在 Apache Iceberg 上使用 AWS

AWS 规范性指导

AWS 规范性指导: 在 Apache Iceberg 上使用 AWS

Table of Contents

在 Apache Iceberg 上使用 AWS

亚马逊 Web Services（贡献者）

2025 年 11 月（文件历史记录）

Apache Iceberg 是一种开源表格格式，可在提高性能的同时简化表管理。 AWS 亚马逊 EMR AWS Glue、Amazon Athena 和 Amazon Redshift 等分析服务包括对 Iceberg 的原生支持，因此您可以在亚马逊简单存储服务 (Amazon S3) 之上轻松构建交易数据湖。 AWS

此外，下一代 Amazon 建立 SageMaker 在开放的湖库架构之上，该架构统一了数据湖、 AWS 数据仓库以及第三方和联合来源的数据访问。Lakehouse 与 Iceberg 完全兼容，让您可以灵活地使用 Iceberg REST API 访问和查询现有数据。

本技术指南提供了有关如何开始使用Iceberg的指导 AWS 服务，并包括在优化成本和性能的 AWS 同时大规模运行Iceberg的最佳实践和建议。

无论你是刚开始使用 Iceberg 还是想要优化现有 Iceberg 工作负载的经验丰富的用户 AWS，本指南都能为项目的每个阶段提供宝贵的见解

在本指南中：

现代数据湖

现代数据湖中的高级用例

数据存储的演变已从数据库发展到数据仓库和数据湖，每种技术都能满足独特的业务和数据需求。传统数据库擅长处理结构化数据和事务性工作负载，但随着数据量的增加，它们面临着性能挑战。数据仓库的出现是为了解决性能和可扩展性问题，但与数据库一样，它们依赖垂直集成系统中的专有格式。

就成本、可扩展性和灵活性而言，数据湖是存储数据的最佳选择之一。您可以使用数据湖以低成本保留大量结构化和非结构化数据，并将这些数据用于不同类型的分析工作负载，从商业智能报告到大数据处理、实时分析、机器学习和生成式人工智能 (AI)，以帮助指导更好的决策。

尽管有这些好处，但最初设计的数据湖并不是具有类似数据库的功能。数据湖不支持原子性、一致性、隔离性和耐久性 (ACID) 处理语义，您可能需要这些语义才能使用多种不同的技术在成百上千的用户中有效地优化和管理数据。数据湖不为以下功能提供原生支持：

- 随着业务中数据的变化，执行高效的记录级别更新和删除
- 在表增长到数百万个文件和数十万个分区时管理查询性能
- 确保多个并发写入器和读取器之间的数据一致性
- 防止写入操作在操作中途失败时数据损坏
- 在没有（部分）重写数据集的情况下，随着时间的推移不断演变表架构

这些挑战在处理变更数据捕获 (CDC) 等用例中变得特别普遍，或者与隐私、数据删除和流数据摄取相关的用例，这可能会导致表格不理想。

使用传统 Hive 格式表的数据湖仅支持对整个文件的写入操作。这使得更新和删除难以实现、耗时且成本高昂。此外，还需要在符合 ACID 的系统中提供并发控制和保证，以确保数据的完整性和一致性。

这些挑战给用户带来了两难境地：在完全集成但专有的平台之间做出选择，或者选择供应商中立但资源密集型的自建数据湖，需要持续的维护和迁移才能实现其潜在价值。

为了帮助克服这些挑战，Iceberg 提供了其他类似数据库的功能，简化了数据湖的优化和管理开销，同时仍支持在 Amazon S3 等经济实惠的系统上进行存储。

Apache Iceberg 简介

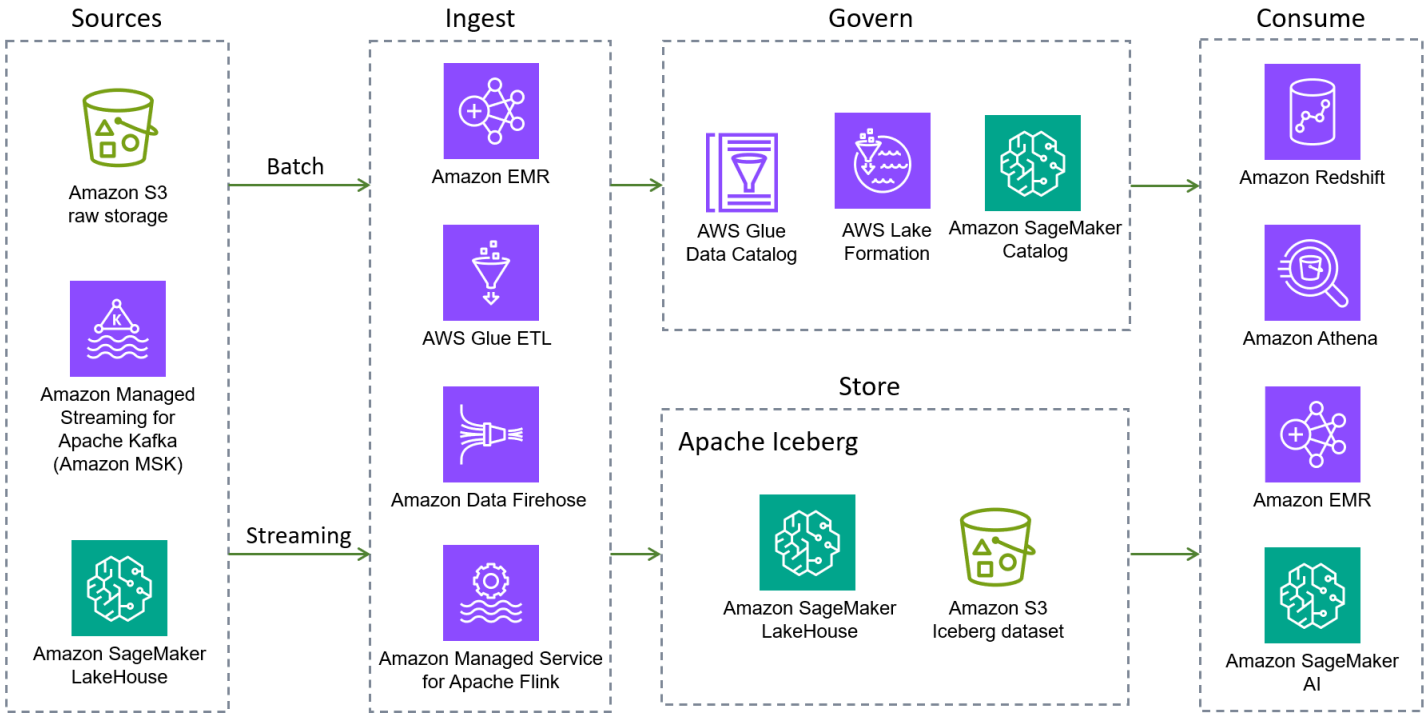
Apache Iceberg 是一种开源表格式，它在数据湖表中提供以前只能在数据库或数据仓库中使用的功能。它专为扩展和性能而设计，非常适合管理超过数百 GB 的表。Iceberg 桌子的一些主要特点是：

- 删除、更新和合并。Iceberg 支持用于数据仓库的标准 SQL 命令，用于数据湖表。
- 快速扫描计划和高级筛选。Iceberg 存储诸如分区和列级统计数据之类的元数据，引擎可以使用这些元数据来加快规划和运行查询的速度。
- 完整的架构演变。Iceberg 支持添加、删除、更新或重命名列，而不会产生副作用。
- 分区的演变。随着数据量或查询模式的变化，您可以更新表的分区布局。Iceberg 支持更改对表进行分区的列，也支持在复合分区中添加列或从复合分区中删除列。
- 隐藏分区。此功能可防止自动读取不必要的分区。这样用户就不必了解表的分区细节或在查询中添加额外的过滤器。
- 版本回滚。用户可以通过恢复到交易前状态来快速纠正问题。
- 时空旅行。用户可以查询表的特定先前版本。
- 可序列化的隔离。表更改是原子性的，因此读者永远不会看到部分或未提交的更改。
- 并发作家。Iceberg 使用乐观并发来允许多笔交易成功。如果发生冲突，其中一位作者必须重试交易。
- 打开文件格式。Iceberg 支持多种开源文件格式，包括 Apache Par quet、ApacheAvro 和 Apache ORC。

总而言之，使用 Iceberg 格式的数据湖受益于事务一致性、速度、规模和架构演变。有关这些功能和其他 Iceberg 功能的更多信息，请参阅 Apache Iceb erg 文档。

AWS 支持 Apache Iceberg

Apache Iceberg 由亚马逊 EMR AWS 服务 、亚马逊 Athena、亚马逊Red shift 和亚马逊等提供支持。AWS Glue SageMaker下图描绘了基于 Iceberg 的数据湖的简化参考架构。



以下内容 AWS 服务 提供原生 Iceberg 集成。还有一些 AWS 服务 可以与Iceberg进行间接交互或通过打包Iceberg库进行交互。

- Amazon S3 凭借其持久性、可用性、可扩展性、安全性、合规性和审计能力，是构建数据湖的最佳场所。Iceberg 的设计和构建旨在与亚马逊 S3 无缝交互，并为 Iceberg 文档中列出的许多 Amazon S3 功能提供支持。此外，Amazon S3 Table s 还提供了第一个具有内置 Iceberg 支持的云对象存储，并简化了大规模表格数据的存储。借助对 Iceberg 的 S3 Tables 支持，您可以使用流行 AWS 的第三方查询引擎轻松查询表格数据。
- 下一代基于开放的 SageMaker湖库架构，该架构统一了 Amazon S3 数据湖、Amazon Redshift 数据仓库以及第三方和联合数据源之间的数据访问。这些功能可帮助您在单个数据副本上构建强大的分析和 AI/ML 应用程序。湖屋与 Iceberg 完全兼容，因此您可以使用 Iceberg REST API 灵活地访问和查询现有数据。
- Amazon EMR 是一款大数据解决方案，使用 Apache Spark、Flink、Trino 和 Hive 等开源框架，用于千兆字节规模的数据处理、交互式分析和机器学习。亚马逊 EMR 可以在自定义的亚马逊弹性计算云 (亚马逊 EC2) 集群、亚马逊弹性 Kubernetes Service (Amazon EKS) AWS Outposts或亚马逊 EMR Serverless 上运行。
- Amazon Athena 是一项建立在开源框架之上的无服务器交互式分析服务。它支持开放表和文件格式，并提供了一种简化、灵活的方式来分析存放的 PB 级数据。Athena 为 Iceberg 的读取、时空旅行、写入和 DDL 查询提供原生支持，并将其用 AWS Glue Data Catalog 于 Iceberg 元数据库。

- Amazon Redshift 是一个 PB 级的云数据仓库，支持基于集群和无服务器的部署选项。Amazon Redshift Spectrum 可以查询注册并存储 AWS Glue Data Catalog 在亚马逊 S3 上的外部表。Redshift Spectrum 还支持 Iceberg 存储格式。
- AWS Glue是一项无服务器数据集成服务，可以更轻松地发现、准备、移动和集成来自多个来源的数据，用于分析、机器学习 (ML) 和应用程序开发。它与 Iceberg 完全集成。具体而言，您可以使用 AWS Glue 作业对 Iceberg 表执行读写操作，通过 AWS Glue Data Catalog（与 Hive 元存储兼容）管理表，使用 AWS Glue 爬虫自动发现和注册表，以及通过数据质量功能评估 Iceberg 表中的数据质量。 AWS Glue AWS Glue Data Catalog 还支持收集列统计信息、计算和更新 Iceberg 表中每列的不同值的数量 (NDVs)，以及自动表优化（压缩、快照保留、孤立文件删除）。 AWS Glue 还支持将第三方应用程序列表中的零 ETL 集成到 Iceb AWS 服务 erg 表中。
- Amazon Data Firehose 是一项完全托管的服务，用于向亚马逊 S3、亚马逊 Redshift、亚马逊服务、亚马逊无服务器、Splunk、 OpenSearch Apache Iceberg 表以及支持的第三方服务提供商拥有的任何自定义 HTTP 或 HTTP 终端节点（包括 Datadog、Dynatrace、MongoDB、New R LogicMonitor elic、Coralogix 和 Elastic）等目的地提供实时流数据。 OpenSearch 使用 Firehose，您无需编写应用程序或管理资源。您可以配置数据生成工具向 Firehose 发送数据，然后 Firehose 会将数据自动传输到您指定的目标。还可以配置 Firehose 在传输数据之前转换数据。
- 适用于 Apache Flink 的亚马逊托管服务 Flink 是一项完全托管的亚马逊服务，允许您使用 Apache Flink 应用程序来处理流数据。它支持读取和写入 Iceberg 表，并支持实时数据处理和分析。
- Amazon SageMaker AI 支持使用 Iceberg 格式在亚马逊 SageMaker AI 功能商店中存储功能集。
- AWS Lake Formation提供粗略而精细的访问控制权限来访问数据，包括 Athena 或 Amazon Redshift 使用的 Iceberg 表。要详细了解对 Iceberg 表的权限支持，请参阅 Lake Formation 文档。

AWS 提供多种支持 Iceberg 的服务，但涵盖所有这些服务超出了本指南的范围。以下各节介绍了 Amazon EMR 和 Athena SQL 上的 Spark（批量和 AWS Glue结构化直播）。以下部分简要介绍了 Athena SQL 中对 Iceberg 的支持。

开始使用 Amazon Athena SQL 中的 Iceberg 表

亚马逊 Athena 为 Iceberg 提供内置支持。除了设置 Athena 文档入门部分中详述的服务先决条件外，您无需任何其他步骤或配置即可使用 Iceberg。本节简要介绍如何在 Athena 中创建表格。有关更多信息，请参阅本指南后面的使用 Athena SQL 处理 Iceberg 表。

您可以使用不同的引擎在上 AWS 创建 Iceberg 表。这些表格可以无缝协作 AWS 服务。要使用 Athena SQL 创建你的第一个 Iceberg 表，你可以使用以下样板代码。

```
CREATE TABLE <table_name> (
    col_1 string,
    col_2 string,
    col_3 bigint,
    col_ts timestamp)
PARTITIONED BY (col_1, <<<partition_transform>>>(col_ts))
LOCATION 's3://<bucket>/<folder>/<table_name>/'
TBLPROPERTIES (
    'table_type' ='ICEBERG'
)
```

以下各节提供了在 Athena 中创建分区和未分区的 Iceberg 表的示例。有关更多信息，请参阅 At hena 文档中详细介绍的 Iceberg 语法。

创建未分区的表

以下示例语句自定义样板 SQL 代码，以在 Athena 中创建未分区的 Iceberg 表。您可以将此语句添加到 Athena 控制台的查询编辑器中以创建表。

```
CREATE TABLE athena_iceberg_table (
    color string,
    date string,
    name string,
    price bigint,
    product string,
    ts timestamp)
LOCATION 's3://DOC_EXAMPLE_BUCKET/ice_warehouse/iceberg_db/athena_iceberg_table/'
TBLPROPERTIES (
    'table_type' ='ICEBERG'
)
```

有关使用查询编辑器的 step-by-step说明，请参阅 Athena 文档中的入门。

创建分区表

以下语句使用 Iceberg 的隐藏分区概念根据日期创建分区表。它使用day()转换从时间戳列中派生出每日分区（使用dd-mm-yyyy格式）。Iceberg 不会将此值存储为数据集中的新列。相反，该值是在您写入或查询数据时即时派生的。

```
CREATE TABLE athena_iceberg_table_partitioned (
    color string,
    date string,
    name string,
    price bigint,
    product string,
    ts timestamp)
PARTITIONED BY (day(ts))
LOCATION 's3://DOC_EXAMPLE_BUCKET/ice_warehouse/iceberg_db/athena_iceberg_table/'
TBLPROPERTIES (
    'table_type' ='ICEBERG'
)
```

使用单个 CTAS 语句创建表并加载数据

在前几节的分区和未分区示例中，Iceberg 表创建为空表。您可以使用INSERT 或MERGE语句将数据加载到表中。或者，您可以使用CREATE TABLE AS SELECT (CTAS)语句在单个步骤中创建数据并将其加载到 Iceberg 表中。

CTAS 是 Athena 中创建表并在单个语句中加载数据的最佳方式。以下示例说明如何使用 CTAS 从 Athena 中的现有表 (iceberg_ctas_table) 创建 Iceberg Hive/Parquet 表 (hive_table)。

```
CREATE TABLE iceberg_ctas_table WITH (
  table_type = 'ICEBERG',
  is_external = false,
  location = 's3://DOC_EXAMPLE_BUCKET/ice_warehouse/iceberg_db/iceberg_ctas_table/'
) AS
SELECT * FROM "iceberg_db"."hive_table" limit 20
---
SELECT * FROM "iceberg_db"."iceberg_ctas_table" limit 20
```

要了解有关 CTAS 的更多信息，请参阅 Athena CTAS 文档。

插入、更新和删除数据

Athena 支持使用UPDATE、MERGE INTO、和 M 语句将数据写入 Iceberg 表INSERT INTO的不同方式。DELETE FRO

> **Note**
>
> Athena SQL 目前不支持这种方法。 copy-on-write UPDATEMERGE INTO、和DELETE FROM操作始终使用位置删除 merge-on-read的方法，无论指定的表属性如何。如果您设置了诸如write.update.mode、和write.delete.mode之类的表属性write.merge.mode，则查询不会失败 copy-on-write，但是 Athena 会忽略这些属性并继续使用。 merge-on-read

以下语句用于INSERT INTO向 Iceberg 表添加数据：

```
INSERT INTO "iceberg_db"."ice_table" VALUES (
    'red', '222022-07-19T03:47:29', 'PersonNew', 178, 'Tuna', now()
)

SELECT * FROM "iceberg_db"."ice_table"
where color = 'red' limit 10;
```

示例输出：

有关更多信息，请参阅 Athena 文档。

查询冰山表

您可以使用 Athena SQL 对您的 Iceberg 表运行常规 SQL 查询，如前面的示例所示。

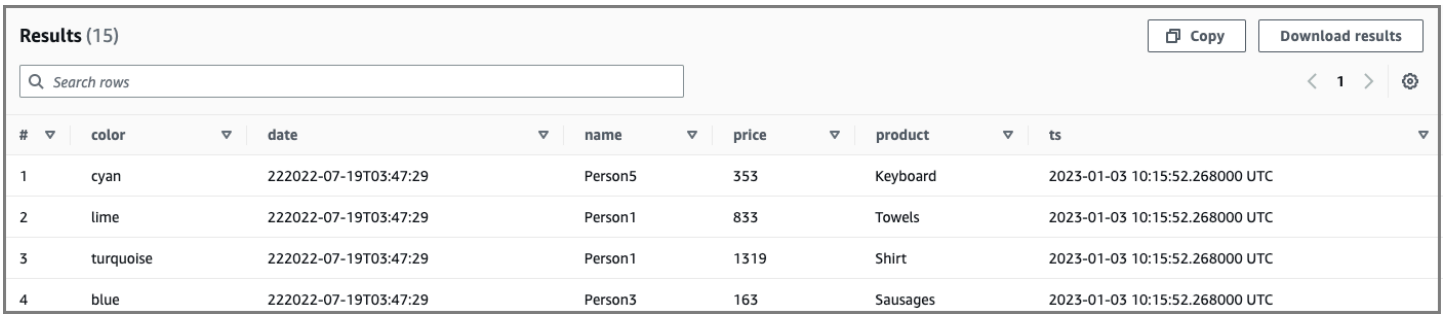
除了通常的查询外，Athena 还支持对 Iceberg 表进行时空旅行查询。如前所述，您可以通过更新或删除 Iceberg 表来更改现有记录，因此可以方便地使用时空旅行查询根据时间戳或快照 ID 回顾表的旧版本。

例如，以下语句更新了的颜色值Person5，然后显示自 2023 年 1 月 4 日起的较早值：

```
UPDATE ice_table SET color='new_color' WHERE name='Person5'

SELECT * FROM "iceberg_db"."ice_table" FOR TIMESTAMP AS OF TIMESTAMP '2023-01-04
 12:00:00 UTC'
```

示例输出：



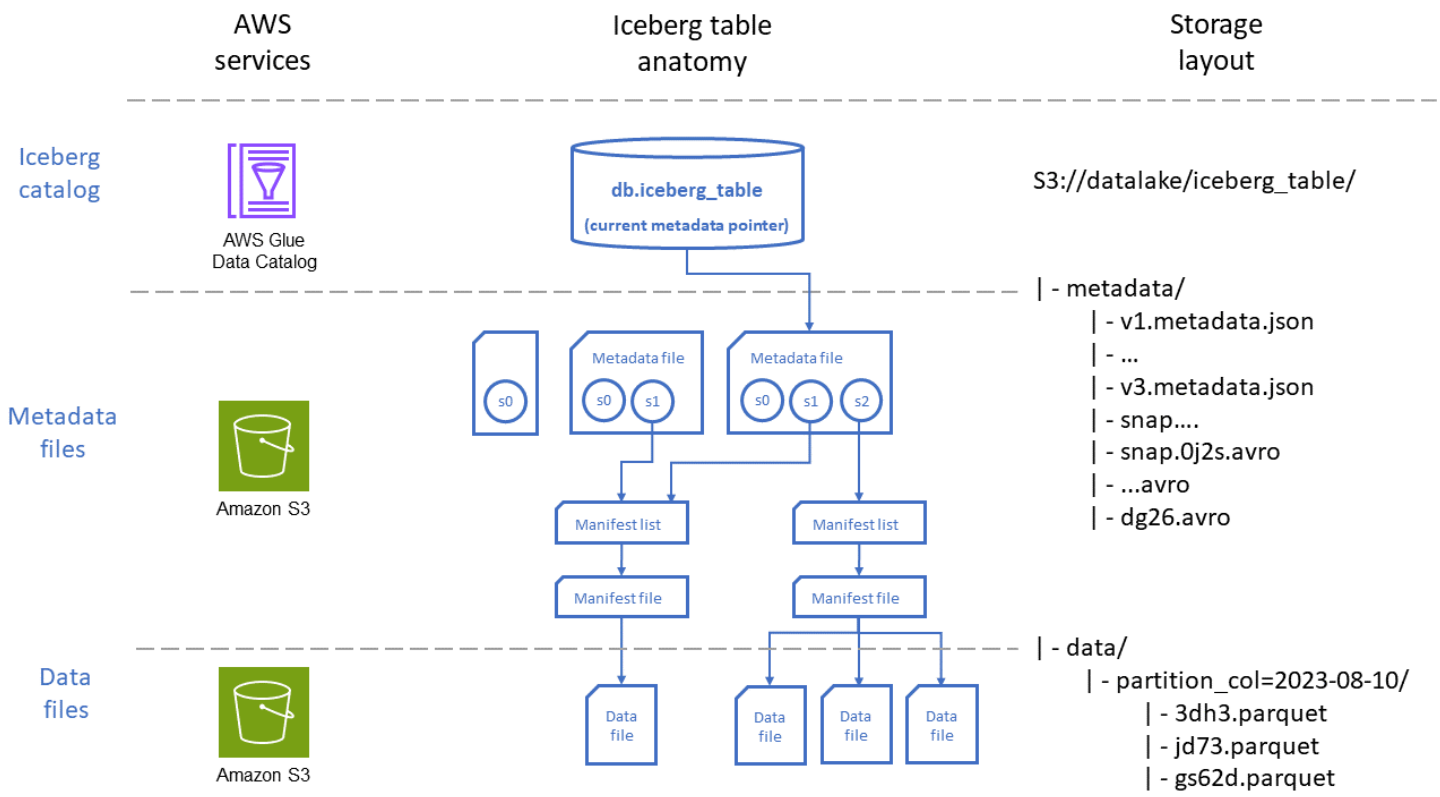
有关时空旅行查询的语法和其他示例，请参阅 Athena 文档。

冰山桌解剖图

现在我们已经介绍了使用 Iceberg 桌子的基本步骤，让我们更深入地了解冰山桌子错综复杂的细节和设计。

为了启用本指南前面描述的功能，Iceberg 设计了数据和元数据文件的分层结构。这些层可以智能地管理元数据，以优化查询计划和执行。

下图通过两个角度描绘了 Iceberg 表的组织结构： AWS 服务 用于存储表的视角和文件在 Amazon S3 中的位置。



如图所示，冰山表由三个主要层组成：

- Iceberg 目录： AWS Glue Data Catalog 与 Iceberg 原生集成，对于大多数用例来说，它是运行的工作负载的最佳选择。 AWS与 Iceberg 表交互的服务（例如 Athena）使用目录来查找表的当前快照版本，以读取或写入数据。
- 元数据层：元数据文件，即清单文件和清单列表文件，用于跟踪表架构、分区策略和数据文件位置等信息，以及列级统计信息，例如存储在每个数据文件中的记录的最小和最大范围。这些元数据文件存储在 Amazon S3 中的表路径中。
  - 清单文件包含每个数据文件的记录，包括其位置、格式、大小、校验和和其他相关信息。
  - 清单列表提供了清单文件的索引。随着表中清单文件数量的增加，将这些信息分成较小的子部分有助于减少查询需要扫描的清单文件数量。
  - 元数据文件包含有关整个 Iceberg 表的信息，包括清单列表、架构、分区元数据、快照文件和其他用于管理表元数据的文件。
- 数据层：该层包含包含查询将针对的数据记录的文件。这些文件可以以不同的格式存储，包括 Apache Par quet、ApacheAvro 和 Apache ORC。
  - 数据文件包含表的数据记录。
  - 删除文件在 I ceberg 表中对行级删除和更新操作进行编码。Iceberg 有两种类型的删除文件，如 Iceberg 文档中所述。这些文件是使用 merge-on-read模式通过操作创建的。

在 Amazon EMR 中使用 Iceberg

Amazon EMR 使用 Apache Spark、Apache Hive、Flink 和 Trino 等开源框架，在云端提供 PB 级的数据处理、交互式分析和机器学习。

> **Note**
>
> 本指南使用 Apache Spark 作为示例。

亚马逊 EMR 支持多种部署选项：开启亚马逊 EMR、EKS 上的亚马逊 EMR、 EC2亚马逊 EMR Serverless 和开启亚马逊 EMR。 AWS Outposts要为您的工作负载选择部署选项，请参阅 Amazon EMR 常见问题解答。

版本和功能兼容性

亚马逊 EMR 版本 6.5.0 及更高版本原生支持 Apache Iceberg。有关每个亚马逊 EMR 版本支持的 Iceberg 版本列表，请参阅亚马逊 EMR 文档中的 Iceberg 版本历史记录。另请查看在 Iceberg 中使用集群下的章节，了解不同框架上的 Amazon EMR 支持哪些 Iceberg 功能。

我们建议您使用最新的 Amazon EMR 版本，以便从支持的最新版本的 Iceberg 中受益。本节中的代码示例和配置假设您使用的是 Amazon EMR 版本 emr-7.8.0。

使用 Iceberg 创建 Amazon EMR 集群

要在安装了 Iceberg 的情况下在亚马逊上创建亚马逊 EC2 EMR 集群，请按照亚马逊 EM R 文档中的说明进行操作。

具体而言，您的集群应按以下分类进行配置：

```
[{
    "Classification": "iceberg-defaults",
    "Properties": {
        "iceberg.enabled": "true"
    }
}]
```

从亚马逊 EMR 6.6.0 开始，您还可以选择在 EKS 上使用 Amazon EMR Serverless 或 Amazon EMR 作为 Iceberg 工作负载的部署选项。

在 Amazon EMR 中开发 Iceberg 应用程序

要为 Iceberg 应用程序开发 Spark 代码，您可以使用亚马逊 EMR Studio，这是一个基于 Web 的集成开发环境 (IDE)，适用于在亚马逊 EMR 集群上运行的完全托管 Jupyter 笔记本电脑。

使用亚马逊 EMR Studio 笔记本电脑

您可以在 Amazon EMR Studio Workspace 笔记本电脑中以交互方式开发 Spark 应用程序，并将这些笔记本电脑连接到集群上的 Amazon EMR EC2 或 EKS 托管终端节点上的 Amazon EMR。有关在 EKS 上为亚马逊 EMR 设置 EMR 和 Amazon EMR 设置 EMR 的说明，请参阅 AWS 服务 文档。 EC2

要在 EMR Studio 中使用 Iceberg，请按照以下步骤操作：

1. 按照使用安装了 Iceberg 的集群中的说明，启动启用了 Iceberg 的 Amazon EMR 集群。
2. 设置 EMR 工作室。有关说明，请参阅设置 Amazon EMR Studio。
3. 打开 EMR Studio Workspace 笔记本并运行以下代码作为笔记本中的第一个单元来配置 Spark 会话以使用 Iceberg：

```
%%configure -f
{
    "conf": {
        "spark.sql.catalog.<catalog_name>": "org.apache.iceberg.spark.SparkCatalog",
        "spark.sql.catalog.<catalog_name>.warehouse": "s3://YOUR-BUCKET-NAME/YOUR-
FOLDER-NAME/",
        "spark.sql.catalog.<catalog_name>.type": "glue",
        "spark.sql.extensions":
 "org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSessionExtensions"
    }
}
```

