

基于改进模糊综合评判的指挥信息系统对抗训练效果评估

郑敏娇¹, 郑安卡², 李文元²

(1 西安通信学院 信息安全系, 陕西 西安 710106; 2 西安通信学院 通信指挥系, 陕西 西安 710106)

摘 要: 为解决指挥信息系统在复杂电磁环境下对抗训练效果的评估问题, 分析了复杂电磁环境影响信息系统效能的相关因素, 建立了指挥信息系统对抗训练效果评估指标体系. 并针对传统模糊综合评估模型在确定指标权重时主观性较大、利用信息不充分的问题, 提出一种改进的模糊综合评判算法, 采用主成分分析法代替专家法确定指标权重, 采用加权平均算子代替取大取小算子, 克服了以上问题. 实例分析表明该模型能够实现训练效果的量化分析, 为提高训练质量提供参考依据.

关键词: 指挥信息系统; 效能评估; 主成分分析; 加权平均算子

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)05-0179-05

Research on Improved Fuzzy Synthetic Evaluation Model in Exercise Efficiency Evaluation of Command Information System

ZHENG Min-jiao¹, ZHENG An-ka², LI Wen-yuan²

(1 Information Security Department, Xi'an Communications Institute, Xi'an 710106, China;

2 Communications Command Department, Xi'an Communications Institute, Xi'an 710106, China)

Abstract: In order to evaluate the exercise efficiency of command information system in complex electromagnetic environments, establish the command information system combat training effect evaluation index system base on the analysis of the factors what impact the system Effectiveness. Aiming at the problems of traditional fuzzy synthetic evaluation model in practical application, which are much subjective as calculating weight of index and do not make full use of all information, the following methods were improved: using the principal component analysis to replace the Experts to to calculate the weight of index, using weighted average operator to replace classical big or small operator. Finally, the results show that the method can realize the quantitative analysis of efficiency evaluation, which prove a reference foundation to improve of the quality of training.

Key words: command information system; effectiveness evaluation; fuzzy comprehensive evaluation; principal component analysis; weighted average operator

1 引言

加强复杂电磁环境下指挥信息系统对抗训练是创新信息化条件下训练模式、大力开展实战化军事训练的重要举措. 训练效果评估是评价并量化经过对抗训练后部队作战能力提高的程度或幅度, 是训练效果评估的核心部分. 以评估结论为依据进行训练决策, 调整训练活动是实现训练目标优化、提高训练质量的重要手段, 对部队日常训练具有重要的指

导意义.

复杂电磁环境下指挥信息系统对抗训练是以提高通信部队支撑保障能力为目标, 评估和检验复杂电磁环境下指挥信息系统互联互通、组织运用、系统集成、反侦抗扰等能力的训练活动. 为准确评估其训练效果, 需要构建合理的指标体系, 并设计科学的评估方法. ADC 法(可用性 Availability、可信赖性 Dependability、能力 Capability)在评估单件武器装备效能中发挥了重要作用, 但训练效果评估是项复杂

的系统工程,ADC 法并不适用,并且 ADC 法所得到的评估值不具备物理意义;层次分析法通过层次分解,将一个复杂的问题分解成若干个简单的问题,但指标不同向(如部分指标为效益型指标、另一部分指标为成本型指标)时无法实现系统效能的评估;模糊综合评判法很好地解决了训练评估中大量的定性指标,但容易产生超模糊现象^[1-5]. 本文构建了复杂电磁环境下指挥信息系统对抗训练效果评估指标体系,针对专家法建立的评估模型主观因素较多,使用主成分分析法确定评估因素权重,并针对模糊综合评判法在评估因素较多时易出现超模糊现象的问题对评判模型加以改进,建立改进的模糊综合评判模型. 该方法不仅能够评估整体训练效果,并且能够发现训练中的薄弱环节,改进训练重点和方法,增强通信部队支撑保障能力.

