

RESUMO

Este trabalho objetiva desenvolver um simulador de sistemas de comunicação, utilizando o software *MatLab-Simulink*.

O desenvolvimento deste simulador, fundamentou-se na criação de blocos utilizando a função *Mask* do *Simulink*. No total foram criados 59 blocos, onde estão incluídos blocos que representam modelos de sistemas analógicos, sistemas digitais e canais de rádio propagação.

Principais resultados que podem serem obtidos do simulador são:

- Análise do desempenho de sistemas analógicos e digitais, na presença do ruído aditivo e/ou ruído multiplicativo.
- Obter formas de ondas de diversos tipos de sinais modulados, através dos moduladores analógicos e digitais.
- Comparar os diversos modelos de canais de rádio propagação, através de simulações rápidas e práticas.

INTRODUÇÃO

Um sistema de comunicação, em diagramas, pode ser dividido em 3 blocos: transmissor, canal e receptor, onde cada bloco é responsável por determinada função.

Para o desenvolvimento do simulador, foi necessário dividir em blocos um sistema de comunicação, nesta ordem. Neste sentido, os principais modelos criados foram os moduladores, os canais de rádio e os demoduladores.

Antes do desenvolvimento do simulador, é apresentado um resumo da teoria necessária de onde foi baseado a criação de cada bloco do simulador. Do capítulo 1 ao capítulo 4 é apresentado a teoria, e no capítulo 5 o desenvolvimento do simulador.

O capítulo 1 resume a teoria envolvida no estudo de sistemas de rádio e também modelos de canais de rádio teóricos, empíricos e estatísticos.

O capítulo 2 apresenta os sistemas AM, mostrando seus moduladores e demoduladores.

O capítulo 3 apresenta os sistemas FM, mostrando também seus moduladores e demoduladores.

Já o capítulo 4 apresenta as técnicas digitais de modulação, sendo que é utilizado os moduladores e demoduladores digitais considerados mais conhecidos e simples.

E no capítulo 5 é apresentado o desenvolvimento do simulador e alguns exemplos que mostram resultados de simulações.

1 - CANAL DE RÁDIO PROPAGAÇÃO

1.1 - Sistemas celulares

O modelo celular é uma das mais novas tecnologia utilizada em sistemas de comunicação. Ele surgiu na década de setenta e até hoje é utilizado para atender diversos tipos de serviços.

Para entender a idéia básica de um sistema celular, em primeiro lugar tem que observar que uma das principais limitações de um sistema de comunicação rádio móvel convencional é a limitação no espectro de frequências. Nos sistemas convencionais, cada canal de comunicação ocupa uma determinada faixa do espectro, por exemplo, cada emissora de rádio tem sua determinada frequência de modulação. E é por esta limitação no espectro de frequências que o número de canais que podem ser utilizados em uma mesma região é limitado. O sistema celular surgiu para suprir esta deficiência, com a idéia renovadora de reuso da frequência. A idéia era em dividir a região deficiente de canais em sub-regiões, chamadas de células, onde a estação rádio base (ERB) deveria cobrir esta região com um certo número de canais, e estes mesmos canais poderiam ser reusados em outras células.

Esta idéia de dividir as regiões do sistema celular foi brilhante, pois consegue-se aumentar a relação número de canais por usuários. Mas com certeza este sistema não é perfeito, pois suas dificuldades se encontram na hora de dividir as regiões o melhor possível para ser minimizado o problema de interferência entre células que utilizam mesmas frequências. Outro problema que surge também é quando o usuário móvel atravessa de uma célula para outra (*hand-off*), sem ser interrompida a ligação.

O modelo celular consiste em dividir a região em células, onde cada célula é um hexágono regular devido a sua simetria e a sua aparência com uma região circular. Um cluster é um grupo de células adjacentes que utilizam as mesmas frequências, e o número de células em cada cluster é dado pela seguinte relação $N=i^2+ij+j^2$, onde i e $j=1,2,3,...$ (1.1)

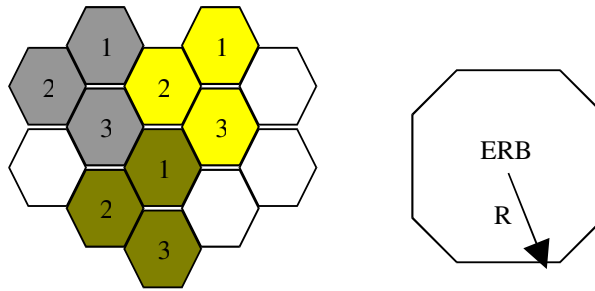


Figura 1.1: Sistema celular e uma célula com o seu raio.