其中：

- <catalog_name>是你的 Iceberg Spark 会话目录名称。将其替换为您选择的名称，并记得更改与该目录关联的所有配置中的引用。在您的代码中，您可以使用完全限定的表名（包括 Spark 会话目录名称）来引用 Iceberg 表，如下所示：

```
<catalog_name>.<database_name>.<table_name>
```

或者，您可以将默认目录更改为通过设置`spark.sql.defaultCatalog`目录名称来定义的 Iceberg 目录。第二种方法使您可以引用不带目录前缀的表，这可以简化查询。

- `<catalog_name>.warehouse`指向您要存储数据和元数据的 Amazon S3 路径。
- 要使目录成为 AWS Glue Data Catalog，请将设置`spark.sql.catalog.<catalog_name>.type`为`glue`。对于任何自定义目录实现，都需要使用此密钥来指向实现类。本指南后面的 “一般最佳实践” 部分描述了 Iceberg 支持的不同目录。

4. 现在，你可以像开发任何其他 Spark 应用程序一样，开始在笔记本中交互式开发 Iceberg 的 Spark 应用程序。

有关使用亚马逊 EMR Studio 为 Apache Iceberg 配置 Spark 的更多信息，请参阅博客文章 “在亚马逊 EMR 上使用 Apache Iceberg 构建高性能、符合 ACID 且不断演变的数据湖”。

在 Amazon EMR 中运行 Iceberg 职位

为你的 Iceberg 工作负载开发 Spark 应用程序代码后，你可以在任何支持 Iceberg 的 Amazon EMR 部署选项上运行它（参见 A mazon EM R 常见问题解答）。

与其他 Spark 任务一样，您可以通过添加步骤或以交互方式向主节点提交 Spark 任务来向 EC2 集群上的 Amazon EMR 提交工作。要运行 Spark 作业，请参阅以下 Amazon EMR 文档页面：

- 有关向集群上的 Amazon EMR 提交工作的不同选项的概述以及每个选项的详细说明，请参阅向 EC2 集群提交工作。
- 有关 EKS 上的 Amazon EMR，请参阅使用运行 Spark 作业。 StartJobRun
- 有关 EMR Serverless 的信息，请参阅运行作业。

以下各节提供了每个 Amazon EMR 部署选项的示例。

亚马逊 EMR 开启 EC2

您可以使用以下步骤提交 Iceberg Spark 作业：

1. 在您的工作站上创建包含以下内容的文件`emr_step_iceberg.json`：

```
[{
    "Name": "iceberg-test-job",
    "Type": "spark",
    "ActionOnFailure": "CONTINUE",
```

```
    "Args": [
        "--deploy-mode",
        "client",
        "--conf",

  "spark.sql.extensions=org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSessionExtensions",
        "--conf",
        "spark.sql.catalog.<catalog_name>=org.apache.iceberg.spark.SparkCatalog",
        "--conf",
        "spark.sql.catalog.<catalog_name>.type=glue",
        "--conf",
        "spark.sql.catalog.<catalog_name>.warehouse=s3://YOUR-BUCKET-NAME/YOUR-
FOLDER-NAME/",
        "s3://YOUR-BUCKET-NAME/code/iceberg-job.py"
    ]
}]
```

2. 通过自定义以粗体突出显示的 Iceberg 配置选项，修改特定 Spark 作业的配置文件。
3. 使用 AWS Command Line Interface (AWS CLI) 提交步骤。在`emr_step_iceberg.json`文件所在的目录中运行该命令。

```
aws emr add-steps --cluster-id <cluster_id> --steps file://emr_step_iceberg.json
```

Amazon EMR Serverless

要向 EMR Serverless 提交 Iceberg Spark 作业，请使用以下命令： AWS CLI

1. 在您的工作站上创建包含以下内容的文件`emr_serverless_iceberg.json`：

```
{
    "applicationId": "<APPLICATION_ID>",
    "executionRoleArn": "<ROLE_ARN>",
    "name": "iceberg-test-job",
    "jobDriver": {
        "sparkSubmit": {
            "entryPoint": "s3://YOUR-BUCKET-NAME/code/iceberg-job.py",
            "entryPointArguments": []
        }
    },
    "configurationOverrides": {
        "applicationConfiguration": [{
```

```
            "classification": "spark-defaults",
            "properties": {
                "spark.sql.extensions":
 "org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSessionExtensions",
                "spark.sql.catalog.<catalog_name>":
 "org.apache.iceberg.spark.SparkCatalog",
                "spark.sql.catalog.<catalog_name>.type": "glue",
                "spark.sql.catalog.<catalog_name>.warehouse": "s3://YOUR-BUCKET-NAME/
YOUR-FOLDER-NAME/",
                "spark.jars":"/usr/share/aws/iceberg/lib/iceberg-spark3-runtime.jar",

 "spark.hadoop.hive.metastore.client.factory.class":"com.amazonaws.glue.catalog.metastore.AWS
            }
        }],
        "monitoringConfiguration": {
            "s3MonitoringConfiguration": {
                "logUri": "s3://YOUR-BUCKET-NAME/emr-serverless/logs/"
            }
        }
    }
}
```

2. 通过自定义以粗体突出显示的 Iceberg 配置选项，修改特定 Spark 作业的配置文件。
3. 使用提交作业 AWS CLI。在`emr_serverless_iceberg.json`文件所在的目录中运行命令：

```
aws emr-serverless start-job-run --cli-input-json file://emr_serverless_iceberg.json
```

要使用 EMR Studio 控制台向 EMR Serverless 提交 Iceberg Spark 作业，请执行以下操作：

1. 按照 EMR 无服务器文档中的说明进行操作。
2. 要配置 Job，请使用为提供的 Spark 的 Iceberg 配置， AWS CLI 并自定义 Iceberg 的突出显示字段。有关详细说明，请参阅 Amazon EMR 文档中的将 Apache Iceberg 与 EMR Serverles s 配合使用。

Amazon EMR on EKS

要在 EKS 上向 Amazon EMR 提交 Iceberg Spark 作业，请使用以下命令： AWS CLI

1. 在您的工作站上创建包含以下内容的文件`emr_eks_iceberg.json`：

```
{
    "name": "iceberg-test-job",
    "virtualClusterId": "<VIRTUAL_CLUSTER_ID>",
    "executionRoleArn": "<ROLE_ARN>",
    "releaseLabel": "emr-6.9.0-latest",
    "jobDriver": {
        "sparkSubmitJobDriver": {
            "entryPoint": "s3://YOUR-BUCKET-NAME/code/iceberg-job.py",
            "entryPointArguments": [],
            "sparkSubmitParameters": "--jars local:///usr/share/aws/iceberg/lib/
iceberg-spark3-runtime.jar"
        }
    },
    "configurationOverrides": {
        "applicationConfiguration": [{
            "classification": "spark-defaults",
            "properties": {
                "spark.sql.extensions":
 "org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSessionExtensions",
                "spark.sql.catalog.<catalog_name>":
 "org.apache.iceberg.spark.SparkCatalog",
                "spark.sql.catalog.<catalog_name>.type": "glue",
                "spark.sql.catalog.<catalog_name>.warehouse": "s3://YOUR-BUCKET-NAME/
YOUR-FOLDER-NAME/",
                "spark.hadoop.hive.metastore.client.factory.class":
 "com.amazonaws.glue.catalog.metastore.AWSGlueDataCatalogHiveClientFactory"
            }
        }],
        "monitoringConfiguration": {
            "persistentAppUI": "ENABLED",
            "s3MonitoringConfiguration": {
                "logUri": "s3://YOUR-BUCKET-NAME/emr-serverless/logs/"
            }
        }
    }
}
```

2. 通过自定义以粗体突出显示的 Iceberg 配置选项，修改 Spark 作业的配置文件。

3. 使用提交作业 AWS CLI。在`emr_eks_iceberg.json`文件所在的目录中运行以下命令：

```
aws emr-containers start-job-run --cli-input-json file://emr_eks_iceberg.json
```

有关详细说明，请参阅 EKS 上的亚马逊 EMR 文档中的 EKS 上将 Apache Iceberg 与 Amazon EMR 搭配使用。

亚马逊 EMR 的最佳实践

本节提供了在 Amazon EMR 中调整 Spark 作业以优化向 Iceberg 表读取和写入数据的一般指南。有关 Iceberg 特定的最佳实践，请参阅本指南后面的 “最佳实践” 部分。

- 使用最新版本的亚马逊 EMR — 亚马逊 EMR 通过亚马逊 EMR Spark 运行时提供开箱即用的 Spark 优化。 AWS 每个新版本都会提高 Spark 运行时引擎的性能。
- 为您的 Spark 工作负载确定最佳基础架构 — Spark 工作负载可能需要不同类型的硬件来满足不同的作业特征，以确保最佳性能。Amazon EMR 支持多种实例类型（例如计算优化、内存优化、通用型和存储优化），以满足所有类型的处理要求。在载入新工作负载时，我们建议您使用常规实例类型（例如 M5 或 m6g）进行基准测试。监控 CloudWatch 来自 Ganglia 和 Amazon 的操作系统 (OS) 和 YARN 指标，确定峰值负载下的系统瓶颈（CPU、内存、存储和 I/O），然后选择合适的硬件。
- 调整 `spark.sql.shuffle.partitions` — 将该`spark.sql.shuffle.partitions`属性设置为集群中的虚拟内核 (vCore) 总数或该值的倍数（通常为 vCore 总数的 1 到 2 倍）。当您使用哈希和范围分区作为写入分配模式时，此设置会影响 Spark 的并行度。它在写入之前请求洗牌以整理数据，从而确保分区对齐。
- 启用托管扩展-对于几乎所有用例，我们建议您启用托管扩展和动态分配。但是，如果您的工作负载具有可预测的模式，我们建议您禁用自动扩展和动态分配。启用托管扩展后，我们建议您使用竞价型实例来降低成本。将竞价型实例用于任务节点，而不是核心或主节点。当您使用竞价型实例时，请使用每个队列具有多种实例类型的实例队列，以确保竞价型可用性。
- 尽可能使用广播联接 — 广播（地图侧）联接是最佳联接，前提是您的一个表足够小，可以容纳最小节点的内存（按顺序排列 MBs），并且您正在执行 equi (=) 联接。支持除完全外部联接之外的所有联接类型。广播联接将较小的表作为哈希表广播到内存中的所有工作节点。广播小桌子后，您无法对其进行更改。由于哈希表位于本地 Java 虚拟机 (JVM) 中，因此使用哈希联接可以根据联接条件轻松地将其与大型表合并。广播联接可提供高性能，因为随机播放开销最小。
- 调整垃圾收集器 — 如果垃圾收集 (GC) 周期很慢，可以考虑从默认的并行垃圾收集器切换到 G1GC 以获得更好的性能。要优化 GC 性能，可以微调 GC 参数。要跟踪 GC 性能，您可以使用 Spark 用户界面对其进行监控。理想情况下，GC 时间应小于或等于任务总运行时间的 1%。

在 Iceberg 中工作 AWS Glue

AWS Glue是一项无服务器数据集成服务，可以更轻松地发现、准备、移动和集成来自多个来源的数据，用于分析、机器学习 (ML) 和应用程序开发。的核心功能之一 AWS Glue 是它能够以简单且经济实惠的方式执行提取、转换和加载 (ETL) 操作。这有助于对数据进行分类、清理、丰富数据，并在各种数据存储和数据流之间可靠地移动数据。

AWS Glue 作业使用 Apache Spark 或 Pyth on 运行时封装定义转换逻辑的脚本。 AWS Glue 作业既可以在批处理模式下运行，也可以在流式传输模式下运行。

在中创建 Iceberg 作业时 AWS Glue，根据的版本 AWS Glue，您可以使用原生 Iceberg 集成或自定义 Iceberg 版本将 Iceberg 依赖项附加到该作业。

使用原生 Iceberg 集成

AWS Glue 3.0、4.0 和 5.0 版本原生支持事务性数据湖格式，例如 Spark 中的 Apache Iceberg、Apache Hudi 和 Linux Foundation Delta Lake。 AWS Glue 此集成功能简化了开始在中使用这些框架所需的配置步骤 AWS Glue。

要为您的 AWS Glue 作业启用 Iceberg 支持，请设置作业：为您的 AWS Glue 作业选择任务详细信息选项卡，滚动到 “高级属性” 下的 “作业参数”，然后将密钥设置为，其值设置为`iceberg`。`--datalake-formats`

如果您使用笔记本创作作业，则可以使用以下`%%configure`魔术在第一个笔记本单元格中配置参数：

```
%%configure
{
  "--conf" : <job-specific Spark configuration discussed later>,
  "--datalake-formats" : "iceberg"
}
```

`--datalake-formats`中的`iceberg`配置对 AWS Glue 应于基于您的版本的特定 Iceberg AWS Glue 版本：

AWS Glue 版本	默认 Iceberg 版本
5.0	1.7.1

AWS Glue 版本	默认 Iceberg 版本
4.0	1.0.0
3.0	0.13.1

使用自定义 Iceberg 版本

在某些情况下，您可能需要保留对任务的 Iceberg 版本的控制权，并按照自己的节奏对其进行升级。例如，升级到更高版本可以解锁对新功能和性能增强的访问权限。要将特定的 Iceberg 版本与一起使用 AWS Glue，您可以提供自己的 JAR 文件。

在实现自定义 Iceberg 版本之前，请查看 AWS Glue 文档的AWS Glue 版本部分，以验证与您的 AWS Glue 环境的兼容性。例如， AWS Glue 5.0 需要与 Spark 3.5.4 兼容。

例如，要运行使用 Iceberg 版本 1.9.1 的 AWS Glue 作业，请按照以下步骤操作：

1. 获取所需的 JAR 文件并将其上传到亚马逊 S3：
   a. 从 Apache Maven 存储库中下载 iceberg-spark-runtime-3.5_2.12-1.9.1.jar 和-1.9.1.j ar。iceberg-aws-bundle
   b. 将这些文件上传到您指定的 S3 存储桶位置（例如`s3://your-bucket-name/jars/`）。
2. 按如下方式为 AWS Glue 作业设置作业参数：
   a. 在`--extra-jars`参数中指定两个 JAR 文件的完整 S3 路径，用逗号分隔它们（例如，`s3://your-bucket-name/jars/iceberg-spark-runtime-3.5_2.12-1.9.1.jar,s3://your-bucket-name/jars/iceberg-aws-bundle-1.9.1.jar`）。
   b. 请勿包含 `iceberg` 作为 `--datalake-formats` 参数的值。
   c. 如果您使用 AWS Glue 5.0，则必须将`--user-jars-first`参数设置为`true`。

Iceberg 的 Spark 配置 AWS Glue

本节讨论为 Iceberg 数据集创作 AWS Glue ETL 作业所需的 Spark 配置。 您可以使用 `--conf` Spark 密钥以及以逗号分隔的所有 Spark 配置键和值列表来设置这些配置。你可以使用笔记本中的`%%configure`魔法，也可以使用 AWS Glue Studio 控制台的 Job 参数部分。

```
%glue_version 5.0
```

```
%%configure
{
  "--conf" : "spark.sql.extensions=org.apache.iceberg.spark.extensions...",
  "--datalake-formats" : "iceberg"
}
```

使用以下属性配置 Spark 会话：

- <catalog_name>是你的 Iceberg Spark 会话目录名称的名称。将其替换为您选择的名称，并记得更改与该目录关联的所有配置中的引用。在您的代码中，您可以使用完全限定的表名（包括 Spark 会话目录名称）来引用 Iceberg 表，如下所示：

  ```
  <catalog_name>.<database_name>.<table_name>
  ```

  或者，您可以将默认目录更改为通过设置spark.sql.defaultCatalog目录名称来定义的 Iceberg 目录。您可以使用第二种方法来引用不带目录前缀的表，这样可以简化查询。
- <catalog_name>.<warehouse>指向您要存储数据和元数据的 Amazon S3 路径。
- 要使目录成为 AWS Glue Data Catalog，请将设置spark.sql.catalog.<catalog_name>.type为glue。对于任何自定义目录实现，都需要使用此密钥来指向实现类。有关 Iceberg 支持的目录，请参阅本指南后面的 “一般最佳实践” 部分。

例如，如果您有一个名为的目录glue_iceberg，则可以使用多个--conf密钥配置作业，如下所示：

```
%%configure
{
  "--datalake-formats" : "iceberg",
  "--conf" :
 "spark.sql.extensions=org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSessionExtensions
 --conf spark.sql.catalog.glue_iceberg=org.apache.iceberg.spark.SparkCatalog --
conf spark.sql.catalog.glue_iceberg.warehouse=s3://<your-warehouse-dir>/ --conf
 spark.sql.catalog.glue_iceberg.type=glue"
}
```

或者，您可以使用代码将上述配置添加到 Spark 脚本中，如下所示：

```
spark = SparkSession.builder\

 .config("spark.sql.extensions","org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSessionExtensi
                    .config("spark.sql.catalog.glue_iceberg",
 "org.apache.iceberg.spark.SparkCatalog")\
```

```
                    .config("spark.sql.catalog.glue_iceberg.warehouse","s3://<your-
warehouse-dir>/")\
                    .config("spark.sql.catalog.glue_iceberg.type", "glue") \
                    .getOrCreate()
```

AWS Glue 工作最佳实践

本节提供了调整 Spark 作业 AWS Glue 以优化 Iceberg 表中数据的读取和写入的一般指南。有关 Iceberg 特定的最佳实践，请参阅本指南后面的 “最佳实践” 部分。

- 尽可能使用最新版本 AWS Glue 并进行升级 — 新版本 AWS Glue 提供性能改进、启动时间缩短和新功能。它们还支持最新的 Iceberg 版本可能需要的较新 Spark 版本。有关可用 AWS Glue 版本及其支持的 Spark 版本的列表，请参阅AWS Glue 文档。
- 优化 AWS Glue 作业内存-按照 AWS 博客文章 “优化内存管理” 中的建议进行操作 AWS Glue。
- 使用 AWS Glue Auto Scaling — 启用 Auto Scaling 时， AWS Glue 会根据您的工作负载自动动态调整 AWS Glue 工作人员的数量。这有助于降低高峰负荷期间 AWS Glue 的工作成本，因为当工作量较小且员工处于闲置状态时，可以 AWS Glue 缩减员工人数。要使用 AWS Glue Auto Scaling，您需要指定 AWS Glue 任务可以扩展到的最大工作人员数量。有关更多信息，请参阅 AWS Glue 文档 AWS Glue 中的使用 auto sc aling。
- 使用所需的 Iceberg 版本 — Iceberg AWS Glue 的原生集成最适合入门 Iceberg。但是，对于生产工作负载，我们建议您添加库依赖项（如本指南前面所述），以完全控制 Iceberg 版本。这种方法可以帮助您在 AWS Glue 工作中受益于最新的 Iceberg 功能和性能改进。
- 启用 Spark 用户界面进行监控和调试 — 您还可以使用中的 Spark 用户界面 AWS Glue来检查 Iceberg 作业，方法是在有向无环图 (DAG) 中可视化 Spark 作业的不同阶段并详细监控作业。Spark UI 提供了一种有效的方法来进行故障排除和优化 Iceberg 作业。例如，您可以识别具有大量洗牌或磁盘溢出的瓶颈阶段，以确定调整机会。有关更多信息，请参阅 AWS Glue 文档中的使用 Apache Spark 网页用户界面监控作业。

使用 Apache Spark 处理冰山表

本节概述了如何使用 Apache Spark 与 Iceberg 表进行交互。示例是可以在 Amazon EMR 上运行的样板代码，或者。 AWS Glue

注意：与 Iceberg 表交互的主要接口是 SQL，因此大多数示例都将 Spark SQL 与 DataFrames API 结合使用。

创建和写作 Iceberg 表

你可以使用 Spark SQL 和 Spark DataFrames 来创建数据并将其添加到 Iceberg 表中。

使用 Spark SQL

要编写 Iceberg 数据集，请使用标准 Spark SQL 语句，例如`CREATE TABLE`和。`INSERT INTO`

未分区的表

以下是使用 Spark SQL 创建未分区的 Iceberg 表的示例：

```
spark.sql(f"""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS {CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}_nopartitions (
        c_customer_sk             int,
        c_customer_id             string,
        c_first_name              string,
        c_last_name               string,
        c_birth_country           string,
        c_email_address           string)
    USING iceberg
    OPTIONS ('format-version'='2')
""")
```

要向未分区的表中插入数据，请使用标准`INSERT INTO`语句：

```
spark.sql(f"""
INSERT INTO {CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}_nopartitions
SELECT c_customer_sk, c_customer_id, c_first_name, c_last_name, c_birth_country,
 c_email_address
FROM another_table
```

```
""")
```

分区表

以下是使用 Spark SQL 创建分区 Iceberg 表的示例：

```
spark.sql(f"""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS {CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}_withpartitions (
        c_customer_sk             int,
        c_customer_id             string,
        c_first_name              string,
        c_last_name               string,
        c_birth_country           string,
        c_email_address           string)
    USING iceberg
    PARTITIONED BY (c_birth_country)
    OPTIONS ('format-version'='2')
""")
```

要使用 Spark SQL 将数据插入分区 Iceberg 表，请使用标准INSERT INTO语句：

```
spark.sql(f"""
INSERT INTO {CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}_withpartitions
SELECT c_customer_sk, c_customer_id, c_first_name, c_last_name, c_birth_country,
 c_email_address
FROM another_table
""")
```

> **Note**
>
> 从 Iceberg 1.5.0 开始，向分区表中插入数据时，hash写入分配模式为默认模式。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的编写分发模式。

使用 DataFrames API

要编写 Iceberg 数据集，你可以使用 DataFrameWriterV2 API。

要创建 Iceberg 表并向其写入数据，请使用 df.writeTo(t) 函数。如果该表存在，则使用.append()函数。如果不是，请使用.create().以下示例使用.createOrReplace()，其变体.create()等效于CREATE OR REPLACE TABLE AS SELECT。

未分区的表

要使用 API 创建和填充未分区的 Iceberg 表，请执行以下操作：DataFrameWriterV2

```
input_data.writeTo(f"{CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}_nopartitions") \
    .tableProperty("format-version", "2") \
    .createOrReplace()
```

要使用 API 将数据插入现有的未分区 Iceberg 表，请执行以下操作：DataFrameWriterV2

```
input_data.writeTo(f"{CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}_nopartitions") \
    .append()
```

分区表

要使用 API 创建和填充分区 Iceberg 表，请执行以下操作：DataFrameWriterV2

```
input_data.writeTo(f"{CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}_withpartitions") \
    .tableProperty("format-version", "2") \
    .partitionedBy("c_birth_country") \
    .createOrReplace()
```

要使用 API 将数据插入分区的 Iceberg 表，请执行DataFrameWriterV2以下操作：

```
input_data.writeTo(f"{CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}_withpartitions") \
    .append()
```

更新 Iceberg 表中的数据

以下示例说明如何更新 Iceberg 表中的数据。此示例修改c_customer_sk列中包含偶数的所有行。

```
spark.sql(f"""
UPDATE {CATALOG_NAME}.{db.name}.{table.name}
SET c_email_address = 'even_row'
WHERE c_customer_sk % 2 == 0
""")
```

此操作使用默认 copy-on-write策略，因此它会重写所有受影响的数据文件。

更新 Iceberg 表中的数据

更新数据是指在单个事务中插入新的数据记录并更新现有的数据记录。要将数据插入到 Iceberg 表中，请使用语句。SQL MERGE INTO

以下示例将表格{UPSERT_TABLE_NAME}的内容放入表中：{TABLE_NAME}

```
spark.sql(f"""
    MERGE INTO {CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME} t
    USING {UPSERT_TABLE_NAME} s
        ON t.c_customer_id = s.c_customer_id
    WHEN MATCHED THEN UPDATE SET t.c_email_address = s.c_email_address
    WHEN NOT MATCHED THEN INSERT *
""")
```

- 如果中{UPSERT_TABLE_NAME}已经存在{TABLE_NAME}具有相同值的客户记录c_customer_id，则该{UPSERT_TABLE_NAME}记录c_email_address值将覆盖现有值（更新操作）。
- 如果中的客户记录在中{UPSERT_TABLE_NAME}不存在{TABLE_NAME}，则该{UPSERT_TABLE_NAME}记录将添加到{TABLE_NAME}（插入操作）。

删除 Iceberg 表中的数据

要从 Iceberg 表中删除数据，请使用DELETE FROM表达式并指定与要删除的行匹配的筛选器。

```
spark.sql(f"""
DELETE FROM {CATALOG_NAME}.{db.name}.{table.name}
WHERE c_customer_sk % 2 != 0
""")
```

如果过滤器匹配整个分区，Iceberg 会执行仅限元数据的删除并将数据文件保留在原处。否则，它只会重写受影响的数据文件。

delete 方法获取受WHERE子句影响的数据文件，并在不包含已删除记录的情况下创建这些文件的副本。然后，它会创建一个指向新数据文件的新表快照。因此，已删除的记录仍存在于表的旧快照中。例如，如果您检索表的上一个快照，则会看到刚刚删除的数据。有关出于清理目的删除不必要的旧快照以及相关数据文件的信息，请参阅本指南后面的 “使用压缩维护文件” 一节。

读取数据

你可以使用 Spark SQL 和 Spark 在 Spark 中读取 Iceberg 表的最新状态。 DataFrames

使用 Spark SQL 的示例：

```
spark.sql(f"""
SELECT * FROM {CATALOG_NAME}.{db.name}.{table.name} LIMIT 5
""")
```

使用 DataFrames API 的示例：

```
df = spark.table(f"{CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}").limit(5)
```

使用时空旅行

Iceberg 表中的每个写入操作（插入、更新、更新插入、删除）都会创建一个新快照。然后，您可以使用这些快照进行时空旅行，以回到过去，检查表的过去状态。

有关如何使用`snapshot-id`和计时值检索表快照历史记录的信息，请参阅本指南后面的访问元数据部分。

以下时空旅行查询根据特定内容显示表的状态`snapshot-id`。

使用 Spark SQL：

```
spark.sql(f"""
SELECT * FROM {CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME} VERSION AS OF {snapshot_id}
""")
```

使用 DataFrames API：

```
df_1st_snapshot_id = spark.read.option("snapshot-id", snapshot_id) \
     .format("iceberg") \
     .load(f"{CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}") \
     .limit(5)
```

以下时空旅行查询根据在特定时间戳之前创建的最后一次快照显示表的状态，以毫秒 () 为单位。`as-of-timestamp`

使用 Spark SQL：

```
spark.sql(f"""
SELECT * FROM dev.{db.name}.{table.name} TIMESTAMP AS OF '{snapshot_ts}'
""")
```

使用 DataFrames API：

```
df_1st_snapshot_ts = spark.read.option("as-of-timestamp", snapshot_ts) \
                          .format("iceberg") \
                          .load(f"dev.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}") \
                          .limit(5)
```

使用增量查询

您还可以使用 Iceberg 快照以增量方式读取附加的数据。

注意：目前，此操作支持从append快照中读取数据。它不支持从replaceoverwrite、或delete等操作中获取数据。 此外，Spark SQL 语法不支持增量读取操作。

以下示例检索在快照start-snapshot-id（不包括）和end-snapshot-id（含）之间附加到 Iceberg 表的所有记录。

```
df_incremental = (spark.read.format("iceberg")
    .option("start-snapshot-id", snapshot_id_start)
    .option("end-snapshot-id", snapshot_id_end)
    .load(f"glue_catalog.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}")
)
```

访问元数据

Iceberg 通过 SQL 提供对其元数据的访问。您可以通过查询命名空间来访问任何给定表 (<table_name>) 的元数据<table_name>.<metadata_table>。 有关元数据表的完整列表，请参阅 Iceberg 文档中的检查表。

以下示例说明如何访问 Iceberg 历史元数据表，该表显示了 Iceberg 表的提交（更改）历史记录。

使用亚马逊 EMR Studio 笔记本上的 Spark SQL（有%%sql魔法）：

```
Spark.sql(f"""
SELECT * FROM {CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}.history LIMIT 5
""")
```

使用 DataFrames API：

```
spark.read.format("iceberg").load("{CATALOG_NAME}.{DB_NAME}.
{TABLE_NAME}.history").show(5,False)
```

示例输出：

Type: Table Pie Scatter Line Area Bar

made_current_at	snapshot_id	parent_id	is_current_ancestor
2023-01-09 02:50:17.547000+00:00	7501027970051178613	6598755163776233735	True
2023-01-12 05:39:29.567000+00:00	7069175828427777019	7501027970051178613	True
2023-01-12 05:39:58.807000+00:00	5173022175861138222	7069175828427777019	True
2023-01-12 05:40:18.499000+00:00	3703414997660223390	5173022175861138222	True
2023-01-12 05:40:41.827000+00:00	3807904412292252460	3703414997660223390	True

使用 Trino 处理冰山牌桌

本节介绍如何在 Amazon EM R 上使用 Trino 设置和操作 Iceberg 表。示例是您可以在 EC2 集群上的 Amazon EMR 上运行的样板代码。本节中的代码示例和配置假设您使用的是 Amazon EMR 版本 emr-7.9.0。

