# 新型警用数字集群信号基带分集接收技术

汪忠伟[1] 黄建尧[2]
(1.天津大学电子信息工程学院 天津 300072;2.天津七一二通信广播有限公司 天津 300140)

**摘 要**:为了解决警用数字集群信号(PDT)在传输过程中面临的多径衰落和多普勒频移问题,研究了警用数字集群信号的分集接收新技术。首先介绍了 PDT 系统模型,分析了所研究的信道环境和信号结构特征。在此基础上提出了一种新的选择式基带分集系统结构,分析了基带分集关键技术和信号处理流程。结合理论分析,给出软件仿真结果。实验结果证明,所采用的选择式基带分集对通信系统误码率特性改善明显。同时,算法复杂度较低,运算量小,适合在实际工程中使用。

**关键词**:多径衰落;多普勒频移;警用数字集群;基带分集;选择式合并
**中图分类号**:TN924+.2 **文献标识码**:A **国家标准学科分类代码**:510.5015

# New technique of base band diversity reception for PDT signal

Wang Zhongwei[1] Huang Jianyao[2]
(1. School of Electronic Information Engineering of Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. Tianjin 712 Communication & Broadcasting Co., Ltd, Tianjin 300140, China)

**Abstract**: In order to solve the problem of multipath fading and Doppler interference in the transmission of Police Digital Trunking (PDT) signal, we proposed new diversity reception technique for PDT signal. Firstly PDT system model is given, the fading channel conditions and signal structure characteristics are analyzed at the same time. On this basis, the structure of new base band diversity technique and the key algorithm of processing procedure are proposed. Along with theoretical analysis, software simulation results are presented. The simulation results show that the proposed post-detection diversity technique provided an obvious improve of bit error rate performance for communication systems. Because of the low system complexity and computation reduction, the presented diversity structure is suitable for using in practical engineering.

**Keywords**: multipath fading; doppler shift; PDT signal; base band diversity; selection combining

## 1 引 言

在无线通信系统中,多径衰落和多普勒频移现象是影响通信性能的主要因素之一。分集接收技术是解决这一问题的一个有效手段。分集技术长期以来广泛应用于包括高速无线通信[1]、数字光通信[2]、以及卫星通信系统中[3]。由于该技术复杂度较低,实现较为简便且效果较好,有的文献更是将其应用于多中继协作网络[4]和地震协作分析中[5]。根据通信系统复杂性要求和具体条件的不同,常用分集接收技术包括:时间分集,空间分集,频率分集,极化分集等。常用空间分集技术根据分集部件位于通信系统中的不同位置又分为检波前分集和检波后分集。本文主要研究空间分集技术中的检波后分集技术,又称基带分集技术。

警用数字集群信号采用频率调制作为核心调制方式。针对该类系统的分集接收技术,文献[6]提出了滤波器解调结构的切换驻留分集结构,虽然效果较好,但多组滤波器这样复杂的结构对于本文研究的移动设备来说,是无法接受的。文献[7]研究了 Hoyt 信道中切换驻留分集技术,虽然系统复杂度更低,但是切换阈值的选择是很困难的。同时,其他文献中常见分集方式涉及到信噪比估计这一问题[8],信噪比估计在各种通信系统[9]中都有所提及,但仍无法精确实现。所以应用范围受到了较大限制。考虑到这些常用分集结构都不适合本文的工作对象,所以本文提出了选择式分集接收新技术,并取得良好的效果。

本文共分四节,其中第一节为概述部分,对本文的研究背景和主要研究内容进行了介绍;第二节介绍了警用数字集群信号调制解调相关原理和具体的参数指标。第三节对分集接送模型和其中的核心算法进行了集中分析。在第四

收稿日期:2015-05

节中，给出了算法的软件仿真结果和验证。相关的结论和改进在第五节的结论中给出。

## 2　PDT 信号结构

“警用数字集群”(PDT)系统，是我国自主创新，吸收国际主流数字无线通信标准如 DMR 等的优点[10]，并结合国内实际，完全拥有自主知识产权的数字集群通信体制。

