

OSPF协议分层递进式教学法的探索与实践

宋柱芹，侯严严，杨贞萍

嘉兴南湖学院信息工程学院，浙江 嘉兴

收稿日期：2025年9月15日；录用日期：2025年12月2日；发布日期：2025年12月12日

摘要

针对应用型本科学生在学习OSPF协议时普遍存在的概念抽象性强、逻辑复杂度高、理论与实践脱节等问题，本文提出了一种包括概念层、机制层和部署层的三层递进式教学法，该方法通过从基础概念到协议机制再到综合部署分层拆解OSPF知识体系，降低学习难度并提升工程实践能力，有效解决概念理解障碍、机制掌握不足和综合应用薄弱三个问题。本文采用实证路径，通过设置实验组与对照组，采集前后测成绩、项目实战评估及满意度问卷等多维度数据，结果表明，实验组学生在理论掌握深度、工程实践能力及学习主观体验上均显著优于对照组，从而为分层递进教学法OSPF教学中的有效性提供了客观证据。

关键词

OSPF, 分层递进教学法, ENSP

Exploration and Practice of the Hierarchical and Progressive Teaching Method for the OSPF Protocol

Zhuqin Song, Yanyan Hou, Zhenping Yang

School of Information Engineering, Jiaxing Nanhu University, Jiaxing Zhejiang

Received: September 15, 2025; accepted: December 2, 2025; published: December 12, 2025

Abstract

Aiming at the common problems faced by application-oriented undergraduate students when learning the OSPF protocol, such as strong abstraction of concepts, high logical complexity, and disconnection between theory and practice, this paper proposes a three-level progressive teaching method covering the concept layer, mechanism layer, and deployment layer. By decomposing the OSPF knowledge system in layers—from basic concepts to protocol mechanisms and then to com-

hensive deployment—this method reduces learning difficulty and improves students' engineering practice capabilities. Teaching practice shows that this method effectively solves three problems: obstacles in concept understanding, insufficient mastery of mechanisms, and weakness in comprehensive application. This paper adopts an empirical approach. By setting up an experimental group and a control group, it collects multi-dimensional data such as pre- and post-test scores, project practical assessment, and satisfaction questionnaires. The results show that students in the experimental group significantly outperform those in the control group in terms of theoretical mastery depth, engineering practice ability, and subjective learning experience. This provides objective evidence for the effectiveness of the hierarchical progressive teaching method in OSPF teaching.

Keywords

OSPF, Hierarchical and Progressive Teaching Method, ENSP

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

OSPF (Open Shortest Path First, 开放式最短路径优先)协议，通过划分为多个区域限制了链路状态信息的传播范围，有效减少网络资源消耗；采用按需更新和触发式更新机制，能在网络拓扑变化后迅速调整路由实现快速收敛；允许同一目的地存在多条等价路径，实现负载均衡；内置认证机制，增强了安全性，这些优点使得 OSPF 成为了最广泛使用的内部网关协议之一，为全球互联网络提供了强大的路径选择和流量分配功能[1]。在应用型本科学生学习 OSPF 协议时普遍存在感觉概念抽象性强、逻辑复杂度高、理论与实践脱节等问题，本论文提出了一种包括概念层、机制层和部署层的三层递进式教学法，该方法通过从基础概念到协议机制再到综合部署分层拆解 OSPF 知识体系，降低学习难度并提升工程实践能力，并通过一项严格控制的对比教学实验，采用定量与定性相结合的分析方法，对教学效果进行了科学评估，以期为推动网络协议类课程的教学改革提供一定实践价值的参考。

2. 文献综述

2.1. 网络协议教学研究现状

如何高效地教授复杂的网络协议内容，一直被国内外教育者所关注。现有研究主要沿两个方向展开：其一是技术路径，ENSP、GNS3、EVE-NG 等图形化仿真工具已成为高校网络协议实验的主流手段，能够在单机上实现大规模拓扑、实时抓包与协议分析，弥补了实体实验室设备不足、成本高、维护困难等问题[2]-[4]；其二是方法论路径，如引入案例教学法[5]帮助学生更好地理解计算机网络技术课程的内容，或采用项目驱动学习(PBL) [6]让学生在完成综合性任务中整合知识。这些研究虽取得了积极成效，但多数仍将教学重点置于“如何做”的操作层面，对于如何从根本上分析协议(如 OSPF)本身的复杂性，帮助学生构建清晰、稳固的认知图式，其系统性探讨尚显不足。