A Fig. 1.1 mostrada acima, é um sistema celular com um cluster de três células, todas as células de número 1 utilizam as mesmas frequências, as de número 2 e 3 também utilizam as mesmas frequências. Nesta Fig.1.1 também é mostrado uma célula teórica com o seu respectivo raio.

As interferências em sistemas celulares são de dois tipos: interferência de canal adjacente e interferência co-canal. A interferência de canal adjacente é devido aos espectros dos canais serem muito aproximados, para se obter seu máximo aproveitamento, e devido também a variações na frequência. A co-canal é a interferência entre células que utilizam as mesmas frequências, por exemplo na Fig.1.1 todas as células de mesmo número. Existem outros tipos de interferências mas estas duas são consideradas as mais importantes.

Para se criar um ambiente celular, é necessário fazer um estudo da área de cobertura das antenas e este estudo é feito através dos *modelos de rádio propagação*. [2], [9]

1.2 - Modelos de perda de potência média de percurso [2]

Uma antena quando transmite um sinal de rádio ela envia uma certa quantidade de potência para o espaço, esta potência média irradiada é simbolizada por W_t . Esta potência transmitida é função das dimensões da antena e da frequência do sinal.

A potência média recebida por uma antena receptora, é função dos mesmos parâmetros da antena transmissora e é também função da distância entre as duas antenas e da potência transmitida. Quanto mais distante o transmissor estiver do receptor, menor será a potência recebida (W_r).

A relação entre a potência do sinal recebido e a do sinal transmitido é chamada de perda no caminho (l):

$$l = W_r / W_t \quad (1.2)$$

em decibéis a relação fica:

$$L(\text{dB}) = -10 \log l = -10 \log W_r + 10 \log W_t \quad (1.3)$$

Então pode-se dizer que o modelo matemático da perda de potência no caminho se resume a determinar L . Na realidade L nunca é determinado com exatidão, ele é muito função do meio de propagação e dos obstáculos que a onda tem que atravessar, por exemplo os prédios de uma cidade fazem com que as perdas nela sejam maiores que no meio rural.

Existem três tipos de modelos para o cálculo de L : modelos teóricos, modelos empíricos e modelos estatísticos. Os modelos teóricos só são utilizados em alguns casos simples, já os empíricos são mais complicados, eles consideram as obstruções dos terrenos, e através de vários estudos são determinados parâmetros que são funções por exemplo, se o meio é rural ou urbano, florestas, etc. E os estatísticos são modelos que caracterizam o nível instantâneo do sinal em função de distribuições de probabilidades.

Alguns modelos teóricos são dados a seguir.

1) Modelo de perda para o espaço livre:

Para o espaço livre, onde não existem obstáculos em que a onda atravessa, é considerado as antenas como fontes pontuais, o parâmetro l é dado pela seguinte fórmula

$$l = W_r / W_t = G_t G_r / (4d)^2 \quad (1.4)$$

onde

G_t - ganho da antena transmissora;

G_r - ganho da antena receptora;

λ - comprimento de onda;

d - distância entre transmissor e receptor.

2) Modelo para uma superfície refletora:

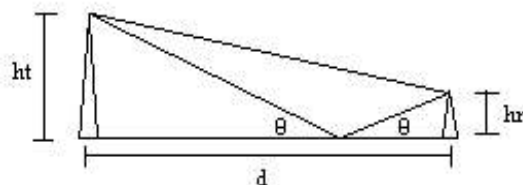


Figura 1.2: Modelo para terra plana.

Neste caso a potência recebida será a soma de duas ondas: a que vem pela linha direta da antena transmissora com a refletida. Para frequências próximas de 100Mhz e para θ próximo de zero, pode-se demonstrar a seguinte equação

$$W_r/W_t = G_t G_r / (4d)^2 |1 - \exp(j\Delta\theta)|^2 \quad (1.5)$$

onde $\Delta\theta$ é a diferença de fase entre a onda direta e a onda refletida na antena receptora.

Através de algumas manipulações algébricas e algumas simplificações pode-se reduzir esta expressão para

$$W_r/W_t = G_t G_r (h_t h_r / d^2)^2 \quad (1.6)$$

Este modelo é aplicado em regiões que podem ser consideradas como planas.

1.3 - Modelos empíricos

Os modelos empíricos são caracterizados por considerarem o tipo de região que será coberta pelo sinal, como por exemplo regiões montanhosas, áreas urbanas, áreas abertas ou rurais, etc. Para cada tipo de região existem modelos específicos os quais foram feitos através de dados experimentais e assim foram padronizados.

