

Arquitectura

Apache Cassandra - Bases de datos II

Alberto Díaz Álvarez (<alberto.díaz@upm.es>)

Departamento de Sistemas Informáticos

Escuela Técnica superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos

License CC BY-NC-SA 4.0

Apache Cassandra se diseñó para cumplir muchos requisitos de arquitectura:

- **Garantizar que no haya un SPF** (*Single Point of Failure*)
 - Si tenemos $N > 1$ nodos y uno falla, el clúster debe seguir funcionando
 - Otros sistemas (p.ej. Hadoop o MongoDB) no cumplen este requisito
 - El fallo de un nodo puede causar la caída del sistema entero
- Alcanzar una **gran escalabilidad y elasticidad**, consiguiendo:
 - i. Que un clúster pueda albergar cientos o miles de nodos
 - ii. Que sea posible añadir un nuevo nodo al clúster sin que éste se detenga
- Mantener una **alta disponibilidad**
 - Lo cual se aborda con una arquitectura **distribuida y descentralizada**

En este tema exploraremos la arquitectura de Cassandra con algo de detalle

- Así vemos cómo se implementan estos requisitos de arquitectura

Arquitectura de Cassandra

Características principales

Las principales características de la arquitectura son las siguientes:

- En Cassandra no existen jerarquías de nodos, sino que todos son iguales
- Los nodos se distribuyen siguiendo una topología de tipo anillo
- Los datos se distribuyen automáticamente entre todos los nodos
- Los *tokens* (*hash* de las claves) se utilizan para esta distribución
- Los datos se replican en los nodos para garantizar la redundancia
- Los datos se guardan en memoria y se persisten «perezosamente» (*lazy*)

La arquitectura soporta múltiples centros de datos

- La replicación puede realizarse a lo largo de diferentes centros de datos
- Se favorecen las lecturas en centros de datos locales frente a remotos

Efectos de esta arquitectura

La ubicación de los datos en el clúster va en función de los datos

- La eficiencia es mayor ya que las consultas van a tiro hecho

Cualquier nodo puede aceptar cualquier petición

- Si un nodo tiene los datos, los devolverá
- Si no, redirigirá la petición a quien los tenga

Se puede especificar el nivel de redundancia de datos

- Se puede aumentar o disminuir en función de la criticidad de los datos

La consistencia se puede ajustar como un compromiso con el rendimiento.

Operaciones de lectura/escritura

Proceso de escritura a nivel de nodo

Cassandra procesa los datos en varias etapas durante la escritura:

1. Registro de la operación en el `CommitLog`
2. Escritura de datos en la `Memtable`
3. Descarga de datos de la `Memtable` a las `SSTables`



La escritura se realiza en paralelo, a nivel de clúster, llegando a todos los nodos que mantienen réplicas

Proceso de lectura a nivel de nodo (I)

Los pasos para la lectura son los siguientes:

1. Comprobación de la `Memtable` y el `filtro de Bloom`
2. Comprobación en caché de claves de partición (si está activa)
3. Si la partición no está en la caché, se comprueba el (*summary*) de la partición
4. Se accede al índice de la partición
5. Se localizan los datos en el disco
6. Se obtienen los datos de la `SSTable`
7. Antes de devolverlos, consolidación a partir de la `Memtable` y la `SSTable`

Vamos, que es un proceso algo largo y tedioso

Proceso de lectura a nivel de nodo (y II)

La lectura en Apache Cassandra es más compleja que la escritura



Particionado de datos

Inspiración

Cassandra se apoya en una serie de técnicas de DynamoDB

- El sistema de almacenamiento distribuido clave-valor de Amazon

En este sistema cada nodo tiene tres componentes principales:

1. Coordinación de peticiones sobre un conjunto de datos **particionado**
2. Pertenencia a un **anillo** y detección de fallos
3. Un motor de **persistencia local**

Cassandra se basa principalmente en los dos primeros

- El motor de persistencia se basa en un *Log Structured Merge Tree (LSM)*

El diseño de Cassandra trata de satisfacer requisitos de almacenamiento del orden de PiB+ de datos, con baja latencia lectura y escritura

Particionado de datos (I)

La escalabilidad horizontal se logra en mediante la partición de los datos

- Esta se realiza mediante una función hash aplicada a su clave de particionado

Cada partición se replica en múltiples nodos físicos

- Pero cada nodo puede aceptar independientemente actualizaciones para cada clave que posee
- Como cada réplica puede aceptar mutaciones de manera independiente para cada clave que posee, cada clave debe ser versionada.
- El método de consolidación de datos es el de "la última escritura gana", donde cada mutación se marca con una marca de tiempo y la última versión de los datos es la que tiene valor

