

6-2-2020

Modeling Method of Communication Networks Background Traffic for Counter-command Simulation Training

Yunjun Lu

Academy of National Defense Information, Wuhan 430010, China;

Fuli Cai

Academy of National Defense Information, Wuhan 430010, China;

Zhou Ming

Academy of National Defense Information, Wuhan 430010, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling Method of Communication Networks Background Traffic for Counter-command Simulation Training

Abstract

Abstract: For the actual need of the communication networks modeling in combat command simulation, *a modeling method of background traffic was proposed which was oriented towards counter-command simulation training under the guidance of basic idea of index modeling. The background traffic model was designed and the simulation verification was carried on.* The results indicate that such method is able to generate background traffic rapidly and efficiently, meeting the requirement of simulation training.

Keywords

combat command, communication networks, background traffic, Modeling Method

Recommended Citation

Lu Yunjun, Cai Fuli, Zhou Ming. Modeling Method of Communication Networks Background Traffic for Counter-command Simulation Training[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(3): 552-558.

一种面向训练的通信网系背景业务量建模方法

鲁云军, 蔡福利, 周明

(国防信息学院, 湖北 武汉 430010)

摘要: 针对作战指挥模拟中通信网系建模的实际需求, 运用指数法建模的基本思想, 提出了一种面向指挥对抗模拟训练的通信网系背景业务流量建模方法, 建立了背景业务流量生成模型, 并进行了仿真验证。结果表明, 该方法能够快速并有效地生成背景业务流量, 较好地满足了模拟训练的需求。

关键词: 指挥对抗模拟训练; 通信网系; 背景业务流量; 建模方法

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 03-0552-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201703012

Modeling Method of Communication Networks Background Traffic
for Counter-command Simulation Training

Lu Yunjun, Cai Fuli, Zhou Ming

(Academy of National Defense Information, Wuhan 430010, China)

Abstract: For the actual need of the communication networks modeling in combat command simulation, a modeling method of background traffic was proposed which was oriented towards counter-command simulation training under the guidance of basic idea of index modeling. The background traffic model was designed and the simulation verification was carried on. The results indicate that such method is able to generate background traffic rapidly and efficiently, meeting the requirement of simulation training.

Keywords: combat command; communication networks; background traffic; Modeling Method

引言

通信网系模型是作战仿真模型的重要组成部分, 主要用于模拟作战过程中通信网系的运行状态, 以及网系中各类指控信息的传输时延、发送准确率等信息保障效果。背景业务流量是指在通信网系模型中指控信息进行传递时的背景数据量, 主要用于描述某时刻战场空间实体之间进行业务信息交互而产生的网络负载, 是一个随着作战仿真进程推进动态变化的随机量。

由于通信业务种类较多且实现方式多样, 要建立一个算法简便、高效并且能够客观描述背景业务流量特性的模型相当困难。目前, 传统的业务流量建模方法主要从语音、数据、视频等通信业务特性方面进行仿真研究的较多, 且大都是面向通信专业业务的需求, 而从面向作战指挥需求角度对业务流量进行建模研究的还不多见。例如文献[1]主要运用了运筹学、排队论以及概率论等数学工具, 建立了不同种类的通信业务量数学模型; 文献[2]主要运用吸引系数法, 计算两节点之间业务流量, 而其吸引系数一般是根据实测数据或凭经验确定; 部分内部研究报告和研究生论文主要是从军事通信专业的角度, 对吸引系数法模型进行了适当改进, 其模型中各参数的取得也只是主观地给出定性判断; 文献[3]主要是基于 FBM 模型, 产生具有长



收稿日期: 2015-06-10

修回日期: 2015-08-10;