EC2 设置上的 Amazon EMR

1. 创建包含以下内容的 `iceberg.properties` 文件。如果语句中未明确指定新表的默认存储格式，则该`iceberg.file-format=parquet`设置将确定新`CREATE TABLE`表的默认存储格式。

```
connector.name=iceberg
iceberg.catalog.type=glue
iceberg.file-format=parquet
fs.native-s3.enabled=true
```

2. 将 `iceberg.properties` 文件上传到 S3 存储桶。
3. 创建引导操作，从您的 S3 存储桶中复制`iceberg.properties`文件并将其作为 Trino 配置文件存储在您将要创建的 Amazon EMR 集群上。 请务必`<S3-bucket-name>`替换为您的 S3 存储桶名称。

```
#!/bin/bash
set -ex
sudo aws s3 cp s3://<S3-bucket-name>/iceberg.properties /etc/trino/conf/catalog/
iceberg.properties
```

4. 创建安装了 Trino 的 Amazon EMR 集群，并将前一个脚本的执行指定为引导操作。以下是创建集群的示例 AWS Command Line Interface (AWS CLI) 命令：

```
aws emr create-cluster --release-label emr-7.9.0 \
--applications Name=Trino \
--region <region> \
--name Trino_Iceberg_Cluster \
--bootstrap-actions '[{"Path":"s3://<S3-bucket-name>/bootstrap.sh","Name":"Add
 iceberg.properties"}]' \
--instance-groups
 '[{"InstanceGroupType":"MASTER","InstanceCount":1,"InstanceType":"m5.xlarge"},
{"InstanceGroupType":"CORE","InstanceCount":3,"InstanceType":"m5.xlarge"}]' \
--service-role "<IAM-service-role>" \
```

```
--ec2-attributes '{"KeyName":"<key-name>","InstanceProfile":"<EMR-EC2-instance-
profile>"}'
```

你在哪里替换：

- <S3-bucket-name>使用您的 S3 存储桶名称
- <region>根据你的具体情况 AWS 区域
- <key-name>用你的 key pair。如果密钥对（key pair）不存在，则会创建它。
- <IAM-service-role>使用遵循最低权限原则的 Amazon EMR 服务角色。
- <EMR-EC2-instance-profile>使用您的实例配置文件。

5. 初始化 Amazon EMR 集群后，您可以通过运行以下命令来初始化 Trino 会话：

```
trino-cli
```

6. 在 Trino CLI 中，您可以通过运行以下命令来查看目录：

```
SHOW CATALOGS;
```

创建 Iceberg 表

要创建 Iceberg 表，可以使用CREATE TABLE语句。 以下是创建使用 Iceberg 隐藏分区的分区表的示例：

```
CREATE TABLE iceberg.iceberg_db.iceberg_table (
             userid int,
             firstname varchar,
             city varchar)
        WITH (
             format = 'PARQUET',
             partitioning = ARRAY['city', 'bucket(userid, 16)'],
             location = 's3://<S3-bucket>/<prefix>');
```

> **Note**
>
> 如果您未指定格式，则将使用您在上一节中配置的iceberg.file-format值。

要插入数据，请使用INSERT INTO命令。示例如下：

```
INSERT INTO iceberg.iceberg_db.iceberg_table (userid, firstname, city)
VALUES
    (1001, 'John', 'New York'),
    (1002, 'Mary', 'Los Angeles'),
    (1003, 'Mateo', 'Chicago'),
    (1004, 'Shirley', 'Houston'),
    (1005, 'Diego', 'Miami'),
    (1006, 'Nikki', 'Seattle'),
    (1007, 'Pat', 'Boston'),
    (1008, 'Terry', 'San Francisco'),
    (1009, 'Richard', 'Denver'),
    (1010, 'Pat', 'Phoenix');
```

从冰山桌上读书

您可以使用SELECT语句读取 Iceberg 表的最新状态，如下所示：

```
SELECT * FROM iceberg.iceberg_db.iceberg_table;
```

将数据更新到 Iceberg 表中

您可以使用MERGE INTO语句执行 upsert 操作（同时插入新记录和更新现有记录）。示例如下：

```
MERGE INTO iceberg.iceberg_db.iceberg_table target
USING (
      VALUES
        (1001, 'John Updated', 'Boston'),       -- Update existing user
        (1002, 'Mary Updated', 'Seattle'),      -- Update existing user
        (1011, 'Martha', 'Portland'),           -- Insert new user
        (1012, 'Paulo', 'Austin')               -- Insert new user
    ) AS source (userid, firstname, city)
   ON target.userid = source.userid
 WHEN MATCHED THEN
      UPDATE SET
        firstname = source.firstname,
        city = source.city
 WHEN NOT MATCHED THEN
      INSERT (userid, firstname, city)
      VALUES (source.userid, source.firstname, source.city);
```

从 Iceberg 表中删除记录

要从 Iceberg 表中删除数据，请使用DELETE FROM表达式并指定与要删除的行匹配的筛选器。示例如下：

```
DELETE FROM iceberg.iceberg_db.iceberg_table WHERE userid IN (1003, 1004);
```

查询 Iceberg 表元数据

Iceberg 通过 SQL 提供对其元数据的访问。您可以通过查询命名空间来访问任何给定表 (<table_name>) 的元数据"<table_name>.$<metadata_table>"。有关元数据表的完整列表，请参阅 Iceberg 文档中的检查表。

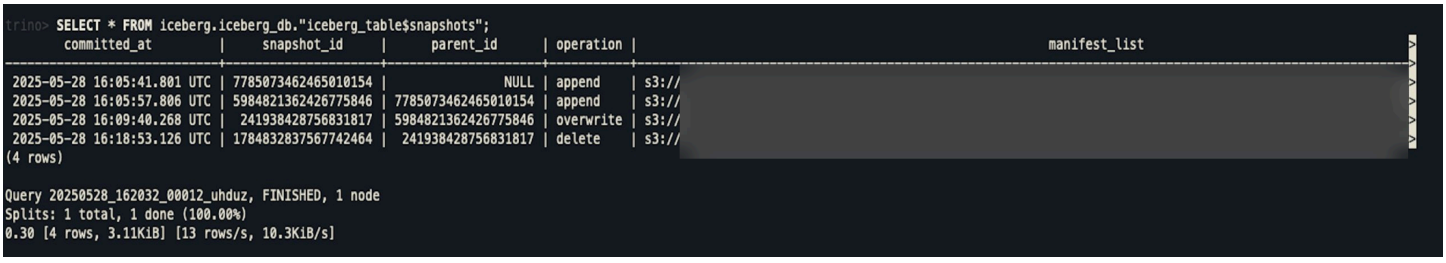
以下是检查 Iceberg 元数据的示例查询列表：

```
SELECT  FROM iceberg.iceberg_db."iceberg_table$snapshots";
SELECT  FROM iceberg.iceberg_db."iceberg_table$history";
SELECT  FROM iceberg.iceberg_db."iceberg_table$partitions";
SELECT  FROM iceberg.iceberg_db."iceberg_table$files";
SELECT  FROM iceberg.iceberg_db."iceberg_table$manifests";
SELECT  FROM iceberg.iceberg_db."iceberg_table$refs";
SELECT * FROM iceberg.iceberg_db."iceberg_table$metadata_log_entries";
```

例如，此查询：

```
 SELECT * FROM iceberg.iceberg_db."iceberg_table$snapshots";
```

提供了输出：



使用时空旅行

Iceberg 表中的每个写入操作（插入、更新、更新或删除）都会创建一个新快照。然后，您可以使用这些快照进行时空旅行，以回到过去，检查表的过去状态。

以下时空旅行查询根据特定内容显示表的状态snapshot_id：

```
SELECT *
FROM iceberg.iceberg_db.iceberg_table FOR VERSION AS OF 241938428756831817;
```

以下时空旅行查询基于特定时间戳显示表的状态：

```
SELECT *
FROM iceberg.iceberg_db.iceberg_table FOR TIMESTAMP AS OF TIMESTAMP '2025-05-28
 16:09:40.268 UTC'
```

将 Iceberg 与 Trino 搭配使用时的注意事项

Trino 对 Iceberg 表的写入操作遵循了merge-on-read设计，因此它们会创建位置删除文件，而不是重写受更新或删除影响的整个数据文件。如果你想使用 copy-on-write这种方法，可以考虑使用 Spark 进行写入操作。

使用 Amazon Data Firehose 处理 Iceberg 表

Amazon Data Firehose 是一项无服务器的无代码服务，用于将来自日志、亚马逊日志 AWS WAF 、Amazon Kinesis 数据流和适用于 Apache Kafka 的亚马逊托管流媒体（亚马逊 MSK）等20多个来源的数据流传输到亚马逊S3、Amazon Redshift、Snowflake和Splunk等目的地。 CloudWatch AWS IoT

你可以使用 Firehose 将流数据直接传送到亚马逊 S3 中的 Apache Iceberg 表。使用 Firehose，您可以将记录从单个流路由到不同的 Apache Iceberg 表，并自动对表中的记录应用插入、更新和删除操作。Firehose 保证精确一次送到冰山牌桌。此功能需要使用 AWS Glue Data Catalog。

Firehose 还可以直接将流数据传输到亚马逊 S3 表。这些表提供了针对大规模分析工作负载进行了优化的存储，并包括可持续提高查询性能和降低表格数据存储成本的功能。

有关如何设置 Firehose 流以向 Apache Iceberg 表传送数据的信息，请参阅 Firehose 文档中的设置 Firehose 流或博客文章使用亚马逊数据 Firehose 将实时数据流传输到亚马逊 S3 中的 Apache Iceberg 表。

使用 Athena SQL 处理 Iceberg 表

Amazon Athena 为 Apache Iceberg 提供了内置支持，不需要额外的步骤或配置。本节详细概述了支持的功能，并提供了有关使用 Athena 与 Iceberg 表交互的高级指导。

版本和功能兼容性

冰山桌规格支持

Apache Iceberg 表规范指定了 Iceberg 表的行为方式。Athena 支持表格格式版本 2，因此您使用控制台、CLI 或 SDK 创建的任何 Iceberg 表本质上都使用该版本。

如果您使用使用其他引擎创建的 Iceberg 表，例如亚马逊 EMR 上的 Apache Spark 或 AWS Glue，请务必使用表属性来设置表格式版本。作为参考，请参阅本指南前面的 “创建和编写 Iceberg 表” 一节。

冰山功能支持

你可以使用 Athena 读取和写入 Iceberg 表。当您使用、和`DELETE FROM`语句更改数据时`UPDATE`、`MERGE INTO`，Athena 仅支持模式。 merge-on-read此属性无法更改。要使用更新或删除数据 copy-on-write，您必须使用其他引擎，例如亚马逊 EM AWS Glue R 上的 Apache Spark 或。下表汇总了 Athena 中对 Iceberg 功能的支持。

		DDL 支持		DML 支持		AWS Lake Formation 为了安全起见（可选）
	表格格式	创建表	架构演变	读取数据	写入数据	行/列访问控制
Amazon Athena	版本 2	✓	✓	✓	X C opy-on-write	✓
					✓ M erge-on-read	✓

> **Note**
>
> - Athena 不支持增量查询。
> - 在 Athena 中，无论表属性中的写入时复制 (CoW) 设置如何，更新、删除和合并操作始终默认为读时合并 (MoR)，因为不支持 CoW。

使用 Iceberg 桌子

要快速开始在 Athena 中使用 Iceberg，请参阅本指南前面的 “在 Athena SQL 中使用 Iceberg 表入门” 一节。

下表列出了限制和建议。

场景	限制	建议
生成表 DDL	使用其他引擎创建的 Iceberg 表可以具有在 Athena 中未公开的属性。对于这些表，无法生成 DDL。	在创建表的引擎中使用等效语句（例如，Spark 的`SHOW CREATE TABLE`语句）。
写入冰山表的对象中的随机 Amazon S3 前缀	默认情况下，使用 Athena 创建的 Iceberg 表会启用该属性。`write.object-storage.enabled`	要禁用此行为并获得对 Iceberg 表属性的完全控制权，请使用其他引擎（例如 Amazon EMR 上的 Spark 或）创建 Iceberg 表。 AWS Glue
递增查询	Athena 目前不支持。	要使用增量查询来启用增量数据摄取管道，请在 Amazon EMR 上使用 Spark 或。 AWS Glue

使用使用 Iceberg 表来处理冰山表 PyIceberg

本节介绍如何使用PyIceberg与 Iceberg 表进行交互。提供的示例是样板代码，您可以使用正确配置的凭证在 A mazon Linux 2023 EC2 实例、AWS Lambda函数或任何 Pyth on 环境上运行这些代码。AWS

先决条件

> **Note**
>
> 这些示例使用 PyIceberg 1.9.1。

要使用 PyIceberg，您需要 PyIceberg 并 适用于 Python (Boto3) 的 AWS SDK 安装。以下是如何设置要使用的 Python 虚拟环境的示例， PyIceberg 以及 AWS Glue Data Catalog：

1. 使用 pip python 软件包安装程序进行下载PyIceberg。您还需要与 Boto3 进行交互。 AWS 服务您可以使用以下命令配置本地 Python 虚拟环境进行测试：

```
python3 -m venv my_env
cd my_env/bin/
source activate
pip install "pyiceberg[pyarrow,pandas,glue]"
pip install boto3
```

2. 运行打开 `python` Python 外壳并测试命令。

连接到数据目录

要开始在中使用 Iceberg 表 AWS Glue，您首先需要连接到。 AWS Glue Data Catalog

该`load_catalog`函数通过创建一个作为所有 Iceberg 操作的主接口的目录对象来初始化与数据目录的连接：

```
from pyiceberg.catalog import load_catalog
region = "us-east-1"

glue_catalog = load_catalog(
```

```
    'default',
    **{
        'client.region': region
    },
    type='glue'
)
```

列出和创建数据库

要列出现有数据库，请使用以下`list_namespaces`函数：

```
databases = glue_catalog.list_namespaces()
print(databases)
```

要创建新数据库，请使用以下`create_namespace`函数：

```
database_name="mydb"
s3_db_path=f"s3://amzn-s3-demo-bucket/{database_name}"

glue_catalog.create_namespace(database_name, properties={"location": s3_db_path})
```

创建和写作 Iceberg 表

未分区的表

以下是使用函数创建未分区的 Iceberg 表的示例：`create_table`

```
from pyiceberg.schema import Schema
from pyiceberg.types import NestedField, StringType, DoubleType

database_name="mydb"
table_name="pyiceberg_table"
s3_table_path=f"s3://amzn-s3-demo-bucket/{database_name}/{table_name}"

schema = Schema(
    NestedField(1, "city", StringType(), required=False),
    NestedField(2, "lat", DoubleType(), required=False),
    NestedField(3, "long", DoubleType(), required=False),
)
```

```
glue_catalog.create_table(f"{database_name}.{table_name}", schema=schema,
 location=s3_table_path)
```

你可以使用该list_tables函数来检查数据库中的表列表：

```
tables = glue_catalog.list_tables(namespace=database_name)
print(tables)
```

你可以使用append函数 and 在 Iceberg 表中插入数据： PyArrow

```
import pyarrow as pa
df = pa.Table.from_pylist(
    [
        {"city": "Amsterdam", "lat": 52.371807, "long": 4.896029},
        {"city": "San Francisco", "lat": 37.773972, "long": -122.431297},
        {"city": "Drachten", "lat": 53.11254, "long": 6.0989},
        {"city": "Paris", "lat": 48.864716, "long": 2.349014},
    ],
)

table = glue_catalog.load_table(f"{database_name}.{table_name}")
table.append(df)
```

分区表

以下是使用函数和创建带有隐藏分区的分区 Iceberg 表的示例：create_tablePartitionSpec

```
from pyiceberg.schema import Schema
from pyiceberg.types import (
    NestedField,
    StringType,
    FloatType,
    DoubleType,
    TimestampType,
)

# Define the schema
schema = Schema(
    NestedField(field_id=1, name="datetime", field_type=TimestampType(),
 required=True),
    NestedField(field_id=2, name="drone_id", field_type=StringType(), required=True),
    NestedField(field_id=3, name="lat", field_type=DoubleType(), required=False),
```

```
    NestedField(field_id=4, name="lon", field_type=DoubleType(), required=False),
    NestedField(field_id=5, name="height", field_type=FloatType(), required=False),
)

from pyiceberg.partitioning import PartitionSpec, PartitionField
from pyiceberg.transforms import DayTransform

partition_spec = PartitionSpec(
    PartitionField(
        source_id=1,  # Refers to "datetime"
        field_id=1000,
        transform=DayTransform(),
        name="datetime_day"
    )
)

database_name="mydb"
partitioned_table_name="pyiceberg_table_partitioned"
s3_table_path=f"s3://amzn-s3-demo-bucket/{database_name}/{partitioned_table_name}"

glue_catalog.create_table(
    identifier=f"{database_name}.{partitioned_table_name}",
    schema=schema,
    location=s3_table_path,
    partition_spec=partition_spec
)
```

您可以采用与未分区表相同的方式向分区表中插入数据。分区是自动处理的。

```
from datetime import datetime
arrow_schema = pa.schema([
    pa.field("datetime", pa.timestamp("us"), nullable=False),
    pa.field("drone_id", pa.string(), nullable=False),
    pa.field("lat", pa.float64()),
    pa.field("lon", pa.float64()),
    pa.field("height", pa.float32()),
])

data = [
    {
        "datetime": datetime(2024, 6, 1, 12, 0, 0),
        "drone_id": "drone_001",
        "lat": 52.371807,
```

```
        "lon": 4.896029,
        "height": 120.5,
    },
    {
        "datetime": datetime(2024, 6, 1, 12, 5, 0),
        "drone_id": "drone_002",
        "lat": 37.773972,
        "lon": -122.431297,
        "height": 150.0,
    },
    {
        "datetime": datetime(2024, 6, 2, 9, 0, 0),
        "drone_id": "drone_001",
        "lat": 53.11254,
        "lon": 6.0989,
        "height": 110.2,
    },
    {
        "datetime": datetime(2024, 6, 2, 9, 30, 0),
        "drone_id": "drone_003",
        "lat": 48.864716,
        "lon": 2.349014,
        "height": 145.7,
    },
]

df = pa.Table.from_pylist(data, schema=arrow_schema)

table = glue_catalog.load_table(f"{database_name}.{partitioned_table_name}")
table.append(df)
```

读取数据

您可以使用该 PyIceberg `scan`函数从 Iceberg 表中读取数据。您可以筛选行、选择特定列并限制返回的记录数。

```
table= glue_catalog.load_table(f"{database_name}.{table_name}")
scan_df = table.scan(
    row_filter=(
        f"city = 'Amsterdam'"
    ),
    selected_fields=("city", "lat"),
```

```
    limit=100,
).to_pandas()

print(scan_df)
```

删除数据

该 PyIceberg `delete`函数允许您使用以下方法从表中删除记录`delete_filter`：

```
table = glue_catalog.load_table(f"{database_name}.{table_name}")
table.delete(delete_filter="city == 'Paris'")
```

访问元数据

PyIceberg 提供了多种访问表元数据的函数。您可以通过以下方式查看有关表快照的信息：

```
#List of snapshots
table.snapshots()

#Current snapshot
table.current_snapshot()

#Take a previous snapshot
second_last_snapshot_id=table.snapshots()[-2].snapshot_id
print(f"Second last SnapshotID: {second_last_snapshot_id}")
```

有关可用元数据的详细列表，请参阅 PyIceberg 文档的元数据代码参考部分。

使用时空旅行

您可以使用时空旅行的表快照来访问表的先前状态。以下是查看上次操作之前的表状态的方法：

```
second_last_snapshot_id=table.snapshots()[-2].snapshot_id

time_travel_df = table.scan(
    limit=100,
    snapshot_id=second_last_snapshot_id
).to_pandas()
```

```
print(time_travel_df)
```

有关可用函数的完整列表，请参阅 PyIceberg Python API 文档。

使用 Iceberg 表格格式规范版本 3

Apache Iceberg 表格式规范的最新版本是版本 3。此版本引入了用于构建 PB 级数据湖的高级功能，提高了性能并减少了运营开销。它解决了版本 2 中遇到的常见性能瓶颈，尤其是在批量更新和合规性删除操作方面。

AWS 为 Iceberg 版本 3 规范中定义的删除向量和行谱系提供支持。Apache Spark 在以下 AWS 服务版本中提供了这些功能。

AWS 服务	版本 3 支持
适用于 Apache Spark 的亚马逊 EMR	亚马逊 EMR 版本 7.12 及更高版本
AWS Glue	是
AWS Glue: I ceberg REST API，表格维护	是
亚马逊 SageMaker 统一工作室笔记本电脑	是
亚马逊 S3 表格：I ceberg REST API，表格维护	是
亚马逊 Athena（Trino）	否

版本 3 中的主要功能

删除向量将版本 2 中使用的位置删除文件替换为存储为 Puffin 文件的高效二进制格式。这消除了随机批量更新和《通用数据保护条例》(GDPR) 合规删除带来的写入放大，并显著降低了维护新数据的开销。处理高频更新的组织将看到写入性能立即得到改善，并通过减少小文件来降低存储成本。

行沿袭可在行级别实现精确的变更跟踪。您的下游系统可以通过递增方式处理更改，从而加快数据管道并降低更改数据捕获（CDC）工作流的计算成本。此内置功能消除了实施自定义变更跟踪的需求。

版本兼容性

版本 3 保持了与版本 2 表的向后兼容性。AWS 服务同时支持版本 2 和版本 3 表，因此您可以：

- 对版本 2 和版本 3 的表运行查询。

- 无需重写数据，即可将现有版本 2 表升级到版本 3。
- 运行跨版本 2 和版本 3 快照的时空旅行查询。
- 使用架构演变和跨表版本的隐藏分区。

版本 3 入门

先决条件

在使用版本 3 的表之前，请确保您已具备以下条件：

- AWS 账户 具有适当的 AWS Identity and Access Management (IAM) 权限。
- 访问一项或多项 AWS 分析服务（亚马逊 EMR、 AWS Glue Amazon SageMaker Unified Studio 笔记本电脑或 Amazon S3 表）。
- 用于存储表数据和元数据的 S3 存储桶。
- 用于开始使用 Amazon S3 表的表存储桶，或者如果您正在构建自己的 Iceberg 基础架构，则是通用的 S3 存储桶。
- 已配置的 AWS Glue 目录。

创建版本 3 表

创建新表

要创建新的 Iceberg 版本 3 表，请将`format-version`表格属性设置为 3。

使用 Spark SQL：

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS myns.orders_v3 (
    order_id bigint,
    customer_id string,
    order_date date,
    total_amount decimal(10,2),
    status string,
    created_at timestamp
)
USING iceberg
TBLPROPERTIES (
    'format-version' = '3'
```

```
)
```

将版本 2 表升级到版本 3

无需重写数据，即可以原子方式将现有版本 2 表升级到版本 3。

使用 Spark SQL：

```
ALTER TABLE myns.existing_table
SET TBLPROPERTIES ('format-version' = '3')
```

> **Important**
>
> 版本 3 是单向升级。表从版本 2 升级到版本 3 后，无法通过标准操作将其降级回版本 2。

升级期间发生的操作：

- 新的元数据快照是以原子方式创建的。
- 现有的 Parquet 数据文件可以重复使用。
- 行谱系字段已添加到表元数据中。

升级后：

- 下一次压缩操作将删除旧版本 2 的删除文件。
- 新的修改将使用版本 3 的删除矢量文件。

升级不会对行系变更跟踪记录进行历史回填。

启用删除向量

要利用删除向量进行更新、删除和合并，请配置您的写入模式。

使用 Spark SQL：

```
ALTER TABLE myns.orders_v3
SET TBLPROPERTIES ('format-version' = '3',
                   'write.delete.mode' = 'merge-on-read',
                   'write.update.mode' = 'merge-on-read',
```

```
                    'write.merge.mode' = 'merge-on-read'
                   )
```

这些设置可确保更新、删除和合并操作创建删除矢量文件，而不是重写整个数据文件。

使用行谱系进行变更跟踪

版本 3 会自动添加行谱系元数据字段以跟踪更改。

使用 Spark SQL：

```
# Query with parameter value provided
last_processed_sequence = 47

SELECT
    id,
    data,
    _row_id,
    _last_updated_sequence_number
FROM myns.orders_v3
WHERE _last_updated_sequence_number > :last_processed_sequence
```

该_row_id字段唯一标识每行，并_last_updated_sequence_number跟踪该行的上次修改时间。使用这些字段可以：

- 识别已更改的行以进行增量处理。
- 跟踪数据沿袭以确保合规性。
- 优化 CDC 管道。
- 通过仅处理更改来降低计算成本。

版本 3 的最佳实践

何时使用版本 3

在以下情况下，可以考虑升级到版本 3 或从版本 3 开始：

- 您经常执行批量更新或删除。
- 您需要满足 GDPR 或合规删除要求。
- 您的工作负载涉及高频Upsert。

- 您需要高效的 CDC 工作流程。
- 您想降低小文件的存储成本。
- 您需要更好的变更跟踪功能。

优化写入性能

- 为更新密集型工作负载启用删除向量：

```
SET TBLPROPERTIES (
'write.delete.mode' = 'merge-on-read',
'write.update.mode' = 'merge-on-read',
'write.merge.mode' = 'merge-on-read'
)
```

- 配置适当的文件大小：

```
SET TBLPROPERTIES (
'write.target-file-size-bytes' = '536870912'  — 512 MB
)
```

优化读取性能

- 使用行谱系进行增量处理。
- 使用时空旅行无需复制即可访问历史数据。
- 启用统计数据收集以更好地进行查询规划。

迁移策略

从版本 2 迁移到版本 3 时，请遵循以下最佳实践：

- 首先在非生产环境中进行测试，以验证升级过程和性能。
- 在低活动期间进行升级，以最大限度地减少对并发操作的影响。
- 监控初始性能，并在升级后跟踪指标。
- 升级后运行压缩以合并已删除的文件。
- 更新您的团队文档以反映版本 3 的功能。

兼容性注意事项

- 引擎版本-确保所有访问该表的引擎都支持版本 3。
- 第三方工具-在升级之前，请验证您的工具的版本 3 兼容性。
- Backup 策略 — 测试基于快照的恢复程序。
- 监控-更新针对版本 3 特定指标的监控仪表板。

问题排查

常见问题

错误：“不支持格式版本 3”

- 确认您的引擎版本支持版本 3。 有关详细信息，请参阅本节开头的表格。
- 检查目录兼容性。
- 请确保您使用的是最新版本的 AWS 服务。

升级后性能下降

- 确认没有压实失败。有关更多信息，请参阅 Amazon S3 文档中的 S3 表的日志记录和监控。
- 确认删除向量已启用。应设置以下属性：

```
SET TBLPROPERTIES (
'write.delete.mode' = 'merge-on-read',
'write.update.mode' = 'merge-on-read',
'write.merge.mode' = 'merge-on-read'
)
```

您可以使用以下代码验证表属性：

```
DESCRIBE FORMATTED myns.orders_v3
```

- 查看您的分区策略。过度分区可能会导致文件变小。运行以下查询以获取表格的平均文件大小：

```
SELECT avg(file_size_in_bytes) as avg_file_size_bytes
FROM myns.orders_v3.files
```

与第三方工具不兼容

- 验证该工具是否支持版本 3 规范。
- 考虑为不支持的工具维护版本 2 表。
- 请联系工具供应商，了解其版本 3 支持时间表。

获取帮助

- 有关 AWS 服务特定问题，请联系AWS 支持。
- 要从 Iceberg 社区获得帮助，请使用 Ic eberg Slack 频道。
- 有关使用 AWS 服务 管理分析工作负载的信息，请参阅上的 Anal ytics AWS。

定价

- 亚马逊 EMR 计算和存储定价
- 亚马逊 SageMaker定价
- AWS Glue 任务运行和数据目录定价
- S3 表存储和请求定价

可用性

在 Amazon EMR AWS Glue、、 AWS Glue Data Catalog和 S3 表格运行的所有 AWS 区域 地方，都支持 Iceberg 表格式规范版本 3。有关区域可用性，请参阅按区域划分的AWS 服务。

其他资源

- Apache Iceberg 文档
- Apache Iceberg 桌规格
- 将表格数据从 Amazon S3 迁移到 S3 表的指南
- 教程：S3 表入门

将现有表迁移到 Iceberg

本节重点介绍将现有的 Hive 样式表迁移到 Iceberg 格式。它适用于使用传统 Hive 兼容格式的表，例如 Apache Par quet 或 Apache ORC。此信息不适用于已经使用现代表格格式的表，例如 Linux Foundation Delta Lake 或 Apache Hudi。

要将当前的 Hive 样式表迁移到 Iceberg 格式，您可以使用就地迁移或完整数据迁移：

- 就地迁移是在现有数据文件之上生成 Iceberg 的元数据文件的过程。
- 完整数据迁移会创建 Iceberg 元数据层，并将现有数据文件从原始表重写到新的 Iceberg 表。

以下各节详细概述了每种迁移方法，包括实施 step-by-step说明和注意事项。有关这些迁移策略的更多信息，请参阅 Iceberg 文档的表迁移部分。

在查看了就地和完整数据迁移方法的详细信息后，请参阅以下两个关键部分，以帮助你制定决策：

- 选择迁移策略可通过一系列问题和场景提供指导，帮助您根据具体要求和用例确定最合适的迁移方法。
- 迁移选项摘要提供了一个全面的表格，比较了不同迁移选项的关键特征和注意事项。此表可作为快速参考指南，并提供功能比较，以帮助您了解方法之间的技术权衡。

就地迁移

就地迁移无需重写所有数据文件。取而代之的是生成 Iceberg 元数据文件并将其链接到您的现有数据文件。这种方法通常更快、更具成本效益，特别是对于具有兼容文件格式（例如 Parquet、Avro 和 ORC）的大型数据集或表。

> **Note**
>
> 迁移到 Amazon S3 表时，不能使用就地迁移。

Iceberg 为实现就地迁移提供了两个主要选项：

- 使用快照过程创建新的 Iceberg 表，同时保持源表不变。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的快照表。

- 使用迁移过程创建新的 Iceberg 表作为源表的替换。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的迁移表。尽管此过程适用于 Hive Metastore (HMS)，但它目前与 Hive Metastore 不兼容。 AWS Glue Data Catalog本指南后 AWS Glue Data Catalog面部分的 “复制表迁移过程” 提供了一种解决方法，可使用数据目录实现类似的结果。

使用snapshot或执行就地迁移后migrate，某些数据文件可能仍处于未迁移状态。当写入者在迁移期间或迁移之后继续写入源表时，通常会发生这种情况。要将这些剩余文件合并到 Iceberg 表中，可以使用 add_f iles 过程。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的添加文件。

假设你有一个基于 Parquet 的桌子，该products表是在 Athena 中创建和填充的，如下所示：

