Inatel

MIMO Detection

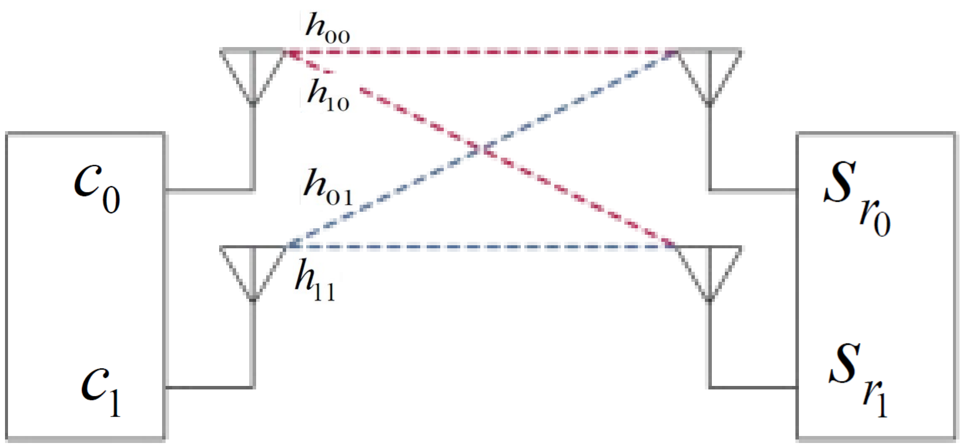
Bruno Ferreira Gomes
Josino Villela S Neto

1º semestre de 2020

Formulação do Problema

Inatel

O MIMO:



$$s_{r_0} = c_0 h_{00} + c_1 h_{01} + n_0$$
$$s_{r_1} = c_0 h_{10} + c_1 h_{11} + n_1$$

$$\begin{bmatrix} s_{r_0} \\ s_{r_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{00} & h_{01} \\ h_{10} & h_{11} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{s}_r = \mathbf{H}\,\vec{c} + \vec{n}$$

Formulação do Problema

Inatel

Reparametrizações e convenções utilizadas:

- Vetores apresentando os valores das partes real e imaginária dos símbolos

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{w}$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \Re(\bar{\mathbf{y}}) \\ \Im(\bar{\mathbf{y}}) \end{bmatrix} \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} \Re(\bar{\mathbf{H}}) & -\Im(\bar{\mathbf{H}}) \\ \Im(\bar{\mathbf{H}}) & \Re(\bar{\mathbf{H}}) \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \Re(\bar{\mathbf{x}}) \\ \Im(\bar{\mathbf{x}}) \end{bmatrix} \quad \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \Re(\bar{\mathbf{w}}) \\ \Im(\bar{\mathbf{w}}) \end{bmatrix}$$

- One-hot mapping

Para a parte real da modulação 16 QAM

$$\begin{aligned} s_1 &= -3 \quad \leftrightarrow \quad \mathbf{u}_1 = [1, 0, 0, 0] \\ s_2 &= -1 \quad \leftrightarrow \quad \mathbf{u}_2 = [0, 1, 0, 0] \\ s_3 &= 1 \quad \leftrightarrow \quad \mathbf{u}_3 = [0, 0, 1, 0] \\ s_4 &= 3 \quad \leftrightarrow \quad \mathbf{u}_4 = [0, 0, 0, 1] \end{aligned}$$

Generalizando:

$$s_i = f_{oh}(\mathbf{u}_i) \text{ for } i = 1, \cdots, |\mathbb{S}|$$

$$x = f_{oh}(\mathbf{x}_{oh}) = \sum_{i=1}^{|\mathbb{S}|} s_i[\mathbf{x}_{oh}]_i$$

Aprender para Detectar

Inatel

Há uma arquitetura:

$$\hat{\mathbf{x}}_{oh}(\mathbf{H}, \mathbf{y}; \boldsymbol{\theta})$$

Há uma função de perda:

$$l\left(\mathbf{x}_{oh}; \hat{\mathbf{x}}_{oh}\left(\mathbf{H}, \mathbf{y}; \boldsymbol{\theta}\right)\right)$$

O objetivo do treinamento é:

$$\min_{\boldsymbol{\theta}} \mathrm{E}\left\{l\left(\mathbf{x}_{oh}; \hat{\mathbf{x}}_{oh}(\mathbf{H}, \mathbf{y}; \boldsymbol{\theta})\right)\right\}$$

Encontrar os parâmetros ótimos, de modo que a função de perca apresente o menor valor possível.

Premissa e casos

Inatel

Premissa:

- Parte-se do pressuposto de que há perfeito conhecimento de CSI (channel state information).

Casos apresentados:

- Fixed Channel (FC) – H apresenta comportamento determinístico;

- Varying Channel (VC) – H apresenta comportamento aleatório.

