Research on Video Streaming Media Transmission Performance based on SDN Network

Discipline:Pattern Recognition and Intelligent System   
Student Signature:

Supervisor Signature:

Abstract

In recent years, with the rapid development of the Internet and multimedia technology, video streaming media applications on the Internet shine brilliantly, which puts forward higher requirements for the transmission performance of the network, However, the drawbacks of traditional network often cause a lot of packet loss or even interruption in the transmission process of video, which seriously affects the service quality of video transmission. As a new network architecture, software-defined Networking (SDN) provides a new train of thought for traffic engineering, QoS routing and other problems in traditional network by taking advantages of the separation of control, centralized control and programmable. In this paper, the performance of video streaming media in SDN is studied by using the characteristics of SDN, The main research contents are as follows:

First of all, this paper makes a priority distinction between four different kinds of businesses, and sets different priority values, and puts forward the QoS control strategy of video streaming media. Then, the QoS routing based on genetic algorithm calculates the transmission path for the video streaming media (the highest priority business), and calculates the transmission path for other priority services at the cost of the jump number based on the Dijstra algorithm, and when the controller detects congestion in the transmission path of the video streaming media, take the rerouting measure to better guarantee the QoS of video streaming media. Secondly, the HTB queue rules are used to differentiate schedules for different priority services on the OpenFlow switch, so as to guarantee QoS of video streaming media businesses firstly.

Finally, the Topology Management module, link information measurement module, routing management module and queue scheduling module of QoS control framework are implemented respectively, and the QoS control strategy is tested in SDN network transmission environment built by Mninet, Ryu controller, camera and other software. Through a series of simulation experiments, the feasibility of this control strategy is verified from the aspects of transmission performance parameters of video streaming media such as chain delay jitter and throughput rate. Simulation experimental results show that QoS control strategy can select a path that meets the requirements of video streaming media for transmission and can dynamically route video streaming media, and can distinguish the QoS of different priority business in the data forwarding layer, and ensure the QoS requirement of the highest priority service end-to-end.

Key Words:SDN; Video streaming media; QoS routing; Genetic algorithm; Queue scheduling   
PAGE \\* MERGEFORMATiii

ç›®å½•

TOC \o "1-3"\h \z \u 1ç»ªè®º1

1.1ç ”ç©¶èƒŒæ™¯åŠæ„ä¹‰1

1.2å›½å†…å¤–ç ”ç©¶çŽ°çŠ¶2

1.2.1 SDNç ”ç©¶çŽ°çŠ¶2

1.2.2 SDNç½‘ç»œä¸­è§†é¢‘æµåª’ä½“QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„ç ”ç©¶çŽ°çŠ¶2

1.2.3å­˜åœ¨çš„é—®é¢˜3

1.3è®ºæ–‡çš„ä¸»è¦ç ”ç©¶å†…å®¹åŠç»“æž„å®‰æŽ’4

1.3.1è®ºæ–‡çš„ä¸»è¦å†…å®¹4

1.3.2è®ºæ–‡çš„ç»“æž„å®‰æŽ’5

2 SDNä¸­QoSçš„ç›¸å…³æŠ€æœ¯åˆ†æž6

2.1 QoSæŠ€æœ¯6

2.1.1 QoSçš„å®šä¹‰6

2.1.2 QoSæœåŠ¡æ¨¡åž‹åŠæœºåˆ¶6

2.2ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œä¸‹çš„æµåª’ä½“ä¼ è¾“åˆ†æž7

2.3 SDNç›¸å…³æŠ€æœ¯7

2.3.1 SDNæŽ§åˆ¶å™¨9

2.3.2 OpenFlow 9

2.3.3 OpenFlowå¯¹QoSçš„æ”¯æŒ13

2.3.4æ™ºèƒ½ç®—æ³•åœ¨SDNä¸Šè¿è¡Œçš„å¯è¡Œæ€§åˆ†æž14

2.4æœ¬ç« å°ç»“14

3 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥éœ€æ±‚åˆ†æžä¸Žè®¾è®¡16

3.1éœ€æ±‚åˆ†æž16

3.1.1åº”ç”¨çŽ¯å¢ƒåˆ†æž16

3.1.2åº”ç”¨éœ€æ±‚åˆ†æž16

3.2 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ¡†æž¶17

3.2.1æ•°æ®æµåˆ†ç±»17

3.2.2 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„æž¶æž„è®¾è®¡18

3.3 QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶æ¨¡å—åˆ†æžè®¾è®¡20

3.3.1 QoSè·¯ç”±æ¡†æž¶20

3.3.2é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„åˆ†æžè®¾è®¡28

3.4åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„å¤šQoSçº¦æŸè·¯ç”±ç®—æ³•åˆ†æžä¸Žè®¾è®¡31

