Técnicas Avançadas em *Network Coding*

Diogo Soares Moreira

Instituto de Computação
Universidade Federal do Amazonas

Manaus, AM - 2018

Sumário

Sumário

1. Introdução
   - Linear Network Coding
   - Codificação usando LNC
   - Exemplo numérico
   - Decodificação usando LNC
   - E se houver perda no canal?
   - Exemplo numérico
2. Conclusões

Linear Network Coding

Network Coding mostrou-se uma técnica promissora no envio de dados maiores sem adicionar *throughput* a mais na rede segundo estudos anteriores

- Método XOR
- (**Random**) Linear Network Coding (RLNC)

Diferenças

- Substituição da operação XOR por **combinação linear**
- Maior flexibilidade na codificação de mensagens

Network Coding mostrou-se uma técnica promissora no envio de dados maiores sem adicionar *throughput* a mais na rede segundo estudos anteriores

- Método XOR
- (**Random**) Linear Network Coding (RLNC)

Diferenças

- Substituição da operação XOR por **combinação linear**
- Maior flexibilidade na codificação de mensagens

Network Coding mostrou-se uma técnica promissora no envio de dados maiores sem adicionar *throughput* a mais na rede segundo estudos anteriores

- Método XOR
- (**Random**) Linear Network Coding (RLNC)

Diferenças

- Substituição da operação XOR por **combinação linear**
- Maior flexibilidade na codificação de mensagens

Linear Network Coding

Network Coding mostrou-se uma técnica promissora no envio de dados maiores sem adicionar *throughput* a mais na rede segundo estudos anteriores

- Método XOR
- (**Random**) Linear Network Coding (RLNC)

Diferenças

- Substituição da operação XOR por **combinação linear**
- Maior flexibilidade na codificação de mensagens

Linear Network Coding

Network Coding mostrou-se uma técnica promissora no envio de dados maiores sem adicionar *throughput* a mais na rede segundo estudos anteriores

- Método XOR
- (**Random**) Linear Network Coding (RLNC)

Diferenças

- Substituição da operação XOR por **combinação linear**
- Maior flexibilidade na codificação de mensagens

Linear Network Coding

Network Coding mostrou-se uma técnica promissora no envio de dados maiores sem adicionar *throughput* a mais na rede segundo estudos anteriores

- Método XOR
- (**Random**) Linear Network Coding (RLNC)

Diferenças

- Substituição da operação XOR por **combinação linear**
- Maior flexibilidade na codificação de mensagens

Sumário

1. Introdução
   - Linear Network Coding
   - Codificação usando LNC
   - Exemplo numérico
   - Decodificação usando LNC
   - E se houver perda no canal?
   - Exemplo numérico
2. Conclusões

Codificação usando LNC

Como funciona?

- Usuário *source* s deseja enviar um conjunto de pacotes $P_{i=0..N}$ para o destinatário d, onde N é o número de pacotes;
- Pacotes são combinados linearmente para gerar M pacotes codificados:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} \alpha_i * P_i$$

- $\alpha_k \ \forall \ k \in$ Re representa um coeficiente para combinação em cima do pacote original.

Codificação usando LNC

Como funciona?

- Usuário *source* s deseja enviar um conjunto de pacotes $P_{i=0..N}$ para o destinatário d, onde N é o número de pacotes;
- Pacotes são combinados linearmente para gerar M pacotes codificados:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} \alpha_i * P_i$$

- $\alpha_k \ \forall \ k \in$ Re representa um coeficiente para combinação em cima do pacote original.

Codificação usando LNC

Como funciona?

- Usuário *source* s deseja enviar um conjunto de pacotes $P_{i=0..N}$ para o destinatário d, onde N é o número de pacotes;
- Pacotes são combinados linearmente para gerar M pacotes codificados:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} \alpha_i * P_i$$

- $\alpha_k \ \forall \ k \in \mathrm{Re}$ representa um coeficiente para combinação em cima do pacote original.

Codificação usando LNC

Como funciona?

- Usuário *source* s deseja enviar um conjunto de pacotes $P_{i=0..N}$ para o destinatário d, onde N é o número de pacotes;
- Pacotes são combinados linearmente para gerar M pacotes codificados:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} \alpha_i * P_i$$

- $\alpha_k \ \forall \ k \in \mathrm{Re}$ representa um coeficiente para combinação em cima do pacote original.

Codificação usando LNC

Como funciona?

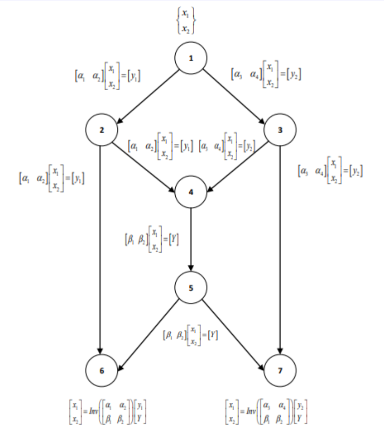
- Usuário *source* s deseja enviar um conjunto de pacotes $P_{i=0..N}$ para o destinatário d, onde N é o número de pacotes;
- Pacotes são combinados linearmente para gerar M pacotes codificados:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} \alpha_i * P_i$$

- $\alpha_k \; \forall \; k \in$ Re representa um coeficiente para combinação em cima do pacote original.

