Prévia da Defesa de Mestrado

Estudo e Implementação de Códigos Corretores de Erros no Sistema de Arquivos Distribuído do Hadoop

Celina d' Ávila Samogin
Instituto de Computação — UNICAMP

17 de dezembro de 2012

Orientadora: Profa. Dra. Islene Calciolari Garcia

Agenda

Motivação

- Este trabalho é uma contribuição para *software* livre em sistemas distribuídos.
- Armazenamento de dados ===> componente essencial na computação de alto desempenho.
- Códigos Corretores de Erro (*Erasure codes*) introduzem redundância para alcançar confiabilidade e redução do custo de armazenamento.

Motivação

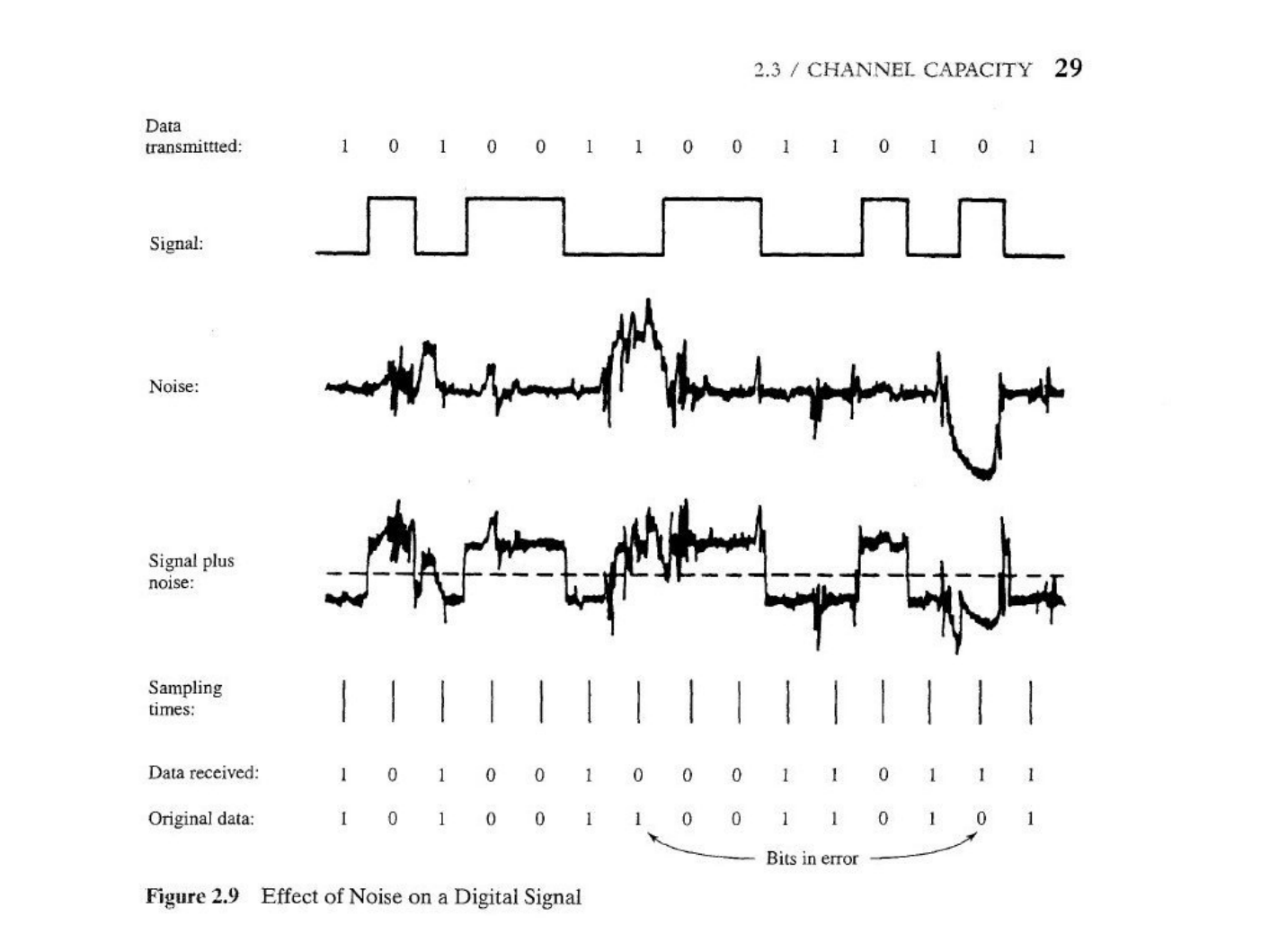


Figura: Efeito do ruído no sinal digital [22]

Motivação

- Popularização dos computadores e as pesquisas espaciais ==> os códigos corretores de erros tornaram-se parte comum de comunicações por satélite, de redes de computadores, de armazenamento em discos óticos e outros meios magnéticos.
- Uso frequente em nosso cotidiano

Motivação

Figura: Assistir programa de televisão Vila Sésamo[24]

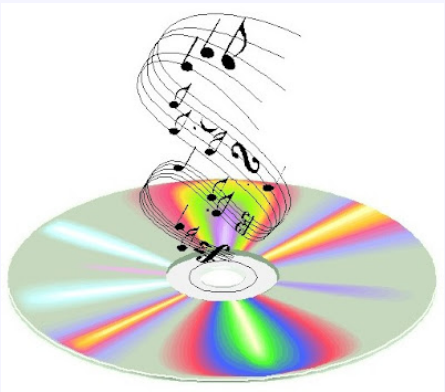


Figura: Ouvir música a partir de um CD[3]

Motivação

Figura: Atender um telefonema[9]

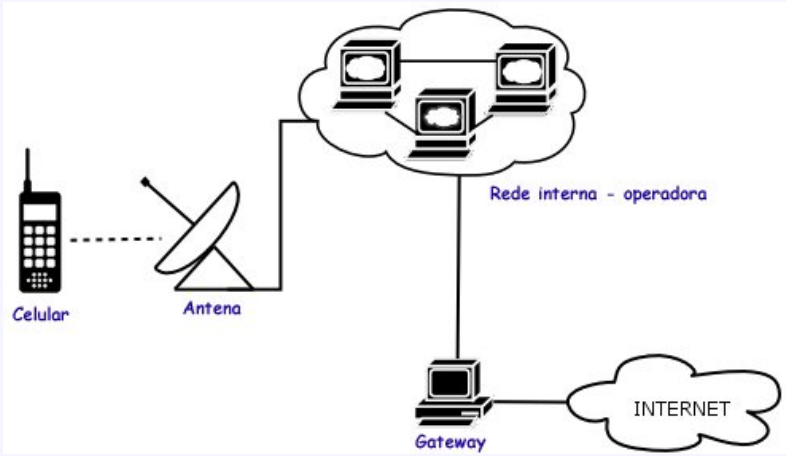


Figura: Navegar pela internet[7]

Motivação

- Alguns sistemas que utilizam códigos corretores de erros:
  - *NASA's Deep Space Network* no envio e na recepção de sinais e dados de telemetria (*downlinks*) vindos de veículos espaciais (*very distant spacecrafts*) e para enviar telecomandos (*uplinks*) para veículos espaciais;
  - *Delay and Disruption Tolerant Networks*, redes de sensores e redes *peer-to-peer*;
  - armazenamento de grande volume de dados, como também o sistema de arquivos distribuído do Hadoop (HDFS).