3.4.1è·¯ç”±åº¦é‡æ•°å­¦æ¨¡åž‹31

3.4.2é—ä¼ ç®—æ³•åŸºæœ¬æ¦‚å¿µ31

3.4.3æŸ“è‰²ä½“ç¼–ç è®¾è®¡32

3.4.4ç§ç¾¤åˆå§‹åŒ–æ–¹æ³•è®¾è®¡33

3.4.5é€‚åº”åº¦å‡½æ•°è®¾è®¡33

3.4.6é—ä¼ ç®—å­çš„è®¾è®¡34

3.5æœ¬ç« å°ç»“37

4 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥å®žçŽ°38

4.1 QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶å®žçŽ°æ¦‚è¿°38

4.2 QoSè·¯ç”±çš„å®žçŽ°39

4.2.1é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—çš„å®žçŽ°39

4.2.2æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—çš„å®žçŽ°44

4.2.3è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—45

4.2.4é—ä¼ ç®—æ³•çš„å®žçŽ°47

4.3é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„å®žçŽ°55

4.4æœ¬ç« å°ç»“58

5å®žéªŒä»¿çœŸä¸Žç»“æžœåˆ†æž59

5.1ä»¿çœŸå®žéªŒçŽ¯å¢ƒä»‹ç»59

5.1.1ç½‘ç»œä»¿çœŸè½¯ä»¶Mininet 59

5.1.2 OpenvSwitch 60

5.1.3å…¶ä»–å®žéªŒçŽ¯å¢ƒåŠç›¸å…³è½¯ä»¶ä»‹ç»60

5.2ç½‘ç»œçŽ¯å¢ƒçš„æ­å»º60

5.2.1æ‹“æ‰‘çŽ¯å¢ƒæ­å»º61

5.2.2è§†é¢‘æœåŠ¡å™¨æ­å»º63

5.3å®žéªŒä»¿çœŸä¸Žç»“æžœåˆ†æž64

5.3.1 QoSè·¯ç”±è®¡ç®—æœ‰æ•ˆæ€§åˆ†æž64

5.3.2åŠ¨æ€è·¯ç”±æœ‰æ•ˆæ€§åˆ†æž65

5.3.3é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦çš„QoSæŽ§åˆ¶æ€§èƒ½æµ‹è¯•68

5.3.4 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ€§èƒ½åˆ†æž70

5.4æœ¬ç« å°ç»“71

6æ€»ç»“ä¸Žå±•æœ›72

6.1å…¨æ–‡å·¥ä½œæ€»ç»“72

6.2ä¸è¶³ä¸Žå±•æœ›72

å‚è€ƒæ–‡çŒ®75

æ”»è¯»ç¡•å£«å­¦ä½æœŸé—´å‘è¡¨çš„è®ºæ–‡78

è‡´è°¢79

å­¦ä½è®ºæ–‡çŸ¥è¯†äº§æƒå£°æ˜Ž80

å­¦ä½è®ºæ–‡ç‹¬åˆ›æ€§å£°æ˜Ž81

STYLEREF "æ ‡é¢˜1"\\* MERGEFORMAT

PAGE \\* MERGEFORMAT75

1ç»ªè®º

1.1ç ”ç©¶èƒŒæ™¯åŠæ„ä¹‰

å¤šåª’ä½“åº”ç”¨çš„å¿«é€Ÿæ™®åŠä½¿ç½‘ç»œä¸­è§†é¢‘åº”ç”¨ä¸Žè§†é¢‘ç”¨æˆ·æ•°é‡å‘ˆçˆ†ç‚¸æ€§å¢žé•¿,ä¸­å›½äº’è”ç½‘ç»œä¿¡æ¯ä¸­å¿ƒ(CNNIC)å‘å¸ƒçš„ç¬¬42æ¬¡ä¸­å›½äº’è”ç½‘ç»œå‘å±•çŠ¶å†µç»Ÿè®¡æŠ¥å‘Šæ˜¾ç¤º[1]:æˆªè‡³2018å¹´6æœˆ30æ—¥,ç½‘ç»œè§†é¢‘ç”¨æˆ·è§„æ¨¡è¾¾6.09äº¿,è¾ƒåŽ»å¹´å¹´æœ«å¢žåŠ 3014ä¸‡,å ç½‘æ°‘æ€»ä½“çš„76.0%,è§†é¢‘é€šä¿¡æ­£æˆä¸ºå¤šåª’ä½“é€šä¿¡ä¸­å‘å±•æœ€ä¸ºè¿…é€Ÿã€ç«žäº‰æœ€ä¸ºæ¿€çƒˆçš„é¢†åŸŸã€‚

