



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گزارش تحلیل مقاله

Edge Computing and the Future of Cloud Computing:

A Survey of Industry Perspectives and Predictions

محمد حسن ابراهیمی - 40361631001

استاد درس

دکتر مریم لطفی

اسفند 1403

فهرست مطالب

| | |
|---|----|
| چکیده | 4 |
| 1- مقدمه | 5 |
| 1-1 مفاهیم کلی | 5 |
| 1-2 انگیزه تحقیق | 6 |
| 1-3 پرسش ها | 6 |
| 2- مقدمه ای بر محاسبات لبه ای | 7 |
| 2-1 مفاهیم و معماری | 7 |
| 2-2 مولفه ها و فناوری ها | 9 |
| 2-3 مزایا و چالش ها | 10 |
| 3- محاسبات ابری | 11 |
| 3-1 مفاهیم کلی محاسبات ابری | 11 |
| 3-2 تعامل بین محاسبات ابری و لبه ای | 13 |
| 4- چشم اندازهای صنعت در محاسبات لبه ای و ابری | 13 |
| 4-1 کاربرد ها در صنایع مختلف | 14 |
| 4-2 روند های نوظهور و چالش های صنعت | 14 |
| 5- آینده محاسبات لبه ای و ابری | 15 |
| 5-1 رشد معماری های ابر-لبه | 15 |
| 5-2 استفاده از هوش مصنوعی در محاسبات لبه ای | 16 |
| 5-3 ادغام با فناوری های نوظهور | 16 |
| 5-4 چالش ها و نوآوری های لازم | 17 |
| 6- پیامد ها روی صنعت و تحقیقات | 18 |

18 6-1 پیامد ها روی صنعت

19 6-2 پیامد ها روی تحقیق

20 7- نتیجه گیری

چکیده

رایانش لبه ای^۱ و رایانش ابری^۲ فناوری‌های دگرگون‌کننده‌ای هستند که چشم‌انداز فناوری اطلاعات را تغییر می‌دهند و امکان پیشرفت در صنایع مختلف را فراهم می‌کنند. این گزارش به بررسی وضعیت فعلی، دیدگاه‌های صنعت و پیش‌بینی‌های آینده برای این فناوری‌های مکمل می‌پردازد و بینش‌هایی را ارائه می‌دهد که از ادبیات دانشگاهی، گزارش‌های صنعت، و مصاحبه‌های کارشناسان به دست آمده است. این هدف با تجزیه و تحلیل دقیق محاسبات لبه ای، از جمله تعریف، معماری، فناوری‌ها، مزایا و چالش‌ها آغاز می‌شود و نقش آن را در پرداختن به پردازش داده‌های بلادرنگ و نیازهای با تأخیر کم برجسته می‌کند. به طور مشابه، تکامل محاسبات ابری مورد بررسی قرار می‌گیرد و بر مقیاس‌پذیری، کارایی، هزینه و ادغام آن با محاسبات لبه ای تأکید می‌کند.

تعامل بین رایانش لبه ای و رایانش ابری یک نقطه عطف است که نشان می‌دهد چگونه سازمان‌ها از هر دو فناوری برای ایجاد راه حل‌های مقیاس‌پذیر و کارآمد استفاده می‌کنند. موارد استفاده در صنعت، موانع پذیرش، و دیدگاه‌های ذی‌نفعان مورد بحث قرار می‌گیرد و کاربردهای دنیای واقعی و چالش‌های پیش روی بخش‌های مختلف را نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌هایی برای پیشرفت‌های آینده، رشد بازار و نوآوری‌ها به همراه تأثیرات بالقوه آنها بر صنایعی مانند مراقبت‌های بهداشتی، تولید و ارتباطات از راه دور نیز ارائه شده است.

با درک این روندها و پیش‌بینی پیشرفت‌های آینده، کسب‌وکارها، محققان و سیاست‌گذاران می‌توانند بهتر برای دگرگونی چشم‌انداز فناوری اطلاعات آماده شوند. این گزارش با تأکید بر اهمیت ادامه تحقیقات و برنامه ریزی استراتژیک برای به حداکثر رساندن مزایای رایانش لبه ای و ابری در حالی که چالش‌های ذاتی آنها را مورد توجه قرار می‌دهد، به پایان می‌رسد.

edge computing – 1

Cloud computing 2

1- مقدمه

1-1 مفاهیم کلی

محاسبات لبه ای و رایانش ابری به عنوان فناوری‌های دگرگون‌کننده ظهور کرده‌اند که چشم‌انداز فناوری اطلاعات را تغییر می‌دهند. در طول سال‌ها، این پارادایم‌ها نقش‌های متمایزی را در رسیدگی به نیازهای در حال تحول پردازش داده، ذخیره‌سازی و مقیاس‌پذیری در صنایع ایجاد کرده‌اند. رایانش ابری که در اوایل دهه 2000 شهرت یافت، یک مدل انقلابی برای ارائه منابع محاسباتی، بر اساس تقاضا از طریق اینترنت معرفی کرد. رایانش ابری با ارائه مجموعه‌های مشترک از منابع، مانند ذخیره‌سازی، قدرت پردازش و برنامه‌های کاربردی، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا عملیات را به طور کارآمدی مقیاس‌بندی کنند و در عین حال از پیچیدگی‌های مدیریت زیرساخت‌های فیزیکی اجتناب کنند. ارائه دهندگان بزرگی مانند خدمات وب سرویس آمازون^۳، مایکروسافت آژور^۴ و پلتفرم ابری گوگل^۵ رشد محاسبات ابری را رهبری کرده‌اند و مدل‌های خدماتی مانند زیرساخت به عنوان سرویس (IaaS)، پلتفرم به عنوان سرویس (PaaS) و نرم افزار به عنوان سرویس (SaaS) را ارائه می‌دهند. این پیشرفت‌ها راه را برای برنامه‌های کاربردی پیشرفته از جمله هوش مصنوعی، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و اینترنت اشیا هموار کرد.

