

学校编号: 10384
学 号: 9630002

分类号码 _____ 密级 _____
UDC _____

学 位 论 文

基于跳频技术的 GPS 移动通信网和 CATV 加解扰系统 的研究

郑若滨

厦门大学电子工程系

指导教师: 李元密教授
申请学位级别: 硕 士
专业名称: 应用电子技术
论文提交时期: 1999 年 5 月
论文答辩日期: 1999 年 6 月
学位授予单位: 厦 门 大 学
学位授予日期: 1999 年 7 月

答辩委员会主席: _____

评阅人: _____

1999 年 6 月

目录

摘要.....	1
关键词 跳频通信 GPS-AVL CATV 加解扰.....	1
第一章 GPS 移动车辆监控系统概述.....	2
一、 系统的组成原理.....	2
二、 系统存在的问题.....	3
1. 指挥监控中心和移动车辆之间的数据通信速率.....	3
2. 指挥监控中心和移动车辆之间的通信交换手段.....	4
3. 通信保密性和抗恶意干扰能力.....	4
4. GPS 定位精度.....	4
第二章 跳频通信系统原理.....	6
一、 扩频技术基本类型.....	6
二、 跳频通信原理.....	7
三、 跳频处理增益.....	7
四、 跳频图案与汉明相关.....	8
五、 跳频方案特点分析.....	9
第三章 跳频通信电台设计方案.....	11
一、 普通通信电台综合指标兼容性测试.....	11
1. 单电台收发锁相环跳频锁定时间测试.....	11
2. 无线闭环系统跳频锁定时间综合测试.....	13
二、 普通通信电台实现跳频改进方案.....	14
1. “暗箱” 处理方案.....	14
2. 跳频通信电台工作方式与性能指标.....	14
三、 跳频关键技术.....	15
1. 跳频图案(地址编码)设计.....	15
2. 频率合成技术.....	19
3. 跳频同步技术.....	23
4. 跳频调制与解调.....	25

第四章 GPS-AVL 系统组网方案.....	27
一、 网络结构.....	27
二、 通信系统协议模型.....	28
三、 逻辑信道划分与链路帧结构.....	28
1. 时隙逻辑信道.....	29
2. 跳频逻辑信道.....	29
3. 链路帧结构.....	30
四、 组网关键技术.....	32
1. 小区分裂蜂窝技术与信道复用技术.....	32
2. 越区“软切换”技术（Soft Handoff）.....	33
3. “远—近效应”.....	34
第五章 跳频技术在 CATV 加解扰系统中的应用.....	35
一、 CATV 加解扰系统概述.....	35
二、 CATV 跳频加解扰原理.....	36
三、 CATV 跳频加解扰关键技术.....	37
1. 全电视信号加扰处理.....	37
2. 跳频图案的频道.....	39
3. 跳频频基处理与频率合成技术.....	39
4. 跳频同步信号的传输与实现.....	43
5. 解扰密钥数据的保密处理与寻址管理.....	44
6. 系统安全性的考虑.....	47
第六章 改进建议.....	49
致谢.....	50
参考书目.....	51

摘要

本文从公安系统 110 指挥中心全球卫星定位移动车辆监控系统 (GPS—AVL) 目前存在的问题出发, 提出在原有 GPS—AVL 系统的基础上加以改进, 综合跳频 (FH) 通信、码分多址 (CDMA)、时分多址 (TDMA) 等多种技术, 采用新型小区制两级蜂窝组网方式和通信协议模型, 以满足提高车载单元与监控中心之间的动态数据交换速率、GIS 电子地图的实时显示和实时报警速度, 扩大系统的容量和信道的使用效率, 增强通信的隐蔽性、保密性和抗恶意干扰、抗多径衰落能力的要求, 力求做到有较好的频率规划和克服“远—近效应”的能力。

对实际工程中的关键困难, 如跳频图案(地址编码)设计、频率合成器参数的确定、跳频同步电路的构成、跳频调制与解调方式的选择, 以及实际建网过程中的网络结构、通信协议模型、逻辑信道与链路帧结构的制定和相关组网关键技术, 如小区分裂、信道复用、越区“软切换”、“远—近效应”进行了较为详尽的论述。