äº’è”ç½‘æŠ€æœ¯çš„å¿«é€Ÿå‘å±•ä¿ƒè¿›äº†è§†é¢‘ä¸šåŠ¡çš„è“¬å‹ƒå‘å±•,ç”¨æˆ·å¯¹è§†é¢‘é€šä¿¡çš„éœ€æ±‚ä¹Ÿå˜å¾—æ„ˆæ¥æ„ˆå¼º,è§†é¢‘ç‚¹æ’­ã€è§†é¢‘ç›´æ’­ã€è§†é¢‘ä¼šè®®ã€ç›‘æŽ§è§†é¢‘ã€å¯è§†ç”µè¯ç­‰ä¸€ç³»åˆ—æµåª’ä½“è§†é¢‘åº”ç”¨æ­£å¼•èµ·äººä»¬çš„å¹¿æ³›å…³æ³¨ã€‚å¦‚ä½•é€šè¿‡ç½‘ç»œæ›´å¥½åœ°ä¸ºç”¨æˆ·æä¾›è§†é¢‘æœåŠ¡,æˆä¸ºæµåª’ä½“è§†é¢‘é¢†åŸŸç ”ç©¶çš„ä¸»è¦æ–¹å‘ã€‚ä¸€èˆ¬æ¥è®²,é«˜è´¨é‡çš„è§†é¢‘ä¸šåŠ¡éœ€è¦ä¼ è¾“ç½‘ç»œæ»¡è¶³é«˜å¸¦å®½ã€ä½Žæ—¶å»¶ã€å°æŠ–åŠ¨ã€ä½Žä¸¢åŒ…çŽ‡ç­‰æ¡ä»¶,ä½†æ˜¯ç½‘ç»œèµ„æºæ˜¯æœ‰é™çš„,ä¸å¯èƒ½æä¾›æ— é™çš„èµ„æºæ¥æ»¡è¶³ä¸åŒçš„è§†é¢‘ä¼ è¾“éœ€æ±‚ã€‚ç›®å‰,ç½‘ç»œé€šè¿‡"å°½åŠ›è€Œä¸º"çš„æœåŠ¡æ–¹å¼ä¸ºæŸäº›è§†é¢‘ä¸šåŠ¡æä¾›äº†è‰¯å¥½çš„æœåŠ¡,ä½†æ˜¯å¯¹äºŽæä¾›å®žæ—¶è§†é¢‘æœåŠ¡è¿˜å­˜åœ¨ç€ä¸€å®šçš„æŒ‘æˆ˜ã€‚å°½ç®¡IETFé’ˆå¯¹æ­¤é—®é¢˜æå‡ºäº†å¤šç§QoSæ¨¡åž‹åŠæœºåˆ¶,ä½†æ˜¯è¿™äº›æ¨¡åž‹åŠæœºåˆ¶éƒ½æ˜¯å»ºç«‹åœ¨åˆ†å¸ƒå¼äº’è”ç½‘æž¶æž„ä¸Š,æ”¶é›†å…¨å±€ç½‘ç»œçŠ¶æ€ä¿¡æ¯éš¾åº¦å·¨å¤§,ä¸èƒ½ä»Žæ ¹æœ¬ä¸Šè§£å†³é—®é¢˜,æ— æ³•æœ‰æ•ˆåœ°ä¿è¯è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„æœåŠ¡è´¨é‡(Quality of Service,QoS)[2],å½“å¤§é‡è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡è¯·æ±‚å åŠ æ—¶,ä¼ è¾“è·¯å¾„å®¹æ˜“æ‹¥å µ,é€ æˆè§†é¢‘æ•°æ®åŒ…ä¸¢å¤±,ä¸¥é‡å½±å“è§†é¢‘çš„æœåŠ¡è´¨é‡ã€‚

