

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 5203.2—2025

民用雷达数字化设计和工艺仿真规范
第2部分：电讯建模与仿真规范

Specification for digital design and process simulation of civil radar—Part 2:
Electronic and communication modeling and simulation specification

2025-09-10 发布

2025-10-10 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言Ⅲ

引言Ⅳ

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义1

4 缩略语1

5 基本组成1

6 各层级模型要求2

 6.1 体系级模型2

 6.2 系统级模型2

 6.3 分系统级模型3

7 电讯模型建模8

 7.1 建模要求8

 7.2 模型简化要求8

8 电讯模型仿真9

 8.1 仿真流程9

 8.2 确定仿真需求9

 8.3 搭建仿真系统9

 8.4 仿真验证10

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 DB32/T 5203《民用雷达数字化设计和工艺仿真规范》的第 2 部分。DB32/T 5203 已经发布了以下 5 个部分：

- 第 1 部分：总体要求；
- 第 2 部分：电讯建模与仿真规范；
- 第 3 部分：结构建模与仿真规范；
- 第 4 部分：三维装配工艺规划和仿真规范；
- 第 5 部分：信息集成要求。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省工业和信息化厅提出并组织实施。

本文件由江苏省工业互联网标准化技术委员会(JS/TC 67)归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第十四研究所、南京国睿防务系统有限公司。

本文件主要起草人：李蕾、吴久涛、胡长明、陈建军、吴志乾、彭迪、胡亮兵、赵新舟、黄涛、黄亚飞、高昊、贲可存。

引 言

民用雷达智能制造面向产品全生命周期,贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节,每个环节都需要大量的标准来支撑,DB32/T 5203《民用雷达数字化设计和工艺仿真规范》聚焦于数字化设计、工艺及信息集成,制定基于模型的设计和仿真信息集成标准并推广应用,以期达到民用雷达行业智能制造发展的引领、示范和带动作用。DB32/T 5203 分为以下 5 个部分。

- 第 1 部分:总体要求。目的在于确立适用民用雷达数字化设计和工艺仿真需要遵循的通用要求及各组成模块的流程与交互等要求。
- 第 2 部分:电讯建模与仿真规范。目的在于为民用雷达电讯专业开展建模和仿真确立需遵循的模型要求和仿真方法。
- 第 3 部分:结构建模与仿真规范。目的在于为民用雷达结构专业开展建模和仿真确立需遵循的相关流程和要求。
- 第 4 部分:三维装配工艺规划和仿真规范。目的在于为民用雷达工艺专业开展三维装配工艺和仿真确立遵循的相关流程和要求。
- 第 5 部分:信息集成要求。目的在于为民用雷达电讯、结构、工艺各专业开展专业内、间信息集成工作需遵循的相关流程和要求。

民用雷达数字化设计和工艺仿真规范

第2部分：电讯建模与仿真规范

1 范围

本文件规定了民用雷达电讯建模和仿真的模型基本组成、各层级模型要求、电讯模型建模要求，描述了仿真方法。

本文件适用于民用雷达电讯建模与仿真，其他电子装备参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

SJ/Z 21426—2018 军用电子装备电性能仿真模型建模指南

3 术语和定义

SJ/Z 21426—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电讯模型 electronic and communication model

表征电子装备电磁波辐射、通道幅相、信号产生、信息处理与控制等的性质与效能的模型。

[来源：SJ/Z 21426—2018, 3.1.1, 有修改]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AD：数模变换（Analog-to-Digital）

