

# 全国扩频通信、短波通信与无线通信 新技术学术交流会议论文集

中国通信学会无线通信委员会  
IEEE北京分会通信学会  
电子科技大学信息系統研究所  
四川省通信学会  
四川省电子学会信息与通信委员会

一九八九年九月·四川

为加速我国扩频通信、短波通信和各类无线通信新技术的发展，加强学术交流，中国通信学会无线通信委员会、IEEE北京分会通信学会、电子科技大学信息系研究所、四川省通信学会、四川省电子学会信息与通信专业委员会等单位于1989年9月在四川省平武县联合召开“1989年全国扩频通信、短波通信与无线新技术学术交流”。

60余篇学术论文和技术报告，在一定程度上反映了近年来国内在扩频通信、短波通信和无线新技术领域的研究成果和应用水平。这次会议的召开，必将对我国发展无线通信技术起到积极的作用。

论文集包含四个部分的内容。第一部分为扩频通信，包括扩频通信网，扩频抗干扰以及扩频调制解调技术等；第二部分为短波通信，主要反映了国内短波数据通信的研究成果和技术发展；第三部分为分组无线通信，内容包括对国内外分组无线通信的介绍及研究进展等；第四部分为移动通信、调制解调技术、纠错编译码、保密技术等，有重点地介绍了研究成果和实际应用经验。

最后，感谢各位论文作者为本次会议提交论文，并对有关单位各级领导的支持表示衷心感谢。通过这次会议，我们希望国内从事无线通信事业的教授、专家、工程技术人员以及领导干部，进一步加强合作，积极进取，为我国的通信现代化作出贡献。

本论文集由四川省电子学会信息与通信专业委员会代理发行。对论文集有兴趣的单位和个人请与四川成都：电子科技大学信息所夏超时同志联系。  
邮政编码：610054。

中国通信学会无线通信委员会  
IEEE北京分会通信学会  
电子科技大学信息系研究所  
四川省通信学会  
四川省电子学会信息与通信委员会  
一九八九年九月

# 目 录

题 目	作 者	页 码
新一代野战通信系统中采用新技术的浅见	郑祖辉	(1)
地域网无线电中心的体制的探讨	蒋同泽	(6)
地域干线战术通信网的网络拓扑模型研究	郭 伟 洪福明	(10)
FH/SSMA 和DS/SSMA 性能比较	雷 斌 李正茂	(14)
高速跳频频率合成器的研制	洪福明 李少谦	(19)
DS/TH 混合扩频多址通信系统计算机模拟抗干扰的分析	查光明 黄克宇 余 红	(22)
快速FH/DS 扩频粗同步装置研究	李少谦	(26)
DS/TH 扩频通信系统中的快速同步技术	夏超时 熊贤祚	(31)
提高同步系统的性能的一种新方法	赵荣黎	(35)
一种新型快速比特同步系统及其在TDM/TDMA扩频移动通信中的应用	姚富强 张厥盛 郭国扬	(39)
地域网与扩频、跳频移动网间同步的一种方案	查光明 夏超时	(51)
有编码的FH/MFSK 扩频通信系统的性能	李仲令	(56)
2FSK/FH 体制抗干扰性能的计算机模拟	黄克宇 查光明	(60)
最小均方(LMS) 算法在自适应扩频抗干扰系统中的应用	林福华 钟 诚	(64)
一种SAW 扩频调制器	曾兴雯 杜武林	(68)
声表面波器件在自适应滤波中的应用	孙宝申	(72)
小型扩频通信天线	陈文汉 吴为公	(76)
SCIMITAR-H跳频电台	谈振辉 蒋春升	(80)
一种无中心的码分多址通信网	郑鸿明 项海格	(85)
扩频信息加密及其加密码的研究	李振玉 于双元	(89)
关于扩频码的奇自相关函数及数字匹配滤波器的一些研究	洪海涛	(94)
跳频抗干扰多址通信系统的误码率性能	李正茂	(98)
短波数据通信网组网方案的探讨	魏鸿骏	(104)
短波数传中的一种混合型自适应均衡技术	张 辉 徐炳祥	(108)
高频自适应通信技术探讨	张家鑫	(112)
一种用单片机实现控制的高频信道测试系统	张家鑫 忻美娟	(117)
一种简化的自适应均衡算法—近似RLS 算法	周 诤	(121)
分组无线网的发展概况与趋势	李正茂	(125)
扩频多跳网应答协议的研究	郝 析 李承恕	(132)
分组无线网的结构与协议	雷维礼	(137)
多跳多信道窄带分组无线网络的探讨	李安涛	(141)
比特率可变综合业务网的访问控制	杜榕平	(145)
业余分组无线网	胡 迟 李正茂	(150)
DS/TH 混合扩频码分多址通信电台在分组无线网中的应用	查光明 熊贤祚 夏超时	(156)
蜂窝状无线电话系统规划的初步研究	吴小平	(161)
移动通信中抗衰落和噪声方法研究	陈 跃 金力军	(167)
移动中继通信方式的研究	张 治	(171)
淮河干流水情数据无线通信网	唐镇松 沈伯弘 许培良	(182)
公用移动通信网网络设计的计算机仿真	查彦彬 夏超时 查光明	(186)
话音信号的时间压缩复用频幅分传通信	缪民强	(192)

