Tema 6 - Confiabilidad en Sistemas Distribuidos

Felipe Ortega, Gorka Guardiola
GSyC, ETSIT. URJC.

Sistemas Distribuidos (SD)

24 de noviembre, 2020

Contenidos

6.1 Confiabilidad

¿Qué es?

- Definición: [1].
- Confianza que se puede poner en el servicio que da el sistema;
- disponibilidad;
- seguridad;
- tolerancia a fallos;

6.2 Disponibilidad

Disponibilidad

- Medida de cuanto tiempo ininterrumpido se da el servicio.
- Tiempo medio entre fallos (MTBF - Mean time between failures).
- Tiempo medio de reparación (MTTR - Mean time to repair).
- Tiempo medio hasta fallo (MTTF - Mean time to failure), si no se puede reparar.

Tiempo medio de reparación

- Tiempo de detección.
- Tiempo de respuesta - entre detección y diagnóstico.
- Tiempo de recuperación.

6.3 Seguridad

Seguridad

- Importante para la confiabilidad
- Uso no autorizado, acceso no autorizado, datos falsos, etc.
- No se ve en esta asignatura, pero no se puede olvidar

6.4 Tolerancia a fallos

Tolerancia a fallos

- Evitar fallos.
- Recuperarse de fallos.
- Esconder fallos.

Tipos de fallos

- Fallo parada (se para, puede ser silencioso o no).
- Fallo omisión (no responde).
- Fallo temporización (o rendimiento).
- Fallo respuesta (responde mal).
- Fallo bizantino [1].

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Byzantine_fault

Recuperarse de fallos/Evitar fallos

- Los sistemas fallan (en especial si la escala es grande).
- Estar preparado.
- Reiniciar servidores, mejor que se caigan a que se corrompan.
- Introducir errores, incidentes, adrede.
- Probar de verdad los backups/mecanismos de recuperación.

Introducir errores

- Una idea importante.
- No sólo para probar el backup (también), sino todo el rato.
- Ejemplo: Chaos monkey de Netflix para AWS.

Análisis básico de probabilidad de fallo

- Tenemos N componentes independientes.
- Si falla cualquiera, falla el sistema (Luz, red ...).

$$P(nofallo) = \prod_i P(nofallo_i) = \prod_i (1 - P(fallo_i)),$$

OJO, sólo si las $P(fallo_i)$ son muy pequeñas $P(fallo_i)P(fallo_j)\ldots << P(fallo_i)$,

$$\prod_i (1 - P(fallo_i)) = 1 - P(fallo_1) - P(fallo_2) \cdots + P(fallo_1)P(fallo_2)$$
$$+ P(fallo_1)P(fallo_3)\ldots \approx 1 - \sum_i P(fallo_i).$$

Si la probabilidad de fallo es muy pequeña, es aproximadamente aditiva.

Análisis básico de probabilidad de fallo, ejemplo

Tenemos 2 componentes independientes,

$$\begin{aligned} P(fallo_1) &= 0{,}001, \\ P(fallo_2) &= 0{,}001, \\ P(nofallo) &= \prod_1^2 (1 - P(fallo_i)) \\ &= 1 - P(fallo_1) - P(fallo_2) + P(fallo_1)P(fallo_2). \end{aligned}$$

Pero tenemos que $P(fallo_1)P(fallo_2) = 1E-6 << P(fallo_1) = 1E-3$,

$$\prod_1^2 (1 - P(fallo_i)) \approx 1 - 2E-3 = 0{,}998.$$

Análisis básico de probabilidad de fallo

- Lo anterior no es cierto si:
- Hay muchos componentes;
- la probabilidad no es muy pequeña.
- ¿Qué sucede en ese caso?

Redundancia Modular Triple (TMR) O N-modular

- Replicación de los sistemas (ya hemos visto maestro-esclavo).
- Cuando hay pocos fallos, maestro-esclavo.
- Muchos fallos, replicación, TMR.
- Para esconder fallos.
- Se tienen N módulos que votan el resultado.
- Al menos tres.
- Ojo, sistema de votado también replicado o protegido.
- También se puede votar con un **algoritmo distribuido de consenso** (Raft, Paxos).