作者简介: 鲁云军(1973-), 男, 河南开封, 博士, 教授, 博导, 研究方向为作战模拟; 蔡福利(1985-), 男, 内蒙古赤峰, 硕士, 研究方向为军事运筹; 周明(1975-), 男, 江苏海门, 博士, 副教授, 研究方向为军事仿真。

http://www.china-simulation.com

相关特性的业务量, 并分别采用 RMD 和 Fourier 变换法进行了流量序列的仿真生成实验。这些研究工具和方法, 在分析背景业务流量对作战指挥控制影响方面局限性较大, 而且模型复杂, 算法运算量大, 降低了仿真效率, 不能很好的模拟生成符合作战指挥训练需求的背景业务流量。

本文通过对典型部队信息量进行统计分析, 运用指数法建模的思想提出了一种面向作战指挥的通信网系背景业务流量建模方法, 并建立了能够较好地满足作战指挥训练需求的背景业务流量生成模型。该模型不依赖具体的物理节点、链路以及通信协议, 不需要研究两节点之间业务流量变化的细节, 从总体上模拟出军事通信网系中业务流量增长的趋势, 有效地解决模型运行效率对于作战指挥的影响问题, 同时降低了算法运算量, 简化了模型设计, 缩短了开发周期和成本。

1 建模思路

指数法是一类特殊的统计分析方法, 用于反映事物数量相对变化的程度, 实质是用统一尺度来度量军队的作战能力, 把所有感兴趣的因素量化为可以作对比的相对于同一个量(或基础)的数字。背景业务流量生成建模, 主要就是运用指数法建模的基本思想, 首先选择基准通信节点对, 并以其相应的背景业务流量作为对比基准, 其它所有通信节点对的背景业务流量就是与该对比基准按照一定的关系进行增加或者减少。

对于通信网系, 可以从图论的观点将其看作成是由 n 个节点和相关链路的集合, 各节点之间的背景业务流量可以用矩阵形式来统一描述。背景业务流量矩阵中源节点(Original)到目的节点(Destination)之间的关系可被简称为“OD 对”(Original-Destination)。理论上所有的 OD 对之间都会有通信业务往来, 相应的就会有背景业务流量产生。对于 n 个节点的通信网系, 背景业务流量矩阵如公式(1)所示。

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: B 为背景业务流量矩阵; n 为通信网系内通信节点的个数; b_{ij} 为第 i 个节点到第 j 个节点的背景业务流量; 矩阵中的行表示源节点, 列表示目的节点, ij 对应关系就是通信网系中的 OD 对。

2 建模条件

背景业务流量生成建模依赖于以下建模条件:

(1) 背景业务流量模型建立在各指挥实体、武器平台之间的通信业务关系已确立基础上, 即通信网系中的 OD 对关系基本确定, 并随着作战仿真进程推进 OD 对局部关系会发生变化。在作战指挥训练中, 核心是反映网系性能对作战指挥的影响, 并不需要产生十分精确地背景业务量。因此模型只需反映出通信网系中不同指挥层级的业务流量变化趋势, 并按照 OD 对的指挥层级关系产生动态变化的背景业务流量。

(2) 通信设备之间的互联形成了通信网系中的节点和链路, 同时通信设备主要用来保障各级指挥实体、武器平台之间进行信息传递, 彼此之间形成依附关系, 并且不会随着网系拓扑结构的变化而变化。因此依据通信节点的性质属性, 可以确定所保障的指挥实体、武器平台的指挥级别。

(3) 基于组件化建模的思路, 背景业务流量模型可以继续拆分为基本模型和系数模型。基本模型主要用于计算各 OD 对之间的背景业务流量的均值, 系数模型主要用于计算基本模型中吸引系数的修正系数和业务量特性的随机系数。各指挥实体、武器平台之间的密切关系并不是一成不变的, 随着不同的作战阶段而变化, 因而应对吸引系数进行适时修正。由于背景业务流量动态变化的特性, 在计算背景业务流量均值的基础上, 应产生在一定范围内符合均匀分布的随机系数, 最终产生符合需求的背景业务流量。

