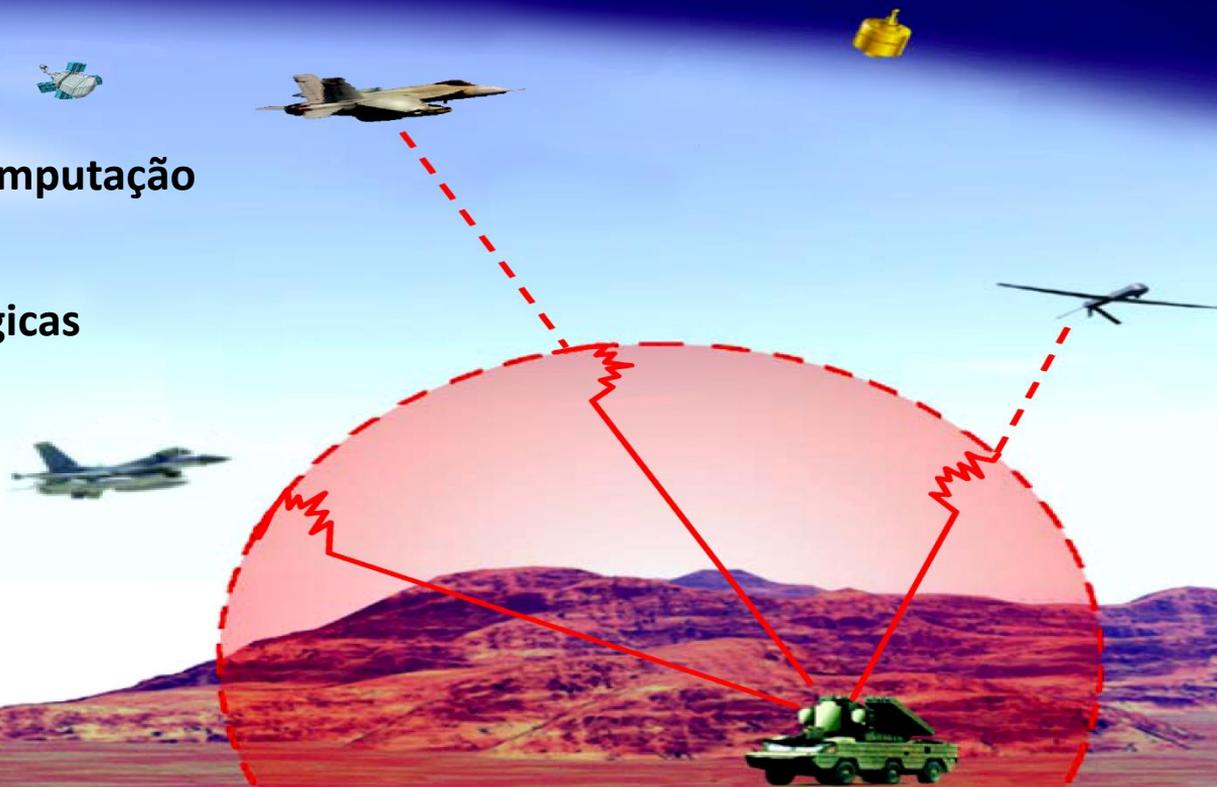




Homeworks 22 e 23 referente às aulas 19 e 20 de “Comunicações Estratégicas – ELC1148”, aulas disponibilizadas em <http://www.fccdecastro.com.br/download.html>.

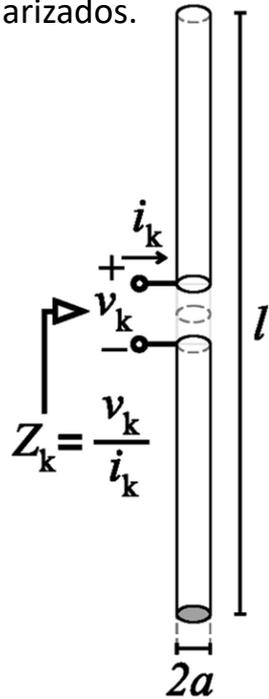
Departamento de Eletrônica e Computação
Centro de Tecnologia
ELC1148 – Comunicações Estratégicas
Prof. Fernando DeCastro

Homeworks referentes à matéria de ELC1148 até a aula de 08/07/2022 em modalidade EAD.

