

文章编号: 2095-2163(2023)06-0137-05

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

OSPF 路由协议原理仿真实验设计与实现

傅 伟

(江苏财经职业技术学院 智能工程技术学院, 江苏 淮安 223003)

摘要: OSPF 是工程领域应用比较广泛的一种动态路由协议,其更新和收敛速度快,性能比较稳定,适用于各类大中小型网络。本文阐述了 OSPF 路由协议的工作原理,详细探究其工作机制,以 Packet Tracer 为实验仿真平台,设计 OSPF 多区域互联网络,解析 OSPF 运行机理,从而达到从原理上理解和工程实践上掌握 OSPF 路由协议的目的。

关键词: OSPF; 路由协议; 动态路由

Design and implementation of the principle simulation experiment of OSPF routing protocol

FU Wei

(School of Intelligent Engineering and Technology, Jiangsu Vocational College of Finance and Economics, Huaian 223003, China)

[Abstract] OSPF is a dynamic routing protocol widely used in engineering field. It has fast update and convergence speed and stable performance. It is suitable for all kinds of large, medium and small networks. This paper expounds the working principle of OSPF routing protocol, probes into the working mechanism of OSPF in detail. We take Packet Tracer as the experimental simulation platform and design OSPF multi-area Internet and analyzes the operation mechanism of OSPF to understand OSPF routing protocol in principle and master OSPF routing protocol in engineering practice.

[Key words] OSPF; routing protocol; dynamic routing

0 引言

动态路由协议主要分为距离矢量和链路状态两大类^[1]。距离矢量路由协议主要以 RIP (Routing Information Protocol) 为典型代表^[2],其是主要以路由器的跳数作为计算源到目的地的度量值,在中小型网络中能够发挥一定作用。随着网络规模扩大,RIP 路由协议主要问题比较突出。其一,RIP 最大网络距离为 15 跳,16 跳时认为不可到达,限制了网络范围;其二,RIP 路由协议工作中需要不断地发送更新报文,因此会占用一定的网络带宽,增加网络开销,影响网络性能;其三,RIP 路由协议收敛速度比较慢,当网络发生故障,要经过较长时间才能通知到所有路由器,因此在工程组网中 RIP 协议应用较少。链路状态路由协议主要以开放最短路径优先(Open Shortest Path First,OSPF)为典型代表^[3],该路由协议克服了 RIP 协议存在的一系列问题,对网络发生的变化能够快速响应,及时产生触发式更新,网络收敛速度快,因此在

工程组网中应用得比较普遍。

1 OSPF 路由表形成原理

OSPF 路由协议是内部网关协议^[4],工作在一个自治系统中,用于自治系统内部路由信息交换,OSPF 形成路由表主要经历了邻居发现、DR/BDR 选举、路由通告、路由计算等阶段。

1.1 邻居发现

以图 1 中两台路由器为例,启动 OSPF 进程后,两台路由器分别从自己直连接口以 224.0.0.5 为目的地址发送 Hello 数据包;邻居 R2 收到来自 R1 的 Hello 数据包会将包中的 R1 的 Router-id 放入自己的邻居表中,并将自身状态标记为 Init 状态,然后将 R1 的 Router-id 放入 Hello 包中,同样以 224.0.0.5 为目的地址向邻居 R1 发送 Hello 数据包;R1 在收到 R2 发送过来的 Hello 数据包,发现包中含有自己的 Router-id,然后将自身状态标记为 Two-way 状态,标志着邻居关系已经建立,形成邻居表。

基金项目: 江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师资助项目(苏教师(2019)3号);淮安市自然科学研究计划项目(HABZ201923)。

