**东南大学**

**《协作通信与网络》**

**实验报告**

**论文题目：功率分配对AF-DF协作网络性能的影响**

**姓 名 ： 朱鹏程**

**学 号 ： 61516328**

**专业班级： 615163**

**学院名称： 吴健雄学院**

**2018年12月**

**一、实验目的**

实验工具：Matlab R2018a

实验目的：

1.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，分析BER及分集增益并通过仿真验证理论分析的正确性。

2.研究不同功率分配情况下AF协作模式下的误码率情况。

**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。

3）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。

**三、实验内容**

实验原理：

1.AF与DF原理及性能

1.1 放大转发模式（AF）

### 1.1.1 AF模式基本原理及性能

放大转发模式（Amplify-and-Forward，AF），有文献中也称为前向放大、非再生中继。在AF协议下，中继采用模拟处理，不对接收的信号进行解调和解码，而是直接对接收到的带有噪声的信号进行放大，然后发送给接收端。图1.1所示为单中继AF协议的原理及其基本过程。

D:\郭昌伟毕设\郭昌伟的毕业设计\论文中的插图\图3.1.1 单中继AF协作通信原理.emf

图1.1 单中继AF协作通信原理

AF模式是最简单的一种中继方式，相比于直传方式，AF协作通信总能带来一定的信噪比增益，但是由于中继节点除了转发源节点的有用信息外，引入的噪声也同样被放大转发，因此，当源节点与中继节点之间的链路信道条件较差时，信号几乎淹没在噪声之中，因而转发的大部分为噪声，从而会降低目的节点的接收性能。

### 1.1.2 单中继AF协作通信过程

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）：

式(1-1-1)

目的节点D接收到的信号为（程序中表示为y\_sd）：

式(1-1-2)

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：

式(1-1-3)

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）：

式(1-1-4)

目的节点接收的来自中继的信号为（程序中表示为y\_rd）：

式(1-1-5)

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）：

式(1-1-6)

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：

式(1-1-7)

式(1-1-8)

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。

## 1.2 解码重传模式（DF）

### 1.2.1 DF模式基本原理及性能

解码重传模式（Decode-and-Forward，DF），有文献中也称为前向译码、再生中继。在DF协议下，中继先要对接收到的信号进行解调、采样判决、存储、译码等数字处理，然后将处理后的数据进行编码调制后再转发。图1.2所示为DF协议的原理及其基本过程。

D:\郭昌伟毕设\郭昌伟的毕业设计\论文中的插图\图3.2.1 单中继DF协作通信原理.emf

图1.2 单中继DF协作通信原理

DF方式通过译码，避免了噪声对下一跳的影响。但是，如果中继节点对所接收到的信号直接进行译码，之后将所译出的信号转发给目的节点，将有可能引起错误传播。这是由于中继节点可能得到的是错误信息，这样对协作传输反而是不利因素。

### 1.2.2 单中继DF协作通信过程

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。

有两种简单办法可以降低错误解码所带来的不利影响影响：

第一种方法是信号在源节点发射之前先进行循环冗余校验(CRC)码处理。这样，中继节点接收到源节点的信息后先进行译码处理，之后通过CRC来判别接收到的信息比特里是否存在错误。如果检测出错误，则不进行信息转发；反之则转发信号。但是，CRC的引入将降低了信息的传输速率。

第二种方法不需要对源信号进行CRC编码操作，只需在每个中继节点处设定一个门限值。在对接收信号译码处理之前，先比较它的等效信噪比与门限值的大小。如果大于门限值，中继节点将进行译码处理，并进行信息转发；反之不对信号处理。基于门限的方法虽然简便，但是门限值的选择至关重要。如果太小，中继节点译出的信息很可能存在错误；如果太大，每个中继节点可能都不会进行信息转发，这样协作将失去意义。另外，即便是等效信噪比大于门限值，也并不能保证中继节点译出信息的一定正确。

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）：

式(1-2-1)

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）：

式(1-2-2)

不同的是，加权系数、取决于两路信号的信噪比最优值：

式(1-2-3)

式(1-2-4)

1.3 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：

式(1-3-1)