در حالی که رایانش ابری فناوری اطلاعات را متحول کرده است، افزایش تقاضا برای پردازش بی‌درنگ داده و برنامه‌های کاربردی با تأخیر کم، محدودیت‌های آن را آشکار کرد. این مورد منجر به ظهور محاسبات لبه ای شد، یک رویکرد مکمل با هدف پردازش داده‌ها در نزدیک‌ترین منبع به آن. محاسبات لبه ای با استفاده از دستگاه‌های محلی و معماری غیرمتمرکز، تأخیر را به حداقل می‌رساند، پهنای باند را حفظ می‌کند و کارایی را افزایش می‌دهد. محاسبات لبه ای که در اواخر دهه 2010 رایج شد، ارتباط نزدیکی با گسترش اینترنت اشیا، نیاز به تجزیه و تحلیل بلادرنگ و پیشرفت در فناوری‌های شبکه مانند 5G دارد. در نتیجه، صنایعی مانند تولید، مراقبت‌های بهداشتی، حمل و نقل و ارتباطات به طور فزاینده‌ای از محاسبات لبه ای برای برآورده کردن نیازهای خاص خود استفاده می‌کنند. رایانش ابری و لبه ای با هم به عنوان

AWS - ³

Azure - ⁴

GCP - ⁵

فناوری‌های هم افزایی در نظر گرفته می‌شوند که قادر به ایجاد راه‌حل‌های مقیاس‌پذیر، انعطاف‌پذیر و کارآمد برای چالش‌های فناوری اطلاعات مدرن هستند.

2-1 انگیزه تحقیق

تکامل سریع محاسبات لبه ای و ابری پتانسیل بسیار زیادی برای دگرگونی صنایع، هدایت نوآوری و ارائه فرصت‌ها و چالش‌ها دارد. درک تأثیر متقابل آنها، موانع پذیرش و روندهای آینده برای تصمیم‌گیری آگاهانه، موقعیت رقابتی و توسعه سیاست بسیار مهم است. سازمان‌ها می‌توانند از دانش در مورد تأثیر این فناوری‌ها بر کارایی عملیاتی بهره ببرند، در حالی که سیاست‌گذاران می‌توانند از این دانش برای رسیدگی به نگرانی‌هایی مانند حریم خصوصی داده‌ها، امنیت و شکاف دیجیتالی استفاده کنند. علاوه بر این، محققان و جوامع دانشگاهی می‌توانند شکاف‌های دانش را برای هدایت و توسعه‌های آینده، در محاسبات لبه ای و ابری شناسایی کنند.

این مقاله بر چندین جنبه کلیدی تمرکز دارد. ارائه یک نمای کلی از رایانش لبه ای و رایانش ابری، بررسی دیدگاه‌های صنعت در مورد پذیرش آنها، بررسی موارد استفاده در دنیای واقعی، تجزیه و تحلیل موانع و ارائه پیش‌بینی‌هایی برای پیشرفت‌های آینده. هدف این گزارش با پرداختن به این موضوعات، کمک به درک عمیق‌تر از وضعیت فعلی و چشم‌انداز آینده فناوری‌های محاسبات لبه ای و ابری است، و به سهامداران در سراسر بخش‌ها در جهت‌یابی به چشم‌انداز فناوری به سرعت در حال تحول کمک می‌کند.

3-1 پرسش‌ها

سوالات اصلی که این مقاله قصد دارد به آنها بپردازد عبارتند از:

1. ویژگی‌ها، اجزا و معماری‌های کلیدی محاسبات لبه ای و رایانش ابری چیست و چگونه آنها یکدیگر را در زمینه راه حل‌های محاسباتی مدرن تکمیل می‌کنند؟
2. روندهای فعلی، چالش‌ها و مزایای مرتبط با پذیرش محاسبات لبه ای و ابری چیست؟

3. چگونه ذینفعان صنعت نقش محاسبات لبه ای و رایانش ابری را در بخش های مربوطه خود درک می کنند؟ و موارد استفاده اولیه چیست؟

4. پیشرفت های پیش بینی شده آینده، نوآوری ها و روندهای بازار برای محاسبات لبه ای و ابری چیست و چگونه بر بخش های مختلف صنعت تأثیر خواهند گذاشت؟

5. پیامدهای یافته ها برای دست اندرکاران صنعت، محققان و سیاست گذاران چیست و کدام حوزه ها نیازمند تحقیق و توسعه بیشتر در زمینه محاسبات لبه ای و ابری هستند؟

2- مقدمه ای بر محاسبات لبه ای

1-2 - مفاهیم و معماری

محاسبات لبه یک الگوی محاسباتی توزیع شده است که برای پردازش و ذخیره داده ها نزدیک تر به نقطه مبدا، مانند دستگاه های اینترنت اشیا، حسگرها یا دستگاه های کاربر نهایی^۶ طراحی شده است. برخلاف رایانش ابری متمرکز سنتی که برای پردازش و تجزیه و تحلیل اطلاعات به مراکز داده بزرگ متکی است، محاسبات لبه ای این فرآیندها را برای کاهش تأخیر و بهبود زمان پاسخ غیرمتمرکز می کند. با استفاده از پردازش و تجزیه و تحلیل داده های محلی، محاسبات لبه ای نیاز به انتقال داده ها به مراکز داده متمرکز را به حداقل می رساند، پهنای باند را حفظ می کند و عملکرد را بهبود می بخشد. این پارادایم به ویژه برای برنامه هایی که نیاز به تصمیم گیری در لحظه یا آنی دارند، مانند وسایل نقلیه خودران، اتوماسیون صنعتی و سیستم های نظارت بر مراقبت های بهداشتی مفید است.