Motivação

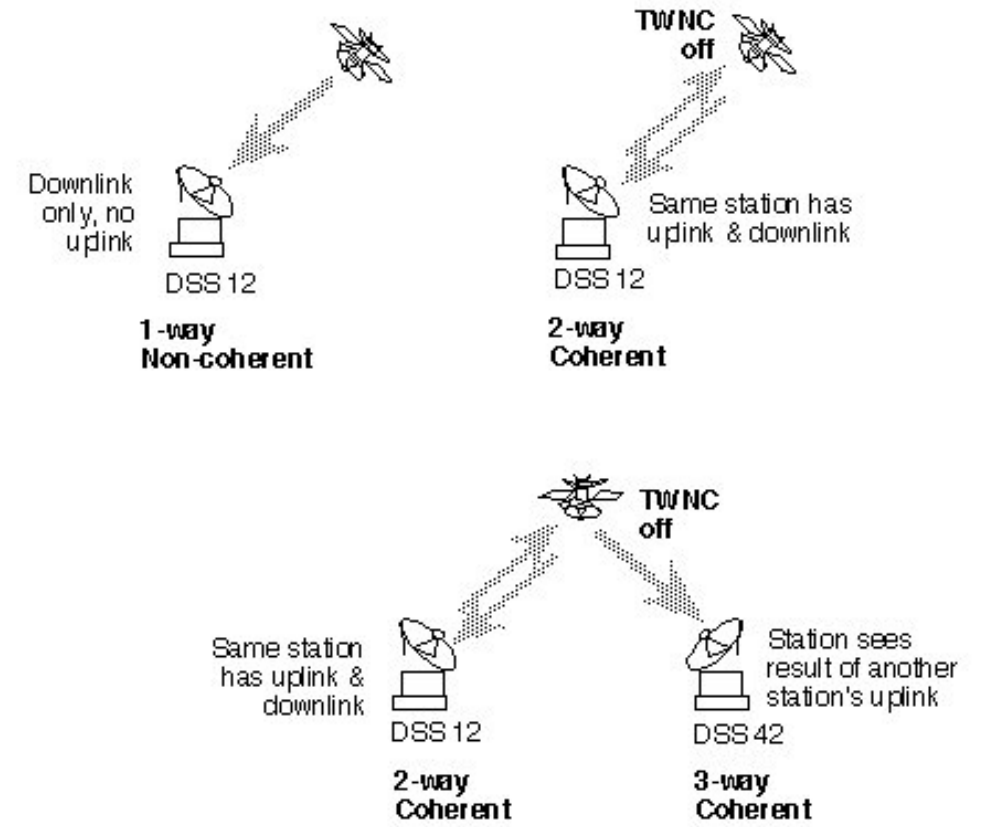


Figura: *NASA's Deep Space Network*[15]

Motivação

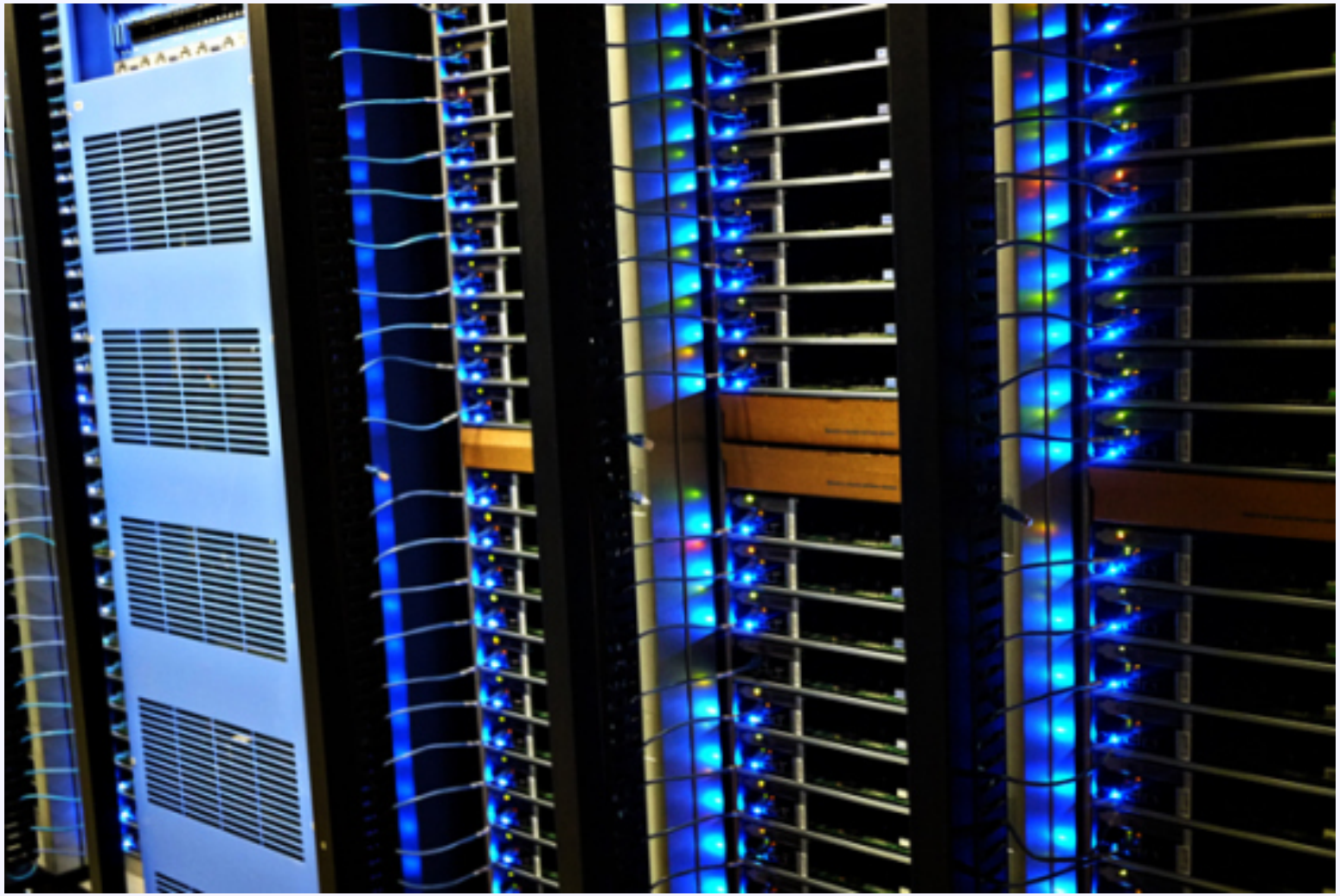


Figura: Facebook data center[25]

Motivação

- O HDFS, por padrão, implementa alta disponibilidade dos dados via replicação simples dos blocos de dados. Esta abordagem acarreta um alto custo de armazenamento para garantir que os dados estarão sempre disponíveis.
- Esforços iniciais $===>$ *Redundant Array of Independent Drives* (RAID) [10, 16] e mais recentemente, Reed-Solomon (RS) [12].

Motivação

- RAID (*Redundant Arrays of Inexpensive [Independent] Disks* (RAID), do ponto de vista de suas estruturas algébricas, é uma classe de códigos de blocos lineares.
- RAID é um método para prover tolerância a falhas ou alto desempenho em sistemas de armazenagem utilizando, para isso, distribuição de dados em diferentes dispositivos e uma codificação de correção de erros ou paridade ou replicação de dados [18].
- RAID foi introduzido por D. A. Patterson na Universidade da California, Berkeley (UC Berkeley) em 1988 [16].
- O código fonte do Hadoop implementa RAID-5, que na sua versão clássica, "fatia"dados e paridade, através dos discos, como num arranjo. A única paridade é calculada através da operação *bitwise* XOR.

Motivação

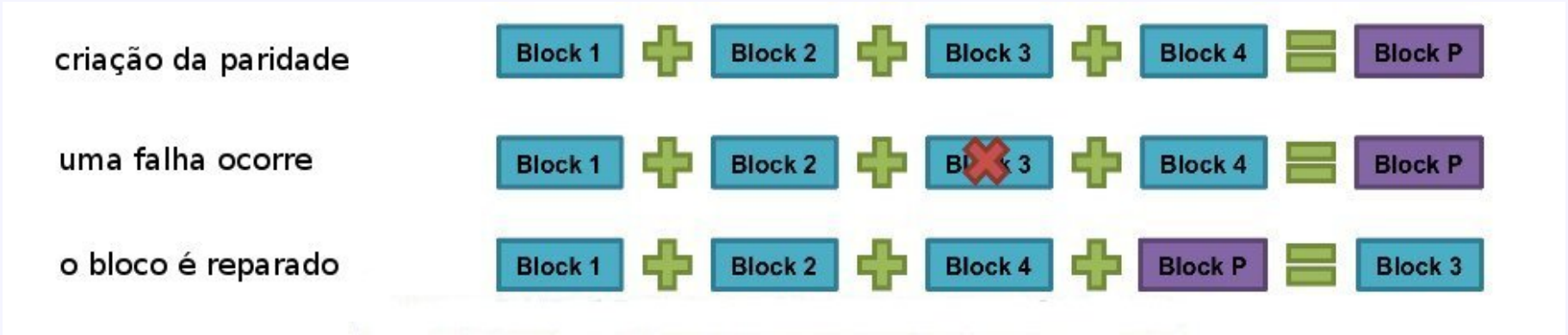


Figura: RAID 5: 1 bloco de paridade e *stripe* = 4 blocos [13]

Motivação

- Códigos Reed-Solomon (RS) são códigos de bloco, lineares e cíclicos (sobre anéis comutativos sob algumas condições).
- Parametrizáveis $===>$ capacidade de correção de erros pode ser alterada facilmente.
- RS são códigos MDS $===>$ as palavras-código apresentam máxima distância de Hamming entre si, permitida pelo número de dígitos de verificação de paridade do código.
- Segundo os autores em [2, 21], códigos RS são úteis para correção de erros em rajada.