微波中继通信微机监控系统的可靠分析	王向明	巫之鹤	(196)		
浅论模拟和数字微波系统的兼容传输与复用转换		岳炳良	(201)		
一种适合于多点通信系统的随机预约按需分配协议	陈正石	宋其丰	(205)		
3JDD-4A型无线电话机安装中的一些计算问题		张新武	(209)		
三类传真机(G3FAX)无线通信		曹本富	(213)		
单片机在铁路平面调车电台控制方面的应用	姚冬苹	汤斌	(215)		
平滑三电平调频GTFM及GMSK的抗衰落及抗同道干扰的性能		李建东	(227)		
数字通信系统的形成滤波器优化设计	吴诗其	冯纲	(231)		
高斯预滤波器的四元调频与卷积编码结合的研究	欧斗飞	李乐民	(235)		
TFM的波形存储表格检索产生方法		葛晓光	(239)		
最小频移键控——一种值得注意的调制方式		杨剑康	(243)		
数字化单边带调制技术	蔡超时	高福安	(247)		
数字通信中的前向纠错技术		李仲令	(255)		
分组码的卷积交错编码	刘玉君	朱长流	王炳锡	(259)	
RS码的变换译码和BERLEKAMP算法的改进	刘玉君	王炳锡	朱长流	刘飞	(263)
2ACS部分并行维持比译码器的实现		李瑛	郭梯云	(266)	
回波对消的自适应方法		朱长流	王炳锡	(263)	
顽键矢量量化器的研究	林韵	姚佩阳	胡征	叶雷	(276)
特宽复盖低相噪 VCXO	陈跃武	袁家榭	张有正	(280)	
DES密文的频带特性		邱舒林	(285)		
关于Ungerboeck映射最优问题的讨论	陈常嘉	康士棣	陈太一	(289)	

## 新一代野战通信系统中采用新技术的浅见

郑 祖 辉

摘要：本文主要从新一代野战通信系统中所采用的新技术作一些简要探讨。

地域通信网采用数字传输、数字交换、自动路由选择的干线节点网；数字微波接力将是地域通信网的主要传输信道，并采用抗干扰措施。

数据通信在未来战争中将越来越显示其重要的地位，分组交换在地域通信网中实施数据交换和传输，用户中的非话务终端将占一定比例。

军用移动通信要采用具有抗干扰措施的新的多址方式、信令和频段等，以满足快速反应和机动灵活的要求。

单工无线电主要在抗干扰和增加功能上显示其新特点。

### 引 言

为了适应未来战争的全方位、大纵深和立体化的要求，野战通信必须在抗毁、及时、机动灵活、抗干扰、电磁兼容和保密可靠等方面提高其性能，因此，在新一代的野战通信系统的研制和生产中，世界各国军队都特别强调这些内容。

新一代野战通信主要由单工无线电网和地域通信网组成。单工无线电网新的产品有：美国的SINGARS系列、英国的JAGUAR和SCIMITAR系列、法国的TRC-900系列、瑞典的STARCOM以及西德的SEM系列等等；而地域通信网比较著名的有美国的“移动用户设备、(MSE)系统、英国的“松鸡”(PTARMIGAN)系统以及其新一代“多功能系统”(MRS)、法国的“里达”自动综合传输网(RITA)、瑞典挪威的“增量调制移动通信”(DELTAMOBILE)系统以及西

作者单位：总参谋部第六十一研究所

德的军级自动传输网 (AUTOKO) 和西门子公司战术多路通信系统 (TMCS) 等。

美军在数据传输和定位报知方面还采用了联合战术信息分发系统 (JTIDS) 和定位报知系统 (PLRS) 等等。

所有这一些系列或系统都采用了许多新的通信和电子技术, 以满足未来战争对通信的要求。

### 一、地域通信网的数字传输和数字交换

由干线节点组成的地域覆盖是地域通信网的主要功能之一。地域覆盖实际上是干线节点互连成网, 故也可称作干线节点网。干线节点间是用以数字微字接力机为主要传输信道来互连的。每个干线节点交换机都有一个时-空-时矩阵的电路交换机进行群路交换, 因此干线节点网中全部是数字传输和数字交换。地域通信网中的固定用户 (有线) 和移动用户 (无线) 都是以数字传输方式和干线节点相连而入网的。因此地域通信网内用户间的通信在中间任一要素的中间环节上都是不解码的, 这就保证了用户间可以用增量调制 1.6 千比特/秒速率的高质量话音传输。