äº’è”ç½‘ä¸­å„ç§æ–°åž‹è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡çš„ä¸æ–­æ¶ŒçŽ°,ä½¿å¾—åº”ç”¨å¯¹ä¼ ç»Ÿçš„ç½‘ç»œæž¶æž„æå‡ºäº†æ›´é«˜çš„è¦æ±‚,ä»¥çŽ°æœ‰è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡çš„å‘å±•é€Ÿåº¦,ä¼ ç»Ÿçš„ç½‘ç»œæž¶æž„å°†éš¾ä»¥é€‚åº”æœªæ¥è§†é¢‘ä¸šåŠ¡çš„éœ€æ±‚ã€‚é’ˆå¯¹æµåª’ä½“åº”ç”¨çš„å¤§é‡æ¶Œå‡ºã€ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œæ—¥æ¸å‡¸æ˜¾çš„å¼Šç«¯ä»¥åŠåœ¨ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œä¸­éƒ¨ç½²æ–°çš„æ–¹æ¡ˆä¸ä½†éš¾ä»¥å½»åº•è§£å†³é—®é¢˜åè€ŒåŠ å‰§ç½‘ç»œçš„å¤æ‚çš„æƒ…å†µ,è¶Šæ¥è¶Šå¤šçš„ç½‘ç»œç ”ç©¶äººå‘˜å€¾å‘äºŽå¯»æ±‚ä¸€ç§æ–°çš„ç½‘ç»œä½“ç³»ç»“æž„,æ‘’å¼ƒä¼ ç»Ÿç½‘ç»œçš„å¼Šç«¯,æé«˜ç½‘ç»œæ•°æ®ä¼ è¾“çš„æ•ˆçŽ‡ã€‚è½¯ä»¶å®šä¹‰ç½‘ç»œ(Software Defined Networking ,SDN)[3]ä½œä¸ºä¸€ç§æ–°åž‹çš„ç½‘ç»œç»“æž„,ä¸ºè§£å†³ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œçš„å¾ˆå¤šé—®é¢˜æä¾›äº†æ–°çš„æ€è·¯,SDNå°†ç½‘ç»œçš„æŽ§åˆ¶å¹³é¢ä¸Žæ•°æ®è½¬å‘å¹³é¢è§£è€¦åˆ,æŽ§åˆ¶å¹³é¢å¯ä»¥èŽ·å¾—ç½‘ç»œçš„å…¨å±€æ‹“æ‰‘åŠæµé‡ä¿¡æ¯,å¹¶æ ¹æ®è¿™äº›ä¿¡æ¯ä½œå‡ºåˆé€‚çš„è½¬å‘è·¯å¾„çš„å†³ç­–,æ•°æ®è½¬å‘å±‚æ ¹æ®æ”¶åˆ°çš„è½¬å‘ä¿¡æ¯è½¬å‘ä¸šåŠ¡æµè€Œä¸åšä»»ä½•æŽ§åˆ¶å†³ç­–è¡Œä¸º,è¿™å¤§å¤§å‡å°‘äº†ç½‘ç»œçš„å¤æ‚åº¦å¹¶æé«˜äº†è½¬å‘è®¾å¤‡è½¬å‘æ•°æ®çš„é€Ÿåº¦ã€‚åœ¨SDNç½‘ç»œä¸­,ç½‘ç»œç®¡ç†å‘˜åªéœ€æ ¹æ®ç‰¹å®šçš„ä¸šåŠ¡éœ€æ±‚åŽ»ä¿®æ”¹æŽ§åˆ¶å±‚çš„é…ç½®,ä¾¿å¯ä»¥è½»æ˜“åœ°æ”¹å˜è½¬å‘å±‚ç½‘ç»œè®¾å¤‡çš„è¡Œä¸º,å®žçŽ°æ‰€éœ€è¦çš„ç½‘ç»œç‰¹æ€§ã€‚å¯¹äºŽè§†é¢‘ä¼ è¾“è€Œè¨€,åº”ç”¨SDNæž¶æž„å¯ä»¥è®©SDNæŽ§åˆ¶å™¨ç»“åˆè§†é¢‘ä¸šåŠ¡çš„æŽ¥å…¥åŠå…¶ç½‘ç»œä¼ è¾“ä½¿ç½‘ç»œæ›´å¥½åœ°ä¸ºè§†é¢‘ä¸šåŠ¡æœåŠ¡ã€‚  
1.2å›½å†…å¤–ç ”ç©¶çŽ°çŠ¶

1.2.1 SDNç ”ç©¶çŽ°çŠ¶

ä¸ºäº†è§£å†³TCP/IPæž¶æž„æ‰€å‡ºçŽ°çš„é—®é¢˜,å„å›½éƒ½è¿›è¡Œäº†å¤§è§„æ¨¡çš„ç½‘ç»œç ”ç©¶å·¥ä½œ,æ¯”å¦‚æ¬§ç›Ÿçš„FIRE[4]ã€ç¾Žå›½çš„GENI[5]ç­‰ã€‚æºäºŽæ ¡å›­çš„SDNè¢«è®¤ä¸ºåœ¨è§£å†³ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œçš„ä¸€äº›é—®é¢˜ä¸Šæœ‰ç€å…¶ä»–ç½‘ç»œæž¶æž„æ— æ³•æ¯”æ‹Ÿçš„ä¼˜åŠ¿,è¶Šæ¥è¶Šå¤šçš„é«˜æ ¡åŠä¼ä¸šéƒ½åœ¨å…³æ³¨SDNçš„å‘å±•è¶‹åŠ¿ç”šè‡³æŠ•å…¥å¤§é‡çš„èµ„é‡‘æ¥è¿›è¡Œç ”ç©¶ã€‚