2.2. 认知负荷理论及其教学启示

认知负荷理论由 Sweller 等提出，它认为人的认知资源有限，不同任务产生不同程度的负荷，包括内在认知负荷、外在认知负荷和有效认知负荷[7]。内在认知负荷由材料复杂性决定，外在认知负荷由呈现

方式和教学设计引起，有效认知负荷则促进知识建构。Mayer 提出减少学习中认知负荷的方法，如分割、冗余原理等，这些方法已在教学中取得良好效果[8]。

OSPF 协议本身概念繁多，内容交错，传统的“命令先行、理论后置”或“平铺直叙”式教学法，极易因不当的教学序列和信息呈现方式，产生超标的外在认知负荷。本文提出的“三层递进”教学法，其核心教学意图是通过逻辑分层与序列化呈现，对信息流进行精细化管理，最大限度地实现外在负荷削减、内在负荷分解、有效认知负荷提升，从而实现“知其然”与“知其所以然”的双重目标。

3. 三层递进教学法设计

本文基础拓扑图见图 1：

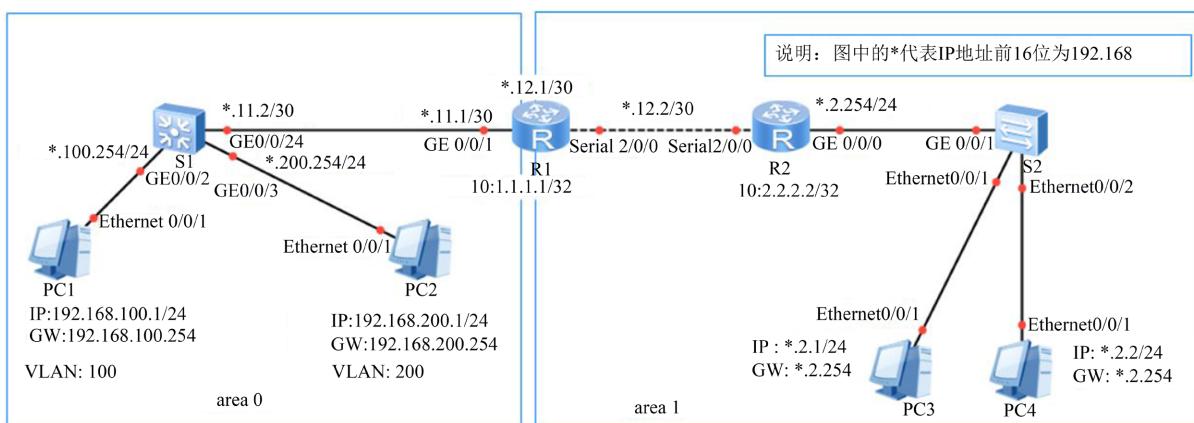


Figure 1. Basic topology diagram

图 1. 基础拓扑图

44	37.00000	192.168.11.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
47	41.29700	192.168.11.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
48	41.29700	192.168.11.1	192.168.11.2	OSPF	DB Description
50	41.31300	192.168.11.2	192.168.11.1	OSPF	DB Description
52	41.32800	192.168.11.1	192.168.11.2	OSPF	DB Description
53	41.34400	192.168.11.2	192.168.11.1	OSPF	DB Description
54	41.35900	192.168.11.1	192.168.11.2	OSPF	LS Request
55	41.35900	192.168.11.1	192.168.11.2	OSPF	DB Description
56	41.35900	192.168.11.2	224.0.0.5	OSPF	LS Update
57	41.37500	192.168.11.2	192.168.11.1	OSPF	LS Update
58	41.39100	192.168.11.1	224.0.0.5	OSPF	LS Update
59	41.42200	192.168.11.2	224.0.0.5	OSPF	LS Update
60	41.71900	192.168.11.2	224.0.0.5	OSPF	LS Acknowledge
61	42.26600	192.168.11.1	192.168.11.2	OSPF	LS Acknowledge
62	42.26600	192.168.11.1	224.0.0.5	OSPF	LS Acknowledge
64	43.40600	192.168.11.1	224.0.0.5	OSPF	LS Update
65	43.73400	192.168.11.2	224.0.0.5	OSPF	LS Acknowledge
68	47.46900	192.168.11.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
69	47.53100	192.168.11.2	224.0.0.5	OSPF	LS Update
70	48.26600	192.168.11.1	224.0.0.5	OSPF	LS Acknowledge
72	51.35900	192.168.11.2	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet
76	57.96900	192.168.11.1	224.0.0.5	OSPF	Hello Packet

