**东南大学**

**《协作通信与网络》**

**实验报告**

**论文题目： 信源对中继节点的功率分配在AF、DF下的性能分析**

**姓 名 ：** **陈睿哲**

**学 号 ： 04016542**

**专业班级： 040165班**

**学院名称： 信息科学与工程学院**

**2018年12月**

**一、实验目的**

实验工具：MATLAB R2015b

实验目的：了解放大转发模式（AF）的基本原理、了解解码重传模式（DF）基本原理，研究单中继环境下采用固定中继的协作系统在采用不同中继结构时的系统性能增益，通过分析BER并通过仿真验证理论分析的正确性。

**二、实验要求**

1） 在学习中继系统的基础上，了解实际系统中所采用的不同的中继结构。

2） 使用MATLAB工具建立搭建采用不同中继协议下的固定中继通信系统（可以采用简单的调制方式），通过信号发射与接收来验证中继选择的性能，同时，在改变源节点对中继节点的功率分配的情况下，探究协作系统的BER性能变化情况，熟练操作MATLAB。

**三、实验原理及内容**

**3.1单中继AF协作通信过程原理**

1．源端广播过程

源节点S以广播的方式向周围发送信号（在程序中表示为x\_s），其中一路直接发送到目的节点D，一路发送到中继节点R。经过信道后，则

中继节点R接收到的信号为（程序中表示为y\_sr）：

(3-1-1)

目的节点D接收到的信号为（程序中表示为y\_sd）：

(3-1-2)

其中，源发送的信号的功率为，为源节点与中继节点间信道噪声。

2．中继端放大转发过程

中继节点R直接将收到的来自源节点S的信号以系数β进行功率放大，然后转发给目的节点D（基站）。AF方式可以看成是具有两个发射端的重复码，唯一不同的是中继节点将自身接收到的噪声信号也放大并发送到目的节点。目的节点通过合并两路信号，对源节点的发送信号进行估计。

为保证中继节点功率受限，放大系数β应满足：

(3-1-3)

可见*β*取决于信道的衰落系数、源发送的信号的功率和噪声功率。

那么，中继放大后的信号为（程序中表示为x\_AF）：

(3-1-4)

目的节点接收的来自中继的信号为（程序中表示为y\_rd）：

(3-1-5)

其中为中继节点发送的信号的功率。

3．目的端接收处理

目的节点将接收到的来自源节点的直传信号和来自中继节点的信号，按照MRC方案进行合并，得到信号y（程序中表示为y\_combine\_AF）：

(3-1-6)

其中、分别为目的节点接收到的来自源、来自中继的信号的加权系数，为：

(3-1-7)

(3-1-8)

式中，和分别为协作情况下源节点和中继节点的发送功率，、和分别为源节点与目的节点、源节点与中继节点、中继节点与目的节点之间的瑞利衰落信道系数的复共轭，为噪声功率。

**3.2单中继DF协作通信过程原理**

1．源端广播过程

同AF模式一样，源节点S以广播的方式向周围发送信号，其中一路直接发送到目的节点D，一路发送到中继节点R。

2．中继端解码重传过程

中继节点R直接将收到的来自源节点S的信号进行解调译码，并通过某种方式校验译码是否正确，如果错误则中继不再发送该信号，如果正确，则将该信号重新编码调制，然后转发给目的节点D（基站）。在编码过程中，可以选择与源节点一样的编码方案，或者采取不同的编码方式。

经过中继重新编码调制信号为（程序中表示为x\_DF），目的节点接收的来自中继的信号变为（程序中表示为y\_rd）：

(3-2-1)

3．目的端接收处理

同AF模式一样，DF协议下的目的节点按照MRC方案得到合并信号*y*（程序中表示为y\_combine\_DF）：

(3-2-2)

不同的是，加权系数、取决于两路信号的信噪比最优值：

(3-2-3)

(3-2-4)

3.3理论误码率性能

假定所传输的信号功率归一化，采用MRC合并方式，则此单中继模型下的AF、DF协作通信系统的理论信噪比为：

(3-3-1)

其中，对于AF模式：

(3-3-2)

和

(3-3-3)

对于DF模式：

(3-3-4)

和

(3-3-5)

对于BPSK系统，当发送“1”符号和发送“0”符号概率相等时，最佳判决门限b\*=0，则系统的总误码率为：

(1-3-6)

其中，为符号“0”被判为符号“1”的概率。

在大信噪比（）条件下，式(3-3-4)可近似表示为：

(1-3-7)