2 指挥信息系统对抗训练效果评估指标体系

本文针对以无线电台通信网、野战地域通信网、

卫星通信网、移动通信网和无人机系统等为主要通信手段组成的指挥信息系统,建立其对抗训练效果评估指标体系.

复杂电磁环境下训练活动的开展由于受环境影响,组织指挥和设备操作难度加大,易出现通信业务量降低、报文错组率升高、有效通信时间和距离缩短等情况,需要采取有效方法改善及避免通信质量下降. 复杂电磁环境下对抗训练指标建立与理想情况下相比,除通信能力外,还应包括各类战术及反侦察抗扰措施运用的效果. 因此,本文采用分层结构建立对抗训练效果指标体系,并综合衡量了通信网通信能力、战术运用、反侦察抗扰措施运用等多方面因素,如图 1 所示,分为通信组网能力和指挥对抗能力(两部分).

通信组网能力需要衡量通信网的通信能力以及反侦察抗扰措施运用的效果,包括:通信时效性、有效通信时间、有效通信距离和报文错组率以及通信网络的吞吐量、带宽、误码率和丢包率;反侦察抗扰能力,即抗扰措施有效性和抗扰反应时间.

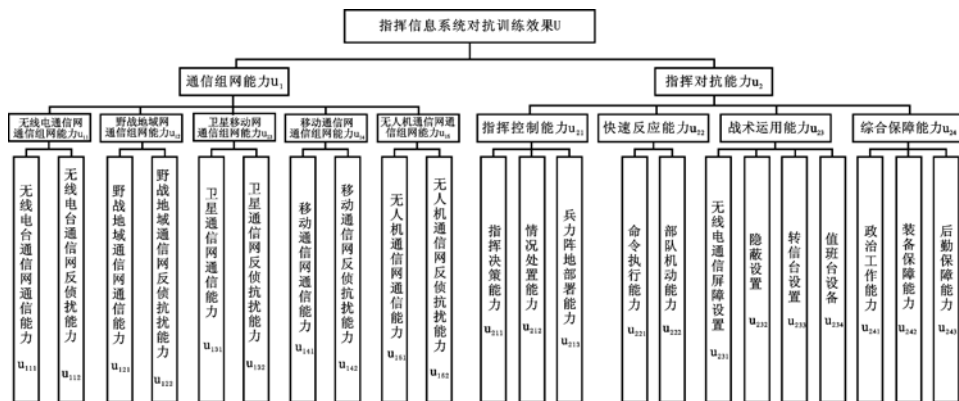


图 1 复杂电磁环境下指挥信息系统对抗训练效果评估指标体系

指挥对抗能力是对首长机关部队多级联动完成整个对抗活动的能力的全面描述,包括:指挥控制能力,主要指首长机关对整个活动的指挥控制能力,即指挥决策能力、情况处置能力和兵力阵地部署能力;快速反应能力,是整个部队机动能力的集中体现,即命令执行能力和部队机动能力;战术运用能力,是指通信部队战术运用的能力,即设置无线电通信屏障、启用隐蔽网、设立转信台、值班台的有效性和时间;综合保障能力,是部队保障能力的综合体现,即政治工作能力、装备保障能力、后勤保障能力.

3 模糊综合评判模型及其改进

3.1 模糊综合评判模型

模糊综合评判法是通过构造等级模糊子集把反

映被评事物的模糊指标进行量化(即确定隶属度),然后利用模糊变换原理对各指标综合模糊,方法流程如下:

(1) 构建评估因素集

建立多级评估指标体系 U , 表示为

$$U = \{u_i, i \in [1, m]\} \quad (1)$$

式中, m 为 1 级指标个数, u_i 为 1 级指标, 可表示为

$$u_i = \{u_{ij}, j \in [1, n]\} \quad (2)$$

式中, n 为 2 级指标个数, u_{ij} 为 2 级指标, 依此类推.