Figure 2. Captured data packets from GE0/0/1 of R1

图 2. R1 的 GE0/0/1 口上抓取的数据包

本教学法将一次性的知识灌输，转变为三阶段、有侧重的渐进式学习过程：

第一阶段：概念层。本阶段教学目标在于化解抽象，建立具象认知。利用 ENSP 仿真环境，引导学生以网络侦探的视角进行观察，本阶段只配置 area 0。OSPF 邻居关系的建立是 OSPF 协议正常工作的基础，只有建立了稳定的邻居关系，路由器才能进行 LSA 的交换和同步[10]。根据图 2 中的数据包内容与图 3 中 R1 日志中所标的状态分析 OSPF 邻居状态机和邻居关系的建立过程：发现邻居(Hello 阶段)、双向

通信(2-Way 阶段)、建立邻接关系(ExStart 阶段)、交换数据库摘要(Exchange 阶段)、加载数据库条目>Loading 阶段)和完全邻接关系(Full 阶段) [10]。

```
<R1>
Sep 14 2025 15:15:03-08:00 R1 %%01OSPF/3/NBR_DOWN_REASON(1)[5]:Neighbor state leaves full or changed to Down. (ProcessId=25600, NeighborRouterId=2.11.168.192, NeighborAreaId=0, NeighborInterface=GigabitEthernet0/0/1, NeighborDownImmediate reason=Neighbor Down Due to Kill Neighbor, NeighborDownPrimeReason=OSPF Process Reset, NeighborChangeTime=2025-09-14 15:15:03-08:00)
<R1>
Sep 14 2025 15:15:07-08:00 R1 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(1)[6]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=25600, NeighborAddress=2.11.168.192, NeighborEvent=HelloReceived, NeighborPreviousState=Down, NeighborCurrentState=Init)

<R1>
Sep 14 2025 15:15:07-08:00 R1 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(1)[7]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=25600, NeighborAddress=2.11.168.192, NeighborEvent=2WayReceived, NeighborPreviousState=Init, NeighborCurrentState=2Way)

<R1>
Sep 14 2025 15:15:07-08:00 R1 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(1)[8]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=25600, NeighborAddress=2.11.168.192, NeighborEvent=AdjOk?, NeighborPreviousState=2Way, NeighborCurrentState=ExStart)
<R1>
Sep 14 2025 15:15:07-08:00 R1 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(1)[9]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=25600, NeighborAddress=2.11.168.192, NeighborEvent=NegotiationDone, NeighborPreviousState=ExStart, NeighborCurrentState=Exchange)
<R1>
Sep 14 2025 15:15:07-08:00 R1 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(1)[10]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=25600, NeighborAddress=2.11.168.192, NeighborEvent=ExchangeDone, NeighborPreviousState=Exchange, NeighborCurrentState=Loading)
<R1>
Sep 14 2025 15:15:07-08:00 R1 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(1)[11]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=25600, NeighborAddress=2.11.168.192, NeighborEvent=LoadingDone, NeighborPreviousState=Loading, NeighborCurrentState=Full)
```

Figure 3. Log part screenshot of R1
图 3. R1 的日志部分截图

```
<R1>disp ospf peer

OSPF Process 100 with Router ID 1.1.1.1
    Neighbors

    Area 0.0.0.0 interface 192.168.11.1(GigabitEthernet0/0/1)'s neighbors
    Router ID: 192.168.11.2      Address: 192.168.11.2
        State: Full Mode:Nbr is Master Priority: 1
        DR: 192.168.11.2      BDR: 192.168.11.1      MTU: 0
        Dead timer due in 34 sec
        Retrans timer interval: 5
        Neighbor is up for 00:38:46
        Authentication Sequence: [ 0 ]
```