DetNet – Detection Network

Inatel

O sinal recebido é dado por:

$$\mathbf{H}^T\mathbf{y} = \mathbf{H}^T\mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{H}^T\mathbf{w}$$

As iterações são dadas por:

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1} = \Pi\left[\hat{\mathbf{x}}_k - \delta_k\mathbf{H}^T\mathbf{y} + \delta_k\mathbf{H}^T\mathbf{H}\mathbf{x}_k\right]$$

São aplicadas não-linearidades padrão, a fim de enriquecer as iterações do modelo:

$$\begin{aligned}
\mathbf{q}_k &= \hat{\mathbf{x}}_{k-1} - \delta_{1k}\mathbf{H}^T\mathbf{y} + \delta_{2k}\mathbf{H}^T\mathbf{H}\mathbf{x}_{k-1} \\
\mathbf{z}_k &= \rho\left(\mathbf{W}_{1k}\begin{bmatrix}\mathbf{q}_k \\ \mathbf{v}_{k-1}\end{bmatrix} + \mathbf{b}_{1k}\right) \\
\hat{\mathbf{x}}_{oh,k} &= \mathbf{W}_{2k}\mathbf{z}_k + \mathbf{b}_{2k} \\
\hat{\mathbf{x}}_k &= \mathbf{f}_{oh}(\hat{\mathbf{x}}_{oh,k}) \\
\hat{\mathbf{v}}_k &= \mathbf{W}_{3k}\mathbf{z}_k + \mathbf{b}_{3k} \\
\hat{\mathbf{x}}_0 &= \mathbf{0} \\
\hat{\mathbf{v}}_0 &= \mathbf{0},
\end{aligned}$$

DetNet – Detection Network

Inatel

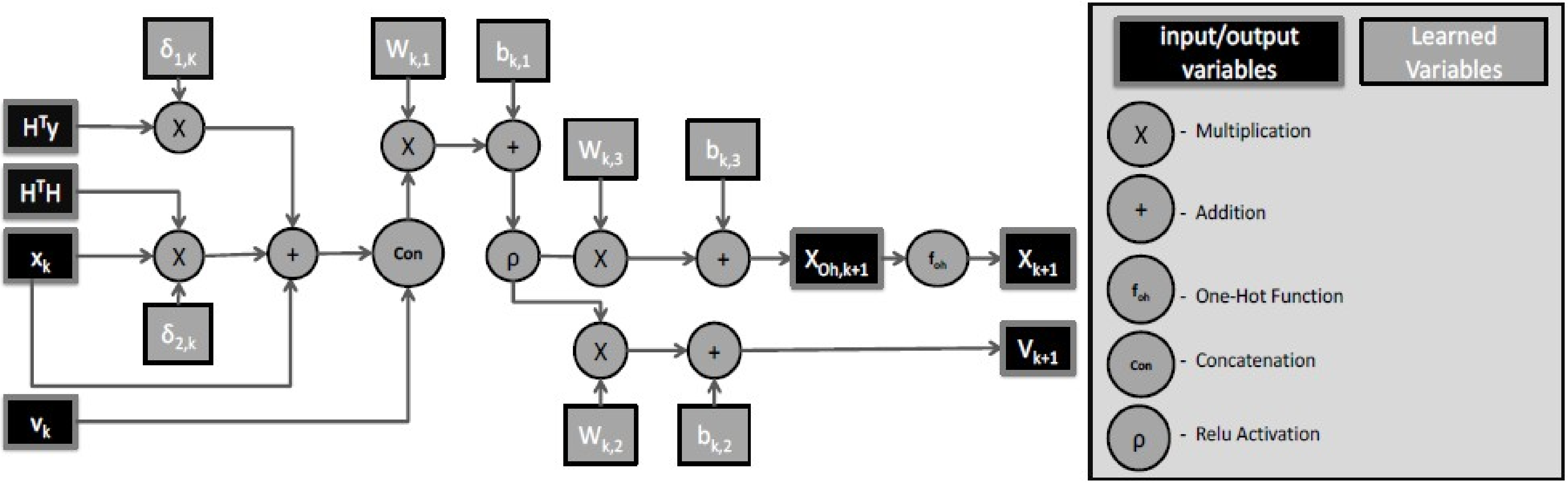
Parâmetros otimizados na fase de treinamento:

$$\boldsymbol{\theta} = \{\mathbf{W}_{1k}, \mathbf{b}_{1k}, \mathbf{W}_{2k}, \mathbf{b}_{2k}, \mathbf{W}_{3k}, \mathbf{b}_{1k}, \delta_{1k}, \delta_{2k}\}_{k=1}^{L}$$