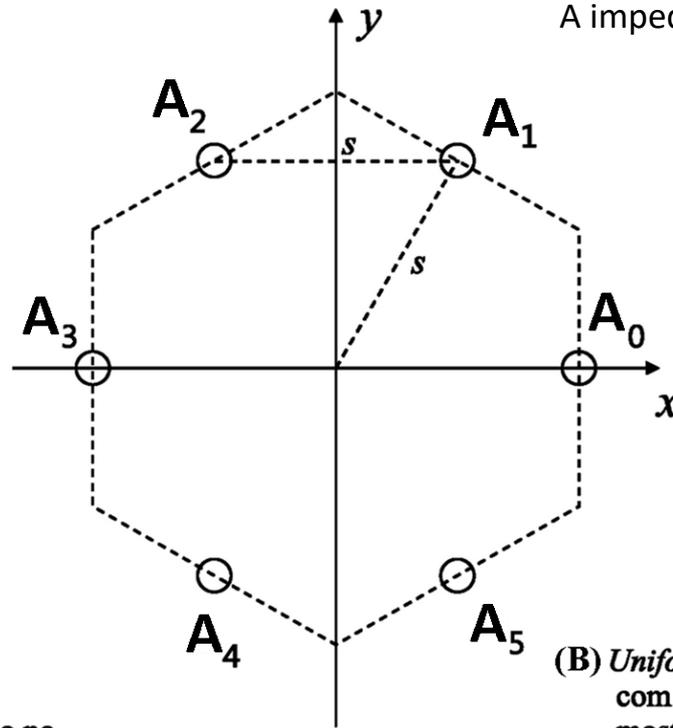


Homework 22

Considere um *phased-array* do tipo *Uniform Circular Array* (UCA) conforme mostrado em (B), operando em $f_0 = 980\text{MHz}$ e constituído por 6 dipolos cilíndricos de tamanho $l = 0.5\lambda$ e de raio $a=5\text{mm}$ conforme (A), separados entre si de $s=0.25\lambda$, sendo λ o comprimento de onda em f_0 . O plano xy é paralelo ao plano do solo de modo que os dipolos são verticalmente polarizados.



(A) Geometria do dipolo usado no array mostrado em (B).



A impedância de carga de cada dipolo é $Z_T = 50 [\Omega]$.

Coordenadas do centro do dipolo A_k , $k = 0,1,\dots, 5$

$$A_0: (s, 0, 0)$$

$$A_1: (s\cos 60^\circ, s\sin 60^\circ, 0)$$

$$A_2: (-s\cos 60^\circ, s\sin 60^\circ, 0)$$

$$A_3: (-s, 0, 0)$$

$$A_4: (-s\cos 60^\circ, -s\sin 60^\circ, 0)$$

$$A_5: (s\cos 60^\circ, -s\sin 60^\circ, 0)$$

(B) *Uniform Circular Array* (UCA) com 6 dipolos idênticos ao mostrado em (A) e coordenadas do centro de cada dipolo.

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} & Z_{03} & Z_{04} & Z_{05} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} & Z_{15} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} & Z_{25} \\ Z_{30} & Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} & Z_{35} \\ Z_{40} & Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} & Z_{45} \\ Z_{50} & Z_{51} & Z_{52} & Z_{53} & Z_{54} & Z_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{bmatrix}$$

(C) Relação entre tensões e correntes nos dipolos do UCA mostrado em (B). Z_{mn} é a impedância mútua entre os dipolos A_m e A_n . Z_{nn} é a impedância própria do dipolo A_n .

Homework 22

Um conjunto de ondas EM originadas em transmissores localizados em coordenadas distintas incidem no UCA com amplitudes Mag relativas e DOAs (θ, ϕ) conforme tabela em (A). Os transmissores utilizam modulação 16-QAM com um alfabeto da modulação dado pelo mapa IQSymbolMap em (B), sendo cada um dos 16 símbolos IQ em IQSymbolMap mapeado em uma palavra de 4 bits (ver http://www.fccdecastro.com.br/pdf/T2_Aula10&11_22042020.pdf).