CFAR：恒虚警率（Constant False Alarm Rate）

ENOB：有效位（Effective Number of Bits）

SFDR：无杂散动态范围（Spurious Free Dynamic range）

SNR：信噪比（Signal-to-Noise Ratio）

5 基本组成

民用雷达电讯模型应涵盖体系级、系统级、分系统级三个层级，支撑概念设计、方案论证、工程研制和设计定型等产品全生命周期。民用雷达各层级电讯模型组成具体如下。

- a) 体系级模型：一般包括场景仿真模型、民用雷达概念模型和效能评估模型。
- b) 系统级模型：一般包括天线模型、信息处理模型、资源调度模型等。

- c) 分系统级模型：
- 1) 天线模型：包括天线方向图模型、发射模型（含上变频模型、固态放大链模型）、接收模型（含下变频模型、AD模型）、波形产生模型；
 - 2) 信息处理模型：包括信号处理模型、数据处理模型；
 - 3) 资源调度模型：包括扇区设置、工作频点选择、工作方式选择、民用雷达波束调度、AD包头数据分发等模型。

6 各层级模型要求

6.1 体系级模型

体系级模型一般包括仿真场景模型、民用雷达概念模型和效能评估模型，其功能框图如图 1 所示，主要用于概念设计阶段的用户需求分析、使用场景设计，具体要求如下：

- a) 应能够评估民用雷达在典型使用场景的效能；
- b) 应能支持参数分解与指标计算，为系统级模型提供初步指标输入；
- c) 民用雷达概念模型承接场景仿真模型中相关信息，包括实时产生各目标对象空间位置、姿态的态势数据，目标类型和 RCS 等属性参数及环境相关参数等，其输出探测结果给效能评估模型；
- d) 效能评估模型应完成对产品威力、精度等指标的评估。

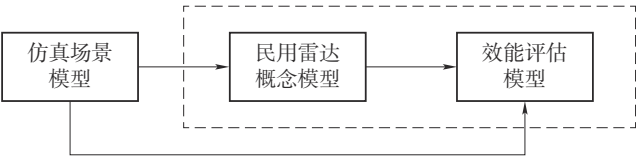


图 1 体系级模型功能框图

6.2 系统级模型

系统级模型一般包括天线（含方向图、发射链路和接收链路）、信息处理、资源调度等分系统模型，其功能框图如图 2 所示。具体要求如下：

- a) 能够实现诸如目标环境探测、交通管制、气象服务等多种民用功能；
- b) 能够为分系统模型提供技术指标输入；
- c) 系统级模型的输入输出定义应承接体系级模型，并保持一致。

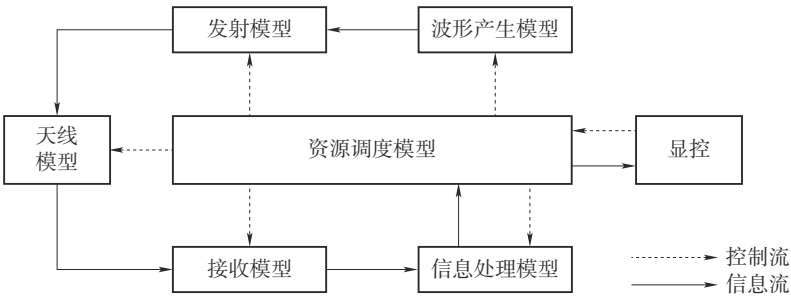


图 2 系统级模型功能框图

6.3 分系统级模型

6.3.1 天线模型

6.3.1.1 天线方向图模型

天线方向图模型应能计算发射方向图或接收方向图,模型要素应涵盖如下内容。

- a) 主要性能指标:
 - 1) 天线增益;
 - 2) 主副瓣比。
- b) 输入:
 - 1) 工作频率:辐射单元射频频率;
 - 2) 扫描角度:包含方位角和俯仰角;
 - 3) 单元排布:包括方位间距、俯仰间距以及行列数;
 - 4) 幅相加权:阵元的幅度相位加权信息;
 - 5) 幅相误差:阵元间的幅度和相位误差。
- c) 输出:

天线方向图:包括发射方向图和接收方向图,应能表征天线的发射和接收特性。

6.3.1.2 发射模型

6.3.1.2.1 上变频模型

上变频模型包括信号源、滤波器、混频器、本振、放大器等模型,可根据实际电路组成需求更改模型结构,如图 3 所示。

上变频模型基于混频基本原理,通过控制本振频率,实现中频到射频的变换。使用时,设计模型的目标主要是计算上变频电路各级增益和组合频率,适用于上变频射频链路的方案论证和构建。