محاسبات لبه ای ارتباط نزدیکی با ظهور اینترنت اشیا دارد، زیرا هجوم گسترده داده های تولید شده توسط دستگاه ها به راه حل های محلی برای پردازش سریع و ذخیره سازی نیاز دارد. این رویکرد نه تنها کارایی را بهبود می بخشد، بلکه با کاهش قرار گرفتن در معرض داده های حساس در حین انتقال، امنیت را نیز افزایش می دهد. در نهایت، محاسبات لبه ای

با پرداختن به محدودیت‌های مدل‌های متمرکز، مانند تأخیر بالا، محدودیت‌های پهنای باند، و ناکارآمدی در پردازش مقادیر زیادی از داده‌های بلادرنگ، محاسبات ابری را تکمیل می‌کند.

معماری محاسبات لبه ای از لایه‌ها و مؤلفه‌های به هم پیوسته تشکیل شده است که پردازش داده‌های محلی و ادغام با منابع ابری را در صورت لزوم امکان‌پذیر می‌سازد. دستگاه‌های لبه ای مانند حسگرهای اینترنت اشیا، تلفن‌های هوشمند و محرک‌ها به عنوان نقاط اصلی تولید و مصرف داده عمل می‌کنند. این دستگاه‌ها به قابلیت‌های پردازش و ذخیره سازی اولیه برای انجام وظایف محاسباتی سبک به صورت محلی مجهز هستند.

فراتر از دستگاه‌ها، گره‌های لبه^۷ یا دروازه‌ها^۸ به عنوان واسطه عمل می‌کنند و داده‌های جمع‌آوری شده از دستگاه‌های لبه ای را جمع‌آوری، پیش‌پردازش و تجزیه و تحلیل می‌کنند. این گره‌ها به قابلیت‌های محاسباتی قوی‌تری مجهز هستند و اغلب در نزدیکی دستگاه‌ها مانند کارخانه‌ها، بیمارستان‌ها یا مکان‌های مهم دیگر مستقر می‌شوند. آنها انتقال کارآمد داده را به مراکز داده محلی یا منطقه ای تسهیل می‌کنند، که قدرت پردازش بیشتری را برای کارهایی که بیش از ظرفیت گره‌های لبه هستند، ارائه می‌دهند.

برای برنامه‌هایی که به منابع محاسباتی گسترده نیاز دارند، محاسبات لبه ای با مراکز داده ابری متمرکز، جایی که پردازش داده‌ها، ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل در مقیاس بزرگ انجام می‌شود، ادغام می‌شود. این معماری همچنین به یک شبکه و زیرساخت ارتباطی قوی، از جمله فناوری‌های سیمی و بی‌سیم مانند 5G، متکی است تا از تبادل یکپارچه داده بین تمام لایه‌ها اطمینان حاصل کند. این مؤلفه‌ها با هم یک سیستم سلسله مراتبی را تشکیل می‌دهند که پردازش محلی و قابلیت‌های متمرکز را متعادل می‌کند و راه‌حل‌های محاسباتی کارآمد، مقیاس‌پذیر و پاسخگو را متناسب با نیازهای کاربردی مدرن ارائه می‌دهد.

Edge nodes – 7

Gateways - 8

2-2 مولفه ها⁹ و فناوری ها

محاسبات لبه ای چندین فناوری و مؤلفه را ادغام می کند که پردازش و ذخیره سازی کارآمد داده ها را به منبع داده

نزدیک تر می کند. این موارد عبارتند از:

- دستگاه ها و حسگرهای اینترنت اشیا: دستگاه های اینترنت اشیا مقادیر زیادی داده تولید می کنند که محاسبات لبه ای را برای پردازش بلادرنگ یا تقریباً بی درنگ ضروری می سازد. حسگرهای تعبیه شده در دستگاه های اینترنت اشیا داده هایی را از محیط فیزیکی جمع آوری می کنند که می توانند به صورت محلی برای کاهش تأخیر و افزایش پاسخ دهی تجزیه و تحلیل شوند.
- محاسبات مه: محاسبات مه به عنوان یک لایه میانی بین دستگاه های لبه و مراکز داده متمرکز عمل می کند. پردازش، ذخیره سازی و انتقال داده های محلی را قادر می سازد، کارایی پهنای باند را بهبود می بخشد و تأخیر را کاهش می دهد.
- تجزیه و تحلیل لبه: تجزیه و تحلیل داده های بلادرنگ در لبه نیاز به انتقال داده های خام به سیستم های متمرکز را کاهش می دهد. تجزیه و تحلیل لبه شامل تجمیع داده ها، فیلتر کردن، و تجزیه و تحلیل آماری اولیه برای ارائه بینش عملی به صورت محلی است.
- مراکز داده خرد¹⁰: این مراکز داده ماژولار و جمع و جور، در نزدیکی دستگاه های لبه ای مستقر شده اند تا کارهایی را انجام دهند که به قابلیت های پردازش بالاتری نیاز دارند. مراکز داده خرد وابستگی به امکانات متمرکز را کاهش می دهند و از پردازش سریع تر داده ها و تأخیر کمتر اطمینان حاصل می کنند.
- 5G و فناوری های شبکه پیشرفته: استفاده از فناوری 5G انتقال داده ها را سریع تر و تأخیر کمتر را تسهیل می کند، که برای برنامه های محاسباتی لبه ای حیاتی هستند. سایر فناوری های پیشرفته شبکه نیز اتصال بین دستگاه های لبه، گره ها و مراکز داده را افزایش می دهند.