(2) 确定评语集

评价集为指标的评价等级数, 可采用“优秀, 良好, 一般, 较差”或其他评语进行描述, 表示为

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\} \quad (3)$$

(3) 确定指标权重

采用层次分析法方法,通过对同一层或同一域的指标进行两两比较建立判断矩阵来比较 n 个指标对某准则的影响大小,并按 9 标度法对重要程度进行赋值,构造判断矩阵 $\mathbf{A}$,确定指标的权重 $\mathbf{W}$ 。

(4) 建立模糊评价矩阵

采用统计法或分布隶属函数法建立从因素集 U 到评价集 V 的模糊映射如下:

$$f: U \rightarrow F(V), u_i \rightarrow r_{i1}/v_1 + r_{i2}/v_2 + \cdots + r_{im}/v_m \quad (4)$$

则 $\mathbf{R} = [r_{ij}], i \in [1, m], j \in [1, n]$ 为模糊隶属矩阵。

(5) 进行模糊综合评判

假定指标权重向量为 $\mathbf{W}$, 模糊隶属矩阵为 $\mathbf{R}$, 则模糊综合评判结果:

$$\mathbf{B} = \mathbf{W} \circ \mathbf{R} = (b_1, b_2, \cdots, b_m) \quad (5)$$

式中, $b_j = \bigvee_{i=1}^n (\omega_i \wedge r_{ij}), j \in [1, m]$. 若 $\sum_{i=1}^m b_i \neq 1$, 则对其进行归一化处理, 得到系统综合效果评估结果为

$$\mathbf{C} = (c_1, c_2, \cdots, c_m) \quad (6)$$

其中

$$c_{\max} = \max c_i = \max (b_i / \sum_{i=1}^m b_i) \quad (7)$$

3.2 改进的基于主成分分析法的权重确定法

传统模糊综合评判法在确定指标权重时, 采用专家评判或采用层次分析法对指标进行两两比较确定指标对准则影响大小, 并基于此计算指标权重时, 主观因素较多; 在实际应用中并不能确保总是采用合理的权重体系。而利用主成分分析法能够将原始数据指标简化为少量的统计意义上相互独立的综合指标, 来包含原指标中绝大多数的信息; 并通过特征向量的方差贡献率来表征变量的作用避免了在系统分析中对权重的主观判断, 使权重的分配更合理, 尽可能的减少了重叠信息的不良影响, 克服了变量之间的多重相关性, 使系统分析更简化。

假定指标体系 U 共有 p 个指标构成, 通过对样本数据集进行分析, 将 $\{u_i\}$ 进行线性组合, 得到一组新的综合指标为

$$\mathbf{F} = \{\mathbf{F}_i\}, i \in [1, m] \quad (8)$$

并用 $\mathbf{F}_i$ 的方差为依据, 即 $\text{var}(\mathbf{F}_i)$ 越大, $\mathbf{F}_i$ 包含的信息越多。将方差最大的向量 $\mathbf{F}_1$ 做成第一主成分; 若第一主成分所含信息不足以代表原 p 个指标的信息, 再选取 $\mathbf{F}_2$, 并且 $\mathbf{F}_2$ 不再包含 $\mathbf{F}_1$ 中所含信息, 即 $\text{Cov}(\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2)$; 依此类推。由此, 得到原变量的

第一、第二、……、第 m 个主成分:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_1 &= a_{11}\mathbf{u}_1 + a_{12}\mathbf{u}_2 + \cdots + a_{1p}\mathbf{u}_p \\ \mathbf{F}_2 &= a_{21}\mathbf{u}_1 + a_{22}\mathbf{u}_2 + \cdots + a_{2p}\mathbf{u}_p \\ &\vdots \\ \mathbf{F}_m &= a_{m1}\mathbf{u}_1 + a_{m2}\mathbf{u}_2 + \cdots + a_{mp}\mathbf{u}_p \end{aligned} \quad (9)$$