可见，无论是AF还是DF协作通信系统通过中继产生分集，其信噪比大于非协作通信系统信噪比（），因而其误码率得以降低。

**3.4仿真条件、程序流程说明**

仿真以MATLAB实现，系统采用BPSK调制、无信道编码、Monte Carlo仿真方法，信道的状态信息对接收节点是已知的，对发送节点是未知的。接收节点对接收到的信号采用相关检测。源节点与中继节点之间以及二者和目的节点之间的信道是相互独立的，服从瑞利慢衰落。

图3.4.1为程序的流程图，在生成信号并进行BPSK调制后，生成信道参数，之后对直传、AF和DF方式采用并行顺序仿真并获得理论与实际BER，这样做的目的是为了能在相同的信道下比较三者的性能，从而使结果更具可比性。

D:\郭昌伟毕设\郭昌伟的毕业设计\论文中的插图\图4.1.2 程序流程图.emf

图3.4.1 程序流程图

图3.4.2为程序的总体结构图，在生成信号、BPSK调制和生成信道之后，进行不同功率分配比下的仿真循环，每个功率分配比均进行Monte\_MAX次蒙特卡罗循环。



图3.4.2 程序结构图

**3.5实验主程序代码说明：**

POW\_DIV是功率分配比，它代表了源节点向目的节点发送信号的功率占总功率的比例。代码中将功率分配比POW\_DIV设置成从0.25以间隔0.01变化到0.75的数组，以便后面针对不同功率分配比进行系统仿真分析。对于两种协作方式和非中继协作方式，设置信噪比为固定值5dB进行仿真。对于两种协作方式，若源节点向目的节点发送功率为POW\_S，噪声功率POW\_N则源节点向中继节点的发送功率为1-POW\_S，(1-POW\_S)/sig，

代码：

**%04016542 陈睿哲**

**%\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

**%本系统采用BPSK调制，无信道编码，Monte Carlo仿真方法，信道状态信息对接收节点是已知的，对发送节点是未知的。**

**%接收节点对接收到的信号采用相关检测。源节点与中继节点之间以及二者和目的节点之间的信道是相互独立的，服从瑞利慢衰落。**

**%\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\***

**clear all;%%清除了所有的变量，包括全局变量global**

**datestr(now)%生成指定格式的日期和时间，now代表当前日期**

**%% original definition**

**MIN\_SNR\_dB = 0;**

**MAX\_SNR\_dB = 5;**

**INTERVAL = 0.01; %功率分配的间隔**

**POW\_DIV = 0.25:INTERVAL:0.75; % Power division factor,with cooperation, in order to guarantee a certain power of the total,**

**% respectively, the Source using the 1/2 of the power to send signals to the Relay and Destination**

**POW = 1; % without cooperation,Source send signals directly to the Restination with full power**

**Monte\_MAX=10^1; % the times of Monte Carlo,Limited to the computer configuration level, select the number to 10**

**%% (Signal Source) Generate a random binary data stream**

**M = 2; % number of symbols**

**N = 10000; % number of bits**

**x = randi(1,N,M); % Random binary data stream %产生一个1\*N的矩阵，矩阵中元素取值范围为[0,(M-1)]**

**%% Modulate using bpsk**

**h = modem.pskmod(2);%产生2psk调制器**

**x\_s=modulate(h,x);%调制产生源信号**

**%x\_s = modulate(modem.pskmod(M),x); % The signal 'x\_s' after bpsk modulation**

**%% Rayleigh Fading / Assumed to cross reference channel %采用恒参的瑞利衰落信道，即一次通信过程中，衰落系数表现为一恒定复数形式**

**H\_sd = RayleighCH( 1 ); % between Source and Destination**

**H\_sr = RayleighCH( 1 ); % between Source and Relay station**

**H\_rd = RayleighCH( 1 ); % between Relay station and Destination**

**%% In different power division**

**powcount = 0;**

**for i=1:length(POW\_DIV)**

**powcount = powcount+1; % count for different BER under POW\_DIV**

**err\_num\_SD = 0; % Used to count the error bit**

**err\_num\_AF = 0;**

**err\_num\_DF = 0;**

**for tries=0:Monte\_MAX**

**sig = 10^( MAX\_SNR\_dB/10); % SNR, said non-dB**

**POW\_S(i) = POW\_DIV(i); % Signal power**

**POW\_N(i) = POW\_S(i) / sig; % Noise power**

**% 'x\_s' is transmitted from Source to Relay and Destination**

**% AWGN:在某一信号中加入高斯噪声**

**y\_sd = awgn( sqrt(POW\_DIV(i))\*H\_sd \* x\_s, MAX\_SNR\_dB, 'measured'); % Destination received the signal 'y\_sd' from Source %'measured'表示测定信号强度**