作者简介: 傅 伟(1981-),男,硕士,副教授,主要研究方向:软件设计、网络优化。

通讯作者: 傅 伟 Email: fuweixinyu1981@163.com

收稿日期: 2022-06-19

哈尔滨工业大学主办 ◆ 专题设计与应用

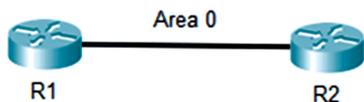


图 1 邻居发现拓扑图

Fig. 1 Neighbor discovery topology

1.2 DR (Designated Router)/BDR (Backup Designated Router) 选举

在广播或非广播-多路访问网络 (Non - Broadcast Multiple Access, NBMA) 中, 还需要完成 DR/BDR 选举。DR 为指定路由器, 负责将链路状态变化信息通知到除 BDR 以外的其它所有 OSPF 路由器; BDR 为备用路由器, 负责监控 DR 的状态, 当 DR 发生故障时接替其工作。DR/BDR 选举原则为优先级高的为 DR、优先级次高的为 BDR; 如果优先级相同, 则 Router-id 大的为 DR, 其次为 BDR; 如果未指定 Router-id, 则将路由器所有接口中 IP 地址最大的作为 Router-id。如图 2 所示, 交换机连接 4 台路由器, 构成一个 OSPF 区域, 4 台路由器优先级相同, IP 地址分别如图 2 中所示。4 台路由器都进行相应的配置, 开启 OSPF 进程, 待网络稳定后, 通过 show ip ospf neighbor 查询邻居关系, 发现 R4 作为 DR、R3 作为 BDR、R1 和 R2 作为 DROther。4 台路由器优先级相同, 在未配置 Router-id 的情况下, 将 IP 地址作 Router-id, R4 的 IP 地址最大, 因此选为 DR; R3 的 IP 地址排第二, 因此被选作 BDR; R1 和 R2 作为 DROther。在网络发生变化时, DROther 只向 DR 和 BDR 通告, 再由 DR 向其它的 DROther 发出通告, 这样大大减少了网络的广播报文, 提升了网络性能。

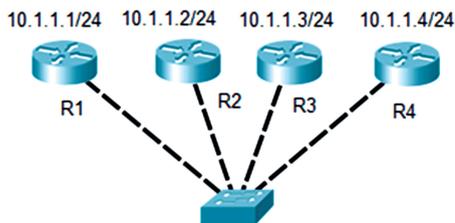


图 2 DR/BDR 选举拓扑图

Fig. 2 DR/BDR election topology

1.3 路由通告

运行 OSPF 路由协议的路由器形成邻接关系后, 进入准启动状态发送链路状态通告 (Link - State Advertisement, LSA), 主要将路由器接口、链路、邻居的状态等通过 DBD 数据包, 以 224.0.0.5 通告给邻

居, 形成链路状态数据库 (Link State DataBase, LSDB); 对链路状态数据库和收到的 DBD 的 LSA 头部进行比较, 若自身数据库中没有 LSA 就发送 LSR (Link - State Request), 邻居收到 LSR 后, 回应 LSU (Link - State Update); 收到邻居发送的 LSU 后, 将新 LSA 存储到自己的链路状态数据库中, 并发送链路状态确认报文 LSAck (Link - State Ack); 邻居双方都进入 FULL 状态, 所有的 OSPF 路由器都拥有相同链路状态数据库, 形成网络拓扑表。

1.4 路由计算

LSDB 同步后, 同一区域的 OSPF 路由器都拥有相同链路状态数据库, 每台路由器都以自己为根, 利用最短路径 (Shortest Path First, SPF) 算法生成一棵 SPF 树, 然后把到达每个目的地址的最佳路由信息放进路由表中, 完成路由计算。

2 OSPF 多区域互联仿真实验

Packet Tracer 是思科公司推出的一款网络仿真软件^[5], 能够实现网络拓扑搭建以及网络设备的相关配置, 并且能够进行网络数据包分析, 了解网络运行机制。本文利用 Packet Tracer 进行了 OSPF 多区域互联仿真实验。

2.1 搭建实验环境

实验拓扑如图 3 所示, 骨干区域由 R1、R2、R3 这 3 台路由器两两相连, 另外两个标准区域 Area1、Area2 分别通过 R2 和 R3 与骨干区域相连。Area1 中由 R4、R5、R6 和 R2 的 Gig0/1 接口组成; Area2 由路由器 R3 的 Gig0/1 接口构成, PC1 通过 R3 的 Gig0/1 接口与整个网络互联。