Definition

Burst Errors Uma sequência de erros em rajada ou *burst errors* de tamanho b é da forma:

$$(0, 0, \ldots, 0, 1, \ldots, 1, 0, \ldots, 0, 0)$$

onde o primeiro bit 1 está na i-posição e o último bit 1 está na $(i + b - 1)$-posição e entre esses primeiro e último bits existe uma

Motivação

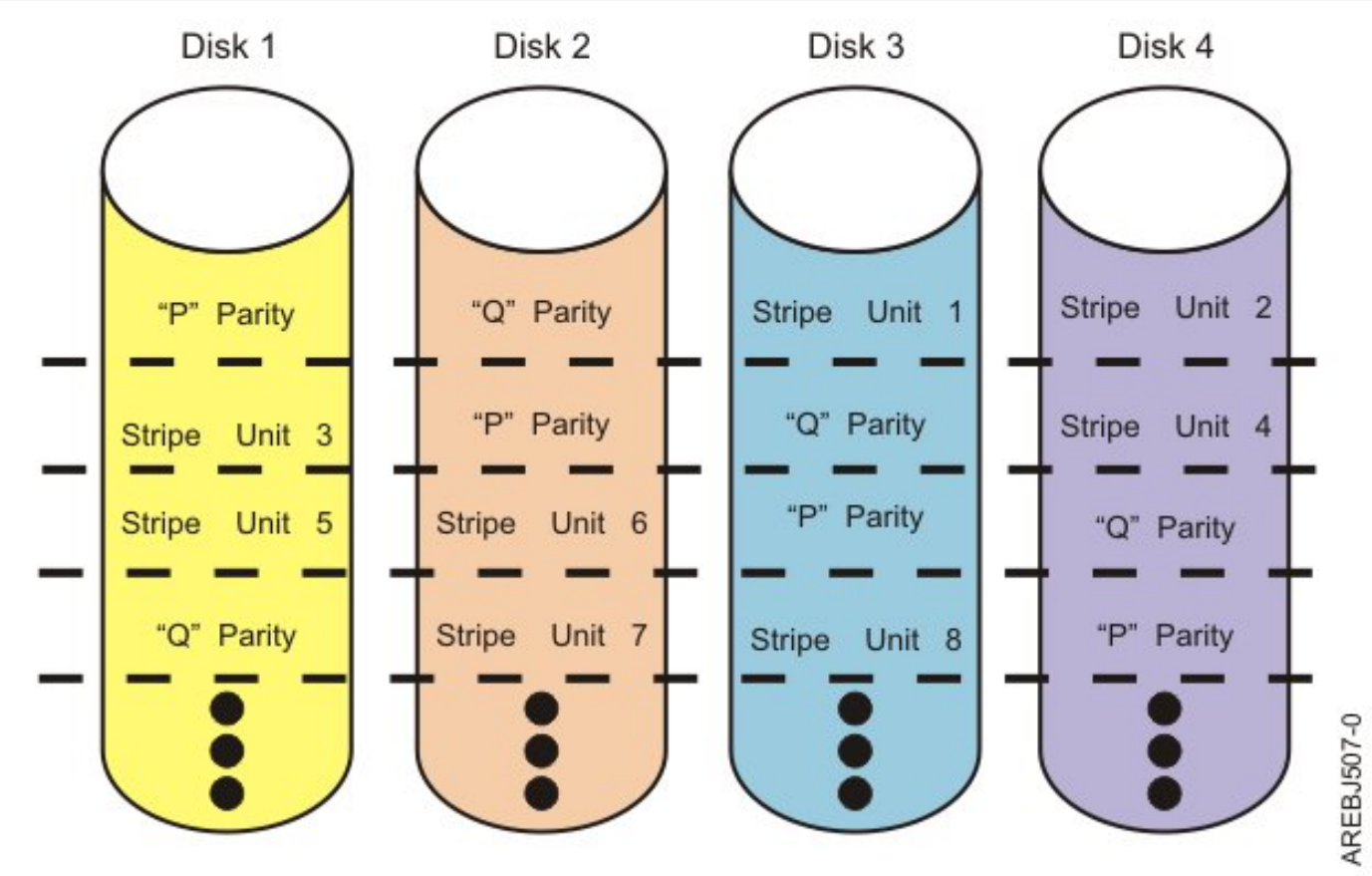


Figura: RAID 6 clássico "fatia"dados e paridade, através dos discos, como num arranjo. A paridade P e Q são geradas pela operação *bitwise* XOR e pelo algoritmo Reed-Solomon.[14]

Objetivos deste trabalho

- avaliação de desempenho, ganhos, e custos de diferentes estratégias de códigos corretores de erro;
- implementação de otimizações ou extensões para o código fonte que atualmente implementa Reed-Solomon, tentando melhorar, principalmente, a parte de distribuição de blocos;
- implementação de novos algoritmos (Tornado e Turbo *codes*) e extensão da interface atual para aceitá-los;
- integração do código fonte atual com o HDFS.

Agenda

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/
- Isto também pode ser feito com o Hadoop, um *framework* para processamento de dados em larga escala.

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/
- Isto também pode ser feito com o Hadoop, um *framework* para processamento de dados em larga escala.
- Volume grande de dados ?

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/
- Isto também pode ser feito com o Hadoop, um *framework* para processamento de dados em larga escala.
- Volume grande de dados ?
  - megabyte - 10^6 - uma foto

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/
- Isto também pode ser feito com o Hadoop, um *framework* para processamento de dados em larga escala.
- Volume grande de dados ?
  - megabyte - 10^6 - uma foto
  - gigabyte - 10^9 - um DVD armazena 4.7 GB de um filme

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/
- Isto também pode ser feito com o Hadoop, um *framework* para processamento de dados em larga escala.
- Volume grande de dados ?
  - megabyte - 10^6 - uma foto
  - gigabyte - 10^9 - um DVD armazena 4.7 GB de um filme
  - terabyte - 10^{12} - 200 filmes

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/
- Isto também pode ser feito com o Hadoop, um *framework* para processamento de dados em larga escala.
- Volume grande de dados ?
  - megabyte - 10^6 - uma foto
  - gigabyte - 10^9 - um DVD armazena 4.7 GB de um filme
  - terabyte - 10^{12} - 200 filmes
  - petabyte - 10^{15}

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/
- Isto também pode ser feito com o Hadoop, um *framework* para processamento de dados em larga escala.
- Volume grande de dados ?
  - megabyte - 10^6 - uma foto
  - gigabyte - 10^9 - um DVD armazena 4.7 GB de um filme
  - terabyte - 10^{12} - 200 filmes
  - petabyte - 10^{15}
  - exabyte - 10^{18}

Sistemas de Arquivos Distribuídos

- Processar um volume relativamente grande de dados é possível, em poucas horas, com alguns dólares e com algumas máquinas: http://aws.amazon.com/
- Isto também pode ser feito com o Hadoop, um *framework* para processamento de dados em larga escala.
- Volume grande de dados ?
  - megabyte - 10^6 - uma foto
  - gigabyte - 10^9 - um DVD armazena 4.7 GB de um filme
  - terabyte - 10^{12} - 200 filmes
  - petabyte - 10^{15}
  - exabyte - 10^{18}
  - zettabyte - 10^{21} - um disco de 140 GB para cada pessoa no mundo

Software Open Source

- O Hadoop disponibiliza um armazenamento compartilhado (HDFS/Hadoop *Distributed Filesystem*) e um sistema de análise (MapReduce), formando um *framework* ou arcabouço.

RDBMS X HDFS/MapReduce

Por que não usamos banco de dados ?

- Em um banco de dados, uma atualização da árvore-B pode gerar muitas operações de *seeking*.

RDBMS X HDFS/MapReduce

Por que não usamos banco de dados ?

- Em um banco de dados, uma atualização da árvore-B pode gerar muitas operações de *seeking*.
- *seek time* - processo de mover a cabeça do disco para um dado local no disco com o objetivo de ler ou de escrever dados

RDBMS X HDFS/MapReduce

Por que não usamos banco de dados ?

- Em um banco de dados, uma atualização da árvore-B pode gerar muitas operações de *seeking*.
- *seek time* - processo de mover a cabeça do disco para um dado local no disco com o objetivo de ler ou de escrever dados
- É mais rápido usar um algoritmo de ordenação (*sort*/*merge*) para:

RDBMS X HDFS/MapReduce

Por que não usamos banco de dados ?

- Em um banco de dados, uma atualização da árvore-B pode gerar muitas operações de *seeking*.
- *seek time* - processo de mover a cabeça do disco para um dado local no disco com o objetivo de ler ou de escrever dados
- É mais rápido usar um algoritmo de ordenação (*sort*/*merge*) para:
  - analisar um grande volume de dados do tamanho de petabytes

RDBMS X HDFS/MapReduce

Por que não usamos banco de dados ?

