

文章编号:1000-582x(2001)02-0148-05

·研究综述·

军事通信抗干扰技术进展与展望^{*}

李世贵, 李青

(重庆石油高等专科学校, 重庆 400042)

摘要:文中对通信抗干扰技术中最关键的扩频技术、自适应干扰抑制技术、猝发通信、以及多种功能结合的综合抗干扰技术等领域的发展现状进行了全面的综述,预测了军事通信抗干扰技术的发展趋势,提出了一些建议。

关键词:抗干扰通信; 通信对抗; 军事通信; 扩频通信

中图分类号: E 962

文献标识码: A

在现代高技术战争中,电子战场十分严峻,各种具有快速响应能力的自动化、智能化、多功能通信对抗系统给军事通信带来了日益严重的威胁。要想保障通信链路安全可靠,通信系统和装备就必须具有抗干扰、抗侦收、抗测向等反对抗能力。世界各国在发展通信装备时,都十分注意发展通信反对抗技术,以提高军事通信的时效性、可靠性和保密性。

通信抗干扰技术的体系、方法、措施可分为4类:1)以扩频技术为主的频域抗干扰技术。如直接序列扩频(DS-SS),其关键参量是时间函数的相位;跳频(FH)的关键参量是时间函数的载频;DS/FH混合扩频技术;自适应选频技术,当通信信道干扰严重时,通信双方同时改换到最优化频道;自适应频域滤波技术;2)以自适应时变和处理技术为主的时域抗干扰技术。猝发通信;低速率通信技术;跳时(TH)技术;自适应信号功率管理技术;3)以自适应调零天线为主的空域抗干扰技术。高增益、低旁瓣、窄波束定向天线技术;自适应调零天线技术;多波束天线技术和空间分集技术;4)纠错编码技术。通信抗干扰体制主要分为扩展频谱和非扩展频谱两种体制,扩展频谱体制是现代通信对抗技术的发展趋势,其包含FH、DS-SS、TH、线性调频、DS/FH/TH混合技术5种基本类型;非扩展频谱体制包括信道编码、调制编码、重传和多数表决、猝发传输、信号交错、分集(时间、空间、频率、极化)、自适应天线、自适应陷波滤波、功率控制、语音/图像压缩、限幅箱

压、转发等技术类型。近年来,世界各国为赢得未来电子战的胜利,都在加紧研究和发展各种抗干扰技术,并大力发展多体制相结合的综合抗干扰技术。

笔者重点对军事通信抗干扰技术中最关键的扩频技术、自适应干扰抑制技术、多种功能相结合的综合抗干扰技术的现状和发展进行论述,展望了抗干扰技术的发展前景和方向。

1 扩频抗干扰技术

DS、FH、DS/SS、DS/FH等扩频技术的特点是信号的功率谱密度低、信息的隐蔽性好、抗干扰能力强,在军事通信中已得到广泛应用。

1.1 直扩技术

直扩通信指待传输信息的频谱用伪随机扩频码扩展后成为宽带信号,送入信道中传输,在接收端利用相应手段将其压缩恢复,从而获取传输信息的通信。DS-SS信号频谱密度很低,具有低截获、难侦收等优点。DS-SS通信抗干扰能力得益于接收机对DS-SS信号再次与原扩频伪随机序列进行波形相乘而还原出信息码序列,干扰信号则被接收机本地伪随机码波形相乘后而扩频,只有很小部分干扰信号能量能进入接收机中频窄带滤波器,绝大部分干扰能量被抑制掉了。DS-SS通信具有抗干扰、抗多径、低截获和容易实现大容量码分多址等特点,但其存在“远-近”效应;瞬时带宽较宽。要获得较高的直扩增益,必须提高伪码速率,