其具体指标为：载频为 350～366 MHz。采用时分多址方式，每载频 2 时隙，信道间隔为 12.5 kHz，双频间隔为 10 MHz。发射部分采用 4FSK 调制，上变频为调频信号。系统比特率 9600 bit/s。接收部分首先将射频信号下变频到 455 kHz 中频上，在中频进行解调，对解调得到基带信号进行判决，得到传输的有效信息。

## 3　分集接收系统模型及核心算法

### 3.1　分集接收系统模型

在 PDT 系统结构的基础上，本文提出了图 1 所示的 PDT 基带分集接收系统结构。PDT 基带分集接收系统主要由以下部分组成：

1)信号接收

系统采用多根天线进行信号接收(图 1 中以两根接收天线的情况为例)。为了保证这些天线接收到的信号衰落独立，天线间距离需要满足大于 0.38 倍波长(郊区环境下需要大于 0.5 倍波长)。考虑到 PDT 信号需要适用于多种环境，故本模型中天线间距离为数米，保证了接收信号的衰落独立。得到的多路接收信号满足相互独立同时又携带有同一组有效信息。经过射频前端的处理变为基带信号。

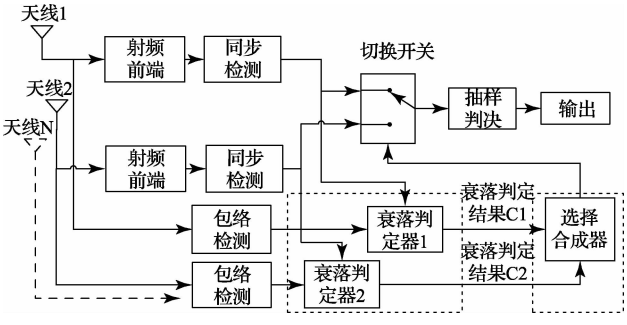


图 1　选择式基带分集算法示意图

2)包络检测和基带信号处理

经过射频前端处理得到的基带信号进行进一步处理。信号送入同步检测器进行同步提取，提取结果送入衰落判定器和切换开关。

3)衰落判定器和选择合成器

衰落判定器根据包络检测的结果和同步提取结果进行衰落判定，得出衰落指标 $C^1$ 和衰落指标 $C^2$。这些衰落指标送入选择式合成器，合成结果用来控制选择开关。该开关决定多路输入中哪一路信号最佳，只将该路信号进行抽样判决，完成分集接收。这一部分核心算法将在接下来的两小节具体描述。

### 3.2　衰落判定器

分集系统由两个衰落判定器组成。为了叙述方便，将相关符号定义如下：符号周期为 $T_s$；采样时间表示为 $t_s$；升采样倍数为 $N$；长周期包络检测周期数设为 $M$；对第 $i$ 个支路来说：包络检测结果为 $C_i$，衰落判定器 1 输出表示为 $C_i^1$，衰落判定器 2 输出表示为 $C_i^2$。

衰落判定器 1 接受包络检测的结果和同步检测的结果，判定多径衰落程度。支路 i 在某抽样时刻 t 的判定结果可以表示为式(1)所示：

$$C_i^1(t)=\frac{1}{N}\sum_{p=t-\frac{N}{2}t_s}^{t+\frac{N}{2}t_s}E_i(p)-\frac{1}{N}\sum_{q=t-Nt_s}^{t}E_i(q) \tag{1}$$

时刻 $t$ 由同步检测确定如下：

$$t=nT_s+\Delta t\ (n=1,2,\cdots) \tag{2}$$

与衰落判定器 1 不同，衰落判定器 2 结合包络检测和同步的结果进行长时间平均衰落统计，判定出在数十个符号周期内信号的平均衰落情况，如式 3 所示。

$$C_i^2(t)=\frac{1}{N}\sum_{p=t-\frac{N}{2}t_s}^{t+\frac{N}{2}t_s}\left(E_i(p)-\frac{1}{M}\sum_{q=t-\frac{M}{2}t_s}^{t+\frac{M}{2}t_s}E_i(q)\right) \tag{3}$$