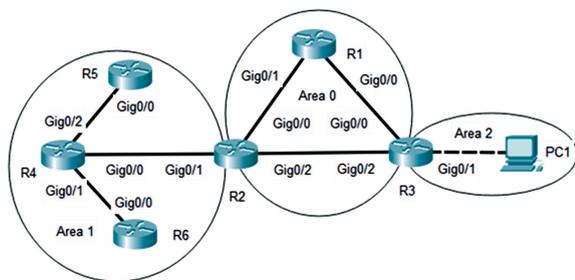


图 3 多区域 OSPF 路由实验拓扑图

Fig. 3 Topology diagram of multi area OSPF routing experiment

2.2 规划 IP 地址

根据图 3 的实验拓扑图, 网络中各设备的物理连接见表 1。对 3 个区域的网段和 IP 地址进行规划, 具体分配情况见表 2。

表 1 网络设备物理连接表

Tab. 1 Physical connection table of network equipment

源设备名称	设备接口	接口描述	目标设备名称	设备接口
R1	Gig0/0	Connect_To_R2_Gig0/0	R2	Gig0/0
R1	Gig0/1	Connect_To_R3_Gig0/0	R3	Gig0/0
R2	Gig0/2	Connect_To_R3_Gig0/2	R3	Gig0/2
R2	Gig0/1	Connect_To_R4_Gig0/0	R4	Gig0/0
R3	Gig0/1	Connect_To_PC	PC	Fa0
R4	Gig0/1	Connect_To_R6_Gig0/1	R6	Gig0/1
R4	Gig0/2	Connect_To_R5_Gig0/2	R5	Gig0/2

表 2 IPv4 地址规划表

Tab. 2 IPv4 address planning table

名称设备	接口	IP 地址
R1	Gig0/0	10.1.1.1/24
R1	Gi0/1	10.1.3.1/24
R1	Loopback 0	10.1.0.1/32
R2	Gi0/0	10.1.3.2/24
R2	Gi0/1	172.16.1.1/24
R2	Gi0/2	10.1.2.2/24
R2	Loopback 0	10.1.0.3/32
R3	Gi0/0	10.1.1.2/24
R3	Gi0/1	10.1.4.1/24
R3	Gi0/2	10.1.2.1/24
R3	Loopback 0	10.1.0.2/32
R4	Gi0/0	172.16.1.2/24
R4	Gi0/1	172.16.3.2/24
R4	Gi0/2	172.16.2.2/24
R4	Loopback 0	172.16.0.2/32
R5	Gi0/0	172.16.2.1/24
R5	Loopback 0	172.16.0.1/32
R6	Gi0/0	172.16.3.1/24
R6	Loopback 0	172.16.0.3/32
PC	Fa0	10.1.4.2/24

2.3 应用配置

在 IP 地址规划完成后,需要在设备上完成接口 IP 地址配置。下面以路由器 R1 为例进行配置,其它设备可按相应步骤配置即可。

2.3.1 路由器接口 IP 地址配置

```

R1#configure terminal          ! 进入全局模式
R1(config)#interface gigabitEthernet0/0  ! 进入端口 Gig0/0
R1(config-if)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0  ! 配置 IP 地址
R1(config-if)#no shutdown      ! 开启该端口
R1(config-if)#exit             ! 返回全局模式
R1(config)#interface gigabitEthernet0/1  ! 进入端口 Gig0/1
R1(config-if)#ip address 10.1.3.1 255.255.255.0  ! 配置 IP 地址
R1(config-if)#no shutdown      ! 开启该端口
R1(config-if)#exit             ! 返回全局模式
R1(config)#interface Loopback 0      ! 进入端口 Loopback 0
R1(config-if)#ip address 10.1.0.1 255.255.255.255  ! 配置 IP 地址
R1(config-if)#end              ! 返回特权模式
    
```

上述配置完成后,可通过 show ip interface brief 命令查看 R1 端口的 IP 地址配置,此时可见 Gig0/0、Gig0/1、Loopback 0 端口状态均已处于 up 状态。