其中, $(a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{ip}), i \in [1, m]$ 为 U 的协方差阵 Σ 的特征值对应的特征向量; $(u_1, u_2, \cdots, u_p)$ 是原始变量经过标准化处理的值(将原始数据标准化是为了消除量纲的影响)。

再综合考虑各主成分向量所含的信息值即可得到综合得分模型为

$$\mathbf{F} = \omega_1\mathbf{u}_1 + \omega_2\mathbf{u}_2 + \cdots + \omega_p\mathbf{u}_p \quad (10)$$

u_i 的参数向量即为指标的权重向量 $\mathbf{W}$ 。

3.3 改进的加权平均模糊合成算子

模糊综合评判法在用于训练效果评估时由于因素集较多, 采用传统的取大取小算法时, 每一因素的权重常常很小, 因此, 按照上述算法进行第 5 步模糊综合评判模糊合成运算时, 信息丢失很多, 常导致结果不易分辨和不合理的情况。所以, 针对上述问题, 这里利用加权平均模糊合成算子将 $\mathbf{W}$ 与 $\mathbf{R}$ 组合成得到模糊综合评判结果向量 $\mathbf{B}$ 。计算公式为

$$\mathbf{B} = [b_i] \quad (11)$$

其中

$$b_i = \sum_{j=1}^p (\omega_j \cdot r_{ij}) = \min(1, \sum_{i=1}^p \omega_i \cdot r_{ij}) \quad (12)$$

$$i \in [1, n], j \in [1, m]$$

归一化后, 为

$$\mathbf{C} = (c_1, c_2, \cdots, c_m) \quad (13)$$

其中,

$$c_j = b_j / \sum_{j=1}^m b_j \quad (14)$$

对于分层的评价指标体系, 改进后的模糊综合评判法评估向量 $\mathbf{E}$ 为

$$\mathbf{E} = \mathbf{C} * \mathbf{V}^T = \mathbf{W} * (\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2, \cdots, \mathbf{E}_m)^T \quad (15)$$

其中,

$$\mathbf{E}_i = \mathbf{W}_i * \mathbf{R}_i * (\mathbf{E}_{i1}, \mathbf{E}_{i2}, \cdots, \mathbf{E}_{ij})^T \quad (16)$$

4 对抗训练效果评估实例

某通信部队组织指挥信息系统对抗训练, 实施网络化指挥, 开通无线电台通信网、野战地域通信网、卫星通信网、移动通信网和无人机通信系统。现对其对抗训练效果进行评估。

4.1 确定评估指标权重

对对抗训练效果评判数据集各评价价值进行标准

化,将其化为(0,1)区间内的一个两位小数值.使用SPSS统计分析软件 Factor 过程对对抗训练效果评判值进行主成分分析.

表 1 方差分解主成分提取分析表

成份	提取平方和载入		
	合计	方差的百分比/%	累积百分比/%
1	17.363	78.922	78.922
2	4.637	21.078	100.000

表 2 初始因子载荷矩阵表

	成份矩阵	
	成份	
	1	2
VAR00001	0.940	0.342
VAR00002	-0.940	-0.342
VAR00003	0.940	0.342
VAR00004	-0.643	-0.766
VAR00005	0.643	0.766
VAR00006	0.874	-0.487
VAR00007	0.874	-0.487
VAR00008	-0.914	0.405
VAR00009	0.940	0.342
VAR00010	-0.940	-0.342
VAR00011	0.940	0.342
VAR00012	-0.874	0.487
VAR00013	-0.940	-0.342
VAR00014	0.940	0.342
VAR00015	0.874	-0.487
VAR00016	-0.874	0.487
VAR00017	-0.874	0.487
VAR00018	0.940	0.342
VAR00019	0.874	-0.487
VAR00020	-0.874	0.487
VAR00021	0.940	0.342
VAR00022	0.874	-0.487

通过表 1(方差分解主成分提取分析)可知,采用两个主成分可以反应主成分的全部信息,用表 2(初始因子载荷矩阵)中的数据除以主成分相对应的特征根开平方根便得到两个主成分中每个指标所对

