Comunicações Digitais

Prof. André Noll Barreto

Prova 1 – 2013/1 (07/05/2013)

Aluno:____

Matrícula: ____

Instruções

- A prova consiste de três questões discursivas
- A prova terá a duração de 2h30
- A prova pode ser feita a lápis ou caneta
- Não é permitida consulta a notas de aula, todas as fórmulas necessárias serão dadas no final da prova.
- Toda resposta deverá está contida nas folhas da prova. Folhas de rascunho serão fornecidas caso necessário, e, caso entregues ao profesor, devem conter o nome e a matrícula. Não será aceita reclamação por sumiço de folhas adicionais.
- Calculadoras podem ser utilizadas, mas todas as contas e respostas devem ser justificadas

Questão	Nota
Q1	
Q2	
Q3	
Total	

UnB

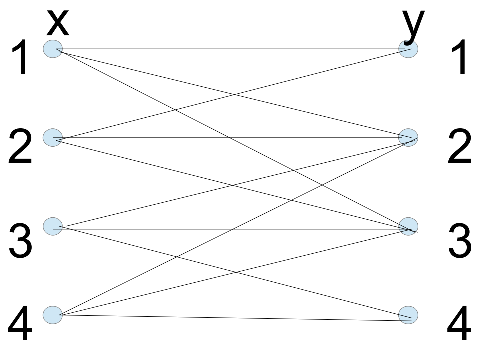
departamento de engenharia elétrica

Comunicações Digitais

Prof. André Noll Barreto

Questão 1 (3,5 pontos)

Um canal de transmissão quaternário é descrito pelas transições da figura abaixo



com transições dadas pelas seguintes probabilidades

$$P(y=2|x=1)=P(y=3|x=4)=2\alpha$$

$$P(y=3|x=1)=P(y=2|x=4)=\alpha$$

$$P(y=1|x=2)=P(y=3|x=2)=P(y=2|x=3)=P(y=4|x=3)=\alpha$$

i) Considerando que são enviados símbolos equiprováveis, qual a probabilidade de erro de símbolo?
ii) Qual a probabilidade de ser recebido o símbolo y = 3?
iii) Dado que foi recebido o símbolo y = 3, qual a probabilidade de ter sido enviado também o símbolo x = 3?
iv) Qual o coeficiente de correlação entre x e y?
v) Supondo agora que os símbolos de entrada não são equiprováveis, e que P(x=1) = P(x=4)=β, e que P(x=2) = P(x=3), qual o valor de β que minimiza a probabilidade de erro de símbolo para α = 0,1?

i)

$$\Pr(e)=\sum_{x=1}^{4} P_x(x)\Pr(y\neq x|x=x)=\frac{1}{4}[3\alpha+2\alpha+2\alpha+3\alpha]=\frac{5}{2}\alpha$$

ii)

$$P_y(3)=\sum_{x=1}^{4} P_x(x)P_{y|x}(3|x)=\frac{1}{4}[\alpha+\alpha+(1-2\alpha)+2\alpha]=\frac{1}{4}(1+2\alpha)$$

iii)

$$P_{x|y}(3|3)=\frac{P_{y|x}(3|3)\,P_X(3)}{P_y(3)}=\frac{(1-2\alpha)\frac{1}{4}}{\frac{1}{4}(1+2\alpha)}=\frac{1-2\alpha}{1+2\alpha}$$

iv)

$$\bar{x}=\frac{1}{4}(1+2+3+4)=\frac{5}{2} \qquad E\{x^2\}=\frac{1}{4}(1+4+9+16)=\frac{15}{2}$$

$$\sigma_x^2=E\{x^2\}-\bar{x}^2=\frac{5}{4}$$

Pela simetria do sistema sabemos que $P_y(2)=P_y(3)=\frac{1}{4}(1+2\alpha)$ e que

$$P_y(1)=P_y(4)=\frac{1}{2}\left[1-2\frac{1}{4}(1+2\alpha)\right]=\frac{1}{4}(1-2\alpha) \quad .$$