Voilá! Pacote codificado.

Sumário



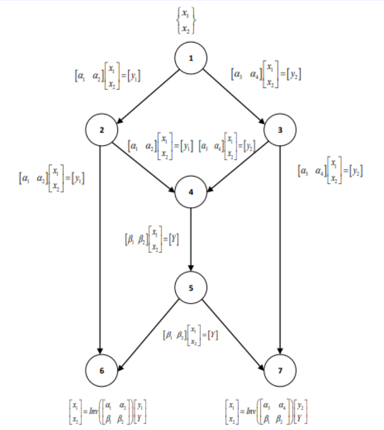
Exemplo

- Assuma: $M = N$, $N = 2$
- Usuário 1 deseja enviar pacotes x_1 e x_2 para usuários 6 e 7

Fluxo

- Usuário 1 codifica pacotes x_1 e x_2 em y_1 e y_2 usando coeficientes α_1, α_2, α_3 e α_4
- Quando pacotes chegam no usuário 4, ele decodifica e recodifica em um novo pacote Y

Codificação usando LNC

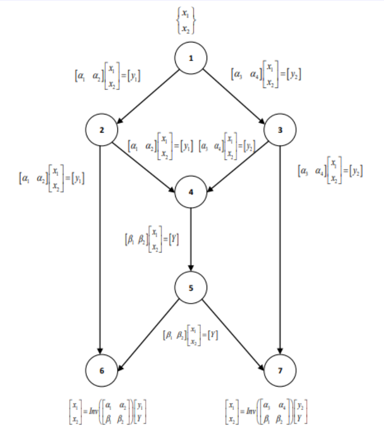


Exemplo

- Assuma: $M = N$, $N = 2$
- Usuário 1 deseja enviar pacotes x_1 e x_2 para usuários 6 e 7

Fluxo

- Usuário 1 codifica pacotes x_1 e x_2 em y_1 e y_2 usando coeficientes α_1, α_2, α_3 e α_4
- Quando pacotes chegam no usuário 4, ele decodifica e recodifica em um novo pacote Y



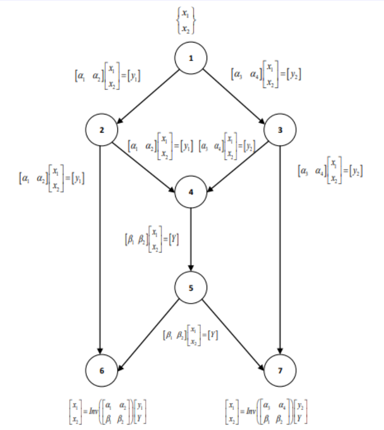
Exemplo

- Assuma: $M = N$, $N = 2$
- Usuário 1 deseja enviar pacotes x_1 e x_2 para usuários 6 e 7

Fluxo

- Usuário 1 codifica pacotes x_1 e x_2 em y_1 e y_2 usando coeficientes α_1, α_2, α_3 e α_4
- Quando pacotes chegam no usuário 4, ele decodifica e recodifica em um novo pacote Y

Codificação usando LNC

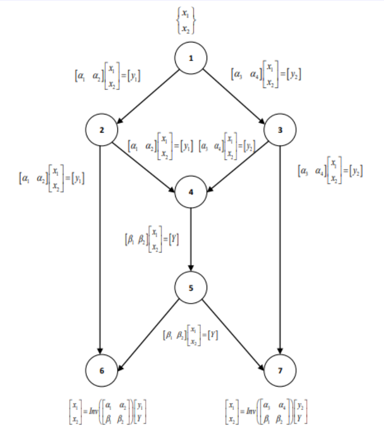


Exemplo

- Assuma: $M = N$, $N = 2$
- Usuário 1 deseja enviar pacotes x_1 e x_2 para usuários 6 e 7

Fluxo

- Usuário 1 codifica pacotes x_1 e x_2 em y_1 e y_2 usando coeficientes α_1, α_2, α_3 e α_4
- Quando pacotes chegam no usuário 4, ele decodifica e recodifica em um novo pacote Y

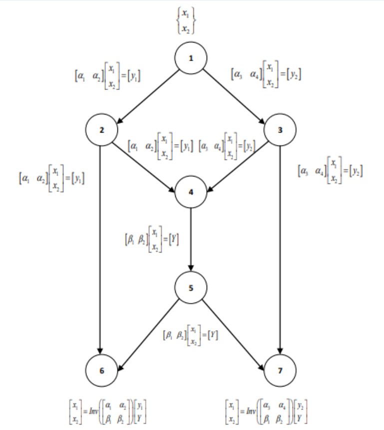


Exemplo

- Assuma: $M = N$, $N = 2$
- Usuário 1 deseja enviar pacotes x_1 e x_2 para usuários 6 e 7

Fluxo

- Usuário 1 codifica pacotes x_1 e x_2 em y_1 e y_2 usando coeficientes α_1, α_2, α_3 e α_4
- Quando pacotes chegam no usuário 4, ele decodifica e recodifica em um novo pacote Y



Exemplo

- Assuma: $M = N$, $N = 2$
- Usuário 1 deseja enviar pacotes x_1 e x_2 para usuários 6 e 7

Fluxo

- Usuário 1 codifica pacotes x_1 e x_2 em y_1 e y_2 usando coeficientes α_1, α_2, α_3 e α_4
- Quando pacotes chegam no usuário 4, ele decodifica e recodifica em um novo pacote Y

Sumário

Decodificação usando LNC

Como funciona?