- هوش مصنوعی لبه: الگوریتم‌های هوش مصنوعی مستقر در لبه، تصمیم‌گیری محلی در لحظه را امکان‌پذیر می‌سازد. سخت افزار های خاص، مانند شتاب دهنده های هوش مصنوعی^{۱۱}، از اجرای کارآمد مدل های یادگیری ماشین در دستگاه های لبه پشتیبانی می‌کنند.
 - کانتینرسازی^{۱۲} و مجازی سازی: فن آوری هایی مانند Docker و Kubernetes از استقرار نرم افزارهای سبک وزن و قابل حمل در دستگاه ها و گره های لبه پشتیبانی می‌کنند. کانتینرسازی، مقیاس پذیری، انعطاف پذیری و هماهنگی کارآمد محاسبات لبه را تضمین می‌کند.
- این فناوری‌ها سیستم‌های محاسبات لبه‌ای را برای برآورده کردن نیازهای برنامه‌های کاربردی مدرن که به پردازش بلادرنگ، مقیاس‌پذیری و کارایی بالا نیاز دارند، توانمند می‌سازند.

2-3 مزایا و چالش ها

محاسبات لبه ای چندین مزیت مهم را ارائه می‌دهد که به محدودیت های مدل های محاسبات متمرکز سنتی می‌پردازد. با پردازش داده‌ها نزدیک‌تر به منبع، محاسبات لبه ای تأخیر را به شدت کاهش می‌دهد و تصمیم‌گیری در لحظه را امکان‌پذیر می‌کند که برای کاربردهایی مانند خودروهای خودران و اتوماسیون صنعتی بسیار مهم است. همچنین با به حداقل رساندن انتقال داده های خام به سرورهای متمرکز، استفاده از پهنای باند را بهینه می‌کند که منجر به صرفه جویی در هزینه و کارایی شبکه می‌شود. علاوه بر این، محاسبات لبه ای با کاهش قرار گرفتن سیستم در معرض داده های حساس در طول انتقال، امنیت و حریم خصوصی را افزایش می‌دهد و از مقیاس پذیری سیستم های اینترنت اشیا پشتیبانی می‌کند. قابلیت اطمینان محاسبات لبه ای عملکرد بدون وقفه را حتی در مناطقی با اتصال ناسازگار تضمین می‌کند، و آن را به یک راه حل حیاتی برای مناطق دورافتاده تبدیل می‌کند.

با این حال، محاسبات لبه ای با مجموعه ای از چالش ها همراه است که باید برای پیاده سازی مورد توجه قرار گیرد. خطرات امنیتی در لبه، مانند دستکاری فیزیکی و حملات سایبری، به دلیل ماهیت غیرمتمرکز دستگاه های لبه افزایش

AI accelerators – ¹¹

Containerization – ¹²

یافته است. فقدان استانداردسازی در بین فناوری‌ها و پروتکل‌ها مشکلات سازگاری را ایجاد می‌کند، در حالی که محدودیت‌های منابع در دستگاه‌های لبه توانایی آن‌ها را برای رسیدگی به وظایف پیچیده محدود می‌کند. استقرار و مدیریت زیرساخت لبه نیاز به مهارت زیادی دارد که می‌تواند موانعی برای سازمان‌ها ایجاد کند. علاوه بر این، هزینه‌های اولیه بالا برای راه‌اندازی سیستم‌های لبه و چالش‌های همگام‌سازی داده‌ها در سراسر سیستم‌های لبه و ابری به پیچیدگی آن می‌افزاید. علیرغم این چالش‌ها، مزایای بالقوه محاسبات لبه‌ای، آن را به یک راه‌حل کاربردی برای رسیدگی به نیازهای برنامه‌ها و صنایع مدرن تبدیل می‌کند.

3- محاسبات ابری

3-1 مفاهیم کلی محاسبات ابری

رایانش ابری در اوایل دهه 2000 به عنوان یک مدل دگرگون‌کننده برای دسترسی و مدیریت منابع محاسباتی ظهور کرد. مفهوم اولیه آن حول محور ارائه دسترسی بر اساس تقاضا به منابع مشترک از منابع قابل تنظیم، مانند ذخیره‌سازی، قدرت پردازش و برنامه‌های کاربردی، از طریق اینترنت می‌چرخد. این رویکرد نیاز سازمان‌ها و افراد را برای حفظ زیرساخت‌های پیچیده در محل از بین برد که امکان صرفه‌جویی قابل توجه در هزینه و کارایی عملیاتی را فراهم می‌کرد. رایانش ابری با استفاده از یک مدل پرداخت به‌موقع، کاربران را قادر می‌سازد تا منابع را به صورت پویا مقیاس‌بندی کنند و بدون متحمل شدن هزینه‌های غیرضروری، نیازهای نوسانی را برآورده کنند. با گذشت زمان، این مدل به بلوغ رسید تا مدل‌های خدماتی مانند زیرساخت به‌عنوان سرویس (IaaS)، پلتفرم به‌عنوان سرویس (PaaS) و نرم‌افزار به‌عنوان سرویس (SaaS) را در بر بگیرد که هر کدام نیازهای خاص سازمان‌ها را برآورده می‌کنند.

پذیرش سریع رایانش ابری توسط عوامل کلیدی مانند توانایی آن در ارائه مقیاس‌پذیری بالا، کارایی هزینه و سهولت دسترسی به خدمات محاسباتی پیشرفته انجام شد. ارائه‌دهندگان خدمات ابری بزرگ مانند خدمات وب‌آمازون، مایکروسافت آژور، و پلتفرم ابری گوگل، خود را به عنوان پیشروان صنعت معرفی کردند و خدمات متنوعی را ارائه کردند که برای مشاغل در هر اندازه مناسب است. با تکامل این فناوری، رایانش ابری به یک عامل حیاتی برای برنامه‌های کاربردی

پیشرفته، از جمله تجزیه و تحلیل داده های بزرگ، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا تبدیل شد. با این حال، علی‌رغم این پیشرفت‌ها، محاسبات ابری سنتی با محدودیت‌هایی در پرداختن به پردازش داده‌های بلادرنگ و برنامه‌های کاربردی کم تأخیر، به‌ویژه در سناریوهایی که نیاز به پردازش داده‌ها نزدیک‌تر به منبع آن بود، مواجه شد.