Portanto

$$\bar{y}=\frac{1}{4}(1(1-2\alpha)+2(1+2\alpha)+3(1+2\alpha)+4(1-2\alpha))=\frac{5}{2}$$

$$E\{y^2\}=\frac{1}{4}(1(1-2\alpha)+4(1+2\alpha)+9(1+2\alpha)+16(1-2\alpha))=\frac{1}{4}(30-8\alpha)=\frac{15}{2}-2\alpha$$

$$\sigma_{y^2}=E\{y^2\}-\bar{y}^2=\frac{5}{4}-2\alpha$$

a covariância é

$$\sigma_{xy}=E\{(x-\bar{x})(y-\bar{y})\}=E\{xy\}-\bar{x}\,\bar{y}$$

$$E\{xy\}=\sum_x\sum_y xy\,P_{x,y}(x,y)=\sum_x\sum_y xy\,P_x(x)P_{y|x}(y|x)=\frac{1}{4}\sum_x\sum_y xy\,P_{y|x}(y|x)$$

$$=\frac{1}{4}\{1(1)(1-3\alpha)+1(2)2\alpha+1(3)\alpha+2(1)\alpha+2(2)(1-2\alpha)+2(3)\alpha$$

$$3(2)\alpha+3(3)(1-2\alpha)+3(4)\alpha+4(2)\alpha+4(3)2\alpha+4(4)(1-3\alpha)\}=\frac{15}{2}-3\alpha$$

$$\sigma_{xy}=\frac{15}{2}-3\alpha-\frac{5}{2}\frac{5}{2}=\frac{5}{4}-3\alpha$$

v)

$$\Pr(e)=\sum_{x=1}^{4}P_x(x)\Pr(y\neq x|x=x)=\beta 3\alpha+\left(\frac{1-2\beta}{2}\right)2\alpha+\left(\frac{1-2\beta}{2}\right)2\alpha+\beta 3\alpha$$

$$=2\alpha\beta+2\alpha=0,2+(\beta+1)$$

Como $0\leq\beta\leq 1 \quad \Rightarrow \beta=0$

Comunicações Digitais

Prof. André Noll Barreto

Questão 2 (3,5 pontos)

Um sinal aleatório é descrito pela expressão

$$x(t) = 2\cos(200\pi t + \theta_1) + \cos(400\pi t + \theta_2)$$

em que θ_1 e θ_2 são variáveis aleatórias uniformes independentes no intervalo entre 0 e 2π.

i) Calcule a média e autocorrelação de x(t). Este processo é estacionário no sentido amplo? Justifique.

ii) Ele é ergódigo em relação à autocorrelação?

iii) Suponha agora que o sinal x(t) seja amostrado a uma taxa de 1000 amostras / segundo, ou seja são obtidas as amostras $x[k] = x(kT_a)$. Ache o estimador LMS da amostra $x[k]$, baseado nas amostras $x[k-1]$ e $x[k-2]$. Qual o erro médio quadrático?

iv) Repita agora o item (i) considerando que $\theta_1 = \theta_2$.

i)

$$E\{x(t)\} = \int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi}\frac{1}{2\pi}\left[\cos(200\pi t + \theta_1) + \cos(400\pi t + \theta_2)\right] d\theta_1\, d\theta_2 = 0$$

$$\begin{aligned}
R_x(t, t+\tau) = \int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi}\frac{1}{2\pi}\Big[& 4\cos(200\pi t + \theta_1)\cos(200\pi(t+\tau) + \theta_1) \\
& + 2\cos(200\pi t + \theta_1)\cos(400\pi(t+\tau) + \theta_2) \\
& + 2\cos(400\pi t + \theta_2)\cos(200\pi(t+\tau) + \theta_1) \\
& + \cos(400\pi t + \theta_2)\cos(400\pi(t+\tau) + \theta_2)\Big] d\theta_1\, d\theta_2 \\
= \int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{1}{4\pi^2}\Big[& 2\cos(200\pi(2t+\tau) + 2\theta_1) + 2\cos(200\pi\tau) \\
& + \cos(200\pi(3t + 2\tau) + \theta_1 + \theta_2) + \cos(200\pi(t + 2\tau) + \theta_2 - \theta_1) \\
& + \cos(200\pi(3t + \tau) + \theta_1 + \theta_2) + \cos(200\pi(t - \tau) + \theta_2 - \theta_1) \\
& + \frac{1}{2}\cos(400\pi(2t+\tau) + 2\theta_2) + \frac{1}{2}\cos(400\pi\tau)\Big] d\theta_1\, d\theta_2
\end{aligned}$$