A função de perda assume a seguinte forma:

$$l\left(\mathbf{x}_{oh}; \hat{\mathbf{x}}_{oh}\left(\mathbf{H}, \mathbf{y}; \boldsymbol{\theta}\right)\right) = \sum_{l=1}^{\mathbf{L}} \log(l) \|\mathbf{x}_{oh} - \hat{\mathbf{x}}_{oh,l}\|^2$$

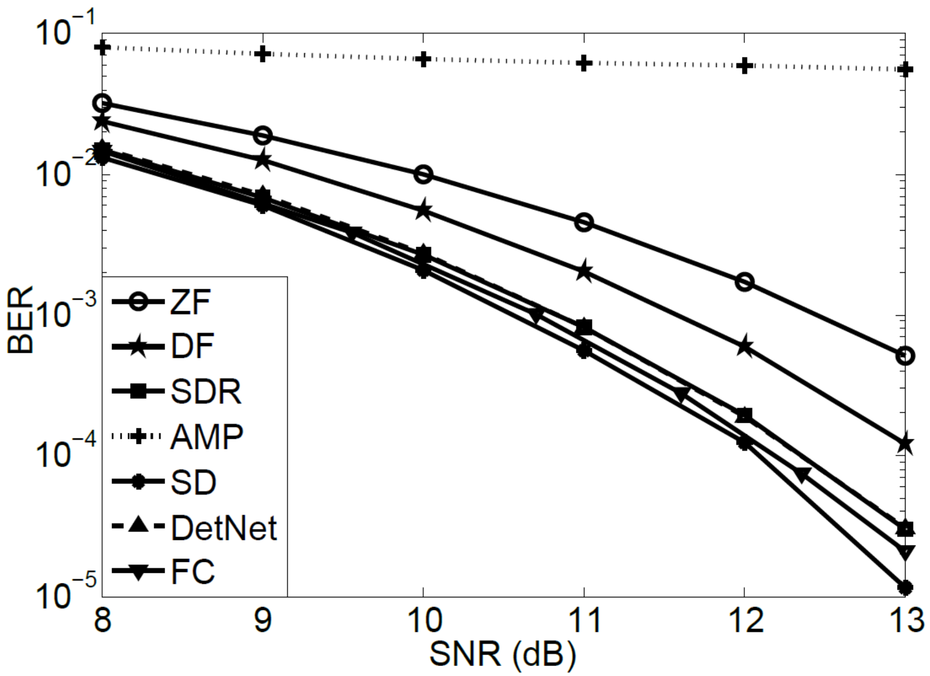
Estrutura do DetNet:



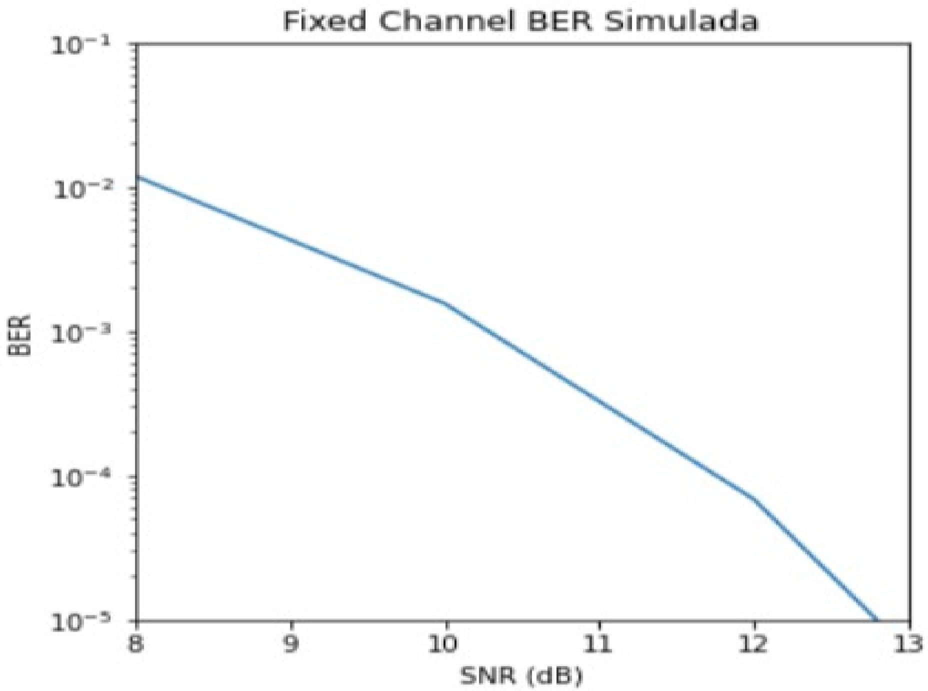
DetNet – Detection Network

Inatel

Resultados fixed channel (FC):