另外, 将跳频无线通信技术应用于 CATV 有线电视网上, 可提出一种全新的模拟传输频基跳频处理技术, 以实现有线加解扰电视广播。文中特别就全电视信号加扰处理、跳频频基处理与频率合成技术、跳频同步信号的传输、解扰密钥数据的保密处理与寻址管理, 以及系统安全性, 作了多方面的探讨。

关键词

跳频通信

GPS - AVL

CATV 加解扰

第一章 GPS 移动车辆监控系统概述

一、系统的组成原理

全球卫星定位移动车辆监控系统（Global Positioning System—Automatic Vehicle Location, 简称 GPS—AVL），是在全球卫星定位系统 GPS、地理信息系统 GIS（Geography Information System）和移动通信网技术上实现的移动目标管理系统，可对移动车辆提供即时定位、数据传输、语音通信、遇险报警和劫车追踪等多项功能。

其原理是由于卫星发射的无线电信号中的多普勒频移与卫星运动轨迹之间有密切的关系，即无线电波的频率随着卫星的移动产生变化，因此可以通过测量卫星信号的多普勒频移来测定卫星轨道的位置。将此关系逆转过来，如果已知卫星在轨道上的各点的位置，那么通过测量卫星信号的多普勒频移，可以测出地面观测点的准确位置。

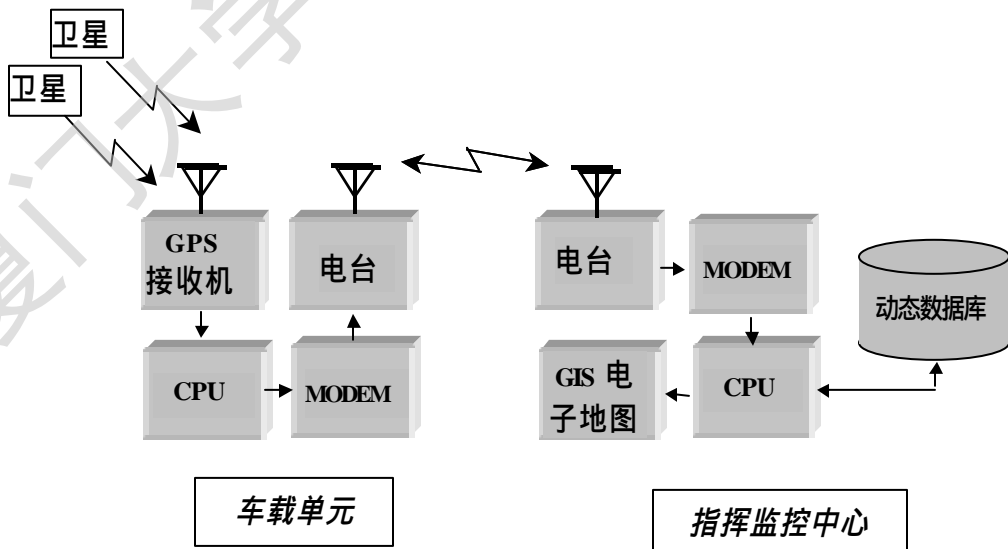


图 1-1 GPS—AVL 系统结构示意图

GPS—AVL 系统由指挥监控中心和车载单元两部分组成，图 1—1 为其结构示意图。其中，车载单元包括 GPS 接收机、调制解调器和收发通信电台等。GPS 接收机接收导航卫星信号（即 C/A 码——Coarse and Access Code），获得移动目标所处的经纬度、时间、大地坐标以及运动轨迹等定位信息。调制解调器用以控制 GPS 接收机的数据传输，并将数字信息转换成模拟信号，然后通过通信电台，将此信息或报警信号发送给指挥监控中心。