Figure 4. Neighbor table of R1
图 4. R1 的邻居表

```
<R1>disp ospf lsdb

OSPF Process 100 with Router ID 1.1.1.1
    Link State Database

        Area: 0.0.0.0
        Type      LinkState ID      AdvRouter          Age    Len    Sequence      Metric
        Router    192.168.11.2     192.168.11.2      526    60    80000015      1
        Router    1.1.1.1           1.1.1.1           545    36    8000000B      1
        Network   192.168.11.2     192.168.11.2      543    32    80000003      0
```

Figure 5. LSDB of R1
图 5. R1 的链路状态数据库表

一旦邻居被发现，其信息就会被记录在邻居表中。在 2-Way 阶段之后，路由器会尝试建立邻接关系，邻接关系是指两台路由器之间可以进行详细的 LSA 交换[9]。图 3 中已显示 full，在 R1 上显示 ospf peer，如图 4 所示，可以看到 R1 在 area 0 中的邻居只有一个 192.168.11.2，即 S1。

链路状态数据库表 LSDB 包含网络中所有路由器的链路状态通告。运行 OSPF 的路由器在网络中泛洪 LSA，从而构建出整个网络的拓扑结构。基础拓扑图中 S1 与 R1 的 LSDB 最终达到一致(图 5 为 R1 的 LSDB 为例)，两者都以它为基础用 SPF 算法计算出以自己为根的最短路径树，进而形成自己的路由表。

这样通过对邻居表与链路状态数据库(LSDB)在协议启动前后的变化，理解 LSA 泛洪与链路状态同步的实质。此阶段着力回答“What”——OSPF 在做什么，其运行的基本表象为何。

第二阶段：机制层(本阶段需配置 area 1)。在获得感性认知的基础上，本阶段引导学生穿透现象，探究本质，本阶段教学活动的核心是分析与推理。

(1) 根据不同的 Router ID、接口优先级等参数分析图 4 设计 DR/BDR 选举的结果，从而主动建构起对选举规则的深刻理解。

(2) 配置 area 0 与 area 1 都是普通区域，它传输区域内路由、区域间路由和外部路由。

```
<S1> disp ip routing-table protocol ospf
```

Destination/Mask Proto Pre Cost Flags NextHop Interface

192.168.2.0/24 OSPF 10 50 D 192.168.11.1 Vlanif11

192.168.12.0/30 OSPF 10 49 D 192.168.11.1 Vlanif11

以上结果说明 S1 学到了 area 1 区域中的路由。根据结果分析多区域中路由器的类型、特点、传输的 OSPF 报文类型等。

(3) 如图 6 的拓展拓扑图所示，在图 1 的 S1 的 G0/0/1 口上接入路由器 R3，R3 的环回口 loopback 0 在作 R3 的 Router-id 的同时，也用于模拟一个网络。

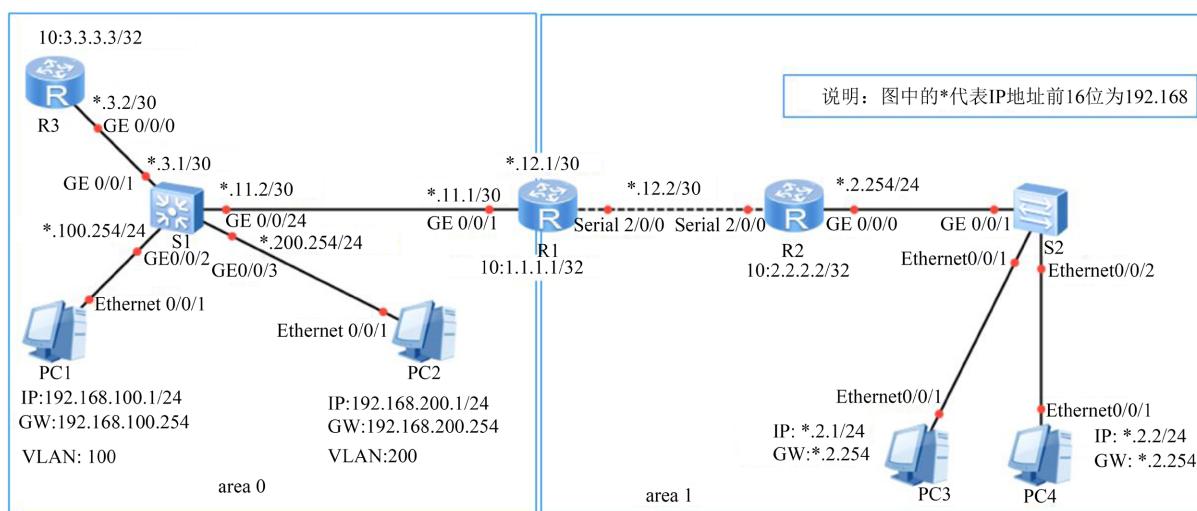


Figure 6. Extended topology diagram

图 6. 拓展拓扑图

在 S1 上进行以下配置：

```
[S1] ip route-static 3.3.3.3 32 192.168.3.2
```

```
[S1] ospf 100
```

```
[S1-ospf-100] import static
```