- Sabemos que:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} P_i * \alpha_i$$

- Ou:

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \cdots & \alpha_N \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix}$$

- Multiplica ambos os lados pela matriz invertida $A^{-1} * C = A^{-1} * A * P$
- Logo, $P = A^{-1} * C$

Decodificação usando LNC

Como funciona?

- Sabemos que:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} P_i * \alpha_i$$

- Ou:

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \cdots & \alpha_N \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix}$$

- Multiplica ambos os lados pela matriz invertida $A^{-1} * C = A^{-1} * A * P$
- Logo, $P = A^{-1} * C$

Como funciona?

- Sabemos que:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} P_i * \alpha_i$$

- Ou:

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \cdots & \alpha_N \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix}$$

- Multiplica ambos os lados pela matriz invertida $A^{-1} * C = A^{-1} * A * P$
- Logo, $P = A^{-1} * C$

Como funciona?

- Sabemos que:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} P_i * \alpha_i$$

- Ou:

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \cdots & \alpha_N \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix}$$

- Multiplica ambos os lados pela matriz invertida
$A^{-1} * C = A^{-1} * A * P$
- Logo, $P = A^{-1} * C$

Decodificação usando LNC

Como funciona?

- Sabemos que:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} P_i * \alpha_i$$

- Ou:

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \cdots & \alpha_N \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix}$$

- Multiplica ambos os lados pela matriz invertida $A^{-1} * C = A^{-1} * A * P$
- Logo, $P = A^{-1} * C$

Decodificação usando LNC

Como funciona?

- Sabemos que:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} P_i * \alpha_i$$

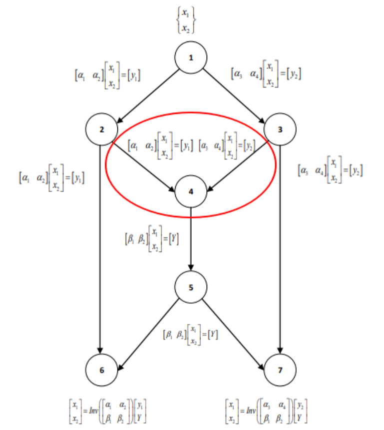
- Ou:

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \cdots & \alpha_N \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix}$$

- Multiplica ambos os lados pela matriz invertida $A^{-1} * C = A^{-1} * A * P$
- Logo, $P = A^{-1} * C$

Solução

Operações simples em matrizes



Exemplo

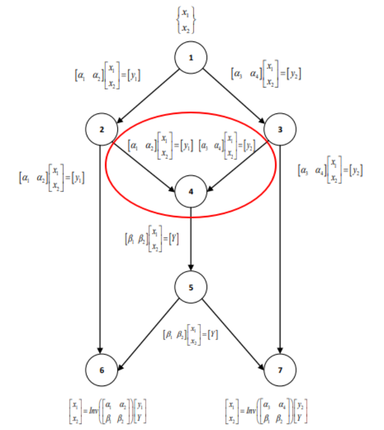
- Usuário 1 deseja enviar pacotes $x_1 = 12$ e $x_2 = 15$ para usuários 6 e 7
- Coeficientes: $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 2$, $\alpha_3 = 3$ e $\alpha_4 = 4$

Fluxo

- Pacote $y1$:

$$y1 = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

Codificação usando LNC



Exemplo

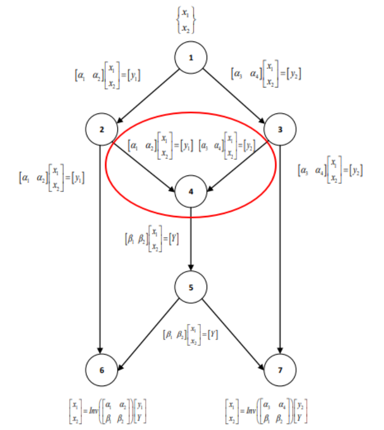
- Usuário 1 deseja enviar pacotes $x_1 = 12$ e $x_2 = 15$ para usuários 6 e 7
- Coeficientes: $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 2$, $\alpha_3 = 3$ e $\alpha_4 = 4$

Fluxo

- Pacote $y1$:

$$y1 = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

Codificação usando LNC



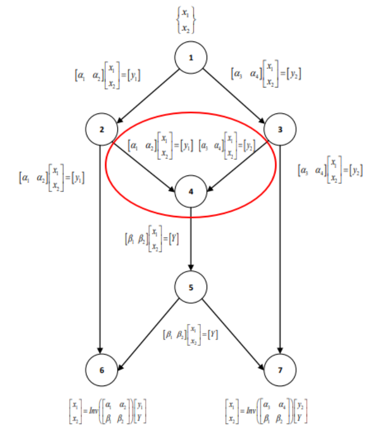
Exemplo

- Usuário 1 deseja enviar pacotes $x_1 = 12$ e $x_2 = 15$ para usuários 6 e 7
- Coeficientes: $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 2$, $\alpha_3 = 3$ e $\alpha_4 = 4$