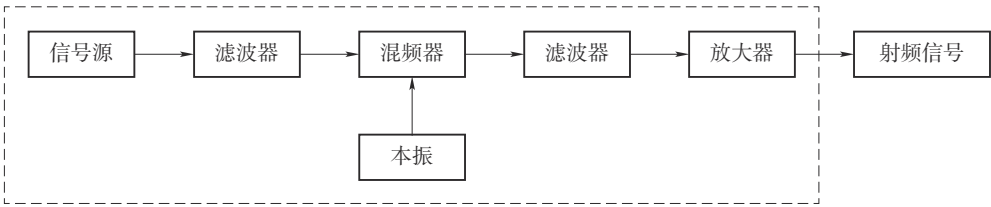


图 3 典型上变频模型框图

模型要素应涵盖如下内容。

- a) 主要性能指标:
 - 1) 噪声系数;
 - 2) 输出频谱;
 - 3) 增益;
 - 4) 1 dB 功率压缩点;
 - 5) 隔离度。
- b) 输入:
 - 1) 工作频率:变频模型的射频/中频频率;
 - 2) 增益:各级器件的功率放大或衰减能力;

- 3) 电压驻波比:组成部分端口匹配状况;
 - 4) 1 dB 增益压缩点:非线性器件的增益下降 1 dB 的输入功率。
- c) 输出:
- 1) 输出频率:上变频电路总输出频率或各模型输出频率;
 - 2) 输出杂散:上变频输出杂散与主信号功率比;
 - 3) 增益:上变频电路总增益或各模型增益;
 - 4) 1 dB 增益压缩点:非线性器件的增益下降 1 dB 的输出功率;
 - 5) 隔离度:各端口之间的隔离性能。

6.3.1.2.2 固态放大链模型

固态放大链模型一般包括各级放大器、隔离器、分配器和合成器等模型,如图 4 所示。

固态放大链的仿真计算基于固态放大链基本原理,通过控制固态放大链各组成部分的增益,实现特定要求的固态放大链。模型仿真的目标主要是计算固态放大链电路增益和功率,适用于固态放大链的方案论证和构建。

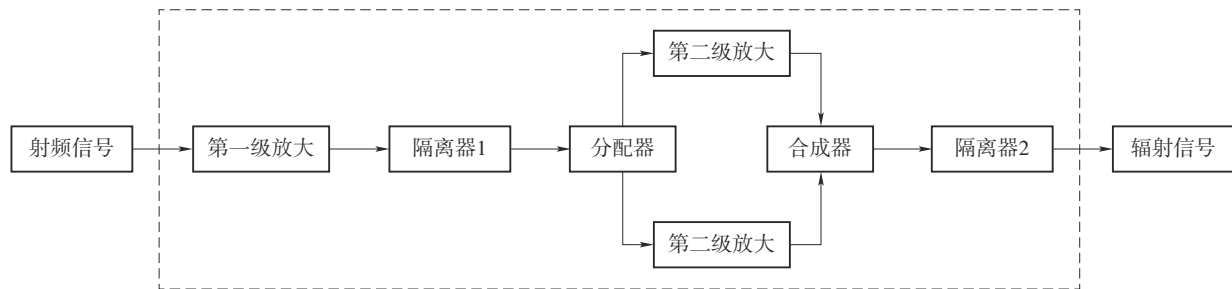


图 4 典型固态放大链模型框图

模型要素应涵盖如下内容。

- a) 主要性能指标:
 - 1) 输出功率;
 - 2) 增益。
- b) 模型参数:
 - 1) 工作频率:固态放大链的工作频率;
 - 2) 增益或插损:各级放大器的功率放大能力;
 - 3) 电压驻波比:组成部分端口匹配状况;
 - 4) 1 dB 压缩点功率:各级放大器的 1 dB 压缩点的增益;
 - 5) 饱和功率:各级放大器的饱和输出功率。
- c) 输出:
 - 1) 1 dB 压缩点功率:固态放大链 1 dB 压缩点功率或子模型的 1 dB 压缩点功率;
 - 2) 饱和功率:固态放大链总输出功率或子模型的饱和功率;
 - 3) 增益:固态放大链总增益或各级放大器的增益。