指挥监控中心部分包括通信电台、调制解调器、微型计算机和 GIS 等。通信电台用以接收汽车上电台所发送的位置信息和报警信息，同时也可返回发送命令给受控的汽车，调制解调器用以对发送的返控命令和所接收的 GPS 信息进行数字/模拟转换，或在接收到汽车的位置信息后，再进行预处理后转送给微型计算机，最后在中心站计算机屏幕的 GIS 电子地图上显示出各移动汽车的运行轨迹，同时还能对移动汽车发出的紧急报警信号作出迅速的响应，用以完成对移动汽车的监视、调度和控制。

二、系统存在的问题

公安系统 110 指挥中心 GPS—AVL 系统目前存在以下四个方面问题：

1. 指挥监控中心和移动车辆之间的数据通信速率

如果在 GPS 车辆监控管理系统中，由多部汽车共用一个信道，只能按时间顺序和每轮汽车建立通信连接并进行数据交换，限制了 GPS 车辆监控管理系统的容量和信道使用效率。对于一个较大的 GPS 车辆监控管理系统，如果更新数据的时间延长，动态交换数据速度较慢，则在中心站计算机屏幕的 GIS 电子地图上不能实时显示移动车辆的位置变化。所以有必要探讨提高指挥监控中心和车辆之间数据通信速率，实时跟踪车辆状态的有效手段。

2. 指挥监控中心和移动车辆之间的通信交换手段

如果多部汽车共用一个信道且同时发送 GPS 信息，将会造成信道碰撞，传输错误。为了解决这一问题，通常采用“一问一答”的方式，对管理的多部移动汽车进行巡回查寻检测，以保证每部移动汽车和指挥监控中心握手通信时，不受其他汽车的干扰，汽车之间采用时间上间隔发送/接收，即时分方式。此法虽然可以提高通信的可靠性，但限制了 GPS 车辆监控管理系统的容量和信道使用效率。

随着移动汽车数目的增多，将占用信道的大量时间，使所需数据更新的时间延长。如果采用“一问一答”的握手交互通信方式，其交互过程冗长，每次与多部移动汽车的通信均要进行同步和对其他格式、信令控制信息的解码，而真正所需的数据或信令占用的时间却较短，故信道使用效率不高。

3. 通信保密性和抗恶意干扰能力

目前，常规通信信号容易被测量、分析、识别、测向和定位，以获取信号频率、电平、调制方式等技术参数以及电台位置、通信方式、通信网结构和属性等情报。另外，常规通信信号也容易受到恶意通信干扰。

随着现代反高科技作案和反电子对抗问题的提出，急需提高目前通信的保密性和抗恶意干扰能力。

4. GPS 定位精度

GPS 定位精度极大地依赖于空中卫星的可见性。一台 GPS 接收机必须能同时接收到 4 颗卫星才能进行三维定位，而对于实时厘米级的定位，则要求 5 颗或更多的卫星。这在理想情况下很容易达到，因为 GPS 系统 24 颗卫星环绕地球，通常在水平角度 10 度以上都能观测到 7 颗卫星。但如果附近有山、建筑物或其他遮挡，那么可见的卫星会减少 4 颗、3 颗或更少，这样 GPS 接收机便很难定位了。

单个 GPS 系统二维均方差定位精度 $2drms$ (95%) 优于 20 米，但美国国防部为了降低民用精度，在 GPS 安全标准定位业务 (SPS—Standard Positioning Service) 上施加了选择可用性 (SA—Selective Availability)，精度降为 100 米。

目前，较有效的消除 SA 影响的方法是建立 GPS 差分参考站向服务区域内的用户发送差分修正信息， $2drms$ (95%) 为 0.90 米。可是，接收这些差分信息数据的电台费用，往往会超过 GPS 接收机本身的价格。而且，SA 不断变化的误差仍会有影响，必须保证电台传输的差分信号迅速而稳定，否则，即使 GPS 接收机能够同时跟踪到多颗卫星，只要差分信号丢失几秒钟，也会导致误差显著增大。