Fluxo

- Pacote $y1$:

$$y1 = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$



Exemplo

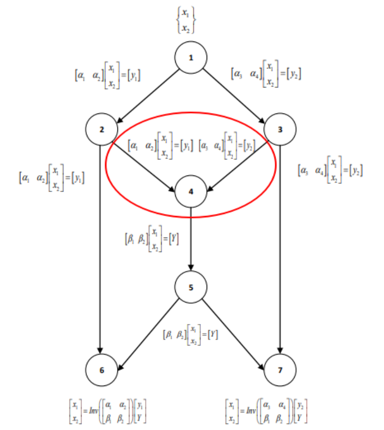
- Usuário 1 deseja enviar pacotes $x_1 = 12$ e $x_2 = 15$ para usuários 6 e 7
- Coeficientes: $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 2$, $\alpha_3 = 3$ e $\alpha_4 = 4$

Fluxo

- Pacote $y1$:

$$y1 = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

Codificação usando LNC



Exemplo

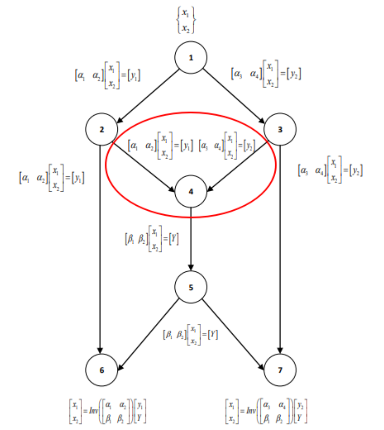
- Usuário 1 deseja enviar pacotes $x_1 = 12$ e $x_2 = 15$ para usuários 6 e 7
- Coeficientes: $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 2$, $\alpha_3 = 3$ e $\alpha_4 = 4$

Fluxo

- Pacote $y1$:

$$y1 = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

Codificação usando LNC



Fluxo

- Pacote $y1$:

$$y1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 12 \\ 15 \end{pmatrix} = 42$$

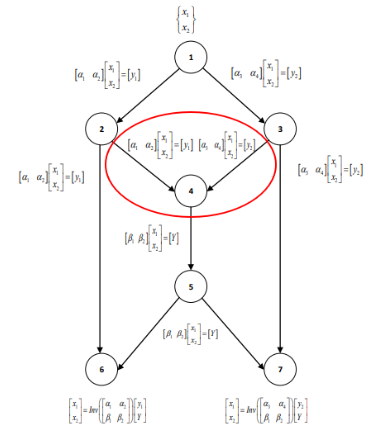
- Pacote $y2$:

$$y2 = \begin{pmatrix} \alpha_3 & \alpha_4 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

- Pacote $y2$:

$$y2 = \begin{pmatrix} 3 & 4 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 12 \\ 15 \end{pmatrix} = 96$$

Codificação usando LNC



Fluxo

- Pacote $y1$:

$$y1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 12 \\ 15 \end{pmatrix} = 42$$

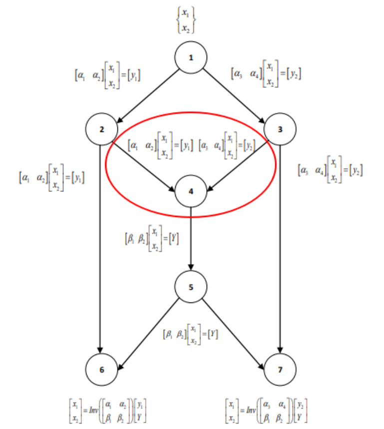
- Pacote $y2$:

$$y2 = \begin{pmatrix} \alpha_3 & \alpha_4 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

- Pacote $y2$:

$$y2 = \begin{pmatrix} 3 & 4 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 12 \\ 15 \end{pmatrix} = 96$$

Codificação usando LNC



Fluxo

- Pacote $y1$:

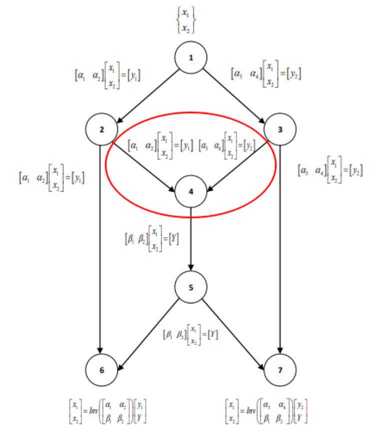
$$y1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 12 \\ 15 \end{pmatrix} = 42$$

- Pacote $y2$:

$$y2 = \begin{pmatrix} \alpha_3 & \alpha_4 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

- Pacote $y2$:

$$y2 = \begin{pmatrix} 3 & 4 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 12 \\ 15 \end{pmatrix} = 96$$



Fluxo

- Pacote $y1$:

$$y1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 12 \\ 15 \end{pmatrix} = 42$$

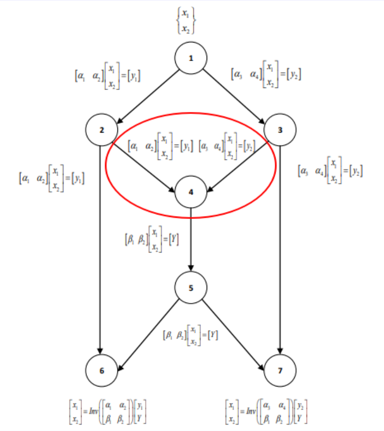
- Pacote $y2$:

$$y2 = \begin{pmatrix} \alpha_3 & \alpha_4 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