(4) 以美军联合报告机构发布的“JRS-92-100”报告中给出的各类通信业务所包含的信息量为基础, 结合我军实际情况, 对典型部队信息量数据进行统计, 可以得出典型部队信息量的统计值以及变化趋势。由于作战行动的特殊性, 通信业务发起的时机和大小具有很大的随机性, 因此要综合考虑其受到作战类型、作战阶段、指挥所级别以及类型等多种因素的影响, 确定背景业务流量的均值。

3 模型建立

3.1 基本模型

通过对典型部队信息量进行统计, 运用指数法建模的思想, 建立背景业务流量生成模型。模型用尽可能少的参数反映通信网系中的背景业务流量, 算法应尽量简便, 并且能够动态变化, 最终满足作战指挥训练的需要。综合考虑, 建立背景业务流量生成模型如公式(2)所示。

$$B_{ij} = k_{ij} \rho x^{e_{ij}} r \quad (2)$$

式中: B_{ij} 为通信网系中 OD 对之间的背景业务流量矩阵; k_{ij} 为各指挥实体、武器平台之间的关系密切程度, 被称之为吸引系数; ρ 为吸引系数的修正系数; $x^{e_{ij}}$ 为基准 OD 对的背景业务流量, 其值根据典型部队信息量的统计结果确定, 作为其它 OD 对背景业务流量对比的基准值; e_{ij} 为其它 OD 对背景业务流量与基准 OD 对背景业务流量按照指挥层级增长的指数, 对应通信节点所保障的各级指挥所的指挥层级; x 为背景业务流量按照指挥层级增长的基数, 其值应依据典型部队信息量的统计结果和已经确定的增长指数 e_{ij} 计算取得; r 为业务流量特性的随机系数, 主要是基于背景业务流量动态变化的特性, 在计算背景业务流量均值的基础上, 产生在一定范围内符合均匀分布的随机系数, 最终产生符合需求的背景业务流量。

3.2 吸引系数的修正系数

吸引系数是随着不同作战类型和阶段、遭受蓝军干扰、战场毁伤概率以及施训人员的导调干预等

因素不断变化的, 需要对其进行必要地修正。四个干扰因素与吸引系数之间, 是成正比例的关系, 只要任意一个参数发生变化, 就会引起吸引系数的改变, 彼此之间紧密联系。对于吸引系数的修正系数 ρ , 考虑主要的影响因素并建立修正系数模型如公式(3)所示。

$$\rho = \rho_1 \rho_2 \rho_3 \rho_4 \quad (3)$$

式中: ρ_1 为作战阶段的不同对吸引系数的修正系数, 当作战阶段发生转变, 吸引系数修正系数与吸引系数成正相关, 即 $\rho_1 \geq 1$; ρ_2 为蓝军干扰程度对吸引系数表的修正系数, 当发生一般干扰、严重干扰和阻断等情形时, 干扰程度与吸引系数成负相关, 即 $\rho_2 \leq 1$; ρ_3 为战场毁伤概率对吸引系数表的修正系数, 当发生一般毁伤、严重毁伤和毁伤三种程度时, 毁伤程度与吸引系数成负相关, 即 $\rho_3 \leq 1$; ρ_4 为战场指挥人员的指挥控制对吸引系数表的修正系数, 干预程度与吸引系数成负相关, 即 $\rho_4 \leq 1$, 干预程度修正系数可在模型外部由导调人员输入。

3.3 业务量特性的随机系数

由于军事通信网特有的通信业务随机性、突发性的特点, 背景业务流量矩阵 B 实际上随着仿真进程的推进动态变化的, 矩阵中各 OD 对的背景业务流量大小是一个随机变量。在计算各 OD 对业务流量均值基础上, 背景业务流量在均值附近范围内动态变化, 因此产生符合均匀分布的随机数, 其模型如公式(4)所示。

$$r = \text{Uniform}[r_{\min}, r_{\max}] \quad (4)$$

式中: r 为符合均匀分布的随机数; Uniform 代表均匀分布; $r_{\min}$ 为均匀分布随机数范围的下限值, 一般的 $r_{\min} \leq 1$; $r_{\max}$ 为均匀分布随机数范围的上限值, 一般的 $r_{\max} \geq 1$ 。

