

doi: 10.7690/bgzd.2015.06.008

基于信号仿真的通信信号环境构设方法

沈楠¹, 黄鲲², 王旭赢³, 孙德玮⁴

(1. 电子工程学院, 合肥 230037; 2. 中国人民解放军 61646 部队, 北京 100192;
3. 武警警官学院, 成都 610210; 4. 陆军军官学院, 合肥 230031)

摘要: 针对目前通信信号环境构设方法在便捷性、经济性方面的不足, 提出采用信号仿真的通信信号环境构设方法。以超短波通信工作为例, 介绍通信信号环境仿真流程, 引入复数包络方法, 划分仿真功能模块、明确模块间的输入输出数据, 给出采用 Simulink 工具箱构设典型语音调频通信信号环境的实例。结果表明: 该方法是可行、有效的, 能仿真通信信号的产生、发射、传播、接收、滤波和解调的全过程。

关键词: 信号仿真; 通信信号环境; 复数包络法
中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Construction Method of Communication Environment Based on Signal Simulation

Shen Nan¹, Huang Kun², Wang Xuying³, Sun Dewei⁴

(1. Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China; 2. No. 61646 Unit of PLA, Beijing 100192, China;
3. Officers College of CAPF, Chengdu 610210, China; 4. Army Command College, Hefei 230031, China)

Abstract: Aiming at the defects of convenience and economics to construction method of communication environment, introduce communication signal environment construction method by using signal simulation. Taking ultrashort wave communication as example, introduce communication environment simulation progress, use complex envelope method to divide simulation function module, ensure input and output data among modules, and give example of typical voice communication signal environment of based on Simulink tool box. The results show that the method is feasible and effective. It can simulate whole process of communication signal creation, emission, transition, receiving, filtering and demodulation.

Keywords: signal simulation; communication signal environment; complex envelope

0 引言

简便、快捷、经济地构建通信信号环境, 是高效开展通信对抗组织训练的基础^[1]。目前, 通信信号环境主要采用外场实物方法^[1]和半实物仿真方法^[1]构设, 前者需要花费大量的人力、物力和财力, 后者对场地、人员的要求较小, 但需建立微波暗室或部分通信系统的实物。故引入信号仿真^[2-3]的方法, 通过计算机仿真通信信号的产生、发射、传播、接收、滤波和解调的全过程, 实现通信信号环境的构设。

1 通信信号环境仿真流程

通信信号环境构设的目标是实现通信系统工作过程。笔者以超短波通信工作为例, 其仿真思路如图 1 所示。采用信号仿真方法仿真各种典型超短波通信信号的产生、天线辐射、无线信道视距传播、天线接收和解调的全过程, 图中左半部分为仿真流程, 右半部分为超短波通信工作过程原理^[4], 中间

的虚线代表仿真流程中各模块与超短波通信工作过程中各模块的对应关系。

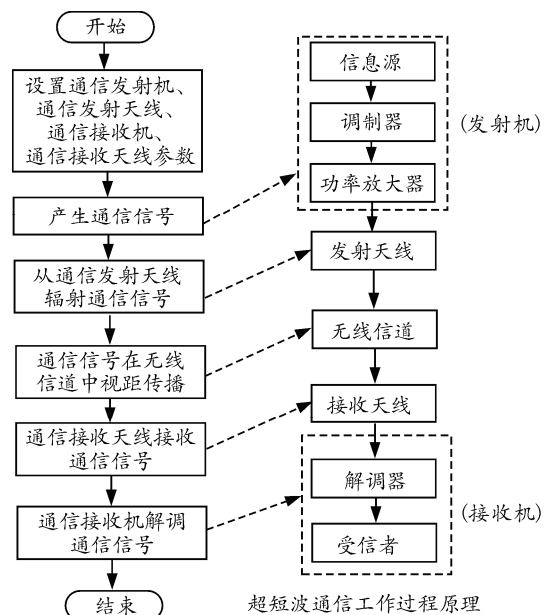


图 1 超短波通信工作过程仿真思路

收稿日期: 2015-01-08; 修回日期: 2015-03-04
基金项目: 电子工程学院科研基金(KY14A261)
作者简介: 沈楠(1982—), 男, 江苏人, 博士, 讲师, 从事通信对抗效能分析研究。

超短波通信工作过程的仿真流程如下：

步骤 1：设置通信发射机、通信发射天线的参数。通信发射机的参数包括通信发射机的位置、工作频率、发射功率、等效阻抗和通信信号样式；通信发射天线的参数包括通信发射天线类型、增益和方位指向；通信接收机的参数包括通信接收机的位置、工作频率和解调方式；通信接收天线的参数包括通信接收天线类型、增益和方位指向。