- Em um banco de dados, uma atualização da árvore-B pode gerar muitas operações de *seeking*.
- *seek time* - processo de mover a cabeça do disco para um dado local no disco com o objetivo de ler ou de escrever dados
- É mais rápido usar um algoritmo de ordenação (*sort*/*merge*) para:
  - analisar um grande volume de dados do tamanho de petabytes
  - reconstruir toda a base de dados

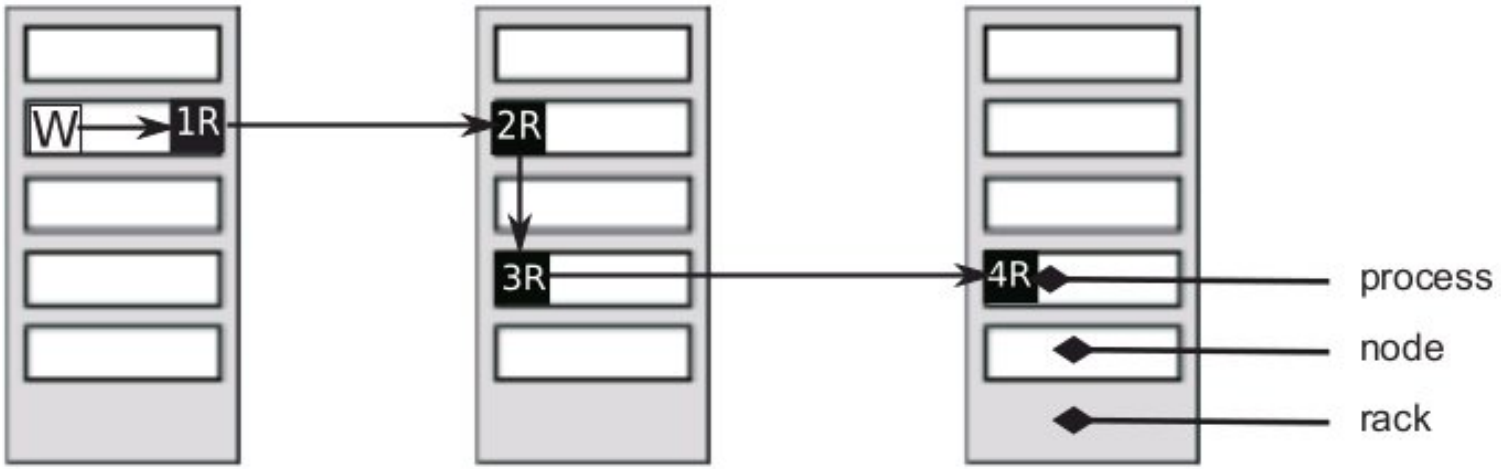
RDBMS X HDFS/MapReduce

	Aplicação para RDBMS	Aplicação para HDFS/MapReduce
tamanho	gigabytes	petabytes
acesso	OLTP(interativo) e *batch*	*batch*
atualização	lê e escreve muitas vezes	escreve uma vez, lê muitas vezes
esquema	estático	dinâmico
integridade	alta	baixa
escala	não linear	linear

Fonte: [27]

HDFS

HFS disponibiliza espaço para sistema de arquivos e permite que os dados do usuário sejam armazenados em arquivos. Internamente, um arquivo é dividido em um ou mais blocos e esses blocos são armazenados em um conjunto de DataNodes. O tamanho *default* de cada bloco é 64MB.



Distributed Raid File

- 2 componentes

Distributed Raid File

- 2 componentes
  - RaidNode: *daemon* cria os arquivos de paridade para os arquivos armazenados no hdfs e executa o *scan* nos arquivos com mais de 2 blocos e que não foram modificados nas últimas 24 horas; as exceções tratadas são: ChecksumException e BlocMissingException

Distributed Raid File

- 2 componentes
  - RaidNode: *daemon* cria os arquivos de paridade para os arquivos armazenados no hdfs e executa o *scan* nos arquivos com mais de 2 blocos e que não foram modificados nas últimas 24 horas; as exceções tratadas são: ChecksumException e BlocMissingException
  - raidfs: intercepta os pedidos de leitura vindos de uma aplicação ao hdfs *client*

Distributed Raid File

- 2 componentes
  - RaidNode: *daemon* cria os arquivos de paridade para os arquivos armazenados no hdfs e executa o *scan* nos arquivos com mais de 2 blocos e que não foram modificados nas últimas 24 horas; as exceções tratadas são: ChecksumException e BlocMissingException
  - raidfs: intercepta os pedidos de leitura vindos de uma aplicação ao hdfs *client*
- existe a ferramenta de linha de comando fsckraid

MapReduce

- Os dados que MapReduce processa são dados não estruturados como texto ou imagens. O HDFS, através do *pipeline* dos DataNodes, tenta colocar esses dados no nó onde são feitas as computações, desta forma, o acesso aos dados é rápido, pois é "mais" local.

MapReduce

- Os dados que MapReduce processa são dados não estruturados como texto ou imagens. O HDFS, através do *pipeline* dos DataNodes, tenta colocar esses dados no nó onde são feitas as computações, desta forma, o acesso aos dados é rápido, pois é "mais" local.
- O MapReduce pode resolver problemas genéricos cujos dados podem ser divididos em matrizes de dados, para cada matriz a mesma computação é necessária e não existe necessidade de comunicação entre as tarefas.

MapReduce

- Os dados que MapReduce processa são dados não estruturados como texto ou imagens. O HDFS, através do *pipeline* dos DataNodes, tenta colocar esses dados no nó onde são feitas as computações, desta forma, o acesso aos dados é rápido, pois é "mais" local.
- O MapReduce pode resolver problemas genéricos cujos dados podem ser divididos em matrizes de dados, para cada matriz a mesma computação é necessária e não existe necessidade de comunicação entre as tarefas.
- Problemas como empacotamento, linha de fábrica, otimização não são resolvidos pelo modelo de computação do MapReduce.

MapReduce

Problema genérico:

- iteração sobre um número grande de registros
- *Map* extrai algo de cada registro (chave, valor)
- rearranjo (*shuffle* e ordenação de resultados intermediários por (chave, valor)
- *Reduce* agrega os resultados intermediários
- geração da saída

Agenda

Álgebra Abstrata e de Códigos Corretores de Erros

- *Erasure Coding*

Álgebra Abstrata e de Códigos Corretores de Erros

- *Erasure Coding*
- Exame de Qualificação para o Mestrado (EQM)

Álgebra Abstrata e de Códigos Corretores de Erros

- *Erasure Coding*
- Exame de Qualificação para o Mestrado (EQM)
- Foco: armazenamento de dados

Álgebra Abstrata e de Códigos Corretores de Erros

- *Erasure Coding*
- Exame de Qualificação para o Mestrado (EQM)
- Foco: armazenamento de dados
- Códigos corretores de erro disponíveis na versão 0.22 do Hadoop: RAID e RS

Álgebra Abstrata e de Códigos Corretores de Erros

- *Erasure Coding*
- Exame de Qualificação para o Mestrado (EQM)
- Foco: armazenamento de dados
- Códigos corretores de erro disponíveis na versão 0.22 do Hadoop: RAID e RS

- Muitos artigos e material de aulas das disciplinas de universidades de Portugal, Índia, Paquistão e EUA

Intuições na Álgebra Abstrata

- Congruência linear

Intuições na Álgebra Abstrata

- Congruência linear
- Classes Residuais

Intuições na Álgebra Abstrata

- Congruência linear
- Classes Residuais
- Resto da divisão euclidiana

Intuições na Álgebra Abstrata

- Congruência linear
- Classes Residuais
- Resto da divisão euclidiana
- Independência linear

Intuições na Álgebra Abstrata

- Congruência linear
- Classes Residuais
- Resto da divisão euclidiana
- Independência linear
- Espaço Vetorial, Grupo, Anel e Corpo (principalmente $\mathbb{GF}_2$ e $\mathbb{GF}_{256}$)

Intuições na Álgebra Abstrata

- Congruência linear
- Classes Residuais
- Resto da divisão euclidiana
- Independência linear
- Espaço Vetorial, Grupo, Anel e Corpo (principalmente $\mathbb{GF}_2$ e $\mathbb{GF}_{256}$)
- Sistema de Equações Lineares

Intuições na Álgebra Abstrata

- Congruência linear
- Classes Residuais
- Resto da divisão euclidiana
- Independência linear
- Espaço Vetorial, Grupo, Anel e Corpo (principalmente $\mathbb{GF}_2$ e $\mathbb{GF}_{256}$)
- Sistema de Equações Lineares
- Matrizes

Intuições na Álgebra Abstrata

- Congruência linear
- Classes Residuais
- Resto da divisão euclidiana
- Independência linear
- Espaço Vetorial, Grupo, Anel e Corpo (principalmente $\mathbb{GF}_2$ e $\mathbb{GF}_{256}$)
- Sistema de Equações Lineares
- Matrizes
- Polinômios

Intuições na Álgebra Abstrata

Definition

Congruência Linear Seja $q \in \mathbb{Z}$. Dois inteiros a e b dizem-se congruentes módulo q se, e somente se, q divide $a - b$. A notação é $a \equiv b\,(mod\ q)$. Assim, $a - b\ \in \{x\ tal\ que\ x = kq, k \in \mathbb{Z}\}$.