```
CREATE EXTERNAL TABLE mydb.products (
    product_id INT,
    product_name STRING
)
PARTITIONED BY (category STRING)
STORED AS PARQUET
LOCATION 's3://amzn-s3-demo-bucket/products/';

INSERT INTO mydb.products
VALUES
    (1001, 'Smartphone', 'electronics'),
    (1002, 'Laptop', 'electronics'),
    (2001, 'T-Shirt', 'clothing'),
    (2002, 'Jeans', 'clothing');
```

以下各节说明如何在此表中使用snapshot和migrate过程。

选项 1：快照过程

该snapshot过程创建一个新的 Iceberg 表，该表具有不同的名称，但会复制源表的架构和分区。此操作使源表在操作期间和操作之后都完全不变。它可以有效地创建表的轻量级副本，这对于测试场景或数据探索特别有用，而不会冒修改原始数据源的风险。这种方法可以实现一个过渡期，在这个过渡期，原始表和 Iceberg 表都保持可用（参见本节末尾的注释）。测试完成后，您可以通过将所有写入者和读者过渡到新表来将新 Iceberg 表移至生产环境。

你可以在任何亚马逊 EMR 部署模式中使用 Spark 来运行该snapshot过程（例如，EC2 上的 Amazon EMR、EKS 上的 Amazon EMR、EMR Serverless）和。 AWS Glue

要使用 snapshot Spark 程序测试就地迁移，请执行以下步骤：

1. 启动 Spark 应用程序并使用以下设置配置 Spark 会话：
   - "spark.sql.extensions":"org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSessi
   - "spark.sql.catalog.spark_catalog":"org.apache.iceberg.spark.SparkSessionCata
   - "spark.sql.catalog.spark_catalog.type":"glue"
   - "spark.hadoop.hive.metastore.client.factory.class":"com.amazonaws.glue.catalo
2. 运行以下snapshot过程创建指向原始表数据文件的新 Iceberg 表：

```
spark.sql(f"""
CALL system.snapshot(
source_table => 'mydb.products',
table => 'mydb.products_iceberg',
location => 's3://amzn-s3-demo-bucket/products_iceberg/'
)
"""
).show(truncate=False)
```

   输出 dataFrame 包含imported_files_count（已添加的文件数）。
3. 通过查询来验证新表：

```
spark.sql(f"""
SELECT * FROM mydb.products_iceberg LIMIT 10
"""
).show(truncate=False)
```

> **注意**
>
> - 运行该过程后，对源表的任何数据文件修改都将使生成的表失去同步。您添加的新文件将在 Iceberg 表中不可见，而您删除的文件将影响 Iceberg 表中的查询功能。要避免同步问题，请执行以下操作：
>   - 如果新的 Iceberg 表用于生产用途，请停止所有写入原始表的进程，并将它们重定向到新表。
>   - 如果您需要过渡期，或者如果新的 Iceberg 表用于测试目的，请参阅本节后面的就地迁移后保持 Iceberg 表同步，以获取有关维护表同步的指导。
> - 使用该snapshot过程时，该gc.enabled属性将在创建的 Iceberg 表的表属性false中设置为。此设置禁止诸如expire_snapshotsremove_orphan_files、或PURGE选项之

类DROP TABLE的操作，这些操作会以物理方式删除数据文件。仍然允许不直接影响源文件的 Iceberg 删除或合并操作。

- 要使您的新 Iceberg 表完全正常运行，并且对物理删除数据文件的操作没有限制，您可以将gc.enabled表属性更改为true。但是，此设置将允许影响源数据文件的操作，这可能会破坏对原始表的访问。因此，只有在不再需要维护原始表的功能时才更改该gc.enabled属性。例如：

```
spark.sql(f"""
ALTER TABLE mydb.products_iceberg
SET TBLPROPERTIES ('gc.enabled' = 'true');
""")
```

选项 2：迁移程序

该migrate过程创建一个新的 Iceberg 表，该表的名称、架构和分区与源表相同。当此过程运行时，它会锁定源表并将其重命名为<table_name>_BACKUP_（或由backup_table_name过程参数指定的自定义名称）。

> **Note**
>
> 如果将drop_backup过程参数设置为true，则原始表将不会保留为备份。

因此，migrate表过程要求在执行操作之前停止所有影响源表的修改。在运行该migrate过程之前：

- 停止所有与源表交互的写入器。
- 修改原生不支持 Iceberg 的读者和作者以启用 Iceberg 支持。

例如：

- Athena 继续工作，无需任何修改。
- Spark 需要：
  - 要包含在类路径中的 Iceberg Java 存档 (JAR) 文件（参见本指南前面章节中的 “在 Amazon EMR 中使用 Iceb erg” 和 “使用 Iceberg”）。 AWS Glue
  - SparkSessionCatalog以下 Spark 会话目录配置（用于添加 Iceberg 支持，同时维护非 Iceberg 表的内置目录功能）：

- "spark.sql.extensions":"org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSes
- "spark.sql.catalog.spark_catalog":"org.apache.iceberg.spark.SparkSessionCat
- "spark.sql.catalog.spark_catalog.type":"glue"
- "spark.hadoop.hive.metastore.client.factory.class":"com.amazonaws.glue.cata

运行该过程后，您可以使用新的 Iceberg 配置重新启动写入器。

目前，该migrate过程与不兼容 AWS Glue Data Catalog，因为数据目录不支持该RENAME操作。因此，我们建议您仅在使用 Hive Metastore 时使用此过程。如果您使用的是数据目录，请参阅下一节以了解替代方法。

你可以在所有亚马逊 EMR 部署模型（EC2 上的 Amazon EMR、EKS 上的 Amazon EMR、EMR Serverless）上运行该migrate过程，但它需要配置与 Hive Metast AWS Glue ore 的连接。建议选择 EC2 上的 Amazon EMR，因为它提供了内置的 Hive Metastore 配置，可以最大限度地降低设置复杂性。

要使用 migrate Spark 程序从配置了 Hive Metastore 的 EC2 集群上的 Amazon EMR 进行就地迁移，请执行以下步骤：

1. 启动 Spark 应用程序并将 Spark 会话配置为使用 Iceberg Hive 目录实现。例如，如果你使用的是 pyspark CLI：

```
pyspark --conf
 spark.sql.extensions=org.apache.iceberg.spark.extensions.IcebergSparkSessionExtensions
 --conf spark.sql.catalog.spark_catalog=org.apache.iceberg.spark.SparkSessionCatalog
 --conf spark.sql.catalog.spark_catalog.type=hive
```

2. 在 Hive 元数据仓中创建products表。这是源表，它已经存在于典型的迁移中。

   a. 在 Hive Metastore 中创建products外部 Hive 表以指向 Amazon S3 中的现有数据：

```
spark.sql(f"""
CREATE EXTERNAL TABLE products (
    product_id INT,
    product_name STRING
)
PARTITIONED BY (category STRING)
STORED AS PARQUET
LOCATION 's3://amzn-s3-demo-bucket/products/';
""")
```

```
)
```

b. 使用MSCK REPAIR TABLE以下命令添加现有分区：

```
spark.sql(f"""
MSCK REPAIR TABLE products
"""
)
```

c. 通过运行SELECT查询来确认表中是否包含数据：

```
spark.sql(f"""
SELECT * FROM products
"""
).show(truncate=False)
```

示例输出：

```
>>> spark.sql(f"""
... SELECT * FROM products
... """
... ).show(truncate=False)
+----------+------------+-----------+
|product_id|product_name|category   |
+----------+------------+-----------+
|1001      |Smartphone  |electronics|
|1002      |Laptop      |electronics|
|2001      |T-Shirt     |clothing   |
|2002      |Jeans       |clothing   |
+----------+------------+-----------+
```

3. 使用 Iceberg `migrate` 程序：

```
df_res=spark.sql(f"""
CALL system.migrate(
table => 'default.products'
)
"""
)

df_res.show()
```

输出 dataFrame 包含`migrated_files_count`（添加到 Iceberg 表中的文件数量）：

```
>>> df_res.show()
+--------------------+
|migrated_files_count|
+--------------------+
|                   2|
+--------------------+
```

4. 确认备份表已创建：

```
spark.sql("show tables").show()
```

示例输出：

```
>>> spark.sql("show tables").show()
+---------+----------------+-----------+
|namespace|       tableName|isTemporary|
+---------+----------------+-----------+
|  default|        products|      false|
|  default|products_backup_|      false|
+---------+----------------+-----------+
```

5. 通过查询 Iceberg 表来验证操作：

```
spark.sql(f"""
SELECT * FROM products
"""
).show(truncate=False)
```

> **注意**
>
> - 运行该过程后，如果当前所有查询或写入源表的进程未正确配置 Iceberg 支持，则这些进程都将受到影响。因此，我们建议您按照以下步骤操作：
>
>   1. 迁移前使用源表停止所有进程。
>   2. 执行迁移。
>   3. 使用正确的 Iceberg 设置重新激活进程。
>
> - 如果在迁移过程中修改了数据文件（添加了新文件或删除了文件），则生成的表将不同步。有关同步选项，请参阅本节后面的就地迁移后使 Iceberg 表保持同步。

在中复制表迁移过程 AWS Glue Data Catalog

您可以按照以下步骤在中复制迁移过程的结果 AWS Glue Data Catalog （备份原始表并将其替换为 Iceberg 表）：

1. 使用快照过程创建新的 Iceberg 表，该表指向原始表的数据文件。
2. 备份数据目录中的原始表元数据：
   a. 使用 GetTableAPI 检索源表定义。
   b. 使用 GetPartitionsAPI 检索源表分区定义。
   c. 使用 CreateTableAPI 在数据目录中创建备份表。
   d. 使用CreatePartition或 BatchCreatePartitionAPI 将分区注册到数据目录中的备份表。
3. 将 `gc.enabled` Iceberg 表属性更改为`false`，以启用全表操作。
4. 删除原始表。
5. 在表根位置的元数据文件夹中找到 Iceberg 表元数据 JSON 文件。
6. 使用 regi ster_table 过程在数据目录中注册新表，并使用该过程创建的原始表名和`metadata.json`文件的位置：`snapshot`

```
spark.sql(f"""
CALL system.register_table(
    table => 'mydb.products',
    metadata_file => '{iceberg_metadata_file}'
)
"""
).show(truncate=False)
```

就地迁移后保持 Iceberg 表同步

该`add_files`过程提供了一种灵活的方法来将现有数据合并到 Iceberg 表中。具体而言，它通过在 Iceberg 的元数据层中引用现有数据文件（例如 Parquet 文件）的绝对路径来注册它们。默认情况下，该过程会将所有表分区中的文件添加到 Iceberg 表，但您可以有选择地添加来自特定分区的文件。这种选择性方法在以下几种情况下特别有用：

- 在初始迁移后向源表中添加新分区时。
- 在初始迁移后向现有分区中添加或删除数据文件时。但是，重新添加修改后的分区需要先删除分区。本节稍后将提供有关此内容的更多信息。

以下是在执行就地迁移（snapshot或migrate）后使用该add_file过程以使新的 Iceberg 表与源数据文件保持同步的一些注意事项：

- 将新数据添加到源表中的新分区时，请使用带有partition_filter选项的add_files过程有选择地将这些新增数据合并到 Iceberg 表中：

```
spark.sql(f"""
CALL system.add_files(
source_table => 'mydb.products',
table => 'mydb.products_iceberg',
partition_filter => map('category', 'electronics')
).show(truncate=False)
```

  或者：

```
spark.sql(f"""
CALL system.add_files(
source_table => ``parquet`.`s3://amzn-s3-demo-bucket/products/``,
table => 'mydb.products_iceberg',
partition_filter => map('category', 'electronics')
).show(truncate=False)
```

- 当您指定partition_filter选项时，该add_files过程会扫描整个源表或特定分区中的文件，并尝试将其找到的所有文件添加到 Iceberg 表中。默认情况下，check_duplicate_files过程属性设置为true，如果文件已存在于 Iceberg 表中，则程序将无法运行。这很重要，因为没有内置选项可以跳过先前添加的文件，禁用check_duplicate_files会导致文件被添加两次，从而创建重复的文件。将新文件添加到源表时，请按照以下步骤操作：

  1. 对于新分区，add_files与一起使用partition_filter，仅从新分区导入文件。
  2. 对于现有分区，请先从 Iceberg 表中删除该分区，然后对该分区重新运行add_files，指定。partition_filter例如：

```
# We initially perform in-place migration with snapshot
spark.sql(f"""
CALL system.snapshot(
source_table => 'mydb.products',
table => 'mydb.products_iceberg',
location => 's3://amzn-s3-demo-bucket/products_iceberg/'
)
"""
).show(truncate=False)
```

```
# Then on the source table, some new files were generated under the
 category='electronics' partition. Example:
spark.sql("""
INSERT INTO mydb.products
VALUES (1003, 'Tablet', 'electronics')
""")

# We delete the modified partition from the Iceberg table. Note this is a metadata
 operation only
spark.sql("""
DELETE FROM mydb.products_iceberg WHERE category = 'electronics'
""")

# We add_files from the modified partition
spark.sql("""
CALL system.add_files(
  source_table => 'mydb.products',
  table => 'mydb.products_iceberg',
  partition_filter => map('category', 'electronics')
)
""").show(truncate=False)
```

> **Note**
>
> 每个add_files操作都会生成一个包含附加数据的新的 Iceberg 表快照。

选择正确的就地迁移策略

要选择最佳的就地迁移策略，请考虑下表中的问题。

问题	建议	说明
您是否想在不重写数据的情况下快速迁移，同时保持 Hive 和 Iceberg 表可供测试或逐步过渡使用？	snapshot程序之后是add_files 程序	使用该snapshot过程通过克隆架构并引用数据文件来创建新的 Iceberg 表，而无需修改源表。使用此add_files 过程合并迁移后添加或修改的分

问题	建议	说明
		区，注意重新添加修改后的分区需要先删除分区。
你是否在使用 Hive Metastore，是否想在不重写数据的情况下立即用 Iceberg 表替换 Hive 表？	`migrate`程序之后是`add_files` 程序	使用该`migrate`过程创建 Iceberg 表，备份源表，然后用 Iceberg 版本替换原始表。 注意：此选项与 Hive Metastore 兼容，但不兼容。AWS Glue Data Catalog 使用此`add_files` 过程合并迁移后添加或修改的分区，注意重新添加修改后的分区需要先删除分区。

问题	建议	说明
您是否正在使用 AWS Glue Data Catalog Hive 表，是否要立即用 Iceberg 表替换 Hive 表，而不必重写数据？	调整migrate程序，然后是add_files 程序	复制migrate过程行为： 1. snapshot用于创建冰山表。 2. 使用备份原始表元数据 AWS Glue APIs。 3. gc.enabled 在 Iceberg 表属性上启用。 4. 删除原始表。 5. register_table 用于使用原始名称创建新的表条目。 注意：此选项需要手动处理元数据备份 AWS Glue 的 API 调用。 使用此add_files 过程合并迁移后添加或修改的分区，注意重新添加修改后的分区需要先删除分区。

完整数据迁移

完整数据迁移会重新创建数据文件和元数据。与就地迁移相比，这种方法需要更长的时间，并且需要更多的计算资源。但是，完整数据迁移为提高表格质量和优化数据存储和访问模式提供了重要机会。

在完整数据迁移期间，您可以执行多项有益的操作，例如数据验证以确保完整性和正确性，修改架构以更好地满足当前要求，以及调整分区策略以提高查询性能。您还可以对数据进行重新排序以优化常见的访问模式，实现 Iceberg 隐藏分区以提高查询效率，并根据需要执行文件格式转换（例如，从 CSV 到 Parquet）。

这些功能使完整数据迁移非常适合过渡到 Iceberg 格式以及全面完善和优化您的数据存储策略。尽管完整数据迁移需要更多的前期时间和资源，但由此带来的数据质量、组织和查询性能的改善可以带来长期的好处。要实现完整数据迁移，请使用以下选项之一：

- 在 SparkCREATE TABLE ... AS SELECT（亚马逊 EMR AWS Glue或）或 A t hena 中使用 (CTAS) 声明。您可以使用和子TBLPROPERTIES句为新 Iceberg 表设置分区规格PARTITIONED BY和表属性。您可以根据需要更改新表的架构和分区，而不必从源表继承它们。
- 使用 Amazon EM AWS Glue R 上的 Spark 或者，从源表中读取数据并将数据写成新的 Iceberg 表。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的创建表。

选择迁移策略

过渡到 Iceberg 格式时，在就地迁移和完全迁移之间做出选择至关重要。要确定最适合您特定需求的方法，请考虑以下问题和建议：

问题	建议
数据文件格式是什么（例如，CSV 或 Apache Parquet）？	• 如果您的表格文件格式为 Parquet、ORC 或 Avro，请考虑就地迁移。 • 对于其他格式，例如 CSV、JSON 等，请使用完整数据迁移。
是否要更新或整合表架构？	• 如果您想使用 Iceberg 原生功能来改进表架构，请考虑就地迁移。例如，您可以在迁移后重命名列。（可以在 Iceberg 元数据层中更改架构。） • 如果您因为不再需要整列而想要删除它们，我们建议您使用完整数据迁移。
更改分区策略会给表带来好处吗？	• 如果 Iceberg 的分区方法满足您的要求（例如，使用新的分区布局存储新数据，而现有分区保持原样），请考虑就地迁移。 • 如果要在表中使用隐藏分区，请考虑完全数据迁移。有关隐藏分区的更多信息，请参阅 “最佳实践” 部分。
添加或更改排序顺序策略会给表格带来好处吗？	• 添加或更改数据的排序顺序需要重写数据集。在这种情况下，可以考虑使用完整数据迁移。

问题	建议
	• 对于重写所有表分区成本高得令人望而却步的大型表，可以考虑使用就地迁移，并对最常访问的分区运行压缩（启用排序）。
表格里有很多小文件吗？	• 将小文件合并成较大的文件需要重写数据集。在这种情况下，可以考虑使用完整数据迁移。 • 对于重写所有表分区成本高得令人望而却步的大型表，可以考虑使用就地迁移，并对最常访问的分区运行压缩（启用排序）。

迁移选项摘要

下表汇总了每种迁移选项的主要特征和注意事项。

功能	就地迁移 快照	就地迁移 migrate	完整数据迁移 CTAS 或（创建表格 + 插入）
作为迁移过程一部分的数据布局改进			
• 对数据重新排序	 否	 否	 是
• 更改分区（例如，使	 否	 否	 是

功能	就地迁移 快照	就地迁移 migrate	完整数据迁移 CTAS 或（创建表格 + 插入）
用冰山隐藏分区）			
• 更改表架构	 否	 否	 是
• 优化文件大小	 否	 否	 是
• 在添加数据之前验证现有数据的架构	 否	 否	 是
支持的文件格式	Parquet、Avro、ORC	Parquet、Avro、ORC	Parquet、Avro、ORC、JSON、CSV
用冰山表替换源表	 否 （创建新表，但通过其他步骤可以替换源表）	 是 （创建备份表并用 Iceberg 表替换源表）	 否 （创建新表）

功能	就地迁移 快照	就地迁移 migrate	完整数据迁移 CTAS 或（创建表格 + 插入）
源表影响			
• Iceber 表上 的文 件删 除操 作 （exp apsho 操 作， 使用 清除 功能 删除 表）	损坏源表	损坏备份表	安全，来源不受影响
冰山桌子冲击			
• 如果 删除 源表 文件 会产 生影 响	腐化冰山桌	腐化冰山桌	对冰山桌子没有影响

功能	就地迁移 快照	就地迁移 migrate	完整数据迁移 CTAS 或（创建表格 + 插入）
• 如果在源表位置添加新文件会产生影响	在新桌子上不可见 （需要合并分区add_files ）	在新桌子上不可见 （需要合并分区add_files ）	在新桌子上不可见 （需要INSERT INTO新表）
成本	低	低	更高（完整数据重写）
迁移速度	快速	快速	慢一点
可用于迁移到 Amazon S3 表	 否	 否	 是
需要手动 DDL	 否 （架构和分区是从源表中复制的）	 否 （架构和分区是从源表中复制的）	如果使用 CTAS，则只需要指定分区
最佳用途	无需重写数据即可快速迁移，允许 side-by-side使用 Hive 和 Iceberg 进行测试或逐步过渡。	当可以立即切换时，无需重写数据即可在原地替换 Hive 表。	通过数据重写实现全面的冰山优化。非常适合重新设计分区或架构，或者改善布局和性能。如果可能，请务必推荐。

优化 Apache Iceberg 工作负载的最佳实践

Iceberg 是一种表格格式，旨在简化数据湖管理并增强工作负载性能。不同的用例可能会优先考虑不同的方面，例如成本、读取性能、写入性能或数据保留，因此 Iceberg 提供了配置选项来管理这些权衡。本节提供了优化和微调 Iceberg 工作负载以满足您的要求的见解。

主题

一般最佳实践

无论你的用例如何，当你在上面使用 Apache Iceberg 时 AWS，我们都建议你遵循这些一般的最佳实践。

- 使用 Iceberg 格式版本 2。

  默认情况下，Athena 使用 Iceberg 格式版本 2。

  当你在 Amazon EMR 上使用 Spark 或 AWS Glue 创建 Iceberg 表时，请按照 Iceberg 文档中所述指定格式版本。
- 使用 AWS Glue Data Catalog 作为您的数据目录。

  Athena 默认使用 AWS Glue Data Catalog 。

  当你在 Amazon EMR 上使用 Spark 或 AWS Glue 使用 Iceberg 时，请在你的 Spark 会话中添加以下配置以使用。 AWS Glue Data Catalog有关更多信息，请参阅本指南 AWS Glue前面的 “Iceberg 的 Spark 配置” 部分。

  ```
  "spark.sql.catalog.<your_catalog_name>.type": "glue"
  ```
- 使用 a AWS Glue Data Catalog s 锁定管理器。

默认情况下，Athena 对 Ic AWS Glue Data Catalog eberg 表使用作为锁管理器。

当你在 Amazon EMR 上使用 Spark 或 AWS Glue 使用 Iceberg 时，请务必将你的 Spark 会话配置配置配置配置为使用 AWS Glue Data Catalog 作为锁定管理器。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的乐观锁定。

- 使用 Zstandard (ZSTD) 压缩。

  Iceberg 的默认压缩编解码器是 gzip，可以使用 table 属性对其进行修改。`write.<file_type>.compression-codec`Athena 已经使用 ZSTD 作为 Iceberg 表的默认压缩编解码器。

  一般而言，我们建议使用 ZSTD 压缩编解码器，因为它可以在 GZIP 和 Snappy 之间取得平衡，并且在不影响压缩比的情况下提供良好的 read/write 性能。此外，还可以根据需要调整压缩级别。有关更多信息，请参阅 Athena 文档中的 A thena 中的 ZSTD 压缩级别。

  Snappy 可能提供最佳的整体读取和写入性能，但压缩率低于 GZIP 和 ZSTD。如果您优先考虑性能（即使这意味着要在 Amazon S3 中存储更大的数据量），Snappy 可能是最佳选择。

优化读取性能

本节讨论了可以调整的表属性，这些属性可以独立于引擎来优化读取性能。

分区

与 Hive 表一样，Iceberg 使用分区作为索引的主要层，以避免读取不必要的元数据文件和数据文件。列统计数据也被视为索引的辅助层，以进一步改进查询计划，从而缩短总体执行时间。

对您的数据进行分区

要减少查询 Iceberg 表时扫描的数据量，请选择与预期读取模式一致的平衡分区策略：

- 确定查询中经常使用的列。这些是理想的分区候选对象。例如，如果您通常查询特定日期的数据，则分区列的自然例子就是日期列。
- 选择低基数分区列以避免创建过多的分区。分区过多会增加表中的文件数量，从而对查询性能产生负面影响。根据经验，“分区过多” 可以定义为大多数分区中的数据大小小于设定值的 2-5 倍的情况。`target-file-size-bytes`

> **Note**
>
> 如果您通常通过对高基数列（例如，可以包含数千个值的列）使用过滤器进行查询，请使用带有存储桶转换的 Iceberg 隐藏分区功能，如下一节所述。`id`

使用隐藏分区

如果您的查询通常根据表列的派生项进行筛选，请使用隐藏分区，而不是显式创建新列来用作分区。有关此功能的更多信息，请参阅 Iceberg 文档。

例如，在具有时间戳列的数据集中（例如，`2023-01-01 09:00:00`），使用分区转换从时间戳中提取日期部分并即时创建这些分区，而不是使用解析后的日期创建新列（例如，`2023-01-01`）。

隐藏分区最常见的用例是：

- 当数据包含@@ 时间戳列时，按日期或时间进行分区。Iceberg 提供多种变换来提取时间戳的日期或时间部分。
- 在@@ 列的哈希函数上进行分区，此时分区列的基数很高，会导致分区过多。Iceberg 的存储桶转换通过在分区列上使用哈希函数，将多个分区值组合成更少的隐藏（存储桶）分区。

有关所有可用分区转换的概述，请参阅 Iceberg 文档中的分区转换。

通过使用常规 SQL 函数（如`year()`和），用于隐藏分区的列可以成为查询谓词的一部分。`month()`谓词也可以与诸如`BETWEEN`和`AND`之类的运算符组合使用。

> **Note**
>
> Iceberg 无法对产生不同数据类型的函数执行分区修剪；例如，。`substring(event_time, 1, 10) = '2022-01-01'`

使用分区演变

当现有的分区策略不是最佳时，请使用 Iceberg 的分区演变。例如，如果您选择的每小时分区结果太小（每个分区只有几兆字节），请考虑切换到每日或每月分区。

当最初不清楚表的最佳分区策略，并且您想在获得更多见解时完善分区策略时，可以使用这种方法。分区演变的另一个有效用途是，当数据量发生变化并且当前的分区策略随着时间的推移而变得不那么有效时。

有关如何演变分区的说明，请参阅 Iceberg 文档中的 ALTER TABLE SQL 扩展。

调整文件大小

优化查询性能包括最大限度地减少表中的小文件数量。为了获得良好的查询性能，我们通常建议保留大于 100 MB 的 Parquet 和 ORC 文件。

文件大小也会影响 Iceberg 表的查询计划。随着表中文件数量的增加，元数据文件的大小也随之增加。较大的元数据文件可能会导致查询计划变慢。因此，当表大小增加时，请增加文件大小以缓解元数据的指数级扩展。

使用以下最佳实践在 Iceberg 表中创建大小合适的文件。

设置目标文件和行组的大小

Iceberg 提供了以下用于调整数据文件布局的关键配置参数。我们建议您使用这些参数来设置目标文件大小和行组或行标大小。

参数	默认值	评论
`write.target-file-size-bytes`	512MB	此参数指定 Iceberg 将创建的最大文件大小。但是，写入某些文件的大小可能小于此限制。
`write.parquet.row-group-size-bytes`	128MB	Parquet 和 ORC 都将数据分块存储，因此引擎可以避免在某些操作中读取整个文件。
`write.orc.stripe-size-bytes`	64 MB	
`write.distribution-mode`	无，适用于 Iceberg 1.1 及更低版本	Iceberg 要求 Spark 在写入存储之前在其任务之间对数据进行排序。

参数	默认值	评论
	哈希，从 Iceberg 1.2 版本开始	

- 根据您的预期表格大小，请遵循以下一般准则：
  - 小表（最多几千兆字节）-将目标文件大小减至 128 MB。还要减小行组或条带大小（例如，减至 8 或 16 MB）。
  - 中型到大型表（从几千兆字节到几百千兆字节不等）-默认值是这些表的良好起点。如果您的查询选择性很强，请调整行组或条带大小（例如，调整到 16 MB）。
  - 非常大的表（数百 GB 或 TB）-将目标文件大小增加到 1024 MB 或更多，如果您的查询通常会提取大量数据，请考虑增加行组或条带大小。

- 为确保写入 Iceberg 表的 Spark 应用程序创建大小合适的文件，请将该`write.distribution-mode`属性设置为`hash`或`range`。有关这些模式之间差异的详细说明，请参阅 Iceberg 文档中的编写分发模式。

这些是一般指导方针。我们建议您运行测试以确定最适合您的特定表和工作负载的值。

定期进行压实

上表中的配置设置了写入任务可以创建的最大文件大小，但不能保证文件会有该大小。为确保文件大小合适，请定期运行压缩，将小文件合并成较大的文件。有关运行压实的详细指导，请参阅本指南后面的冰山压实。

优化列统计信息

Iceberg 使用列统计信息来执行文件修剪，从而通过减少查询扫描的数据量来提高查询性能。要从列统计数据中受益，请确保 Iceberg 收集查询过滤器中经常使用的所有列的统计信息。

默认情况下，根据表属性的`write.metadata.metrics.max-inferred-column-defaults`定义，Iceberg 仅收集每个表中前 100 列的统计数据。如果您的表包含超过 100 列，并且您的查询经常引用前 100 列之外的列（例如，您可能有筛选第 132 列的查询），请确保 Iceberg 收集这些列的统计数据。有两种方法可以实现此目的：

- 创建 Iceberg 表时，对列进行重新排序，使查询所需的列位于设置的列范围内`write.metadata.metrics.max-inferred-column-defaults`（默认为 100）。

注意：如果您不需要 100 列的统计数据，则可以将`write.metadata.metrics.max-inferred-column-defaults`配置调整为所需的值（例如 20），然后对这些列进行重新排序，使需要读取和写入查询的列位于数据集左侧的前 20 列之内。

- 如果您在查询筛选器中仅使用几列，则可以禁用指标收集的整体属性，并有选择地选择要为其收集统计数据的各个列，如以下示例所示：