2.3.2 骨干路由器 OSPF 路由协议配置

骨干路由器是指至少有一个接口属于 Area 0 区域,从拓扑图中可以看出,R1、R2、R3 属于骨干路由器,R1 的 Gig0/0、Gig0/1 和 Loopback 0 均属于骨干区域;因为 R2 的 Gig0/1 和 R3 的 Gig0/1 属于非骨干区域,所以 R2、R3 也是边界路由器,两者同时维护着骨干区域链路状态和各自所在非骨干区域的链路状态。下面以路由器 R2 为例,配置 OSPF 路由协议,路由器 R1 和 R3 用相似的步骤开启路由协议。

```

R2#configure terminal          ! 进入全局模式
R2(config)#route ospf 100     ! 开启路由进程 OSPF100
R2(config-router)#router-id 10.1.0.3  ! 配置 Router-id
R2(config-router)#network 10.1.3.0 0.0.0.255 area 0  ! 通告 10.1.3.0/24
R2(config-router)#network 10.1.2.0 0.0.0.255 area 0  ! 通告 10.1.2.0/24
R2(config-router)#network 10.1.0.3 0.0.0.0 area 0  ! 通告 10.1.0.3/32
R2(config-router)#network 172.16.1.0 0.0.0.255 area 1  ! 通告 172.16.1.0/24
    
```

下面依次在 R2、R3 上开启路由进程,通过 Packet Tracer 提供的仿真功能可以详细查看 OSPF 路由形成的各个阶段。首先,R1、R2、R3 都以组播地址 224.0.0.5 为目的地址,向邻居发送 Hello 报文。在相互交换 Hello 报文后形成邻居关系,在 R1 可以通过 show ip ospf neighbor 查看邻居关系见表 3。由于是广播式网络,邻居关系确定后需再进行 DR/BDR 选取,待网络稳定后,用 show ip ospf neighbor 查看 R1 的邻居关系,可以看出已选出 DR/BDR,接口状态也变成了 FULL。见表 4,由于 R1、R2、R3 的 Router-id 都是用各自的 Loopback 0 的 IP 地址,R1 的 Router-id(10.1.0.1)最小,所以在各自的网络中,R2、R3 分别被选举为 DR;在 R2 的邻居关系中,由于 R2 的 Router-id(10.1.0.3)最大,R1、R3 分别被选举为 BDR;在 R3 的邻居关系中,R1 被选举为 BDR、R2 被选举为 DR。

表3 R1 中邻居关系状态

Tab.3 Neighbor relationship status in R1

Neighbor ID	Pri State	Dead Time	Address	Interface
10.1.0.2 1	2WAY/DROTHER	00:00:39	10.1.1.2	GigabitEthernet0/0
10.1.0.3 1	2WAY/DROTHER	00:00:39	10.1.3.2	GigabitEthernet0/1

表4 R1 中 DR/BDR 选举结果

Tab.4 DR/BDR election results in R1

Neighbor ID	Pri State	Dead Time	Address	Address Interface
10.1.0.2 1	FULL/DR	00:00:37	10.1.1.2	GigabitEthernet0/0
10.1.0.3 1	FULL/DR	00:00:37	10.1.3.2	GigabitEthernet0/1

DR/BDR 选举完成后,可以在 R1、R2、R3 设备上通过 show ip ospf database 查看链路状态数据库,发现 Area 0 的 LSA 在 3 台路由器上一致,区域内的路由表也已经形成,在 R1 上通过 show ip route 查看路由过程如下:

```
Gateway of last resort is not set
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 9 subnets, 2 masks
C 10.1.0.1/32 is directly connected, Loopback0
O 10.1.0.2/32 [110/2] via 10.1.1.2, 00:02:45, GigabitEthernet0/0
O 10.1.0.3/32 [110/2] via 10.1.3.2, 00:02:45, GigabitEthernet0/1
C 10.1.1.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L 10.1.1.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
O 10.1.2.0/24 [110/2] via 10.1.1.2, 00:02:45, GigabitEthernet0/0
[110/2] via 10.1.3.2, 00:02:45, GigabitEthernet0/1
C 10.1.3.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L 10.1.3.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
O IA 10.1.4.0/24 [110/2] via 10.1.1.2, 00:02:45, GigabitEthernet0/0
172.16.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O IA 172.16.1.0/24 [110/2] via 10.1.3.2, 00:02:45, GigabitEthernet0/1
```