سال‌های اخیر شاهد پیشرفت‌های قابل توجهی در رایانش ابری، به ویژه تعامل آن با محاسبات لبه‌ای بوده است. محاسبات لبه‌ای به عنوان یک فناوری مکمل برای رفع محدودیت‌های محاسبات ابری متمرکز، مانند محدودیت‌های تأخیر و پهنای باند، پدیدار شد. با فراهم کردن قابلیت پردازش داده‌های محلی در نزدیکی منبع داده، محاسبات لبه وابستگی به مراکز داده متمرکز را کاهش می‌دهد و در نتیجه کارایی و پاسخگویی افزایش می‌یابد. ادغام محاسبات لبه و ابری باعث ایجاد استراتژی‌های ترکیبی و چند ابری شده است، جایی که سازمان‌ها از نقاط قوت هر دو مدل برای ایجاد محیط‌های محاسباتی مقیاس‌پذیر و انعطاف‌پذیر استفاده می‌کنند. مدل‌های ترکیبی به کسب‌وکارها اجازه می‌دهند تا داده‌ها را به صورت محلی پردازش کنند، در حالی که از منابع ابری برای تجزیه و تحلیل و نیازهای ذخیره‌سازی در مقیاس بزرگ استفاده می‌کنند، و عملکرد بهینه را برای برنامه‌های کاربردی متنوع تضمین می‌کنند.

یکی دیگر از روندهای قابل توجه در رایانش ابری، ادغام فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی، کانتینر سازی و شبکه های پیشرفته است. ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی به طور فزاینده‌ای در لبه مستقر می‌شوند و پردازش‌های بلادرنگ و تصمیم‌گیری محلی را از طریق هوش مصنوعی لبه امکان‌پذیر می‌کنند. فناوری‌های کانتینر سازی، مانند Docker و Kubernetes، استقرار برنامه‌های کاربردی سبک وزن و قابل حمل را در زیرساخت‌های لبه و ابری تسهیل کرده‌اند و مقیاس‌پذیری و هماهنگ‌سازی را بهبود می‌بخشند. علاوه بر این، پیشرفت‌ها در فناوری‌های شبکه، از جمله 5G، سرعت انتقال داده‌ها را به‌طور قابل توجهی افزایش داده و تأخیر را کاهش داده است، و راه‌حل‌های ابر-لبه را برای صنایعی مانند مراقبت‌های بهداشتی، حمل‌ونقل، و تولید قابل دوام‌تر کرده است. این پیشرفت‌ها همگرایی رو به رشد رایانش لبه‌ای و ابری را نشان می‌دهد زیرا سازمان‌ها به دنبال رسیدگی به نیازهای محاسباتی پویا و پیچیده در سناریوهای دنیای واقعی هستند.

2-3 تعامل بین رایانش ابری و لبه ای

تعامل بین محاسبات ابری و لبه ای، راه حل های محاسباتی مدرن را شکل می دهد. در زیر خلاصه ای از نکات کلیدی در رابطه با رابطه آنها آورده شده است:

- نقش های مکمل: محاسبات لبه با پردازش داده ها نزدیک تر به منبع، وظایف حساس به تأخیر را برطرف می کند، در حالی که رایانش ابری مقیاس پذیری متمرکزی را برای پردازش و ذخیره سازی داده در مقیاس بزرگ فراهم می کند.
 - معماری ترکیبی: سازمان ها به طور فزاینده ای معماری های ترکیبی را به کار می گیرند که در آن محاسبات لبه تجزیه و تحلیل بلادرنگ را انجام می دهد و رایانش ابری پردازش عمیق تری با منابع فشرده تر انجام می دهد.
 - بهینه سازی جریان داده: محاسبات لبه ای با پیش پردازش داده ها به صورت محلی، قبل از انتقال تنها اطلاعات ضروری به ابر، استفاده از پهنای باند را کاهش می دهد، ترافیک شبکه و هزینه های ذخیره سازی را بهینه می کند.
 - پشتیبانی از برنامه های در حال ظهور: ادغام محاسبات لبه با هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، تصمیم گیری در لحظه و تجزیه و تحلیل پیشرفته داده را امکان پذیر می کند، که توسط آموزش مبتنی بر ابر مدل های یادگیری ماشین پشتیبانی می شود.
 - چالش های یکپارچه سازی: ارتباط یکپارچه بین سیستم های لبه ای و ابری نیازمند چارچوب های استاندارد، پروتکل های امنیتی قوی و ابزارهای هماهنگ سازی کارآمد است.
- به طور خلاصه، تعامل بین لبه و رایانش ابری رویکردی جامع تر برای محاسبات ارائه می کند که از نقاط قوت هر دو پارادایم استفاده می کند. با ادغام محاسبات لبه و ابری، سازمان ها می توانند زیرساخت محاسباتی کارآمدتر، پاسخگوتر و مقیاس پذیرتر ایجاد کنند که می تواند نیازهای متنوع برنامه ها و خدمات مدرن را بهتر برآورده کند.