(A)	Mag:	DOA θ :	DOA ϕ :
	1.0	45°	315°
	0.7	62°	180°
	0.5	71°	20°

$$(B) \quad \text{IQSymbolMap} = \begin{pmatrix} -3 + 3i & -1 + 3i & 1 + 3i & 3 + 3i \\ -3 + i & -1 + i & 1 + i & 3 + i \\ -3 - i & -1 - i & 1 - i & 3 - i \\ -3 - 3i & -1 - 3i & 1 - 3i & 3 - 3i \end{pmatrix}$$

Para efeito de eficiência espectral, como é usual em qualquer sistema digital, os transmissores adotam um *scrambler* na entrada do modulador (*energy dispersal scrambler* - ver <https://en.wikipedia.org/wiki/Scrambler>) que torna aleatória e uniforme a distribuição dos símbolos IQ na sequência de símbolos IQ extraídos do mapa IQSymbolMap em função da sequência de palavras binárias de 4 bits na entrada do *scrambler*, sequência que corresponde à informação digital a ser transmitida pelo transmissor.

As tensões nos terminais dos 6 dipolos resultantes da incidência das ondas EM são digitalizadas e convertidas para banda-

base pelos respectivos receptores (RX) do *array* de dipolos e são armazenadas no vetor $\underline{V}_T[n] = \begin{bmatrix} V_{T_0}[n] \\ V_{T_1}[n] \\ \vdots \\ V_{T_5}[n] \end{bmatrix}$.

Uma sequência de $NSmpl = 2000$ vetores $\underline{V}_T[n]$, $n = 0, 1 \dots NSmpl - 1$, é processada pelo algoritmo MUSIC para efeito de determinar o DOA (θ, ϕ) das ondas EM incidentes.