6.3.1.3 接收模型

6.3.1.3.1 下变频模型

下变频模型包括放大器、混频器、滤波器和本振等模型。设计者可根据实际电路组成需求更改模型

结构,如图 5 所示。

模型基于混频基本原理,通过控制本振频率,实现特定要求的射频到中频变换要求。仿真的对象主要是各级增益和组合频率,用于接收射频链路的方案论证和构建。

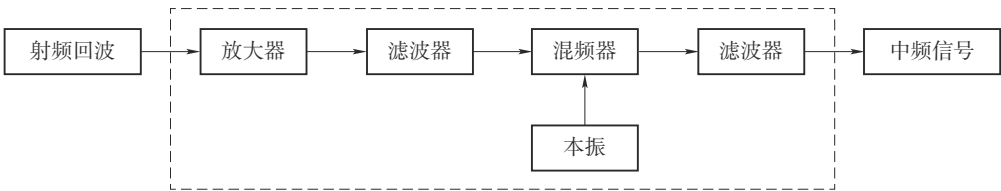


图 5 典型下变频模型框图

模型要素应涵盖如下内容。

- a) 主要性能指标:
 - 1) 噪声系数;
 - 2) 输出频谱;
 - 3) 增益;
 - 4) 隔离度;
 - 5) 1 dB 功率压缩点。
- b) 模型参数:
 - 1) 工作频率:变频模型的射频/中频频率;
 - 2) 增益或插损:各级器件的功率放大或衰减能力;
 - 3) 电压驻波比:组成部分端口匹配状况;
 - 4) 1 dB 压缩点功率:各级器件的 1 dB 压缩点的增益。
- c) 输出:
 - 1) 噪声系数:下变频输出信号噪声系数;
 - 2) 输出频率:下变频电路总输出频率或各模型输出频率;
 - 3) 输出杂散:下变频输出杂散与主信号功率比;
 - 4) 增益:下变频电路总增益或各模型增益;
 - 5) 1 dB 增益压缩点:非线性器件的增益下降 1 dB 的输出功率;
 - 6) 隔离度:各端口之间的隔离性能。

6.3.1.3.2 AD 模型

AD 模型一般包括滤波器、AD 采样、时钟等模型,如图 6 所示。

AD 模型采用的计算原理为数字采样原理的通用计算方法,通过控制采样时钟,实现特定要求的中频/射频信号到数字信号的变换。仿真的对象主要是将中频信号经过 AD 采样后变换为数字信号,用于和后续数字信号处理模型对接。

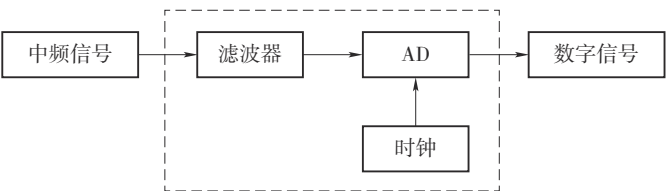


图 6 典型 AD 数字采样模型仿真框图

模型要素应涵盖如下内容。

- a) 主要性能指标：
 - 1) 有效位 ENOB；
 - 2) 无杂散动态 SFDR。
- b) 模型参数：
 - 1) 采样频率:AD 采样时钟；
 - 2) 采样位数:AD 采样位数；
 - 3) 参考电压:AD 采样量程；
 - 4) 失真模型:AD 失真模型,分为 None,Jitter,ENOB value,SNR and Harmonics,SFDR 等几种。
- c) 输出：
 - 1) 输出 ENOB:AD 有效位；
 - 2) 输出 SNR:AD 采样后信噪比；
 - 3) 输出 SFDR:AD 采样后动态范围。