Example

$$32 \equiv 2\,(mod\ 3)$$
$$27 \equiv 5\,(mod\ 11)$$
$$63 \equiv 7\,(mod\ 8)$$

Intuições na Álgebra Abstrata

Definition

Conjunto das Classes Residuais Seja $\mathbb{Z}/q = \{\bar{0}_q, \bar{1}_q, \ldots, \overline{q-1}_q\}$ o conjunto das classes residuais dos inteiros módulo q.

Note que $\mathbb{Z}/q$ tem exatamente q elementos, portanto $\mathbb{Z}/q$ é finito.
As classes residuais possuem propriedades:

(i) Se $a \equiv b \,(mod\ q)$, então $\bar{a}_q = \bar{b}_q$.

(ii) Se $\bar{a}_q \cap \bar{b}_q \neq 0$, então $\bar{a}_q = \bar{b}_q$.

(iii) Para $a \in \mathbb{Z}, \bigcup \bar{a}_q = \mathbb{Z}$.

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- Teoria da codificação ===> propriedades dos códigos e suas aplicações

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- Teoria da codificação ===> propriedades dos códigos e suas aplicações
- Teoria da Informação, Claude Shannon [20] ===> incerteza da informação e capacidade do canal

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- Teoria da codificação ===> propriedades dos códigos e suas aplicações
- Teoria da Informação, Claude Shannon [20] ===> incerteza da informação e capacidade do canal
- C. Shannon estudou o processamento digital de sinais (sinais em tempo discreto e em tempo contínuo) em um sistema de comunicação ===> hoje, é área da engenharia elétrica e da matemática aplicada

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

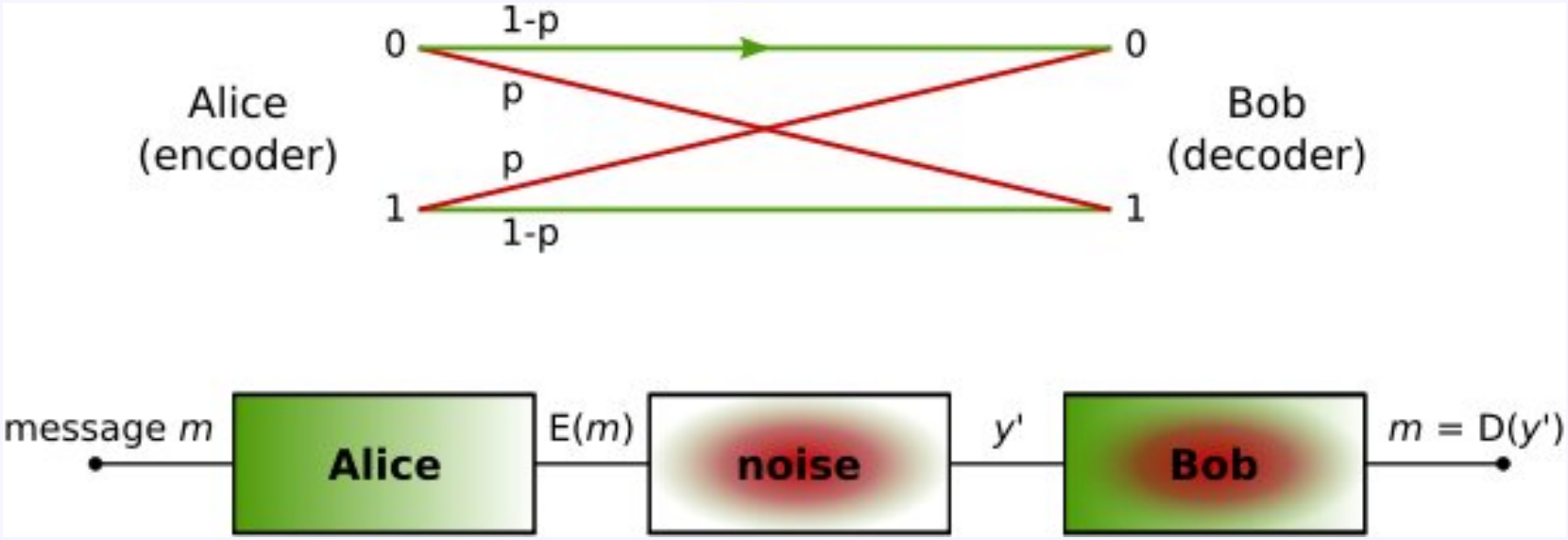
- Teoria da codificação ===> propriedades dos códigos e suas aplicações
- Teoria da Informação, Claude Shannon [20] ===> incerteza da informação e capacidade do canal
- C. Shannon estudou o processamento digital de sinais (sinais em tempo discreto e em tempo contínuo) em um sistema de comunicação ===> hoje, é área da engenharia elétrica e da matemática aplicada
- Sinais podem ser som, áudio, dados biológicos como eletrocardiogramas ou sequências de DNA [6, 8], sinais de sistemas de telecomunicações, entre muitos outros.

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- Teoria da codificação ===> propriedades dos códigos e suas aplicações
- Teoria da Informação, Claude Shannon [20] ===> incerteza da informação e capacidade do canal
- C. Shannon estudou o processamento digital de sinais (sinais em tempo discreto e em tempo contínuo) em um sistema de comunicação ===> hoje, é área da engenharia elétrica e da matemática aplicada
- Sinais podem ser som, áudio, dados biológicos como eletrocardiogramas ou sequências de DNA [6, 8], sinais de sistemas de telecomunicações, entre muitos outros.
- Objetivo da codificação de canal é aumentar a resistência do sistema de comunicações digital face aos efeitos do ruído de canal.

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- Canal binário simétrico



Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- A ciclicidade de códigos sob anéis comutativos está associada à multiplicação do polinômio gerador pelos diferentes potências de "x" reduzida módulo um polinômio irredutível.

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- Detectar erros e codificar dados tem a mesma complexidade

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- Detectar erros e codificar dados tem a mesma complexidade
- Decodificar é np-completo

Conceitos em Códigos Corretores de Erros

- Detectar erros e codificar dados tem a mesma complexidade
- Decodificar é np-completo
- Estruturas algébricas: matrizes

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Facebook, Yahoo, Fundação Apache

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Facebook, Yahoo, Fundação Apache
- O *kernel* do Hadoop é constituído do core, hdfs e mapred.

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Facebook, Yahoo, Fundação Apache
- O *kernel* do Hadoop é constituído do core, hdfs e mapred.
- As versões oficiais para instalação (http://www.apache.org/dist/hadoop/core/) e

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Facebook, Yahoo, Fundação Apache
- O *kernel* do Hadoop é constituído do core, hdfs e mapred.
- As versões oficiais para instalação (http://www.apache.org/dist/hadoop/core/) e
- as versões do código fonte (common, hdfs, mapreduce) estão disponíveis em repositório SVN (https://svn.apache.org/repos/asf/hadoop/common/branches/branch-0.22)

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Facebook, Yahoo, Fundação Apache
- O *kernel* do Hadoop é constituído do core, hdfs e mapred.
- As versões oficiais para instalação (http://www.apache.org/dist/hadoop/core/) e
- as versões do código fonte (common, hdfs, mapreduce) estão disponíveis em repositório SVN (https://svn.apache.org/repos/asf/hadoop/common/branches/branch-0.22)
- Na atividade *Scripts for building Hadoop 0.22.0 release* https://issues.apache.org/jira/browse/HADOOP-6846, os mantenedores e contribuidores do Hadoop discutiam como compilar a versão 0.22

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Eclipse IDE for Java

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Eclipse IDE for Java
- comandos do linux, principalmente, grep, find e editores de texto

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Eclipse IDE for Java
- comandos do linux, principalmente, grep, find e editores de texto
- Doxygen para gerar diagramas de herança e de colaboração das classes a partir do código fonte

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Eclipse IDE for Java
- comandos do linux, principalmente, grep, find e editores de texto
- Doxygen para gerar diagramas de herança e de colaboração das classes a partir do código fonte
- Implementar uma aplicação do *framework* do Hadoop: conta-palavras, temperatura máxima, *page rank*

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Eclipse IDE for Java
- comandos do linux, principalmente, grep, find e editores de texto
- Doxygen para gerar diagramas de herança e de colaboração das classes a partir do código fonte
- Implementar uma aplicação do *framework* do Hadoop: conta-palavras, temperatura máxima, *page rank*
- Fazer uma pequena alteração no código fonte do RaidNode () para escrever uma mensagem no arquivo de log, compilar o código fonte modificado, instalá-lo e testá-lo