Redundancia Modular Triple (TMR)

- Tenemos N servidores independientes.
- Probabilidad de fallo independiente (¿es esto cierto, diferente HW, OS?).
- $P(fallo) = \prod_i P(fallo_i)$
- Cada servidor que añado la hace multiplicativamente más pequeña.
- . . . y cuesta dinero y recursos.

Complejidad

- Algorítmica (local).
- Máxima (peor caso), medio.
- Número de rondas (latencia, $Algorit \times N$).
- Número de mensajes (throughput, ancho de banda).

6.5 Algoritmos de consenso

Paxos

- Referencias principales: [2] y [3].
- Consenso distribuido.
- N servidores deciden un valor.
- Paxos es complicado, poco detalle
- Sólo aprenden un valor, quiero un log

Paxos: single-decree, multi-decree

- El protocolo tradicional, single-decree (o synod) decid un valor.
- Si quiero un log distribuido.
- Multi-decree más complicado.
- Hay N versiones.

Raft

- Similar a Paxos (multi-decree).
- Diseñado alrededor de un log distribuido.
- Combina el log distribuido con un sistema de elección del líder (similar al algoritmo del dictador).
- Mucho más sencillo, bien especificado.
- Basado en timeouts y aleatorización (no totalmente asíncrono).
- Creado por Diego Ongaro y John Ousterhout (es la tesis doctoral del primero).

Raft

- Similar a Paxos.
- Procesadores, velocidad arbitraria acotada, timeout, parcialmente síncrono con detección de fallos.
- Errores de fallo-recuperación.
- Red, mensajes a cualquier procesador.
- Pérdidas, reordenación, duplicación.
- No hay corrupción (no hay fallos bizantinos en general).

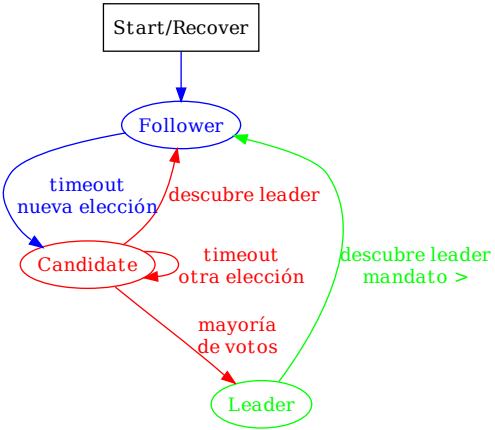
Propiedades de Raft

- No trivialidad: al log sólo van valores propuestos.
- Consistencia: Sólo va un valor para cada índice.
- Viveza: Si se propone un valor, tarde o temprano va al log de una mayoría de miembros.
- http://thesecretlivesofdata.com/raft.

Roles en Raft

- `Follower`.
- `Candidate`.
- `Leader` (tiene un número de mandato, Term).
- Caso normal, $N - 1$ followers y un leader.
- Con timeout aleatorio si no hay leader se presentan.

Roles en Raft



Fase inicial de Raft (i)

- Empieza con todos como `Followers`.
- Uno da timeout (no hay lider, no le llegan mensajes).
- Se pone como candidato, `Candidate` (incrementa el mandato, Term).

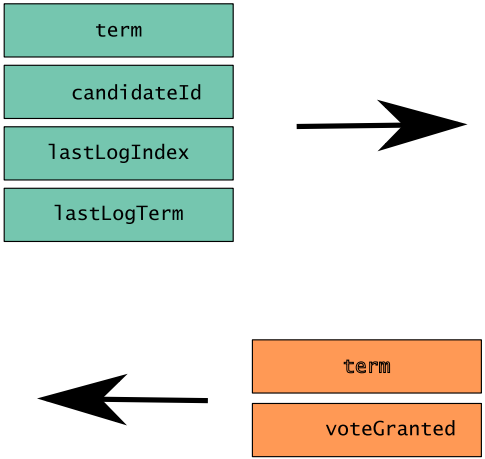
Mensajes de Raft

- Son RPCS, cuatro mensajes (dos peticiones y sus respuestas).
- `RequestVote`: para pedir el voto (respuesta, sí o no).
- `AppendEntries`: dos propósitos, mandar un valor a log, heartbeat.