* 收稿日期:2000-05-08

作者简介:李世贵(1963-),男,四川南充人,副教授。主要从事应用软件开发的教学及科研工作。

但目前制造高速的伪码编码器还比较困难(在低速率数传系统中可提供40~50 dB直扩增益,目前直扩通信只能提供不超过20 dB的干扰容限)。因此较长一段时间中,DS-SS主要是用于卫星通信、微波通信、跳频/跳时结合的混合体制中,较少单独用于VHF、UHF战术电台等通信系统中。

随着民用直扩码分多址(DS-CDMA)移动通信技术中的功率控制技术(解决了直扩通信的“远-近”问题)、RAKE接收技术(克服了多径效应)、动态声码器技术等核心技术的突破,促成第三代移动通信体制是CDMA制^[1]。将先进民用技术应用于军事是自然的,直扩通信技术已经开始在军用战术移动通信电台,数据分发系统中发挥重要作用。1996年美军演示了SICOM公司研制的一种新型HF直扩收发信机—多业务直扩HF电台的功能,工作频率1~30 MHz,扩频带宽1.5 MHz,能抗多径效应和干扰,能以58 kb/s速率传送数据,语音、彩色电视信号,该电台适用于指挥、控制、远程通信和情报,通信距离达到1 600 km,信号谱密度低,几乎不被截获^[2]。

未来直扩通信研究将集中在:1)自适应功率控制技术和多用户干扰抑制技术相结合,以解决直扩系统的容量;2)多进制高效直扩技术。多进制高效直扩是利用一组扩频序列对含多个比特信息的信息码组进行扩频而非以比特为基础进行扩频,其具有在扩频序列长度一定、速率一定时,可传输更多信息;而信息量一定、伪码序列速率一定、扩频处理增益更高、抗干扰能力愈强的优点。美军的JTIDS^[3]系统,采用了多进制直扩、跳频、跳时相结合通信体制,直扩码长32位,每32伪码代表5 bit信息,处理增益15 dB。要实现高效多进制直扩,关键是寻求足够长、足够多的符合扩频要求的伪随机码序列;3)高速编码器技术;4)同FH、TH等组合抗干扰技术;5)变码直扩技术,实现码型自动变换,能增加干扰方识别码型的难度,增强直扩信号的反侦察、抗干扰能力,解决变码直扩的关键技术是解决变码同步、高速变码器件的实现等技术;6)多电平扩频码序列技术。

1.2 跳频技术

跳频技术是军事通信抗干扰技术中应用最广泛、最有效措施之一,其原理是信息码同伪随机码模2相加后,去离散地控制射频载波振荡器输出频率,使发射信号的频率随伪码的变化而跳变。跳频技术抗干扰能力得益于信号载波频率在很宽的频带内跳变,使干扰方难以跟踪。但其瞬时带宽同定频一样。跳频通信研究始于70年代,军用跳频电台在80年代中期就开始

装备部队,主要以美军Sincgars、英国Jaguar、法国的PR4G战术电台为代表。现阶段中高速跳频技术仍是对付跟踪式干扰的有效措施,增效方法是提高跳频速率,加大跳频带宽、变速跳频、适当增加跳频组网数目。

1.2.1 扩展跳频带宽及处理增益

跳频带宽宽,可跳频道数多,抗干扰能力就愈强。对于宽带阻拦式干扰来说,干扰效率与干扰的带宽成正比。例如对于10 MHz中频带宽,信道间隔25 kHz,共400信道,当干扰机对该跳频台实施10 MHz拦阻式干扰时,干扰功率平分在400个信道上,干扰强度仅为定频干扰的1/400。若带宽再增加,抗干扰力会更强。随着技术进步,促进了全频段、多频段跳频电台的诞生,使跳频带宽越来越宽。例如美军的单信道地面和机载无线电系统Sincgars跳频电台,在30~87.975 MHz整个跳频带跳频,信道数为2 320。南非TR600,在20~100 MHz,100~200 MHz,200~400 MHz三个频带内跳频。美国正在研制的Milstar战略战术卫星通信系统计划在3 500 MHz带宽内跳频。然跳频带宽过宽时,对天线的带宽和调谐能力要求加强,使人网所需同步捕获时间增大,还可能使不同网络的多部电台同时落入一个频道产生互相干扰,为解决这些问题,许多跳频电台采用分频段跳频,如Jaguar电台,将VHF分为9个频段,在每个分频段6.4 MHz带宽内256信道中跳变。

