

分集技术及其在 CDMA 直放站中的应用*

Diversity Technology and Its Application to CDMA Repeater

都基焱 刘文清 胡 军

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031)**

【摘要】 本文在介绍移动通信系统分集接收的概念和分集技术分类的基础上,着重论述了极化分集接收技术,阐述了最大 S/N 合成器的实现方案,对实际电路的制作进行了较为详细的论述。最后介绍了分集直放站在移动通信网中的应用。

关键词 移动通信 极化 合成 分集

Abstract: In this paper, maximum S/N polarization technology and its application to communication is introduced. The realization scheme and circuit design are discussed. Polarization diversity technology are given as the emphasis of this paper.

Key words: Mobile communication, Polarization, Synthesization, Diversity

1 引言

分集技术是一项主要的抗衰落技术,它可大大提高多径衰落信道下的传输可靠性。其中空间分集技术早已成功地应用于模拟短波通信中。在移动通信中,特别是在第三代数字式移动通信中,分集技术有了更加广泛的应用,如在移动通信的上行链路中,基站广泛采用二重空间分集接收;在 IS-95 的小区软切换中利用 Rake 进行二重空间接收;在第三代移动通信中不论是 WCDMA 还是 cdma2000 都计划采用发端分集技术。

在 CDMA 直放站 (Repeater) 中也不例外,基站和移动台所接收的信号可以非常微

弱,甚至在信噪比为负值时可正常工作,这就要求 CDMA 直放站也必须具有对弱小信号的放大能力。直放站提高上行链路的增益只能改善直放站到基站部分,其增益再大,也不能解决直放站到移动台部分的信噪比。直放站上行链路前端特性的好坏非常重要,若直放站采用分集接收技术,将有助于这一性能的改善。

2 分集接收的概念

2.1 基本概念

在移动通信系统中,移动台经常工作在各种复杂的地理环境中,移动方向和速度是任意的,发送的信号经过附近各种物体的反

* 2002年9月19日收到。

** Du Jiyan, Liu Wenqing, Hu Jun (Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics Academia Sinica, Hefei 230031)

射、散射等形成多路径传播,使到达接收机输入端的信号往往是多个幅度和相位各不相同的信号的叠加,从而形成快衰落。此外,还有慢衰落,它是由于电磁场受到地形或高大建筑物的阻挡或者气象条件的变化而形成的,慢衰落的信号电平起伏相对较缓。分集接收就是为了克服各种衰落,提高系统性能而发展起来的移动通信的一项重要技术,其基本思路是:将接收到的多径信号分离成不相关的(独立的)多路信号,然后将这些信号的能量按一定规则合并起来,使得接收到的有用信号能量最大,对数字系统而言,使接收端的误码率最小,对模拟系统而言,提高接收端的信噪比。

2.2 分集的分类

根据分集的目的可分为宏观分集和微观分集。

(1) 宏观分集

它以抗慢衰落为目的。由于地面等高线的多样性,局部地区有各种各样的变化。如果仅仅使用一个天线场地,由于地形是变化的,因此,必须采用两个独立天线场地来发射或接收两个或多个不同信号,并组合这些信号,以降低慢衰落。选择性组合技术是宏观分集方案中最受欢迎的技术之一,它意味着总是选择两个衰落信号中最强的一个。

(2) 微观分集

它以抗快衰落为目的采用同一天线场地方式的分集技术。根据获得独立路径信号的方法又可分为空间分集、时间分集、频率分集、极化分集、角度分集和多径分集等。

根据信号传输的方式可分为显分集和隐分集。

(1) 显分集

构成明显的分集信号的传输方式 指利用多副天线接收信号的分集。

(2) 隐分集

分集作用隐含在传输信号之中的方式,在接收端利用信号处理技术实现分集。隐分集是只需一副天线来接收信号的分集,因此,在数字移动通信中得到了广泛的应用。目前,主要的隐分集技术有交织编码技术、跳频技术和直接扩频技术等。

3 极化分集技术

由于从移动台来的信号存在着两种正交极化的波(左旋和右旋),则基站或直放站接收到的信号中就可能包含着两种相互正交的极化分量,而且大小可能随时变化。因此,直放站就必须相应采取极化分集接收技术以接收这两种极化波,于是就引入了接收机的噪声,设计时要考虑最大 S/N 合成。极化分集接收技术的关键技术是分集锁相环和最大 S/N 合成器。分集锁相环保证二极化合成信号能同相相加,最大 S/N 合成器在 AGC 配合下保证合成输出 S/N 接近最大值,实现最佳合成。