步骤 2：产生超短波通信信号，该步骤仿真超短波通信工作过程中的通信发射机的功能。根据通信发射机的工作样式、发射功率、等效阻抗、工作频率和典型超短波通信信号的复数包络数学模型，产生超短波通信信号。

步骤 3：从通信发射天线向空间辐射超短波通信信号，该步骤仿真超短波通信工作过程中通信发射天线的功能。

步骤 4：超短波通信信号在无线信道中视距传播，该步骤仿真超短波通信工作过程中无线信道的功能。

步骤 5：通信接收天线接收经视距传播损耗后的超短波通信信号，该步骤仿真超短波通信工作过程中通信接收天线的功能。

步骤 6：通信接收机解调超短波通信信号，该步骤仿真超短波通信工作过程中通信接收机的功能。

2 通信信号的复数包络表示

在仿真通信过程时需产生和处理带通射频信号，若通信信号的频谱包含在 $f_c - \frac{B}{2} \leq f \leq f_c + \frac{B}{2}$ 范围之内， f_c 为射频信号载频， B 为射频信号带宽，根据抽样定理，采样频率至少为 B 的整数倍，此时

计算机的数据处理量非常大。为降低数据存储要求、加快仿真运行速度，在带通射频信号的仿真过程用复数包络方法^[2,5-6]将其按低通情况分析 and 仿真。

下面以模拟语音调幅(amplitude modulation, AM)和模拟语音调频(frequency modulation, FM)通信信号为例，对两者采用复数包络方法描述。

模拟语音调幅通信信号的数学模型^[4]为

$$x_{AM}(t)=[A_0+k_A m(t)]\cos(2\pi f_0 t+\theta_0) \quad (1)$$

式中： A_0 为信号幅度； f_0 为信号载频； θ_0 为信号初始相位； $m(t)$ 为模拟语音调幅信号的基带信号； k_A 为调幅信号的调制系数。

模拟语音调频通信信号的数学模型^[4]为

$$x_{FM}(t)=A_0 \cos(2\pi f_0 t+k_f \int_{t_0}^t m(u)du+\theta_0) \quad (2)$$

式中： A_0 、 f_0 、 θ_0 含义与式 (1) 一样； k_f 为模拟语音调频信号的调制指数； $m(u)$ 为基带信号。

根据上述模拟语音调幅和模拟语音调频通信信号的数学模型，两者的复数包络数学模型如表 1。

表 1 典型模拟语音通信信号复数包络表示模型

调制方式	x_i	x_q	备注
调幅调制	$[A_0+k_A m(t)]\cos\theta_0$	0	同式(1)
调频调制	$A_0 \cos[k_f \int_{t_0}^t m(u)du+\theta_0]$	$A_0 \sin[k_f \int_{t_0}^t m(u)du+\theta_0]$	同式(2)

3 仿真框架设计

根据通信信号环境仿真流程，设计 4 类仿真模块来实现对超短波通信工作过程的仿真，依次是通信信号产生仿真模块、通信天线仿真模块、视距传播损耗仿真模块^[7]和通信信号解调仿真模块^[8]，模块间的连接关系和数据传递关系如图 2，各模块的输入和输出数据如表 2，图 2 中超短波通信信号 \tilde{x} 、 \tilde{x}_t 、 \tilde{x}_{sh} 、 \tilde{x}_r 、 $m_F(t)$ 或 $\{\hat{a}_n\}$ 的物理意义^[9]见表 2。

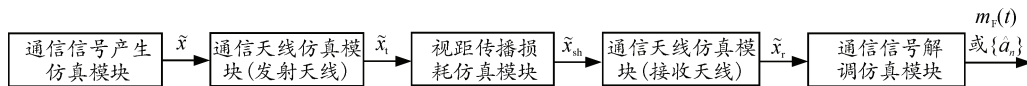


图 2 五类仿真模块间数据传递关系

表 2 超短波通信工作过程各仿真模块的输入、输出

模块名称	信号产生模块	发射天线模块	传播损耗模块	接收天线模块	信号解调模块
输入数据	发射功率 P_t 、工作频率 f_0 、等效阻抗 R_1 、工作样式	发射天线类型、增益 G_t 、超短波通信信号 \tilde{x}	发射天线输出端信号 \tilde{x}_t 、发射机位置 (X_t, Y_t) 、接收机位置 (X_r, Y_r)	接收天线输入端信号 \tilde{x}_{sh} 、接收天线类型、增益 G_r	接收天线输出端信号 \tilde{x}_r 、工作频率 f_0
输出数据	超短波通信信号 \tilde{x}	发射天线输出端超短波通信信号 \tilde{x}_t	接收天线输入端超短波通信信号 \tilde{x}_{sh}	接收天线输出端超短波通信信号 \tilde{x}_r	基带信号的复制信号 $m_F(t)$