- Pacote $y2$:

$$y2 = \begin{pmatrix} 3 & 4 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 12 \\ 15 \end{pmatrix} = 96$$

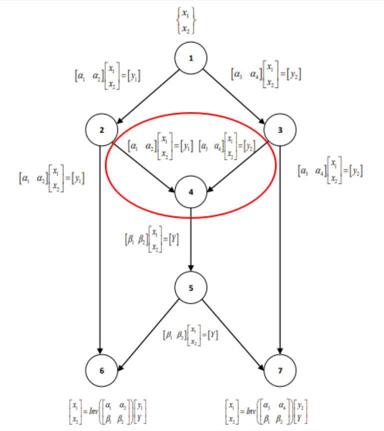
Codificação usando LNC



Fluxo

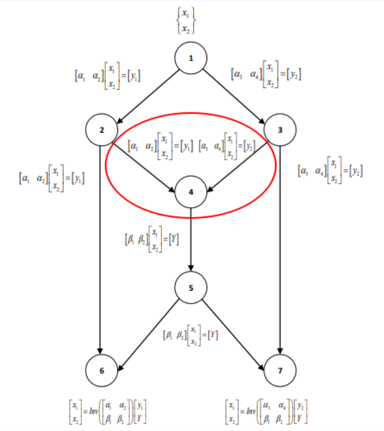
- Usuário 1 envia $y1$ pelo caminho $1 \leftrightarrow 2$ e $y2$ pelo caminho $1 \leftrightarrow 3$
- Usuário 4 recebe as 2 mensagens, mas só pode encaminhar uma delas devido à restrição do canal;
- Usuário 4 decodifica x_1 e x_2 e codifica em apenas uma mensagem (**recodificação**).

Codificação usando LNC



Fluxo

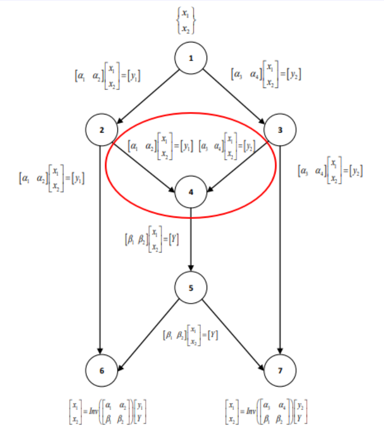
- Usuário 1 envia $y1$ pelo caminho $1 \leftrightarrow 2$ e $y2$ pelo caminho $1 \leftrightarrow 3$
- Usuário 4 recebe as 2 mensagens, mas só pode encaminhar uma delas devido à restrição do canal;
- Usuário 4 decodifica x_1 e x_2 e codifica em apenas uma mensagem (**recodificação**).



Fluxo

- Usuário 1 envia $y1$ pelo caminho $1 \leftrightarrow 2$ e $y2$ pelo caminho $1 \leftrightarrow 3$
- Usuário 4 recebe as 2 mensagens, mas só pode encaminhar uma delas devido à restrição do canal;
- Usuário 4 decodifica x_1 e x_2 e codifica em apenas uma mensagem (**recodificação**).

Codificação usando LNC



Fluxo

- Usuário 1 envia $y1$ pelo caminho $1 \leftrightarrow 2$ e $y2$ pelo caminho $1 \leftrightarrow 3$
- Usuário 4 recebe as 2 mensagens, mas só pode encaminhar uma delas devido à restrição do canal;
- Usuário 4 decodifica x_1 e x_2 e codifica em apenas uma mensagem (**recodificação**).

Decodificação usando LNC

Como funciona?

- Sabemos que:

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} P_i * \alpha_i$$

- Ou:

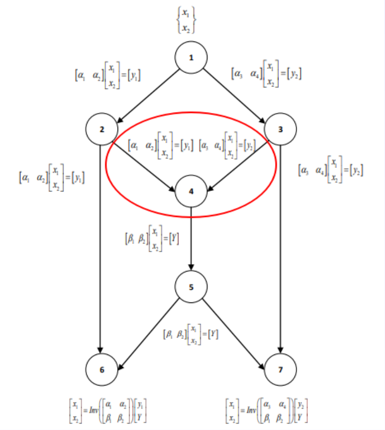
$$\begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \cdots & \alpha_N \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \end{pmatrix}$$

- Multiplica ambos os lados pela matriz invertida
  $A^{-1} * C = A^{-1} * A * P$
- Logo, $P = A^{-1} * C$

Solução da decodificação

Operações simples em matrizes

Decodificação usando LNC



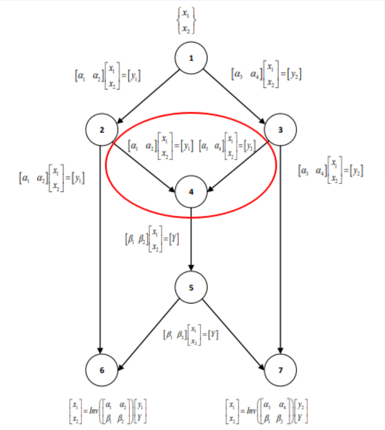
Fluxo

- Usuário 4 decodifica x_1 e x_2 e codifica usando coeficientes β_1 e β_2 para criar Y:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ \alpha_3 & \alpha_4 \end{pmatrix}^{-1} * \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} =$$

