de către toți cei k clasificatori.

2.2 Etapa de inferență

În cadrul etapei de inferență, sistemul folosește detectorul de obiecte, autoencoderele pre-antrenate și cei k clasificatori binari pentru a stabili dacă un anumit eveniment este sau nu anormal. Astfel, parcursul sistemului este următorul :

- Extragerea cadrelor necesare din video
- Extragerea obiectelor din imagini
- Obținerea reprezentării latente
- Clasificarea evenimentelor

Pentru analiza unui eveniment care apare la un indice dat t sunt necesare 3 cadre. Mai precis cadrele de la indicii $t-3$, $t+3$ și t . Din cadrul t se va extrage vectorul de caracteristici specific aparenței vizuale, iar din celelalte 2 cadre se vor extrage vectorii de caracteristici specifici mișcării obiectului, prin analiza gradientilor. Prin concatenarea acestor 3 vectori, se obține vectorul final de caracteristici ce va fi folosit drept input pentru clasificatorii finali.

Pentru extragerea obiectelor din cadrele analizate, se va folosi același detector de obiecte ca în etapa de antrenare. Acesta va fi rulat pe cadrul principal t , urmând apoi să se folosească coordonatele obiectelor de la cadrul t , și pentru cadrele $t+3$ și $t-3$ deoarece din cauza diferenței mici de indici, obiectele nu se pot mișca îndeajuns încât să fie necesară rularea pe toate cele 3 cadre.

Odată obținute obiectele din cadrul analizat, după obținerea gradientilor din cadrele $t-3$ și $t+3$, se poate obține reprezentarea latentă a acestor informații. Reprezentarea latentă a imaginii obiectului constă în rezultatul generat de encoderul autoencoderului pentru imagini iar reprezentarea latentă a gradientilor constă în rezultatul generat de encoderul autoencoderului pentru gradienti.

Odată obținuți vectorii de caracteristici pentru reprezentarea vizuală și pentru reprezentarea mișcării obiectului, prin concatenarea lor se obține vectorul final, ce poate fi folosit drept input pentru clasificarea finală. Conform schemei *one-vs-rest* acest vector este clasificat de toți cei k clasificatori, iar rezultatul final este scorul maxim obținut în urma clasificării.

2.3 Etapa de deployment

Pentru a face sistemul public, acesta este lansat drept un API ce rulează etapa de inferență pe un server web plasat în cloud. Pentru dezvoltarea serverului am ales să folosesc framework-ul *Flask*. Flask este un micro-framework de python folosit pentru dezvoltarea soluțiilor web. Motivele pentru care acest framework a fost ales sunt :

- Acesta adaugă un overhead foarte mic aplicației, lucru esențial atunci când aplicație se dorește a fi plasată în cloud, din cauza limitărilor de memorie.
- Oferă un suport foarte bun pentru planificarea rutelor de intrare în aplicație, lucru foarte important atunci când se dorește dezvoltarea unui API.
- Este unul dintre framework-urile suportate de Amazon Elastic Beanstalk

Comparativ cu alte framework-uri, Flask este diferit deoarece nu impune linii clare dezvoltatorilor atunci când vine vorba de forma sau componentele aplicației ce urmează a fi dezvoltată. Astfel, dezvoltatorul are control complet asupra aplicației și își poate manifesta creativitatea sau ideile fără a fi restricționat de framework. Flask a fost creat tocmai cu ideea de a fi construit peste el. Deși poate nu oferă aceeași viteză de dezvoltare comparativ cu celelalte frameworkuri, acesta oferă libertatea de alegere la fiecare pas. Are suport pentru toate tipurile de baze de date, fie ele relaționale sau nerelaționale, nu are preferințe când vine vorba de metode de autentificare sau de creare a rolurilor, totul este suportat și totul este la latitudinea dezvoltatorului. [8]