A classificação de cada tipo de terreno é feita em função de vários parâmetros, um deles é a ondulação do terreno (diferença entre 10% e 90% da altura da ondulação do terreno em um trecho de 10km a partir da estação móvel).

Estes modelos empíricos são feitos da seguinte forma, primeiro é escolhida uma região característica de onde se quer obter o modelo, depois são feitas várias medições de campo elétrico em diferentes pontos da região. Destas medidas são obtidas curvas de perda de potência e depois tenta-se encontrar equações que representem estas curvas.

Este procedimento é repetido várias vezes alterando-se alguns parâmetros, como altura das antenas, transmissora e receptora, frequência de propagação, e é também repetido em outras regiões. Estes principais parâmetros que influenciam no modelo são incluídos nas fórmulas teóricas obtidas através de um delicado estudo.

Os modelos de perda não descrevem perfeitamente o comportamento do sinal, pois as variáveis como potência são medidas em valores médios. E não é possível determinar exatamente o nível do sinal através destes modelos, o valor instantâneo do sinal é melhor

estudado por meios estatísticos. Por isso se quiser uma melhor descrição do sinal, tem-se que incluir outros efeitos de propagação, como o efeito de multipercurso e o sombreamento, que são conhecidos como desvanecimentos rápidos. Estes efeitos serão considerados posteriormente através de modelos probabilísticos.

1) Modelo de Egli

Este modelo foi baseado no modelo de perda da terra plana, vale para distâncias acima de 60Km e frequências na faixa de 40-900 Mhz. Ele produz uma perda dada por

$$L(\text{dB})=139,1-20\log t+40\log d \quad (1.7)$$

onde

ht - altura da antena transmissora (metros);

d - distância entre transmissor e receptor (Km).

Neste modelo a variação da perda é de quarta potência com a distância, e é utilizado por antenas com alta potência de transmissão.

2) Modelo de Okumura-Hata

As equações matemáticas desenvolvidas por Hata e sua faixa de aplicação são mostradas a seguir.

Perda média de propagação para área urbana:

$$L_p(\text{dB})=69,55+26,16\log f-13,82\log t+A(\text{hr})+(44,9-6,55\log t)\log d \quad (1.8)$$

Perda média de propagação para área suburbana:

$$L_{ps}(\text{dB})=L_p-2(\log(f/28))^2-5,4 \quad (1.9)$$

Perda média de propagação para área aberta ou rural:

$$L_{po}(\text{dB})=L_p-4,78(\log f)^2+18,33\log f-40,94 \quad (1.10)$$

onde $A(hr)$: fator de correção da altura da antena receptora.

Cidade pequena-média:

$$A(hr) = (0,7 - 1,1 \log f) hr + (1,56 \log f - 0,8) \quad (1.11)$$

Cidade grande:

$$A(hr) = 1,1 - 8,29 \log_2(1,54 hr) \quad p/ \quad f \leq 200 \text{ Mhz} \quad (1.12)$$

$$A(hr) = 4,97 - 3,2 \log_2(11,75 hr) \quad p/ \quad f \geq 200 \text{ Mhz} \quad (1.13)$$

Parâmetros	Definição	Faixa de Validade
f	Frequência de operação em Mhz	100-1500
ht	Altura da antena transmissora em metros	30-300
hr	Altura da antena receptora em metros	1-10
d	Distância entre transmissor e receptor em quilômetro	1-20

Tabela 1.1: Parâmetros dos modelos de Okumura-Hata.

3) Modelo de perda para florestas

Estes modelos têm como parâmetros a frequência (Mhz) e a condutividade média das árvores dada em Siemens por metro. Esses modelos também levam em consideração o tipo de polarização do campo eletromagnético.

Esses modelos têm uma característica de uma forte atenuação do sinal devido a presença dos troncos das árvores e de suas folhas.

Modelo de perda da floresta para a polarização vertical

$$L = 1637 + \frac{\exp(-90/f) \log(1 + f/10)}{2,99} \text{ dB/m} \quad (1.14)$$

Modelo de perda da floresta para a polarização horizontal

$$L = 1637 + \frac{\exp(-210/f) \log(1 + f/200)}{2,37} \text{ dB/m} \quad (1.15)$$

onde

σ - condutividade da floresta;

f- frequência de operação.