其中，对于AF模式：

式(1-3-2)

和

式(1-3-3)

对于DF模式：

式(1-3-4)

和

式(1-3-5)

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：

式(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：

式(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。

2.系统性能仿真

**2.1仿真条件、程序流程说明：**

图2.1.1为程序中通信过程的说明及各环节信号、信道参数等的命名说明。一个有统一的一定命名规则的程序，是方便自己调试和他人阅读的。图中，每个节点之前为接收到的信号，节点之后为经过该节点处理后的信号：

D:\郭昌伟毕设\郭昌伟的毕业设计\论文中的插图\图4.1.1 程序通信过程及各环节参量的命名说明.emf

图2.1.1 程序通信过程及各环节参量的命名说明

图2.1.2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2.1.2 程序流程图

图2.1.3为程序的总体结构图，在生成信号、BPSK调制和生成信道之后，进行不同信噪比下的仿真循环，每个信噪比均进行Monte\_MAX次蒙特卡罗循环。

D:\郭昌伟毕设\郭昌伟的毕业设计\论文中的插图\图4.1.3 程序结构图.emf

图2.1.3 程序结构图

### 2.2 .1AF实现

图2.2.1是AF策略的程序流程图：

D:\郭昌伟毕设\郭昌伟的毕业设计\论文中的插图\图4.2.1 AF策略流程图.emf

图2.2.1 AF策略流程图

### 2.2.2 DF实现

图2.2.2是DF策略的程序流程图：

D:\郭昌伟毕设\郭昌伟的毕业设计\论文中的插图\图4.2.2 DF策略流程图.emf

图2.2.2 DF策略流程图

**实验代码分析：**

**%AF.m中的beta = sqrt(( POW\_S) / ( (abs(CH\_sr))^2 \* POW\_S + POW\_N )) 根号在最外层**

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 = 14;

INTERVAL = 0.5; % SNR interval

POW\_DIV = 0.5; % 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)]，源程序randint须改成randi

%% 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 SNR in dB

snrcount = 0;

for SNR\_dB=MIN\_SNR\_dB:INTERVAL:MAX\_SNR\_dB

snrcount = snrcount+1; % count for different BER under SNR\_dB

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^(SNR\_dB/10); % SNR, said non-dB

**%若源节点向目的节点发送功率为POW\_SD，噪声功率POW\_ND，则中继节点向目的节点的发送功率POW\_SR为1-POW\_SD。**

**POW\_SR = POW\_DIV; % Signal power源节点向目的节点发送功率**

**POW\_SD=1-POW\_SR; %中继节点向目的节点的发送功率**

**POW\_NR = POW\_SR / sig; % Noise power**

**POW\_ND=POW\_SD/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)\*H\_sd \* x\_s, 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)\*H\_sr \* x\_s, 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\_SR,POW\_NR,y\_sr);

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

y\_combine\_AF = **Mrc( H\_sd,H\_sr,H\_rd,beta,POW\_SD,POW\_ND,POW\_SR,POW\_NR,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)\*H\_rd \* x\_DF, SNR\_dB, 'measured');

y\_combine\_DF = **Mrc( H\_sd,H\_rd,POW\_SD,POW\_ND,POW\_SR,POW\_NR,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(snrcount) = err\_num\_SD/(N\*Monte\_MAX);

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

ber\_DF(snrcount) = 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(snrcount) = Theo\_ber(SNR\_dB);

theo\_ber\_AF(snrcount) = Theo\_ber(H\_sd,H\_sr,H\_rd,POW\_SD,POW\_ND,POW\_SR,POW\_NR);

theo\_ber\_DF(snrcount) = Theo\_ber(H\_sd,H\_rd,POW\_SD,POW\_ND,POW\_SR,POW\_NR);

end % for SNR\_dB=MIN\_SNR\_dB:INTERVAL:MAX\_SNR\_dB

%% draw BER curves

SNR\_dB = MIN\_SNR\_dB:INTERVAL:MAX\_SNR\_dB;

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(SNR\_dB,ber\_SD,'r-o',SNR\_dB,ber\_AF,'g-+',SNR\_dB,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('SNR(dB)');