1.2.2 提高跳频速率

跳频速率增高,可以实现在干扰到达之前完成频率的变化和信号的接收,抗干扰能力也就增强。提高跳频速率是对付跟踪式干扰的有效方法。例如跳频电台速率为200 H/s,干扰机距离差小于30 km,信号驻留时间4 ms,如果通信侦察机搜索跳频信号的时间和干扰信号引导时间之和为1.2 ms,则有70%的信号被干扰。当跳频电台速率提高到400 H/s,要干扰50%的信号就不是跟踪式干扰能够实现的。目前,新一代的VHF跳频电台的速率已大大提高了,如法国的PR4G电台跳速400 H/s,意大利Hydra/V电台跳速400 H/s, Jaguar跳速50~500 H/s, Sincgars电台达到数kHz/s, HF2000短波数据系统跳率2 560 H/s,美军采用差分跳频技术的HFChess系统跳率5 000 H/s,无纠错时数传速率达到19.2 Kb/s,在4.8 Kb/s时,电台误码率达到 11×10^{-5} , JTIDS系统跳速38 600 H/s(新一代76 000 H/s)。

进一步发展高速、超高速跳频电台,需要解决数字频率合成与切换、中频滤波器因频率切换产生的瞬态扰动、高速跳频脉冲对邻道干扰等技术问题。

1.2.3 自适应跳频

自适应跳频是将跳频信道与信道质量联系起来,利用战场频率管理系统管理跳频信道,当某个信道/频率段受到干扰时,系统能自动识别,自适应改变跳频图案,重新跳到无干扰的频段上,从而克服了部分信道被干扰带来的影响。如法国 PR4G 跳频电台具自适应跳频功能,在 40% 的信道被干扰时,依然能做到语音可懂。自适应跳频技术是未来跳频技术的一个重要发展方向,它的发展,取决于自适应信号处理技术的进步。

1.2.4 跳频码编码技术

伪随机序列码的选择对直扩、跳频通信都是十分重要的,要求扩频码周期长、伪随机性好、种类多、容易产生。目前选用的伪码主要有 m 序列、Gold 码、R-S 码、非线性伪随机码。先进的跳频码有益于提高跳频通信抗干扰能力和设备系统的实现。

1.2.5 跳频通信网互连技术

现代战场通信中同时使用了多种不同型号、规格的跳频电台,它们的频率、信号格式、同步方式、伪码形式都可能不一样,实现这些跳频电台互连互通对提高战场通信能力,协调各军兵种作战是十分必要。美军正在研制开发的软件无线电台 (Speakeasy) 的目标是实现一个三军通用的宽带多频段多功能/数字化无线电台平台,工作频段 2~2 000 MHz 可扩展至 X 波段,能用软件方式改变参数以兼容现有的各类电台,能同时处理 4 个以上不同的调制波形。采用机内测试和自恢复技术,具有很强的抑制窄带/宽带干扰能力和自适应均衡能力,并能作功率、速率自适应。Speakeasy 电台工程在 1994 年 8 月已成功演示多种电台互连互通功能。如 Have Quick、HF modem、自动链路和 Sincgars 的互通, UHF 跳频网同 VHF 跳频网的互通。Speakeasy 电台的出现,将为跳频网之间的互连互通提供理想的网桥。

跳频通信将向着跳速高速化、多频段/全频段带宽、自适应变速跳频、多种网台互连互通方向发展。跳频通信是一种很有效的抗干扰技术,但存在电磁兼容性较差,网台位置设置较困难;频率的计划和管理复杂;易于引起频率污染,干扰友邻电台;在有效数传方面亦存在一定技术困难,这就决定了跳频技术并非在任何情况下都是最有效的抗干扰措施。