ä»Žæ¦‚å¿µæå‡ºåˆ°æ ¡å›­ç ”ç©¶å†åˆ°çœŸæ­£çš„å®žçŽ°åº”ç”¨,SDNçš„å‘å±•åŽ†ç»äº†åå‡ å¹´ã€‚ç›®å‰SDNçš„æ ‡å‡†åŒ–å·¥ä½œç”±å¼€æ”¾ç½‘ç»œåŸºé‡‘ä¼š(Open Networking Foundation,ONF)è´Ÿè´£[6],ONFå·²ç»å‘å¸ƒå’Œå®šåˆ¶äº†å¤šä¸ªç‰ˆæœ¬çš„OpenFlowå’ŒSDNçš„ç™½çš®ä¹¦ã€‚ä½œä¸ºå—å‘æŽ¥å£åè®®çš„æ ‡å‡†,OpenFlowä»Žæœ€åˆçš„1.0ç‰ˆæœ¬åˆ°çŽ°åœ¨çš„1.5[7]ç‰ˆæœ¬,å…¶èƒ½å®žçŽ°çš„åŠŸèƒ½è¶Šæ¥è¶Šå®Œå¤‡,é¢å‘åº”ç”¨å±‚çš„åŒ—å‘æŽ¥å£è™½æœªæ ‡å‡†åŒ–ä¹Ÿåœ¨ä¸æ–­çš„å®Œå–„ä¸­ã€‚ä½œä¸ºè½¯ä»¶å®šä¹‰ç½‘ç»œçš„æ ¸å¿ƒ,SDNæŽ§åˆ¶å™¨å’Œäº¤æ¢æœºçš„å‘å±•ä¹Ÿå¾ˆå¿«,åŽä¸ºã€IBMã€H3Cç­‰éƒ½æŽ¨å‡ºäº†è‡ªå·±åŽ‚å•†çš„äº¤æ¢æœº,å„ç§è¯­è¨€ç¼–å†™çš„SDNæŽ§åˆ¶å™¨æŠ¢å ç€æŽ§åˆ¶å™¨çš„å¸‚åœº,ç›®å‰ä½¿ç”¨è¾ƒå¤šçš„æŽ§åˆ¶å™¨æœ‰Ryu[8],FloodLight[9],OpenFaylight[10]ã€‚

ç›®å‰å›½å†…å¤–å„å¤§é«˜æ ¡çš„ç ”ç©¶é‡ç‚¹ä¸»è¦åœ¨å¦‚æµé‡å·¥ç¨‹ã€QoSè·¯ç”±ä»¥åŠä¸Žä¼ ç»Ÿç½‘ç»œäº’è”ç­‰SDNçš„åº”ç”¨ã€SDNæµ‹è¯•å®žéªŒä»¥åŠæŽ§åˆ¶å¹³é¢çš„è®¾è®¡ç­‰ã€‚é™¤æ­¤ä¹‹å¤–,å›½å†…å¤–å„å¤§äº’è”ç½‘å…¬å¸ä¹Ÿçº·çº·å‚ä¸Žåˆ°SDNç ”ç©¶ä¸Žåº”ç”¨å·¥ä½œä¸­,è°·æ­Œä½¿ç”¨SDNç½‘ç»œæž¶æž„çš„æ€æƒ³åœ¨å…¶è·¨æ¬§äºšç¾Žä¸‰å¤§é™†çš„12ä¸ªæ•°æ®ä¸­å¿ƒç½‘ç»œæˆåŠŸéƒ¨ç½²äº†B4ç½‘ç»œ[11],å…¶é“¾è·¯åˆ©ç”¨çŽ‡è¾¾95%ä»¥ä¸Š;å¾®è½¯é€šè¿‡åœ¨æ•°æ®ä¸­å¿ƒç½‘ç»œéƒ¨ç½² software-driven WAN[12]æŠŠç½‘ç»œé“¾è·¯çš„åˆ©ç”¨çŽ‡ä¹Ÿæé«˜åˆ°äº†99%;ä¸­å›½çš„è…¾è®¯å…¬å¸ä¹Ÿåœ¨å…¶å¹¿åŸŸç½‘ä¸­éƒ¨ç½²äº†åŸºäºŽSDN çš„å¹¿åŸŸç½‘æµé‡è°ƒåº¦æ–¹æ¡ˆ,ç”¨æ¥è§£å†³åœ¨ç½‘ç»œè¿ç»´ä¸­é‡åˆ°çš„é—®é¢˜;ä¸­å…´å…¬å¸æ­£ç€æ‰‹è¿›è¡ŒåŸºäºŽNFV/SDNçš„é¢å‘5Gç½‘ç»œè¿ç»´ç®¡ç†è½¬åž‹çš„è§£å†³æ–¹æ¡ˆæž¶æž„è®¾è®¡ã€‚

å›½å†…ä¸‰å¤§è¿è¥å•†ä¹ŸåŠ å…¥åˆ°SDNç ”ç©¶çš„æµªæ½®é‡Œ,å¦‚ä¸­å›½ç§»åŠ¨å°±åœ¨2017ä¸­å›½SDN/NFVå¤§ä¼šä¸Šè¡¨ç¤ºä¸­å›½ç§»åŠ¨æœªæ¥ç½‘ç»œå°†åœ¨æž¶æž„å’Œç½‘å…ƒä¸¤ä¸ªå±‚é¢è¿›è¡Œé‡æž„,æž¶æž„é‡æž„é‡åœ¨ä¸‰å±‚è§£è€¦çš„åº•å±‚åŸºç¡€è®¾æ–½é‡æž„,ç½‘å…ƒé‡æž„é‡åœ¨ä»¥é¢å‘æœåŠ¡çš„æž¶æž„æ¥è®¾è®¡ç½‘å…ƒã€‚è®¸å¤šåŽ‚å•†ä¹Ÿå‚ä¸Žåˆ°SDNäº¤æ¢æœºçš„è®¾è®¡ä¸Žç ”å‘çš„å·¥ä½œä¸­,å¦‚æ€ç§‘ã€IBMç­‰åŽ‚å•†éƒ½æŽ¨å‡ºäº†å…·å¤‡SDNåŠŸèƒ½çš„äº¤æ¢æœºåŠèŠ¯ç‰‡;ä¸­å›½çš„åŽä¸ºåœ¨2013å¹´å‘å¸ƒäº†å…¶é¦–æ¬¾æ”¯æŒ SDN çš„äº¤æ¢æœº;éšåŽç››ç§‘ç­‰å…¬å¸ä¹ŸæŽ¨å‡ºäº†è‡ªå·±å…¬å¸çš„SDNäº¤æ¢æœºã€‚  
1.2.2 SDNç½‘ç»œä¸­è§†é¢‘æµåª’ä½“QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„ç ”ç©¶çŽ°çŠ¶