在 R1 和 R2 上查看 LSDB，可以发现 R1 和 R2 的 LSDB 中都已经存在 3.3.3.3 对应的 AS 外部数据库条目。在 R1 和 R2 上查看路由表，可以发现，R1 和 R2 都已经通过 OSPF 学来了 S1 上引入到 OSPF 的静态路由 3.3.3.3/32 条目。根据这些结果，分析路由引入的作用和原理。

(4) 关于 OSPF 的区域类型，这里以 Stub 区域为例。Stub 区域的 ABR 不向 Stub 区域内传播它接收到的自治系统外部路由(对应四类、五类 LSA)，Stub 区域中路由器的 LSDB、路由表规模都会大大减小 [10]。为保证 Stub 区域能够到达自治系统外部，Stub 区域的 ABR 将生成一条缺省路由(对应三类 LSA)，并发布给 Stub 区域中的其他路由器[10]。

现在把 area 1 配置为 Stub 区域：

```
[R1] ospf 100  
[R1-ospf-100] area 1  
[R1-ospf-100-area-0.0.0.1] stub  
[R2] ospf 100  
[R2-ospf-100] area 1  
[R2-ospf-100-area-0.0.0.1] stub
```

在 R2 上执行 disp ospf lsdb 命令，已经找不到来自 192.168.11.2 的 External 3.3.3.3 条目。在 R2 上执行 disp ip routing-table 命令，路由表中找不到从 OSPF 学来的 3.3.3.3/32 对应的条目，但多了下一跳为 192.168.12.1 的默认路由。根据这些结果，分析 Stub 区域的工作原理。

此阶段的核心是回答“Why”——OSPF 为何要这样设计，其背后的工作原理是什么。

第三阶段：部署层。本阶段是知识向能力转化的关键阶段。学生需在前两层构筑的坚实基础上，完成从理解到综合应用的跨越。本阶段除基础配置外，重中之重是引入系统性故障排查任务，通过精心设计典型故障场景(如邻居关系振荡、路由学习不完整等)，引导学生遵循“物理层→数据链路层→OSPF 协议层”以及“邻居表→LSDB→路由表”的标准化排查流程，运用分层思想定位并解决问题。此阶段的终极目标是回答“How”——如何设计、部署并维护一个高效、稳定的 OSPF 网络。

4. 教学实践与结果分析

4.1. 实验设计

为客观评估教学成效，本研究在 2024~2025 学年第二学期开展了教学实验。

选取同一教师授课的两个班，两个班在入学成绩与前期课程表现上无显著差异，随机确定为实验组($n=44$)与对照组($n=47$)。实验组采用三层递进教学法，对照组采用传统教学法。两组学时数、授课教师及最终考核内容完全相同。

测量工具与数据收集：① OSPF 知识掌握测验：采用模块教学前后的前测/后测试卷(满分 100 分，信度 $\alpha=0.82$)；② 能力评估：根据统一的评分量表，对 OSPF 综合项目报告(满分 100 分)进行盲评；③ 主观感受调查：采用 5 点李克特量表形式的教学满意度问卷。

4.2. 结果与分析

使用 SPSS 对数据进行处理与分析。独立样本 T 检验结果见表 1。

数据分析表明：

(1) 知识内化程度更深：实验组在后测成绩上显著高于对照组($p<0.05$)，表明三层递进法更有利于学生对 OSPF 复杂机制的理解。

(2) 工程实践能力更强：实验组在综合性项目成绩上的优势明显($p<0.05$)。其 OSPF 综合性项目报告

在故障设计的合理性、排查过程的逻辑性及均表现更优。

(3) 学习体验与信心更佳：问卷结果显示，实验组学生在“学习兴趣”“对知识点的清晰度”及“解决 OSPF 网络问题的自信心”等维度的满意度均显著高于对照组。

Table 1. Comparative analysis of post-test scores and project scores of the two groups of students ($x \pm s$)