应的系数.得到的两个主成分如下:

$$\begin{aligned} F_1 = & 0.23u_{111} - 0.23u_{112} + 0.23u_{121} - 0.15u_{122} + \\ & 0.15u_{131} + 0.21u_{132} + 0.21u_{141} - 0.22u_{142} + \\ & 0.23u_{151} - 0.23u_{152} + 0.23u_{211} - 0.21u_{212} - \\ & 0.23u_{213} + 0.23u_{221} + 0.21u_{222} - 0.21u_{231} - \\ & 0.21u_{232} + 0.23u_{233} + 0.21u_{234} - 0.21u_{241} + \\ & 0.23u_{242} + 0.21u_{243} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} F_2 = & 0.16u_{111} - 0.16u_{112} + 0.16u_{121} - 0.36u_{122} + \\ & 0.36u_{131} - 0.23u_{132} - 0.23u_{141} + 0.19u_{142} + \\ & 0.16u_{151} - 0.16u_{152} + 0.16u_{211} + 0.23u_{212} - \\ & 0.16u_{213} + 0.16u_{221} - 0.23u_{222} + 0.23u_{231} + \\ & 0.23u_{232} + 0.16u_{233} - 0.23u_{234} + 0.23u_{241} + \\ & 0.16u_{242} - 0.23u_{243} \end{aligned} \quad (18)$$

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重计算主成分综合得分模型,得到

$$\begin{aligned} F = & 0.21u_{111} - 0.21u_{112} + 0.21u_{121} - 0.19u_{122} + \\ & 0.19u_{131} + 0.12u_{132} + 0.12u_{141} - 0.13u_{142} + \\ & 0.21u_{151} - 0.21u_{152} + 0.21u_{211} - 0.12u_{212} - \\ & 0.21u_{213} + 0.21u_{221} + 0.12u_{222} - 0.12u_{231} - \\ & 0.12u_{232} + 0.22u_{233} + 0.12u_{234} - 0.12u_{241} + \\ & 0.21u_{242} + 0.12u_{243} \end{aligned} \quad (19)$$

对应向量经过归一化后即可得到权重向量:

$$\begin{aligned} W = & [0.07, 0.01, 0.07, 0.01, 0.06, \\ & 0.06, 0.06, 0.02, 0.07, 0.01, 0.07, \\ & 0.02, 0.01, 0.07, 0.06, 0.02, 0.02, \\ & 0.07, 0.06, 0.02, 0.07, 0.06] \end{aligned} \quad (20)$$

得到各级指标权重为

$$W = (0.45, 0.55) \quad (21)$$

$$W_1 = (0.18, 0.18, 0.28, 0.18, 0.18) \quad (22)$$

$$W_2 = (0.18, 0.24, 0.31, 0.27) \quad (23)$$

$$W_{11} = (0.8, 0.2) \quad (24)$$

$$W_{12} = (0.8, 0.2) \quad (25)$$

$$W_{13} = (0.5, 0.5) \quad (26)$$

$$W_{14} = (0.7, 0.3) \quad (27)$$

$$W_{15} = (0.8, 0.2) \quad (28)$$

$$W_{21} = (0.7, 0.2, 0.1) \quad (29)$$

$$W_{22} = (0.5, 0.5) \quad (30)$$

$$W_{23} = (0.1, 0.1, 0.4, 0.4) \quad (31)$$

$$W_{24} = (0.1, 0.5, 0.4) \quad (32)$$

4.2 建立模糊评判矩阵

为评价该通信团训练效能,计算其客观指标并邀请10名专家对主观因素进行打分,利用统计法得到模糊评判矩阵.