1)å›½å†…ç ”ç©¶çŽ°çŠ¶

æ–‡çŒ®[13]æå‡ºäº†ä¸€ç§é’ˆå¯¹æµåª’ä½“çš„åŸºäºŽOpenFlowçš„å¯åˆ†çº§è§†é¢‘ç¼–ç (SVC)æµåª’ä½“ä¼ è¾“æ–¹æ¡ˆ,é€šè¿‡æž„å»ºåŸºç¡€å±‚å’Œå¢žå¼ºå±‚2ä¸ªç‹¬ç«‹è·¯ç”±,å®žçŽ°äº†åŠ¨æ€ç½‘ç»œä¸‹SVCæµåª’ä½“åˆ†çº§è‡ªé€‚åº”é«˜æ•ˆä¼ è¾“ã€‚

æ–‡çŒ®[14]é€šè¿‡åŒºåˆ†QoSæµ,å’ŒéžQoSæµ,å¯¹éžQoSæµç›´æŽ¥é€‰æ‹©æœ€çŸ­è·¯å¾„,å¯¹QoSæµè¿è¡Œå…¶QoSè·¯ç”±ç®—æ³•,æå‡ºäº†ä¸€ç§æ–°çš„åŸºäºŽOpenFlowç½‘ç»œçš„QoSç®—æ³•ã€‚

æ–‡çŒ®[15]é€šè¿‡å»ºç«‹è§†é¢‘æµåˆ†ç±»æ¨¡åž‹,å¹¶å°†åŒºåˆ†æœåŠ¡çš„æ€æƒ³åº”ç”¨åˆ°è§†é¢‘æµçš„è°ƒåº¦æœºåˆ¶å½“ä¸­,ä»¥æŠ¢å å¼è°ƒåº¦ç®—æ³•å’ŒPGPSè°ƒåº¦ç®—æ³•ä¸ºåŸºç¡€,å¯¹è§†é¢‘ä¸šåŠ¡æä¾›ä¸åŒçš„QoSä¿éšœ,æ»¡è¶³ SDN ä¸­å¤šåª’ä½“è§†é¢‘ä¸šåŠ¡çš„è°ƒåº¦éœ€æ±‚ã€‚

æ–‡çŒ®[16]åˆ©ç”¨SDNç½‘ç»œæž¶æž„ä»ŽæŽ§åˆ¶å™¨å’Œäº¤æ¢æœºä¸¤ä¸ªå±‚é¢å®žçŽ°äº†åŸºäºŽSDNçš„ä¸šåŠ¡æœåŠ¡è´¨é‡ä¿éšœç³»ç»Ÿ,åœ¨å…¨å±€ç½‘ç»œå±‚é¢ä¸ºä¸šåŠ¡æä¾›äº†QoSä¿éšœã€‚  
2)å›½å¤–ç ”ç©¶çŽ°çŠ¶

K.-W. Kwong,R. Guerin ç­‰äººäºŽ2007å¹´æå‡ºäº†å¯¹å¶è·¯ç”±ç®—æ³•[17],è¿™ç§ç®—æ³•å°†æ•°æ®æµåˆ†æˆä¸¤ç±»,æ¯ç±»å¯¹åº”ä¸åŒçš„é“¾è·¯æƒé‡,åŽæ ¹æ®æƒé‡æ¥æ±‚å¾—è·¯ç”±ã€‚

Civanlar ç­‰ç ”ç©¶äº†é€šè¿‡OpenFlowç½‘ç»œè¿›è¡Œè§†é¢‘æµä¼ è¾“çš„QoSè·¯ç”±[18]ã€‚ä½œè€…ä»‹ç»äº†ä¸€ç§åŸºäºŽçº¿æ€§è§„åˆ’çš„æ–¹æ³•ä¸ºåŸºäºŽSVCç¼–ç çš„è§†é¢‘æµè®¡ç®—QoSè·¯ç”±,æ—¨åœ¨é™ä½Žè·¯å¾„ä¸¢åŒ…çŽ‡ä½ŽåŒæ—¶å°†æ—¶å»¶æŽ§åˆ¶åœ¨è¦æ±‚èŒƒå›´å†…,åŒæ—¶è®¡ç®—æµçš„QoSè·¯ç”±ã€‚ä»–çš„åŸºæœ¬å®žçŽ°æ˜¯,å¯¹åº” best-effort ä¸šåŠ¡æµæŒ‰ç…§æœ€çŸ­è·¯å¾„è¿›è¡Œè½¬å‘,è§†é¢‘ä¸šåŠ¡æŒ‰ç…§æå‡ºçš„ç®—æ³•è®¡ç®—çš„QoS-richè·¯å¾„è¿›è¡Œè½¬å‘ã€‚