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Hadoop foi escrito quase que inteiramente em Java: construtores de classe, asserções

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Hadoop foi escrito quase que inteiramente em Java: construtores de classe, asserções
- Java: 1o capítulo do livro vermelho do Sedgewick, Algorithms

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Hadoop foi escrito quase que inteiramente em Java: construtores de classe, asserções
- Java: 1o capítulo do livro vermelho do Sedgewick, Algorithms
- Entender a camada RAID para poder extendê-la

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Hadoop foi escrito quase que inteiramente em Java: construtores de classe, asserções
- Java: 1o capítulo do livro vermelho do Sedgewick, Algorithms
- Entender a camada RAID para poder extendê-la
- Entender de álgebra abstrata e de uma de suas aplicações: códigos corretores de erros

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Hadoop foi escrito quase que inteiramente em Java: construtores de classe, asserções
- Java: 1o capítulo do livro vermelho do Sedgewick, Algorithms
- Entender a camada RAID para poder extendê-la
- Entender de álgebra abstrata e de uma de suas aplicações: códigos corretores de erros
- Propor os algoritmos dos novos *codecs*: *encode* e *decode*

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes
  - Notebook com Ubuntu 8.04, depois 10.04, depois 12.04 ($2GB$ de RAM, *dual-core*, $150MB$ de disco interno, $1.35TB$ de disco externo)

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes
  - Notebook com Ubuntu 8.04, depois 10.04, depois 12.04 ($2GB$ de RAM, *dual-core*, $150MB$ de disco interno, $1.35TB$ de disco externo)
- Ambiente de compilação do Hadoop versão 0.22

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes
  - Notebook com Ubuntu 8.04, depois 10.04, depois 12.04 ($2GB$ de RAM, *dual-core*, $150MB$ de disco interno, $1.35TB$ de disco externo)
- Ambiente de compilação do Hadoop versão 0.22
  - Notebook com Ubuntu

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes
  - Notebook com Ubuntu 8.04, depois 10.04, depois 12.04 ($2GB$ de RAM, *dual-core*, $150MB$ de disco interno, $1.35TB$ de disco externo)
- Ambiente de compilação do Hadoop versão 0.22
  - Notebook com Ubuntu
  - Laboratório da pós-graduação do IC; estação 64 bits com Fedora

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes
  - Notebook com Ubuntu 8.04, depois 10.04, depois 12.04 ($2GB$ de RAM, *dual-core*, $150MB$ de disco interno, $1.35TB$ de disco externo)
- Ambiente de compilação do Hadoop versão 0.22
  - Notebook com Ubuntu
  - Laboratório da pós-graduação do IC; estação 64 bits com Fedora
  - Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, ($613MB$ de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes
  - Notebook com Ubuntu 8.04, depois 10.04, depois 12.04 ($2GB$ de RAM, *dual-core*, $150MB$ de disco interno, $1.35TB$ de disco externo)
- Ambiente de compilação do Hadoop versão 0.22
  - Notebook com Ubuntu
  - Laboratório da pós-graduação do IC; estação 64 bits com Fedora
  - Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, ($613MB$ de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)
- Ambiente de instalação do *tarball*

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes
  - Notebook com Ubuntu 8.04, depois 10.04, depois 12.04 ($2GB$ de RAM, *dual-core*, $150MB$ de disco interno, $1.35TB$ de disco externo)
- Ambiente de compilação do Hadoop versão 0.22
  - Notebook com Ubuntu
  - Laboratório da pós-graduação do IC; estação 64 bits com Fedora
  - Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, ($613MB$ de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)
- Ambiente de instalação do *tarball*
  - Notebook com Ubuntu

Conhecer e Compilar o código fonte disponível

- Ambiente de edição do código fonte das classes
  - Notebook com Ubuntu 8.04, depois 10.04, depois 12.04 ($2GB$ de RAM, *dual-core*, $150MB$ de disco interno, $1.35TB$ de disco externo)
- Ambiente de compilação do Hadoop versão 0.22
  - Notebook com Ubuntu
  - Laboratório da pós-graduação do IC; estação 64 bits com Fedora
  - Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, ($613MB$ de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)
- Ambiente de instalação do *tarball*
  - Notebook com Ubuntu
  - Instâncias da Amazon EC2

Testes Iniciais

- Notebook com Ubuntu

Testes Iniciais

- Notebook com Ubuntu
- Testes funcionais: *encode* e *decode* das novas codificações e correção de erros no código fonte das classes das codificações implementadas por esse trabalho ===> linguagem Java.

Testes Finais

- Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, (613*MB* de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)

Testes Finais

- Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, (613*MB* de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)
- AWS Console e Amazon EC2 API tools (ferramentas de linha de comando)

Testes Finais

- Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, (613*MB* de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)
- AWS Console e Amazon EC2 API tools (ferramentas de linha de comando)
- 3 fases de Testes de Desempenho (coleta de dados) da operação de *encode* e de Injeção de Falhas das operações de *encode* e *decode* das novas codificações

Testes Finais

- Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, (613*MB* de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)
- AWS Console e Amazon EC2 API tools (ferramentas de linha de comando)
- 3 fases de Testes de Desempenho (coleta de dados) da operação de *encode* e de Injeção de Falhas das operações de *encode* e *decode* das novas codificações
- Primeira fase: preparação do ambiente de teste

Testes Finais

- Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, (613*MB* de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)
- AWS Console e Amazon EC2 API tools (ferramentas de linha de comando)
- 3 fases de Testes de Desempenho (coleta de dados) da operação de *encode* e de Injeção de Falhas das operações de *encode* e *decode* das novas codificações
- Primeira fase: preparação do ambiente de teste
- Rede de 4 instâncias: 1 *master/slave* e 3 *slaves*

Testes Finais

- Instâncias da Amazon EC2 (servidoras virtuais na Nuvem) com Ubuntu 12.10, *kernel*, (613MB de RAM, *dual-core*, alguns *gigabytes* de disco)
- AWS Console e Amazon EC2 API tools (ferramentas de linha de comando)
- 3 fases de Testes de Desempenho (coleta de dados) da operação de *encode* e de Injeção de Falhas das operações de *encode* e *decode* das novas codificações
- Primeira fase: preparação do ambiente de teste
- Rede de 4 instâncias: 1 *master/slave* e 3 *slaves*
- Base de dados: imagens ISO ($+-800MB$ cada uma)

Testes Finais

- Segunda fase: coleta de dados para medição de desempenho da operações de *encode* e de *decode* para cada codificação:
  - replicação simples $2X$
  - replicação simples $3X$
  - $XOR(6, 5)$
  - $RS(8, 5)$
  - $Tornado(10, 5)$
  - $Tornado(20, 10)$
  - $Turbo - like(10, 5)$
  - $Turbo - like(20, 10)$

Testes Finais

- Segunda fase: coleta de dados para medição de desempenho da operações de *encode* e de *decode* para cada codificação:
  - replicação simples $2X$
  - replicação simples $3X$
  - $XOR(6, 5)$
  - $RS(8, 5)$
  - $Tornado(10, 5)$
  - $Tornado(20, 10)$
  - $Turbo - like(10, 5)$
  - $Turbo - like(20, 10)$
- Rede de 16 instâncias *large*, provavelmente
- Base de dados: imagens ISO

Testes Finais

- Terceira fase: coleta de dados para medição da injeção de falhas

  falha em 1 réplica : corromper 1 réplica de blocos de dados de um arquivo

  falha em n réplicas corromper n réplicas de blocos de dados de um arquivo

  falha em réplicas e em blocos de dados corromper n réplicas de blocos de dados e os $k-1$ blocos de dados de um arquivo

Testes Finais

- Terceira fase: coleta de dados para medição da injeção de falhas

  falha em 1 réplica : corromper 1 réplica de blocos de dados de um arquivo

  falha em n réplicas corromper n réplicas de blocos de dados de um arquivo

  falha em réplicas e em blocos de dados corromper n réplicas de blocos de dados e os $k - 1$ blocos de dados de um arquivo

- Rede de 16 instâncias *large*, provavelmente

Testes Finais

- Terceira fase: coleta de dados para medição da injeção de falhas

  falha em 1 réplica : corromper 1 réplica de blocos de dados de um arquivo

  falha em n réplicas corromper n réplicas de blocos de dados de um arquivo

  falha em réplicas e em blocos de dados corromper n réplicas de blocos de dados e os $k - 1$ blocos de dados de um arquivo