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.55 & 0.35 & 0.10 & 0.00 \\ 0.40 & 0.20 & 0.30 & 0.10 \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.65 & 0.10 & 0.05 \\ 0.20 & 0.40 & 0.25 & 0.15 \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.40 & 0.45 & 0.15 & 0.00 \\ 0.45 & 0.35 & 0.20 & 0.00 \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.45 & 0.25 & 0.00 \\ 0.30 & 0.55 & 0.15 & 0.00 \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.65 & 0.10 & 0.05 \\ 0.20 & 0.55 & 0.20 & 0.05 \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.50 & 0.20 & 0.10 \\ 0.10 & 0.70 & 0.20 & 0.00 \\ 0.25 & 0.60 & 0.10 & 0.05 \end{bmatrix} \quad (38)$$

$$R_7 = \begin{bmatrix} 0.20 & 0.55 & 0.20 & 0.05 \\ 0.10 & 0.35 & 0.35 & 0.20 \end{bmatrix} \quad (39)$$

$$R_8 = \begin{bmatrix} 0.10 & 0.35 & 0.35 & 0.20 \\ 0.20 & 0.60 & 0.20 & 0.00 \\ 0.10 & 0.35 & 0.40 & 0.15 \\ 0.20 & 0.40 & 0.30 & 0.10 \end{bmatrix} \quad (40)$$

$$R_9 = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.45 & 0.25 & 0.00 \\ 0.15 & 0.35 & 0.35 & 0.15 \\ 0.15 & 0.60 & 0.25 & 0.00 \end{bmatrix} \quad (41)$$

4.3 计算求得评估结果

根据改进的模糊综合评判模型,采用加权平均模糊合成算子,计算可得

$$B_1 = W_{11} * R_1 = (0.52, 0.32, 0.14, 0.02) \quad (42)$$

$$B_2 = W_{12} * R_2 = (0.20, 0.60, 0.13, 0.07) \quad (43)$$

$$B_3 = W_{13} * R_3 = (0.42, 0.40, 0.18, 0) \quad (44)$$

$$B_4 = W_{14} * R_4 = (0.42, 0.40, 0.18, 0) \quad (45)$$

$$B_5 = W_{15} * R_5 = (0.30, 0.48, 0.22, 0) \quad (46)$$

$$B_6 = W_{21} * R_6 = (0.18, 0.55, 0.19, 0.08) \quad (47)$$

$$B_7 = W_{22} * R_7 = (0.15, 0.45, 0.28, 0.12) \quad (48)$$

$$B_8 = W_{23} * R_8 = (0.15, 0.40, 0.33, 0.12) \quad (49)$$

$$B_9 = W_{24} * R_9 = (0.15, 0.46, 0.36, 0.07) \quad (50)$$

$$B_1' = W_1 * [B_1 B_2 B_3 B_4 B_5] \quad (51)$$

$$= (0.3386, 0.4774, 0.1588, 0.0252)$$

$$B_2' = W_2 * [B_6 B_7 B_8 B_9] \quad (52)$$

$$= (0.1550, 0.4537, 0.3013, 0.1010)$$

则评估结果为

$$E_1 = B_1' * V^T = 78.2350 \quad (53)$$

$$E_2 = B_2' * V^T = 67.1050 \quad (54)$$

$$E = W * [E_1 E_2] = 72.1135 \quad (55)$$

因此,指挥信息系统训练效果综合评价为72.1135,系统各性能指标的评估结果如表3所示.分析看出,该部队总体训练效果良好,通信组网能力较强但指挥对抗能力稍弱,特别是快速反应能力和战术运用能力,说明日常训练中应加强部队拉动训练,并强化装备操作、训练的规范化和灵活性.