```
.tableProperty("write.metadata.metrics.default", "none")
.tableProperty("write.metadata.metrics.column.my_col_a", "full")
.tableProperty("write.metadata.metrics.column.my_col_b", "full")
```

注意：当对这些列上的数据进行排序时，列统计信息最为有效。有关更多信息，请参阅本指南后面的“设置排序顺序”部分。

选择正确的更新策略

如果您的用例可以接受较慢的写入操作，则使用 copy-on-write策略来优化读取性能。这是 Iceberg 使用的默认策略。

Copy-on-write 从而提高读取性能，因为文件是以读取优化的方式直接写入存储的。但是，与之相比 merge-on-read，每次写入操作花费的时间更长，消耗的计算资源也更多。这在读取和写入延迟之间进行了典型的权衡。通常， copy-on-write非常适合大多数更新并置在同一个表分区中的用例（例如，用于每日批量加载）。

Copy-on-write 配置（`write.update.mode`、`write.delete.mode`和`write.merge.mode`）可以在表级别进行设置，也可以在应用程序端独立设置。

使用 ZSTD 压缩

您可以使用 table 属性修改 Iceberg 使用的压缩编解码器。`write.<file_type>.compression-codec`我们建议您使用 ZSTD 压缩编解码器来提高表的整体性能。

默认情况下，Iceberg 1.3 及更早版本使用 GZIP 压缩，与 ZSTD 相比，GZIP 压缩的 read/write 性能较慢。

注意：某些引擎可能使用不同的默认值。使用 At hena 或 Amazon EMR 7.x 版本创建的 Iceberg 表就是这种情况。

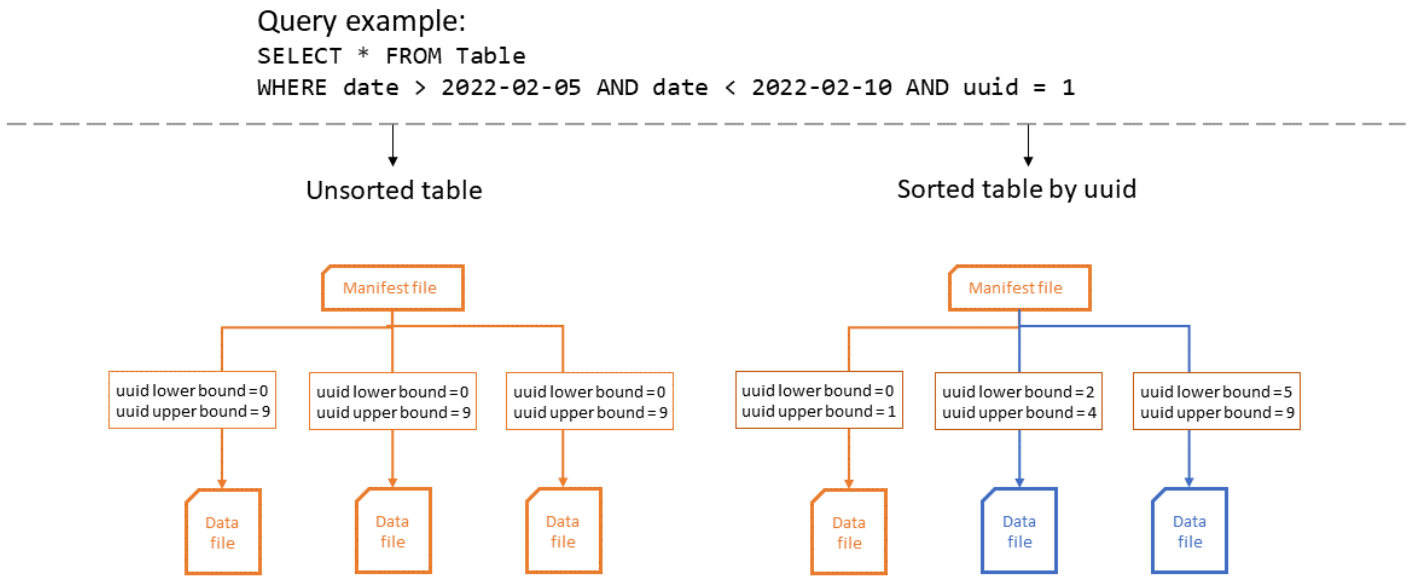
设置排序顺序

为了提高 Iceberg 表的读取性能，我们建议您根据查询过滤器中经常使用的一列或多列对表进行排序。排序与 Iceberg 的列统计信息相结合，可以显著提高文件修剪的效率，从而加快读取操作的速度。排序还可以减少使用查询筛选器中排序列的 Amazon S3 查询请求的数量。

通过使用 Spark 运行数据定义语言 (DDL) 语句，可以在表级别设置分层排序顺序。有关可用选项，请参阅 Iceberg 文档。设置排序顺序后，写入者会将此排序应用于 Iceberg 表中的后续数据写入操作。

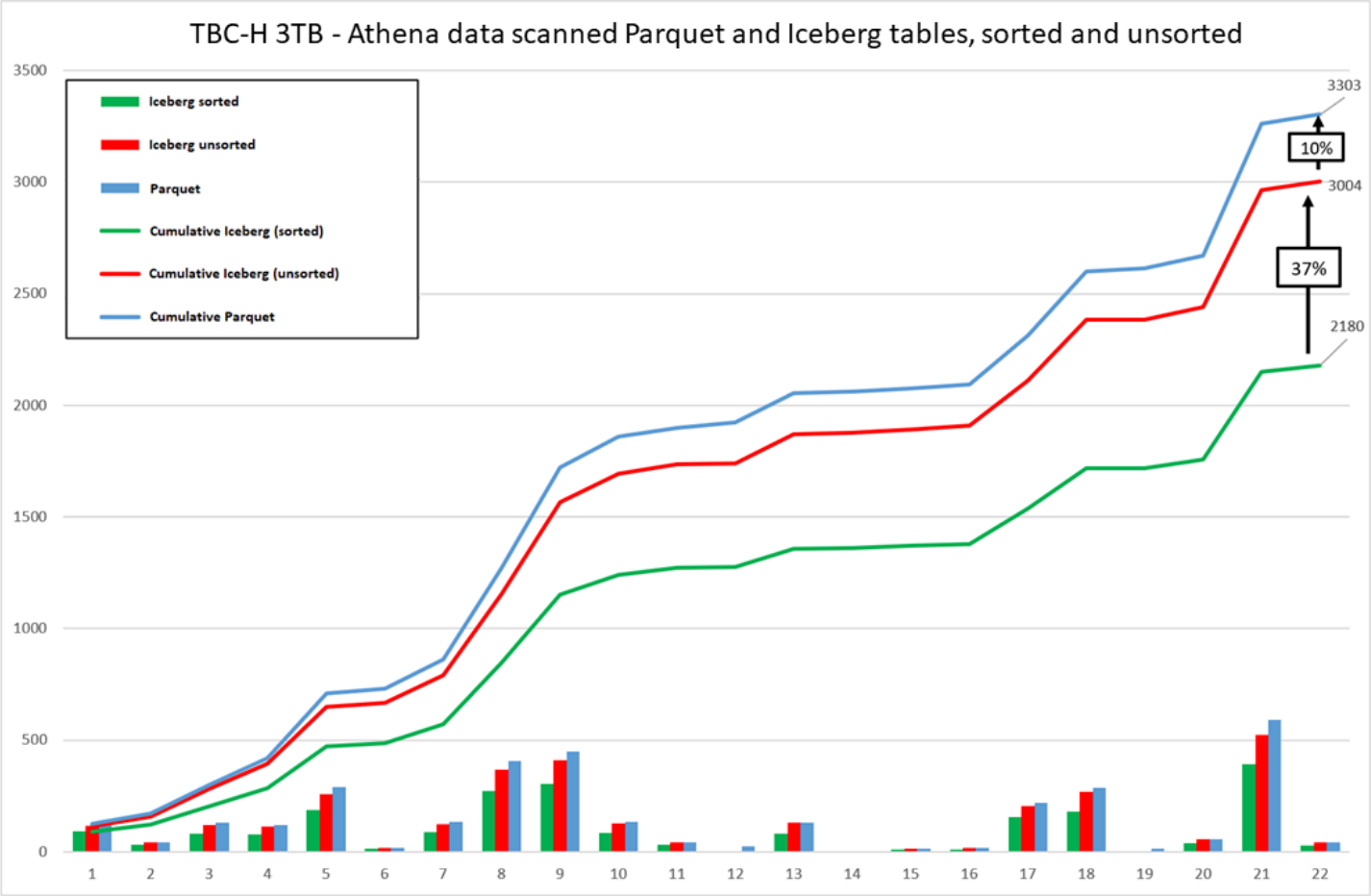
例如，在大多数查询都按日期 (`yyyy-mm-dd`) 分区的表中`uuid`，您可以使用 DDL 选项`Write Distributed By Partition Locally Ordered`来确保 Spark 写入范围不重叠的文件。

下图说明了在对表进行排序时如何提高列统计数据的效率。在示例中，排序后的表只需要打开一个文件，并且可以最大限度地受益于 Iceberg 的分区和文件。在未排序的表中，任何数据文件中都`uuid`可能存在任何数据，因此查询必须打开所有数据文件。

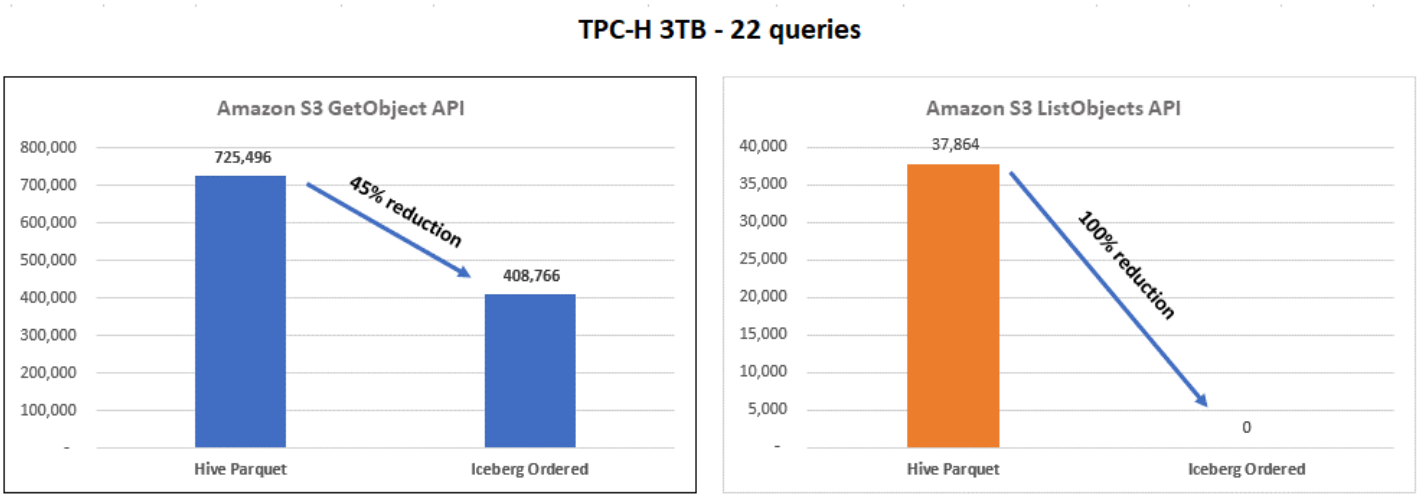


更改排序顺序不会影响现有的数据文件。你可以使用 Iceberg compaction 对它们应用排序顺序。

如下图所示，使用 Iceberg 排序的表格可能会降低工作负载成本。



这些图表汇总了运行Hive（Parquet）表的TPC-H基准测试与Iceberg排序表的结果。但是，对于其他数据集或工作负载，结果可能会有所不同。



优化写入性能

本节讨论表属性，您可以调整这些属性以优化 Iceberg 表的写入性能，不受引擎影响。

设置表格分发模式

Iceberg 提供多种写入分配模式，用于定义写入数据在 Spark 任务中的分布方式。有关可用模式的概述，请参阅 Iceberg 文档中的编写分发模式。

对于优先考虑写入速度的用例，尤其是在流式工作负载中，`write.distribution-mode`请设置为`none`。这样可以确保 Iceberg 不会请求额外的 Spark 洗牌，并且可以在 Spark 任务中可用时写入数据。此模式特别适用于 Spark 结构化流媒体应用程序。

> **Note**
>
> 将写入分配模式设置为`none`往往会生成大量小文件，从而降低读取性能。我们建议定期进行压缩，将这些小文件整合到大小合适的文件中，以提高查询性能。

选择正确的更新策略

当您的用例可以接受对最新数据执行较慢的读取操作时，请使用 merge-on-read策略来优化写入性能。

使用时 merge-on-read，Iceberg 会将更新和删除内容作为单独的小文件写入存储器。读取表格时，读者必须将这些更改与基础文件合并，以返回最新的数据视图。这会导致读取操作的性能下降，但会加快更新和删除的写入速度。通常， merge-on-read对于具有更新的流式处理工作负载或更新较少且分布在多个表分区中的任务来说，它是理想的选择。

可以在表级别设置 merge-on-read配置（`write.update.mode`、`write.delete.mode`和`write.merge.mode`），也可以在应用程序端单独设置。

使用 merge-on-read需要定期进行压缩，以防止读取性能随着时间的推移而下降。Compaction 可将更新和删除与现有数据文件进行协调，以创建一组新的数据文件，从而消除读取方面产生的性能损失。默认情况下，除非您将`delete-file-threshold`属性的默认值更改为较小的值，否则Iceberg的压缩不会合并删除文件（请参阅 Iceberg 文档）。要了解有关压实的更多信息，请参阅本指南后面的冰山压实部分。

选择正确的文件格式

Iceberg 支持以 Parquet、ORC 和 Avro 格式写入数据。镶木地板是默认格式。Parquet 和 ORC 是列式格式，可提供卓越的读取性能，但通常写入速度较慢。这代表了读取和写入性能之间的典型权衡。

如果写入速度对您的用例很重要，例如在流媒体工作负载中，请考虑在编写器的选项Avro中设置为write-format，以 Avro 格式写入。由于 Avro 是一种基于行的格式，因此它以较慢的读取性能为代价提供更快的写入时间。

要提高读取性能，请定期进行压缩，将小 Avro 文件合并并转换为较大的 Parquet 文件。压实过程的结果受制于write.format.default表格设置。Iceberg 的默认格式是 Parquet，因此，如果你用 Avro 编写然后运行压缩，Iceberg 会将 Avro 文件转换为 Parquet 文件。示例如下：

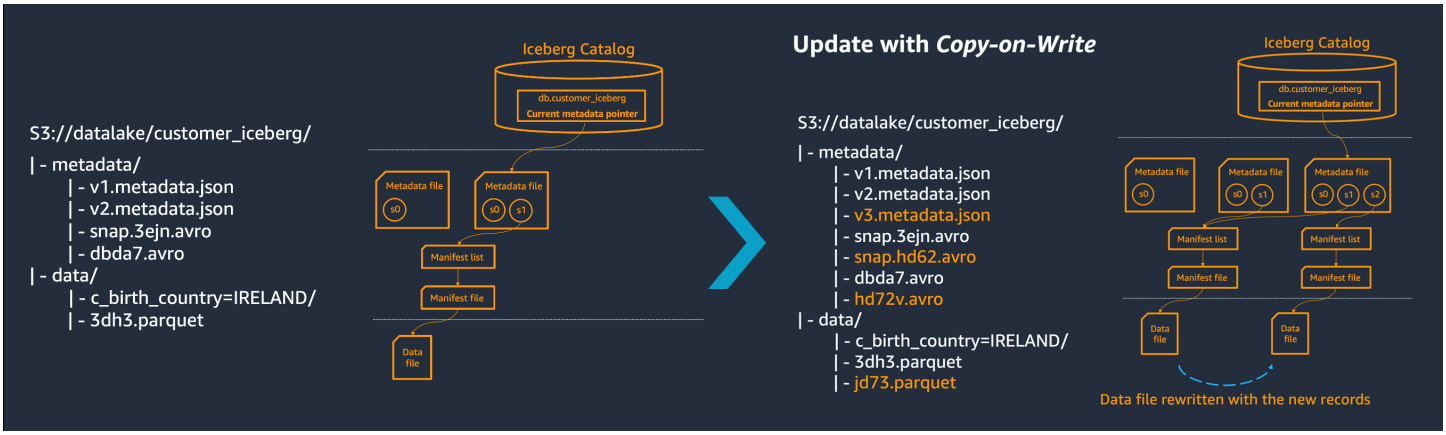
```
spark.sql(f"""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS glue_catalog.{DB_NAME}.{TABLE_NAME} (
        Col_1 float,
        <<<…other columns…>>
        ts timestamp)
    USING iceberg
    PARTITIONED BY (days(ts))
    OPTIONS (
      'format-version'='2',
      write.format.default'=parquet)
""")

query = df \
    .writeStream \
    .format("iceberg") \
    .option("write-format", "avro") \
    .outputMode("append") \
    .trigger(processingTime='60 seconds') \
    .option("path", f"glue_catalog.{DB_NAME}.{TABLE_NAME}") \
    .option("checkpointLocation", f"s3://{BUCKET_NAME}/checkpoints/iceberg/")

