

Sistemas distribuídos

Trabalho elaborado por:

- Guilherme Bento - 25193
- Tiago Portugal - 30816
- Ricardo Matos - 22459
- Vasco Aparício - 22619

Disciplina: Sistemas Distribuídos

Introdução

O projeto consiste na implementação de um sistema distribuído para o armazenamento e recuperação de ficheiros. Este trabalho foi constituído por sete sprints, dois dos quais de recuperação.

O grupo optou por implementar a solução com a linguagem de programação go(golang), de modo a utilizar a biblioteca `kubo (go-ipfs)`, na qual é baseada o `ipfs desktop` e `ipfs cli` (basicamente uma abstração da biblioteca), para criar um projeto mais integrado sem recurso a *wrappers* ou comandos shell.

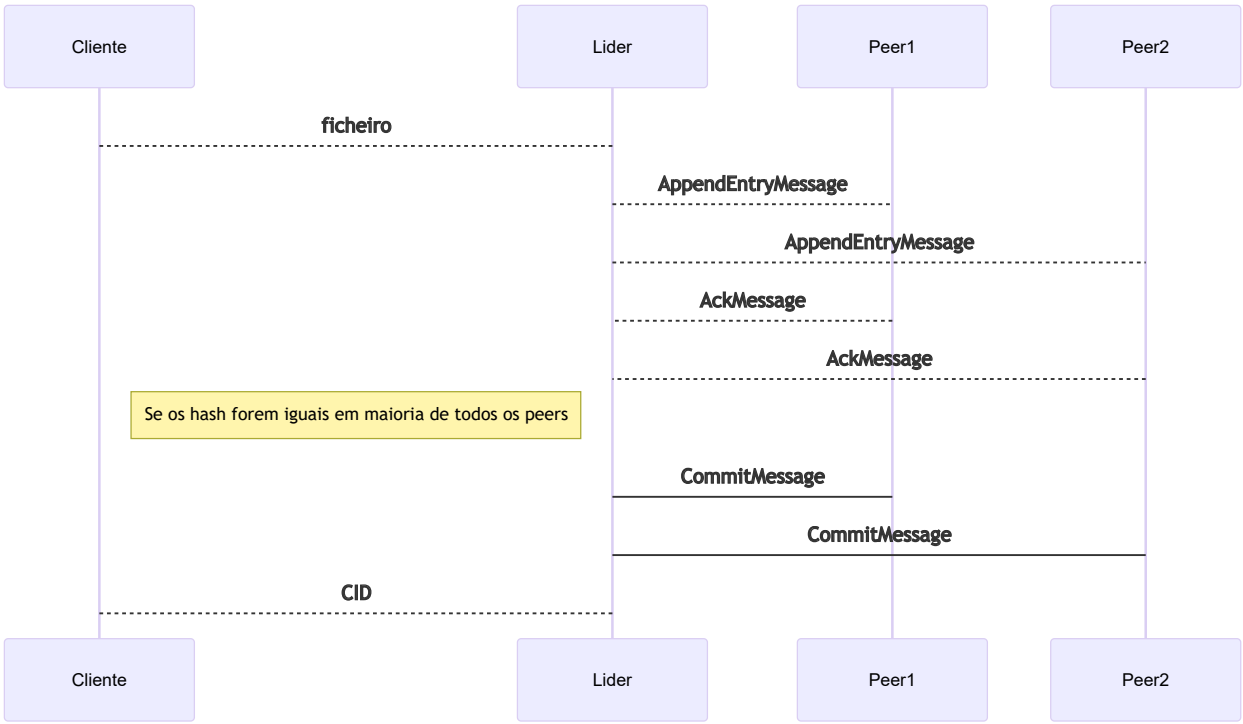
Todos os elementos do grupo interpretaram a implementação do projeto em `go` com entusiasmo, para poder ter *feedback* da linguagem, que tem vindo a ganhar popularidade.