4 模型计算

背景业务流量生成模型分析计算流程如图 1 所示, 主要包括 4 个计算过程 11 个步骤。

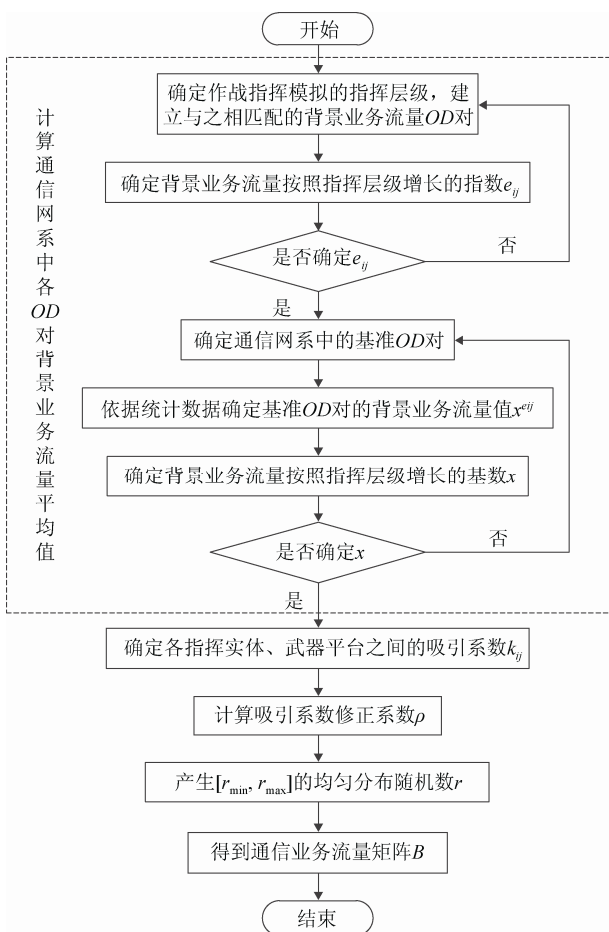


图 1 背景业务流量生成模型分析计算流程

Fig. 1 The calculation process for generating background traffic

4.1 计算通信网系中各 OD 对背景业务流量平均值

Step 1: 获取通信节点所保障的指挥机构或武器平台的属性, 确定作战指挥模拟的指挥层级, 建立与之相匹配的背景业务流量 OD 对。在作战指挥模拟中, 通常各级基指应与本级前指、后指、预指、直属分队, 以及与下级基指之间建立指挥关系, 根据这些指挥关系确定背景业务流量 OD 对。

Step 2: 以 Step 1 确定的指挥层级为基础, 确定背景业务流量按照指挥层级增长的指数 e_{ij} 。 e_{ij} 的取值与源节点 O 和目的节点 D 相对应, 如表 1 所示。假设班(台、站)层级的基准增长指数 e_{ij} 为 e , 通常情况下, 基准增长指数 $e \geq 0$, 则其它各层级的增长指数 e_{ij} 依次为 $e+1, e+2, \dots, e+N$ 。表中

的参数 e 为指数的基准值。

表 1 指挥层级增长的指数
Tab. 1 The growth index according to the command hierarchy

指挥层级(OD 对)		指数
源节点(O)	目的节点(D)	$e_{ij}(e \geq 0)$
军基指	旅基指、军前指、军后指、 军本级分队、(军预指)	$e+6$
旅基指	团基指、旅前指、旅后指、 旅本级分队、(旅预指)	$e+5$
团基指	营、团前指、团后指、 团本级分队、(团预指)	$e+4$
营	连	$e+3$
连	排	$e+2$
排	班	$e+1$
班	单人/单台	e