为此，更佳方案是 GPS+GLONASS。GLONASS 是俄罗斯研制的全球导航卫星系统，1996 年全面投入运行。GLONASS 类似于 GPS，由 24 颗卫星组成，但 GLONASS 与 GPS 有两点不同：没有施加 SA，对 P 码 (Precision Code) 也没有加密。单点定位时，GPS+GLONASS 的 $2drms$ (95%) 为 16 米；差分定位时，GPS+GLONASS 的 $2drms$ (95%) 为 0.75 米，与 GPS 精度相近，但当可见性受限时，GPS+GLONASS 会更好。GPS+GLONASS 对卫星的可用数和几何分布有突破性的改善，实时高精度定位的可用性较 GPS 提高两倍，厘米级精确定位速度提高 3~6 倍。

但 GPS+GLONASS 也带来了新的问题，即要求车载单元与监控中心之间的通信量至少增加一倍。原有的 GPS—AVL 系统的数据通信速率和交换手段受到了严峻挑战。

针对以上的问题，该项目的目标是：在原有 GPS—AVL 系统的基础上加以改进，综合跳频 (FH) 通信、码分多址 (CDMA)、时分多址 (TDMA) 等多种技术，采用全新的小区制两级蜂窝组网方式和通信协议，以满足提高车载单元与监控中心之间的动态数据交换速率、GIS 电子地图的实时显示和实时报警速度，扩大系统的容量和信道的使用效率，增强通信的隐蔽性、保密性和抗恶意干扰、抗多径衰落能力的要求，力求有较好的频率规划和克服“远—近效应”能力。

第二章 跳频通信系统原理

一、扩频技术基本类型

扩频通信的基本方式有四种：

- 直接序列（DS—Direct Sequence）扩频；
- 跳频（FH—Frequency Hopping）；
- 跳时（TH—Time Hopping）；
- 脉冲线性调制（Chirp）。

其中，DS 主要用于公众数字移动通信网，Chirp 多用于雷达系统，TH 则往往与其他方式结合组成混合扩频，如 DS/TH，FH/TH。

FH 通信方式在反电子对抗的战术无线电通信中得到了广泛的应用。1991 年海湾战争中，多国部队普遍使用跳频电台，如美国的 Sincgars-V 系列超短波跳频电台和联合战术信息分布系统 JTIDS，法国的 TRC-950 以及英国的美洲虎 Jaguar-V 系列超短波跳频电台。

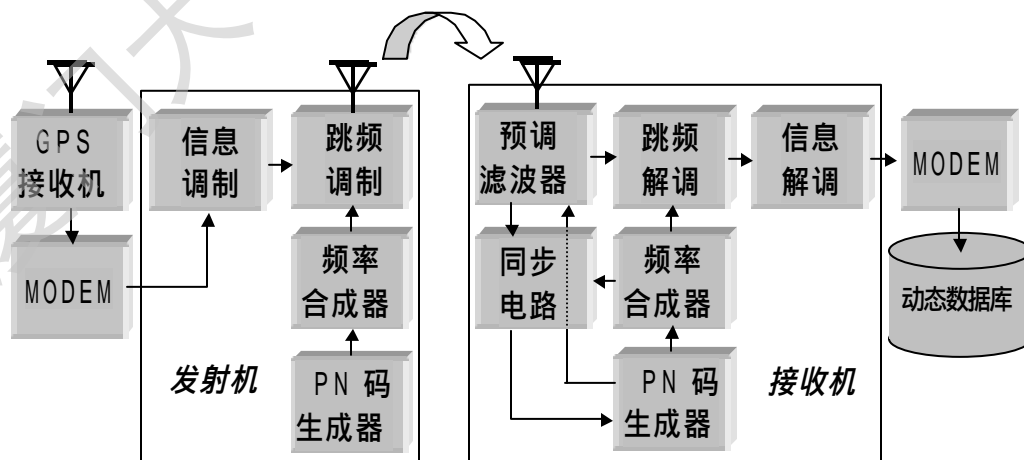


图 2-1

跳频通信原理示意图

二、跳频通信原理

跳频通信原理示意图如图 2—1 所示。

在发送端，信息数据经信息调制变成带宽为 B 的基带信号，进入扩频调制。频率合成器在伪随机码（PN—Pseudo-Noise Code）发生器的控制下，产生的载波频率在带宽为 W ($W \gg B$) 的频带内随机跳频，从而实现基带信号带宽 B 到发射信号使用的带宽 W 的频谱扩展。