4 仿真分析

基于上述仿真框架和仿真模块，利用 Matlab 软

件中的 Simulink 工具箱仿真模拟语音调频通信系统的实现^[10-11]如图 3 所示。

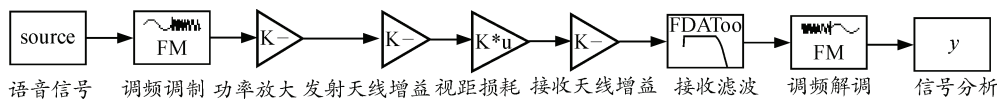


图 3 模拟调频通信系统仿真实现

仿真场景：通信发射机发射功率为 100 W，工作样式为语音调频，载频 100 MHz，调频指数为 20 V/Hz，发射天线为鞭状天线，高度 10 m，发射机位置为(0, 0)，接收天线为鞭状天线，高度 10 m，接收机位置为(0, 4 000)，解调方式为鉴频解调，接收机灵敏度为-100 dBmw。

仿真结果：仿真场景中原始语音通信信号的时域、频域和通信接收机解调语音通信信号的时域、频域如图 4 所示。

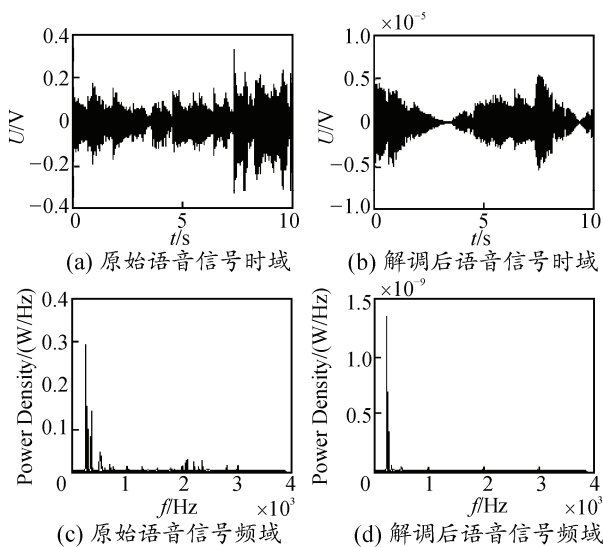


图 4 仿真场景中语音通信信号时域、频域图

5 结束语

笔者依据通信信号的产生、发射、传播、接收、

滤波和解调过程，采用信号仿真方法描述和分析，验证了该方法的有效性和可行性，为便捷、经济地构设通信信号环境提供了一种通用方法。

参考文献：

- [1] 王国玉. 通信对抗试验[M]. 北京：国防工业出版社，2004: 346.
- [2] 肖明波, 杨光松, 许芳, 等. 通信系统仿真原理与无线应用[M]. 北京：机械工业出版社，2005: 57-62.
- [3] 沈楠, 何俊, 齐锋, 等. 基于信号仿真的通信干扰压制系数计算方法研究[J]. 现代防御技术, 2011, 39(1): 88-91.
- [4] 樊昌信. 通信原理[M]. 北京：国防工业出版社，2001: 4.
- [5] 郭希维, 苏群星, 谷宏强, 等. 导弹训练仿真系统中信号的采集与处理[J]. 兵工自动化, 2004, 23(2): 4-5.
- [6] 葛先军, 何友, 宋杰, 等. 基于改进CMA+MMA的直达波脉冲复包络估计技术[J]. 现代雷达, 2010, 32(2): 54-59.
- [7] 朱远航, 张平华, 邓明元, 等. 直接序列扩频通信系统性能研究[J]. 兵工自动化, 2013, 32(2): 84-87.
- [8] 胡韬, 胡伟文. 基于置信区间的信号仿真决策分析模型[J]. 兵工自动化, 2010, 29(8): 31-34.
- [9] 张俊, 赵国军, 魏君燕, 等. ZigBee 无线通信在电梯轿厢控制系统中的应用[J]. 机电工程, 2013, 30(11): 1373-1378.
- [10] 邓华. Matlab 通信仿真及应用实例详解[M]. 北京：人民邮电出版社，2003: 9-14.
- [11] 李瑞娥, 费文晓, 姚远程, 等. 宽带信号数字解调在 SystemView 上的仿真[J]. 兵工自动化, 2005, 24(1): 65-71.