由于每个干线节点交换机都有一个数据库存储与其各自相连的用户的电话号码, 因此它能使用户在网内进行自动寻找被叫用户, 而不必知道被叫用户所处的位置。地域通信网还采用了泛搜索的饱和路由或有用户表的确知路由法, 因此它能进行路由自动选择, 并使用户间通信连接既有直达路由、又有迂回路由。这一些都保证了地域通信网内通信的及时性和网络的抗毁性。

数字微波接力机在地域通信网中将是主要的群路传输信道。由于它的重要地位, 因此已引起各国电子战部队的关切, 已作为一种干扰对象。因此接力机中设有抗干扰措施已到了刻不容缓解决的时候。近几年来各国推出的新型军用战术数字接力机不仅都配有相应的群路加密设备, 而且都已经或正准备研制各自相应的抗干扰措施, 这些抗干扰措施大致有以下几种:

- (1) 快速调谐窄带滤波器
- (2) 带内扩频
- (3) 微波零位调整天线处理品 (UHF SNAP 或 SAJE)
- (4) 前向纠错编码设备 (FECC)
- (5) 自动功率调整 (根据信道误码率高低)
- (6) 扰码电路

等等。

因此，这将使接力机信道传输有一个质的变化。

## 二、数据通信将越来越显示其重要地位

军队的指挥、控制和情报传递中，数据业务传输和交换，只靠电路交换是不敷应用且效率也很低，因此，为了满足及时而又高效率的数据通信，必须使用分组交换技术。分组交换机不需要外存设备，交换机本身有限容量的内存即可存贮和转发，所以分组交换的电路利用率高、传输延迟小、及时性高，在网内以最快的路由将数据发送目的地，同时分组交换机价格低（相对于电路交换机和信息交换机而言），可靠性高等。

数据通信在野战通信中除美军有专用的联合战术信息分发系统（JTIDS）外，其它国家一般都采用数据网络（分组交换网）叠加在电路交换网上实现的，它们符合CCITT的X.25建议：\*用专用电路连接到公用数据网上的分组式数据终端设备（DTE）与数据电路端接设备（DCE）之间的接口，\*由高级用户电路构成互联。

分组交换网中除分组交换机外，还有分组建装/拆卸设备（PAD），每个PAD机能接入10~20个或更多的数据用户终端，异步数据率为50、75、100、300、600、1200、2400比特/秒，同步数据率为2400、4800、9600比特/秒。每个PAD可以有若干个端口，每个端口速率一般为16千比特/秒或32千比特/秒。

分组交换网符合国际标准化组织（ISO）规定的七层参考模式的前三层，即物理层、数据链路层和网络层。

当然数据通信中还必须有适当的信息处理和差错控制方法，以使传输误码率尽量减小。

数据通信中的技术也是比较复杂的，而且分组交换也是一项比较新的技术。

## 三、移动通信具有抗干扰性能，采用新的多址方式。

移动通信在野战通信中占了非常重要的一席。在地域通信网中移动通信分系统是实现无线电移动用户入网功能的主要手段。由于军用移动通信牵涉到的技术比较多，经济性也较高，因此，起初只有少数国家军队的地域通信网才有这个分系统，但由于移动通信是保证军队机动作战指挥的重要手段，所以近几年来发展很快。但是移动通信中仍有一些问题需要研究，特别是随

着电子技术和元器件的发展，军用移动通信的技术也在变化。例如多址方式在相当一段时间内进行过争论，主要是法国的“里达”系统的英国的“松鸡”系统分别采用了频分和上频下时制，他们各执一词，但是这两种方式在抗干扰性能上都是较弱的，而时分和码分却可以实现，尤其是码分有其特殊的本性，但是这两种多址方式当时要实现都有困难，而码分多址至今仍无使用的实际系统，这主要是码分多址具有占用过宽频带，频谱效率低和各地址之间并非完全正交（实际上是准正交），当地址多时，互相间有相当大的干扰，从而限制了用户数量等缺点。时分多址则有许多优点，如中心台无需天线共用器，也无互调干扰，同时中心台设备比较简单、体积小、功耗小、价格也较便宜，用户台的平均功率很小，功耗小，因它只在选定的某一时刻上工作。由于时分制是全数字化，故使用程控数字交换机时可直接接入，对未来数字网很适合；但时分制必须留有保护时隙。由于大规模、超大规模集成电路的出现，使得这个缺点比较容易克服了。考虑到时分多址的优点比较多，再加上采用扩频技术，这更可以克服陆上多路传播所带来的对传输速率的限制，使传输速率可以超过150千比特/秒的界限（如目前“松鸡”系统的“下时”的传输信息速率只能限制在100千比特/秒之内，故它的12个信道传输时，需设置2台发射机），可达500千比特/秒，这样一个波道可以传输到20个或更多的16千比特/秒的话路信息。