- Rede de 16 instâncias *large*, provavelmente
- Base de dados: imagens ISO

Testes Finais

Métricas por Codificação	Origem
Tempo total de execução do experimento	sistema operacional
Tamanho do arquivo carregado no hdfs	interface web do hdfs
Tempo de carga no hdfs por arquivo	arquivo de log do RaidNode
Tempo de execução/encode por arquivo codificado	arquivo de log do RaidNode
Tempo de execução/decode por arquivo decodificado	arquivo de log do RaidNode
Número de iterações na execução do decode	arquivo de log do RaidNode
Tamanho do bloco do hdfs	arquivo de configuração do hdfs
Número de blocos da *stripe*	arquivo de configuração do hdfs
Fator de redundância previsto por arquivo	texto desta dissertação
Fator de redundância por arquivo obtido nos experimentos	interface web do hdfs
Número de blocos com falhas suportado	arquivo de configuração do hdfs
Número de blocos com falhas obtido nos experimentos	arquivo de log do RaidNode

Tabela: Métricas quantitativas coletadas por codificação nos experimentos para operações de *encode* e de *decode*

Testes Finais

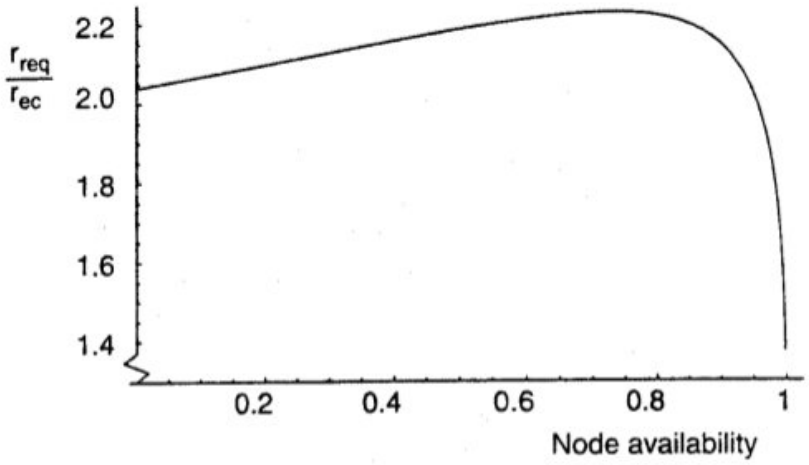


Figure 11-27. The ratio $rrep/r_{ec}$ as a function of node availability a.

Figura: Razão sobrecarga da replicação/sobrecarga da codificação X disponibilidade dos nós [23]

Agenda

Resultados

- Esse trabalho estendeu e alterou código fonte distribuído sob a licença Apache.

[1] https://github.com/celinasam/

Resultados

- Esse trabalho estendeu e alterou código fonte distribuído sob a licença Apache.
- Com as codificações RAID, RS, já disponíveis no HDFS e as codificações Tornado e Turbo-like, implementadas por esse trabalho de mestrado, o HDFS disponibiliza, com uma flexível configuração, as principais codificações para canal binário simétrico

[1] https://github.com/celinasam/

Resultados

- Esse trabalho estendeu e alterou código fonte distribuído sob a licença Apache.
- Com as codificações RAID, RS, já disponíveis no HDFS e as codificações Tornado e Turbo-like, implementadas por esse trabalho de mestrado, o HDFS disponibiliza, com uma flexível configuração, as principais codificações para canal binário simétrico
- Os diagramas de herança e de colaboração para as classes e o código fonte dos procedimentos de compilação e de geração do arquivo *tarball* foram disponibilizados em repositório público [1].

[1] https://github.com/celinasam/

Resultados

- Esse trabalho estendeu e alterou código fonte distribuído sob a licença Apache.
- Com as codificações RAID, RS, já disponíveis no HDFS e as codificações Tornado e Turbo-like, implementadas por esse trabalho de mestrado, o HDFS disponibiliza, com uma flexível configuração, as principais codificações para canal binário simétrico
- Os diagramas de herança e de colaboração para as classes e o código fonte dos procedimentos de compilação e de geração do arquivo *tarball* foram disponibilizados em repositório público [1].
- O código fonte da implementação das codificações será disponibilizado em breve

[1] https://github.com/celinasam/

Resultados

- Foram criados um site [2] com comentários dos resultados obtidos desse trabalho e um *blog* [3] para comentar assuntos que a autora considerou de grande interesse para outras pessoas.

[2] https://sites.google.com/site/newerasurecodinginhadoop
[3] http://mcss.posterous.com/

Resultados

- Foram criados um site [2] com comentários dos resultados obtidos desse trabalho e um *blog* [3] para comentar assuntos que a autora considerou de grande interesse para outras pessoas.
- Um dos cenários de uso de codificações baseadas em grafos seria em ambientes de *data center*, onde um grande número de máquinas poderiam falhar. Com blocos de paridade íntegros dos arquivos com, pelo menos, 1 dos blocos de dados dos mesmos arquivos disponível, há uma grande probabilidade desse tipo de codificação recuperar os blocos de dados corrompidos. Essa é uma aplicação das codificações implementadas por esse trabalho.

[2] https://sites.google.com/site/newerasurecodinginhadoop
[3] http://mcss.posterous.com/

Trabalhos Futuros

- Esse trabalho discutiu esquemas adequados de redundância de dados apenas sobre o aspecto do esquema de dados, sem comentar algoritmos de atualização das réplicas.

Trabalhos Futuros

- Esse trabalho discutiu esquemas adequados de redundância de dados apenas sobre o aspecto do esquema de dados, sem comentar algoritmos de atualização das réplicas.
- Pode-se concluir com uma aplicação do teorema da Codificação do Canal [1, 19], que um sistema com largura de banda a maior possível tem uma capacidade de canal finita. Em esboços preliminares, comparando-se, para uma dada codificação, pode-se concluir que a probabilidade de erro em uma palavra código sem codificação é maior que a probabilidade de erro em uma palavra código com codificação.

Trabalhos Futuros

- Esse trabalho discutiu esquemas adequados de redundância de dados apenas sobre o aspecto do esquema de dados, sem comentar algoritmos de atualização das réplicas.
- Pode-se concluir com uma aplicação do teorema da Codificação do Canal [1, 19], que um sistema com largura de banda a maior possível tem uma capacidade de canal finita. Em esboços preliminares, comparando-se, para uma dada codificação, pode-se concluir que a probabilidade de erro em uma palavra código sem codificação é maior que a probabilidade de erro em uma palavra código com codificação.
- O estudo da independência das réplicas de um esquema de redundância é um campo promissor para pesquisas. A avaliação de esquemas de redundância é muitas vezes baseada na suposição de que as réplicas falham de forma independente. Na prática, as falhas não são tão independentes, segundo [4, 26].

Trabalhos Futuros

- Uma extensão do algoritmo da camada RAID pode melhorar o desempenho da tolerância à falhas.

Trabalhos Futuros

- Uma extensão do algoritmo da camada RAID pode melhorar o desempenho da tolerância à falhas.
- Aplicações de códigos corretores de erros em outros canais binários simétricos e suas extensões como *joint source–channel coding* parecem uma pesquisa promissora, pois "contenar" codificação de fonte e de canal, tem sido proposto para implementar aplicações que tem requisitos de tempo-real como transmissão de áudio e imagem em um canal binário simétrico com ruído [17].

Trabalhos Futuros

- Uma extensão do algoritmo da camada RAID pode melhorar o desempenho da tolerância à falhas.
- Aplicações de códigos corretores de erros em outros canais binários simétricos e suas extensões como *joint source–channel coding* parecem uma pesquisa promissora, pois "contenar" codificação de fonte e de canal, tem sido proposto para implementar aplicações que tem requisitos de tempo-real como transmissão de áudio e imagem em um canal binário simétrico com ruído [17].
- O estudo e a implementação de outros mecanismos e técnicas para redução de armazenamento e disponibilidade de dados, otimizando o desempenho de codificações baseadas em grafos, como códigos LDPC

Trabalhos Futuros

- Uma extensão do algoritmo da camada RAID pode melhorar o desempenho da tolerância à falhas.
- Aplicações de códigos corretores de erros em outros canais binários simétricos e suas extensões como *joint source–channel coding* parecem uma pesquisa promissora, pois "contenar" codificação de fonte e de canal, tem sido proposto para implementar aplicações que tem requisitos de tempo-real como transmissão de áudio e imagem em um canal binário simétrico com ruído [17].
- O estudo e a implementação de outros mecanismos e técnicas para redução de armazenamento e disponibilidade de dados, otimizando o desempenho de codificações baseadas em grafos, como códigos LDPC
- O estudo e implementação de aplicações de códigos corretores de erros, tanto a com memória como a sem memória, para os canais do DNA e do RNA [5, 8] é uma pesquisa bastante desafiadora e promissora.