Fase inicial de Raft (ii)

- El candidato pide votos (vota por sí mismo), `RequestVote` si saca mayoría absoluta, gana, es el líder.
- El nuevo líder comienza un nuevo mandato `Term`.
- Cada `Follower` puede votar sólo a uno.
- Si hay otro Candidate a la vez (da timeout), no sacará mayoría absoluta, verá un mensaje con un Term mayor (`AppendEntries` o un nuevo `RequestVote`)

Fase inicial de Raft: requestVotes



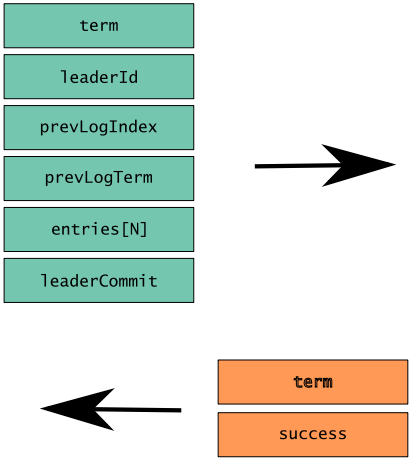
Fase normal de Raft

- Tengo un Leader.
- Periódicamente manda un `AppendEntries` para avisar de que está vivo.
- El `AppendEntries` puede tener valores para el log de los Followers.

Fase normal de Raft

- De un valor no se hace commit en el log.
  - Del servidor hasta que no han contestado una mayoría absoluta de Followers.
  - Del cliente hasta que no avanza el índice del qué ha hecho commit el servidor (un campo de `AppendEntries`).
- Cuando se hace commit, ese valor ya no debería cambiar, se avanza la máquina de estados.

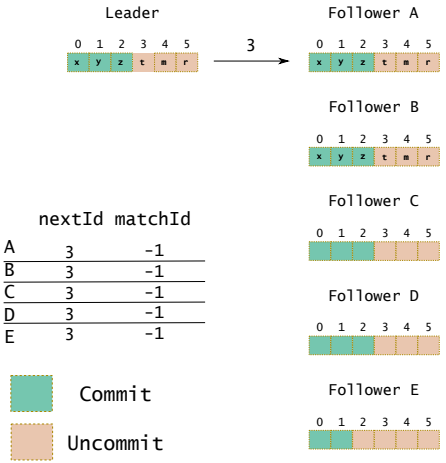
Fase normal de Raft, AppendEntries



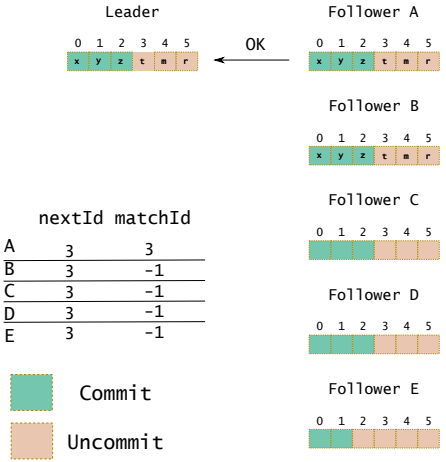
Fase normal de Raft

- Ojo, en lo que sigue está simplificado.
- El mensaje de `AppendEntries` y el heartbeat.
- Son lo mismo y llevan todo.
- `AppendEntries` se manda periódicamente, puede que sin entries (heartbeat).
- Dibujamos los mensajes a los `Follower` secuencialmente, en realidad van en paralelo.