    .start()
```

优化存储

更新或删除 Iceberg 表中的数据会增加数据的副本数量，如下图所示。运行压缩也是如此：它增加了 Amazon S3 中的数据副本数量。这是因为 Iceberg 将所有表的底层文件视为不可变的。



按照本节中的最佳实践来管理存储成本。

启用 S3 智能分层

当访问模式发生变化时，使用 Amazon S3 智能分层存储类自动将数据移至最具成本效益的访问层。此选项没有操作开销或对性能的影响。

注意：请勿在带有 Iceberg 表的 S3 智能分层中使用可选层（例如存档访问和深度存档访问权限）。要存档数据，请参阅下一节中的指南。

您也可以使用 Amazon S3 生命周期规则来设置自己的规则，以便将对象移动到其他 Amazon S3 存储类别，例如 S3 标准-IA 或 S3 One Zone-IA（请参阅 Amazon S3 文档中支持的过渡和相关限制）。

存档或删除历史快照

对于向 Iceberg 表提交的每笔事务（插入、更新、合并、压缩），都会创建该表的新版本或快照。随着时间的推移，Amazon S3 中的版本数量和元数据文件数量会不断增加。

快照隔离、表回滚和时空旅行查询等功能需要保留表的快照。但是，存储成本会随着您保留的版本数量的增加而增加。

下表描述了您可以实施的设计模式，以根据您的数据保留要求管理成本。

设计模式	解决方案	使用案例
删除旧快照	• 使用 Athena 中的 VACUUM 语句删除旧的快照。此操作不会产生任何计算成本。	这种方法会删除不再需要的快照以降低存储成本。您可以根据数据保留要求配置应保留多少快照或保留多长时间。

设计模式	解决方案	使用案例
	• 或者，你可以在亚马逊 EMR 上使用 Spark 或 AWS Glue 删除快照。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的 expire_snapshots。	此选项对快照执行硬删除。您无法回滚或穿越到过期的快照。
为特定快照设置保留策略	1. 在 Iceberg 中使用标签标记特定的快照并定义保留策略。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的历史标签。 例如，您可以在 Amazon EMR 上的 Spark 中使用以下 SQL 语句，每月保留一个快照，为期一年： `ALTER TABLE glue_catalog.db.table CREATE TAG 'EOM-01' AS OF VERSION 30 RETAIN 365 DAYS` 2. 在 Amazon EMR 上使用 Spark 或 AWS Glue 删除剩余的未加标签的中间快照。	这种模式有助于遵守业务或法律要求，这些要求您显示过去给定时刻的表格状态。通过对特定的带标签的快照设置保留政策，您可以删除已创建的其他（未标记的）快照。这样，您无需保留创建的每个快照即可满足数据保留要求。

设计模式	解决方案	使用案例
存档旧快照	1. 使用 Amazon S3 标签用 Spark 标记对象。（Amazon S3 标签与 Iceberg 标签不同；有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档。）例如： `spark.sql.catalog.my_catalog.s3.delete-enabled=false and \ spark.sql.catalog.my_catalog.s3.delete.tags.my_key=to_archive` 2. 在 Amazon EMR 上使用 Spark 或删除 AWS Glue快照。当您使用示例中的设置时，此过程会标记对象并将其与 Iceberg 表元数据分离，而不是将其从 Amazon S3 中删除。 3. 使用 S3 生命周期规则将标记为 `to_archive` 的对象过渡到 S3 Glacier 存储类之一。 4. 要查询存档数据，请执行以下操作： • 恢复存档对象（如果对象已转换为 Amazon Glacier 即时检索存储类别，则无需执行此步骤）。 • 使用 Iceberg 中的 register_table 过程将快照注册为目录中的表。	这种模式允许您以较低的成本保留所有表版本和快照。 如果不先将这些版本恢复为新表，就无法穿越时空或回滚到存档的快照。出于审计目的，这通常是可以接受的。 您可以将此方法与以前的设计模式相结合，为特定的快照设置保留策略。

设计模式	解决方案	使用案例
	有关详细说明，请参阅 AWS 博客文章提高在 Amazon S3 数据湖上构建的 Apache Iceberg 表的操作效率。	

删除孤立文件

在某些情况下，Iceberg 应用程序可能会在您提交事务之前失败。这会将数据文件留在 Amazon S3 中。由于没有提交，因此这些文件不会与任何表相关联，因此您可能需要异步清理它们。

要处理这些删除，您可以使用亚马逊 Athena 中的 V ACUUM 语句。此语句删除快照并删除孤立文件。这非常具有成本效益，因为 Athena 不收取此操作的计算成本。此外，在使用该VACUUM语句时，您不必安排任何其他操作。

或者，您可以在 Amazon EMR 上使用 Spark 或 AWS Glue 运行该程序。`remove_orphan_files`此操作会产生计算成本，并且必须单独进行计划。有关更多信息，请参阅 Iceberg 文档。

使用压缩来维护表格

Iceberg 包含的功能使您能够在向表写入数据后执行表维护操作。一些维护操作侧重于简化元数据文件，而另一些维护操作则增强了数据在文件中的聚集方式，以便查询引擎可以有效地找到响应用户请求所需的信息。本节重点介绍与压缩相关的优化。

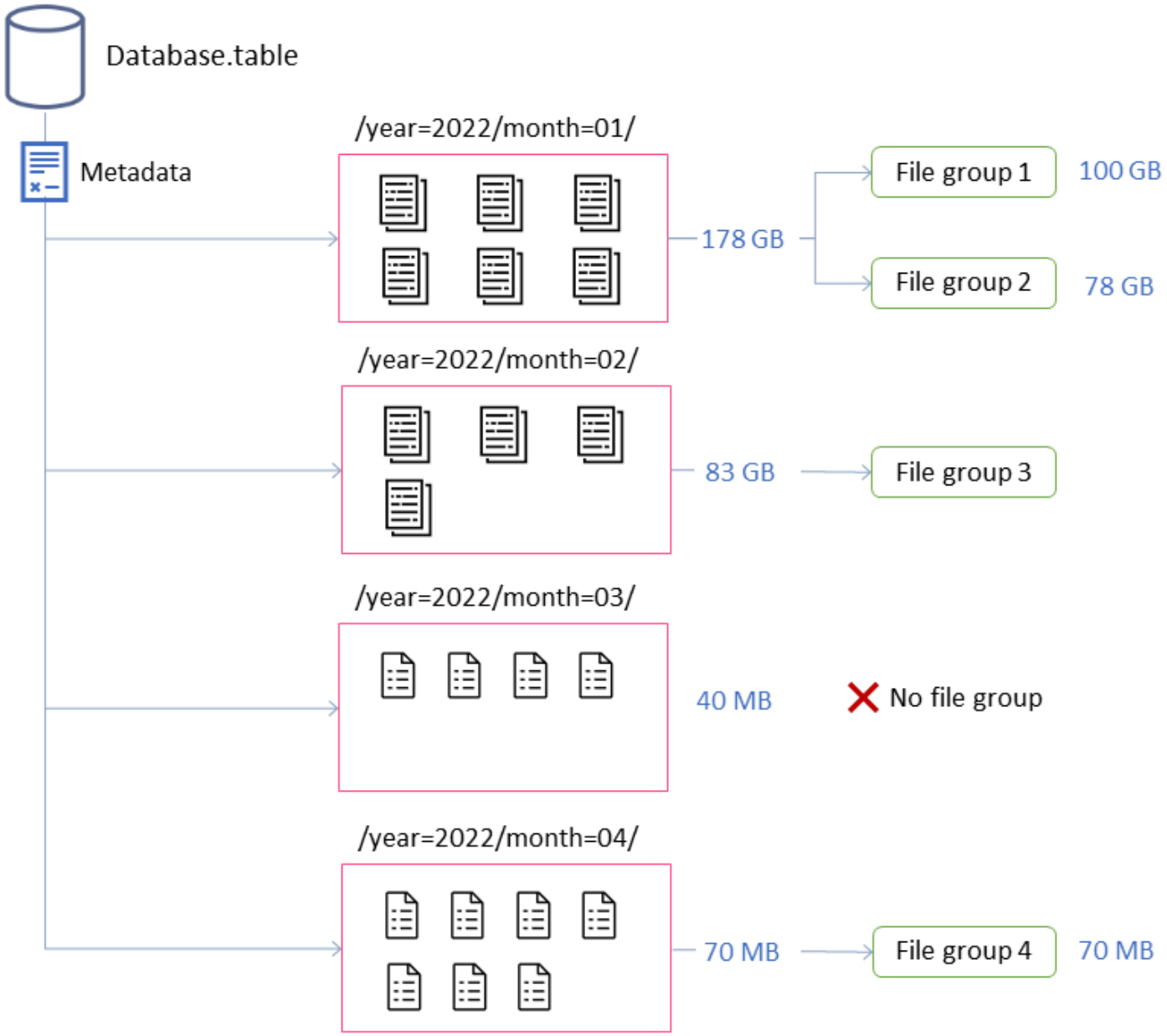
冰山压实

在 Iceberg 中，您可以使用压实来执行四项任务：

- 将小文件合并成通常超过 100 MB 的大文件。这种技术被称为垃圾箱包装。
- 将删除文件与数据文件合并。删除文件是由使用该 merge-on-read方法的更新或删除生成的。
- （重新）根据查询模式对数据进行排序。可以在没有任何排序顺序的情况下写入数据，也可以使用适合写入和更新的排序顺序写入数据。
- 使用空间填充曲线对数据进行聚类，以优化不同的查询模式，尤其是 z 顺序排序。

开启后 AWS，你可以通过 Amazon Athena 或者在亚马逊 EMR 中使用 Spark 或。 AWS Glue

使用 rewrite_data_files 过程运行压缩时，可以调整多个旋钮来控制压缩行为。下图显示了装箱的默认行为。了解垃圾箱压缩是理解分层排序和 Z 顺序排序实现的关键，因为它们是垃圾箱打包界面的扩展，操作方式类似。主要区别在于对数据进行排序或聚类所需的额外步骤。



在此示例中，Iceberg 表由四个分区组成。每个分区的大小不同，文件数量也不同。如果您启动 Spark 应用程序来运行压缩，则该应用程序总共会创建四个要处理的文件组。文件组是 Iceberg 抽象，它表示将由单个 Spark 作业处理的一组文件。也就是说，运行压缩的 Spark 应用程序将创建四个 Spark 作业来处理数据。

调整压实行为

以下关键属性控制如何选择数据文件进行压缩：

- 默认情况下，MAX_FILE_GROUP_SIZE_BYTES 将单个文件组（Spark 作业）的数据限制设置为 100 GB。对于没有分区的表或分区跨越数百 GB 的表，此属性尤其重要。通过设置此限制，您可以分解操作以计划工作并取得进展，同时防止群集上的资源耗尽。

  注意：每个文件组都是单独排序的。因此，如果要执行分区级排序，则必须调整此限制以匹配分区大小。

- MIN_FILE_SIZE_BYTES 或 MIN_ FILE_SIZE_DEFAULT_RATIO 默认为在表级别设置的目标文件大小的 7 5%。例如，如果表的目标大小为 512 MB，则任何小于 384 MB 的文件都将包含在要压缩的文件集中。
- MAX_FILE_SIZE_BYTES 或 MAX_FILE_ SIZE_DEFAULT_RATIO 默认为目标文件大小的180%。与设置最小文件大小的两个属性一样，这些属性用于识别压缩作业的候选文件。
- MIN_INP UT_FILES 指定表分区大小小于目标文件大小时要压缩的最小文件数。此属性的值用于确定是否值得根据文件数（默认为 5）压缩文件。
- D@@ ELETE_FILE_TH RESHOLD 指定文件在压缩中包含之前对其执行的最小删除操作次数。除非您另行指定，否则压缩不会将删除文件与数据文件合并。要启用此功能，必须使用此属性设置阈值。此阈值特定于单个数据文件，因此，如果将其设置为 3，则仅当有三个或更多引用数据文件的删除文件时，才会重写该数据文件。

这些属性可以深入了解上图中文件组的形成情况。

例如，标记为的分区`month=01`包括两个文件组，因为它超过了 100 GB 的最大大小限制。相比之下，该`month=02`分区包含单个文件组，因为它小于 100 GB。该`month=03`分区不满足默认的最低输入文件要求，即五个文件。因此，它不会被压实。最后，尽管该`month=04`分区包含的数据不足以形成所需大小的单个文件，但由于该分区包含五个以上的小文件，因此文件将被压缩。

您可以为在亚马逊 EMR 上运行的 Spark 设置这些参数，或者。 AWS Glue对于 Amazon Athena，您可以使用以前缀开头的表属性来管理类似的属性）。`optimize_`

在亚马逊 EMR 上使用 Spark 运行压缩或 AWS Glue

本节介绍如何正确调整 Spark 集群的大小以运行 Iceberg 的压缩实用程序。以下示例使用 Amazon EMR Serverless，但您可以在 EC2 或 EKS 上的 Amazon EMR 中或中使用相同的方法。 AWS Glue

您可以利用文件组和 Spark 作业之间的关联来规划群集资源。要按顺序处理文件组，考虑到每个文件组的最大大小为 100 GB，可以设置以下 Spark 属性：

- `spark.dynamicAllocation.enabled = FALSE`
- `spark.executor.memory = 20 GB`
- `spark.executor.instances = 5`

如果要加快压缩速度，则可以通过增加并行压缩的文件组的数量来横向扩展。您还可以使用手动或动态扩展来扩展 Amazon EMR。

- 手动缩放（例如，按系数 4）
  - `MAX_CONCURRENT_FILE_GROUP_REWRITES=4`（我们的因素）
  - `spark.executor.instances=5`（示例中使用的值）x4（我们的因子）= 20
  - `spark.dynamicAllocation.enabled = FALSE`
- 动态缩放
  - `spark.dynamicAllocation.enabled=TRUE` （默认，无需执行任何操作）
  - MAX_CONCURRENT_FILE_GROUP_RE WRITES =N （将此值与`spark.dynamicAllocation.maxExecutors`，默认值为 100；根据示例中的执行器配置，您可以将其设置为 20）N

  这些是帮助调整集群规模的指导方针。但是，您还应该监控 Spark 作业的性能，以找到最适合您的工作负载的设置。

使用亚马逊 Athena 进行压缩

Athena 通过 OPTIMIZE 语句提供了 Iceberg 压缩实用程序作为托管功能的实现。您可以使用此语句来运行压缩，而不必评估基础架构。

此语句使用垃圾箱打包算法将小文件分组为较大的文件，并将删除文件与现有数据文件合并。要使用分层排序或 z 顺序排序对数据进行聚类，请在 Amazon EM AWS Glue R 上使用 Spark 或。

可以在创建表时通过在`OPTIMIZE`语句中传递表属性来更改该语句的默认行为，也可以在创建表之后使用该`CREATE TABLE`语句来更改该`ALTER TABLE`语句的默认行为。有关默认值，请参阅 Athena 文档。

跑步压实的建议

使用案例	建议
按计划运行垃圾箱压实	• 如果您不知道OPTIMIZE表中包含多少小文件，请使用 Athena 中的语句。Athena 的定价模型基于扫描的数据，因此，如果没有要压缩的文件，则不会产生与这些操作相关的成本。为避免在 Athena 表上遇到超时，OPTIMIZE请按基础运行。 per-table-partition • 如果您希望压缩大量小文件 AWS Glue ，请使用 Amazon EMR 或动态扩展。
根据事件对垃圾箱进行装箱压实	• 如果您希望压缩大量小文件 AWS Glue ，请使用 Amazon EMR 或动态扩展。
运行压缩来对数据进行排序	• 使用 Amazon EMR 或 AWS Glue，因为排序是一项昂贵的操作，可能需要将数据泄漏到磁盘。
运行压缩以使用 z 顺序排序对数据进行聚类	• 使用 Amazon EMR 或 AWS Glue，因为 z 顺序排序是一项非常昂贵的操作，可能需要将数据泄漏到磁盘。
在由于数据迟到而可能被其他应用程序更新的分区上运行压缩	• 使用 Amazon EMR 或。 AWS Glue启用 Iceberg 部分_PROGRESS_ENABLED 属性。使用此选项时，Iceberg 会将压缩输出拆分为多个提交。如果发生冲突（也就是说，如果在压缩运行时更新了数据文件），则此设置将重试限制为包含受影响文件的提交，从而降低了重试成本。否则，您可能需要重新压缩所有文件。
在冷分区（不再接收活动写入的数据分区）上运行压缩	• 使用 Amazon EMR 或。 AWS Glue在此rewrite_data_files 过程中，指定排除主动写入分区的where谓词。这种策略可以

使用案例	建议
	防止写入器和压缩作业之间的数据冲突，只留下 Iceberg 可以自动解决的元数据冲突。

在 Amazon S3 中使用冰山工作负载

本节讨论了可用于优化 Iceberg 与 Amazon S3 交互的 Iceberg 属性。

防止热分区（HTTP 503 错误）

在 Amazon S3 上运行的某些数据湖应用程序可以处理数百万或数十亿个对象并处理数 PB 的数据。这可能导致前缀接收大量流量，通常通过 HTTP 503（服务不可用）错误检测到这些流量。为防止出现此问题，请使用以下 Iceberg 属性：

- 设置`write.distribution-mode`为`range`左`hash`右，Iceberg 会写入大文件，从而减少 Amazon S3 请求。这是首选配置，应能解决大多数情况。
- 如果由于工作负载中有大量数据而继续出现 503 错误，则可以在 Iceberg `true` 中`write.object-storage.enabled`将其设置为。这指示 Iceberg 对对象名称进行哈希处理，并将负载分配到多个随机的 Amazon S3 前缀中。

有关这些属性的更多信息，请参阅 Iceberg 文档中的写入属性。

使用 Iceberg 维护操作来释放未使用的数据

要管理 Iceberg 表，你可以使用 Iceberg 核心 API、Iceberg 客户端（例如 Spark）或托管服务，例如亚马逊 Athena。要从 Amazon S3 中删除旧文件或未使用的文件，我们建议您仅使用 Iceberg 原生文件 APIs 来删除快照、移除旧的元数据文件和删除孤立文件。

APIs 通过 Boto3、Amazon S3 软件开发工具包或 AWS Command Line Interface (AWS CLI) 使用 Amazon S3，或者使用任何其他非 Iceberg 方法覆盖或删除 Iceberg 表的 Amazon S3 文件会导致表损坏和查询失败。

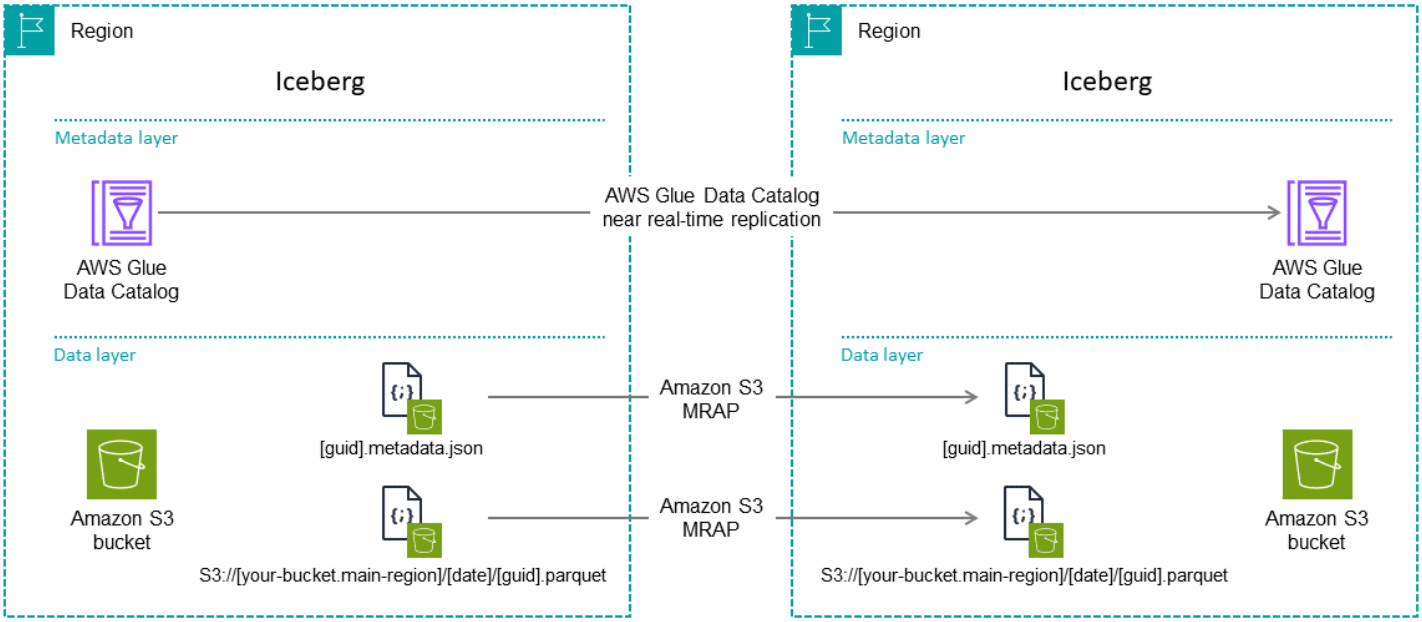
跨复制数据 AWS 区域

在 Amazon S3 中存储 Iceberg 表时，您可以使用 Amazon S3 中的内置功能，例如跨区域复制 (CRR) 和多区域接入点 (MRAP)，跨多个区域复制数据。 AWS 区域 MRAP 为应用程序提供了一个全局端

点，用于访问位于多个存储桶中的 S3 存储桶。 AWS 区域 Iceberg 不支持相对路径，但您可以使用 MRAP 通过将存储桶映射到接入点来执行 Amazon S3 操作。MRAP 还与 Amazon S3 跨区域复制流程无缝集成，后者会导致长达 15 分钟的延迟。您必须同时复制数据和元数据文件。

> **Important**
>
> 目前，Iceberg 与 MRAP 的集成仅适用于 Apache Spark。如果您需要故障转移到辅助服务器 AWS 区域，则必须计划将用户查询重定向到故障转移区域中的 Spark SQL 环境（例如 Amazon EMR）。

CRR 和 MRAP 功能可帮助您为 Iceberg 表构建跨区域复制解决方案，如下图所示。



要设置此跨区域复制架构，请执行以下操作：

1. 使用 MRAP 位置创建表。这样可以确保 Iceberg 元数据文件指向 MRAP 位置而不是物理存储桶位置。
2. 使用 Amazon S3 MRAP 复制 Iceberg 文件。 MRAP 支持数据复制，服务级别协议 (SLA) 为 15 分钟。Iceberg 可防止读取操作在复制过程中引入不一致。
3. 使表在辅助区域 AWS Glue Data Catalog 中可用。可从两个选项中选择：
   - 使用 AWS Glue Data Catalog 复制设置用于复制 Iceberg 表元数据的管道。此实用程序在 GitHub Glue Catalog 和 Lake Formation 权限复制存储库中可用。这种事件驱动的机制根据事件日志复制目标区域中的表。

- 当您需要进行故障转移时，请在辅助区域中注册表。对于此选项，您可以使用之前的实用程序或 Iceberg regi ster_table 过程并将其指向最新的文件。`metadata.json`

监控 Apache 冰山工作负载

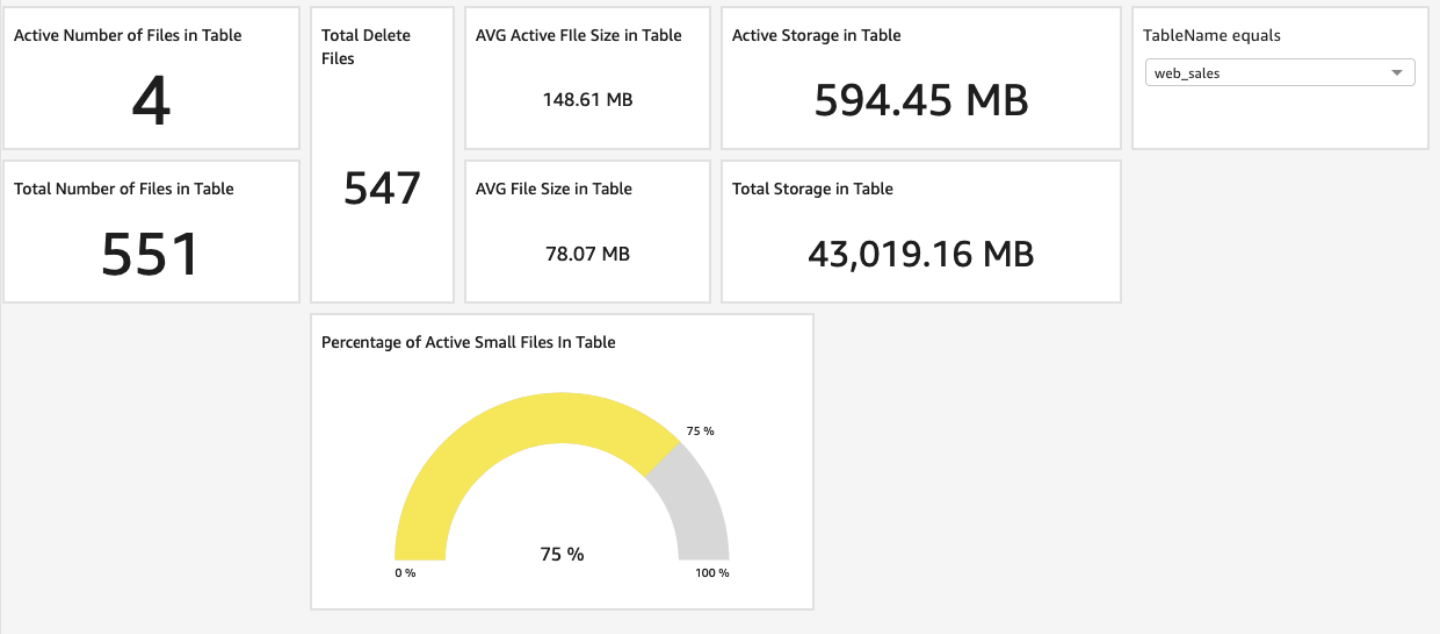
要监控 Iceberg 工作负载，您有两种选择：分析元数据表或使用指标报告器。指标报告器在 Iceberg 版本 1.2 中引入，仅适用于 REST 和 JDBC 目录。

如果您正在使用 AWS Glue Data Catalog，则可以通过在 Iceberg 公开的元数据表上设置监控来深入了解 Iceberg 表的运行状况。

监控对于性能管理和故障排除至关重要。例如，当 Iceberg 表中的分区达到一定比例的小文件时，您的工作负载可以启动压缩作业，将这些文件整合为更大的文件。这样可以防止查询速度超过可接受的水平。

表级监控

以下屏幕显示了在 Amazon Quick Sight 中创建的表格监控控制面板。此仪表板使用 Spark SQL 查询 Iceberg 元数据表，并捕获活动文件数量和总存储空间等详细指标。然后，这些信息存储在 AWS Glue 表中以供操作。最后，使用 Amazon Athena 创建了 Quick Sight 控制面板，如下图所示。这些信息可帮助您识别和解决系统中的特定问题。



示例 Quick Sight 仪表板收集了 Iceberg 表的以下关键性能指标 (KPIs)：

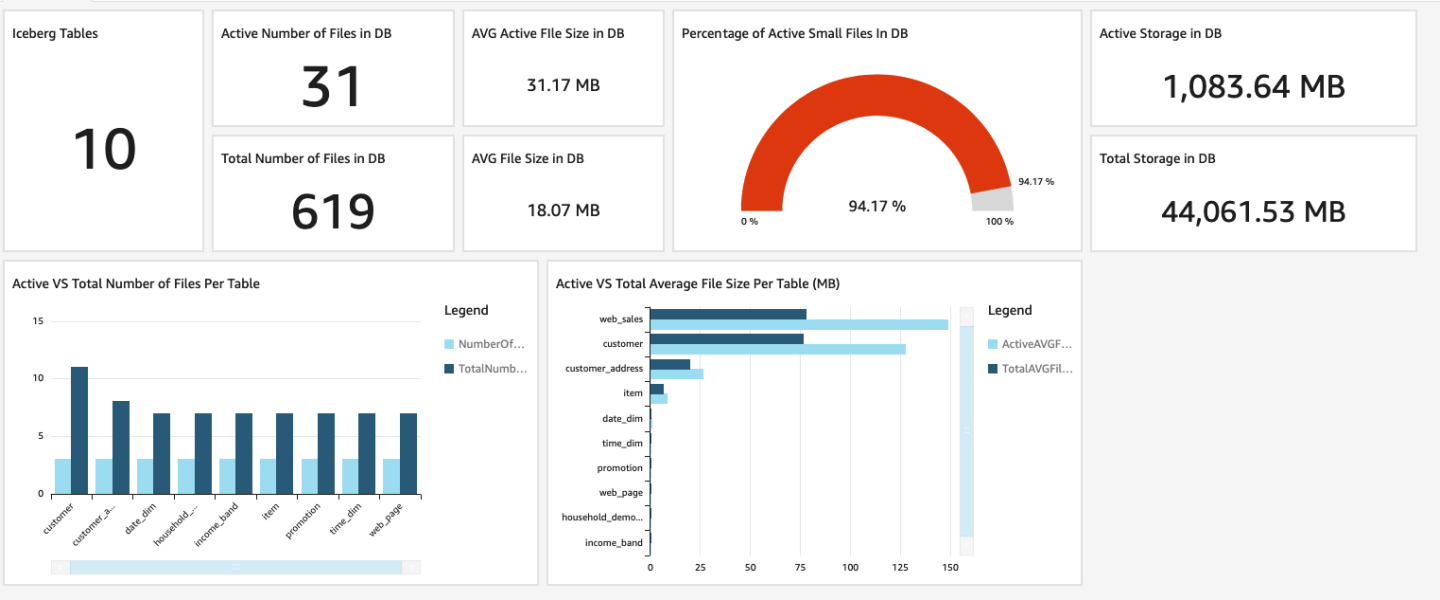
关键绩效指标	描述	Query
文件数量	Iceberg 表中的文件数（适用于所有快照）	`select count(*) from <catalog.database.table_name>.all_files`
活动文件数	冰山表最后一次快照中的活动文件数	`select count(*) from <catalog.database.table_name>.files`
平均文件大小	Iceberg 表中所有文件的平均文件大小（以兆字节为单位）	`select avg(file_size_in_bytes)/1000000 from <catalog.database.table_name>.all_files`
平均活动文件大小	Iceberg 表中活动文件的平均文件大小（以兆字节为单位）	`select avg(file_size_in_bytes)/1000000 from <catalog.database.table_name>.files`
小文件的百分比	小于 100 MB 的活动文件所占的百分比	`select cast(sum( case when file_size_in_bytes < 100000000 then 1 else 0 end)*100/count(*) as decimal(10,2)) from <catalog.database.table_name>.files`
存储空间总大小	表中所有文件的总大小，不包括孤立文件和 Amazon S3 对象版本（如果启用）	`select sum(file_size_in_bytes)/1000000 from <catalog.database.table_name>.all_files`

关键绩效指标	描述	Query
活动存储空间总大小	给定表的当前快照中所有文件的总大小	`select sum(file_size_in_bytes)/1000000 from <catalog.database.table_name>.files`

有关创建仪表板的更多信息，请参阅 Quick Sight 文档。

数据库级监控

以下示例显示了在 Quick Sight 中创建的监控仪表板， KPIs 用于概述一组 Iceberg 表的数据库级别。



此控制面板收集以下内容 KPIs：

关键绩效指标	描述	Query
文件数量	Iceberg 数据库中的文件数（适用于所有快照）	此仪表板使用上一节中提供的表格级查询并合并结果。

关键绩效指标	描述	Query
活动文件数	Iceberg 数据库中活动文件的数量（基于 Iceberg 表的最后一次快照）	
平均文件大小	Iceberg 数据库中所有文件的平均文件大小（以兆字节为单位）	
平均活动文件大小	Iceberg 数据库中所有活动文件的平均文件大小（以兆字节为单位）	
小文件的百分比	Iceberg 数据库中小于 100 MB 的活动文件的百分比	
存储空间总大小	数据库中所有文件的总大小，不包括孤立文件和 Amazon S3 对象版本（如果启用）	
活动存储空间总大小	数据库中所有表的当前快照中所有文件的总大小	

预防性维护

通过设置前几节中讨论的监控功能，您可以从预防性角度而不是被动角度进行表维护。例如，您可以使用表级和数据库级别的指标来计划诸如以下的操作：

- 当表格达到 N 个小文件时，使用垃圾箱压缩对小文件进行分组。
- 当表达到 N 个给定分区中的删除文件时，使用 bin 打包压缩合并删除文件。
- 当总存储空间比活动存储量高 X 倍时，通过移除快照来移除已经压缩的小文件。

Apache Iceberg 的治理和访问控制 AWS

Apache Iceberg 与集成 AWS Lake Formation 以简化数据治理。这种集成允许数据湖管理员为 Iceberg 表分配单元级别的访问权限。有关使用 Amazon Athena 和查询 Iceberg 表的示例， AWS 请参阅博客文章使用 AWS Lake Formation Amazon Athena 与 Apache Iceberg 表交互以及使用跨账户细粒度权限进行交互。 AWS Lake Formation

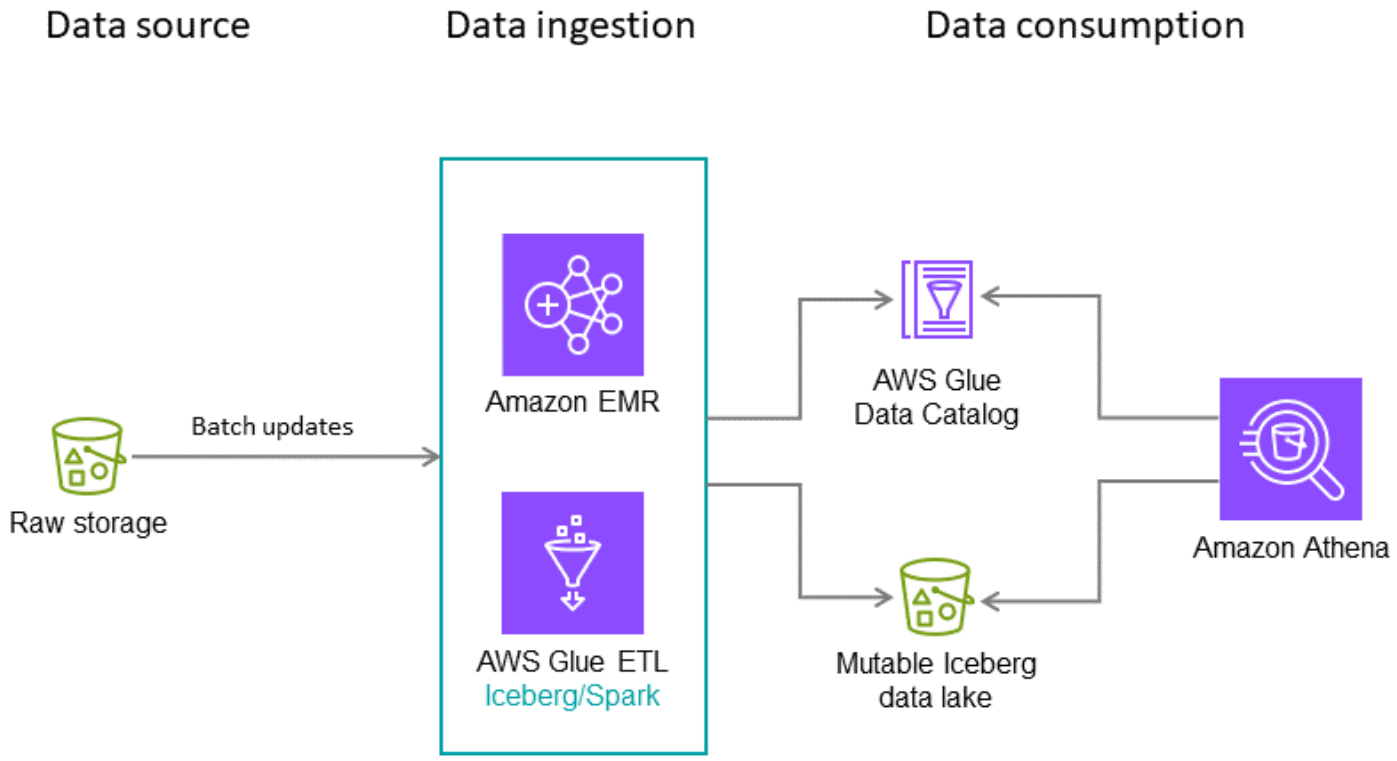
Apache Iceberg 的参考架构 AWS

本节提供了如何将最佳实践应用于不同用例的示例，例如批量摄取以及将批处理和流式数据摄取相结合的数据湖。

每晚批量摄取

对于这个假设的用例，假设你的 Iceberg 桌每晚都会提取信用卡交易。每个批次仅包含增量更新，必须将其合并到目标表中。每年收到几次完整的历史数据。对于这种情况，我们建议使用以下架构和配置。

注意：这只是一个示例。最佳配置取决于您的数据和要求。



建议

- 文件大小：128 MB，因为 Apache Spark 任务以 128 MB 的区块处理数据。
- 写入类型: copy-on-write. 如本指南前面所述，这种方法有助于确保以读取优化的方式写入数据。
- 分区变量:year/month/day. 在我们的假设用例中，我们查询最新数据的频率最高，尽管我们偶尔会对过去两年的数据进行全表扫描。分区的目标是根据用例的要求推动快速读取操作。
- 排序顺序：时间戳

- 数据目录： AWS Glue Data Catalog

结合了批量和近乎实时的数据湖

您可以在 Amazon S3 上配置数据湖，以便跨账户和地区共享批处理和流式传输数据。有关架构图和详细信息，请参阅 AWS 博客文章使用 Apache Iceberg 构建交易数据湖， AWS Glue以及使用和 Amazon AWS Lake Formation Athena 进行跨账户数据共享。

资源

- 在 AWS Glue（AWS Glue 文档）中使用 Iceberg 框架
- Iceberg（亚马逊 EMR 文档）
- 使用 Apache Iceberg 表（亚马逊 Athena 文档）
- Amazon S3 文档
- 快速文档
- Glue Catalog 和 Lake Formation 权限复制（GitHub 存储库）
- Apache Iceberg 文档
- Apache Spark 文档

贡献者

以下人员撰 AWS 写、共同撰写和审阅了本指南。

贡献者

- Stefano Sandona，大数据解决方案架构师
- Imtiaz (Taz) Sayed，分析解决方案架构师技术负责人
- Shana Schipers，大数据解决方案架构师
- Prashant Singh，Amazon EMR 软件开发工程师
- Arun A K，大数据和 ETL 解决方案架构师
- 弗朗西斯科·莫里洛，流媒体解决方案架构师
- Suthan Phillips，分析架构师，亚马逊 EMR
- Sercan Karaoglu，解决方案架构师
- Yonatan Dolan，分析专家
- 盖伊·巴查尔，解决方案架构师
- Sofia Zilberman，流媒体解决方案架构师
- Dan Stair，专业解决方案架构师
- Sakti Mishra，解决方案架构师
- Ron Ortloff，亚马逊 S3 首席产品经理
- 张大卫，分析解决方案架构师

审稿人

- Rick Sears，亚马逊 EMR 总经理
- Linda OConnor，亚马逊 EMR 专家
- Ian Meyers，亚马逊 EMR 总监
- Vinita Ananth，亚马逊 EMR 产品管理总监
- 杰森·伯科维茨，产品经理 AWS Lake Formation
- Mahesh Mishra，亚马逊 Redshift 产品经理
- 弗拉基米尔·兹拉特金，大数据解决方案架构经理
- Karthik Prabhakar，分析架构师，亚马逊 EMR

- Vijay Jain，产品经理
- Anupriti Warade，亚马逊 S3 产品经理
- Ajit Tandale，解决方案架构师，数据
- Gwen Chen，产品营销经理
- 关山则隆，首席架构师，大数据

文档历史记录

下表介绍了本指南的一些重要更改。如果您希望收到有关未来更新的通知，可以订阅 RSS 源。

变更	说明	日期
新章节	添加了有关使用 Iceberg 表格格式规范版本 3 的信息。	2025 年 11 月 26 日
更正	更正了快照过程部分中有关`gc.enabled` 设置的信息。	2025 年 10 月 24 日
补充	添加了有关使用 Trino 和处理 Iceberg 表的新章节 PyIceberg，并扩展了有关将表迁移到 Iceberg 的部分。	2025 年 8 月 12 日