4- چشم اندازهای صنعت در محاسبات لبه ای و ابری

1-4 کاربرد ها در صنایع مختلف

محاسبات لبه ای و ابری شاهد کاربرد گسترده در صنایع مختلف بوده است که هر یک از این فناوری ها برای رفع چالش های خاص و باز کردن فرصت های جدید استفاده می شوند. در مراقبت های بهداشتی ، محاسبات لبه ای با نظارت و تجزیه و تحلیل داده ها از دستگاه های پوشیدنی و تجهیزات پزشکی با قابلیت اینترنت اشیا ، مراقبت از بیماران را متحول می کند. این امر به ارائه دهندگان مراقبت های بهداشتی اجازه می دهد تا با تکیه بر زیرساخت های ابری برای ذخیره طولانی مدت و تجزیه و تحلیل پیشرفته ، تصمیمات سریع تری بگیرند و نتایج را بهبود بخشند. به طور مشابه ، در بخش تولید ، محاسبات لبه ای با پردازش داده های دستگاه به صورت محلی ، کاهش خرابی و افزایش کارایی ، از تعمیر و نگهداری پیش بینی و اتوماسیون عملیاتی پشتیبانی می کند. ابر با ارائه مقیاس پذیری برای جمع آوری و تجزیه و تحلیل گسترده تر داده ها، این تلاش ها را تکمیل می کند.

در صنایع حمل و نقل و خودرو ، محاسبات ابری برای برنامه هایی مانند وسایل نقلیه خودمختار و سیستم های مدیریت ترافیک هوشمند بسیار مهم است. این سیستم ها برای تصمیم گیری های فوری ، مانند جلوگیری از برخورد ، به پردازش داده های محلی متکی هستند ، در حالی که سیستم عامل های ابری وظایف در مقیاس بزرگتر مانند بهینه سازی مسیر و تجزیه و تحلیل داده های تاریخی را انجام می دهند. مشاغل خرده فروشی همچنین از ادغام ابر-لبه ، با استفاده از محاسبات لبه ای برای تجربیات مشتری از طریق توصیه های در لحظه و محاسبات ابری برای مدیریت داده های موجودی و زنجیره تأمین بهره مند می شوند. در صنایع ، تعامل بین لبه و محاسبات ابری به سنگ بنای تحول دیجیتال تبدیل می شود.

2-4 روندهای نوظهور و چالش های صنعت

از آنجا که صنایع محاسبات لبه ای و ابری را اتخاذ می کنند ، چندین روند و چالش در حال شکل گیری استراتژی های خود هستند. یک روند مهم تأکید روزافزون بر مدل های ترکیبی است که در آن مشاغل، محاسبات لبه ای را برای عملیات حساس به تأخیر در ضمن استفاده از ابر برای مقیاس پذیری و تجزیه و تحلیل عمیق تر به کار می گیرند. این مدل به سازمان ها اجازه می دهد تا نیازهای خود را با هزینه متعادل کنند. علاوه بر این ، افزایش 5G با فراهم کردن انتقال سریعتر

و قابل اطمینان تر داده ها ، به ویژه در کاربردهایی مانند شهرهای هوشمند و دستگاه های متصل ، پذیرش محاسبات لبه ای را تسریع می کند.

با وجود فرصت ها ، صنایع در اجرای موثر راه حل های ابر-لبه با چالش هایی روبرو هستند. امنیت داده ها و حریم خصوصی همچنان نگرانی هایی مهم باقی مانده اند ، زیرا اطلاعات حساس در مکان های لبه پردازش می شوند و به ابر منتقل می شوند. اطمینان از رمزگذاری قوی و رعایت مقررات مانند GDPR بسیار مهم است. علاوه بر این ، مدیریت پیچیدگی ادغام لبه و ابر به ابزارهای پیشرفته هماهنگ سازی و پرسنل ماهر برای اجرای کارآمد نیاز دارد. صنایع همچنین برای اطمینان از قابلیت همکاری در سیستم عامل های مختلف لبه و ابری ، نیاز به چارچوب های استاندارد را دنبال می کنند. پرداختن به این چالش ها برای استفاده از پتانسیل کامل محاسبات لبه ای و ابری در بخش های مختلف ضروری است.

5- آینده محاسبات لبه ای و ابری

5-1 رشد معماری های ابر-لبه^{۱۳}

آینده محاسبات با ادامه تکامل و اتخاذ معماری های ترکیبی تعریف می شود که محاسبات لبه ای و محاسبات ابری را ادغام می کنند. از آنجا که صنایع به طور فزاینده ای نیاز به قابلیت پردازش در لحظه و ذخیره داده های مقیاس پذیر دارند ، مدل های ترکیبی رایج می شوند. محاسبات لبه ای نقش برجسته تری در رسیدگی به برنامه های حساس به تأخیر ، مانند وسایل نقلیه خودران ، اتوماسیون صنعتی و شهرهای هوشمند ، که تصمیم گیری فوری بسیار مهم است ، به عهده خواهد گرفت. در همین حال ، سیستم عامل های ابری به عنوان قطب های مرکزی برای جمع آوری داده ها ، تجزیه و تحلیل در مقیاس بزرگ و ذخیره طولانی مدت به کار گرفته می شوند.

علاوه بر مدل های ترکیبی ، استراتژی های چند ابر^{۱۴} (که در آن سازمان ها از چندین ارائه دهنده ابر به طور همزمان استفاده می کنند) گسترش می یابد. این رویکرد به سازمان ها اجازه می دهد تا از معطل شدن مشتریان جلوگیری و افزایش قابلیت اطمینان و دسترسی به خدمات تخصصی از ارائه دهندگان مختلف را فراهم کنند. همراه با محاسبات لبه ای ، استراتژی های چند ابر، اکوسیستم های محاسباتی انعطاف پذیر را تشکیل می دهند که می توانند نیازهای متنوع برنامه های مدرن را برطرف کنند.

2-5 استفاده از هوش مصنوعی در محاسبات لبه ای

هوش مصنوعی در آینده محاسبات لبه ای و ابری نقشی مهم ایفا می کند. با رشد Edge AI (جایی که الگوریتم های هوش مصنوعی مستقیماً در دستگاه های لبه ای مستقر می شوند) امکان تصمیم گیری های پیچیده در لحظه فراهم می شود. این امر باعث می شود صنایعی مانند مراقبت های بهداشتی ، خودرو و امور مالی برای پردازش داده ها به صورت محلی و انجام اقدامات فوری بدون تکیه به اتصال ابری انجام شود. به عنوان مثال ، در وسایل نقلیه خودران ، Edge AI قابلیت تشخیص و ناوبری را تقویت می کند.