Step 3: 判断是否确定了背景业务流量按照指挥层级增长的指数 e_{ij} 。若没有确定指数则返回 Step 1 重新确定, 若确定则进入 Step 4。

Step 4: 确定通信网系中的基准 OD 对。基准 OD 对的选择主要是依据每次作战模拟训练中指挥实体、武器平台的仿真粒度^[4], 每次训练中对于模型的仿真粒度要求可能是不相同的。如仿真粒度要求到连一层级, 则可以选择“营-连”为基准 OD 对。

Step 5: 依据统计数据确定基准 OD 对的背景业务流量值 x_{ij} 。背景业务流量基准值主要依据“JRS-92-100”报告典型部队信息量的统计结果以及我军的实际情况确定, 可以推算出在 20XX 年典型部队的信息量值 D, 计算公式为:

$$D = A \times (1 + (N - 2010) \times p)$$

其中: A 为 2010 年典型部队信息量; N 为第 20XX 年; P 为典型部队信息量增长率。

Step 6: 根据 Step 5 确定的背景业务流量值 x_{ij} 和 Step 2 确定的指数 e_{ij} , 确定背景业务流量按照指挥层级增长的基数 x 。

Step 7: 判断是否确定了背景业务流量按照指挥层级增长的基数 x 。若没有确定基数则返回 Step 4 重新确定, 若确定则进入 Step 8。

4.2 确定各指挥实体、武器平台之间的吸引系数 k_{ij}

Step 8: 确定各指挥实体、武器平台之间的吸引系数 k_{ij} 。为了简化模型的复杂度, 主要采取按级指挥的关系, 必要时也可实施越级指挥。我军各级指挥所之间是以基本指挥所为中心展开工作的, 假定本级基指与下级基指之间的吸引系数为“1”, 综合考虑战场环境因素的影响以及对历史数据的统计分析, 对众多的通信专家、军事专家进行咨询, 判定各级指挥所之间的吸引系数表如表 1 所示。表中的参数 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 取值范围为: $1 > a > b > c > d > e > f > 0$ 。其中, 1 为基指与下级基指的吸引系数, a 为基指与前指之间的吸引系数; b 为基指与后指之间的吸引系数; c 为基指与预指之间的吸引系数; d 为前指与后指之间的吸引系数; e 为前指与预指之间的吸引系数; f 为后指与预指之间的吸引系数。

表 2 上下级指挥所之间吸引系数表
Tab. 2 The coefficient of command posts
between higher and lower

指挥所关系	基指	前指	后指	预指	下级基指
基指	0	A	b	c	1
前指	a	0	d	e	0
后指	b	D	0	f	0
预指	c	E	f	0	0
下级基指	1	0	0	0	0

4.3 计算吸引系数修正系数 ρ

Step 9: 计算吸引系数修正系数 ρ 。其值的计算主要根据公式(3)。吸引系数是一个随着作战进程的推进动态变化的值, 根据不同的作战条件需要对其进行修正。主要采取模型自主判定和军事人员设定相结合的修正方式, 动态的对吸引系数做出调整。

4.4 产生均匀分布的随机系数 r

Step 10: 产生均匀分布的随机系数 r 。基于背景业务流量具有突发性、随机性变化的特点, 在作

战指挥训练中, 应在一定的时间周期内重新生成背景业务流量一次, 使得背景业务流量动态变化, 满足作战模拟的需求。主要采取军事人员设定动态变化范围的方式对随机系数 r 做出调整。

Step 11: 经过 Step 1~Step 10, 得到了模型中的各个参数的取值, 那么网系中的背景业务流量矩阵 B 就能计算得出。

5 仿真验证

本文研究设计的背景业务流量生成模型, 已经在“XX”软件系统中得到实际应用, 效果较好。该系统基于 XSIM 平台进行模型开发, 采用标准的 C++ 语言, 开发环境为 Visual Studio 2010。在该系统中, 背景业务流量矩阵参数的设定如图 2 所示, 参数设定值主要包括: 输入全网业务流量调整比例、业务量增长基数、业务量增长级数以及各类指挥所之间的吸引系数等。