由于整个系统采用同一的扩频伪随码序列，而此码也是该系统中心台的识别码，这就可使移动台在过网工作时容易识别不同的中心台，而各中心台移动台却都可使用同一个频率（仅识别码不同，而构成不同的工作区域），即节约了频率资源，又使敌方测向困难，无法确定中心台位置，提高了保密性和抗干扰性和安全性。这种技术在美军的联合战术信息分发系统（JTIDS）已有使用，在民用陆上移动通信CD-900系统也开始试用，因此在军用移动通信中，使用扩频时分体制是大有前途的。

移动通信使用新技术很多，本文不一一叙述了。

#### 四、单工无线电台将在新一代系列中以提高抗干扰和增多功能为主要特征

单工无线电台在军用通信中仍是一种重要的手段，尤其是营以下通信，将是重要的手段。单工无线电台具有抗干扰措施已势在必行了。问题是采取什么样的措施才不致于在未来战争中遭到新型电子干扰的威胁倒是需要仔细



研究的。目前在甚高频频段采用100~300跳/秒的中速跳频已屡见不鲜，可以说甚高频中速跳频电台已经成熟。由于跳频是一种躲避式干扰，所以要提高它的抗干扰能力，只有从跳速和跳频宽度上下功夫，而随着快速ESM和ECM的不断出现，中速跳频的跳速将不能适应快速干扰响应时间的变化，同时跳频电台对数据传输的适应性较差，因此近几年来混合式扩频无线电台已经出现，如意大利的HYDRA-V采用了DS/FH混合措施，它的总处理增益比单一跳频方式的要高5~7分贝。国内最近也有专门研制DS/TH，它也有较好的处理增益值和干扰裕度。混合式DS/FH既具有跳频的躲避干扰能力，又有直接序列的抗干扰性能。

高频无线电台采用跳频措施目前似仍在讨论中，由于高频无线电波的传输特性，使单纯采用跳频还不能改善高频无线电台传输可靠性和抗干扰性能，而在高频无线电台采用频率自适应措施已引起重视，并确已取得较好的效益。

微处理机应用到无线电台中也是一种发展趋势。无线电台的体积、重量、功耗逐渐减小，但其功能却增多了。无线电台的操作使用越来越简便，配上保密单元后，使各级指挥人员能直接操作使用，这对作战指挥来说无疑会有积极的意义。

新一代野战通信系统中还有一些采用的新技术，如各种新型的单路和群路保密技术和措施；又如通信发展成网络和系统后，需有网络或系统的控制管理功能，这也是一项崭新的技术，等等，不再一一列举。

# 地域网无线电中心的体制的探讨

蒋 同 泽\*

〔摘要〕 本文根据战术环境的要求，简述了频分、时分、码分及上频下时的几种体制，提出了一种较好的扩频时分体制，供研究。

## 一、引言

野战地域网无线电中心究竟采取什么体制，是相当时期以来不断争论的事，国内的讨论已有10年，一直未有结果；国外又有RITA和FT-AMARGAN两个地域网，因而赞成频分和上频下时的也各执一词，美军又借鉴RITA搞了一个N3E。因此似乎频分的赞成者又多了一些，但究竟那一个体制最好，是否除了频分和上频下时就没有其它体制呢？

地域网的无线电中心在技术上采用的仍是多址技术，现今的多址方法不外有频分、时分、码分及其复合的方法。评价这些方法当从以下各点去研究（为了军用，所有这些均是数字系统）：

- (1) 对战术环境的适应性；
- (2) 对电子战的对抗能力；
- (3) 频谱的效率；
- (4) 能适应的用户数；
- (5) 需要的电功率；
- (6) 技术性能；
- (7) 经济性；
- (8) 未来发展的可能性。

## 二、FDMA

频分多址的方法是传统的方法，它具有技术成熟，易于与老装备兼容的特点，即每50MHz或25MHz为一信道，无线电中心有若干个这样的信道供用户使用。

由此可知，无线电中心须有  $n$  个接收机和发射机（ $n$ 为信道数），因而：

\* 总参通信部科技委

天  
(1) 它需用天线共用器，这将增加体积和损耗，并因此限制了无线电中心的信道数目。一般  $\epsilon$  个信道要有  $10\text{dB}$  的衰耗。