Particionado de datos (II)

El particionado de datos en Cassandra se realiza mediante *consistent hashing*

- Es un tipo especial de hashing que permite que la reasignación de claves al cambiar la tabla hash es menor que en el hashing tradicional

El funcionamiento (muy similar al *algoritmo Chord*) es el siguiente:

- Cassandra asigna cada nodo a uno o más *tokens* en un anillo de hash continuo
- Luego define la pertenencia mediante el hash de una clave en el anillo
- Por último, recorre el anillo en una dirección (sentido horario) para alcanzar los *tokens* requeridos

Replicación de datos

Replicación de datos

Cada partición de datos se replica en múltiples nodos del cluster

- En cada mutación, el **nodo coordinador** determina el **nodo a modificar**
- Luego replica dicha mutación a los **nodos réplica** de esos datos
- El modo en que se realiza se denomina **estrategia de Replicación**

Toda estrategia de replicación tiene la noción de factor de replicación (RF)

- Indica cuántas copias de la partición deben existir en el cluster

Los nodos réplica se eligen siempre entre nodos físicos distintos

- Se consigue saltándose nodos virtuales si es necesario
- Cada estrategia de replicación es diferente y se define por *keyspace*

Estrategias

NetworkTopologyStrategy: Permite definir el RF por *datacenter*

- También intenta elegir réplicas dentro de un *datacenter* de diferentes racks
 - Si número de racks \geq RF, cada réplica caerá en un rack diferente
 - Si no, cada *rack* contendrá al menos una réplica, y algunos más de una

SimpleStrategy: Permite definir el RF por clúster

- Trata todos los nodos igual, ignorando configuración de *rack* o *datacenter*

NetworkTopologyStrategy se suele preferir sobre **SimpleStrategy**

- Incluso si se usa un único *datacenter*
- Esto es debido a que facilita el añadir nuevos *datacenters* en el futuro

Operaciones de lectura/escritura

Proceso de escritura a nivel de nodo

Cassandra procesa los datos en varias etapas durante la escritura:

1. Registro de la operación en el `CommitLog`
2. Escritura de datos en la `Memtable`
3. Descarga de datos de la `Memtable` a las `SSTables`



La escritura se realiza en paralelo, a nivel de clúster, llegando a todos los nodos que mantienen réplicas

Proceso de lectura a nivel de nodo

La lectura en Apache Cassandra es más compleja que la escritura



Proceso de escritura a nivel de nodo (II)

- Los datos en disco pueden estar fragmentados en varias SSTables
- Necesita consolidar los datos existentes en Memtables y SSTables
- La lectura necesita identificar la SSTable que más probablemente contenga información sobre las particiones que estamos consultando
- Esta selección se realiza mediante la información del BloomFilter.

Proceso de escritura a nivel de nodo (y III)

Los pasos para la lectura son los siguientes:

1. Comprobación de la `Memtable`
2. Comprobación del `BloomFilter`
3. Comprobación en caché de claves de partición (si está activa)
4. Si la partición no está en la caché, se comprueba el resumen (*summary*) de la partición
5. Se accede al índice de la partición
6. Se localizan los datos en el disco
7. Se obtienen los datos de la `SSTable`
8. Antes de devolverlos, los datos se consolidan a partir de la `Memtable` y la `SSTable`

Vamos, que es un proceso algo largo y tedioso

Consistencia de datos ajustable

Niveles de consistencia (I)

Valores por los que se configura el compromiso consistencia-disponibilidad

- En Cassandra se ofrece un conjunto fijo de niveles de consistencia
 - Esto permite elegir el comportamiento sin conocer el factor de replicación
 - Otros motores, como DynamoDB, requieren valores absolutos de nodos

Las escrituras se consolidan cuando llegan al número de nodos especificados por el nivel de consistencia.

- **ONE**, **TWO** y **THREE**: Al menos una, dos y tres réplicas, respectivamente
- **QUORUM**: La mayoría (concretamente $n/2 + 1$) de réplicas del clúster
- **ALL**: Todas las réplicas
- **LOCAL_***: Limita la respuesta a las réplicas del datacenter local
- **ANY**: No requiere respuesta de ningún nodo (sólo escritura)

Niveles de consistencia (y II)

Las operaciones de **escritura** se envían siempre a **todas las réplicas**

- Esto es independiente del nivel de consistencia que sólo controla cuántas respuestas espera el coordinador antes de responder al cliente

Las de **lectura** sólo se envían a las **réplicas necesarias** para satisfacer el nivel de consistencia

- Excepción: Petición de **lectura redundante** a una réplica extra **si** las **originales no han respondido** dentro de una ventana de tiempo especificada

Snitch

¿Chivato?