**y\_sr = awgn( sqrt(POW\_DIV(i))\*H\_sr \* x\_s, MAX\_SNR\_dB, 'measured'); % Relay received the signal 'y\_sr' from Source**

**%y = awgn(x,SNR,SIGPOWER) 如果SIGPOWER是数值，则其代表以dBW为单位的信号强度；如果SIGPOWER为'measured'，则函数将在加入噪声之前测定信号强度。**

**%01:Without Cooperation,Source node transmit the signal to Destination node directly**

**y\_SD = demodulate(modem.pskdemod(M),H\_sd'\*y\_sd);**

**err\_num\_SD = err\_num\_SD + Act\_ber(x,y\_SD); % wrong number of bits without Cooperation**

**%02:With Fixed Amplify-and-Forward relaying protocol**

**% beta: amplification factor**

**% x\_AF: Relaytransmit the AF signal 'x\_AF'**

**[beta,x\_AF] = AF(H\_sr,POW\_S(i),POW\_N(i),y\_sr);**

**y\_rd = awgn( sqrt(POW\_S(i))\*H\_rd \* x\_AF, MAX\_SNR\_dB, 'measured'); % Destination received the signal 'y\_rd' from Relay**

**y\_combine\_AF = Mrc( H\_sd,H\_sr,H\_rd,beta,POW\_S(i),POW\_N(i),1-POW\_S(i),(1-POW\_S(i))/sig,y\_sd,y\_rd); % MRC**

**y\_AF = demodulate(modem.pskdemod(M),y\_combine\_AF); % After demodulate, Destinationthe gains the signal 'y\_AF'**

**err\_num\_AF = err\_num\_AF + Act\_ber(x,y\_AF); % wrong number of bits with AF**

**%03:With Fixed Decode-and-Forward relaying protocol**

**x\_DF = DF(M,y\_sr,x);**

**y\_rd = awgn( sqrt(POW\_DIV(i))\*H\_rd \* x\_DF, MAX\_SNR\_dB, 'measured');**

**y\_combine\_DF = Mrc( H\_sd,H\_rd,POW\_S(i),POW\_N(i),1-POW\_S(i),(1-POW\_S(i))/sig,y\_sd,y\_rd);**

**y\_DF = demodulate(modem.pskdemod(M),y\_combine\_DF);**

**err\_num\_DF = err\_num\_DF + Act\_ber(x,y\_DF); % wrong number of bits with DF**

**end;% for tries=0:Monte\_MAX**

**% Calculated the actual BER for each SNR %通过统计蒙特卡罗的误码数，与全部比特数目作对比**

**ber\_SD(powcount) = err\_num\_SD/(N\*Monte\_MAX);**

**ber\_AF(powcount) = err\_num\_AF/(N\*Monte\_MAX);**

**ber\_DF(powcount) = err\_num\_DF/(N\*Monte\_MAX);**

**% Calculated the theoretical BER for each SNR %调用自定义函数得到**

**theo\_ber\_SD(powcount) = Theo\_ber(MAX\_SNR\_dB);**

**theo\_ber\_AF(powcount) = Theo\_ber(H\_sd,H\_sr,H\_rd,POW\_S(i),POW\_N(i),1-POW\_S(i),(1-POW\_S(i))/sig);**

**theo\_ber\_DF(powcount) = Theo\_ber(H\_sd,H\_rd,POW\_S,POW\_N,1-POW\_S(i),(1-POW\_S(i))/sig);**

**end;**

**disp('theo\_ber\_SD=');disp(theo\_ber\_SD);%disp 控制显示函数**

**disp('theo\_ber\_AF=');disp(theo\_ber\_AF);**

**disp('theo\_ber\_DF=');disp(theo\_ber\_DF);**

**figure(1) % the actual BER of Direct and AF,DF**

**semilogy(POW\_DIV,ber\_SD,'r-o',POW\_DIV,ber\_AF,'g-+',POW\_DIV,ber\_DF,'b-\*');%semilogx用半对数坐标绘图,x轴是log10，y是线性的；semilogy用半对数坐标绘图,y轴是log10，x是线性的**