参与仿真的红方实体包括各类通信车、各级指挥所和通信枢纽, 蓝方实体包括 XX 守备旅指挥所、干扰分队和预警雷达站, 主要仿真背景业务流量生成过程。设定该模型运行时间为 1 h, 背景业务流量生成周期为 30 s, 对其中 3 次生成的背景业务流量进行抽样分析如图 3 所示。

提取各级基本指挥所之间的背景业务流量值, 其单位经过归一化处理, 分析全网业务流量增长趋势如图 4 所示。

抽样结果表明, 该模型能够生成符合指挥层级变化趋势的背景业务流量, 满足了作战模拟的需求。在背景业务流量生成周期内, 统计模型运算时间以及产生数据值, 并采用归一化均方误差 (Normalized Mean Square Error, NMSE) 来表征模型计算精确度, 如公式(5)所示。

$$NMSE = 10 \log_{10} \frac{\sum_{k=1}^K |\bar{B}(k) - B(k)|^2}{\sum_{k=1}^K |\bar{B}(k)|^2} \quad (5)$$

公式(5)中: $B(k)$ 表示第 k 个 OD 对的统计背景

业务流量值, $B(k)$ 表示通过模型产生的背景业务流量值, NMSE 就反映了模型与统计值之间的接近程度。其产生背景业务流量的时间延迟和结果精确度 NMSE 如表 3 所示。

与传统吸引系数法模型相比, 背景业务流量生成模型在计算过程中依赖外部统计数据较少, 克服

了吸引系数法中全网用户业务强度峰值的计算困难, 降低了模型计算的复杂度。通过仿真验证, 该模型能够快速生成背景业务流量, 算法简便、效率较高, 能够体现出指挥层级关系, 并能够为通信保障效果的计算提供数据支持。