从显示结果可见,区域内的路由已经全部形成,Area 0 区域能够实现全部互通。

2.3.3 非骨干路由器 OSPF 路由协议配置

非骨干路由器是指没有接口在 Area 0 区域。在图 3 拓扑图中,非骨干路由器主要包括 R4、R5、R6。在 R4、R5、R6 上开启 OSPF 路由协议,下面以 R4 设备上的配置为例进行说明。R5、R6 配置与之类似,不再赘述。

```
R4#configure terminal ! 进入全局模式
R4(config)#router ospf 100 ! 开启路由进程 OSPF 100
R4(config-router)#router-id 172.16.0.2 ! 配置 Router-id
R4(config-router)#network 172.16.1.0 0.0.0.255 area 1 ! 通告 172.16.1.0/24
R4(config-router)#network 172.16.2.0 0.0.0.255 area 1 ! 通告 172.16.2.0/24
R4(config-router)#network 172.16.3.0 0.0.0.255 area 1 ! 通告 172.16.3.0/24
R4(config-router)#network 172.16.0.2 0.0.0.0 area 1 ! 通告 172.16.0.2/32
```

通过 show ip ospf neighbor 在设备 R6 上查看邻居关系,发现 R4 变成了 DR。按照 Router-id 越大越优先的原则,R6 应被选举为 DR,造成这种情况的主要原因是:R6 启动 OSPF 路由进程时已经超过了 R4 的等待时间,因此首先启动的路由器 R4 成为 DR。通过 clear ip ospf process 命令重启 R4、R6 的 OSPF 路由进程,R6 被重新选取为 DR。

在区域边界路由器 (ABR) R2 上,通过 show ip ospf database 命令查看 LSA 数据库信息。可以看到,Area 0 中的 1 类 LSA 路由器链状态、2 类 LSA 网络链路状态、3 类 LSA 汇总网络链路状态,如图 4 所示;同样在 Area 1 中也能看到上述 3 种链路状态;从此可以看出,区域边界路由器是分别维护各自区域的链路状态数据库。在 R2 上通过 show ip route 命令查看路由表,显示了 Area 0 和 Area 1 两区域的明细路由信息。在 R2 中进入 OSPF 进程通过 area 1 range 172.16.0.0 255.255.0.0 对 Area 1 进行链路状态汇总(如图 5 所示),只保留了 172.16.0.0 这一条总的链路,减少了链路状态数目,提升了区域边界路由器性能。在 Area2 区域中测试 PC1 与 Area1 区域中 R5 的连通性。如图 6 所示,从 PC1 到 R5,可以

看出已实现了互通。

3 结束语

OSPF 路由协议通过邻居发现、链路状态通告、路由计算等几个环节形成路由表,通过 Packet Tracer 软件仿真能够观察到 OSPF 协议工作的每个环节,通过仿真实验对 OSPF 协议原理有更深入的理解。利用多区域 OSPF 协议组网,将大型网络分隔为多个较小网络,能够把拓扑变化控制在区域内,有效控制 LSA 洪泛的范围;在区域边界做路由汇总,减小了路由表,提高了网络的稳定性和扩展性,有利于组建大规模的网络。

参考文献

[1] 李勇,沈秀娟. OSPF 协议原理分析及其两种仿真实验设计与实现[J]. 曲靖师范学院学报,2021,40(6):43-48.

[2] 高海燕. 基于 OSPF 协议的路由优化技术实践研究[J]. 太原学院学报(自然科学版),2019,37(3):44-52.

[3] 王颖舒,王旭,左宇,等. 网络虚拟化仿真软件综述[J]. 西南交通大学学报,2020,55(1):34-39.

[4] 郭丽,刘海燕. 基于 Packet Tracer 的 OSPF 多区域中 LSA 的类型研究[J]. 电脑知识与技术,2020,16(36):1-2.