3.1 最大 S/N 极化合成器的组成及原理

一个双信道最大 S/N 合成器的输出信噪比(S_0/N_0)² 为

$$(S_0/N_0)^2 = (S_A/N_A)^2 + (S_B/N_B)^2 \quad (1)$$

式中 S_A 、 S_B 、 N_A 、 N_B 是接收系统输入端的信号和噪声电压。由于接收机 AGC 系统保持合成器输入电平为一恒定的归一化电平,如果 K_A = 信道 A 的增益和 K_B = 信道 B 的增益,则

$$K_A = I/S_A, K_B = I/S_B \quad (2)$$

因此,在组合器输入端的噪声输入电压是

$$N'_A = N_A K_A, N'_B = N_B K_B$$

信号电平为

$$S'_A = S_A K_A, S'_B = S_B K_B$$

且 $S_A K_A = S_B K_B$

图1是AGC和最大S/N极化合成器系统的方框图。

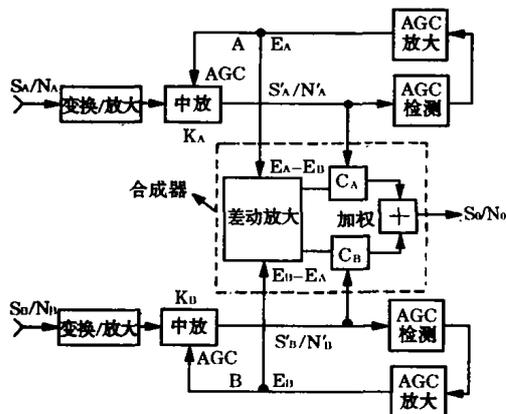


图1 AGC系统和极化合成器方框图

合成器控制按照信号功率对每一输入加权并保持合成器的输出为一恒定电平。因此适当的加权函数 C_A 和 C_B 由下式定义：

$$C_A/C_B = (S_A/S_B)^2 \text{ 和 } C_A + C_B = 1$$

信号相干相加，噪声按均方根相加，以致合成的输出信号 S_0 和噪声 N_0 是

$$S_0 = C_A S'_A + C_B S'_B$$

$$N_0 = [(C_A N'_A)^2 + (C_B N'_B)^2]^{1/2}$$

因此，合成器的合成输出信噪比为

$$S_0/N_0 = \frac{C_A K_A S_A + C_B K_B S_B}{[(N_A K_A C_A)^2 + (N_B K_B C_B)^2]^{1/2}} \quad (3)$$

定义输入信号电压比 $S_A/S_B = A = K_B/K_A$ ，将(1)式重写为

$$S_0/N_0 = \frac{C_A S_A + A C_B S_B}{[(N_A C_A)^2 + (A N_B C_B)^2]^{1/2}}$$

$$S_0/N_0 = \frac{S_A + S_B/A}{[(N_A)^2 + (N_B/A)^2]^{1/2}}$$

因为 $N_0 = N_A = N_B$ ，即两个信道的噪声系数相等，则

$$S_0/N_0 = \frac{S_A + S_B/A}{[1 + 1/(A^2)]^{1/2}} \quad (4)$$

式(4)确定合成器控制电路中必须加给输入电压的加权函数，以产生最大比值的合成输出。合成器的控制信号由 AGC 电压导出，并随信号强度(以分贝表示)作线性变化：

$$E_A = D \log S_A$$

式中， D 是 AGC 放大器的增益系数。

因此，差动 AGC 电压为

$$\begin{aligned} E_A - E_B &= D \log S_A - D \log S_B \\ &= D \log (S_A/S_B) \\ &= D \log A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_B - E_A &= D \log S_B - D \log S_A \\ &= D \log (S_B/S_A) \\ &= D \log (1/A) \end{aligned}$$

3.2 最大 S/N 合成器的实现

由于接收机的 AGC 使合成器的输入信号保持不变，因此，要求合成器控制电路按照(4)式对输入信号加权，以利用差动 AGC 信息 $[D \log A$ 和 $D \log (1/A)]$ ，使合成器输出电平保持不变。