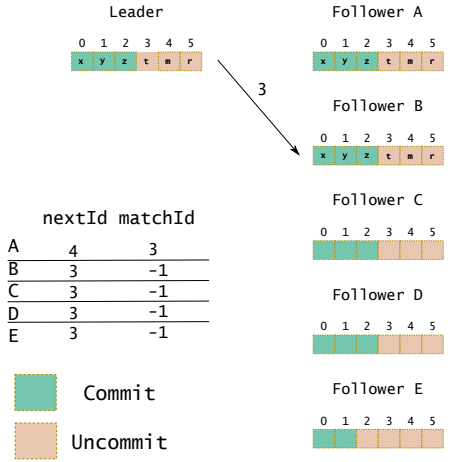
Fase normal de Raft, log



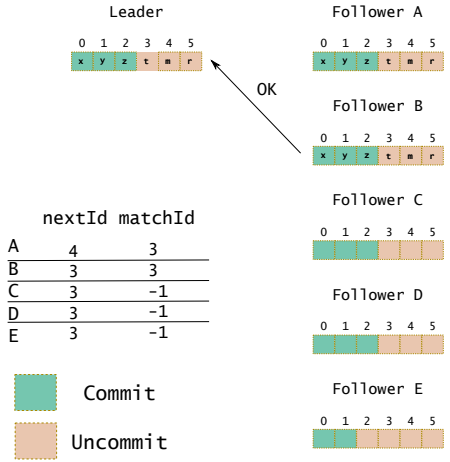
Fase normal de Raft, log



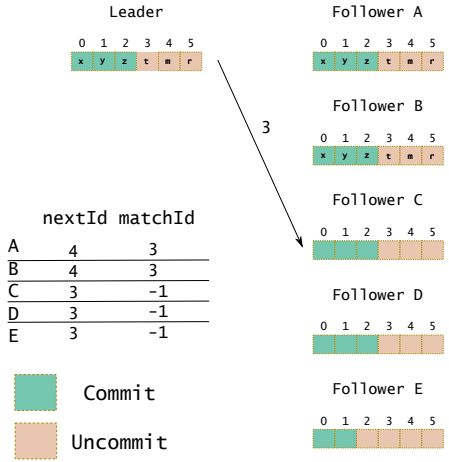
Fase normal de Raft, log



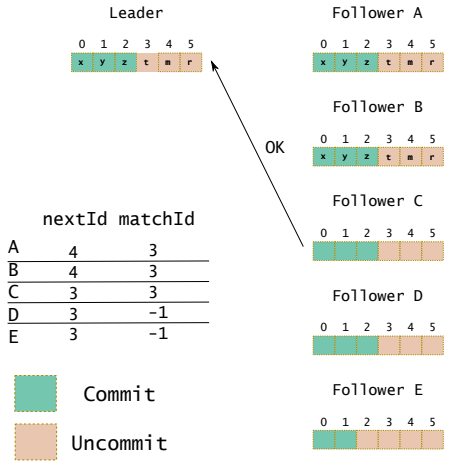
Fase normal de Raft, log



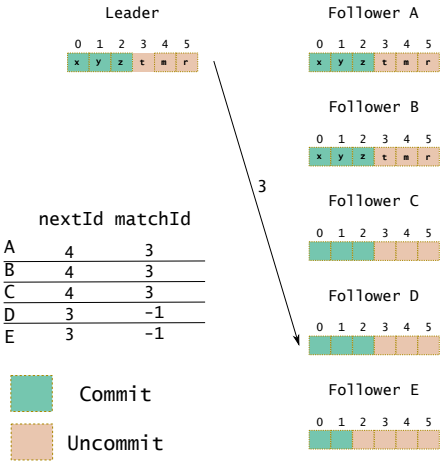
Fase normal de Raft, log



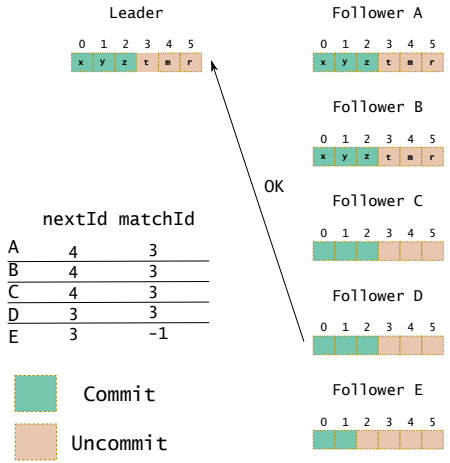
Fase normal de Raft, log



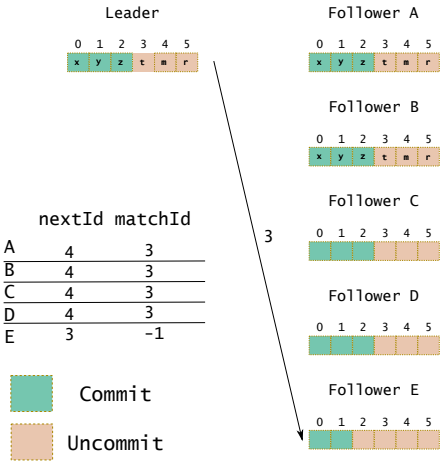
Fase normal de Raft, log