1.3 跳时技术

跳时就是一种时分信道,用伪随机码随机选择信道工作时间,可视为一种伪码调制系统,它具有很好的远近效应一致性,模拟和数字体制都可使用。跳时的优点是用时间的合理分配来避开干扰,干扰机必须连

续发射才可能收到效果,增大了干扰代价,也就具有一定的抗干扰能力。一种更加隐蔽的跳时通信技术是使用流星散射传输链路,现已证明这种通信是非常可靠的,具有良好的低截获概率和抗干扰能力。当同一信道中有许多跳时信号时,可能发生几个信号相互重叠,为此,必须利用纠错编码或协调法构成时分多址。跳时技术单独使用较少,常与其它方式结合应用。

1.4 混合扩频技术

DS/FH 体制是目前应用较多的一种综合扩频技术,其能获得较大的处理增益,大大提高通信抗干扰能力,其既发挥 DS 信号低截获、高隐蔽性优点,又发挥了跳频的全部优点,使得远近效应、多径效应、同台干扰、同步问题都较好地得到解决。意大利的 Hydra-V 电台,是 DS/FH 体制的成功例子,由于采用了直扩技术,RF 信号谱密度低,与单纯 FH 系统相比,有 9dB 的得益,提高了抗截收、抗测向能力。Hydra-V 亦是一个宽带系统,跳率达到 100~200 H/s,不易受跟瞄式或应答式干扰机的干扰。美军的战场信息分发系统中 EPLRS、JTIDS 是 DS/FH/TH 混合体制成功典范,PLRS、JTIDS 都具有很强的抗干扰、抗截获、保密能力。

2 自适应干扰抑制技术

自适应技术就是能够连续地测量跟踪信号和系统特性的变化,采用自适应算法、高速数码信号处理方法自动地改变系统结构和参数,使通信系统能适应电磁环境变化而保持优良性能,它能保护通信系统尽可能地消除干扰的影响。自适应干扰抑制技术可分为空间自适应技术,如自适应天线技术;频率自适应技术,如自适应跳频、自适应频率滤波、自适应信道选择等;电平域自适应技术,如自适应功率控制,自动增益控制 (AGC) 三个主要研究领域。

2.1 自适应天线技术

自适应调零天线是采用空间信号处理技术,通过控制相控阵天线单元的距离和天线电流的相位,使天线方向图的波瓣零点对准干扰方向,而使最大方向主波束对准接收信号方向,其本质是一种自动调节天线方向图的空间滤波器。自适应天线应用的核心是当信号和干扰传来的方向随时间变化时,空域零陷滤波能达到其动态地从空间检收和强化信号,阻止或抑制干扰的目的;在没有信号和干扰环境的先验知识情况下能自动地对消任何来自不同于有用信号方向上的干扰,且干扰信号越强,对消效果愈好;增强系统有用信号的检测能力并能有效地跟踪有用信号,抑制和消除

干扰和噪声而保持系统性能在某种准则下最优。自适应调零天线技术具有很强的抗干扰能力,能有效对抗不同形式的干扰,如宽带干扰、窄带干扰、同频干扰、邻道干扰。自适应天线的阵元数增多,还可增加零点数来同时抑制不同方向上的几个干扰源,若天线阵元数为 N ,该天线既可同时抑制 $(N-1)$ 个同频干扰信号,又可抑制少数宽带干扰信号。

自适应天线技术在通信领域得到广泛应用,它是军事卫星通信的主要抗干扰措施。美军 SNAP-I 电台使用了 CP-1380/VRC 自适应天线,响应时间小于 0.5 s,干扰抑制效果已达到 25~35 dB;英国的 PV2413 自适应天线干扰抑制度已达到 40 dB^[5]。