Pentru a lansa serverul în cloud, am folosit serviciul Amazon Elastic Beanstalk. Acesta este un serviciu complex, ce însumează la rândul lui mai multe servicii cloud oferite de Amazon Web Services(AWS). Mai jos sunt prezentate câteva dintre avantajele și dezavantajele acestui serviciu, fiind analizat în detaliu în capitolele ce urmează. Elastic Beanstalk este un serviciu de tipul *PaaS* ce oferă servicii de deployment și administrare complete. Pentru o mai bună detaliere, mai jos sunt definite toate serviciile cloud incluse de Elastic Beanstalk:

- Amazon EC2 : este un serviciu web oferit de Amazon ce constă în oferirea unui mediu de execuție sigur în cloud. Este echivalentul unei mașini fizice mutate în cloud. Acesta a fost creat pentru a ușura misiunea dezvoltatorilor de a migra serviciile proprii spre cloud computing. Aceste instanțe sunt extrem de configurabile, punând la dispoziția dezvoltatorului mai mult de 50 de tipuri de instanțe, plus diferite opțiuni de optimizare a unor părți specifice, cum ar fi memoria sau placa video. [2]
- Amazon S3 : este un serviciu ce oferă medii de stocare în cloud. Stocarea este de tipul cheie-obiect, unde cheia identifică unic la nivel global un fișier. Acesta oferă o securitate sporită a datelor, și o disponibilitate de 99.999999% deoarece datele sunt distribuite în sisteme diferite și în zone diferite. [4]
- Auto Scaling Group : acest serviciu oferă un mod automat de lansare a instanțelor EC2 astfel încât traficul să nu depășească niciodată puterea de execuție a unui aplicații. Scopul acestui serviciu este de a oferi capacitatea de a scala pentru a menține o performanță optimă, menținând costul în tot acest timp la valoarea minimă. [1]

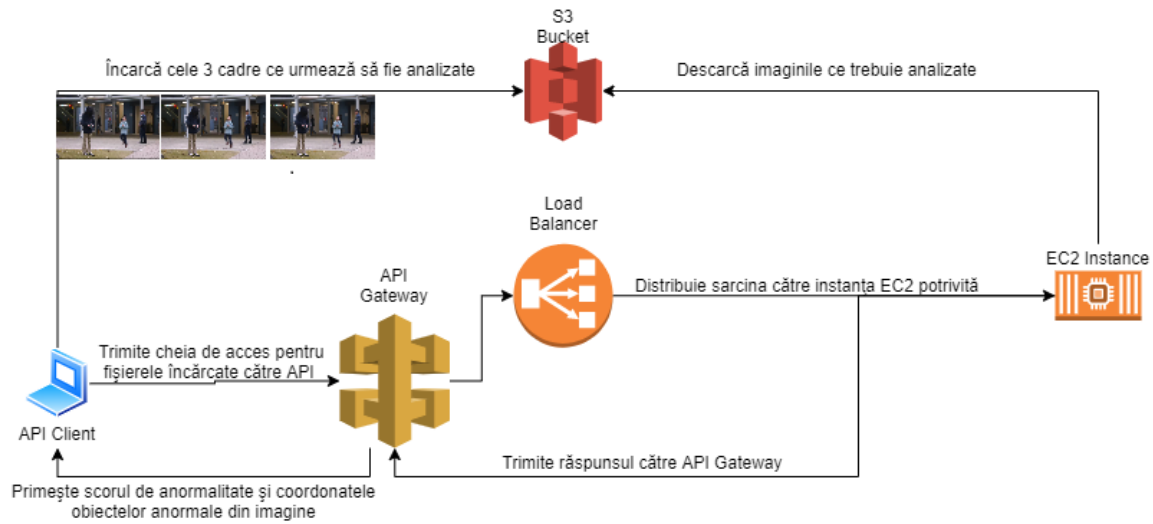


Figura 2.1: Arhitectura abstractizată a API-ului

- Elastic Load Balancing: este un serviciu care împarte traficul administrat de aplicație către instanțele lansate astfel încât acestea să fie utilizate într-un mod optim. Astfel, poate suporta încărcătura variabilă a aplicației și o poate distribui în așa fel încât, în funcție de modul ales (*accesibilitate crescută*, (*scalare automată*), *securitate ridicată*) aplicația să nu scadă sub performanțele dorite. [3]

Dezvoltatorul se ocupă doar de aplicația/serverul propriu zis, crează pachetul de deployment, iar Elastic Beanstalk crează instanțele EC2 necesare, administrează și rutează traficul către instanțe folosind un Load Balancer, iar atunci când aplicația este suprasolicitată, lansează în mod automat noi servere folosindu-se de avantajele unui Auto Scaling Group.