محاسبات ابری با خدمت به عنوان یک محیط آموزش برای مدل های یادگیری ماشین ، از سیستم های هوش مصنوعی پشتیبانی می کند. منابع محاسباتی گسترده و قابلیت ذخیره سازی ابر به سازمان ها امکان می دهد الگوریتم های پیچیده هوش مصنوعی را قبل از استقرار آنها در لبه بسازند. با پیشرفت این هم افزایی ، ما می توانیم انتظار داشته باشیم که دستگاه های لبه هوش مصنوعی باهوش تر و خودمختار تر شوند و نیاز به برقراری ارتباط مداوم با سرورهای ابری را کاهش می دهند. این عدم تمرکز اطلاعات ، راه را برای سیستم های محاسباتی مقاوم تر و کارآمد هموار می کند.

3-5 ادغام با فناوری های نوظهور

هم‌افزایی محاسبات لبه ای و ابری با فن آوری های نوظهور مانند 5G، بلاکچین و محاسبات کوانتومی امکان تحول دیجیتال تقویت می کند. وجود شبکه های 5G با ارائه سرعت انتقال سریع داده ، تأخیر کمتر و بهبود قابلیت اطمینان ، عملکرد محاسبات لبه ای را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد. این کار دستگاه های لبه را قادر می سازد ضمن حفظ اتصال یکپارچه با ابر ، حجم بیشتری از داده ها را به صورت محلی پردازش کنند. برنامه های کاربردی مانند واقعیت افزوده ، واقعیت مجازی و اینترنت اشیا از این پیشرفت ها بسیار بهره مند می شوند و راه استفاده در سرگرمی ، آموزش و خانه های هوشمند را باز می کنند.

همچنین انتظار می رود که فناوری بلاکچین نقش مهمی در تأمین اکوسیستم های ابر-لبه داشته باشد. بلاکچین با فراهم کردن امکان مدیریت داده های غیر متمرکز و غیر قابل تغییر، نگرانی های مربوط به امنیت و یکپارچگی داده ها ، به ویژه در صنایعی مانند امور مالی و مراقبت های بهداشتی را برطرف می کند. محاسبات کوانتومی ، در حالی که هنوز در مراحل نوظهور خود است ، با ارائه قدرت محاسباتی بی نظیر برای کارهایی مانند تجزیه و تحلیل رمزنگاری ، شبیه سازی های پیچیده و آموزش مدل های هوش مصنوعی می تواند محاسبات ابری را متحول کند. هرچه محاسبات کوانتومی در دسترس تر شود ، ادغام آن با محاسبات لبه ای مرزهای جدیدی را برای حل مشکلاتی که قبلاً غیرقابل حل تلقی می شد ، باز می کند.

4-5 چالش ها و نوآوری های لازم

در حالی که آینده محاسبات لبه ای و ابری امیدوار کننده به نظر می رسد ، برای استفاده از تمام پتانسیل های آن باید به چالش های مختلفی پرداخته شود. یکی از نگرانی های اصلی عدم وجود چارچوب های استاندارد برای ادغام ابر-لبه است. همانطور که سازمان ها مدل های ترکیبی را اتخاذ می کنند ، قابلیت همکاری بین دستگاه های لبه و سیستم عامل های ابری بسیار مهم خواهد بود. توسعه استانداردها و پروتکل های گسترده صنعت برای اطمینان از ارتباطات و هماهنگی یکپارچه در سیستم های متنوع ضروری خواهد بود.

یکی دیگر از چالش ها، در مدیریت پیچیدگی رو به رشد اکوسیستم های ابر-لبه نهفته است. با افزایش تعداد دستگاه ها و برنامه های متصل ، سازمان ها به ابزارهای هماهنگ سازی پیشرفته ای که توسط هوش مصنوعی و یادگیری ماشین تأمین می شوند برای خودکارسازی تخصیص منابع ، مسیریابی داده ها و توزیع بار کاری نیاز دارند. نوآوری در امنیت نیز حیاتی خواهد بود ، زیرا محاسبات لبه ای امکان وقوع حمله های سایبری را افزایش می دهد. روشهای رمزگذاری پیشرفته و سیستم های تشخیص تهدید هوش مصنوعی نقش مهمی در حفظ داده های حساس در محیط های لبه و ابری دارند.

6- پیامدها روی صنعت و تحقیقات

1-6 پیامدها برای صنعت

ادغام محاسبات لبه ای و رایانش ابری با فراهم کردن عملیات سریع تر، هوشمندانه تر و کارآمدتر، شکل صنایع را تغییر می دهد. برای کسب و کارها، این هم افزایی فرصت هایی را برای بهینه سازی فرآیندها، کاهش تأخیر و ارائه خدمات بلادرنگ به مشتریان فراهم می کند. برای مثال، صنایعی مانند مراقبت های بهداشتی، تولید و حمل و نقل می توانند از محاسبات لبه ای برای انجام وظایف حیاتی به صورت محلی استفاده کنند، در حالی که برای مقیاس پذیری و تجزیه و تحلیل به زیرساخت های ابری تکیه می کنند. این تغییر به سازمان ها اجازه می دهد تا با پردازش داده ها نزدیک تر به منبع آن و تنها انتقال اطلاعات ضروری به ابر، هزینه های پهنای باند را کاهش دهند.