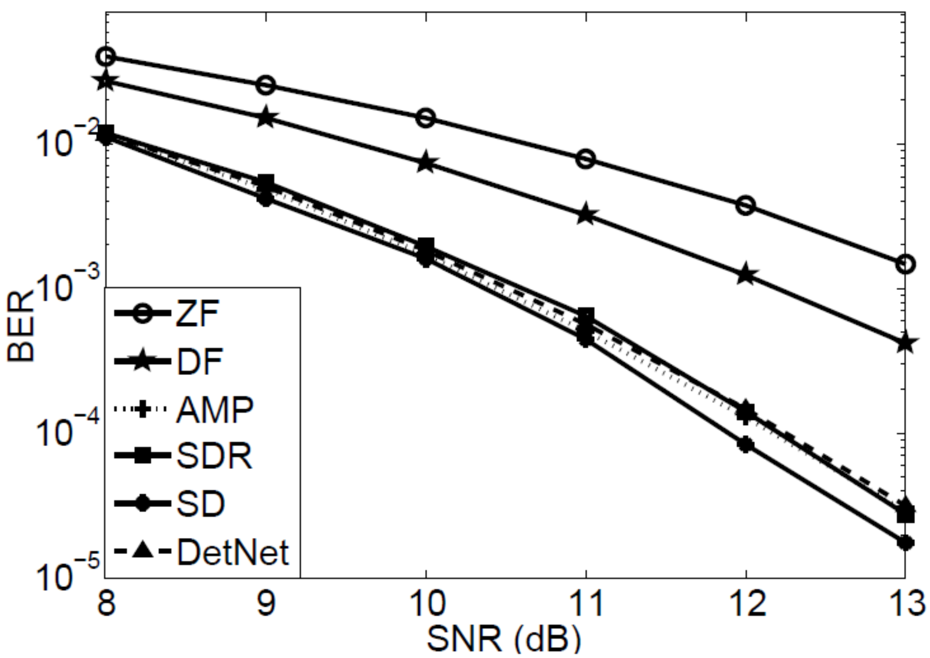
Resultado simulado:



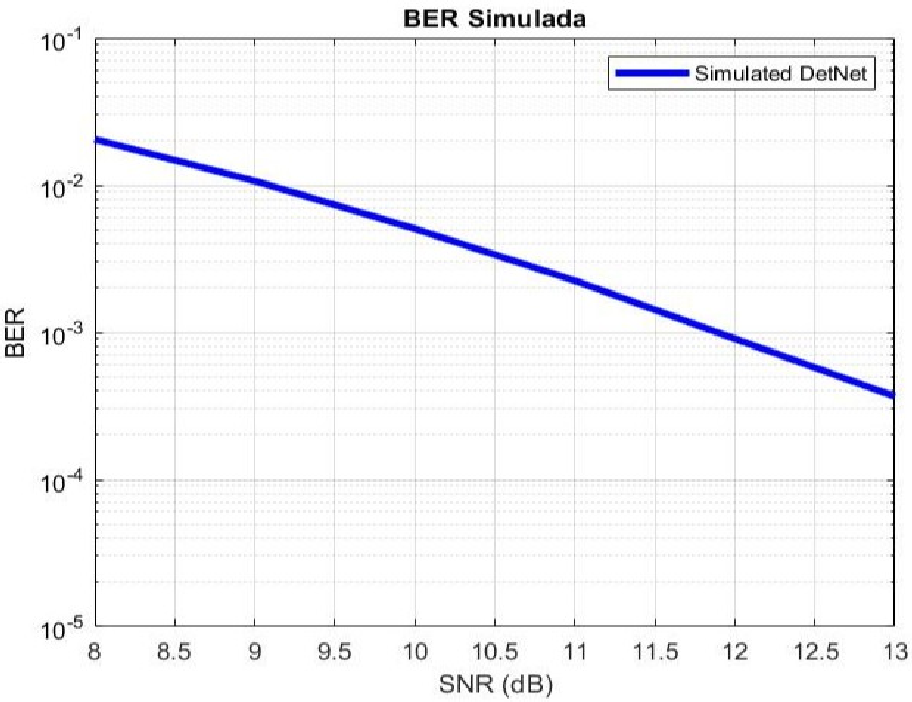
DetNet – Detection Network

Inatel

Resultados varying channel (VC):



Resultado simulado:



Trabalhos Futuros:

- **Análise da precisão da DetNet para ordens de modulação mais elevadas**
  Ex: SER e BER para modulações acima de 64QAM

- **Análise do tempo de execução para modulações mais elevadas**
  Ex: encontrar relação de compromisso entre o número de camadas da rede neural (L), a precisão desejada e o tempo de execução necessário

Inatel

Obrigado!