5) Modelo de Ibrahim-Parsons (meio urbano)

Este modelo foi proposto através de medidas feitas por Ibrahim e Parsons na cidade de Londres. Com essas medidas eles puderam descrever o ambiente urbano quantitativamente, determinando a dependência da perda de percurso com os parâmetros.

$$L(dB) = -20 \log(0,7ht) - 8 \log hr + \frac{f}{40} + 26 \log(f/40) - 86 \log\left(\frac{f+100}{156}\right) + \left[40 + 14,15 \log\left(\frac{f+100}{156}\right)\right] \log(1000d) + 0,265(62,4 - 2,2d) - \left(\frac{0,37(-7,475d^2 + 85,225d - 91,55)}{7}\right)$$

(1.16)

Parâmetros	Definição
f	Frequência de operação em Mhz
ht	Altura efetiva da antena transmissora em metros
hr	Altura efetiva da antena receptora em metros
d	Distância entre transmissor e receptor em metros

Tabela 1.2: parâmetros do modelo de Ibrahim-Parsons.

1.4 - Distribuições estatísticas do sinal de rádio móvel

Os modelos de perda vistos até aqui dão apenas uma informação da perda de potência média do sinal e não uma caracterização instantânea exata do nível sinal. Os modelos que caracterizam a nível instantâneo o sinal são os *modelos estatísticos*.

Existem três modelos, que são dados através de três distribuições, as quais mais aparecem quando se estuda probabilisticamente o sinal de rádio móvel, elas são: a distribuição de Rayleigh, a distribuição lognormal e a distribuição de Ricean.

1) Distribuição lognormal.

A partir das equações de Maxwell, obtém-se a equação da onda para um meio qualquer e observa-se que o nível do sinal cai exponencialmente com a distância da seguinte forma.[2]

$$E = E_0 \cdot e^{-\alpha \cdot r} \quad (1.17)$$

onde α é a constante de atenuação para um determinado meio.

Entretanto, se o meio possuir várias obstruções, cada uma com sua determinada constante de atenuação, como mostra a Fig. 1.3 abaixo

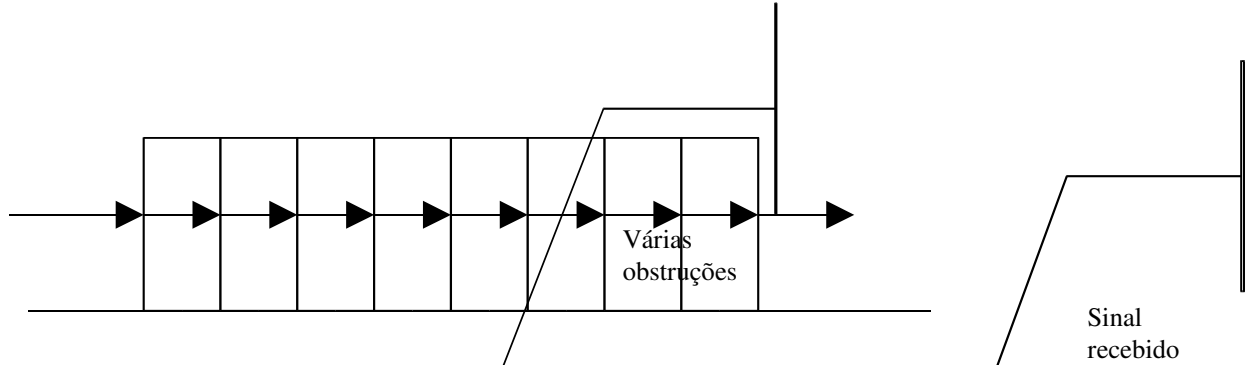


Figura 1.3: Meio com várias obstruções.

Pode ser demonstrado que para a situação mostrada na Fig. 1.3, a expressão para o sinal recebido seria da seguinte forma.

$$E_i = E_{i-1} \cdot e^{-(\alpha_i \cdot \Delta r_i)} \quad (1.18)$$

Esta Eq. 1.18 representa a atenuação sofrida pelo sinal provocada pela i -ésima obstrução. Por recursividade pode-se obter a atenuação provocada por todas as obstruções.

$$E_i = E_{i-1} \cdot \exp\left(-\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \Delta r_i\right) \quad (1.19)$$

É razoável que α_i e Δr_i da Eq. 1.19, variam aleatoriamente de obstrução para obstrução. Onde α_i e Δr_i são a constante de atenuação e a largura da i -ésima obstrução respectivamente.

Considerando:

$$x = -\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \Delta r_i \quad (1.20)$$

pelo teorema do limite central, x é uma variável aleatória com distribuição normal, com média m_x e variância σ_x^2 , sua distribuição de probabilidades é a seguinte.