Objetivos

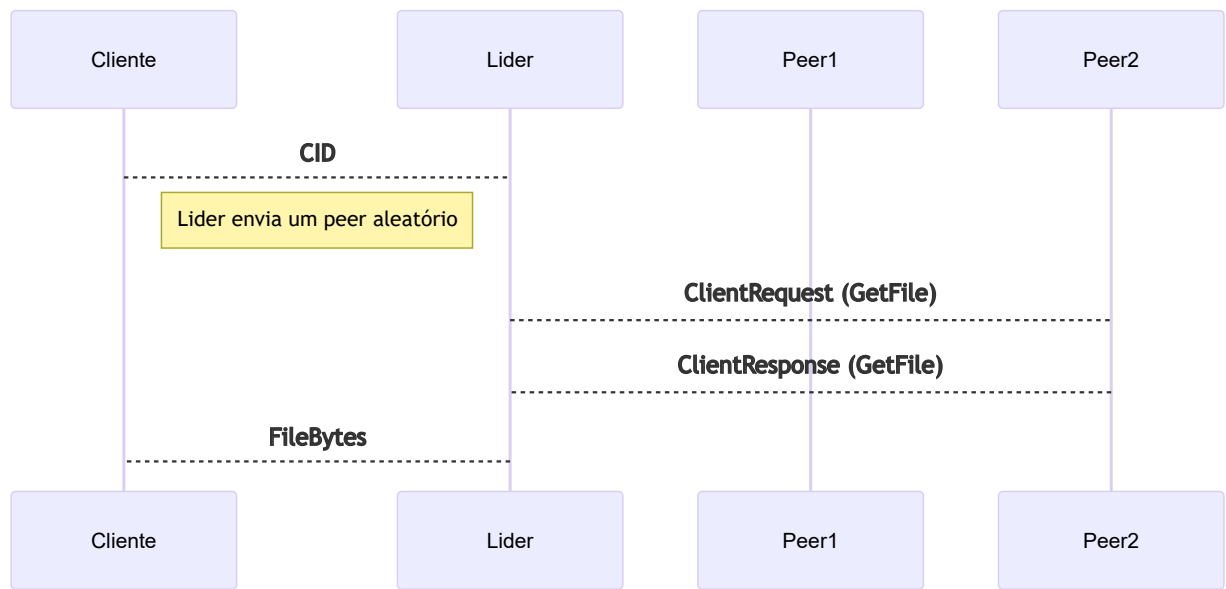
- Implementar armazenamento distribuído baseado em IPFS com identificação de ficheiros por CIDs
- Desenvolver algoritmo de consenso inspirado no Raft para consistência entre peers
- Integrar pesquisa semântica através de embeddings FAISS
- Garantir tolerância a falhas com deteção e eleição automática de líder
- Disponibilizar API REST para interação com cliente