(2) 将有非线性的互调干扰存在，如不采取措施，则将使信道的分布不均匀，造成频谱使用效率的降低。

(3) 所需的功率大，如果天线输入端的每信道的发射功率为  $10\text{W}$ ， $\epsilon$  信道的合并器及隔离器衰耗约  $10\text{dB}$ 。因而  $\epsilon$  信道的每一发射机必须  $100\text{W}$  的输出，总输出功率为  $800\text{W}$ 。所以无线电中心需要大的供电功率。

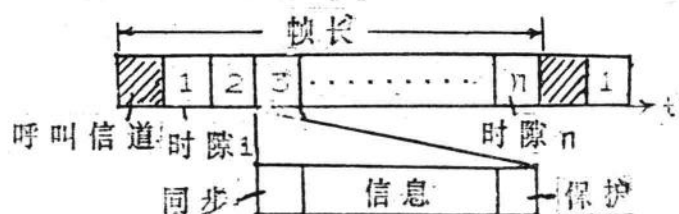
(4) 需要用户直通时，移动台改变发射频率即可。

(5) 中心台设备庞大，隐蔽性差，价格较昂；用户台则成本较低。

(6) 对战术环境适应性同一般战术电台。

### 三、时分多址

采用时分多址的中心台须采取如下的帧结构。



若采取简单的纯时分方案，则由于必须的帧头、同步头及保护时隙造成了有相当多的开销比特，相当于比特率提高，使所占用频谱更宽。

同时由于多径时延造成对传输速率的限制，过高的传输速率将产生不可克服的码间干扰。它与多径时延的大小有关，一般这个速率限制在  $100\sim 200\text{kb/s}$  左右。战术环境的多径时延变化可能很大，一般应取得低一些，因而一个频率（波道）只能传输  $6\sim 8$  个  $16\text{kb/s}$  的语音。它有如下特点：

(1) 一波道只能传输  $6\sim 8$  个  $16\text{kb/s}$  数字语音，频谱效率低。

(2) 中心台无需天线共用器，也无互调干扰。

(3) 中心台射频功率只需数十瓦，功率消耗低，中心台设备简单，价格低，体积小。

(4) 用户台只在指配的时隙才发射功率，所以平均功率小，功耗小。基本上全数字化，可以集成块化，成本低。

(5) 用户之间直通容易。用户台可在任一时隙接收任一台的发话，并在选定的时隙工作。这一性能在中心台故障或被毁时特别有用。

(6) 用户只用同一收发信机，可得到 2 部以上的电话。

(7) 若使用时分程控数字交换机，可以直接接入，无需变换，对

未来数字网很适合。

#### 四、上频下时体制

是上述两种体制的混合。乃是松鸡系统所采用的。它之所以不采用全时分而只采用下时，是考虑到如果上行也采用时分必须增加保护时隙和同步时隙的开销，这将要提高整个传输速率。这样它在上行采用频分制。这对中心台虽然基本保持了无互调、功率小的优点，但却使移动台用户要复杂化，并且不能有用户台之间直通的优点。

#### 五、码分多址

中心台若采用码分体制，即多址信道是用互相关最小的码组来区分。它用扩展频谱技术来进行，方式可以是直接序列，也可是跳频。若采用直接序列，则是在同一频率的共用信道上，以不同的码组互相区分的。

使用CDMA优点如下：

(1) 扩频技术使用得当，可以克服多径所造成的缺点。但许多时候以来这点尚未被人们充分认识。

(2) 它带有一定的保密性。

(3) 它具有一定的抗窄带干扰能力。

(4) 无互调干扰。

(5) 低的频谱密度。

(6) 用户之间可以容易地实现直通。

但也有下述缺点：

(1) 占用的频谱过宽，频谱效率低。

(2) 各地址之间并非完全正交，实际上是准正交，因而当地址数多时，互相间仍有相当大的干扰，这也就是限制它的用户数目的主要原因。

从以上看来，码分是很吸引人的。美国的Cooper是首先建议将扩频码分用于陆上移动通信的，但至今仍无使用中的实际的系统。其原因就在于系统内的互相干扰限制了用户的扩大。

#### 六、建议的扩频时分多址

现在比较起来，纯粹的FDMA，TDMA，CDMA都有一定的缺陷与问题。必须采用混合方式。

考虑到时分多址的优点比较显著，最富有吸引力，其缺点则主要是陆上多径传播所限制的。由于扩频可以克服多径，因此采取在时分基础上进行扩频，用以克服多径对传输速率的限制。其方法是对所传输的每信息比特扩频，即将每信息比特再按一定的码序列分为若干个小片(chip)，则多径信号到来之时，相当于数个有不同时延的码序列先后来，采用相关检测的方法，就可以把主信号同其余的时延信号分开。因而多径时延所造成的码间干扰得以清除。就打破了前述的