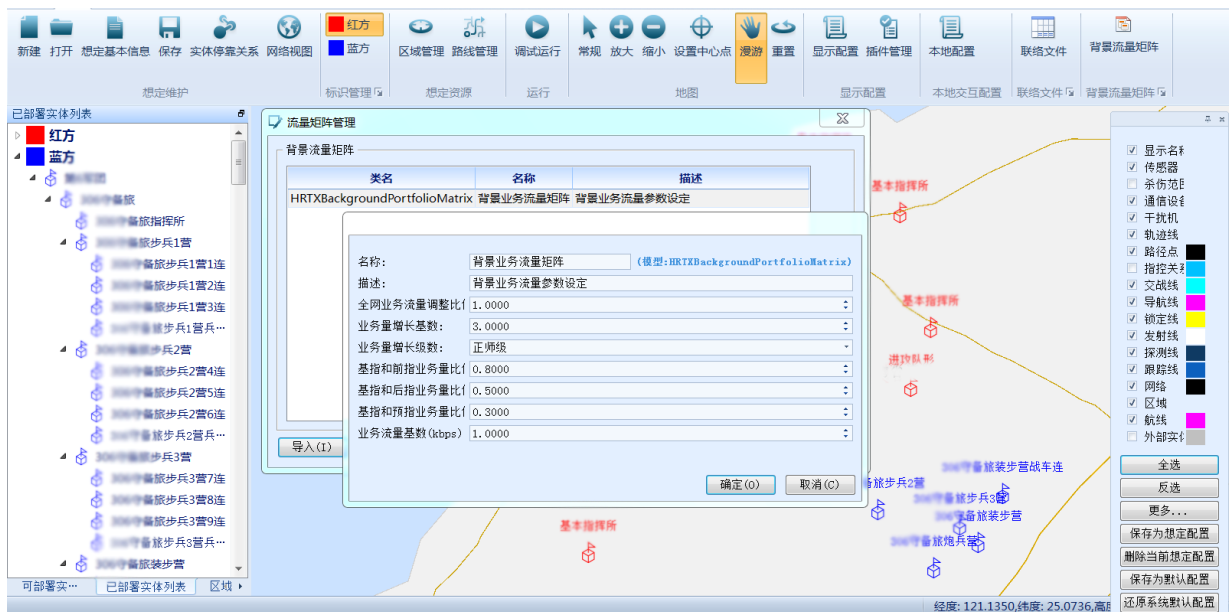


图 2 背景业务流量矩阵参数设定

Fig. 2 The parameters setting of background traffic matrix

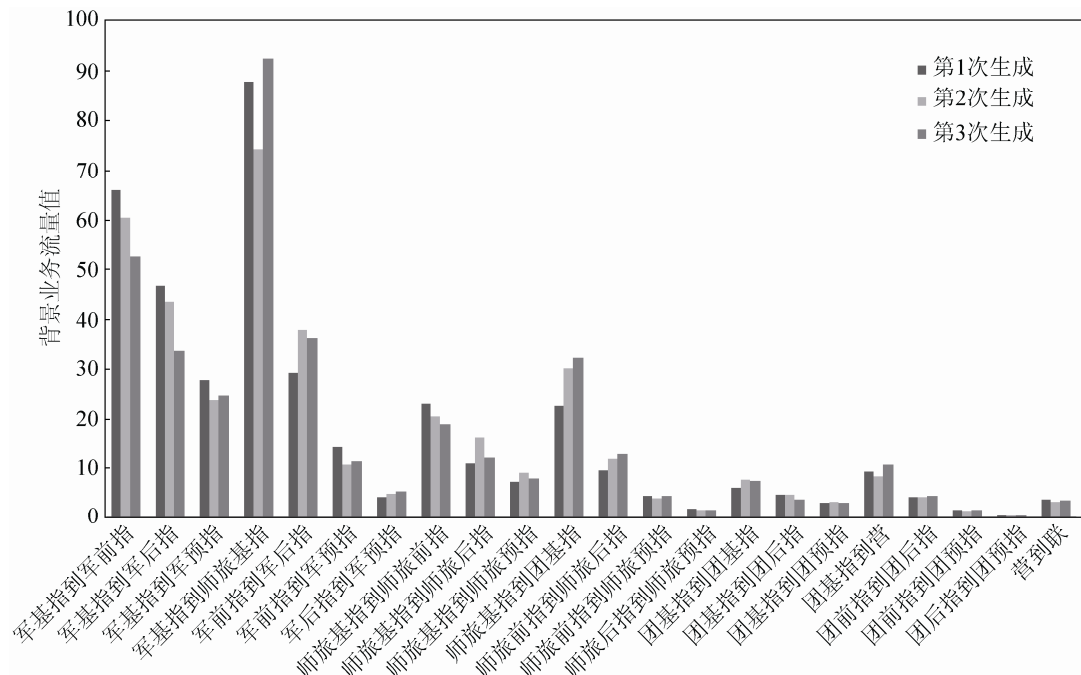


图 3 背景业务流量数据柱状图

Fig. 3 The bar chart of background traffic data

<http://www.china-simulation.com>

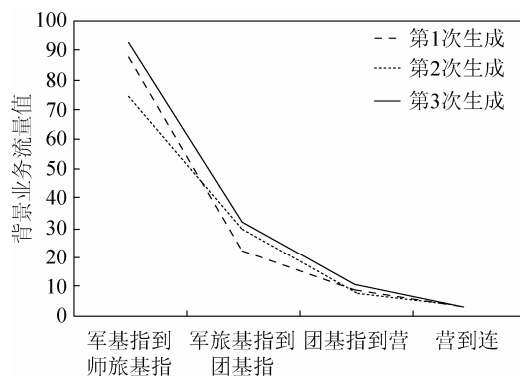


图4 按指挥层级增长的业务流量趋势

Fig. 4 The growth trend of the business flow according to the command hierarchy

表3 产生背景业务流量的时间延迟和结果精确度

Tab. 3 The time delay and accuracy degree of generating background traffic

模型	时间延迟/s	NMSE
传统吸引系数法模型	0.148 37	-19.938 7
背景业务流量生成模型	0.025 43	-24.938 7

6 结论

本文从作战指挥训练的实际需求出发,针对当前业务流量建模方法的局限性,提出了一种面向作战指挥的通信网系背景业务流量建模方法,建立了能够较好满足作战指挥训练需求的背景业务流量生成模型,并详细分析了该建模方法的计算流程,最终通过仿真实验验证了模型的可适用性。仿真结果表明,该模型能够有效地生成符合指挥层级变化趋势的背景业务流量,为分析指控信息通断、时延和准确率等通信效果对作战行动的影响提供了数据基础,较好地满足了作战指挥模拟的需求。下一步可以针对背景业务流量值产生的实时性、精确度进行模型改进。

参考文献:

- [1] 逯昭义. 通信业务量理论与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011. (Lu Zhaoyi. Tele-traffic theory and applications [M]. Beijing, China: Publishing House of Electronics Industry, 2011.)
- [2] 叶酉荪, 南庚. 军事通信网分析与系统集成 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 203-204. (Ye Yousun, Nan Geng. Military communication networks analysis and system integration [M]. Beijing, China: National Defense Industry Press, 2005: 203-204.)
- [3] 卢颖, 裴承艳, 陈子辰, 等. 基于 FBM 模型的自相似流量建模仿真 [J]. 电子设计工程, 2011, 19(17): 101-103. (Lu Ying, Pei Chengyan, Chen Zichen, et al. Modeling and simulation of self-similar traffic based on FBM model [J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(17): 101-103.)