自适应天线技术研究正朝着抗多方向、宽频带干扰;提高天线调零响应速度;发展新的自适应算法(最大信噪算法、最小均方误差值法、功率自适应均衡算法等)以提高收敛速度和精度;与扩频技术相结合提高通信系统综合抗干扰能力。

2.2 自适应功率控制

功率自适应控制是根据干扰信号电平的高低来调整发射机的输出功率,使输出信号电平随干扰信号电平变化而变化,这样既节省信号功率,又能压制干扰信号,同时降低对友邻电台的干扰。

2.3 自适应信道选择

自适应信道选择技术同自适应跳频技术相类似,是实时监测信道特性和质量,及时准确地发现敌对方施放的电子干扰种类和特性,迅速采取相应的抗干扰措施;或者遇到干扰时,自动切换到最佳信道或次最佳信道上继续进行通信。应用人工智能、专家系统的战场频谱管理软件的实现为自适应信道选择、自适应跳频技术的实现提供了基础,使他们得到实际使用。在海湾战争中,美军在一些战术无线电台上配置了战场频率管理模块,例如 AN/TRQ-35(v)、AN/TRKQ-42(v)战场频率管理系统,正是这些系统和模块支撑着短波通信电台网,使之能根据战场电磁环境变化,自适应地选择信道,加强了短波电台在战场上的地位和作用,保障了战术通信链路的畅通。

3 猝发通信技术

猝发通信是首先将正常速率的信息存贮起来,然后在某瞬间以 10~100 倍或更高于正常速率的速度猝发;接收机则是将信息记录下来后,按正常速率恢复出原信号。猝发通信具有随机性和短暂性,是一种有效的抗干扰措施,现有多种设备问世,主分为两类:一类是同步数字信息猝发装置,它是直接将数字信息发送

出去,具有高的数传速率;另一类是调制式数字信息猝发装置,发送时先将数字信号进行 FSK 调制,变成相应的两个或多个单音音频信号发送出去,这种装置数传速率较低,但结构简单。

微处理器应用于通信设备后,许多战术 HF、VHF 通信电台和系统都配备有各种类型的数字信息猝发模块。正常 HF 电台使用 50、10、200 bit/s, VHF 电台最高为 600 bit/s,而猝发通信则可达数千 bit/s。瑞典的 SFARCOM 电台,法国的 TRC-950 电台,都具有猝发通信功能。意大利 CDM-1 型数字信息猝发终端的数传速率达到 4 kbit/s,传输时间很少超过 35~40 s,并具强纠错能力和高保密性,不易被检测。

4 纠错编码技术

数字通信具有效率高、保密性好、易于实现数字加密和多路复用,有较好的抗干扰、抗侦听能力,目前绝大多数战术电台、通信系统都是实现了数字化。如 JTIDS、PLRS、MSE,英国的松鸡系统等。为了提高数字通信系统的抗干扰能力,常采用具有发现并纠正错误的能力的纠错编码技术。纠错编码技术的抗干扰能力是通过增加信息冗余度,降低每比特信息量为代价的。纠错编码方法种类繁多,主要有 3 种:反馈纠错法、前向纠错法和反馈前向纠错法。在快跳系统中,采用比特交织编码法可以纠正大部分频带内脉冲干扰引起的突发错误。反馈纠错法设备易于实现,效果比前向纠错法好些,它能根据电路的好坏自动调整传输速度。前向纠错法采用固定频率,通常按最差电路情况进行设计,编码的冗余度比较大,编码效率低。

纠错编码技术的进一步研究方向是发展新的编码理论和技术,提高信息速率和抗干扰能力;发展自适应纠错编码技术,自动根据信道质量选择编码效率和种类,以提高通信系统的传输容量和流量。

混沌系统的随机性和确定性为扩频码的产生提供了一种新思想,其源于混沌系统对其初始条件的灵敏依赖性,能产生大量不相关的、类随机的、确定和能再生的信号序列,为扩频通信提供了新的编码方法—混沌编码及扩频技术,是目前正在开发研究的一种新型抗干扰技术。