Arquitetura da solução UML

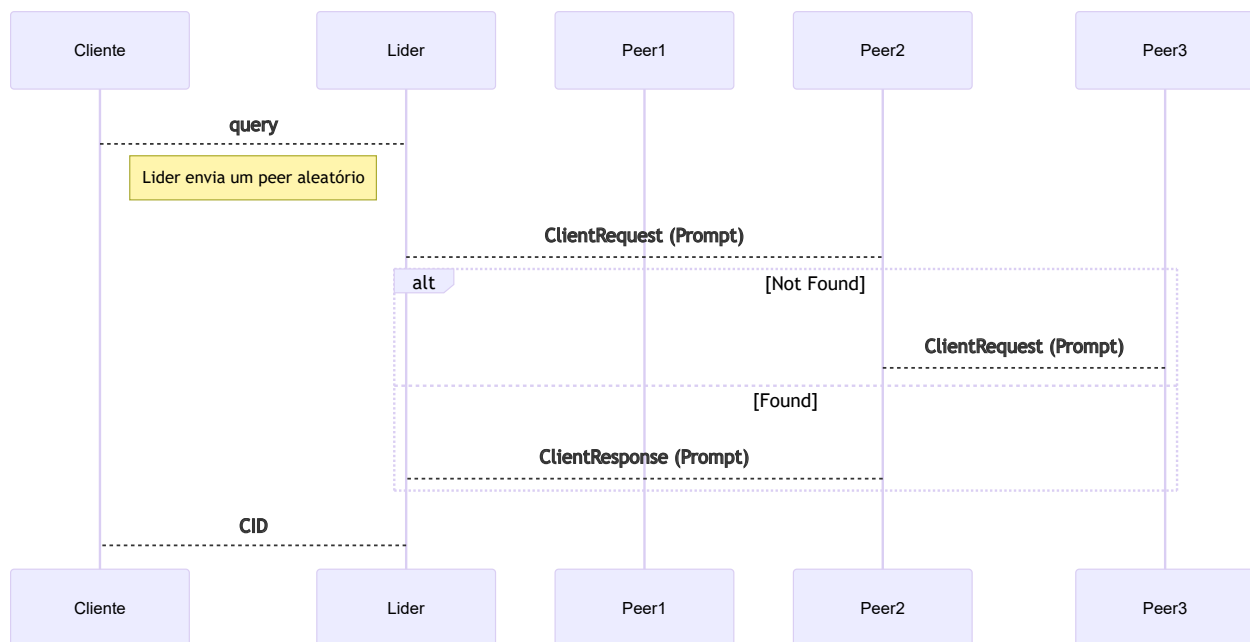
| Add File - Diagrama de sequência



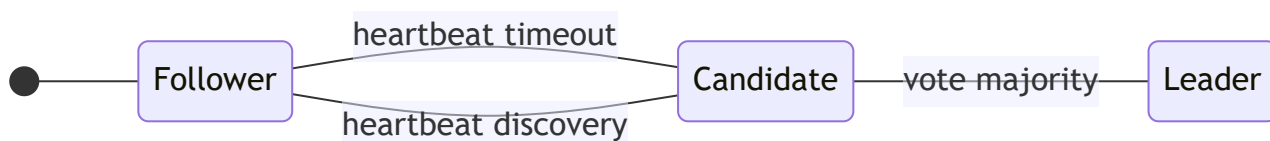
| Get File - Diagrama de Sequência



|Prompt - Diagrama de sequência:



|Transição de rotinas - Diagrama de estados



Implementação

Protocolo de Consenso

O sistema implementa uma variação do protocolo Raft com eleição de líder e replicação de vetores. O líder coordena a adição de ficheiros enviando `AppendEntryMessage` com o vetor de CIDs e embeddings para os peers. Após receber confirmação da maioria dos peers com hash correta, envia `CommitMessage` para confirmação definitiva.

IPFS e Armazenamento

Cada ficheiro é identificado por um CID único baseado no hash do conteúdo. O IPFS garante que os ficheiros ficam distribuídos e acessíveis entre os peers da rede.

Pesquisa Semântica

O sistema utiliza FAISS para indexar embeddings dos ficheiros (dimensão 384). Quando um cliente envia uma query, o líder delega o pedido a um peer aleatório que procura no índice FAISS os documentos mais relevantes.

Canais de Comunicação

aem

```
AEM Topico = "aem" // Topico AppendEntryMessage

type AppendEntryMessage struct {
    Vector Vector
    Embeddings []float32
}
```

ack

```
ACK Topico = "ack" // Topico Ack

type AckMessage struct {
    Version int
    Hash string
}
```

commit

```
COMM Topico = "commit" // Topico Commit

type CommitMessage struct {
    Version int
}
```

heartbeat

```
HTB Topico = "heartbeat" // Topico Heartbeat
```

```
type HeartBeatMessage struct {  
    Npeers int  
    Term int  
}
```

rebuildquery

```
RBLQ Topico = "rebuildquery" // Topico RebuildQuery
```

```
type RebuildQueryMessage struct {  
    Info []string  
    Dest peer.ID  
}
```

RebuildResponse

```
RBLR Topico = "rebuildreponse" // Topico RebuildResponse
```

```
type RebuildResponseMessage struct {  
    Response map[string][]float32  
    Dest peer.ID  
}
```

Candidate Proposal

```
CDTP Topico = "candidateproposal" // Topico CandidatePorposal
```

```
type CandidatePorposalMessage struct {  
    Term int  
}
```

Votting poll

```
VTP Topico = "votingpool" // Topico VotingPool

type VoteMessage struct {
    Term int
    Candidate peer.ID
}
```

ClientRequest

```
CRQ Topico = "clientrequest" // Topico ClientResquest

type ClientRequest struct {

    RequestUUID []byte
    Type ResquestType
    Age int
    Arg string
    Dest peer.ID
}
```

ClientResponse

```
CRP Topico = "clientresponse" // Topico ClientResponse

type ClientResponse struct {

    RequestUUID []byte
    Type ResponseType
    Data []byte
    Error string
}
```

Deteção e Recuperação de Falhas

O sistema implementa três mecanismos de detecção de falhas do líder:

1. **Heartbeats periódicos:** Líder envia mensagens a cada 1.5 segundos
2. **Timeout nos followers:** Ausência de heartbeats por 15-30 segundos (com jitter) indica falha
3. **Eleição automática:** Quando timeout é atingido, o peer torna-se candidato, solicita votos, e com maioria torna-se novo líder

Conclusão

O projeto implementou com sucesso um sistema distribuído para armazenamento e recuperação inteligente de ficheiros, combinando IPFS, consenso Raft e pesquisa semântica com FAISS. A utilização de Go mostrou-se adequada pela performance em concorrência e disponibilidade de bibliotecas nativas.

Os principais contributos incluem a adaptação do Raft para vetores versionados com embeddings, deteção robusta de falhas através de heartbeats e eleição automática, e distribuição de carga de pesquisa entre peers. O sistema garante consistência através de quorum maioritário, sendo adequado para clusters pequenos e estáveis.

A experiência com Go foi positiva, confirmando a adequação da linguagem para sistemas distribuídos. Como trabalho futuro, poder-se-ia implementar envio incremental de vetores para reduzir tráfego de rede, adicionar persistência de estado, e explorar índices FAISS mais eficientes para datasets maiores.