- Assim:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}^{-1} * \begin{pmatrix} 42 \\ 96 \end{pmatrix} =$$



Fluxo

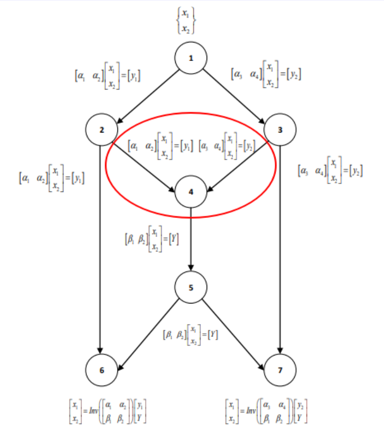
- Usuário 4 decodifica x_1 e x_2 e codifica usando coeficientes β_1 e β_2 para criar Y:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ \alpha_3 & \alpha_4 \end{pmatrix}^{-1} * \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} =$$

- Assim:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}^{-1} * \begin{pmatrix} 42 \\ 96 \end{pmatrix} =$$

Decodificação usando LNC



Fluxo

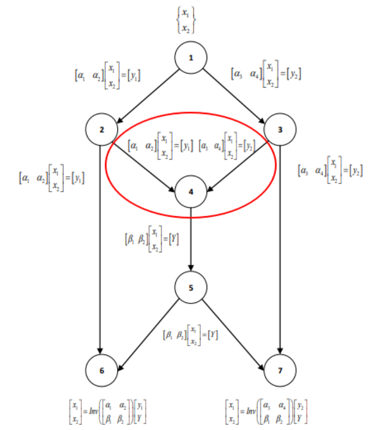
- Usuário 4 decodifica x_1 e x_2 e codifica usando coeficientes β_1 e β_2 para criar Y:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ \alpha_3 & \alpha_4 \end{pmatrix}^{-1} * \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} =$$

- Assim:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}^{-1} * \begin{pmatrix} 42 \\ 96 \end{pmatrix} =$$

Decodificação usando LNC



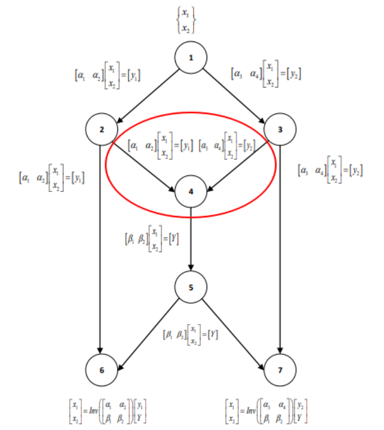
Fluxo

- Assim:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ \frac{3}{2} & \frac{-1}{2} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 42 \\ 96 \end{pmatrix} =$$

- Portanto x_1 e x_2 podem ser facilmente encontrados! E repassados na forma de Y através da codificação novamente.

Decodificação usando LNC



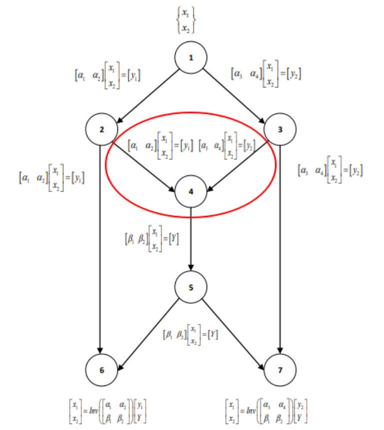
Fluxo

- Assim:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ \frac{3}{2} & \frac{-1}{2} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 42 \\ 96 \end{pmatrix} =$$

- Portanto x_1 e x_2 podem ser facilmente encontrados! E repassados na forma de Y através da codificação novamente.

Decodificação usando LNC



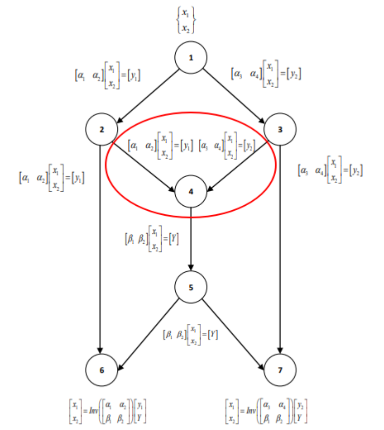
Fluxo

- Assim:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ \frac{3}{2} & \frac{-1}{2} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 42 \\ 96 \end{pmatrix} =$$

- Portanto x_1 e x_2 podem ser facilmente encontrados! E repassados na forma de Y através da codificação novamente.

Decodificação usando LNC



Fluxo

- Assim:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ \frac{3}{2} & \frac{-1}{2} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 42 \\ 96 \end{pmatrix} =$$

- Portanto x_1 e x_2 podem ser facilmente encontrados! E repassados na forma de Y através da codificação novamente.

Problema

É necessário $K = N$ mensagens codificadas para a decodificação das N originais mensagens.

Sumário

Motivação

Imagine que usuário 1 precisa enviar C_k mensagens codificadas ($k > 1$) para um destinatário d em uma comunicação $1 \rightarrow I \rightarrow d$, $I >= 0$, tal que I é o conjunto de usuários intermediários.

Porém...