表3 某部队指挥信息系统对抗训练效果评估结果

能力要素	评估结果	性能指标	评估结果
通信组网能力	78.2350	无线电通信网通信组网能力	83.50
		野战地域网通信组网能力	73.25
		卫星移动网通信组网能力	81.25
		移动通信网通信组网能力	77.00
		无人机通信网通信组网能力	74.50
指挥对抗能力	67.1050	指挥控制能力	71.13
		快速反应能力	65.63
		战术运用能力	64.38
		综合保障能力	68.88

5 结束语

训练效果评估一直是军事训练中的重难点问题,科学有效地对复杂电磁环境下指挥信息系统对抗训练效果进行评估为进一步强化部队实战化训练提供了科学的依据.本文针对传统模糊综合评判模型进行改进,并构建全面、科学、可行的评价指标体系,使得评估的结果精确合理,较为准确地反映了指挥信息系统对抗训练效果,对部队训练活动开展具有一定的指导意义.在评估实施过程中,需要结合具体情况进一步规范评估条件、完善评估标准、优化评估手段,不断完善评估机制,推动信息施训深入发展.

参考文献:

- [1] 胡永宏,贺思辉.综合评价方法[M].北京:科学出版社,2000.

(下转第187页)

5 结束语

本文针对异步电路在FPGA上的验证问题,完善了异步电路设计工具Balsa和Xilinx FPGA相结合的全流程设计方法,重点设计了FPGA中对四相双轨所握手协议的模拟.此设计流程避免了以往异步电路在FPGA上验证需要利用HDL设计Muller门及需要手动布局布线来完成时序约束的繁琐步骤,同时,所设计的异步电路在不同的FPGA平台上具有良好的可移植性,避免了重复设计.本文以8位Booth异步乘法器为例,进行了异步电路全流程设计,最后在NEXYS 3开发板上成功运行异步乘法器,证明了流程以及握手电路的正确性,验证了异步电路在实际硬件上的可行性.

参考文献:

- [1] 茅剑锋,赵千川.异步电路验证算法[J].计算机学报,2004,27(1):67-78.
- [2] 杨平中,孙义和.视频信号处理SoC中异步时钟处理技术[J].微电子学与计算机,2010,27(6):24-27.
- [3] Furber S. Principles of asynchronous circuit design[M]. Berlin:Springer,2001.

- [4] Doug Edwards, Andrew Bardsley, Lilian Janin, et al. Balsa: A Tutorial Guide [EB/OL]. [2013-04-20]. <ftp://ftp.cs.man.ac.uk/pub/amulet/balsa/3.5>
- [5] Brunvand E. Using FPGAs to implement self-timed systems[J]. Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology, 1993, 6(2):173-190.
- [6] Maheswaran K. Implementing self-timed circuits in field programmable gate arrays[D]. Daris:University of California, 1995.
- [7] Lee S J, Lee D Y, Ko Y W, et al. Asynchronous Circuit Design on an FPGA: MIPS Processor Case Study [M]. Berlin Heidelberg:Springer,2012:480-487.
- [8] 谷佳华,周端,杨延飞.基于Balsa—Xilinx FPGA的异步设计流程[J].微电子学与计算机,2012,29(6):18-22.

作者简介:

王康男,(1988—),硕士研究生.研究方向为数字电路设计及低功耗设计技术.

黄乐天男,(1984—),博士,讲师.研究方向为能量自适应及动态可重构计算.

李广军男,(1950—),教授,博士生导师.研究方向为信号与信息处理、通信ASIC设计、嵌入式系统.

(上接第183页)

- [2] Li Z S, Li J S. Design and implementation of operational effectiveness valuation simulation system for ECM [C]//Proceedings of the IEEE First International Conference on Innovative Computing, Information and Control-Volume 3. DC, USA: IEEE Computer Society Washington,2006:356-359.
- [3] 陈守煜.多目标系统半结构性决策理论与方法[J].辽宁工程技术大学学报,2001,20(5):578-582.
- [4] 张昌龙,周林,张文.基于模糊综合评判的防空作战演习效果评估[J].火力与指挥控制,2011,36(12):

48-50.

- [5] 基于灰色层次分析法的水声对抗系统效能评估[J].兵工学报,2012,33(4):432-436.

作者简介:

郑敏娇女,(1984—),助教.研究方向为复杂系统建模与仿真,作战效能评估.

郑安卡男,(1958—),教授.研究方向为运筹学分析、作战效能评估.