在接收端，为了解出跳频信号，需要有一个与发送端完全一致的 PN 码去控制本地频率合成器，使本地频率合成器输出一个始终与接收到的载波频率相差一个固定中频的本地跳频信号，然后与接收到的跳频信号进行混频，得到一个跳变的固定中频信号 IF ，然后经信息解调电路解调出发送端所发送的数据。

预调滤波器是一种中心频率随信号跳频图案同步跳变的窄带滤波器（通频带只允许所需的信号通过），这种作法相当于接收机借助于预调滤波器而增加了时间选择性，有利于减少强干扰对接收机可能引进的阻塞现象。

三、跳频处理增益

扩频通信通过采用信号相关技术获得了很强的抗干扰性能力。在发送端将信号能量打散后发射出去，接收端只将能量集中起来，而由于干扰和噪声与所用伪随机码不相关，所以噪声能量不能集中起来，从而实现在干扰环境下的可靠通信。跳频处理增益 G_p 是扩频通信系统的重要参数，用以定量估算扩频通信系统的抗干扰能力。

跳频处理增益定义为：

$$G_p = \frac{\text{输出信噪比 } SNR_o}{\text{输入信噪比 } SNR_i} = \frac{\text{扩频信号带宽 } W}{\text{基带信号带宽 } B}$$

理论分析表明:

1) 若跳频频率间隔 $\Delta f \leq B$, 则跳频频谱是相互衔接的, 即有:

$$G_p = \frac{W}{B} = \frac{N\Delta f}{B} \leq N$$

其中, N 为跳频频隙数。

2) 为了抗多径干扰, 一般要求 $\Delta f > B$, 则跳频频谱是相互衔接的, 于是:

$$G_p = \frac{W}{B} = \frac{NB}{B} = N$$

由此可见, 跳频处理增益可以通过选择跳频频隙数 N 和跳频频率间隔 Δf 的大小来适当地组合。跳频处理增益和 PN 码速率无关, 这正是跳频方式最吸引人的地方。 W 和 Δf 一旦确定, N_{max} 也就确定了。从这个意义上讲, W 越宽, N 越大, 抗干扰能力越强。在保证 $\Delta f > B$ 的前提下, 跳频速率则与抗跟踪式干扰有关, 跳频速率越快, 抗跟踪式干扰能力越强。

在同样扩频带宽下, FH 系统跳频处理增益比 DS 系统高 3dB。

四、跳频图案与汉明相关

从时域上看, 跳频信号是一种多频的移频键控信号, 它属于间接型 MFSK 调制; 从频域上看, 跳频信号的频谱有着在很宽频带上随机跳变的不等间隔频率成分, 这种频率跳变规律称为跳频图案。跳频图案的选择对跳频通信系统性能的好坏有决定性的影响。

由于各用户的跳频起始相位不同, 传输延时差异等因素, 要做到跳频图案无相互干扰极其困难。跳频频隙的“击中”或者称为“碰撞”, 用参数汉明相关来衡量。

假设在跳频频隙集合 S 上, 序列长度为 L 的两个跳频序列为:

$$X\{x(j)\}, \quad Y\{y(j)\} \quad X, Y \in S$$

则对于相对延时 τ ，汉明自相关和汉明互相关分别为：

$$H_{XX}(\tau) = \sum_j^{L-1} [x(j), x(j+\tau)] \quad , \quad 0 \leq \tau \leq L-1$$
$$H_{XY}(\tau) = \sum_j^{L-1} [x(j), y(j+\tau)] \quad , \quad 0 \leq \tau \leq L-1$$

式中 $(j+\tau)$ 按 $(j+\tau) \bmod L$ 理解，且

$$h[x(j), y(j+\tau)] = \begin{cases} 0, & \text{当 } x(j) = y(j+\tau) \\ 1, & \text{当 } x(j) \neq y(j+\tau) \end{cases}$$