更新	对整个指南中的信息进行了增强和澄清，以反映最新版本的 Amazon EMR 和 Apache Iceberg。 AWS Glue	2025 年 7 月 14 日
补充	添加了有关使用 Amazon Data Firehose 处理 Iceberg 表的新章节。	2025 年 2 月 20 日
初次发布	—	2024 年 4 月 30 日

AWS 规范性指导词汇表

以下是 AWS 规范性指导提供的策略、指南和模式中的常用术语。若要推荐词条，请使用术语表末尾的提供反馈链接。

数字

7 R

将应用程序迁移到云中的 7 种常见迁移策略。这些策略以 Gartner 于 2011 年确定的 5 R 为基础，包括以下内容：

- 重构/重新架构：充分利用云原生功能来提高敏捷性、性能和可扩展性，以迁移应用程序并修改其架构。这通常涉及到移植操作系统和数据库。示例：将本地 Oracle 数据库迁移到 Amazon Aurora PostgreSQL 兼容版。
- 更换平台：将应用程序迁移到云中，并进行一定程度的优化，以利用云功能。示例：将本地 Oracle 数据库迁移到 AWS Cloud中的 Amazon Relational Database Service（Amazon RDS）for Oracle。
- 重新购买：转换到其他产品，通常是从传统许可转向 SaaS 模式。示例：将客户关系管理（CRM）系统迁移到 Salesforce.com。
- 重新托管（直接迁移）：将应用程序迁移到云中，无需进行任何更改即可利用云功能。示例：将本地 Oracle 数据库迁移到 AWS Cloud中 EC2 实例上的 Oracle。
- 重新放置（虚拟机监控器级直接迁移）：将基础设施迁移到云中，无需购买新硬件、重写应用程序或修改现有操作。您将服务器从本地平台迁移到同一平台的云服务中。示例：将Microsoft Hyper-V应用程序迁移到 AWS。
- 保留（重访）：将应用程序保留在源环境中。其中可能包括需要进行重大重构的应用程序，并且您希望将工作推迟到以后，以及您希望保留的遗留应用程序，因为迁移它们没有商业上的理由。
- 停用：停用或删除源环境中不再需要的应用程序。

A

ABAC

请参阅基于属性的访问控制。

抽象服务

请参阅托管服务。

ACID

请参阅原子性、一致性、隔离性、持久性。

主动-主动迁移

一种数据库迁移方法，在这种方法中，源数据库和目标数据库保持同步（通过使用双向复制工具或双写操作），两个数据库都在迁移期间处理来自连接应用程序的事务。这种方法支持小批量、可控的迁移，而不需要一次性割接。它比主动-被动迁移更灵活，但工作量更大。

主动-被动迁移

一种数据库迁移方法，在这种方法中，源数据库和目标数据库保持同步，但在将数据复制到目标数据库时，只有源数据库处理来自连接应用程序的事务。目标数据库在迁移期间不接受任何事务。

聚合函数

一种 SQL 函数，它对一组行进行操作并计算该组的单个返回值。聚合函数的示例包括 SUM 和 MAX。

AI

请参阅人工智能。

AIOps

请参阅人工智能运营。

匿名化

永久删除数据集中个人信息的过程。匿名化可以帮助保护个人隐私。匿名化数据不再被视为个人数据。

反模式

一种用于解决反复出现的问题的常用解决方案，而在这类问题中，此解决方案适得其反、无效或不如替代方案有效。

应用程序控制

一种安全方法，仅允许使用经批准的应用程序，以帮助保护系统免受恶意软件的侵害。

应用程序组合

有关组织使用的每个应用程序的详细信息的集合，包括构建和维护该应用程序的成本及其业务价值。这些信息是产品组合发现和分析过程的关键，有助于识别需要进行迁移、现代化和优化的应用程序并确定其优先级。

人工智能（AI）

计算机科学领域致力于使用计算技术执行通常与人类相关的认知功能，例如学习、解决问题和识别模式。有关更多信息，请参阅什么是人工智能？

人工智能操作 (AIOps)

使用机器学习技术解决运营问题、减少运营事故和人为干预以及提高服务质量的过程。有关如何在 AIOps AWS 迁移策略中使用的更多信息，请参阅操作集成指南。

非对称加密

一种加密算法，使用一对密钥，一个公钥用于加密，一个私钥用于解密。您可以共享公钥，因为它不用于解密，但对私钥的访问应受到严格限制。

原子性、一致性、隔离性、持久性（ACID）

一组软件属性，即使在出现错误、电源故障或其他问题的情况下，也能保证数据库的数据有效性和操作可靠性。

基于属性的访问权限控制（ABAC）

根据用户属性（如部门、工作角色和团队名称）创建精细访问权限的做法。有关更多信息，请参阅 AWS Identity and Access Management (I AM) 文档 AWS中的 AB AC。

权威数据来源

存储主要数据版本的位置，被认为是最可靠的信息源。您可以将数据从权威数据来源复制到其他位置，以便处理或修改数据，例如对数据进行匿名化、编辑或假名化。

可用区

中的一个不同位置 AWS 区域 ，不受其他可用区域故障的影响，并向同一区域中的其他可用区提供低成本、低延迟的网络连接。

AWS 云采用框架 (AWS CAF)

该框架包含指导方针和最佳实践 AWS ，可帮助组织制定高效且有效的计划，以成功迁移到云端。AWS CAF将指导分为六个重点领域，称为视角：业务、人员、治理、平台、安全和运营。业务、人员和治理角度侧重于业务技能和流程；平台、安全和运营角度侧重于技术技能和流程。例如，人

员角度针对的是负责人力资源（HR）、人员配置职能和人员管理的利益相关者。从这个角度来看，AWS CAF 为人员发展、培训和沟通提供了指导，以帮助组织为成功采用云做好准备。有关更多信息，请参阅 AWS CAF 网站和 AWS CAF 白皮书。

AWS 工作负载资格框架 (AWS WQF)

一种评估数据库迁移工作负载、推荐迁移策略和提供工作估算的工具。 AWS WQF 包含在 AWS Schema Conversion Tool (AWS SCT) 中。它用来分析数据库架构和代码对象、应用程序代码、依赖关系和性能特征，并提供评测报告。

B

恶意机器人

一种旨在扰乱或伤害个人或组织的机器人。

BCP

请参阅业务连续性计划。

行为图

一段时间内资源行为和交互的统一交互式视图。您可以使用 Amazon Detective 的行为图来检查失败的登录尝试、可疑的 API 调用和类似的操作。有关更多信息，请参阅 Detective 文档中的行为图中的数据。

大端序系统

一个先存储最高有效字节的系统。另请参阅字节顺序。

二进制分类

一种预测二进制结果（两个可能的类别之一）的过程。例如，您的 ML 模型可能需要预测诸如“该电子邮件是否为垃圾邮件？”或“这个产品是书还是汽车？”之类的问题

bloom 筛选条件

一种概率性、内存高效的数据结构，用于测试元素是否为集合的成员。

蓝/绿部署

一种部署策略，您可以创建两个独立但完全相同的环境。在一个环境中运行当前应用程序版本（蓝色），在另一个环境中运行新应用程序版本（绿色）。此策略可帮助您在影响最小的情况下快速回滚。

自动程序

一种通过互联网运行自动任务并模拟人类活动或交互的软件应用程序。有些机器人是有用或有益的，例如在互联网上索引信息的 Web 爬网程序。还有一些被称为恶意机器人的机器人，其目的是扰乱或伤害个人或组织。

僵尸网络

被恶意软件感染并受单方（称为僵尸网络控制者或僵尸网络操作者）控制的僵尸网络。僵尸网络是最著名的扩展机器人及其影响力的机制。

分支

代码存储库的一个包含区域。在存储库中创建的第一个分支是主分支。您可以从现有分支创建新分支，然后在新分支中开发功能或修复错误。为构建功能而创建的分支通常称为功能分支。当功能可以发布时，将功能分支合并回主分支。有关更多信息，请参阅关于分支（GitHub 文档）。

紧急（break-glass）访问

在特殊情况下，通过批准的流程，用户 AWS 账户 可以快速访问他们通常没有访问权限的内容。有关更多信息，请参阅 AWS Well-Architected Guidance 中的 Implement break-glass procedures 指示器。

棕地策略

您环境中的现有基础设施。在为系统架构采用棕地策略时，您需要围绕当前系统和基础设施的限制来设计架构。如果您正在扩展现有基础设施，则可以将棕地策略和全新策略混合。

缓冲区缓存

存储最常访问的数据的内存区域。

业务能力

企业如何创造价值（例如，销售、客户服务或营销）。微服务架构和开发决策可以由业务能力驱动。有关更多信息，请参阅在 AWS上运行容器化微服务白皮书中的围绕业务能力进行组织部分。

业务连续性计划（BCP）

一项计划，旨在应对大规模迁移等破坏性事件对运营的潜在影响，并使企业能够快速恢复运营。

C

CAF

请参阅 AWS 云采用框架。

金丝雀部署

缓慢而渐进地向最终用户发布版本。当您确信无误后，即可部署新版本，并完全替换当前版本。

CCoE

请参阅云卓越中心。

CDC

请参阅更改数据捕获。

更改数据捕获（CDC）

跟踪数据来源（如数据库表）的更改并记录有关更改的元数据的过程。您可以将 CDC 用于各种目的，例如审计或复制目标系统中的更改以保持同步。

混沌工程

故意引入故障或破坏性事件来测试系统的韧性。您可以使用 AWS Fault Injection Service (AWS FIS) 来执行实验，对您的 AWS 工作负载施加压力并评估其响应。

CI/CD

请参阅持续集成和持续交付。

分类

一种有助于生成预测的分类流程。分类问题的 ML 模型预测离散值。离散值始终彼此不同。例如，一个模型可能需要评估图像中是否有汽车。

客户端加密

在目标 AWS 服务 收到数据之前，对数据进行本地加密。

云卓越中心 (CCoE)

一个多学科团队，负责推动整个组织的云采用工作，包括开发云最佳实践、调动资源、制定迁移时间表、领导组织完成大规模转型。有关更多信息，请参阅 AWS Cloud 企业战略博客上的 CCoE 帖子。

云计算

通常用于远程数据存储和 IoT 设备管理的云技术。云计算通常连接到边缘计算技术。

云运营模型

在 IT 组织中，一种用于构建、完善和优化一个或多个云环境的运营模型。有关更多信息，请参阅构建您的云运营模型。

云采用阶段

组织迁移到 AWS Cloud中时通常会经历四个阶段：

- 项目 - 出于概念验证和学习目的，开展一些与云相关的项目
- 基础 — 进行基础投资以扩大云采用率（例如，创建着陆区、定义 CCo E、建立运营模型）
- 迁移 - 迁移单个应用程序
- 重塑 - 优化产品和服务，在云中创新

Stephen Orban在 AWS Cloud 企业战略博客的博客文章《云优先之旅和采用阶段》中定义了这些阶段。有关它们与 AWS 迁移策略的关系的信息，请参阅迁移准备指南。

CMDB

请参阅配置管理数据库。

代码存储库

通过版本控制过程存储和更新源代码和其他资产（如文档、示例和脚本）的位置。常见的云存储库包括 GitHub 或 Bitbucket Cloud。每个版本的代码都称为一个分支。在微服务结构中，每个存储库都专门用于一个功能。单个 CI/CD 管线可以使用多个存储库。

冷缓存

一种空的、填充不足或包含过时或不相关数据的缓冲区缓存。这会影响性能，因为数据库实例必须从主内存或磁盘读取，这比从缓冲区缓存读取要慢。

冷数据

很少访问的数据，且通常是历史数据。查询此类数据时，通常可以接受慢速查询。将这些数据转移到性能较低且成本更低的存储层或类别可以降低成本。

计算机视觉（CV）

一种 AI 领域，它使用机器学习来分析和提取数字图像和视频等视觉格式中的信息。例如，Amazon SageMaker AI 为 CV 提供了图像处理算法。

配置偏移

对于工作负载而言，一种偏离预期状态的配置更改。这可能会导致工作负载变得不合规，且通常是渐进的，不是故意的。

配置管理数据库（CMDB）

一种存储库，用于存储和管理有关数据库及其 IT 环境的信息，包括硬件和软件组件及其配置。您通常在迁移的产品组合发现和分析阶段使用来自 CMDB 的数据。

合规性包

一系列 AWS Config 规则和补救措施，您可以汇编这些规则和补救措施，以自定义您的合规性和安全性检查。您可以使用 YAML 模板将一致性包作为单个实体部署在 AWS 账户 和区域或整个组织中。有关更多信息，请参阅 AWS Config 文档中的一致性包。

持续集成和持续交付（CI/CD）

自动执行软件发布过程的源代码、构建、测试、暂存和生产阶段的过程。 CI/CD 通常被描述为管道。 CI/CD 可以帮助您实现流程自动化、提高生产力、提高代码质量和更快地交付。有关更多信息，请参阅持续交付的优势。CD 也可以表示持续部署。有关更多信息，请参阅持续交付与持续部署。

CV

请参阅计算机视觉。

D

静态数据

网络中静止的数据，例如存储中的数据。

数据分类

根据网络中数据的关键性和敏感性对其进行识别和分类的过程。它是任何网络安全风险管理策略的关键组成部分，因为它可以帮助您确定对数据的适当保护和保留控制。数据分类是 Well-Architecte AWS d Framework 中安全支柱的一个组成部分。有关详细信息，请参阅数据分类。

数据漂移

生产数据与用来训练机器学习模型的数据之间的有意义差异，或者输入数据随时间推移的有意义变化。数据漂移可能降低机器学习模型预测的整体质量、准确性和公平性。

传输中数据

在网络中主动移动的数据，例如在网络资源之间移动的数据。

数据网格

一种架构框架，可提供分布式、去中心化的数据所有权以及集中式管理和治理。

数据最少化

仅收集并处理绝对必要数据的原则。在中进行数据最小化 AWS Cloud 可以降低隐私风险、成本和分析碳足迹。

数据边界

AWS 环境中的一组预防性防护措施，可帮助确保只有可信身份才能访问来自预期网络的可信资源。有关更多信息，请参阅在上构建数据边界。 AWS

数据预处理

将原始数据转换为 ML 模型易于解析的格式。预处理数据可能意味着删除某些列或行，并处理缺失、不一致或重复的值。

数据溯源

在数据的整个生命周期跟踪其来源和历史的过程，例如数据如何生成、传输和存储。

数据主体

正在收集和处理其数据的个人。

数据仓库

一种支持商业智能（例如分析）的数据管理系统。数据仓库通常包含大量历史数据，通常用于查询和分析。

数据库定义语言（DDL）

在数据库中创建或修改表和对象结构的语句或命令。

数据库操作语言（DML）

在数据库中修改（插入、更新和删除）信息的语句或命令。

DDL

请参阅数据库定义语言。

深度融合

组合多个深度学习模型进行预测。您可以使用深度融合来获得更准确的预测或估算预测中的不确定性。

深度学习

一个 ML 子字段使用多层人工神经网络来识别输入数据和感兴趣的目标变量之间的映射。

defense-in-depth

一种信息安全方法，经过深思熟虑，在整个计算机网络中分层实施一系列安全机制和控制措施，以保护网络及其中数据的机密性、完整性和可用性。当你采用这种策略时 AWS，你会在 AWS

Organizations 结构的不同层面添加多个控件来帮助保护资源。例如，一种 defense-in-depth方法可以结合多因素身份验证、网络分段和加密。

委派管理员

在中 AWS Organizations，兼容的服务可以注册 AWS 成员帐户来管理组织的帐户并管理该服务的权限。此账户被称为该服务的委托管理员。有关更多信息和兼容服务列表，请参阅 AWS Organizations 文档中使用 AWS Organizations的服务。

部署

使应用程序、新功能或代码修复在目标环境中可用的过程。部署涉及在代码库中实现更改，然后在应用程序的环境中构建和运行该代码库。

开发环境

请参阅环境。

侦测性控制

一种安全控制，在事件发生后进行检测、记录日志和发出提醒。这些控制是第二道防线，提醒您注意绕过现有预防性控制的安全事件。有关更多信息，请参阅在 AWS上实施安全控制中的侦测性控制。

开发价值流映射（DVSM）

用于识别对软件开发生命周期中的速度和质量产生不利影响的限制因素并确定其优先级的流程。DVSM 扩展了最初为精益生产实践设计的价值流映射流程。其重点关注在软件开发过程中创造和转移价值所需的步骤和团队。

数字孪生

真实世界系统的虚拟再现，如建筑物、工厂、工业设备或生产线。数字孪生支持预测性维护、远程监控和生产优化。

维度表

星型架构中的一种较小的表，其中包含事实表中定量数据的数据属性。维度表属性通常是文本字段或行为类似于文本的离散数字。这些属性通常用于查询约束、筛选和结果集标注。

灾难

阻止工作负载或系统在其主要部署位置实现其业务目标的事件。这些事件可能是自然灾害、技术故障或人为操作的结果，例如无意的配置错误或恶意软件攻击。

灾难恢复（DR）

您用来最大程度地减少由灾难造成的停机时间和数据丢失的策略和流程。有关更多信息，请参阅 Well-Architected Fr ame AWS work 中的 “工作负载灾难恢复：云端 AWS 恢复”。

DML

请参阅数据库操作语言。

领域驱动设计

一种开发复杂软件系统的方法，通过将其组件连接到每个组件所服务的不断发展的领域或核心业务目标。Eric Evans 在其著作领域驱动设计：软件核心复杂性应对之道（Boston: Addison-Wesley Professional, 2003）中介绍了这一概念。有关如何将领域驱动设计与 strangler fig 模式结合使用的信息，请参阅使用容器和 Amazon API Gateway 逐步将原有的 Microsoft ASP.NET（ASMX）Web 服务现代化。

DR

请参阅灾难恢复。

偏差检测

跟踪与基准配置的偏差。例如，您可以使用 AWS CloudFormation 来检测系统资源中的偏差，也可以使用 AWS Control Tower 来检测着陆区中可能影响监管要求合规性的变化。

DVSM

请参阅开发价值流映射。

E

EDA

请参阅探索性数据分析。

EDI

请参阅电子数据交换。

边缘计算

该技术可提高位于 IoT 网络边缘的智能设备的计算能力。与云计算比较时，边缘计算可以减少通信延迟并缩短响应时间。

电子数据交换（EDI）

组织之间业务文件的自动交换。有关更多信息，请参阅什么是电子数据交换。

加密

一种将人类可读的纯文本数据转换为加密文字的计算流程。

加密密钥

由加密算法生成的随机位的加密字符串。密钥的长度可能有所不同，而且每个密钥都设计为不可预测且唯一。

字节顺序

字节在计算机内存中的存储顺序。大端序系统先存储最高有效字节。小端序系统先存储最低有效字节。

端点

请参阅服务端点。

端点服务

一种可以在虚拟私有云（VPC）中托管，与其他用户共享的服务。您可以使用其他 AWS 账户 或 AWS Identity and Access Management (IAM) 委托人创建终端节点服务， AWS PrivateLink 并向其授予权限。这些账户或主体可通过创建接口 VPC 端点来私密地连接到您的端点服务。有关更多信息，请参阅 Amazon Virtual Private Cloud（Amazon VPC）文档中的创建端点服务。

企业资源规划（ERP）

一种自动化和管理企业关键业务流程（例如会计、MES 和项目管理）的系统。

信封加密

用另一个加密密钥对加密密钥进行加密的过程。有关更多信息，请参阅 AWS Key Management Service (AWS KMS) 文档中的信封加密。

环境

正在运行的应用程序的实例。以下是云计算中常见的环境类型：

- 开发环境 — 正在运行的应用程序的实例，只有负责维护应用程序的核心团队才能使用。开发环境用于测试更改，然后再将其提升到上层环境。这类环境有时称为测试环境。
- 下层环境 — 应用程序的所有开发环境，比如用于初始构建和测试的环境。

- 生产环境 — 最终用户可以访问的正在运行的应用程序的实例。在 CI/CD 管道中，生产环境是最后一个部署环境。
- 上层环境 — 除核心开发团队以外的用户可以访问的所有环境。这可能包括生产环境、预生产环境和用户验收测试环境。

epic

在敏捷方法学中，有助于组织工作和确定优先级的功能类别。epics 提供了对需求和实施任务的总体描述。例如， AWS CAF 安全史诗包括身份和访问管理、侦探控制、基础设施安全、数据保护和事件响应。有关 AWS 迁移策略中 epics 的更多信息，请参阅计划实施指南。

ERP

请参阅企业资源规划。

探索性数据分析（EDA）

分析数据集以了解其主要特征的过程。您收集或汇总数据，并进行初步调查，以发现模式、检测异常并检查假定情况。EDA 通过计算汇总统计数据和创建数据可视化得以执行。

F

事实表

星型架构中的中心表。它存储有关业务运营的定量数据。通常，事实表包含两种类型的列：包含度量的列和包含维度表外键的列。

快速失效机制

一种使用频繁且增量式的测试来缩短开发生命周期的理念。这是敏捷方法的关键部分。

故障隔离边界

在中 AWS Cloud，诸如可用区 AWS 区域、控制平面或数据平面之类的边界，它限制了故障的影响并有助于提高工作负载的弹性。有关更多信息，请参阅 AWS 故障隔离边界。

功能分支

请参阅分支。

特征

您用来进行预测的输入数据。例如，在制造环境中，特征可能是定期从生产线捕获的图像。

特征重要性

特征对于模型预测的重要性。这通常表示为数值分数，可以通过各种技术进行计算，例如 Shapley 加法解释（SHAP）和积分梯度。有关更多信息，请参阅使用机器学习模型的可解释性 AWS。

功能转换

为 ML 流程优化数据，包括使用其他来源丰富数据、扩展值或从单个数据字段中提取多组信息。这使得 ML 模型能从数据中获益。例如，如果您将“2021-05-27 00:15:37”日期分解为“2021”、“五月”、“星期四”和“15”，则可以帮助学习与不同数据成分相关的算法学习精细模式。

少样本提示

在要求 LLM 执行类似任务之前，先向其提供少量示例，以演示任务和预期输出。此技术是上下文内学习的一种应用，其中模型可以从提示中嵌入的示例（样本）中学习。对于需要特定格式、推理或领域知识的任务，少样本提示可能非常有效。另请参阅零样本提示。

FGAC

请参阅精细访问控制。

精细访问控制（FGAC）

使用多个条件允许或拒绝访问请求。

快闪迁移

一种数据库迁移方法，通过更改数据捕获使用连续数据复制，在极短的时间内迁移数据，而非使用分阶段方法。目标是将停机时间降至最低。

FM

请参阅基础模型。

基础模型（FM）

一个大型深度学习神经网络，一直在广义和未标记数据的大量数据集上进行训练。 FMs 能够执行各种各样的一般任务，例如理解语言、生成文本和图像以及用自然语言进行对话。有关更多信息，请参阅什么是基础模型。

G

生成式人工智能

AI 模型的一个子集，这些模型已经过大量数据训练，可以使用简单的文本提示来创建新的内容和构件，例如图像、视频、文本和音频。有关更多信息，请参阅什么是生成式人工智能。

地理阻止

请参阅地理限制。

地理限制（地理阻止）

在 Amazon 中 CloudFront，一种阻止特定国家/地区的用户访问内容分发的选项。您可以使用允许列表或阻止列表来指定已批准和已禁止的国家/地区。有关更多信息，请参阅 CloudFront 文档中的限制内容的地理分布。

GitFlow 工作流程

一种方法，在这种方法中，下层和上层环境在源代码存储库中使用不同的分支。Gitflow 工作流程被认为是传统的工作流程，而基于中继的工作流程则是现代的、首选的方法。

黄金映像

系统或软件的快照，用作部署该系统或软件的新实例的模板。例如，在制造业中，黄金映像可用于在多个设备上预调配软件，并有助于提高设备制造操作的速度、可扩展性和生产效率。

全新策略

在新环境中缺少现有基础设施。在对系统架构采用全新策略时，您可以选择所有新技术，而不受对现有基础设施（也称为棕地）兼容性的限制。如果您正在扩展现有基础设施，则可以将棕地策略和全新策略混合。

防护机制

帮助管理各组织单位的资源、策略和合规性的高级规则 (OUs)。预防性防护机制会执行策略以确保符合合规性标准。它们是使用服务控制策略和 IAM 权限边界实现的。侦测性护栏会检测策略违规和合规性问题，并生成提醒以进行修复。它们通过使用 AWS Config、、Amazon、 AWS Security Hub CSPM GuardDuty AWS Trusted Advisor、Amazon Inspector 和自定义 AWS Lambda 支票来实现。

H

HA

请参阅高可用性。

异构数据库迁移

将源数据库迁移到使用不同数据库引擎的目标数据库（例如，从 Oracle 迁移到 Amazon Aurora）。异构迁移通常是重新架构工作的一部分，而转换架构可能是一项复杂的任务。AWS 提供了 AWS SCT 来帮助实现架构转换。

高可用性（HA）

在遇到挑战或灾难时，工作负载无需干预即可连续运行的能力。HA 系统旨在自动进行故障转移、持续提供良好性能，并以最小的性能影响处理不同负载和故障。

历史数据库现代化

一种用于实现运营技术（OT）系统现代化和升级以更好满足制造业需求的方法。历史数据库是一种用于收集和存储工厂中各种来源数据的数据库。

保留数据

从用于训练机器学习模型的数据集中保留的一部分标注的历史数据。通过将模型预测与保留数据进行比较，您可以使用保留数据来评估模型性能。

同构数据库迁移

将源数据库迁移到共享同一数据库引擎的目标数据库（例如，从 Microsoft SQL Server 迁移到 Amazon RDS for SQL Server）。同构迁移通常是更换主机或更换平台工作的一部分。您可以使用本机数据库实用程序来迁移架构。

热数据

经常访问的数据，例如实时数据或近期的转化数据。这些数据通常需要高性能存储层或存储类别才能提供快速的查询响应。

修补程序

针对生产环境中关键问题的紧急修复。由于其紧迫性，修补程序通常是在典型的 DevOps 发布工作流程之外进行的。

hypercare 周期

割接之后，迁移团队立即管理和监控云中迁移的应用程序以解决任何问题的时间段。通常，这个周期持续 1-4 天。在 hypercare 周期结束时，迁移团队通常会将应用程序的责任移交给云运营团队。

我

IaC

请参阅基础设施即代码。

基于身份的策略

附加到一个或多个 IAM 委托人的策略，用于定义他们在 AWS Cloud 环境中的权限。

空闲应用程序

90 天内平均 CPU 和内存使用率在 5% 到 20% 之间的应用程序。在迁移项目中，通常会停用这些应用程序或将其保留在本地。

IIoT

请参阅工业物联网。

不可变基础设施

一种模型，可为生产工作负载部署新的基础设施，而不是更新、修补或修改现有基础设施。不可变基础设施本质上比可变基础设施更一致、更可靠、更可预测。有关更多信息，请参阅 AWS Well-Architected Framework 中的使用不可变基础设施进行部署最佳实践。

入站（入口）VPC

在 AWS 多账户架构中，一种接受、检查和路由来自应用程序外部的网络连接的 VPC。AWS 安全参考架构建议设置您的网络帐户，包括入站、出站和检查， VPCs 以保护您的应用程序与更广泛的互联网之间的双向接口。

增量迁移

一种割接策略，在这种策略中，您可以将应用程序分成小部分进行迁移，而不是一次性完整割接。例如，您最初可能只将几个微服务或用户迁移到新系统。在确认一切正常后，您可以逐步迁移其他微服务或用户，直到停用遗留系统。这种策略降低了大规模迁移带来的风险。

工业 4.0

该术语由 Klaus Schwab 在 2016 年提出，指的是通过连接、实时数据、自动化、分析和 AI/ML 的进步来实现制造流程的现代化。

基础设施

应用程序环境中包含的所有资源和资产。

基础设施即代码（IaC）

通过一组配置文件预调配和管理应用程序基础设施的过程。IaC 旨在帮助您集中管理基础设施、实现资源标准化和快速扩展，使新环境具有可重复性、可靠性和一致性。