5 综合抗干扰技术

电子对抗技术的发展,促进干扰和抗干扰的水平越来越高,为了保障通信链路畅通,新一代通信装备普遍采用集多种抗干扰措施于一身的综合抗干扰技术,如综合使用扩频技术/自适应天线/信息加密技术,信

息加密/猝发通信技术等,使其具有综合抗干扰能力。法国的 PR4G 电台,集跳频、自适应技术和保密技术为一体;美国的 JTIDS 系统,集跳频、直扩、跳时、保密、猝发通信等技术于一身,大大提高了它们的电子反对抗、抗干扰性能。

美军的“联合高级特种作战无线电系统”JASORS 和软件无线电技术的出现及发展为综合抗干扰技术的实现开辟了一条新途径。在软件无线电通信系统中,当信息发射时,尽可能采用可编程的信号处理技术完成从基带到中频、调制等部分的处理,尽可能晚地将数字信号变为模拟射频信号;当信息接收时,尽可能早地将模拟中频信号变为数字信号,用可编程的数字信号处理完成信号的解调等各种处理。这样通信系统中的各种波形的产生、通信方式、信号处理都是采用软件方法去改变和实现,从而使一部设备可完成今天几十种不同通信设备的功能。

多功能、多频段工作方式的三军通用的软件无线电平台的实现依赖于高速率可编程的数字信号处理器件的发展和进步。随着全可编程的扩/跳频单元,扩/跳频波形的软件产生技术、数字信号处理技术和器件的发展,具有综合抗干扰能力的软件无线电技术会得到迅速的发展,将推动整个军事通信综合抗干扰技术的进步。

6 军事通信抗干扰技术的展望

现代军事通信设备和系统的抗干扰能力已达到了很高的水平,但其抗干扰等反对抗技术的发展远未达到顶点,随着新型的、先进的、多功能的、超大功率、超宽带干扰系统的出现和进化,电子对抗斗争会更加激烈,军事通信电台、通信网将面临全频段的四维一体化、自动化阻塞干扰的挑战。为确保未来高技术战场中必要信息的安全可靠地传送,通信抗干扰技术研究仍将在更加广泛的领域中进行下去。研究开发可能集中在以下几个方向:1)研究综合扩频抗干扰技术,实现 DS/FH/TH 和各种多址方式的集成系统。如研究跳频与多进制直扩结合技术,这能有效提高处理增益。在 VHF 频段,跳频信道带宽 25 kHz,信道数 2 320 个,跳频增益 33.6 dB;若跳频信道带宽 50 kHz,跳频增益 30.6 dB,但其同多进制直扩结合时,多进制直扩跳频系统总增益可达到 60 dB,比单独跳频可获得 27 dB 净处理增益(设扩频码长 L ,多进制数为 N ,可获得直扩增益为 LN 。若 $L = 128$, $N = 8$,直扩增益高达 30 dB (2.4 kb/s)),可大大提高抗干扰能力。研究高速、超高速跳频并具体实现;研究自适应探测空间信道、变速