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_x^2} \left(x - m_x\right)^2\right] \quad (1.21)$$

fazendo

$$y = \frac{E_n}{E_o} = e^x \quad (1.22)$$

$$Y = \log(y) \quad (1.23)$$

onde Y é a perda em dB e tem a seguinte distribuição

$$p(Y) = \frac{1}{\log(e)} p(x) = \frac{1}{(\sqrt{2})} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(- \right. \right. \quad (1.24)$$

o valor médio e a variância da distribuição de Y são dados por

$$M_Y = \log(m_y) = m_x \log(e) \quad (1.25)$$

$$Y = \log(y) = x \log(e) \quad (1.26)$$

então

$$p(Y) = \frac{1}{\sqrt{2}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Y - M_Y}{\sigma_Y} \right)^2 \right] \quad (\text{distribuição} \quad (1.27)$$

lognormal)

Y é distribuída normalmente e os valores de M_Y e σ_Y são dados na forma logarítmica por isso que essa distribuição é chamada de função densidade de probabilidade lognormal. Esta distribuição descreve estatisticamente a perda em dB do nível do sinal de rádio, isso se forem conhecidas a perda média M_Y e sua variância σ_Y^2 .

2) Distribuição de Rayleigh.

O sinal recebido pode vir diretamente da antena transmissora ou sofrer várias reflexões e só depois chegar no receptor, estes sinais refletidos sofrem diferentes atenuações e diferentes defasagens. O sinal total recebido é a soma de todos estes, este efeito é chamado de multipercorso. Os sinais podem se somar (interferência construtiva) ou se subtrair (interferência destrutiva). Considere uma portadora s com amplitude a e frequência w_0 , na forma exponencial tem-se o seguinte sinal recebido.

$$s = a \exp(jw_0 t) \quad (1.28)$$

Considerando o efeito de multipercorso, tem-se um sinal resultante s_r o qual é dado pela soma de n sinais proveniente de diferentes reflexões, onde cada componente tem a mesma frequência w_0 , mas com diferentes fases e amplitudes θ_i e a_i .

$$s_r = \sum_{i=1}^n a_i \exp j(w_0 t + \dots) \quad (1.29)$$

equivalentemente tem-se

$$s_r = r \exp j(w_0 t + \dots) \quad (1.30)$$

pode ser mostrado que r é uma variável aleatória que tem a seguinte distribuição de probabilidades,[2]

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (\text{distribuição de} \quad (1.31)$$

Rayleigh)

Algumas propriedades importantes dessa distribuição são dadas a seguir

$$P(r_0) = \text{Prob}(r \leq r_0) = \int_0^{r_0} p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{r_0^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1.32)$$

$$E[r] = \int_0^\infty r p(r) dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad (1.33)$$

$$E[r^2] - E^2[r] = (2 - \frac{\pi}{2}) \sigma^2 \quad (1.34)$$

$$E[r^2] = \int_0^\infty r^2 p(r) dr = 2\sigma^2 \quad (1.35)$$

$$\int_{r_0}^\infty p(r) dr = 0.5 \dots \text{com} \dots r_0 = 1.18 \sigma \quad (1.36)$$

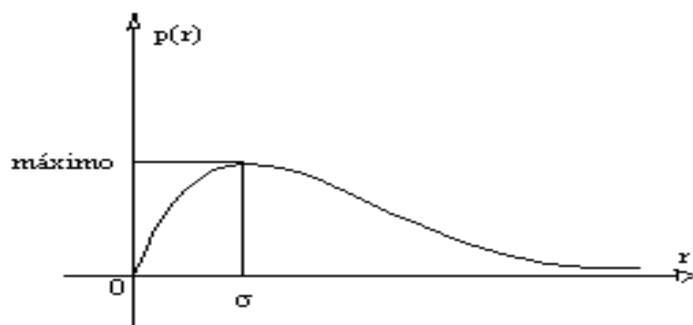


Figura 1.4: distribuição de Rayleigh

3) Distribuição de Ricean

A distribuição de Rayleigh só é usada no caso em que os sinais vindo das reflexões predominam sobre o sinal que vem direto pela antena transmissora, sem reflexão, quando isto

não ocorre este sinal que vem direto, sem reflexões, predomina sobre os outros, e o sinal resultante será

$$s_r = r \exp j(w_0 t + \dots) + a \exp jw_0 t \quad (1.37)$$

seguindo os mesmos passos utilizados para determinar a distribuição de r de Rayleigh, tem-se a seguinte distribuição de Ricean.