El *snitch* es un componente con dos funciones principales:

1. Le especifica a cassandra la topology del clúster para enrutar las soluciones de la manera más eficiente
2. Permite la distribución de las réplicas por el clúster para evitar fallos correlacionados

Para este último punto, agrupa las máquinas en *datacenters* y *racks*

- Cassandra hará todo lo posible para no tener más de una réplica en el mismo *rack*

Gossip Protocol

Comunicación y detección de fallos

Tanto la réplica como el particionado dependen de saber el estado de los nodos

- Es la única forma de que lecturas y escrituras sean dirigidas de forma óptima

Cassandra utiliza un mecanismo de comunicación denominado *gossip* (cotilleo)

- Es la forma en que Cassandra propaga la información entre los nodos
- Éstos intercambian información de su estado y del de los nodos que conocen
- Esta información se versiona con un *vector clock* de tuplas (G, V) donde:
 - G (generación): Es una *timestamp* monótono
 - V (versión): Reloj lógico de frecuencia aproximada de 1 Hz
- Estos relojes permiten ignorar mensajes antiguos

Protocolo *gossip*

Cada segundo, de forma independiente se ejecuta el siguiente proceso:

1. Actualización del estado del nodo local
2. Elección al azar de otro nodo del clúster con el que intercambiar el estado
3. Intentar "cotillear" con cualquier nodo inalcanzable (si existe)
4. "Cotillear" con un nodo semilla (si no ha pasado ya en el paso 2)

Al arrancar un cluster se designan ciertos nodos como nodos semilla:

- Se diferencian en que pueden arrancarse sin ver a otros nodos semilla
- Se convierten en "puntos calientes" para el cotilleo" debido al paso 4 anterior

Es habitual tener varios nodos para que los nodos no semilla entren en el clúster

- Generalmente se incluye uno por cada *rack* o *datacenter*

Clasves de partición y de *clustering*

Sobre la clave primaria (I)

Es un subconjunto de las columnas de la tabla

No sólo es obligatoria, sino que además es **no puede cambiar una vez creada**

Tiene dos roles fundamentales:

- Optimizar el rendimiento en las consultas de lectura
 - *Query driven table design*, esto es, las tablas se definen **después** de saber qué consultas queremos hacer (como en casi todos los SGBD NoSQL)
 - La clave primaria se define **según de las consultas que se van a realizar**
- Identificar de forma única cada fila

Sobre la clave primaria (y II)

La clave primaria se compone de:

- Una *Partition Key*: Obligatoria, y compuesta de una o más columnas
- Una o más *Clustering Keys*: Opcionales

```
...  
PRIMARY KEY ((id), service)  
...
```

- En este ejemplo concreto, `id` sería la *Partition Key* y `service` la *Clustering Key*

De acuerdo a esto, se definen dos tipos de tablas:

- Tablas **estáticas**: Aquellas que definen sólo la clave de partición
- Tablas **dinámicas**: Aquellas que definen también la clave de clúster.

Claves de partición (*Partition Keys*)

Cuando se escriben los datos en una tabla, estos se agrupan en **particiones** y se distribuyen en nodos

- Esta operación se basa en la clave de partición (*Partition Key*)
- Al resumen hash de una partición se le denomina *token*
- Cada nodo tiene un rango de tokens, por lo que la clave de partición determina la localidad de los datos (partición) en el clúster

Las particiones son unidades fundamentales en Cassandra

- Cada partición podrá ser encontrada siempre en al menos un nodo
 - Bueno, y también en sus réplicas

Cuando nuestro clúster se compone de cientos de miles de nodos, la clave para mejorar el rendimiento es limitar el número de consultas entre nodos

Claves de clústering (*Clustering Keys*)

Almacena los datos en orden ascendente (defecto) o descendente en la partición

- Ascendente por defecto

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS accounts (  
  id uuid,  
  username text,  
  password text,  
  service text,  
  PRIMARY KEY ((service), username)  
);
```

En este ejemplo los datos se ordenarán por `service` dentro de cada partición

- Esto optimiza la recuperación de valores cercanos en una misma partición
- Más de una clave de clúster implica orden múltiple

Gracias