با این حال، پذیرش فناوری های لبه ای و ابری چالش هایی را به وجود می آورد که صنایع باید به آن رسیدگی کنند. نگرانی های امنیتی و حفظ حریم خصوصی از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا غیرمتمرکز کردن داده ها آسیب پذیری در برابر حملات سایبری را افزایش می دهد. سازمان ها باید روی رمزگذاری قوی، معماری های بدون اعتماد^{۱۵} و ابزارهای امنیتی مبتنی بر هوش مصنوعی سرمایه گذاری کنند تا از اطلاعات حساس محافظت کنند. علاوه بر این، نیاز به پرسنل ماهر برای مدیریت سیستم های ابری پیچیده در حال افزایش است و شکاف در قابلیت های نیروی کار را برجسته می کند. صنایع باید برنامه های آموزشی و توسعه را در اولویت قرار دهند تا تیم های خود را برای نیازهای فنی ادغام ابر-لبه آماده

کنند. به علاوه، کسب و کارها باید چارچوب‌های نظارتی را برای اطمینان از انطباق با قوانین حاکمیت داده، به‌ویژه در بخش‌هایی مانند مالی و مراقبت‌های بهداشتی که در آن حساسیت داده‌ها حیاتی است، دنبال کنند.

2-6 پیامدها برای تحقیق

پذیرش رو به رشد محاسبات لبه ای و رایانش ابری فرصت‌های بکری را برای تحقیق در حوزه‌های مختلف ارائه می‌دهد. محققان به طور فزاینده‌ای بر روی بهینه‌سازی سیستم‌های ابر-لبه برای عملکرد، مقیاس‌پذیری و امنیت تمرکز می‌کنند. یکی از حوزه‌های مورد علاقه، توسعه ابزارهای هماهنگ‌سازی^{۱۶} پیشرفته است که می‌توانند به‌طور هوشمند بار کاری بین دستگاه‌های لبه ای و پلتفرم‌های ابری را مدیریت کنند. هدف این ابزارها خودکارسازی تخصیص منابع، مسیریابی داده‌ها و مدیریت خطا، به حداقل رساندن مداخله انسانی در عین به حداکثر رساندن کارایی است. علاوه بر این، مطالعه الگوریتم‌های جدید یادگیری ماشین برای هوش مصنوعی لبه ای در حال افزایش است، زیرا محققان راه‌هایی را برای استقرار مدل‌های هوش مصنوعی سبک وزن و کم مصرف در دستگاه‌های لبه برای افزایش تصمیم‌گیری محلی بررسی می‌کنند.

چالش‌های امنیتی و حریم خصوصی یکی دیگر از تمرکزهای اصلی برای تحقیق است. با غیرمتمرکز شدن داده‌ها، نیاز فوری به توسعه روش‌های رمزگذاری جدید و پروتکل‌های ارتباطی ایمن برای اکوسیستم‌های ابر-لبه وجود دارد. فناوری بلاک چین به عنوان یک راه حل بالقوه برای اطمینان از یکپارچگی و شفافیت داده‌ها در سیستم‌های توزیع شده بررسی می‌شود. علاوه بر این، محققان در حال بررسی راه‌هایی برای کاهش مصرف انرژی دستگاه‌های لبه هستند که برای پایداری در سیستم‌های اینترنت اشیا حیاتی است. ادغام فناوری‌های نوظهور مانند محاسبات کوانتومی و 5G با محاسبات لبه ای و ابری نیز زمینه مناسبی را برای تحقیق فراهم می‌کند. از آنجایی که صنایع نیازمند راه حل‌های نوآورانه برای پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی پیچیده هستند، تحقیقات دانشگاهی و صنعتی نقشی اساسی در شکل دادن به آینده محاسبات لبه ای و ابری ایفا خواهند کرد.

7- نتیجه گیری

هم افزایی محاسبات لبه ای و محاسبات ابری نشان‌دهنده تغییری دگرگون‌کننده در روش پردازش، ذخیره و استفاده از داده‌ها است و صنایع را قادر می‌سازد تا تقاضای رو به رشد برای برنامه‌های کاربردی بلادرنگ و راه‌حل‌های مقیاس‌پذیر را برطرف کنند. در حالی که محاسبات ابری سنتی مدت‌هاست که ستون فقرات تحول دیجیتال بوده است، ظهور محاسبات لبه ای با پردازش داده‌ها نزدیک‌تر به منبع آن، بعد جدیدی از کارایی را معرفی کرده است. این فناوری‌ها با هم یک مدل ترکیبی ایجاد می‌کنند که پاسخگویی با تأخیر کم را با مقیاس‌پذیری و قدرت محاسباتی ابر متعادل می‌کند و راه را برای سیستم‌های هوشمندتر و مرتبط‌تر هموار می‌کند.

پیشرفت‌های اخیر، از جمله ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی، 5G و کانتینر سازی، هم‌افزایی بین محاسبات لبه و ابری را بیشتر تقویت کرده است. این پیشرفت‌ها صنایع را قادر می‌سازد تا فرصت‌های جدیدی را باز کنند، از وسایل نقلیه خودران و تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌شده تا مراقبت‌های بهداشتی شخصی سازی شده. با این حال، پذیرش سیستم‌های ابر-لبه با چالش‌هایی مانند ریسک‌های امنیتی، شکاف‌های استاندارد سازی و نیاز به پرسنل ماهر همراه است که باید برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل آنها مورد توجه قرار گیرد.

با نگاهی به آینده، آینده محاسبات لبه ای و ابری روشن است. با معماری‌های ترکیبی، فناوری‌های نوظهور و ابزارهای هماهنگ سازی هوشمند که باعث نوآوری می‌شوند، صنایع و محققان باید با تمرکز بر بهینه سازی عملکرد، تضمین امنیت و ایجاد راه حل‌های پایدار به همکاری خود ادامه دهند. با پرداختن به این چالش‌ها، محاسبات لبه ای و ابری به ستون‌های ضروری فناوری مدرن تبدیل می‌شوند، صنایع را متحول می‌کنند و تعاملات انسانی با داده‌ها و دستگاه‌ها را تغییر می‌دهند.