要实现最佳合成，首先要两通道同相，调整移相器可使两路信号相位一致。电控衰减

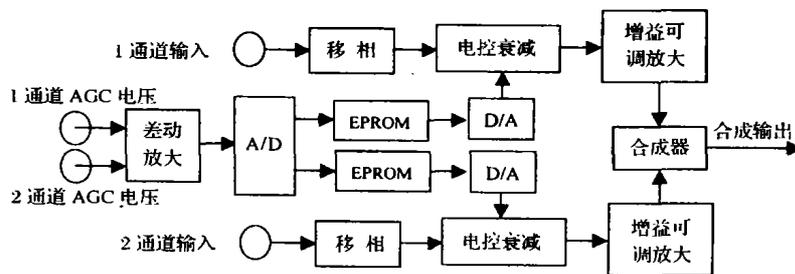


图2 最大 S/N 合成器方框图

器用来实现对左、右旋信号的加权,本电路所用衰减器的控制电压范围为 $0\sim 5\text{V}$ 。当控制电压为 0V 时,衰减最小几乎为 0 。当控制电压为 5V 时,衰减最大可达 60dB 。在合成之前,需测出两通道上的电控衰减器的特性曲线。为保证经过移相器和电控衰减器后两路信道增益的一致性,以实现最佳合成,在两通道上分别加上了增益可调放大器。由于对输入信号进行加权的电控衰减器的特性不可能与组合曲线完全一致,而且两信道也不可能做得完全一样,因此在电路中可采用 EPROM 查表法,分别对两通道输入信号加权值进行修正,让加权值逐点逼近理想的组合曲线,使合成器输出电平变化范围在 1dB 之内,其具体实现的方法如下。

首先将 E_A 、 E_B 送入差分放大器从而得到 $E_A - E_B$ 之值,再将此值送入 A/D 转换器。电路中采用的 A/D 转换器为 8 位 A/D 转换器 ADC0804,它的好处是有片内时钟电路,只要在外部“CLKR”和“CLK”两端外接一对电阻电容即可产生 A/D 转换所要求的时钟。由于 $E_A - E_B$ 之值为双极性,而 ADC0804 为单极性 A/D 转换器,因此要给 ADC0804 外接偏置电路,把它变成双极性的偏置二进制 A/D 转换器,其具体接法如图 3 所示。当 $V_{in} \geq 5\text{V}$ 时,其输出为 FFH;当 $V_{in} = 0\text{V}$ 时,