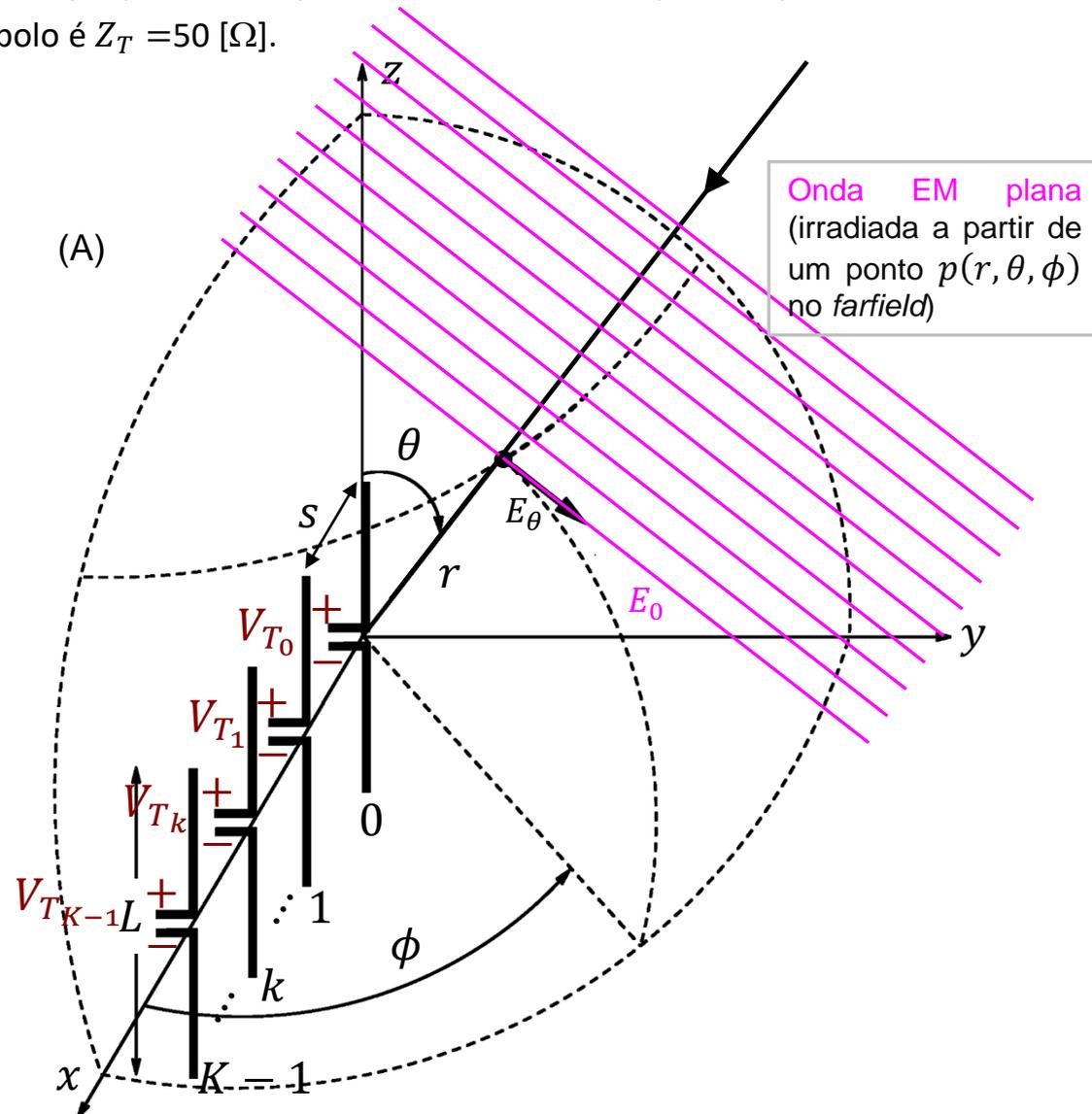
Homework 22

Pede-se:

- (a) Determine e plote a constelação das 6 sequências de símbolos IQ armazenadas em $\underline{V}_T[n]$ caso não houvesse ruído no canal ($SNR = \infty$).
- (b) Determine e plote a constelação das 6 sequências de símbolos IQ armazenadas em $\underline{V}_T[n]$ sabendo que a relação sinal-ruído do canal no local onde o UCA situa-se é $SNR = 25$ [dB].
- (c) Determine a matriz de covariância \mathbf{Cov} da sequência de vetores $\underline{V}_T[n]$ e efetue a sua *eigen*-decomposição.
- (d) Verifique a ortogonalidade entre autovetores da matriz \mathbf{Cov} e o módulo unitário de cada um deles.
- (e) Efetue a projeção da sequência de $NSmpl$ vetores $\underline{V}_T[n]$ sobre cada um dos 6 eixos cartesianos da base ortonormal formada pelos autovetores de \mathbf{Cov} , determine a potência de cada uma das 6 projeções e verifique a correspondência com os respectivos autovalores.
- (f) Determine os auto vetores de ruído da matriz \mathbf{Cov} .
- (g) Determine o espectro $PMU(\theta, \phi)$ resultante do processamento efetuado pelo algoritmo MUSIC. Plote em um gráfico 3D a superfície $PMU(\theta, \phi)$ e, adicionalmente, plote a superfície $PMU(\theta, \phi)$ em um gráfico de contornos. Verifique se os máximos locais de $PMU(\theta, \phi)$ ocorrem nos DOAs (θ_m, ϕ_m) das M ondas EM que incidem no *array*, $m = 0, 1 \dots M - 1$.
- (h) Refaça os itens (f) e (g) utilizando apenas dois autovetores de ruído.
- (i) Analise e interprete o resultado obtido em (h) em comparação ao resultado obtido em (g).

Homework 23

Considere um *phased-array* do tipo *Uniform Linear Array* (ULA) conforme mostrado em (A), operando em $f_0 = 980\text{MHz}$ e constituído por 6 dipolos cilíndricos de tamanho $L = 0.5\lambda$ e de raio $a=5\text{mm}$, separados entre si de $s=0.5\lambda$, sendo λ o comprimento de onda em f_0 . O plano xy é paralelo ao plano do solo de modo que os dipolos são verticalmente polarizados. A impedância de carga de cada dipolo é $Z_T = 50 [\Omega]$.