$$R_x(t, t+\tau) = 2\cos(200\pi\tau) + \cos(400\pi\tau) = R_x(\tau)$$

é estacionário no sentido amplo

ii)

$$\begin{aligned}
\overline{x(t, t+\tau)} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} \Big[& 2\cos(200\pi(2t+\tau) + 2\theta_1) + 2\cos(200\pi\tau) \\
& + \cos(200\pi(3t + 2\tau) + \theta_1 + \theta_2) + \cos(200\pi(t + 2\tau) + \theta_2 - \theta_1) \\
& + \cos(200\pi(3t + \tau) + \theta_1 + \theta_2) + \cos(200\pi(t - \tau) + \theta_2 - \theta_1) \\
& + \frac{1}{2}\cos(400\pi(2t+\tau) + 2\theta_2) + \frac{1}{2}\cos(400\pi\tau)\Big] dt \\
= 2\cos(200\pi\tau) + \frac{1}{2}\cos(400\pi\tau) = R_x(\tau) &
\end{aligned}$$

é ergódico

iii)

x[k] tem média zero, e queremos achar os coeficientes para

$$\hat{x}[k]=a_1 x[k-1]+a_2 x[k-2] \quad .$$

Sabemos que o intervalo de amostragem é T_a = 1/1000

$$R_{11}=E\{x[k-1]x[k-1]\}=R_{22}=R_x(0)=2{,}5$$

$$R_{12}=E\{x[k-1]x[k-2]\}=R_{21}=R_{01}=R_x(T_a)=2\cos(0{,}2\pi)+\frac{1}{2}\cos(0{,}4\pi)=1{,}725$$

$$R_{02}=E\{x[k]x[k-2]\}=R_x(2T_a)=2\cos(0{,}4\pi)+\frac{1}{2}\cos(0{,}8\pi)=0{,}2135$$

e achamos a como

$$\begin{bmatrix}a_1\\a_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}2{,}5 & 1{,}725\\1{,}725 & 2{,}5\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}1{,}725\\0{,}2135\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1{,}2046\\-0{,}7458\end{bmatrix}$$

e o erro quadrático médio é

$$E\{\epsilon^2\}=R_{00}-a_1 R_{01}-a_2 R_{02}=2{,}5-1{,}2046(1{,}725)+0{,}7458(0{,}2135)=0{,}5813$$

iv)

neste caso, a equação do item i se simplifica para

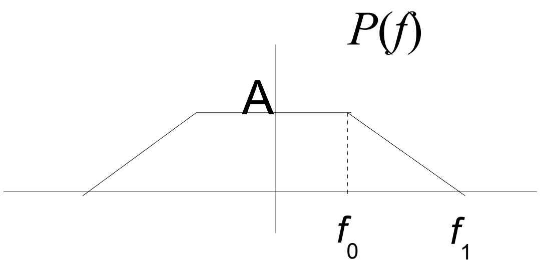
$$\begin{aligned}R_x(t,t+\tau)=\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{1}{4\pi^2}\Big[&2\cos\big(200\pi(2t+\tau)+2\theta_1\big)+2\cos(200\pi\tau)\\&+\cos\big(200\pi(3t+2\tau)+2\theta_1\big)+\cos\big(200\pi(t+2\tau)\big)\\&+\cos\big(200\pi(3t+\tau)+2\theta_1\big)+\cos\big(200\pi(t-\tau)\big)\\&+\frac{1}{2}\cos\big(400\pi(2t+\tau)+2\theta_1\big)+\frac{1}{2}\cos(400\pi\tau)\Big]d\theta_1\,d\theta_2\end{aligned}$$

$$R_x(t,t+\tau)=2\cos(200\pi\tau)+\cos\big(200\pi(t+2\tau)\big)+\cos\big(200\pi(t-\tau)\big)+\frac{1}{2}\cos(400\pi\tau) \quad ,$$

que depende de *t,* portanto não é estacionário

Questão 3 (3 pontos)

Um sistema de transmissão binária polar utiliza pulsos de Nyquist, cuja transformada de Fourier é dada pela figura abaixo.