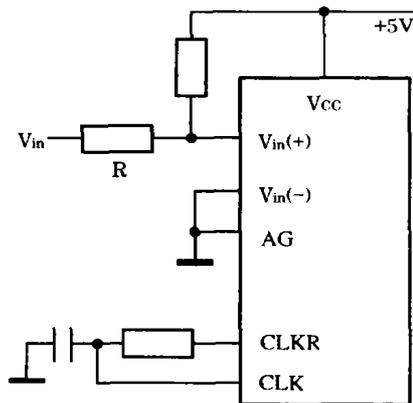


图 3 ADC0804 的时钟及极性偏置电路图

输出为 80H ;当 $V_{in} \leq -5\text{V}$ 时,输出为 00H 。

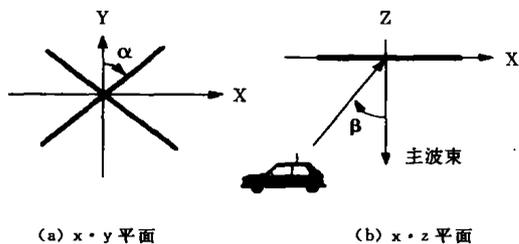
当左、右旋两路信号强度之差 $< 20\text{dB}$ 时,可算出两路 AGC 电压差值 $|E_A - E_B| < 5/3\text{V}$,强信号一路的加权值 < 0.99 ,弱信号一路的加权值 > 0.01 。由于 ADC0804 的分辨率较低,在将其分辨率与理想的合成器特性曲线进行比较后,将 $E_A - E_B$ 之值放大了 3 倍。通过 ADC0804 将放大后的 $E_A - E_B$ 之值分成了 $2^8 - 2 = 254$ 个点(将 00H 和 FFH 除外),计算出 254 个点所对应的理想加权值 C_A 、 C_B ,并将 A/D 转换器转换出的这 254 个码作为两通道上 EPROM 的地址,在两通道的 EPROM 中写入与这 254 个码相对应的数据,该数据经过 8 位 D/A 转换器 DAC0832 转换之后,作为电控衰减器的控制电压,它与使电控衰减器的衰减量与理想加权值相等的控制电压相对应,以尽可能地逐点逼近理想的合成器特性,保证合成器输出电平变化范围在 1dB 之内。当 $|E_A - E_B| \geq 5/3\text{V}$ 时,强信号一路的加权值 ≥ 0.99 ,弱信号一路的加权值 ≤ 0.01 ,可近似认为强信号一路信号直通,弱信号一路则不通。由于差分放大器将 $E_A - E_B$ 放大了 3 倍,送入 ADC0804 的模拟电压的绝对值将大于或等于 5V ,ADC0804 转换出来的数据就会为 00H 或 FFH ,于是在 EPROM 的地址为 00H 和 FFH 的单元,将强信号一路的 EPROM 写入数据 00H ,弱信号一路的 EPROM 写入数据 FFH 。该数据分别通过 D/A 转换之后送去控制各自通道上的电控衰减器,让强信号通道上的电控衰减器衰减为最小,弱信号通道上的电控衰减器衰减为最大值 60dB ,从而实现了加权。

在直放站接收机的最大 S/N 合成器中,所选择的近似法使偏离合成器特性最大值的为最小,当两支路信号电平相等时,合成增益最高,可接近 3dB ,当一路信号很强,而另一路信号很弱时,输出信噪比与强电平支路的

输入信噪比相等,故可称之为“零度等增益合成”的分集方案。由于该方案始终保持输出信噪比最大,对系统工作非常有利,因此该方案得到了广泛的应用。

4 极化分集天线

极化分集天线通过在直放站使用正交极化的天线来获得两个独立衰落信号而无需将它们间隔一定距离。个人通信蜂窝系统采用较小半径小区,直放站天线高度一般相当于或低于周围环境,此时要安装两个满足空间分集间距要求的天线可能较困难,因此极化分集方式似乎更重要。图4为一个极化分集天线系统坐标,如图4(a)所示,当极化角 $\alpha=0$ 时,天线系统提供的是垂直-水平极化分集,而当 $\alpha=45^\circ$ 时,得到的则是 45° 倾角极化分集。图4(b)表示移动用户处于偏离天线主波束 β 角的位置。



(a) x·y 平面

(b) x·z 平面

图4 直放站端的极化分集天线

对于如图4所示的极化分集天线,互相关系数 ρ 可表示为

$$\rho(\alpha, \beta, \Gamma) = \frac{\tan^2[\alpha\Gamma - \cos^2\beta]^2}{[\tan^2\alpha\cos^2\beta + \Gamma][\Gamma\tan^2\alpha + \cos^2\beta]} \quad (5)$$

相对于使用垂直极化天线接收时的信号损失平均值 L 为

$$L(\alpha, \beta, \Gamma) = \frac{\Gamma + \tan^2\alpha\cos^2\beta}{\Gamma\tan^2\alpha + \cos^2\beta} \quad (6)$$

其中, $\Gamma = \langle r_2 \rangle / \langle r_1 \rangle$ 为用户和基站间传播路径的极化间辨识度, r_1 和 r_2 为两个相互独立的瑞利分布随机变量。式(5)和(6)表

明互相关系数和信号损失都由3个因数决定:极化角 α 、偏移角 β 和极化间辨识度 Γ 。

图5用描绘了互相关系数 ρ 、接收信号电平损失 L 与 α 和 Γ 的关系,其中 α 的取值范围从 $0 \sim 45^\circ$ 。在图5(a)和(b)中, ρ 一般随极化角 α 和极化间辨识度 Γ 的增加而增加,偏移角 β 增加时它也变大,当 $\beta=90^\circ$ 时,由式(4~9)知 $\rho=1$,此时无分集增益,这是因为两个分支上都只有垂直极化分量。而在图5(c)和(d)中 L 随 α 的增加或 Γ 的减小而变大,另外当 ρ 增加时 L 也增加,因为此时水平极化分量变小了。