$$p(r) = \frac{r}{2} \exp\left(-\frac{r^2 + a^2}{2}\right) I_0\left(\frac{ar}{2}\right) \quad (\text{distribuição de Ricean}) \quad (1.38)$$

de Ricean)

onde

$$I_0\left(\frac{ar}{2}\right) = \frac{1}{2} \int_0^2 \exp\left(\frac{ar \cos(\frac{\theta}{2})}{r}\right) d\theta \quad (1.39)$$

esta é a função de Bessel modificada de ordem zero, e é calculada por

$$I_0(x) = \sum_{i=0}^{+\infty} \left(\frac{x^i}{i! 2^i} \right) \quad (1.40)$$

Observa-se desta distribuição que para $a = 0$, tem-se a distribuição de Rayleigh, o que era de ser esperado pois $a = 0$ significa ausência do sinal vindo pela linha direta.

1.5 - Efeito de propagação de multipercurso

O sinal de rádio transmitido pela estação rádio base para estação móvel sofre um grande número de alterações. Estas alterações podem ser provocadas por múltiplas reflexões através de terrenos irregulares, pela presença de um grande número de obstruções, pela variação da constante dielétrica do meio, etc. Na verdade todos estes fenômenos são aleatórios, e o sinal de rádio móvel é tratado usualmente em bases estatísticas. A amplitude, a fase e a frequência variam aleatoriamente de acordo com algumas distribuições de probabilidade conhecidas. Um caso particular é a distribuição de Rayleigh onde a amplitude tem esta distribuição e a fase é uniformemente distribuída entre 0 e 2π .

E é esta distribuição de Rayleigh que é utilizada para se analisar o efeito de multipercurso. [1], [2], [3], [4], [6]

Simulação do efeito de multipercurso

Considere um sinal transmitido dado por $e_0 = E_0 \exp j(Wt)$. E também considerando que o efeito de multipercurso representa o sinal resultante recebido da soma de vários sinais

refletidos que possuem diferentes amplitudes, fases e frequências (neste caso também é considerado a variação na frequência), então

$$e_i = E_0 a_i \exp j(\omega t + \omega_i t - \omega T_i) \quad (1.41)$$

Onde ωT_i é a fase e T_i é o atraso de tempo, tem-se então o sinal resultante recebido dado por

$$e = E_0 \sum_{i=1}^n a_i \exp j(\omega t + \omega_i t - \omega T_i) \quad (1.42)$$

Tomando a parte real desta equação, tem-se o seguinte sinal real recebido

$$s(t) = \text{Re}(e) = X \cos(\omega t) - Y \sin(\omega t) \quad (1.43)$$

onde

$$X = E_0 \sum_{i=1}^n a_i \cos(\omega_i t - \omega T_i) \equiv r \cos(\quad) \quad (1.44)$$

$$Y = E_0 \sum_{i=1}^n a_i \sin(\omega_i t - \omega T_i) \equiv r \sin(\quad) \quad (1.45)$$

e

$$= t g^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (1.46)$$

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (1.47)$$

a variável r tem uma distribuição de Rayleigh e ψ é uniformemente distribuída entre 0 e 2π .

Para um sinal qualquer $x(t)$, tem-se a seguinte expressão para o sinal recebido com o efeito de multipercurso

$$s(t) = Xx(t) - Y \bar{x}(t) \quad (1.48)$$

onde

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (1.49)$$

A transformada de Hilbert impõe um defasamento de 90° de todas as frequências do sinal. E X e Y são processos aleatórios gaussianos independentes com média zero.

Pode-se efetuar uma simulação, gerando X e Y por ruídos gaussianos filtrados na faixa do sinal, tem-se que ter também um defasador. Em diagramas de blocos tem-se

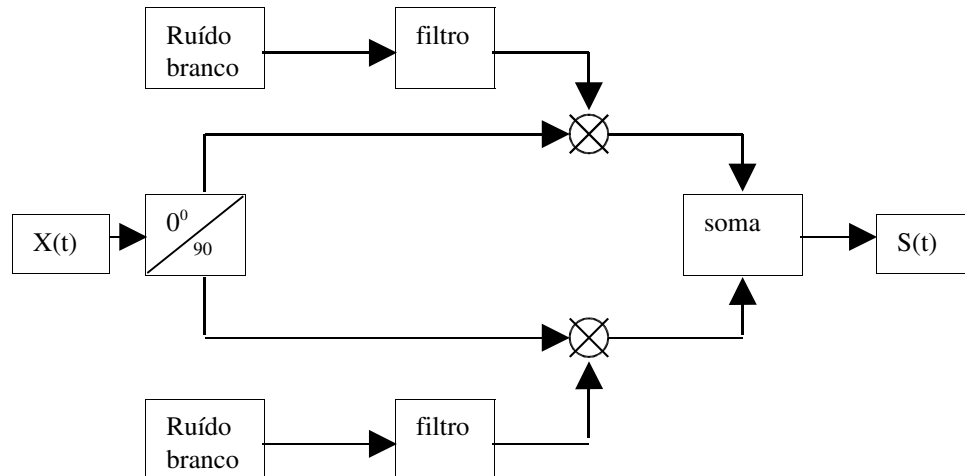


Figura 1.5: Diagrama de simulação do efeito de multipercurso.