表 1. 两组学生后测成绩与项目成绩对比分析($x \pm s$)

组别	人数	后测成绩	项目成绩
实验组	44	85.1 ± 6.8	88.3 ± 7.2
对照组	47	78.8 ± 8.5	80.2 ± 9.4
t 值	-	3.92	4.63
p 值	-	<0.001	<0.001

5. 讨论

5.1. 教学法有效性机理分析

本文通过实证数据验证了三层递进教学法的优点：该设计通过序列化教学环节，有效剥离了冗余的外在认知负荷，使学生能将有限的工作记忆资源集中于知识的内化与图式的构建；教学过程中持续的“观察 - 猜想 - 验证 - 修正”循环，本质上是对学生科学思维方法的训练，使其从被动的知识接收者转变为自主的探究者；部署层模拟了网络工程师的真实工作场景，实现了从理论知识到职业能力的直接转化，提升了人才培养的岗位契合度。

5.2. 典型教学案例：OSPF 故障排查

为具体展现该教学法在实战能力培养上的价值，简举一例：

(1) 预设故障场景

路由器 R1 与 R2 物理连通，但 OSPF 邻接关系无法建立，状态机停滞于“ExStart/Exchange”。

(2) 分层引导排查流程

概念层引导：查看双方的邻居表和状态，在接口上抓包，观察是否收到对方的 Hello 报文。

机制层引导：对比双方 Hello 报文中的关键字段，Area ID、MTU、认证信息、网络类型是否完全一致。

部署层解决：学生发现双方接口 MTU 值不一致导致 DBD 报文交换失败。通过统一 MTU 值，故障排除，并借此强调协议协商细节在实际部署中的重要性。

5.3. 研究局限与未来展望

本研究的样本来源于单一院校，未来可通过多中心、大样本的协作研究进一步验证结论的普适性。此外，本研究聚焦于 OSPF 协议本身的教法，下一步我们将探索如何将此分层递进思路与 Python 网络自动化、SDN 控制器配置等新兴技术教学内容相融合。

6. 结语

本文是根据应用型本科院校学生在学习 OSPF 协议时面临的问题，提出并实践了三层递进式教学法。通过将复杂的 OSPF 知识体系进行结构化拆解结合 ENSP，构建了一套方便学生学习的解决方案。实践表明，该方法有效促进了学生对复杂协议的理解与掌握，更关键的是培养了他们系统化的工程思维和解决

实际问题的能力。

参考文献

- [1] CSDN 博客. 深入探究动态路由 ospf 协议_ospf 协议的研究现状[EB/OL]. https://blog.csdn.net/2301_81317215/article/details/144297447, 2024-12-06.
- [2] 韩慧妍, 熊风光, 郁晓庆, 等. 工程认证背景下的多区域 OSPF 实验设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(10): 91-93+96.
- [3] 吕永华. 基于 GNS3 的 OSPF 路由协议仿真实验研究[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(23): 69-70+76.
- [4] Sholeha, E.W., Jaya, D.Y., Supriyanto, A. and Utomo, H.S. (2025) Comparison of EVE-NG and GNS3 Functionality: Network Protocol Simulation. *Algoritma: Jurnal Ilmu Komputer Informatika*, **9**, 1-8.
- [5] 陈芳. 案例教学法在计算机网络技术教学中的运用[J]. 科教导刊, 2024(6): 68-70.
- [6] Bai, W., Geng, G. and Fu, X. (2024) Research on the Optimization Method of Project-Based Learning Design for Chinese Teaching Based on Interference-Tolerant Fast Convergence Zeroing Neural Network. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, **17**, Article No. 178. <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00532-6>
- [7] Sweller, J. (1988) Cognitive Load during Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, **12**, 257-285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
- [8] Mayer, R.E. and Moreno, R. (2003) Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, **38**, 43-52. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3801_6
- [9] wljslmz. OSPF 邻居关系建立过程详解[EB/OL]. <https://bbs.huaweicloud.com/blogs/439853>, 2024-11-19.
- [10] Skye_Zheng. OSPF(六)OSPF 特殊区域之 Stub 和 Totally Stub 区域详解及配置[EB/OL]. https://blog.csdn.net/qq_46254436/article/details/104789379, 2020-03-17.