Nikhil Handigol,Srini Seetharaman ç­‰äººäºŽ2009å¹´æå‡ºäº†ä¸€ç§åŸºäºŽOpenFlowç½‘ç»œçš„è·¯ç”±æ–¹æ³•[19-20],å¯¹æ¯ä¸€ä¸ªæ•°æ®æµæ ¹æ®å½“å‰çš„ç½‘ç»œè´Ÿè½½æƒ…å†µè®¡ç®—å‡ºè·¯ç”±ã€‚

Egilmez ç­‰äººè®¾è®¡äº†ä¸€ç§åŸºäºŽOpenFlowçš„æŽ§åˆ¶å™¨OpenQoS[21],ç”¨äºŽè§†é¢‘æµçš„QoS ä¿éšœã€‚åˆ©ç”¨åŸºäºŽå¤šåª’ä½“è§†é¢‘æµçš„æŠ¥æ–‡å¤´å­—æ®µä¸Žå…¶å®ƒç±»åž‹çš„æ•°æ®æµä¸­æŠ¥æ–‡å¤´å­—æ®µå­˜åœ¨çš„å·®å¼‚,Open QoS æŠŠé’ˆå¯¹äºŽOpen Flow çš„åŒ¹é…è§„åˆ™å°†ä¼ è¾“çš„æµé‡åˆ†ä¸ºå¤šåª’ä½“è§†é¢‘æµå’Œå…¶ä»–æ•°æ®æµä¸¤ç§ç±»åž‹ã€‚é’ˆå¯¹å¤šåª’ä½“è§†é¢‘æµ,Open QoSç»“åˆä¼ è¾“è·¯å¾„åœ¨å»¶è¿Ÿã€ä¸¢åŒ…æµ‹é‡å¾—åˆ°çš„ç‰¹æ€§,åœ¨Open FlowæŽ§åˆ¶å™¨ä¸Šå¢žåŠ äº†æœåŠ¡å±‚,ä¸ºå…¶é€‰æ‹©ä¸€æ¡æ»¡è¶³QoSå‚æ•°çš„ä¼ è¾“è·¯å¾„,å…¶å®ƒæ•°æ®æµä»ç„¶ç»´æŒåœ¨åŽŸæœ‰çš„æœ€çŸ­è·¯å¾„ä¸Š

Dobrijevicç­‰äººå°†QoSçš„æ¦‚å¿µæ‰©å±•åˆ°QoE,é€šè¿‡QoEæ¨¡åž‹æ¥è¡¨å¾è·¯ç”±çš„æœåŠ¡è´¨é‡,åŸºäºŽèšç¾¤ç®—æ³•ä¸ºä¸åŒä¸šåŠ¡æµå¯»æ‰¾å°†å…¶ QoE æœ€å¤§åŒ–çš„è·¯ç”±[22]ã€‚é€šè¿‡å¯¹è§†é¢‘,è¯­éŸ³å’Œçº¯æ•°æ®ä¸šåŠ¡çš„è·¯ç”±å®žéªŒä¸ŽæŽ§åˆ¶å™¨é»˜è®¤çš„æœ€çŸ­è·¯å¾„ç®—æ³•ç»“æžœå¯¹æ¯”,éªŒè¯äº†åœ¨ä¸€å®šç½‘ç»œè§„æ¨¡å†…,è¯¥ç­–ç•¥ç›¸æ¯”äºŽæœ€çŸ­è·¯å¾„ç®—æ³•è·¯ç”±ä½“ç³»çš„ä¼˜è¶Šæ€§ã€‚

Owenså’Œ Durresi ä»‹ç»äº†å¦ä¸€ç§æŽ§åˆ¶å™¨æž¶æž„å’Œåè®®VSDN,ç”¨äºŽSDNç½‘ç»œè§†é¢‘åº”ç”¨çš„QoSä¿éšœ,å…è®¸è§†é¢‘åº”ç”¨å‘ç½‘ç»œè¯·æ±‚ç«¯åˆ°ç«¯çš„ä¸¥æ ¼QoSä¿è¯æœåŠ¡[23]ã€‚è¿™éœ€è¦é€šè¿‡ä¿®æ”¹ Open Flow æä¾›çš„éƒ¨åˆ†äº¤æ¢åŠŸèƒ½æ¥å®žçŽ°,æŽ’é˜Ÿè¿‡ç¨‹æ ¹æ® VSDN æŽ§åˆ¶å™¨æä¾›çš„æµé‡è§„èŒƒæ¥è°ƒæ•´æ¯ä¸ªæµçš„æµé‡ã€‚  
1.2.3å­˜åœ¨çš„é—®é¢˜