### 3.3　选择合成器

选择式合成器在分集系统中位于衰落判定器和切换开关之间，为切换开关提供控制信息。一个 2 支路分集的选择合成器的算法流程如图 2 所示：

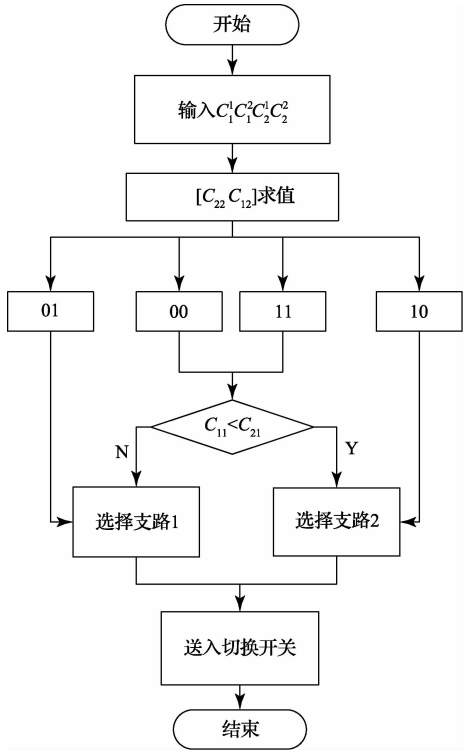


图 2　选择合成器流程图

由衰落判定器得到的判定信息作为输入,经过逻辑判定和比较得到选择结论,即选择支路的序号,该序号代表了选择的最终结果,该结果直接送入切换开关,控制开关的选择。

## 4　仿真结果与验证

本文在 MATLAB 环境中进行了算法仿真。首先搭建了 PDT 信号发送接收模型,在该模型基础上添加分集合成算法。控制信道环境参数变化,以信噪比为参数,进行蒙特卡洛扫描。得到在不同信道环境下正常解调和选择式分集的不同结果。此外,在考虑不同多普勒频移干扰的条件下进行了重复实验。研究了分集合成算法对多普勒频移的改善程度。

### 4.1　瑞利信道条件下分集接收

在瑞利衰落信道条件下,信号从发射端经过反射、绕射等多条路径到达接收端,并且不存在直视路径。在仿真的过程中,信道时延参数为 0～20・$t_s$;信道增益参数为 −8～−1dB;多普勒频移为 $f_s=5$ Hz(信号源相对运动速度约为 16 km/h)

该瑞利信道环境下分集合成结果如图 3 所示,该图表示了“单支路”和 2 分集的效果对比。其中“单支路”表示传统的正常接收方式,即采用单一接收天线,不采用任何分集接收方案。“2 分集”表示在采用两条接收天线并采用分集合成时的接收结果。

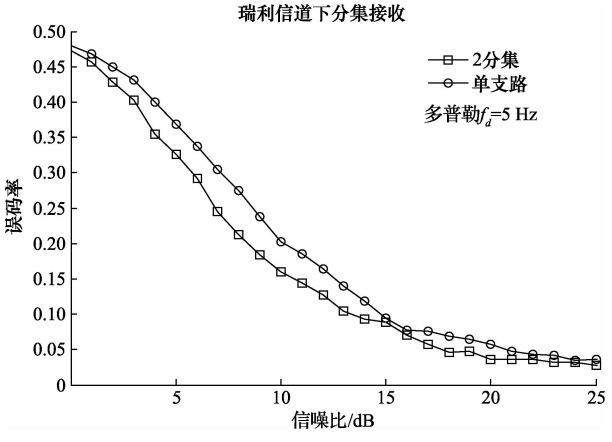


图 3　瑞利信道环境下分集接收

在图 3 中,分集接收对通信系统的改善程度以误码率表示,可以看出 2 分集接收系统误码率明显低于单支路解调。分集接收效果明显。

### 4.2　莱斯信道条件下分集接收

莱斯信道是另一种通信系统经常使用的信道环境。莱斯信道不仅包含反射、折射等多路非直视路径,还包含直视路径。莱斯信道环境可以近似以莱斯分布表达式来描述:

$$f(z)=\frac{z}{\delta^2}\exp\left(\frac{-(z^2+s^2)}{2\delta^2}\right)I_0\left(\frac{zs}{\delta^2}\right) \tag{4}$$