Desta forma consegue-se simular o efeito de multipercurso.

1.6 - Ruído e interferência[2],[9]

Existem dois tipos de ruído, o ruído aditivo que se soma ao sinal e o ruído multiplicativo. Já a interferência são de quatro tipos: intermodulação, intersimbólica, de canal adjacente e cocanal. As duas últimas são as que mais preocupam em sistemas de comunicações, e elas são típicas em sistemas celulares.

Um parâmetro que mede o grau de qualidade do sinal é a relação portadora - ruído e a portadora - interferência. A portadora - ruído de um sistema de rádio depende muito da técnica de modulação utilizada, já a relação portadora - interferência depende muito do modelo celular utilizado, e existem várias técnicas utilizadas para aumentar este parâmetro, como a utilização de antenas direcionais nas células.

1) Ruído

O ruído é um distúrbio que pode ser de dois tipos, aditivo ou multiplicativo, dependendo das modificação sofrida pelo sinal podemos determinar qual o tipo de ruído atua no sinal. O ruído aditivo se superpõe ao sinal e o multiplicativo modula o sinal.

Há vários tipos de ruído aditivo, pode ser do próprio meio ambiente, dos componentes de estado sólido (semicondutores), via radiação, etc. O que interessa mais é a via radiação, a qual pode ser ruído atmosférico, ruído galáctico, ruído artificial (produzido pelo homem) e ruído provocado pelo receptor.

Ruído aditivo provocado pelo receptor

Há dois ruídos desta categoria: o ruído térmico e o shot noise (ruído de disparo)

-Ruído térmico

A densidade espectral de potência deste ruído, o qual é provocado por uma corrente atravessando um resistor de resistência R(ohms), é dada por

$$S_i(w) = \frac{2kT/R}{1 + \left(\frac{w}{R}\right)^2} \quad (1.50)$$

Esta densidade espectral de potência é praticamente constante e igual à

$$S_i(w) \approx \frac{2kT}{R} \quad (1.51)$$

Existe um outro tipo de ruído que é uma forma idealizada deste ruído, é o ruído branco gaussiano.

Devido ao movimento aleatório dos elétrons, pode-se considerar que estes movimentos são independentes um do outro, e que o resultado é a soma de todos os elétrons. De acordo com o teorema do limite central, o efeito resultante tem uma distribuição de probabilidade gaussiana com média zero e valor rms σ .

$$p(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{r^2}{2} \quad (1.52)$$

o ruído branco tem densidade espectral de potência constante e igual a N/2

$$S_n(w) = \frac{N}{2} \quad (1.53)$$

2) Interferência

A interferência é um dos problemas mais graves a ser considerado no projeto de um sistema de comunicação, da sua manutenção e operação.

A ocorrência de interferência de canais adjacentes é basicamente devido às limitações da arquitetura tais como: largura de faixa do receptor; filtragem; e outros. Embora o equipamento seja projetado para um máximo desempenho do sistema, a combinação de fatores, tais como a arquitetura celular e as flutuações aleatórias do sinal, apesar disto ocorre a deterioração do sinal recebido, principalmente devido a interferência de canais adjacentes. Isto se deve ao fato dos canais serem aproximados no espectro de frequência para se conseguir a máxima eficiência do espectro.

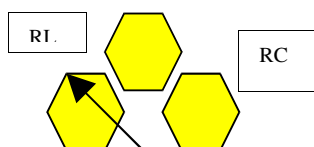
A interferência por intermodulação é gerada por algum circuito não linear, quando o produto de dois ou mais sinais resulta em um outro sinal, tendo uma frequência igual ou próximo a do sinal desejado. No transmissor a interferência por intermodulação ocorre geralmente no estágio amplificador, enquanto no receptor ela é introduzida no primeiro conversor.

A interferência intersimbólica é intrínseca aos circuitos digitais, e é uma consequência direta da largura de faixa limitada do meio de transmissão.