时分传输速率的界限。

必须指出，在这里扩频系统无需太大，因它的目的只是消除多径的影响，扩频系数采用 3 左右完全可以（这避免占用频带太宽）。这样，采用扩频时分多址体制的中心台，可以传输信息速率达 500kb/s，而传输速率为 1.5Mb/s。这样一个波道传输 20 个以上的话路是不成问题的。

还应指出，如果采用相应的技术，可以把不同路径来的信息均得到利用，从而提高了信噪比。

因为一个中心台只采用一个独特的扩频码序列（即在该中心台服务范围内均用一种扩频码），所以这一独特的扩频码就可作为该中心台的识别码。因而在不同的区域中，不同的中心台可以采用不同的而互相关系数又小的独特扩频码，这将使得移动台过区识别容易，而不同的中心台均可使用同一频率，扩大了频率的再用，极大地提高了频谱使用效率。同时，由于各中心台及移动台均使用相同频率，使敌人测向遭到困难，无法确定中心台的方位，安全性就有了提高。

这种体制实际上已有系统在使用，美军的 JTIDS 就是一例。虽然它是在空中和海上使用，那里多径现象并不严重，其本意是抗干扰而非克服多径。同时它以传数据信息为主，而非传输保密话。但它从实际上已证明上述体制是可行的。在民用陆上移动通信系统方面，CD-900 也在 1987 年在巴黎试运转成功，它就是使用扩频时分体制。在 900 兆赫使用扩频系数 2.67 完成一个波道传输 60 路话音。军用地域网当然不宜如此高的频率，使用的频带也不能这样宽，但由于解决了多径的限制，在比较低的 RF 波道上传输十数个话音信道是没有问题的。至于象鸡那样用 2 个波道来传输 12 路话音肯定是不需要的了。

因此，我认为，地域网研究的方向最好是采用扩频时分，这也符合日后的数字网发展方向。

#### 参考文献：

1. TRW Defence and Space System: "Mobile Multiple Access Study", NASA GR-15665, 1977
2. Cooper and Nettleton: "Spectral Efficiency in Cellular Land Mobile Communication: A Spread Spectrum Approach", 1978
3. M.Bohm: "Mobile Telephone for Everyone through Digital Technology", TELECOMMUNICATION, Vol.19. No.10, Oct. 1985
4. Klaus-Dieter Ecker: "Cellular Digital Radio System CD-900", CELLULAR & MOBILE COMMUNICATION INTERNATIONAL, 1986

# 地域干线战术通信网的网络拓扑模型研究

郭 伟\* 洪福明\*

**摘要** 本文提出了动态网络拓扑设计模型,并提出了相应的数学模型——随机图模型和齐次随机图模型,计算机模拟结果验证了该模型的正确性。

## I 引言

近十几年来,外军战术通信网发展极为迅速,不少国家已布署了战术网,如英国的“松鸡”,法国的“里达”,以及美国的三军联合战术通信网等。战术通信网一般按棚格状拓扑设计,如图1(附后)所示。

## II 动态网络拓扑设计模型

由于民用计算机通信网为一确定网络,对此可设计出抗毁性能较高的网络拓扑结构<sup>(1)</sup>。当网络拓扑结构一旦被确定,按此拓扑建造起的通信网络将不再发生变化,即网络节点在固定位置,网络链路为固定分布。因此,笔者认为;民用通信网的网络拓扑有最优结构,值得化代价找出此最优结构,称这种网络拓扑设计法为静态网络拓扑设计法。但是,对于地域干线战术通信网的网络拓扑设计,情况就要复杂得多,笔者认为干线战术通信网的网络拓扑不存在最优结构。因为战场环境的特殊性,网络节点经常移动,以及节点和链路随时都有被摧毁和破坏的可能,使得网络结构经常发生变化,因此,即使网络设计者象设计民用网络拓扑一样,在建网前花大量时间和精力找到了最优拓扑结构。但是,网络一旦发生变化,变化后拓扑就不再是最优的了。又由于战场环境下信息传输的迫切性,如果一定要在拓扑变化以后再象设计民用网络一样去找出最优拓扑,显然是不可能的。因此,针对地域干线战术通信网的网络拓扑经常发生变化的特点,在静态网络拓扑设计法的基础上,提出下列动态网络拓扑设计法,见图2(附后)。