- [4] 鲁云军, 王梦麟. 多分辨率建模方法在通信兵作战仿真中的应用 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(22): 5108-5111. (Lu Yunjun, Wang Menglin. Application of multiple resolution modeling in signal corps operations simulation [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2007, 19(22): 5108-5111.)
- [5] 沈建忠, 刘敬学. 军事运筹学 [M]. 武汉: 通信指挥学院, 2007: 123-156. (Shen Jianzhong, Liu Jingxue. Military operation research [M]. Wuhan, China: Academy of Communication Command, 2007: 123-156.)
- [6] 甘志春, 苏泽友. 指挥信息系统及组织运用 [M]. 武汉: 国防信息学院, 2014: 16-18. (Gan Zhichun, Su Zeyou. Command information system and organization application [M]. Wuhan, China: Academy of National Defense Information, 2014: 16-18.)
- [7] 王汉杰, 刘勇, 黎发新. 联合战术信息通信 [M]. 武汉: 国防信息学院, 2014: 81. (Wang Hanjie, Liu Yong, Li Faxin. Joint tactical information communication [M]. Wuhan, China: Academy of National Defense Information, 2014: 81.)

(上接第 551 页)

- [9] Young L R, Oman C M. Model for Vestibular Adaptation to Horizontal Rotation [J]. Aerospace Medicine (S0001-9402), 1969, 40(10): 1076-1080.
- [10] 李士勇. 模糊控制·神经控制和智能控制理论 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998: 269-270. (Li Shiyong. Fuzzy Control • Neural Control and Intelligent

Control Theory [M]. Harbin, China: Harbin Institute of Technology Press, 1998: 269-270.)

- [11] 孙增圻, 邓志东, 张再兴. 智能控制理论与技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 33-34. (Sun Zengqi, Deng Zhidong, Zhang Zaixing. Intelligent Control Theory and Technology [M]. Beijing, China: Tsinghua University Press, 2011: 33-34.)