Suponha uma das situações abaixo:

- Canal com extremo ruído;
- Comunicação intermitente;
- Alta latência (comunicações D2D, V2V, M2M, etc);
- Mensagens podem não chegar, impossibilitando a decodificação ☹.

Motivação

Imagine que usuário 1 precisa enviar C_k mensagens codificadas ($k > 1$) para um destinatário d em uma comunicação $1 \rightarrow I \rightarrow d$, $I >= 0$, tal que I é o conjunto de usuários intermediários.

Porém...

Suponha uma das situações abaixo:

- Canal com extremo ruído;
- Comunicação intermitente;
- Alta latência (comunicações D2D, V2V, M2M, etc);
- Mensagens podem não chegar, impossibilitando a decodificação.

Motivação

Imagine que usuário 1 precisa enviar C_k mensagens codificadas ($k > 1$) para um destinatário d em uma comunicação $1 \rightarrow I \rightarrow d$, $I >= 0$, tal que I é o conjunto de usuários intermediários.

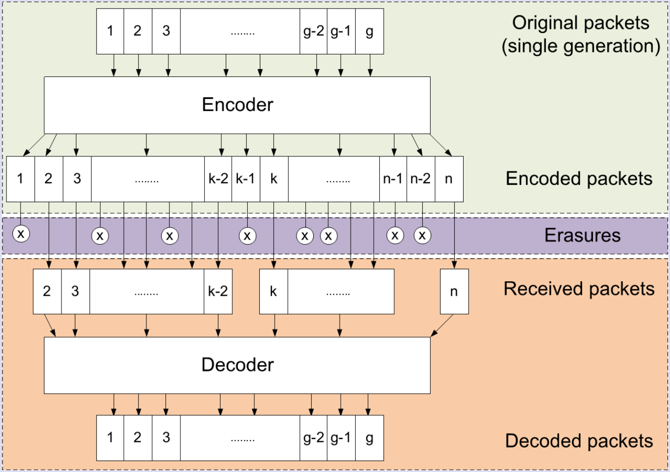
Porém...

Suponha uma das situações abaixo:

- Canal com extremo ruído;
- Comunicação intermitente;
- Alta latência (comunicações D2D, V2V, M2M, etc);
- Mensagens podem não chegar, impossibilitando a decodificação ☹.

Enviar $C > P$ pacotes codificados!

Exemplo



LNC com $C > P$ pacotes codificados

- $M > N$;

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} \alpha_{j,i} * P_i$$

- $a_{j,i}$ agora representa uma matriz de coeficientes do pacote original P;
- Há várias maneiras de gerar coeficientes, no entanto, em casos práticos usar coeficientes aleatórios provou ser suficiente.

LNC com $C > P$ pacotes codificados

- $M > N$;

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} \alpha_{j,i} * P_i$$

- $a_{j,i}$ agora representa uma matriz de coeficientes do pacote original P;
- Há várias maneiras de gerar coeficientes, no entanto, em casos práticos usar coeficientes aleatórios provou ser suficiente.

LNC com $C > P$ pacotes codificados

- $M > N$;

$$C_{j=0..M} = \sum_{i=0}^{N} \alpha_{j,i} * P_i$$

- $a_{j,i}$ agora representa uma matriz de coeficientes do pacote original P;
- Há várias maneiras de gerar coeficientes, no entanto, em casos práticos usar coeficientes aleatórios provou ser suficiente.

LNC com $C > P$ pacotes codificados

Portanto

- No lado receptor é entregue os pacotes decodificados acrescidos dos coeficientes usados em cada pacote (anexo ao cabeçalho);
- Assim, temos novamente; $P = A^{-1} * C$.

LNC com $C > P$ pacotes codificados

Portanto

- No lado receptor é entregue os pacotes decodificados acrescidos dos coeficientes usados em cada pacote (anexo ao cabeçalho);
- Assim, temos novamente; $P = A^{-1} * C$.

LNC com $C > P$ pacotes codificados

Portanto

- No lado receptor é entregue os pacotes decodificados acrescidos dos coeficientes usados em cada pacote (anexo ao cabeçalho);
- Assim, temos novamente; $P = A^{-1} * C$.

Solução da decodificação

Operações com matrizes ou eliminação de Gauss-Jordan [a]

[a] https://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_elimination

Sumário

1. Introdução
   - Linear Network Coding
   - Codificação usando LNC
   - Exemplo numérico
   - Decodificação usando LNC
   - E se houver perda no canal?
   - Exemplo numérico
2. Conclusões

Exemplo numérico

- Usuário source deseja enviar três mensagens P_s;
- A redundância escolhida foi de um fator $\frac{5}{3}$, assim enviando 5 mensagens;

Exemplo numérico

- Usuário source deseja enviar três mensagens P_s;
- A redundância escolhida foi de um fator $\frac{5}{3}$, assim enviando 5 mensagens;

Exemplo numérico

- Usuário source deseja enviar três mensagens P_s;
- A redundância escolhida foi de um fator $\frac{5}{3}$, assim enviando 5 mensagens;

Portanto

$$P_s = \begin{pmatrix} 19 \\ 59 \\ 47 \end{pmatrix}$$

Exemplo numérico

- Usuário source deseja enviar três mensagens P_s;
- A redundância escolhida foi de um fator $\frac{5}{3}$, assim enviando 5 mensagens;