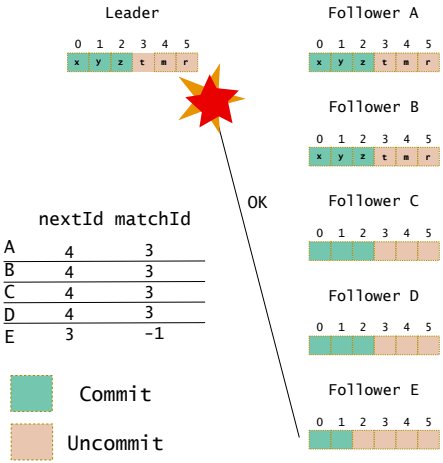
Fase normal de Raft, log



Fase normal de Raft, log



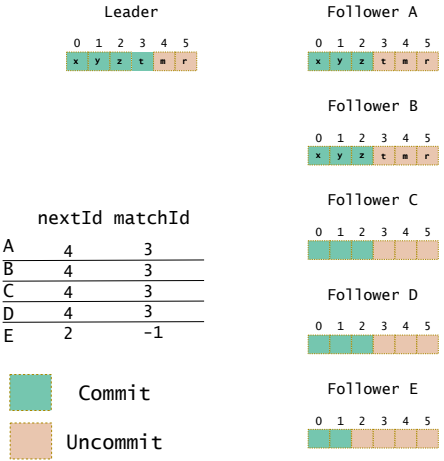
Fase normal de Raft, log



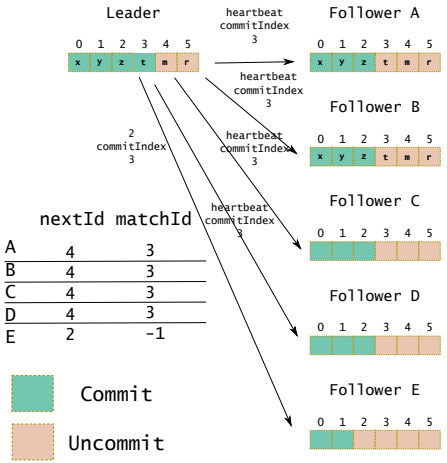
Fase normal de Raft, log

- Aunque se ha perdido uno, hay mayoría, aumento mi commit.
- De ese no me contestan así que mando con un índice menos (si no me contestan o me contestan error).
- Si me contestan error es porque el prefijo del log no coincide.