Așa cum se poate observa în figura 2.3, API-ul este creat în așa fel încât evaluarea se face pentru fiecare cadru în parte. Dezvoltatorul ce implementează clientul pentru API are doar responsabilitatea urcării cadrelor necesare într-un spațiu S3 prestabilit. Preprocesarea, extragerea obiectelor din imagine, și rularea detecției de anomalii sunt toate executate în cloud. Astfel, efortul computațional asupra clientului este minim. La momentul accesării API-ului, serverul trebuie să primească ca parametru în apelul HTTP cheia de acces pentru cadrele urcate de către client. Folosind această informație, pe server se descarcă aceste cadre și sunt analizate pentru a detecta anomaliile din cadrul central. Ca și rezultat, clientul primește scorul de anormalitate al cadrului împreună cu toate pozițiile obiectelor anormale din cadru, date ce pot fi folosite pentru notificări ulterioare sau diferite aplicații pe partea de client.

Capitolul 3

Plictiseala

In ceea ce privește FaaS, acesta este un domeniu nou, deoarece a apărut pentru prima data in 2010 fiind oferit de câteva start-upuri la acea vreme. Acest mod de dezvoltare orientat spre microservicii a devenit trendul in industrie în ultimii ani pentru sisteme cu potențial de scalare mare, deoarece prezintă numeroase avantaje din punct de vedere al modului de dezvoltare si de executie in industrie. In momentul de față, pentru servicii de tip FaaS sunt 3 mari jucători: Amazon cu AWS Lambda, Google cu Google Cloud Functions si Microsoft cu Azure Functions.[10]. Numeroase lucrări din domeniu [7, 12] arată ca rularea algoritmilor de machine learning folosind soluții FaaS (Function as a service) precum AWS Lambda sau Google cloud functions, este în sine o problemă ce necesită soluții de optimizare a codului pentru a indeplini restricțiile soluțiilor de rulare serverless, cum ar fi memoria limitată a mediului de execuție. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan

semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Bibliografie

- [1] Amazon autoscaling description, 04 2020.
- [2] Amazon ec2 description, 04 2020.
- [3] Amazon elastic load balancing description, 04 2020.
- [4] Amazon s3 description, 04 2020.
- [5] K. Cheng, Y. Chen, and W. Fang. Video anomaly detection and localization using hierarchical feature representation and gaussian process regression. pages 2909–2917, 2015.
- [6] F. Chollet et al. Keras description, 04 2020.
- [7] A. Christidis, R. Davies, and S. Moschoyiannis. Serving machine learning workloads in resource constrained environments: a serverless deployment example. pages 55–63, 2019.
- [8] M. Grinberg. *Flask Web Development: Developing Web Applications with Python*. O’Reilly Media, Inc., 1st edition, 2014.
- [9] R. T. Ionescu, F. S. Khan, M. Georgescu, and L. Shao. Object-centric auto-encoders and dummy anomalies for abnormal event detection in video. pages 7834–7843, 2019.
- [10] E. Jonas, J. Schleier-Smith, V. Sreekanti, C.-C. Tsai, A. Khandelwal, Q. Pu, V. Shankar, J. Carreira, K. Krauth, N. Yadwadkar, et al. Cloud programming simplified: A berkeley view on serverless computing. *arXiv preprint arXiv:1902.03383*, 2019.
- [11] W. Sultani, C. Chen, and M. Shah. Real-world anomaly detection in surveillance videos. pages 6479–6488, 2018.
- [12] H. Wang, D. Niu, and B. Li. Distributed machine learning with a serverless architecture. pages 1288–1296, 2019.