6.3.1.4 波形产生模型

民用雷达信号产生模型包括信号样式和波形产生等模型,如图 7 所示。
民用雷达信号产生模型根据中央控制器输出的民用雷达波形参数,生成民用雷达信号。

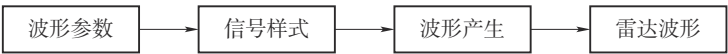


图 7 民用雷达信号产生模型仿真框图

模型要素应涵盖如下内容。

- a) 主要性能指标：
 - 1) 线性度；
 - 2) IQ 幅度不平衡；
 - 3) IQ 相位不平衡。
- b) 模型参数：
 - 1) 波形参数；
 - 2) 采样频率。
- c) 输出：
民用雷达波形。

6.3.2 信息处理模型

6.3.2.1 信号处理模型

信号处理模型主要由脉压、滤波、干扰抑制、CFAR 检测和测角等模型组成。如图 8 所示。完成对回波数据产生模型生成的 AD 数据进行脉压、滤波、干扰抑制、CFAR 检测和测角等功能,形成帧报告,送往数据处理,其中间处理结果可以实时显示,处理性能可以评估。

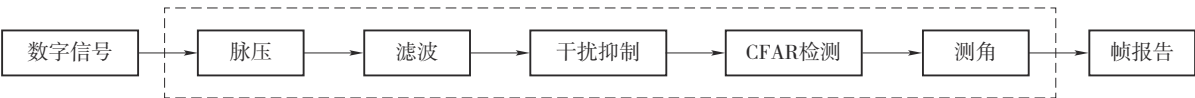


图 8 民用雷达信号处理模型仿真框图

模型要素应涵盖如下内容。

- a) 主要性能指标：
 - 1) 脉压主副比；
 - 2) 干扰抑制比；
 - 3) 检测概率；
 - 4) 处理损失；
 - 5) 测角精度。
- b) 输入：
 - 1) 包头；
 - 2) AD数据。
- c) 输出：
 - 1) 包头：主要包含工作模式、工作波形参数、接收采样参数、信号处理参数；
 - 2) 帧报告：包含目标距离、速度、角度差、幅度、信噪比等检测信息。

6.3.2.2 数据处理模型

数据处理模型主要由点迹凝聚、数据关联、滤波和航迹等模型组成。如图 9 所示。

数据处理模型根据信号处理帧报告完成点迹凝聚、数据关联、滤波处理和航迹生成等功能,通过点航迹报告送显控完成航迹显示,航迹跟踪性能评估可以实时显示,处理性能可以评估。

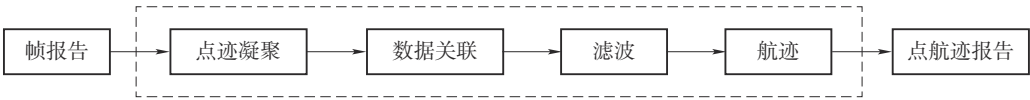


图9 民用雷达数据处理模型仿真框图

模型要素应涵盖如下内容。

- a) 主要性能指标：
 - 1) 航迹掌握率；
 - 2) 虚假航迹率；
 - 3) 换批率；
 - 4) 断批率；
 - 5) 跟踪精度。
- b) 输入：
 - 1) 包头：主要包含工作模式、工作波形参数、接收采样参数、信号处理参数；
 - 2) 帧报告：包含目标距离、速度、角度差、幅度、信噪比等检测信息。
- c) 输出：