图2中的第I部分给出了随机网络抗毁性能的分析 and 设计方法。第II部分为通信网络结构的确定,因为第I部分描述的是一个随机网络,在随机网络中每个节点的度数也是随机的,又由于网络链路为无线中继线,因而节点 $i$ 的度数 $d_i$ 的物理意义表示该节点 $i$ 在其通信范围内能与 $d_i$ 个邻节点实现通信。但是,由于每个节点的发射方向数为定值(设为 $\Delta$ ),如果 $d_i > \Delta$ ,则节点 $i$ 至少应去掉多余的 $(d_i - \Delta)$ 条邻边;如果 $d_i < \Delta$ ,则节点至多能选 $d_i$ 条通信链路。

\* 电子科技大学信息系统研究所

被选中的通信链路和节点构成的网络就称为实际采用的通信网络拓扑。第Ⅲ部分为自组织网络，第Ⅰ部分所确定的通信网络工作后，节点和通信链路均可能被破坏，使得网络服务质量下降，甚至出现网络被分隔的情况。但此时，第Ⅱ部分未选中实际上仍存在的边，以及一些新生成的边都可被选为通信链路(注：因节点移动，网络任意一条边的存在与否也是随机的)，以弥补被敌方破坏以及节点移动所损失掉的通信链路，这样做可保证通信网络具有较好的抗毁性能，采用网络自组织的目的就在于此。本文只研究了第Ⅰ部分的内容。

### Ⅲ 随机图模型和齐次随机图模型

用随机图  $G(N, E)$  表示干线战术通信网， $N$  表示网络节点数， $E$  表示网络总边数，并假设：①网络拥有的  $N$  个节点随机均匀地分布在某个平面内，且单位面积内的平均节点数为  $\mu$ ；②节点间的最大通信距离为  $R$ 。

因此，网络任一节点  $V_i$  的平均度数为  $d = \mu\pi R^2 - 1$ ，(设计时一般取  $d$  值为 4 或 5)，网络总边数  $E = \frac{Nd}{2} = \frac{N(\mu\pi R^2 - 1)}{2}$ 。

#### 一 随机图模型

Erdos 和 Renyi 早在 60 年代就研究了随机图  $G(N, E)$  的连通性<sup>(1)</sup>，得到如下结论：如果  $E = O(N)$ ，图  $G$  几乎全由一些分离的树支组成；如果  $E = CN$ ，而  $0 < C < \frac{1}{2}$ ，图  $G$  中有分离的环出现；如果  $E = CN$ ，而  $C \geq \frac{1}{2}$ ，图  $G$  由一个较大的分支和一些较小的分支组成；如果  $E = CN \log N$ ，而  $C \geq \frac{1}{2}$ ，图  $G$  以概率 1 趋于连通；如果  $E = W(N) \log N$ ，而  $W(N) \rightarrow \infty$ ，图  $G$  是连通的，且为准正则图。并有：如果  $E = \frac{1}{2} N \log N + CN$  (1)

则随机图  $G(N, E)$  是连通的概率为： $R_c(G) = \exp\{-e^{-2c}\}$  (2)

由假设条件知，干线战术通信网的总边数为  $E = \frac{dN}{2}$ ，根据式(1)和(2)得：

$$R_c(G) = \exp\{-\exp[\log N - d]\} \quad (3)$$

$$\text{或 } R_c(G) = \exp\{-\exp[\log N - (\mu\pi R^2 - 1)]\} \quad (4)$$

式(4)给出了干线战术通信网络为连通的概率，此概率与网络节点密度  $\mu$ ，节点通信距离  $R$  以及网络节点总数  $N$  有关。

#### 二 齐次随机图模型

设随机图  $G(N, E)$  中的每个节点均有  $d$  条发射链路，用  $G$  中任一节点平均能连接的节点数占总节点数  $N$  的百分数  $\gamma$  作为网络抗毁性能指标，H. Frank 等人研究了这类拓扑的连通情况<sup>(1)</sup>，得到的结论是：

当网络的节点数  $N$  很大时, 网络的抗毁性能指标  $\gamma$  为:  $1 - \gamma = \exp\{-d\gamma\}$  (5)

对于任意节点数  $N$  的齐次随机图, 文献[1]给出了通用公式, 即:

$$\gamma = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \beta_i \binom{N-1}{i} \left(1 - \frac{i}{N}\right)^{(N-d)} \quad (6)$$

其中  $\beta_i$  由下式确定

$$K = \sum_{i=1}^K \beta_i \binom{N-1}{i} \left(1 - \frac{i}{N}\right)^{(K-d)}, K = 1, 2, \dots, N-1 \quad (7)$$

对于确定的  $d$  和  $N$ , 利用式(3)和式(6)可分别计算出  $R_c$  和  $\gamma$ , 对于  $N$  为无穷大时, 利用式(5)计算, 现将部分计算结果列表 1(附后).