显然， $H_{XX}(\tau)$ 越小，序列 $X\{x(j)\}$ 与其平移序列 $X\{x(j+\tau)\}$ 的重合次数越少； $H_{XY}(\tau)$ 越小，序列 $X\{x(j)\}$ 和 $Y\{y(j)\}$ 重合次数越少，即两个用户之间的相互干扰越小。

五、跳频方案特点分析

与传统通信方式相比，跳频通信方式有如下特点：

(1) 隐避性好，保密性强，不干扰同频的其他系统

信号经过扩频处理，有限的功率被扩展分布在一般比原带宽宽 1000 倍以上的频带上，其功率密度明显降低。信号具有伪随机特性，对于其他系统而言是不相干的，它相当于一个电平非常低的背景“白噪声”；该“噪声”电平通常甚至低于外界环境噪声。一方面显著降低了对其他电子设备的干扰；另一方面，由于信号电平可被淹没在噪声中，也使敌方难以截获信息，即使截获部分载频，也会由于跳频图案的伪随机特性而无法预测跳频电台载波的下一次跳变。其安全保密程度取决于使用的跳频序列。

(2) 抗干扰能力强

跳频方式抗干扰的根本方法在于：在频域上“躲避”被干扰频隙的“碰撞”；

故能有效地抗频率瞄准式干扰；只要跳频频隙数足够多，跳频范围足够宽，也能较好地抗宽频带阻塞式干扰；只要跳变速率足够快，就能有效地“躲避”跟踪式干扰。

(3) 具有抗多径衰落能力

载波频率快跳变具有频率分集作用 (Frequency Diversity)；当跳变的频率间隔大于衰落信道相关带宽，或者说，跳频驻留时间短于多径信号的相对时延差时，跳频通信系统具有很强的抗多径衰落能力。

(4) 易于与窄带通信系统兼容

从宏观看，跳频通信系统是一种宽带系统；从微观看，它又是一种瞬时窄带系统。跳频通信系统可以使用固定频率工作，故能与普通常规电台互通信息。普通常规电台加装抗干扰跳频模块，即可变成跳频电台。

(5) 具有灵活的多址组网能力

利用跳频序列的正交性，可构成跳频码分多址系统，有较高的频谱利用率。在同一扩频带宽内，CDMA 用户容量是 FDMA 的 10 倍，是 TDMA 的 3 倍。通信网使用不同的跳频序列作为地址码，发信端可根据接收端的地址码选择通信对象。它并不要求使用连续的频谱，便于频率规划。

第三章 跳频通信电台设计方案

一、普通通信电台综合指标兼容性测试

公安系统原有欲改制成跳频通信方式的常规窄带电台，需经实地综合指标兼容性测试。

电台跳频信道载频建立时间和换频时间主要由发射机的压控振荡器（VCO）锁相环和接收机 VCO 锁相环决定，另外还受 FSK 调制电路、解调电路、无线信道、微型计算机串行方式送数和指令时间以及逻辑判定电路等诸多因素综合影响，对于半双工电台还得考虑发射功放电路的切换时延。

1. 单电台收发锁相环跳频锁定时间测试

决定跳频系统跳频性能的核心部件是频率合成器，频率跳变的总数和速率决定了系统的抗干扰性能。频率合成器从某频道转向新的频道并达到稳定频率输出所需的时间，将其定义为锁相环跳频锁定时间。只有缩短该时间，才能提高跳频速度。

通常跳频信道载频建立时间和换频时间由频谱分析仪测试，下面提出一种利用普通示波器的简易测试法。

（1）测试方法及结果

为了获得跳频锁定时间，理论上应由微型计算机向锁相环频率合成器周期性送出任意两组频率控制数，监测 VCO 控制电压的变化，读出每次振荡起振至收敛所需时间，即为待求跳频锁定时间。

但由于微型计算机不可控，无法向锁相环 IC 周期性置数，因此采用电台附件连接器之 MIC PTT 作为 PLL 频率控制端。让 PTT 电压在 TTL 电平 0 和 5V 间周期性变化，监测 VCO 控制电压的变化，可得跳频锁定时间。