**legend('Direct','AF','DF');**

**grid on; %增加网格**

**ylabel('The AVERAGE BER');**

**xlabel('POW DIV');**

**title('The actual BER of Direct and Direct, AF and DF');**

**axis([0.25,0.75,10^(-9),1]);**

**figure(2) % the theoretical BER of AF and DF**

**semilogy(POW\_DIV,theo\_ber\_SD,'r-o',POW\_DIV,theo\_ber\_AF,'g-+',POW\_DIV,theo\_ber\_DF,'b-\*');**

**legend('Direct','AF','DF');**

**grid on;**

**ylabel('The AVERAGE BER');**

**xlabel('POW DIV');**

**title('The theoretical BER of Direct, AF and DF');**

**axis([0.25,0.75,10^(-9),1]);**

**figure(3) % the actual / theoretical BER of AF and DF**

**subplot(2,1,1)**

**semilogy(POW\_DIV,theo\_ber\_AF,'r-o',POW\_DIV,ber\_AF,'b-\*');**

**legend('theoretical BER','actual BER');**

**grid on;**

**ylabel('The AVERAGE BER');**

**xlabel('POW DIV');**

**title('The actual / Theoretical BER of AF');**

**axis([0.25,0.75,10^(-9),1]);**

**subplot(2,1,2)**

**semilogy(POW\_DIV,theo\_ber\_DF,'r-o',POW\_DIV,ber\_DF,'b-\*');**

**legend('Theoretical BER','Actual BER');**

**grid on;**

**ylabel('The AVERAGE BER');**

**xlabel('POW DIV');**

**title('The actual / Theoretical BER of DF');**

**axis([0.25,0.75,10^(-9),1]);**

**四、实验结果及分析**

**1、实验结果**



图4.1 非协作系统与AF、DF的理论误码率曲线



图4.2非协作系统与AF、DF（解码正确）的实际误码率曲线



图4.3 AF、DF的实际与理论误码率比较

**2、结果分析**

图4.1和图4.2分别是源与中继间信道状态较好、假定DF解码正确的情况下的非协作系统与AF、DF的理论误码率和实际误码率曲线曲线图，图4.3是此时的AF、DF的实际与理论误码率比较图。

采用AF中继和DF中继的协作通信系统，其误码率明显低于非协作系统。同时，DF中继能要优于AF中继。这是由于AF将噪声也同样放大转发，而DF中继通过译码、校验等数字处理，避免了噪声对下一链路的影响。并且若源节点与中继节点之间的信道条件较差，转发的信号的大部分为噪声，从而会降低系统性能。可以看出，在源节点对目的节点和中继节点功率分配比不同时，理论上误码率不会变化，只与信噪比有关，这点体现在图4.1，实际上，随着对于中继节点分配的功率越来越小，误码率实际上会越来越趋向于非中继方式，这点体现在图4.2。图4.3则是对AF、DF两种中继方式理论和实际误码率的比较，可以看到，在降低中继节点分配的功率时，两种方式的误码率都有所上升。这说明，采用中继方式要想获得良好的误码率性能，必须对中继节点分配足够的功率。

此外，在多次运行程序的时候，也出现DF方式误码率性能差于AF方式的情况，这是由于本次试验中信噪比设置为5dB，属于较低的信噪比，中继节点译码错误的可能性增加，从而协作失败，或是“错上加错”的差错传播效应，导致系统的性能急剧恶化。

**五、实验总结**

此次实验，加深了对我对AF、DF协作模型的理解，从实验例程中根据不同信噪比仿真误码率曲线，到改造成根据不同功率分配比仿真误码率曲线，我对matlab编程的理解更加深刻，能够运用matlab对需要的不同参数进行仿真。实验难度不大，但是增强了使用matlab程序解决实际问题的能力。在仿真过程中，能够根据实验原理给出的公式，思考各变量之间的关系，及如何修改，在遇到仿真结果不符合预期的情况下，即前述DF差错传播效应导致的误码率性能恶化的情况，能够根据课程讲义，及时发现原因所在，并作出合理解释，不断在实践中加深对课程的理解。

六、参考文献

[1] Rappaport, T.S. Wireless Communications: Principles and Practice 2/E. Prentice Hall,2001.

[2]徐平平,武贵路 协作通信与网络(课程讲义第二版) [M] 东南大学移动通信国家重点实验室2018.9