Portanto

$$P_s = \begin{pmatrix} 19 \\ 59 \\ 47 \end{pmatrix} \quad A_s = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 5 & 8 & 10 \\ 9 & 5 & 4 \\ 1 & 6 & 9 \\ 5 & 1 & 10 \end{pmatrix}$$

Exemplo numérico

- Usuário source deseja enviar três mensagens P_s;
- A redundância escolhida foi de um fator $\frac{5}{3}$, assim enviando 5 mensagens;

Portanto

$$P_s = \begin{pmatrix} 19 \\ 59 \\ 47 \end{pmatrix} \quad A_s = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 5 & 8 & 10 \\ 9 & 5 & 4 \\ 1 & 6 & 9 \\ 5 & 1 & 10 \end{pmatrix} \quad \rightarrow C = A * P = \begin{pmatrix} 622 \\ 1037 \\ 654 \\ 796 \\ 624 \end{pmatrix}$$

Exemplo numérico

Passo a passo

- Recepção de C_0 e coeficientes associados;

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \end{pmatrix}$$

- Recepção de C_1 e coeficientes associados;

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 5 & 8 & 10 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \\ 1037 \end{pmatrix}$$

- Recepção de C_4 e coeficientes associados. **Nota: Perda de dados ou atraso**.

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 5 & 8 & 10 \\ 5 & 1 & 10 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \\ 1037 \\ 624 \end{pmatrix}$$

Exemplo numérico

Passo a passo

- Recepção de C_0 e coeficientes associados;

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \end{pmatrix}$$

- Recepção de C_1 e coeficientes associados;

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 5 & 8 & 10 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \\ 1037 \end{pmatrix}$$

- Recepção de C_4 e coeficientes associados. **Nota: Perda de dados ou atraso**.

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 5 & 8 & 10 \\ 5 & 1 & 10 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \\ 1037 \\ 624 \end{pmatrix}$$

Exemplo numérico

Passo a passo

- Recepção de C_0 e coeficientes associados;

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \end{pmatrix}$$

- Recepção de C_1 e coeficientes associados;

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 5 & 8 & 10 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \\ 1037 \end{pmatrix}$$

- Recepção de C_4 e coeficientes associados. **Nota: Perda de dados ou atraso**.

$$A_r = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 7 \\ 5 & 8 & 10 \\ 5 & 1 & 10 \end{pmatrix} \quad C_r = \begin{pmatrix} 622 \\ 1037 \\ 624 \end{pmatrix}$$

Exemplo numérico

Portanto

- P já pode ser recuperado através de $P_r = A_r^{-1} * C_r$.

Portanto

- P já pode ser recuperado através de $P_r = A_r^{-1} * C_r$.
-

$$A_r^{-1} = \begin{pmatrix} -2 & \frac{33}{35} & \frac{16}{35} \\ 0 & \frac{1}{7} & \frac{-1}{7} \\ 1 & \frac{-17}{35} & \frac{-4}{35} \end{pmatrix}, C_r = \begin{pmatrix} 622 \\ 1037 \\ 624 \end{pmatrix} \quad \rightarrow P_r = \begin{pmatrix} 19 \\ 59 \\ 47 \end{pmatrix}$$

Conclusões

Vantagens

- Flexibilidade e maior confiabilidade;
- Maximização da probabilidade de entrega em multicast;
- Eficiência. Encontrar rotas em ambientes dinâmicos é NP-Completo enquanto Network Coding pode ser encontrado em tempo polinomial.

Desvantagens

- Latência maior para decodificação e recodificação (nos nós intermediários);
- Controle de congestionamento vs. Número de pacotes codificados.

Vantagens

- Flexibilidade e maior confiabilidade;
- Maximização da probabilidade de entrega em multicast;
- Eficiência. Encontrar rotas em ambientes dinâmicos é NP-Completo enquanto Network Coding pode ser encontrado em tempo polinomial.

Desvantagens

- Latência maior para decodificação e recodificação (nos nós intermediários);
- Controle de congestionamento vs. Número de pacotes codificados.

Conclusões

Vantagens

- Flexibilidade e maior confiabilidade;
- Maximização da probabilidade de entrega em multicast;
- Eficiência. Encontrar rotas em ambientes dinâmicos é NP-Completo enquanto Network Coding pode ser encontrado em tempo polinomial.

Desvantagens

- Latência maior para decodificação e recodificação (nos nós intermediários);
- Controle de congestionamento vs. Número de pacotes codificados.

Conclusões

Vantagens

- Flexibilidade e maior confiabilidade;
- Maximização da probabilidade de entrega em multicast;
- Eficiência. Encontrar rotas em ambientes dinâmicos é NP-Completo enquanto Network Coding pode ser encontrado em tempo polinomial.

Desvantagens

- Latência maior para decodificação e recodificação (nos nós intermediários);
- Controle de congestionamento vs. Número de pacotes codificados.

Conclusões

Vantagens

- Flexibilidade e maior confiabilidade;
- Maximização da probabilidade de entrega em multicast;
- Eficiência. Encontrar rotas em ambientes dinâmicos é NP-Completo enquanto Network Coding pode ser encontrado em tempo polinomial.

Desvantagens

- Latência maior para decodificação e recodificação (nos nós intermediários);
- Controle de congestionamento vs. Número de pacotes codificados.

Referências I