Supondo que $f_1 = 100\,\text{kHz}$ e que $f_0 = \frac{f_1}{2}$,

i) Qual a banda ocupada pelo sistema, a taxa de transmissão (em bps) e o fator de *roll-off*?
ii) Qual a densidade espectral de potência do sinal transmitido? Qual sua potência?

i)

$$B_T = f_1 = 100\,\text{kHz}$$

$$\frac{R_s}{2} = \frac{f_o + f_1}{2} = 75\,\text{kHz}, \qquad R_b = R_s = 150\,\text{kbps}$$

$$\rho = \frac{B_T - \frac{R_s}{2}}{\frac{R_s}{2}} = \frac{25\text{k}}{75\text{k}} = \frac{1}{3}$$

ii)

$$S_x(f) = \begin{cases} \frac{A^2}{T_s} & , \quad |f| \le f_0 \\ \frac{4A^2}{T_s}\left(1 - \frac{f}{f_1}\right)_1^2 & , \quad f_0 < |f| \le f_1 \\ 0 & , \quad |f| > f \end{cases}$$

$$P_x = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(f)\,df = \frac{A^2}{T_s}(2f_0) + 2\int_{f_0}^{f_1} \frac{4A^2}{T_s}\left(1 - \frac{f}{f_1}\right)^2 df = \left(\frac{4}{3} A R_S\right)^2$$

Comunicações Digitais

Prof. André Noll Barreto

Fórmulas Úteis

Identidades Trigonométricas:

$$\sin(2x)=2\sin x \cos x$$
$$\cos(2x)=\cos^2 x-\sin^2 x$$
$$\sin^2 x+\cos^2 x=1$$
$$\cos^2 x=\frac{1}{2}(1+\cos 2x)$$
$$\sin^2 x=\frac{1}{2}(1-\cos 2x)$$
$$\sin(x\pm y)=\sin x\cos y\pm\cos x\sin y$$
$$\cos(x\pm y)=\cos x\cos y\mp\sin x\sin y$$
$$\tan(x\pm y)=\frac{\tan x\pm\tan y}{1\mp\tan x\tan y}$$
$$a\cos x+b\sin x=\sqrt{a^2+b^2}\cos\left(x+\tan^{-1}(-b/a)\right)$$

Integrais:

$$\int x\sin ax\,dx=\frac{1}{a^2}(\sin ax-ax\cos ax)$$
$$\int x\cos ax\,dx=\frac{1}{a^2}(\cos ax+ax\sin ax)$$
$$\int x^2\sin ax\,dx=\frac{1}{a^3}(2ax\sin ax+2\cos ax-a^2x^2\cos ax)$$
$$\int x^2\cos ax\,dx=\frac{1}{a^3}(2ax\cos ax-2\sin ax+a^2x^2\sin ax)$$
$$\int xe^{ax}\,dx=\frac{e^{ax}}{a^2}(ax-1)$$
$$\int x^2e^{ax}=\frac{e^{ax}}{a^3}(a^2x^2-2ax+2)$$
$$\int\frac{1}{x^2+a^2}dx=\frac{1}{a}\tan^{-1}\frac{x}{a}$$
$$\int\frac{x}{x^2+a^2}dx=\frac{1}{2}\ln(x^2+a^2)$$
$$\int\frac{x}{a^4+x^4}dx=\frac{1}{2a^2}\tan^{-1}\frac{x^2}{a^2}$$

Funções Importantes:

$$\text{rect}(t)=\begin{cases}1 & ,\ |t|<1/2\\ 1/2 & ,\ |t|=1/2\\ 0 & ,\ |t|>1/2\end{cases}$$
$$\Delta(t)=\text{rect}(t)\left(1-2|t|\right)$$

Comunicações Digitais

Prof. André Noll Barreto

Tabela de Transformadas de Fourier:

$$g(t)=\int_{-\infty}^{\infty} G(f)e^{j2\pi f t}df \overset{F}{\Leftrightarrow} G(f)=\int_{-\infty}^{\infty} g(t)e^{-j2\pi f t}dt$$

$$\delta(t) \overset{F}{\Leftrightarrow} 1$$

$$1 \overset{F}{\Leftrightarrow} \delta(f)$$

$$t^n e^{-at}u(t) \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{n!}{(a+j2\pi f)^{n+1}}$$