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

axis([MIN\_SNR\_dB,MAX\_SNR\_dB,10^(-5),1]);

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

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

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

grid on;

ylabel('The AVERAGE BER');

xlabel('SNR(dB)');

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

axis([MIN\_SNR\_dB,MAX\_SNR\_dB,10^(-5),1]);

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

subplot(2,1,1)

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

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

grid on;

ylabel('The AVERAGE BER');

xlabel('SNR(dB)');

title('the actual / theoretical BER of AF');

axis([MIN\_SNR\_dB,MAX\_SNR\_dB,10^(-5),1]);

subplot(2,1,2)

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

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

grid on;

ylabel('The AVERAGE BER');

xlabel('SNR(dB)');

title('the actual / theoretical BER of DF');

axis([MIN\_SNR\_dB,MAX\_SNR\_dB,10^(-5),1]);

下面是固定信噪比条件下AF协作模式不同功率分配比的实际误码率变化的仿真图代码：

**POW\_DIV=0.1:0.05:0.9;**

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

**plot(POW\_DIV,ber\_AF,'g-+');**

**legend('actual BER of AF');**

**grid on; %增加网格**

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

**xlabel('POWDIV');**

**title('the actual BER of AF ');**

**四、实验结果**



图4.1 非协作系统与AF、DF（解码正确）的实际误码率曲线



图4.2 非协作系统与AF、DF的理论误码率曲线



图4.3 AF、DF的实际与理论误码率比较

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的实际误码率曲线和理论误码率曲线图，图4.3是此时的AF、DF的实际与理论误码率比较图。当然，这三张图都是在在POW\_DIV=1/2的情况下，即源节点向目的节点的发送功率和中继节点向目的节点的发送功率相等。

从图4.1和图4.2可以看到，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。并且，在一定范围内，随着信噪比的提升，协作中继对系统性能的提升越明显，但是，当信噪比达到一定程度后，这种优势将不复存在。

同时可以看出，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。

然而，这并非意味着在系统中采用DF中继一定会比AF中继更佳。这主要由于：一方面，DF是数字处理，设备复杂度较高，不适合应用于低成本设备；另一方面，若要获得良好的性能，DF需要相应的校验信息，这在一定程度上降低了数据的传输速率；此外，当信噪比较低时，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”的编码重传，导致系统的性能急剧恶化，误码率甚至可能会高于非协作系统。仿真中，假设DF中继完全解码正确，从而获得较好的性能。

下面是不同功率分配比下三种通信方式的实际误码率曲线仿真图。调节功率分配比POW\_DIV，从图中可以看出，当POW\_DIV大于1/2时，使用AD、DF和不使用中继这三种情况的误码率近乎相同，当POW\_DIV小于1/2时，AF、DF的误码率和不使用中继有一定差别，且都比不使用中继小。



图4.4 POW\_DIV=1/3时的实际误码率曲线



图4.5 POW\_DIV=1/4时的实际误码率曲线



图4.6 POW\_DIV=1/8时的实际误码率曲线



图4.7 POW\_DIV=2/3时的实际误码率曲线



图4.7 POW\_DIV=3/4时的实际误码率曲线

下图是固定信噪比为7dB时，AF协作模式下误码率随功率分配比的变化情况，从图中可以看出，误码率随功率分配比增大而减小。（POW\_DIV为中继向目的的发射功率）



图4.8 当固定信噪比为7dB时，AF协作模式下误码率随功率分配比的变化情况

**五、总结：**

从仿真实验可以看出，功率分配比对协作通信模式的性能有较大影响，中继和目标节点在现实中是不会平均分配功率的，而且S是以广播形式发送信号的，则S发给R和D的功率应均为1。如果不是，那么在“理论误码率性能”中提到的和表达式里的信号功率其含义和数值意义应该不同，并且也不同于非协作时的信号功率。所以关于功率分配问题，有待进一步思考学习。

通过本次学习我不仅对协作通信有了一定的了解，而且对matlab编程的理解更加深刻，增强了使用matlab画图以及研究不同变量对实验结果的影响的能力。