Homework 23

Um conjunto de ondas EM originadas em transmissores localizados em coordenadas distintas incidem no ULA com amplitudes Mag relativas e DOAs (θ, ϕ) conforme tabela em (A). Os transmissores utilizam modulação 16-QAM com um alfabeto da modulação dado pelo mapa IQSymbolMap em (B), sendo cada um dos 16 símbolos IQ em IQSymbolMap mapeado em uma palavra de 4 bits (ver http://www.fccdecastro.com.br/pdf/T2_Aula10&11_22042020.pdf).

(A)	Mag:	DOA θ :	DOA ϕ :
	1.0	60°	120°
	0.7	80°	60°
	0.5	90°	15°

$$(B) \quad \text{IQSymbolMap} = \begin{pmatrix} -3 + 3i & -1 + 3i & 1 + 3i & 3 + 3i \\ -3 + i & -1 + i & 1 + i & 3 + i \\ -3 - i & -1 - i & 1 - i & 3 - i \\ -3 - 3i & -1 - 3i & 1 - 3i & 3 - 3i \end{pmatrix}$$

Para efeito de eficiência espectral, como é usual em qualquer sistema digital, os transmissores adotam um *scrambler* na entrada do modulador (*energy dispersal scrambler* - ver <https://en.wikipedia.org/wiki/Scrambler>) que torna aleatória e uniforme a distribuição dos símbolos IQ na sequência de símbolos IQ extraídos do mapa IQSymbolMap em função da sequência de palavras binárias de 4 bits na entrada do *scrambler*, sequência que corresponde à informação digital a ser transmitida pelo transmissor.

As tensões nos terminais dos 6 dipolos resultantes da incidência das ondas EM são digitalizadas e convertidas para banda-

base pelos respectivos receptores (RX) do *array* de dipolos e são armazenadas no vetor $\underline{V_T}[n] = \begin{bmatrix} V_{T_0}[n] \\ V_{T_1}[n] \\ \vdots \\ V_{T_5}[n] \end{bmatrix}$.

Uma sequência de $NSmpl = 2000$ vetores $\underline{V_T}[n]$, $n = 0, 1 \dots NSmpl - 1$, é processada pelo algoritmo MUSIC para efeito de determinar o DOA ϕ das ondas EM incidentes.

Homework 23

Pede-se:

- (a) Determine e plote a constelação das 6 sequências de símbolos IQ armazenadas em $\underline{V}_T[n]$ caso não houvesse ruído no canal ($SNR = \infty$).
- (b) Determine e plote a constelação das 6 sequências de símbolos IQ armazenadas em $\underline{V}_T[n]$ sabendo que a relação sinal-ruído do canal no local onde o UCA situa-se é $SNR = 25$ [dB].
- (c) Determine a matriz de covariância \mathbf{Cov} da sequência de vetores $\underline{V}_T[n]$ e efetue a sua *eigen*-decomposição.
- (d) Verifique a ortogonalidade entre autovetores da matriz \mathbf{Cov} e o módulo unitário de cada um deles.
- (e) Efetue a projeção da sequência de $NSmpl$ vetores $\underline{V}_T[n]$ sobre cada um dos 6 eixos cartesianos da base ortonormal formada pelos autovetores de \mathbf{Cov} , determine a potência de cada uma das 6 projeções e verifique a correspondência com os respectivos autovalores.
- (f) Determine os auto vetores de ruído da matriz \mathbf{Cov} .
- (g) Determine o espectro $PMU(\theta, \phi)$ resultante do processamento efetuado pelo algoritmo MUSIC. Plote em um gráfico cartesiano a curva $PMU(\theta = 90^\circ, \phi)$ e, adicionalmente, plote a curva $PMU(\theta = 90^\circ, \phi)$ em um gráfico polar. Verifique se os máximos locais de $PMU(\theta = 90^\circ, \phi)$ ocorrem nos DOAs (θ_m, ϕ_m) das M ondas EM que incidem no *array*, $m = 0, 1 \dots M - 1$.
- (h) Refaça o item (g) para um conjunto de ondas EM originadas em transmissores localizados em coordenadas distintas que incidem no ULA com amplitudes Mag relativas e DOAs (θ, ϕ) conforme tabela abaixo.

Mag:	DOA θ :	DOA ϕ :
1.0	10°	120°
0.5	90°	60°
0.5	90°	170°

- (i) Analise e interprete o resultado obtido em (h) em comparação ao resultado obtido em (g).