$$e^{-a|t|} \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{2a}{a^2+4\pi^2 f^2}$$

$$e^{j2\pi f_0 t} \overset{F}{\Leftrightarrow} \delta(f-f_0)$$

$$\cos(2\pi f_0 t) \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{1}{2}\left[\delta(f-f_0)+\delta(f+f_0)\right]$$

$$\sin(2\pi f_0 t) \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{1}{2j}\left[\delta(f-f_0)-\delta(f+f_0)\right]$$

$$u(t) \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{1}{2}\delta(f)+\frac{1}{j2\pi f}$$

$$\operatorname{sgn} t \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{1}{j\pi f}$$

$$\operatorname{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \overset{F}{\Leftrightarrow} |\tau|\operatorname{sinc}(\pi f \tau)$$

$$\operatorname{sinc}(2\pi B t) \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{1}{|2B|}\operatorname{rect}(f/2B)$$

$$\Delta\left(\frac{t}{\tau}\right) \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{\tau}{2}\operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi f \tau}{2}\right)$$

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT) \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{1}{T}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta\left(f-\frac{n}{T}\right)$$

$$k_1 g_1(t)+k_2 g_2(t) \overset{F}{\Leftrightarrow} k_1 G_1(f)+k_2 G_2(f)$$

$$G(t) \overset{F}{\Leftrightarrow} g(-f)$$

$$g(at) \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{1}{|a|}G\left(\frac{f}{a}\right)$$

$$g(t-t_0) \overset{F}{\Leftrightarrow} G(f)e^{-j2\pi f t_0}$$

$$g(t)e^{j2\pi f_0 t} \overset{F}{\Leftrightarrow} G(f-f_0)$$

$$g_1(t)*g_2(t) \overset{F}{\Leftrightarrow} G_1(f)G_2(f)$$

$$g_1(t)g_2(t) \overset{F}{\Leftrightarrow} G_1(f)*G_2(f)$$

$$\frac{d^n g(t)}{dt^n} \overset{F}{\Leftrightarrow} (j2\pi f)^n G(f)$$

$$\int_{-\infty}^{t} g(x)dx \overset{F}{\Leftrightarrow} \frac{G(f)}{j2\pi f}+\frac{1}{2}G(0)\delta(f)$$

UnB

departamento de engenharia elétrica

Comunicações Digitais

Prof. André Noll Barreto

Probabilidade

$$P(B|A)=\frac{P(A\cap B)}{P(A)}=\frac{P(A|B)P(B)}{P(A)}$$

eventos são independentes se $P(B|A)=P(B)$.

se $A_i,\ 1\le i\le N$ são eventos disjuntos e $\cup_{i=1}^{N} A_i=S \Rightarrow P(B)=\sum_{i=1}^{N} P(B|A_i)P(A_i)$

Variáveis Aleatórias

$P_{\mathrm{y}}(y)=\sum_i P_{\mathrm{x,y}}(x_i,y)$ CDF $F_{\mathrm{X}}(x)=Pr(\mathrm{x}\le x)$ PDF $p_{\mathrm{x}}(x)=\frac{d\,F_{\mathrm{x}}(x)}{dx}$

v.a exponencial $p_{\mathrm{x}}(x)=\lambda e^{-\lambda x}u(x)$ v.a. Gaussiana $p_{\mathrm{x}}(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-(x-\bar{x})^2/2\sigma^2}$

$$Q(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^{\infty} e^{-x^2/2}dx$$

$E\{f(\mathrm{x})\}=\int_{-\infty}^{\infty} f(x)p_{\mathrm{x}}(x)dx \qquad p_{\mathrm{x}}(x)=\int_{-\infty}^{\infty} p_{\mathrm{x,y}}(x,y)dy$

Teorema Central do Limite $\mathrm{y}_n=\frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{i=1}^{n}\frac{\mathrm{x}_i-\mu}{\sigma}\rightarrow Normal(0,1)$

Covariância $\sigma_{\mathrm{xy}}=E\{(x-\bar{x})(y-\bar{y})\}$ Coeficiente de correlação $\rho_{\mathrm{xy}}=\frac{\sigma_{\mathrm{xy}}}{\sigma_{\mathrm{x}}\sigma_{\mathrm{y}}}$