跳频、环跳取代技术;研究多频段、宽频带跳频系统;研究新的高处理增益宽带扩频技术;研究性能优良的伪码序列的编码方案和实现技术。2)研究自适应干扰抑制技术。当今民用移动通信中能自动跟踪移动终端的天线方向性自动调节技术日趋实用化,其可获得高的天线增益和很窄方向图,可增强信号和抑制干扰,若同扩频技术相结合,可获得很高的抗干扰能力;研究自动功率控制、自适应信道选择、自适应频率滤波等智能技术以及新的自适应算法理论和实现方案。3)研究数字通信技术、猝发通信技术、分组交换技术、密码技术、同步技术、提高数传速率、信息保密性;研究全数字化电台和系统。4)研究综合的抗干扰技术,如扩频与猝发相结合、扩频自适应与保密通信相结合、自适应天线和综合扩频相结合等技术。研究实现多频段、多模式、自适应的多功能智能电台及系统的实现方案和途径,其中软件无线电技术是研究的重点和难点。5)研究通信干扰一体化技术和通信电子战新技术,实现电台、通信网的“扰中通”和“通中扰”能力。这里提出两种方案:一种方案是采用大功率、超大功率发射机(10 KW)的通信—干扰一体化系统。在一般情况下系统用作干扰机,必要时,通过智能控制,使其又作通信电台使用。无论是作干扰,还是作通信,都占用敌方通信信道,这能对敌方通信造成威胁,对我方则达到“扰中通”,“通中扰”的目的。用作通信手段时,由于占用敌方通信信道,敌方若感到受干扰,采取的第一措施必然是抗干扰,然后才查核“干扰”源;敌方在检查前,一般要停止自己的通信,否则两种信号混在一起不易分析;敌方停止通信,我方若能实时发现并改频到敌方其他信道,这样我方的通信具有较好的机动隐蔽性;即使敌方发现我方通信行为,要对我方实行干扰也不易,这在于我方是大功率发射机,敌方干扰必须采用超大功率干扰机,这在目前的体积、重量、电源和发射机技术方面还难于实现,故我方的通信可得到保障。另一方面,敌方要干扰我方,必然要停用自己信号,否则会干扰它自己的通信,此时若我方的信道能随敌变而变,敌方的干扰是难奏效的,还会扰乱自己的通信。第二种方案是采用自适应零位天线调整加干扰机的一体化通信战技术方案。己方两个电台不受己方干扰机的影响能顺利通信,而敌方必须朝着干扰机方向才能侦收信号,在干扰功率很大时,敌方是难于实现截收和识别信号,也就谈不上实施有效干扰,对己方则实现了“扰中通”;处于干扰区域的敌方电台是难于顺利通信的,则实现了“通中扰”的目的。6)研究通信网抗干扰技术,实现同一通信网中各种抗干扰技术的有机综合,有效地提高通信网

的整体抗干扰能力和抗毁能力。

总之,随着电子技术、微电子技术、计算机技术、信号处理技术和人工智能技术的进步和飞跃,军事通信抗干扰能力必定会增强,通信抗干扰技术一定会得到更大的发展。

参考文献:

[1] 李少谦. 扩、跳频通信技术的发展和展望[J]. 电子科技

大学学报,1996,25(19):299-302.

[2] 赵志法,曾道海,冉隆科等. 现代战术通信系统概论[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
[3] 文光俊,李世贵. 高功率微波源干扰 JTIDS 信号的可能性分析[J]. 四川轻化工学院学报,1999,12(3):1-8.
[4] 刘徐德. 战术通信、导航定位和识别综合系统文件(第一集)[M]. 北京:电子工业出版社,1992.
[5] 魏安全. 现代通信电子战技术[J]. 现代军事通信,1998,6(2):23-28.

Development and Prospects of the Anti-jamming Communications

Li Shi-gui, Li Qing

(Chongqing Petroleum College, Chongqing 400042, China)

Abstract: An overview of the developments of some key technics such as spread frequency communication, adaptive anti-interference and comprehensive anti-jamming technology in anti-jamming communications over the world is shown and discussed. Some suggestions to develop anti-jamming communications are also given in the paper.

Key words: anti-jamming communication; communication countermeasure; military communication; spread frequency communication

(责任编辑 吕蓉英)

(上接 147 页)

Advancement of Coagulation Science and Technology

YUAN Zong-xuan, ZHENG Huai-li, SHU Xing-wu

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The research advancement of flocculation theory and technology are introduced in this paper. The content includes flocculation theory, flocculation kinetics, flocculants species and coagulation auto-control technology. At last, some advices are especially presented on the development of flocculant, the structure and species of flocculant.

Key words: coagulation-flocculation; flocculant; advancement

(责任编辑 刘道芬)