Interação com a comunidade

- As versões do hadoop relacionadas a esta proposta: 0.20.1, 0.21.0 e 0.22.0 do Hadoop

Interação com a comunidade

- As versões do hadoop relacionadas a esta proposta: 0.20.1, 0.21.0 e 0.22.0 do Hadoop
- Analisadas um pouco mais de 120 discussões do jira

Interação com a comunidade

- As versões do hadoop relacionadas a esta proposta: 0.20.1, 0.21.0 e 0.22.0 do Hadoop
- Analisadas um pouco mais de 120 discussões do jira
- Buscas no jira issues.apache.org/, selecionando projeto "Hadoop Map/Reduce"e componente "contrib/raid", mostram algumas discussões sobre as camadas de codificação por apagamento

Interação com a comunidade

- As versões do hadoop relacionadas a esta proposta: 0.20.1, 0.21.0 e 0.22.0 do Hadoop
- Analisadas um pouco mais de 120 discussões do jira
- Buscas no jira issues.apache.org/, selecionando projeto "Hadoop Map/Reduce"e componente "contrib/raid", mostram algumas discussões sobre as camadas de codificação por apagamento
- Camada RAID: versão 0.21.0 (discussão HDFS-503)

Interação com a comunidade

- As versões do hadoop relacionadas a esta proposta: 0.20.1, 0.21.0 e 0.22.0 do Hadoop
- Analisadas um pouco mais de 120 discussões do jira
- Buscas no jira issues.apache.org/, selecionando projeto "Hadoop Map/Reduce"e componente "contrib/raid", mostram algumas discussões sobre as camadas de codificação por apagamento
- Camada RAID: versão 0.21.0 (discussão HDFS-503)
- Codificação RS: versão 0.22.0 (discussões MAPREDUCE-1969 e MAPREDUCE-1970)

Interação com a comunidade

- As versões do hadoop relacionadas a esta proposta: 0.20.1, 0.21.0 e 0.22.0 do Hadoop
- Analisadas um pouco mais de 120 discussões do jira
- Buscas no jira issues.apache.org/, selecionando projeto "Hadoop Map/Reduce"e componente "contrib/raid", mostram algumas discussões sobre as camadas de codificação por apagamento
- Camada RAID: versão 0.21.0 (discussão HDFS-503)
- Codificação RS: versão 0.22.0 (discussões MAPREDUCE-1969 e MAPREDUCE-1970)
- Codificação Tornado e Turbo-*like*: possivelmente em versões futuras

Interação com a comunidade

- Existe um grupo de contribuidores (de várias empresas como Cloudera, Facebook, Yahoo e de universidades como *University of* Waterloo e Carnegie Mellow *University*) da camada RAID, dos quais, destacamos Rodrigo Schmidt, ex-aluno do programa de pós-graduação do Instituto de Computação da Unicamp, que sugeriu o tema deste trabalho e que tem contribuído com várias idéias para a realização deste trabalho.
- Foi possível uma saudável interação e colaboração com os desenvolvedores.

Agradecimentos

- CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)
- FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo)
- IC (Instituto de Computação da Unicamp)
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária)

Agenda

Referências Bibliográficas I

Silvio A. Abrantes.
Códigos Corretores de Erros em Comunicações Digitais, chapter 1,2,3,4,5,6,7,8,9, pages 17–600.
FEUP edições, Porto, Portugal, 2001.

G. M. Almeida.
Códigos corretores de erros em hardware para sistemas de telecomando e telemetria em aplicações espaciais.
Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - Faculdade de Informática, Porto Alegre, Brasil, março 2007.

Mari angela.
Notas da alma.
URL=http://vidaanascer.blogspot.com.br/2012/09/notas-da-alma.html. Acessado em 10 de dezembro de 2012.

Referências Bibliográficas II

M. Baker, M. Shah, D. S. H. Rosenthal, M. Roussopoulos, P. Maniatis, TJ. Giuli, and P. Bungale.
A fresh look at the reliability of long-term digital storage.
In *Proceedings of the 1st ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems*, EuroSys '06, pages 221–234, New York, NY, USA, 2006. ACM.

Andréa Santos Leite da Rocha.
Modelo de Sistema de Comunicações Digital para o Mecanismo de Importação de Proteínas Mitocondriais Através de Códigos Corretores de Erros.
doctoral dissertation, Departamento de Telemática, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 2010.

Referências Bibliográficas III

Luzinete Cristina Bonani de Faria.
Existencias de Códigos Corretores de Erros e Protocolos de Comunicação em Sequências de DNA.
doctoral dissertation, Departamento de Telemática, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 2011.

Fábio Berbert de Paula.
Criando sites para celular com wml (parte 1).
URL=http://phpbrasil.com/artigo/ozk4KmI6_tdC/2/criando-sites-para-celular-com-wml-parte-1. Acessado em 10 de dezembro de 2012.

Referências Bibliográficas IV


Luzinete C. B. Faria, Andréa S. L. Rocha, João H. Kleinschmidt, Márcio C. Silva-Filho, Edson Bim, Roberto H. Herai, Michel E. B. Yamagishi, and Reginaldo Palazzo Jr.
Is a genome a codeword of an error-correcting code?
PLoS ONE, 7(5):e36644, 05 2012.


Volney Faustini.
O telefone tocou na madrugada.
URL=http://volneyf.blogspot.com.br/2008_04_01_archive.html. Acessado em 10 de dezembro de 2012.


Apache Software Foundation.
Hdfs-503 - implement erasure coding as a layer on hdfs.
URL=https://issues.apache.org/jira/browse/HDFS-503. Acessado em 08 de maio de 2010.

Referências Bibliográficas V


Apache Software Foundation.
Hdfs architecture.
URL=http://hadoop.apache.org/common/docs/current/hdfs_design.htm
Acessado em 08 de maio de 2010.


Apache Software Foundation.
Mapreduce-1969 - allow raid to use reed-solomon erasure codes.
URL=https://issues.apache.org/jira/browse/MAPREDUCE-1969.
Acessado em 20 de agosto de 2010.


Apache Software Foundation.
Mapreduce-2036 - enable erasure code in tool similar to hadoop archive.
URL=https://issues.apache.org/jira/browse/MAPREDUCE-2036.
Acessado em 10 de novembro de 2010.

Referências Bibliográficas VI


IBM.
Raid 6.
URL=http://pic.dhe.ibm.com/infocenter/powersys/v3r1m5/index.jsp?to
Acessado em 10 de dezembro de 2012.


California Institute of Technology Jet Propulsion Laboratory.
Telecommunications.
URL=http://www2.jpl.nasa.gov/basics/bsf10-1.php. Acessado em 10 de dezembro de 2012.


D. A. Patterson, G. Gibson, and R. H. Katz.
A case for redundant arrays of inexpensive disks (raid).
In *SIGMOD '88: Proceedings of the 1988 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pages 109–116, New York, NY, USA, 1988. ACM.

Referências Bibliográficas VII


Wikipedia project.
Joint source and channel coding.
URL=http://en.wikipedia.org/wiki/Joint_source_and_channel_coding.
Acessado em 7 de junho de 2012.


Raghu Ramakrishnan and Johannes Gehrke.
Database Management Systems, chapter 9, pages 304–337.
McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2003.


Mischa Schwartz.
Information transmission, modulation and noise, chapter 3, 7, pages 95–200, 564–730.
McGraw-Hill, Singapure, 1990.


C. E. Shannon.
A mathematical theory of communication.
The Bell System Technical Journal, 27(3):379–423, 623–656, 1948.

Referências Bibliográficas VIII


F. MacWilliams J. N. J. A. Sloane.
The Theory of Error-Correcting Codes, chapter 3, 4, 7, 10, pages 80–124.
North-Holland Publishing Company, Amsterdam, Netherlands, 1977.


William Stallings.
Wireless Communications and Networks, chapter 2, 8, pages 14–45, 193–235.
Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2005.


Andrew S. Tanenbaum and Maarten Van Steen.
Distributed systems: principles and paradigms, chapter 8,11, pages 321–375,491–544.
Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2006.

Referências Bibliográficas IX


World Tv.
Programas infantis que fizeram história.
URL=http://worldtelevisao.blogspot.com.br/2011/05/programas-infantis-que-fizeram-historia.html. Acessado em 10 de dezembro de 2012.


VentureBeat.
How facebook kept its servers cool in the southern summer heat.
URL=http://venturebeat.com/2012/11/14/facebook-north-carolina-data-center/. Acessado em 10 de dezembro de 2012.


H. Weatherspoon, T. Moscovitz, and J. Kubiatowicz.
Introspective failure analysis: Avoiding correlated failures in peer-to-peer systems.
21st IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems, 0:362–367, 2002.

Referências Bibliográficas X


T. White.
Hadoop: The Definive Guide, chapter 1, 2, 3, pages 1–74.
O'Reilly, Sebastopol, CA, USA, 2009.