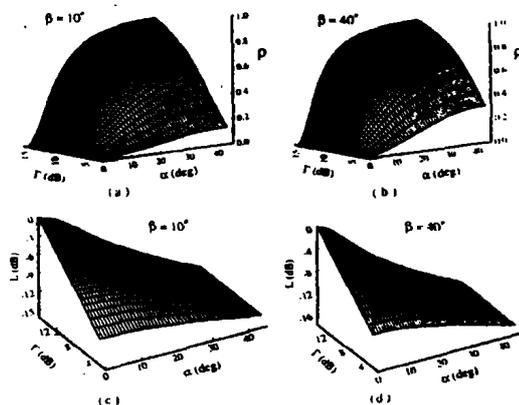


图5 两种偏移角时互相关函数、接收信号电平损失与极化角、极化间辨识度的关系

实测显示在PCS的系统频带上,垂直-水平极化分集和 45° 倾斜极化分集无论在城市、郊区还是在乡村环境中互相关系数均小于0.7,城市和郊区的极化间辨识度 Γ 约为10dB,而在其他地区则是11~12dB。

5 结束语

在我们所研制的信道化分集型射频直放站中,采用了体积较小的 $\pm 45^\circ$ 双极化分集天线,它可以获得与空间分集同样甚至更好的效果。面向移动用户采用的 $\pm 45^\circ$ 双极化分集天线中,一个为主集天线,可同(下转第47页)

率管,沉淀并阻塞水套。水套与发热器件间的间隙通常在2~5mm范围内,因此,过滤器必须具有一定的过滤精度,但精度不能太高,否则系统的压力损失将增大,并且过滤器芯容易被微粒阻塞。

3 冷却系统的控制和保护

在冷却系统中,为了确保大功率管的正常工作,必须对冷却液的流量、温度、压力、液位等进行监控。当冷却液的流量、温度、压力、液位异常时,能发出告警信号并直接切断高压。因此,冷却系统通常装有流量接点、温度接点、压力接点、液位接点等四种装置。流量、温度、压力、液位的门限设置很重要,同时应考虑冷却液温度变化的影响。另外,由于上述传感器工作在发射机的强干扰区域,必须采取相应的电磁屏蔽措施,并在控制电路中采用滤波技术。

(上接第42页)

时作为上行载频的发射天线,另一个天线为分集天线,同时作为下行两个接收载频的接收天线。射频模块包括三个部分:一是双工器,为接收频带和发射频带分别提供通道,从而使同一根天线即可接收信号又可发射信号,互不干扰;二是低噪声放大器,其主要作用是把天线接收下来的信号进行放大;三是合路器,它是把两个Tx信号合到一起用一根天线发射出去。分离器的作用是把同一根天线接收到的不同频率的信号分离。这样,主、分集两根天线可分别接收四个频率的信号。一台具有分集接收功能的直放站,其前端特性较好,对弱小信号有明显的放大作用,增益可提高3~5dB,通信区域也可延伸3~4km。

4 结束语

该水冷系统经过性能测试,证明各路流量均达到设计要求,在环境温度50℃时,速调管收集极出水温度小于70℃。通过地面联调、跑车、试飞以及严格的例试,证明该水冷系统设计合理,可靠性高,维护简单,完全满足设计和使用要求。

参 考 文 献

- 1 电子工业部第14研究所编. 电子设备冷却设计手册. 南京:电子工业部第14研究所出版,1984年6月
- 2 谢德仁编. 电子设备热设计. 东南大学出版社,1990年
- 3 俞佐平编. 传热学(第二版). 高等教育出版社,1985年

参 考 文 献

- 1 Kyoung Il Kim 编著,刘晓宇等译. CDMA 系统设计与优化. 人民邮电出版社,2001年9月
- 2 吴伟陵编著. 移动通信中的关键技术. 北京邮电大学出版社,2000年11月
- 3 Tero Ojanpera Ramjee Prasad 著,朱旭红等译. 宽带CDMA:第三代移动通信技术. 人民邮电出版社,2001年1月
- 4 曹志刚,钱亚生著. 现代通信原理. 清华大学出版社,2001年3月
- 5 W. Honcharenko. Measurements Comparing Space Diversity, VH Polarization Diversity, and 45° Slant Polarization Diversity, Technical Memorandum, Lucent Technologies, 1996