莱斯因子 $K$ 表示为莱斯信道中直视路径与非直视路径的功率比值:

$$K=\frac{s^2}{2\delta^2} \tag{5}$$

莱斯信道下环境参数设置参考了瑞利信道环境参数,信道时延和信道增益向量均沿用瑞利信道的环境参数。所不同的是,莱斯信道所特有的参数莱斯因子 $K$,这里将 $K$ 设置为 1.92。

图 4 为莱斯信道下分集接收结果对比图,图中对比了“单支路”,“2 分集”和“3 分集”共三种通信系统的误码率特性。该图是在不考虑多普勒效应情况下得到的结果。从该图可以看出,在莱斯信道条件下,分集接收对通信系统性能改善明显。相对于“单支路”解调即无分集接收来说,“2 分集”和“3 分集”都取得了明显的效果。随着分集支路数量的增加,分集效果也明显增强。在相同信噪比条件下,“3 分集”比“2 分集”误码率更低。

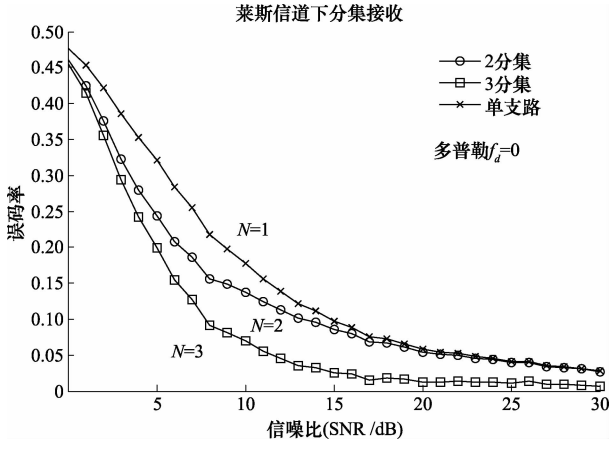


图 4　莱斯信道下分集接收对比图(无多普勒)

图 5 为在考虑多普勒频移的条件下,莱斯信道环境中分集接收效果示意图。这里的多普勒频移参数 $f_d$ 设置为 5 Hz,等效于信源以 16 km/h 的相对速度运动。相对于图 4 来说,在相同的信噪比条件下,由于存在该多普勒频移,故“单支路”解调和分集接收的最终误码率都相对偏高。但由于分集支路数的增加,分集效果得到增强,其中,“3 分集”取得了较为理想的结果。

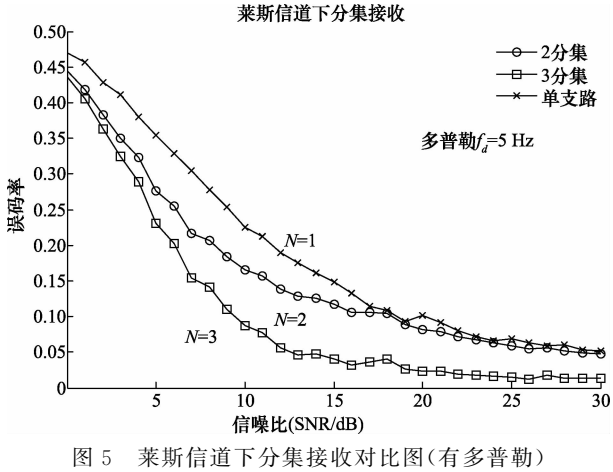


图 5　莱斯信道下分集接收对比图(有多普勒)