[5] 王昊,张华,吴征远,等. 基于 Wireshark 的 OSPF 路由协议分析与仿真[J]. 闽江学院学报,2019,40(2):62-69.

```
Router Link States (Area 0)
Link ID      ADV Router  Age      Seq#       Checksum Link count
10.1.0.3    10.1.0.3   464     0x80000007 0x00fac9 3
10.1.0.1    10.1.0.1   464     0x80000006 0x00af21 3
10.1.0.2    10.1.0.2   458     0x80000006 0x00804d 3

Net Link States (Area 0)
Link ID      ADV Router  Age      Seq#       Checksum
10.1.3.2    10.1.0.3   469     0x80000001 0x00a11f
10.1.2.2    10.1.0.3   464     0x80000002 0x00614e
10.1.1.2    10.1.0.2   464     0x80000001 0x006450

Summary Net Link States (Area 0)
Link ID      ADV Router  Age      Seq#       Checksum
172.16.1.0  10.1.0.3   459     0x80000001 0x008a04
10.1.4.0    10.1.0.2   459     0x80000001 0x006ad7
172.16.2.0  10.1.0.3   389     0x80000002 0x008b04
172.16.3.0  10.1.0.3   389     0x80000003 0x007e0f
172.16.0.2  10.1.0.3   389     0x80000004 0x008904
172.16.0.1  10.1.0.3   326     0x80000005 0x009bf0
172.16.0.3  10.1.0.3   326     0x80000006 0x008504
```

图 4 R2 设备中 Area 0 区域链路状态库

Fig. 4 Area 0 link state library in R2 device

```
Router Link States (Area 0)
Link ID      ADV Router  Age      Seq#       Checksum Link count
10.1.0.3    10.1.0.3   1464    0x80000007 0x00fac9 3
10.1.0.1    10.1.0.1   1464    0x80000006 0x00af21 3
10.1.0.2    10.1.0.2   1458    0x80000006 0x00804d 3

Net Link States (Area 0)
Link ID      ADV Router  Age      Seq#       Checksum
10.1.3.2    10.1.0.3   1469    0x80000001 0x00a11f
10.1.2.2    10.1.0.3   1464    0x80000002 0x00614e
10.1.1.2    10.1.0.2   1464    0x80000001 0x006450

Summary Net Link States (Area 0)
Link ID      ADV Router  Age      Seq#       Checksum
10.1.4.0    10.1.0.2   1459    0x80000001 0x006ad7
172.16.0.0  10.1.0.3   32     0x80000007 0x008df7
```

图 5 汇总后 R2 设备中 Area 0 区域链路状态库

Fig. 5 Link state library of area 0 in R2 equipment after summary

```
C:\>ping 172.16.2.1
Pinging 172.16.2.1 with 32 bytes of data:

Reply from 172.16.2.1: bytes=32 time=20ms TTL=252
Reply from 172.16.2.1: bytes=32 time=10ms TTL=252
Reply from 172.16.2.1: bytes=32 time=12ms TTL=252
Reply from 172.16.2.1: bytes=32 time=12ms TTL=252

Ping statistics for 172.16.2.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 10ms, Maximum = 20ms, Average = 13ms
```

图 6 PC1 至 R5 连通性测试

Fig. 6 PC1 to R5 connectivity test

(上接第 136 页)

[2] BESL P J, HASEGAWA O. A method for registration 3-D shapes [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, 1992, 14(2):193-200.

[3] TAN X, TRIGGS B. Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(6): 1635-1650.

[4] OTBERDOUT N, KACEM A, DAOUDI M, et al. Automatic analysis of facial expressions based on deep covariance trajectories [J]. IEEE Transactions on Neural Networks And Learning Systems, 2019, 31(10): 3892-3905.

[5] 郭蓓, 达飞鹏. 基于局部特征的表情不变 3 维人脸识别算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(7): 1086-1094.

[6] OJALA T, PIETIKAINEN M, MAENPAA T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local

binary patterns [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, 2002, 24(7): 971-987.

[7] NETO J B C, MARANA A N. Face recognition using 3dlib method applied to depth maps obtained from kinect sensors [C]//x Workshop Computer Vision WVC. 2014: 6-8.

[8] TAN X, TRIGGS B. Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(6): 1635-1650.

[9] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60: 91-110.

[10] 胡敏, 许艳侠, 王晓华, 等. 自适应加权完全局部二值模式的表情识别 [J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(1):1279-1284.