As interferências por intermodulação e intersimbólicas são fenômenos bem conhecidos que tem sido excessivamente explorada na literatura, e o tratamento dado é também aplicado a um ambiente de rádio - móvel.

A interferência cocanal é uma complicação que surge em sistemas móveis que utilizam arquitetura celular, pois os canais são utilizados simultaneamente em tantas células quanto possíveis, com uma separação espacial mínima aceitável afim de aumentar a eficiência de reuso de interferência. Uma estação base recebendo o sinal desejado de uma estação móvel dentro de sua célula, pode receber também sinais indesejados de móveis de outras células de outro grupo (cluster) usando a mesma frequência. A determinação da distância de reuso de frequência, e portanto o padrão de repetição de células tem uma influência direta nos níveis de interferência cocanal. Contudo isto também implica num maior número de células por grupo, resultando numa menor eficiência de reuso. Consequentemente, com relação de compromisso entre a interferência e eficiência devem ser encontrados.

Uma célula pode ser representada por um hexágono, cuja área se aproxima da área de um círculo, e oferece uma grande faixa de tamanhos de clusters de acordo com a Eq. 1.1.



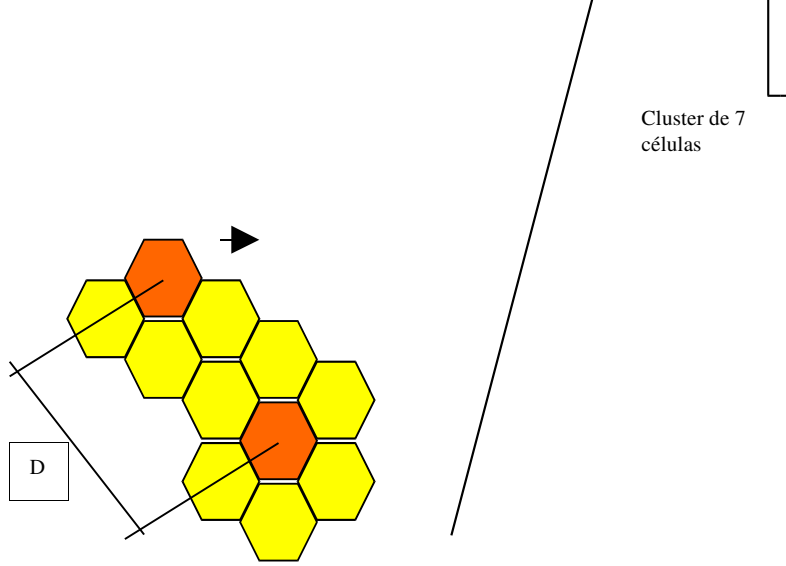


Figura 1.6: Sistema celular com *cluster* de sete células.

De acordo com a Fig. 1.6, pode-se observar um “cluster” de sete células, sendo que a área de cada um é também representada por um hexágono. O hexágono do “cluster” tem raio RL , e o da célula é Rc e D é a distância entre células em “cluster” adjacentes, que usam mesma frequência. Esta última quantidade geralmente é tida como *distância de reuso*. A razão entre as áreas do “cluster” e de uma célula é igual ao número N de células do “cluster”, que neste exemplo da figura é $N=7$. Como a área do hexágono é proporcional ao quadrado do seu raio, teremos a seguinte relação

$$\frac{RL}{Rc} = \sqrt{N} \quad (1.54)$$

Usando um sistema de coordenadas hexagonais com a distância entre células adjacentes como unidade, tem-se que a distância entre o centro dos hexágonos dos “clusters” é dada por

$$D = Rc \sqrt{3} \quad (1.55)$$

deste modo, para um “cluster” com um número N de células, tem-se

$$D = Rc \sqrt{3N} \quad (1.56)$$

onde Rc é o raio da célula e N é o número de células. Para se estimar a relação sinal-interferência, RSI, considera-se que o sinal diminua inversamente com a distância elevada a uma potência n (tipicamente entre 3 e 4). No limite da célula (observando a figura), o sinal será proporcional a

$$\frac{1}{R_c^n} \quad (1.57)$$

e o sinal interferente, para o pior caso, será proporcional a

$$\frac{6}{(D - R_c)^n} \quad (1.58)$$

assim tem-se

$$RSI = \frac{(D - R_c)^n}{6 R_c^n} \quad (1.59)$$

logo

$$RSI = \frac{1}{6} (\sqrt{3N} - 1)^n \quad (1.60)$$

Valores de RSI estão na faixa de 15 a 20dB, isto requer N igual a 7, 9 ou 12. Por isso um “cluster” de 7 células tem sido geralmente escolhido como compromisso ótimo.