工业物联网 (IIoT)

在工业领域使用联网的传感器和设备，例如制造业、能源、汽车、医疗保健、生命科学和农业。有关更多信息，请参阅制定工业物联网 (IIoT) 数字化转型战略。

检查 VPC

在 AWS 多账户架构中，一种集中式 VPC，用于管理对 VPCs（相同或不同 AWS 区域）、互联网和本地网络之间的网络流量的检查。AWS 安全参考架构建议设置您的网络帐户，包括入站、出站和检查， VPCs 以保护您的应用程序与更广泛的互联网之间的双向接口。

物联网（IoT）

由带有嵌入式传感器或处理器的连接物理对象组成的网络，这些传感器或处理器通过互联网或本地通信网络与其他设备和系统进行通信。有关更多信息，请参阅什么是 IoT？

可解释性

它是机器学习模型的一种特征，描述了人类可以理解模型的预测如何取决于其输入的程度。有关更多信息，请参阅使用机器学习模型的可解释性 AWS。

物联网

请参阅物联网。

IT 信息库（ITIL）

提供 IT 服务并使这些服务符合业务要求的一套最佳实践。ITIL 是 ITSM 的基础。

IT 服务管理（ITSM）

为组织设计、实施、管理和支持 IT 服务的相关活动。有关将云运营与 ITSM 工具集成的信息，请参阅运营集成指南。

ITIL

请参阅 IT 信息库。

ITSM

请参阅 IT 服务管理。

L

基于标签的访问控制（LBAC）

强制访问控制（MAC）的一种实施方式，其中明确为用户和数据本身分配了安全标签值。用户安全标签和数据安全标签之间的交集决定了用户可以看到哪些行和列。

登录区

landing zone 是一个架构精良的多账户 AWS 环境，具有可扩展性和安全性。这是一个起点，您的组织可以从这里放心地在安全和基础设施环境中快速启动和部署工作负载和应用程序。有关登录区的更多信息，请参阅设置安全且可扩展的多账户 AWS 环境。

大语言模型（LLM）

一种基于大量数据进行预训练的深度学习 AI 模型。LLM 可以执行多项任务，例如回答问题、总结文档、将文本翻译成其他语言以及完成句子。有关更多信息，请参阅什么是 LLMs。

大规模迁移

迁移 300 台或更多服务器。

LBAC

请参阅基于标签的访问控制。

最低权限

授予执行任务所需的最低权限的最佳安全实践。有关更多信息，请参阅 IAM 文档中的应用最低权限许可。

直接迁移

请参阅 7 R。

小端序系统

一个先存储最低有效字节的系统。另请参阅字节顺序。

LLM

请参阅大型语言模型。

下层环境

请参阅环境。

M

机器学习（ML）

一种使用算法和技术进行模式识别和学习的人工智能。ML 对记录的数据（例如物联网（IoT）数据）进行分析和学习，以生成基于模式的统计模型。有关更多信息，请参阅机器学习。

主分支

请参阅分支。

恶意软件

旨在危害计算机安全或隐私的软件。恶意软件可能会破坏计算机系统、泄露敏感信息或获得未经授权的访问权限。恶意软件的示例包括病毒、蠕虫、勒索软件、木马、间谍软件和键盘记录器。

托管式服务

AWS 服务 它 AWS 运行基础设施层、操作系统和平台，您可以访问端点来存储和检索数据。Amazon Simple Storage Service（Amazon S3）和 Amazon DynamoDB 就是托管服务的示例。这些服务也称为抽象服务。

制造执行系统（MES）

一种软件系统，用于跟踪、监控、记录和控制在车间将原材料转化为成品的生产过程。

MAP

请参阅迁移加速计划。

机制

一个完整的过程，您可以在其中创建工具，推动工具的采用，然后检查结果以进行调整。机制是一种在运作过程中自我强化和改善的循环。有关更多信息，请参阅在 Well-Architect AWS ed 框架中构建机制。

成员账户

AWS 账户 除属于组织中的管理账户之外的所有账户 AWS Organizations。一个账户一次只能是一个组织的成员。

MES

请参阅制造执行系统。

消息队列遥测传输（MQTT）

一种基于发布/订阅模式的轻量级 machine-to-machine (M2M) 通信协议，适用于资源受限的物联网设备。

微服务

一种小型的独立服务，通过明确的定义进行通信 APIs ，通常由小型的独立团队拥有。例如，保险系统可能包括映射到业务能力（如销售或营销）或子域（如购买、理赔或分析）的微服务。微服务

的好处包括敏捷、灵活扩展、易于部署、可重复使用的代码和恢复能力。有关更多信息，请参阅使用 AWS 无服务器服务集成微服务。

微服务架构

一种使用独立组件构建应用程序的方法，这些组件将每个应用程序进程作为微服务运行。这些微服务使用轻量级通过定义明确的接口进行通信。 APIs该架构中的每个微服务都可以更新、部署和扩展，以满足对应用程序特定功能的需求。有关更多信息，请参阅在上实现微服务。 AWS

迁移加速计划（MAP）

AWS 该计划提供咨询支持、培训和服务，以帮助组织为迁移到云奠定坚实的运营基础，并帮助抵消迁移的初始成本。MAP 提供了一种以系统的方式执行遗留迁移的迁移方法，以及一套用于自动执行和加速常见迁移场景的工具。

大规模迁移

将大部分应用程序组合分波迁移到云中的过程，在每一波中以更快的速度迁移更多应用程序。本阶段使用从早期阶段获得的最佳实践和经验教训，实施由团队、工具和流程组成的迁移工厂，通过自动化和敏捷交付简化工作负载的迁移。这是 AWS 迁移策略的第三阶段。

迁移工厂

跨职能团队，通过自动化、敏捷的方法简化工作负载迁移。迁移工厂团队通常包括运营、业务分析师和所有者、迁移工程师、开发人员和冲刺 DevOps 领域的专业人员。20% 到 50% 的企业应用程序组合由可通过工厂方法优化的重复模式组成。有关更多信息，请参阅本内容集中有关迁移工厂的讨论和云迁移工厂指南。

迁移元数据

有关完成迁移所需的应用程序和服务器的信息。每种迁移模式都需要一套不同的迁移元数据。迁移元数据的示例包括目标子网、安全组和 AWS 账户。

迁移模式

一种可重复的迁移任务，详细列出了迁移策略、迁移目标以及所使用的迁移应用程序或服务。示例：使用 AWS 应用程序迁移服务重新托管向 Amazon EC2 的迁移。

迁移组合评测（MPA）

一种在线工具，提供了用于验证迁移到 AWS Cloud的业务案例的信息。MPA 提供了详细的组合评测（服务器规模调整、定价、TCO 比较、迁移成本分析）以及迁移计划（应用程序数据分析和数据收集、应用程序分组、迁移优先级排序和波次规划）。所有 AWS 顾问和 APN 合作伙伴顾问均可免费使用 MPA 工具（需要登录）。

迁移准备情况评测（MRA）

使用 AWS CAF 深入了解组织的云就绪状态、确定优势和劣势以及制定行动计划以缩小已发现差距的过程。有关更多信息，请参阅迁移准备指南。MRA 是 AWS 迁移策略的第一阶段。

迁移策略

将工作负载迁移到 AWS Cloud的方法。有关更多信息，请参见术语表中的 7 R 词条，以及动员您的组织以加快大规模迁移。

ML

请参阅机器学习。

现代化

将过时的（原有的或单体）应用程序及其基础设施转变为云中敏捷、弹性和高度可用的系统，以降低成本、提高效率和利用创新。有关更多信息，请参阅在 AWS Cloud中实现应用程序现代化的策略。

现代化准备情况评估

一种评估方式，有助于确定组织应用程序的现代化准备情况；确定收益、风险和依赖关系；确定组织能够在多大程度上支持这些应用程序的未来状态。评估结果是目标架构的蓝图、详细说明现代化进程发展阶段和里程碑的路线图以及解决已发现差距的行动计划。有关更多信息，请参阅在 AWS Cloud中评估应用程序的现代化准备情况。

单体应用程序（单体式）

作为具有紧密耦合进程的单个服务运行的应用程序。单体应用程序有几个缺点。如果某个应用程序功能的需求激增，则必须扩展整个架构。随着代码库的增长，添加或改进单体应用程序的功能也会变得更加复杂。若要解决这些问题，可以使用微服务架构。有关更多信息，请参阅将单体分解为微服务。

MPA

请参阅迁移组合评测。

MQTT

请参阅消息队列遥测传输。

多分类器

一种帮助为多个类别生成预测（预测两个以上结果之一）的过程。例如，ML 模型可能会询问“这个产品是书、汽车还是手机？”或“此客户最感兴趣什么类别的产品？”

可变基础设施

一种用于更新和修改生产工作负载的现有基础设施的模型。为了提高一致性、可靠性和可预测性，Well-Architect AWS ed Framework 建议使用不可变基础设施作为最佳实践。

O

OAC

请参阅来源访问控制。

OAI

请参阅来源访问身份。

OCM

请参阅组织变革管理。

离线迁移

一种迁移方法，在这种方法中，源工作负载会在迁移过程中停止运行。这种方法会延长停机时间，通常用于小型非关键工作负载。

OI

请参阅运营集成。

OLA

请参阅运营级别协议。

在线迁移

一种迁移方法，在这种方法中，源工作负载无需离线即可复制到目标系统。在迁移过程中，连接工作负载的应用程序可以继续运行。这种方法的停机时间为零或最短，通常用于关键生产工作负载。

OPC-UA

请参阅开放流程通信 – 统一架构。

开放流程通信 – 统一架构（OPC-UA）

一种用于工业自动化的 machine-to-machine（M2M）通信协议。OPC-UA 提供了一个包含数据加密、身份验证和授权方案的互操作性标准。

运营级别协议（OLA）

一项协议，阐明了 IT 职能部门承诺相互交付的内容，以支持服务水平协议（SLA）。

运营准备情况审查（ORR）

一份问题核对清单和关联的最佳实践，可帮助您了解、评估、预防或缩小事件和可能的故障的范围。有关更多信息，请参阅 AWS Well-Architected Framework 中的运营准备情况审查（ORR）。

运营技术（OT）

与物理环境配合使用以控制工业运营、设备和基础设施的硬件和软件系统。在制造业中，OT 和信息技术（IT）系统的集成是工业 4.0 转型的关键重点。

运营整合（OI）

在云中实现运营现代化的过程，包括就绪计划、自动化和集成。有关更多信息，请参阅运营整合指南。

组织跟踪

由 AWS CloudTrail 此创建的跟踪记录组织 AWS 账户 中所有人的所有事件 AWS Organizations。该跟踪是在每个 AWS 账户 中创建的，属于组织的一部分，并跟踪每个账户的活动。有关更多信息，请参阅 CloudTrail文档中的为组织创建跟踪。

组织变革管理（OCM）

一个从人员、文化和领导力角度管理重大、颠覆性业务转型的框架。OCM 通过加快变革采用、解决过渡问题以及推动文化和组织变革，帮助组织为新系统和战略做好准备和过渡。在 AWS 迁移策略中，该框架被称为人员加速，因为云采用项目需要变更的速度。有关更多信息，请参阅 OCM 指南。

来源访问控制（OAC）

在中 CloudFront，一个增强的选项，用于限制访问以保护您的亚马逊简单存储服务 (Amazon S3) 内容。OAC 全部支持所有 S3 存储桶 AWS 区域、使用 AWS KMS (SSE-KMS) 进行服务器端加密，以及对 S3 存储桶的动态PUT和DELETE请求。

来源访问身份（OAI）

在中 CloudFront，一个用于限制访问权限以保护您的 Amazon S3 内容的选项。当您使用 OAI 时，CloudFront 会创建一个 Amazon S3 可以对其进行身份验证的委托人。经过身份验证的委托人只能通过特定 CloudFront 分配访问 S3 存储桶中的内容。另请参阅 OAC，其中提供了更精细和增强的访问控制。

ORR

请参阅运营准备情况审查。

OT

请参阅运营技术。

出站（出口）VPC

在 AWS 多账户架构中，一种处理从应用程序内部启动的网络连接的 VPC。AWS 安全参考架构建议设置您的网络帐户，包括入站、出站和检查， VPCs 以保护您的应用程序与更广泛的互联网之间的双向接口。

P

权限边界

附加到 IAM 主体的 IAM 管理策略，用于设置用户或角色可以拥有的最大权限。有关更多信息，请参阅 IAM 文档中的权限边界。

个人身份信息（PII）

直接查看其他相关数据或与之配对时可用于合理推断个人身份的信息。PII 的示例包括姓名、地址和联系信息。

PII

请参阅个人身份信息。

playbook

一套预定义的步骤，用于捕获与迁移相关的工作，例如在云中交付核心运营功能。playbook 可以采用脚本、自动化运行手册的形式，也可以是操作现代化环境所需的流程或步骤的摘要。

PLC

请参阅可编程逻辑控制器。

PLM

请参阅产品生命周期管理。

policy

一个对象，可以定义权限（请参阅基于身份的策略）、指定访问条件（请参阅基于资源的策略）或定义 AWS Organizations 的组织中所有账户的最大权限（请参阅服务控制策略）。

多语言持久性

根据数据访问模式和其他要求，独立选择微服务的数据存储技术。如果您的微服务采用相同的数据存储技术，它们可能会遇到实现难题或性能不佳。如果微服务使用最适合其需求的数据存储，则可以更轻松地实现微服务，并获得更好的性能和可扩展性。

组合评测

一个发现、分析和确定应用程序组合优先级以规划迁移的过程。有关更多信息，请参阅评估迁移准备情况。

谓词

返回 `true` 或 `false` 的查询条件，通常位于 `WHERE` 子句中。

谓词下推

一种数据库查询优化技术，可在传输之前筛选查询中的数据。这将减少从关系数据库检索和处理的数据量，并提高查询性能。

预防性控制

一种安全控制，旨在防止事件发生。这些控制是第一道防线，帮助防止未经授权的访问或对网络的意外更改。有关更多信息，请参阅在 AWS上实施安全控制中的预防性控制。

主体

中 AWS 可以执行操作和访问资源的实体。此实体通常是 IAM 角色的根用户或用户。 AWS 账户有关更多信息，请参阅 IAM 文档中角色术语和概念中的主体。

隐私设计

一种在整个开发过程中都考虑隐私的系统工程方法。

私有托管区

一个容器，其中包含有关您希望 Amazon Route 53 如何响应针对一个或多个 VPCs域名及其子域名的 DNS 查询的信息。有关更多信息，请参阅 Route 53 文档中的私有托管区的使用。

主动控制

一种安全控制，旨在防止部署不合规资源。这些控制会在资源预置之前对其进行扫描。如果资源与控制不兼容，则不会预置它。有关更多信息，请参阅 AWS Control Tower 文档中的控制参考指南，并参见在上实施安全控制中的主动控制 AWS。

产品生命周期管理（PLM）

对产品在其整个生命周期内的数据和流程的管理，从设计、开发和发布，到增长和成熟，再到衰退和淘汰。

生产环境

请参阅环境。

可编程逻辑控制器（PLC）

在制造业中，一种高度可靠、适应性强的计算机，用于监控机器并实现制造过程自动化。

提示串接

使用一个 LLM 提示的输出作为下一个提示的输入，以生成更好的响应。该技术用于将复杂的任务分解为子任务，或者迭代地完善或扩展初步响应。它有助于提高模型响应的准确性和相关性，并允许获得更精细的个性化结果。

假名化

用占位符值替换数据集中个人标识符的过程。假名化可以帮助保护个人隐私。假名化数据仍被视为个人数据。

publish/subscribe (pub/sub)

一种支持微服务间异步通信的模式，可提高可扩展性和响应能力。例如，在基于微服务的 MES 中，微服务可以将事件消息发布到其他微服务可以订阅的频道。系统可以在不更改发布服务的情况下添加新的微服务。

Q

查询计划

一系列用于访问 SQL 关系数据库系统中的数据的步骤，类似于指令。

查询计划回归

当数据库服务优化程序选择的最佳计划不如数据库环境发生特定变化之前时。这可能是由统计数据、约束、环境设置、查询参数绑定更改和数据库引擎更新造成的。

R

RACI 矩阵

请参阅责任、问责、咨询和知情（RACI）。

RAG

请参阅检索增强生成。

勒索软件

一种恶意软件，旨在阻止对计算机系统或数据的访问，直到付款为止。

RASCI 矩阵

请参阅责任、问责、咨询和知情（RACI）。

RCAC

请参阅行列访问控制。

只读副本

用于只读目的的数据库副本。您可以将查询路由到只读副本，以减轻主数据库的负载。

重新架构

请参阅 7 R。

恢复点目标（RPO）

自上一个数据恢复点以来可接受的最长时间。这决定了从上一个恢复点到服务中断之间可接受的数据丢失情况。

恢复时间目标（RTO）

服务中断和服务恢复之间可接受的最大延迟。

重构

请参阅 7 R。

Region

地理区域内的 AWS 资源集合。每一个 AWS 区域 都相互隔离，相互独立，以提供容错、稳定性和弹性。有关更多信息，请参阅指定您的账户可以使用的 AWS 区域。

回归

一种预测数值的 ML 技术。例如，要解决“这套房子的售价是多少？”的问题 ML 模型可以使用线性回归模型，根据房屋的已知事实（如建筑面积）来预测房屋的销售价格。

重新托管

请参阅 7 R。

版本

在部署过程中，推动生产环境变更的行为。

重新放置

请参阅 7 R。

更换平台

请参阅 7 R。

重新购买

请参阅 7 R。

韧性

应用程序抵御中断或从中断中恢复的能力。在 AWS Cloud中规划韧性时，高可用性和灾难恢复是常见的考虑因素。有关更多信息，请参阅 AWS Cloud 韧性。

基于资源的策略

一种附加到资源的策略，例如 AmazonS3 存储桶、端点或加密密钥。此类策略指定了允许哪些主体访问、支持的操作以及必须满足的任何其他条件。

责任、问责、咨询和知情（RACI）矩阵

定义参与迁移活动和云运营的所有各方的角色和责任的矩阵。矩阵名称源自矩阵中定义的责任类型：负责（R）、问责（A）、咨询（C）和知情（I）。支持（S）类型是可选的。如果包括支持，则该矩阵称为 RASCI 矩阵，如果将其排除在外，则称为 RACI 矩阵。

响应性控制

一种安全控制，旨在推动对不良事件或偏离安全基线的情况进行修复。有关更多信息，请参阅在AWS上实施安全控制中的响应性控制。

保留

请参阅 7 R。

停用

请参阅 7 R。

检索增强生成（RAG）

一种生成式人工智能技术，其中 LLM 在生成响应之前引用其训练数据来源之外的权威数据来源。例如，RAG 模型可以对组织的知识库或自定义数据执行语义搜索。有关更多信息，请参阅什么是 RAG。

轮换

定期更新密钥以使攻击者更难访问凭证的过程。

行列访问控制（RCAC）

使用已定义访问规则的基本、灵活的 SQL 表达式。RCAC 由行权限和列掩码组成。

RPO

请参阅恢复点目标。

RTO

请参阅恢复时间目标。

运行手册

执行特定任务所需的一套手动或自动程序。它们通常是为了简化重复性操作或高错误率的程序而设计的。

S

SAML 2.0

许多身份提供商 (IdPs) 使用的开放标准。此功能支持联合单点登录 (SSO)，因此用户无需在 IAM 中为组织中的所有人创建用户即可登录 AWS 管理控制台 或调用 AWS API 操作。有关基于 SAML 2.0 的联合身份验证的更多信息，请参阅 IAM 文档中的关于基于 SAML 2.0 的联合身份验证。

SCADA

请参阅监督控制和数据采集。

SCP

请参阅服务控制策略。

机密密钥

在中 AWS Secrets Manager，您以加密形式存储的机密或受限信息，例如密码或用户凭证。它由密钥值及其元数据组成。密钥值可以是二进制、单个字符串或多个字符串。有关更多信息，请参阅 Secrets Manager 文档中的什么是 Amazon Secrets Manager 密钥？。

安全设计

一种在整个开发过程中都考虑安全的系统工程方法。

安全控制

一种技术或管理防护机制，可防止、检测或降低威胁行为体利用安全漏洞的能力。安全控制有以下四种类型：预防性、检测性、响应性和主动性。

安全固化

缩小攻击面，使其更能抵御攻击的过程。这可能包括删除不再需要的资源、实施授予最低权限的最佳安全实践或停用配置文件中不必要的功能等操作。

安全信息和事件管理（SIEM）系统

结合了安全信息管理（SIM）和安全事件管理（SEM）系统的工具和服务。SIEM 系统会收集、监控和分析来自服务器、网络、设备和其他来源的数据，以检测威胁和安全漏洞，并生成警报。

安全响应自动化

一种预定义的程序化操作，旨在自动响应或修复安全事件。这些自动化可作为侦探或响应式安全控制措施，帮助您实施 AWS 安全最佳实践。自动响应操作的示例包括修改 VPC 安全组、修补 Amazon EC2 实例或轮换凭证。

服务器端加密

由接收数据的人在目的地对数据 AWS 服务 进行加密。

服务控制策略（SCP）

一种策略，用于集中控制组织中所有账户的权限 AWS Organizations。 SCPs 定义防护措施或限制管理员可以委托给用户或角色的操作。您可以使用 SCPs 允许列表或拒绝列表来指定允许或禁止哪些服务或操作。有关更多信息，请参阅 AWS Organizations 文档中的服务控制策略。

服务端点

的入口点的 URL AWS 服务。您可以使用端点，通过编程方式连接到目标服务。有关更多信息，请参阅 AWS 一般参考 中的 AWS 服务 端点。

服务水平协议（SLA）

一份协议，阐明了 IT 团队承诺向客户交付的内容，比如服务正常运行时间和性能。

服务水平指示器（SLI）

对服务性能方面的衡量，例如错误率、可用性或吞吐量。

服务水平目标（SLO）

代表服务运行状况的目标指标，由服务水平指示器衡量。

责任共担模式

描述您在云安全与合规方面共同承担 AWS 的责任的模型。 AWS 负责云的安全，而您则负责云中的安全。有关更多信息，请参阅责任共担模式。

SIEM

请参阅安全信息和事件管理系统。

单点故障（SPOF）

应用程序的单个关键组件出现故障，可能会中断系统。

SLA

请参阅服务水平协议。

SLI

请参阅服务水平指示器。

SLO

请参阅服务水平目标。

split-and-seed 模型

一种扩展和加速现代化项目的模式。随着新功能和产品发布的定义，核心团队会拆分以创建新的产品团队。这有助于扩展组织的能力和服务，提高开发人员的工作效率，支持快速创新。有关更多信息，请参阅在 AWS Cloud中实现应用程序现代化的分阶段方法。

SPOF

请参阅单点故障。

星型架构

一种数据库组织结构，它使用一个大型事实表来存储事务数据或测量数据，并使用一个或多个较小的维度表来存储数据属性。此结构专为在数据仓库中使用或用于商业智能目的而设计。

strangler fig 模式

一种通过逐步重写和替换系统功能直至可以停用原有的系统来实现单体系统现代化的方法。这种模式用无花果藤作为类比，这种藤蔓成长为一棵树，最终战胜并取代了宿主。该模式是由 Martin Fowler 提出的，作为重写单体系统时管理风险的一种方法。有关如何应用此模式的示例，请参阅使用容器和 Amazon API Gateway 逐步将原有的 Microsoft ASP.NET（ASMX）Web 服务现代化。

子网

您的 VPC 内的一个 IP 地址范围。子网必须位于单个可用区中。

监督控制和数据采集（SCADA）

在制造业中，一种使用硬件和软件来监控实物资产和生产操作的系统。

对称加密

一种加密算法，它使用相同的密钥来加密和解密数据。

综合测试

以模拟用户交互的方式测试系统，以检测潜在问题或监控性能。你可以使用 Amazon S CloudWatch ynthetics 来创建这些测试。

系统提示

一种为 LLM 提供上下文、说明或准则以指导其行为的技术。系统提示有助于设置上下文并制定与用户交互的规则。

T

标签

键值对，用作组织资源的元数据。 AWS 标签有助于您管理、识别、组织、搜索和筛选 资源。有关更多信息，请参阅标记您的 AWS 资源。

目标变量

您在监督式 ML 中尝试预测的值。这也被称为结果变量。例如，在制造环境中，目标变量可能是产品缺陷。

任务列表

一种通过运行手册用于跟踪进度的工具。任务列表包含运行手册的概述和要完成的常规任务列表。对于每项常规任务，它包括预计所需时间、所有者和进度。

测试环境

请参阅环境。

训练

为您的 ML 模型提供学习数据。训练数据必须包含正确答案。学习算法在训练数据中查找将输入数据属性映射到目标（您希望预测的答案）的模式。然后输出捕获这些模式的 ML 模型。然后，您可以使用 ML 模型对不知道目标的新数据进行预测。

中转网关

一个网络传输中心，可用于将您的网络 VPCs 和本地网络互连。有关更多信息，请参阅 AWS Transit Gateway 文档中的什么是公交网关。

基于中继的工作流程

一种方法，开发人员在功能分支中本地构建和测试功能，然后将这些更改合并到主分支中。然后，按顺序将主分支构建到开发、预生产和生产环境。

可信访问权限

向您指定的服务授予权限，该服务可代表您在其账户中执行任务。 AWS Organizations 当需要服务相关的角色时，受信任的服务会在每个账户中创建一个角色，为您执行管理任务。有关更多信息，请参阅 AWS Organizations 文档中的AWS Organizations 与其他 AWS 服务一起使用。

优化

更改训练过程的各个方面，以提高 ML 模型的准确性。例如，您可以通过生成标签集、添加标签，并在不同的设置下多次重复这些步骤来优化模型，从而训练 ML 模型。

双披萨团队

一个小 DevOps 团队，你可以用两个披萨来喂食。双披萨团队的规模可确保在软件开发过程中充分协作。

U

不确定性

这一概念指的是不精确、不完整或未知的信息，这些信息可能会破坏预测式 ML 模型的可靠性。不确定性有两种类型：认知不确定性是由有限的、不完整的数据造成的，而偶然不确定性是由数据中固有的噪声和随机性导致的。有关更多信息，请参阅量化深度学习系统中的不确定性指南。

无差别任务

也称为繁重工作，即创建和运行应用程序所必需的工作，但不能为最终用户提供直接价值或竞争优势。无差别任务的示例包括采购、维护和容量规划。

上层环境

请参阅环境。

V

vacuum 操作

一种数据库维护操作，包括在增量更新后进行清理，以回收存储空间并提高性能。

版本控制

跟踪更改的过程和工具，例如存储库中源代码的更改。

VPC 对等连接

两者之间的连接 VPCs ，允许您使用私有 IP 地址路由流量。有关更多信息，请参阅 Amazon VPC 文档中的什么是 VPC 对等连接。

漏洞

损害系统安全的软件缺陷或硬件缺陷。

W

热缓存

一种包含经常访问的当前相关数据的缓冲区缓存。数据库实例可以从缓冲区缓存读取，这比从主内存或磁盘读取要快。

暖数据

不常访问的数据。查询此类数据时，通常可以接受中速查询。

窗口函数

一种对与当前记录有某种关联的一组行执行计算的 SQL 函数。窗口函数对于处理任务很有用，例如计算移动平均值或根据当前行的相对位置访问行的值。

工作负载

一系列资源和代码，它们可以提供商业价值，如面向客户的应用程序或后端过程。

工作流

迁移项目中负责一组特定任务的职能小组。每个工作流都是独立的，但支持项目中的其他工作流。例如，组合工作流负责确定应用程序的优先级、波次规划和收集迁移元数据。组合工作流将这些资产交付给迁移工作流，然后迁移服务器和应用程序。

WORM

请参阅一次写入多次读取。

WQF

请参阅 AWS 工作负载资格鉴定框架。

一次写入多次读取（WORM）

一种存储模型，可一次写入数据并防止数据被删除或修改。授权用户可以根据需要多次读取数据，但无法对其进行更改。此数据存储基础设施被认为不可变。

Z

零日漏洞利用

一种利用零日漏洞的攻击，通常为恶意软件。

零日漏洞

生产系统中不可避免的缺陷或漏洞。威胁主体可能利用这种类型的漏洞攻击系统。开发人员经常因攻击而意识到该漏洞。

零样本提示

为 LLM 提供执行任务的说明，但没有可以帮助指导的示例（样本）。LLM 必须使用预先训练的知识来处理任务。零样本提示的有效性取决于任务的复杂性和提示的质量。另请参阅少样本提示。

僵尸应用程序

平均 CPU 和内存使用率低于 5% 的应用程序。在迁移项目中，通常会停用这些应用程序。

本文属于机器翻译版本。若本译文内容与英语原文存在差异，则一律以英文原文为准。