其原理是，收发锁相环除 VCO 和 RX/TX 隔离缓冲器外，共用一套频率合成器、前置双模分频器、反馈隔离缓冲器、参考振荡器和电荷泵。而 PTT 端的作用是控制半双工电台轮流工作于发射状态和接收状态，两种状态锁相环锁定频率相差 10MHz，具有代表性。所以，轮流切换于两种状态，相当于两组频率控制数周期性变化。

测试结果：锁相环跳频锁定时间为 10ms 量级。

(2) 优化调整方法及结果

为了得到快速跳变的频率合成器需满足以下三个条件：

- 1) 充电泵应有小的吸入和大的泵出电流值；
- 2) 增大频率合成器的鉴相频率；
- 3) 适当减小环路滤波器的 RC 时间常数。

锁相环跳频锁定时间主要由四部分决定：频率合成器工作转换时间（其中包括微型计算机串行方式送数和指令时间以及 D/A 转换时间）、充电泵充放电时间、PLL 环路滤波器 RC 时间常数和 VCO 稳定建立时间。频率合成器为集成电路固定器件，而 VCO 兼作 FSK 调制解调电路，硬件参数不宜随便更动；D/A 变换时间为 μs 量级，可以忽略；故考虑改动充电泵放电时间和 PLL 环路滤波器 RC 时间常数。

经调整和测试表明：原充电泵放电时间和 PLL 环路滤波器 RC 时间常数已设计为最优状态，既考虑了环路的滤波特性，又兼顾了环路的瞬态特性。

2. 无线闭环系统跳频锁定时间综合测试

(1) 测试方法及结果

为了考虑发射功放电路的切换时延、FSK 调制电路、解调电路、无线信道、微型计算机工作例程和逻辑判定电路以及 D/A 转换时间等因素的综合影响，采用无线闭环测试法，如图 3—1 所示。

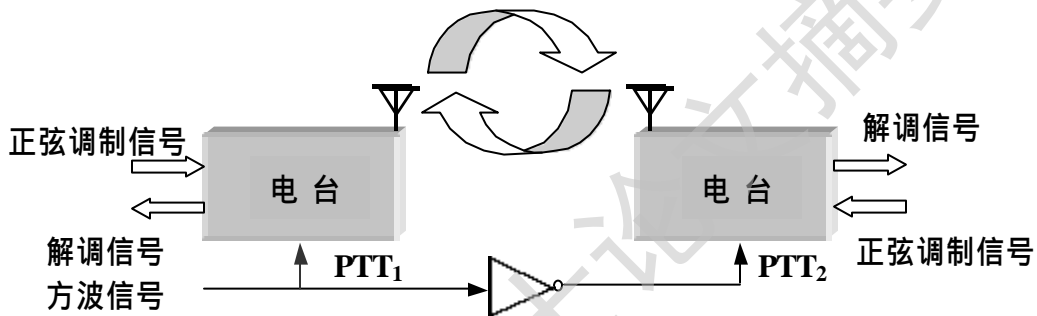


图 3-1 双电台无线闭环测试法原理图

使电台 1 和 2 轮流工作于相反的工作状态，即当电台 1 周期性地工作于发送（或接收）状态时，电台 2 则周期性地工作于接收（或发送）状态。方波信号由 PTT1 端输入，控制电台 1 状态；方波信号经反相器后由 PTT2 端输入，控制电台 2 状态，从而保证 PTT2 与 PTT1 同步反相。正弦调制信号由附件连接器之 MIC AUDIO 输入，解调信号由连接器之 DETECTOR AUDIO 输出。

只要比较电台 1 DETECTOR AUDIO 从无信号输出（表示电台 1 开始处于发射状态）到电台 2 DETECTOR AUDIO 有信号输出（表示电台 2 进入稳定接收状态）之间的时间差，即可求出无线闭环系统跳频锁定时间。

测试结果：无线闭环系统跳频锁定时间为几十 ms 量级。

(2) 测试结论

普通半双工电台系统跳频锁定时间主要由发射功放电路的切换时延（几十 ms 量级）和锁相环跳频锁定时间（10ms 量级）决定。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库