## 5 结　　论

本文通过对警用数字集群信号的深入分析，以及对移动衰落信道和多普勒频移的深入探索。提出了一种警用数字集群信号适用的新型选择式分集接收方案。该分集接收方案在基带进行分集合成，且无需信道估计，大大降低了系统复杂度。同时，分集效果较好，在快速多径衰落和较强多普勒干扰的条件下对系统误码率特性改善明显。具有较强的实用性。

## 参考文献


[1] 罗万团，方旭明，程梦，等. 高速铁路移动通信系统多天线分集接收方案[J]. 通信学报，2014，35(6)：73-81.

[2] 陈丹，柯熙政. 副载波调制无线光通信分集接收技术研究[J]. 通信学报，2012，33(8)：128-133.

[3] 樊涛，王旭东，党小宇，等. 卫星通信中 SOQPSK-TG 恒包络信号的极化分集接收技术[J]. 南京航空航天大学学报，2014，46(6)：862-868.

[4] 胡安国，陈万培，乔科. 一种新的多中继协作网络的分集复用折中[J]. 国外电子测量技术，2013，32(11)：34-37.

[5] 景晟，何学勤. Cdma2000 1x 系统传输地震数据的分析与应用[J]. 电子测量与仪器学报，2014，28(4)：454-458.

[6] SASAN H，HADIS D. BER of Noncoherent MFSK with postdetection switch-and-stay combining in TWDP fading[C]// Vehicular Technology Conference IEEE，2012，1-5.

[7] CHANDRA A，BOSE C，BOSE M K. Symbol error probability of non-coherent M-ary frequency shift keying with postdetection selection and switched combining over Hoyt fading channel [J]. IET communications，2012，6(12)：1692-1701.

[8] 邓肖中. 基于信噪比判决的多维信号检测方法[J]. 电子测量技术，2011，34(3)：29-32.

[9] 张学军，严金童，田峰，等. 基于差分能量检测的双门限协作频谱感知算法[J]. 仪器仪表学报，2014，35(6)：1325-1330.

[10] 张文月，马永涛，刘开华. DMR＋调频接收机数字信号处理部分研究与实现[J]. 电子测量技术，2011，34(12)：16-19.


## 作者简介


**汪忠伟**，硕士研究生，主要研究方向通信系统仿真，神经网络，人工智能等。

E-mail：wzwang@tju.edu.cn

**黄建尧**，天津七一二通信广播有限公司，高级工程师。

E-mail：huangjianyao@712.cn


（上接第 128 页）


[9] DOUGA Y，BOURENANE M，MELLOUK A，et al. TCP based-user control for adaptive video streaming [J]. Multimedia Tools and Applications，2015：1-20.

[10] 高伟亮，李淑华，王守权，等. 某型飞机数字视频记录系统设计[J]. 国外电子测量技术，2014 (1)：54-57.

[11] 张晓，胡维华，徐小良. 基于 RTCP 的移动流媒体研究[J]. 计算机仿真，2009(05)：169-172.

[12] 曾波，徐成，李向荣. 无线网络多媒体传输拥塞控制机制研究[J]. 计算机系统应用，2009，18(5)：73-75.

[13] PAKANATI C，PADMAVATHAMMA M，REDDY N R. Performance Comparison of TCP，UDP，and TFRC in Wired Networks [C]//2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT). IEEE，2015：257-263.

[14] 赵海涛，朱洪波，张晖，等. 基于连通概率感知的车联网资源优化技术研究[J]. 仪器仪表学报，2015，36(8)：1724-1734.

[15] SUN Y，JI Z，WANG H. TFRC-satellite：a TFRC variant with a loss differentiation algorithm for satellite networks [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems，2013，49(2)：716-725.


## 作者简介


**范浩**，1991 年出生，上海大学通信与信息工程学院工学硕士，主要研究方向为物联网等。

E-mail：shufanhao@126.com