点航迹报告和跟踪请求。点航迹报告包含目标距离、速度、角度等数据。

6.3.3 资源调度模型

民用雷达资源调度模型包括扇区设置、工作频点选择、工作方式选择、民用雷达波束调度、AD 包头数据分发等模型,如图 10 所示。

民用雷达资源调度模型根据民用雷达任务规划要求设置民用雷达扇区、工作方式、工作频点等民用雷达基本参数,接受人工输入的民用雷达相关控制参数,根据目标/惯导的包线数据完成相应的波束调度指令,给各分系统分发控制参数和目标惯导数据,控制参数和惯导数据通过打包到 AD 数据包头的形式

传递给信息处理。

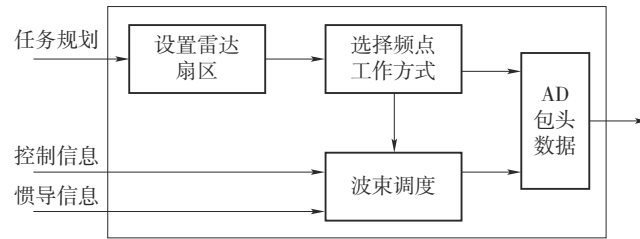


图 10 民用雷达资源调度模型仿真框图

模型要素应涵盖如下内容。

- a) 输入：
 - 1) 惯导消息；
 - 2) 跟踪请求；
 - 3) 控制消息。
- b) 输出：
 - 1) 请求惯导消息；
 - 2) 包头信息。

7 电讯模型建模

7.1 建模要求

民用雷达电讯模型建模采用自顶向下的逐层建构、逐步细化,具体要求如下。

- a) 建模应遵循简单、实用原则,并充分考虑通用性、鲁棒性、扩展性等,易于升级和维护。
- b) 在产品研制全生命周期的不同研制阶段应构建不同类型的模型。
- c) 根据专业特点和实际需求确定模型的简化要求。
- d) 基于已知的或假设系统遵循的物理规律或机理而建立的性能模型,应根据实际对象不同分层次建模,并参照如下方法：
 - 1) 有明确函数解析式的处理模型直接用数字函数编程建立模型；
 - 2) 没有明确函数解析式的,可借助半实物仿真,拟合经验数据,描述特定特性、效果,建立等效模型；
 - 3) 基于厂家(外协单位)提供的组件(器件)参数进行建模；
 - 4) 直接使用厂家(外协单位)提供的组件(器件)模型。
- e) 应通过数字仿真、实测数据、半实物仿真、实物测试等方法验证模型的合理性。

7.2 模型简化要求

电讯分析模型简化要求如下：

- a) 分别建立分系统级、系统级两个层级的分析模型简化的统一规定,保证模型的一致性,实现同一层级模型简化；
- b) 建立从分系统级、系统级到体系级的分析模型的转换要求、转换内容及转换格式等规定,保证模型性能指标、参数和接口等重要信息的一致性,实现分析模型的逐级模型简化；
- c) 可通过对原始模型进行黑盒处理,保证模型功能和接口一致性的前提下,提取模型外部特性参

- 数,建立等效模型,实现模型简化;
- d) 简化后的模型包括必要的模型信息,如模型接口、模型功能、模型指标参数等;
 - e) 简化后的模型应能进行同一层级的模型间互联和仿真评估。

8 电讯模型仿真

8.1 仿真流程

民用雷达电讯模型仿真流程一般为确定仿真需求、搭建仿真系统、仿真验证、模型发布与入库,如图 11 所示。

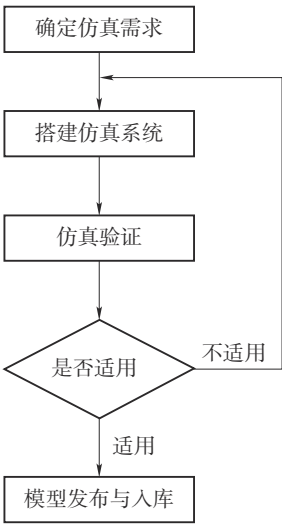


图 11 仿真流程图

8.2 确定仿真需求

确定仿真需求如下:

- a) 若要确定基本功能和初步的战技术指标,则进行体系级的参数仿真;
- b) 若要精确评估系统性能并能指导详细设计,则进行系统级的参数或信号仿真;
- c) 若要高逼真仿真物理模型,则进行分系统级别的电路和电磁场仿真。

8.3 搭建仿真系统

8.3.1 建模语言

可采用编程语言或图形化脚本语言构建模型和仿真系统。

8.3.2 编程语言建模

建模编程语言包含编译性语言和脚本语言。编译性语言(如 C/C++)适用于仿真运算效率要求较高场合,脚本语言(如 Python/Julia 语言)适用于快速构建模型的场合。

8.3.3 图形化脚本语言建模

图形化建模方法通过连线基本图形化模型的输入输出接口构建复合模型,如图 12 所示。

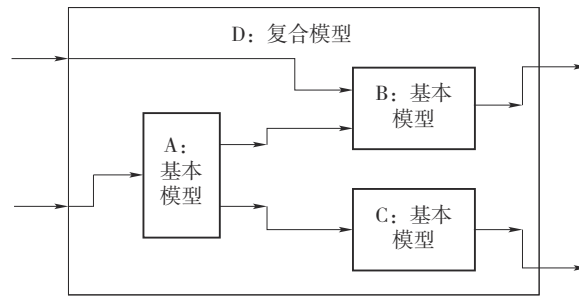


图 12 通过图形化方法构建复合模型

其中 A、B、C 为基本模型，D 为复合模型。通过多次复合构建出整个仿真系统及其组成部分。复合准则如下：

- a) 复合层层数建议不超过 5 层；
- b) 模型实体与接口关系不宜过于复杂。

8.4 仿真验证

8.4.1 仿真流程

8.4.1.1 体系级模型仿真流程

体系级模型仿真流程如下：

- a) 场景仿真模型构建：开展场景设计，确定系统使用场景，构建目标和环境要素，包括目标的属性参数、运动规划、行动规则等，以及大气传播、气象、地形等环境参数设定；
- b) 民用雷达概念模型构建：利用理论经验公式快速建模，输入输出为功能性参数；
- c) 效能评估模型构建：将构建好的民用雷达概念模型置于构建的使用场景中，统计民用雷达威力、方位、俯仰、速度等的分辨率和精度，以及数据率、航迹质量等指标。

8.4.1.2 系统级模型仿真流程

系统级模型仿真流程如下：

- a) 模型集成：通过组件化方式集成天线模型、信息处理模型、资源调度模型等分系统模型，形成系统级模型；
- b) 性能评估：将构建好的民用雷达系统级模型置于构建的使用场景中，统计民用雷达威力、方位、俯仰、速度等的分辨率和精度，以及数据率、航迹质量等指标。

8.4.1.3 分系统级模型仿真流程

分系统级模型仿真流程如下：

- a) 场景设计：确定分系统级模型使用场景，构建仿真边界条件；
- b) 性能评估：在仿真系统中进行仿真，根据仿真结果分析模型的性能指标。

8.4.2 验证内容

验证内容如下：

- a) 模型指标符合性：验证模型的各项指标是否符合要求，验证模型是否正确地刻画了实际系统；
- b) 模型鲁棒性测试：改变仿真条件或者依据多组实测数据对模型的可靠性进行测试，验证模型的鲁棒性。

8.4.3 验证方式

模型验证包括仿真验证与实物测试验证两种方式：

- a) 仿真验证：仿真验证的基础是依赖于在仿真设计过程中建立的各种模型，将虚拟数据换成实测数据，进行虚拟试验，通过修改配置参数和仿真实体，达到实际系统任务需求与战技指标要求；
 - b) 实物测试验证：实物测试验证是依据实测的真实数据，使仿真试验更加逼真。通过数据回放过程，与实测数据相比较；通过实物测试与理论仿真结果比对，调整仿真参数、过程与结果，提升仿真置信度。
-