由表 1 知, 随着  $N$  的增大,  $\gamma$  有略为的增加, 但都非常接近  $N$  为无穷大时的情况。可是  $R_c$  随着  $N$  的增大而逐渐减小, 当  $N$  为无穷大时,  $R_c$  趋于零。这是因为网络边数  $E = \frac{dN}{2}$ , 对

于较小的  $d$ , 有  $E \approx CN$ ,  $C \geq \frac{1}{2}$ , 由 Erdos 和 Renyi 的理论可知, 网络由一个较大的分支和一些较小的分支组成, 即网络在不连通的情况下, 大部分节点在一个连通分支内, 而只有少部分节点分离。当  $N$  越大, 较大分支内的节点数与少数分离节点数之间的数目悬殊越大, 因而表 1 中反映出  $\gamma$  有随  $N$  增大而增大的趋势, 但对于较大的  $d$  和确定的  $N$ ,  $E = \frac{dN}{2}$

$\approx cN \log N$ ,  $C \geq \frac{1}{2}$ , 由 Erdos 和 Renyi 的理论可知, 网络几乎是连通的, 表 1 中对于  $d=4$  或  $d=5$  正是反映了这种情况。但是, 当  $N$  增大到一定值后, 网络边数与网络节点数之间的关系又变为  $E \approx CN$ ,  $C \geq \frac{1}{2}$ , 这时网络的连通概率  $R_c$  又下降到较小的值。

由于战场环境, 网络节点和链路可能被敌方破坏, 这时只需将上述模型进行适当的修正, 即可得到正确的结果。

#### IV 计算机模拟

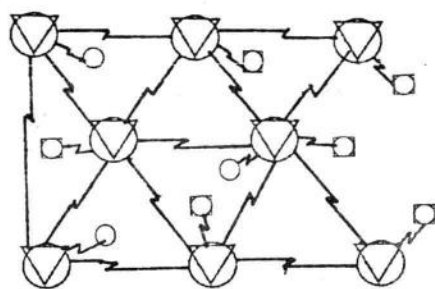
对于一个  $N, E$  一定的随机网络  $G(N, E)$ , 笔者在微机上产生了 1000 个独立的随机网络, 并对这 1000 个随机网络的连通概率  $R_c$  和抗毁性能  $\gamma$  作了统计, 结果见表 2(附后)。比较表 1 和表 2 的数据可知, 动态网络拓扑设计模型中的数学模型——随机图模型和齐次随机图模型是正确的。

#### 参考文献

- (1) H.Frank, I.T.Frith, .Communication, Transmission, And Transportation Network. Reading Mass: Addison-wesley, 1971.



附:



△: 节点中心; □: 入口中心;  
○: 单信道无线电入口中心

图 1 地域干线战术网

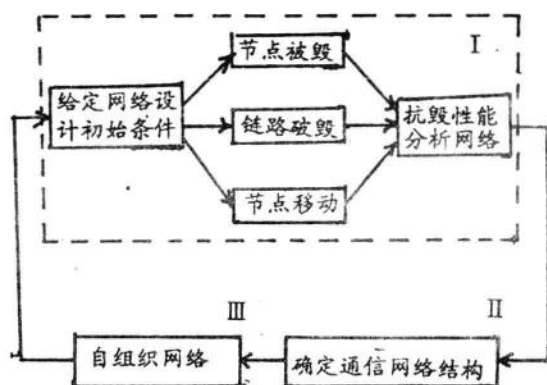


图 2 动态网络设计模型

$d \backslash N$	$d=3$		$d=4$		$d=5$	
	$R_c$	$\gamma$	$R_c$	$\gamma$	$R_c$	$\gamma$
20	0.8329	0.9375	0.9349	0.9789	0.9756	0.9924
30	0.8041	0.9386	0.9229	0.9793	0.9709	0.9926
40	0.7811	0.9391	0.9131	0.9796	0.9671	0.9927
50	0.7617	0.9394	0.9047	0.9797	0.9638	0.9928
$\infty$	0	0.9405	0	0.98802	0	0.9930

表 1 随机网络连通性的计算结果

$d \backslash N$	$d=3$			$d=4$			$d=5$		
	连通数	$R_c$	$\gamma$	连通数	$R_c$	$\gamma$	连通数	$R_c$	$\gamma$
20	866	0.866	0.94323	933	0.933	0.97177	998	0.998	0.99917
30	635	0.635	0.84913	880	0.880	0.94837	987	0.987	0.99383
40	509	0.509	0.80278	867	0.867	0.94025	984	0.984	0.99259
50	404	0.404	0.7335	730	0.730	0.89407	953	0.953	0.97779

表 2 随机网络连通性的计算机模拟结果