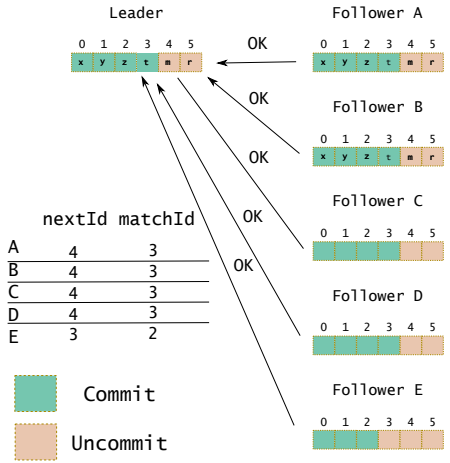
Fase normal de Raft, log



Fase normal de Raft, log



Fase normal de Raft, log



Log

- El log es lo más delicado de Raft.
- En teoría cada entrada es un cambio de estado en una máquina de estados.
- Hacen falta ciertas garantías para que funcione.

Log

- Cuando se manda `AppendEntries` a un Follower se indica la entrada anterior.
- Se intenta garantizar que hay un prefijo común entre el Leader y los Followers.
- El Leader lleva cuenta de qué le ha mandado a cada uno `nextId` y `matchId`.
- Empieza desde lo que se hizo commit en él, si hay un error, retrocede.

Raft: cuando falla

- Varios Candidate entran en un duelo.
- Piden votos a diferentes grupos.
- Entran en un bucle en el que vas teniendo muchas elecciones.
- La aleatorización hace que (finalmente) converja a un sólo líder.
- Hay que elegir bien los timeouts y depende de la red.
- Si no hay suficientes réplicas para mayoría (error duro).
  - En este caso, no avanza nunca el líder.

Flp: imposibilidad de consenso con fallos bizantinos

- En un sistema completamente asíncrono.
- Hay un teorema que dice que es imposible.
- Lo que dice es que **ningún algoritmo garantiza viveza**.
- Es imposible distinguir un fallo de un tarda mucho en contestar.
- En la práctica, no es tan importante (timeouts, como en Raft).
- Ojo, los timeouts dependen del tipo de red.

6.6 Aplicaciones en la industria

Raft en la industria: Apache Kudu

- https://kudu.apache.org/overview.html.
- Capa de analítica de datos de Hadoop.
- Hadoop es un framework de almacenamiento distribuido.

Raft en la industria: CockroachDB

- https://www.cockorachlabs.com.
- Base de datos relacional distribuida escalable SQL.

Raft en la industria: Consul

- https://www.consul.io.
- Para orquestación de contenedores/máquinas/infrasestructura/servicios.

Raft en la industria: LogCabin

- https://github.com/logcabin.
- Almacentamiento distribuido, del creador de Raft.

Paxos en la industria: Chubby

- Chubby: sistema de locking de grano grueso, con algo de almacenamiento.
- Lo usa GFS y Bigtable (el fs y la base de datos de Google).
- Implementa *multi-decree Paxos*.
- Almacenamiento pequeño, seguro, lento, para cosas muy importantes (metadatos de GFS, Bigtable).

Paxos en la industria: Zookeeper

- Zookeeper, sistema de coordinación de servidores distribuidos, no implementa exactamente Paxos, sino Zab, muy similar.
- Parte de Hadoop, implementación abierta similar a GFS.
- Implementa Zab, algoritmo de consenso similar a Paxos (no exactamente igual).
- Similar a un Sistema de Ficheros (jerárquico, znodes, ficheros y directorios).
- Elección de líder.
- Propagación de estado (hay un orden total establecido).
- Eventos de cambios de estado (znodes).
- Lento.

Paxos en la industria: Apache Cassandra

- Base de datos híbrida key/value y tabular.
- En Facebook originalmente, muy escalable.
- Usa un lenguaje de acceso propio CQL.

Bibliografía I


[Birman, 2015] Birman, Kenneth P.
Reliable distributed systems: technologies, web services, and applications.
Springer, 2005.


[Lamport, 2001] Lamport. L.
Paxos made simple.
ACM SIGACT News, 32.4 (2001): 18-25.


[van Renesse, 2011] van Renesse, R.
Paxos Made Moderately Complex.
Cornell University, 2011.


[van Steen & Tanenbaum, 2017] van Steen, M., Tanenbaum, A. S.
Distributed Systems.
Third Edition, version 01. 2017.