Estimação LMS

supondo $E\{\mathrm{x_i}\}=0$

$$\hat{\mathrm{x}}_0=\sum_{i=1}^{n} a_i\mathrm{x_i} \quad \text{com} \quad \begin{bmatrix} a_1\\ a_2\\ \vdots\\ a_n\end{bmatrix}=\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n}\\ R_{21} & R_{22} & \cdots & R_{2n}\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ R_{n1} & \cdots & \cdots & R_{nn}\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix} R_{01}\\ R_{02}\\ \vdots\\ R_{0n}\end{bmatrix} \text{, e} \quad R_{ij}=E\{\mathrm{x_i x_j}\}$$

$$E\{\epsilon^2\}=R_{00}-(a_1R_{01}+a_2R_{02}+\cdots+a_nR_{0n})$$

Processos Estocásticos

$R_{\mathrm{x}}(\tau)=E\{\mathrm{x}(t)\mathrm{x}(t+\tau)\}$ Densidade Espectral de Pot. $S_{\mathrm{x}}(f)=F_{\tau}\{R_{\mathrm{x}}(\tau)\}$

$\mathrm{y}(t)=\mathrm{x}(t)*h(t)\Rightarrow S_{\mathrm{y}}(f)=|H(f)|^2S_{\mathrm{x}}(f)$ e $\bar{\mathrm{y}}=H(0)\bar{\mathrm{x}}$

$R_{\mathrm{x,y}}(\tau)=E\{\mathrm{x}(t)\mathrm{y}(t+\tau)\}$

x e y são descorrelatados se $R_{\mathrm{x,y}}(\tau)=\bar{\mathrm{x}}\,\bar{\mathrm{y}}$ e são ortogonais se $R_{\mathrm{x,y}}(\tau)=0$

Filtro de Wiener

$$H_{opt}(f)=\frac{S_{\mathrm{m}}(f)}{S_{\mathrm{m}}(f)+S_{\mathrm{n}}(f)}$$

$$P_N=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{S_m(f)S_n(f)}{(S)_m(f)+S_n(f)}df$$

Comunicações Digitais

Prof. André Noll Barreto

Densidade Espectral de Potência de Códigos de Linha

$$S_y(f)=\frac{|P(f)|^2}{T_b}\sum_{n=-\infty}^{\infty} R_n e^{-j2\pi n f T_b}=\frac{|P(f)|^2}{T_b}\left(R_0+2\sum_{n=1}^{\infty} R_n \cos 2\pi n f T_b\right)$$

Inversão de Matriz 2x2

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^{-1}=\frac{1}{ad-bc}\begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$$

Função Q

x	Q(x)	x	Q(x)
0,1	4,60E-001	3,1	9,68E-004
0,2	4,21E-001	3,2	6,87E-004
0,3	3,82E-001	3,3	4,83E-004
0,4	3,45E-001	3,4	3,37E-004
0,5	3,09E-001	3,5	2,33E-004
0,6	2,74E-001	3,6	1,59E-004
0,7	2,42E-001	3,7	1,08E-004
0,8	2,12E-001	3,8	7,23E-005
0,9	1,84E-001	3,9	4,81E-005
1,0	1,59E-001	4,0	3,17E-005
1,1	1,36E-001	4,1	2,07E-005
1,2	1,15E-001	4,2	1,33E-005
1,3	9,68E-002	4,3	8,54E-006
1,4	8,08E-002	4,4	5,41E-006
1,5	6,68E-002	4,5	3,40E-006
1,6	5,48E-002	4,6	2,11E-006
1,7	4,46E-002	4,7	1,30E-006
1,8	3,59E-002	4,8	7,93E-007
1,9	2,87E-002	4,9	4,79E-007
2,0	2,28E-002	5,0	2,87E-007
2,1	1,79E-002	5,1	1,70E-007
2,2	1,39E-002	5,2	9,96E-008
2,3	1,07E-002	5,3	5,79E-008
2,4	8,20E-003	5,4	3,33E-008
2,5	6,21E-003	5,5	1,90E-008
2,6	4,66E-003	5,6	1,07E-008
2,7	3,47E-003	5,7	5,99E-009
2,8	2,56E-003	5,8	3,32E-009
2,9	1,87E-003	5,9	1,82E-009
3,0	1,35E-003	6,0	9,87E-010