æ•´ä½“ä¸Šæ¥çœ‹å›½å†…å¤–å¯¹SDNç½‘ç»œçš„QoSç ”ç©¶æœªèƒ½å……åˆ†å‘æŒ¥SDNç½‘ç»œæž¶æž„çš„ä¼˜åŠ¿ã€‚å…·ä½“è¯´æ¥å½“å‰ç ”ç©¶å­˜åœ¨ä»¥ä¸‹é—®é¢˜:

(1)å¤§å¤šæ•°çš„ç ”ç©¶,æ²¡æœ‰åœ¨æŽ§åˆ¶å±‚ç®—æ³•ä¸Šè¿›è¡Œæ·±æŒ–,æ‰€é‡‡ç”¨çš„è·¯ç”±ç®—æ³•æœªèƒ½å……åˆ†è€ƒè™‘ç½‘ç»œçš„çŽ°çŠ¶ã€‚

(2)å¤§å¤šæ•°çš„å­¦è€…å¯¹æ•°æ®å±‚å’ŒæŽ§åˆ¶å±‚è¿›è¡Œåˆ†å¼€ç ”ç©¶,æ²¡æœ‰æŠŠä»–ä»¬ç»“åˆèµ·æ¥,æŽ§åˆ¶å±‚åœ¨è¿›è¡Œå†³ç­–æ—¶æ²¡è€ƒè™‘åˆ°æ•°æ®å±‚çš„å·²æœ‰ç­–ç•¥ã€‚

(3)å¤§å¤šæ•°çš„ç ”ç©¶,å¯¹ç½‘ç»œä¸­èµ„æºçš„åˆ†é…æ˜¯é™æ€çš„,ä¸€æ—¦åˆ†é…å¥½å°±ä¸å†æ”¹å˜,è¿™ç§æ–¹æ³•å¯¹ç½‘ç»œèµ„æºçš„ç®¡ç†ç¼ºä¹ä¸€å®šçš„çµæ´»æ€§,ä¸èƒ½åŠ¨æ€çš„é€‚åº”ç½‘ç»œå˜æ¯”å¦‚é“¾è·¯æŸå,æŽ‰çº¿ç­‰ç­‰,ä¹Ÿæ²¡æœ‰å……åˆ†å‘æŒ¥å‡ºSDNç½‘ç»œé›†ä¸­æŽ§åˆ¶çš„ä¼˜ç‚¹ã€‚  
1.3è®ºæ–‡çš„ä¸»è¦ç ”ç©¶å†…å®¹åŠç»“æž„å®‰æŽ’

1.3.1è®ºæ–‡çš„ä¸»è¦å†…å®¹

éšç€äº’è”ç½‘çš„é£žé€Ÿå‘å±•,æµåª’ä½“ç±»ä¸šåŠ¡åœ¨ç½‘ç»œä¸­æ‰€å çš„æ¯”é‡æ­£åœ¨æ€¥å‰§å¢žå¤§,å®ƒä»¬å¯¹ç«¯åˆ°ç«¯çš„QoSæœ‰ç€ä¸¥æ ¼çš„è¦æ±‚,ç„¶è€Œä¼ ç»Ÿæ•°æ®æŠ¥ç½‘ç»œå¹¶ä¸èƒ½å¾ˆå¥½çš„ä¿è¯ç«¯åˆ°ç«¯çš„QoSã€‚åŒæ—¶ç”±äºŽç½‘ç»œä¸­ä¸šåŠ¡ç§ç±»ç¹å¤š,å…¶ä»–ä¸šåŠ¡ç±»åž‹çš„æ•°æ®å¯¹QoSä¹Ÿæœ‰éœ€æ±‚,ä¸”éœ€æ±‚å„ä¸ç›¸åŒã€‚é’ˆå¯¹è¿™ç§æƒ…å†µ,éœ€è¦å¯¹ä¸šåŠ¡åˆ†ç±»å¹¶è®¾ç½®ä¸åŒçš„ä¼˜å…ˆçº§,ç„¶åŽä¾æ®ç±»åˆ«åŠä¼˜å…ˆçº§å¯¹ä¸šåŠ¡è¿›è¡Œå·®åˆ«ä¼ è¾“,ä»¥æ»¡è¶³ä¸åŒä¸šåŠ¡QoSéœ€æ±‚ã€‚ä½†æ˜¯ä¼ ç»Ÿæ•°æ®æŠ¥ç½‘ç»œåœ¨ä¼ è¾“æ‹¥å¡žçš„æƒ…å†µä¸‹,åªèƒ½æä¾›å°½åŠ›è€Œä¸ºçš„æœåŠ¡,å¹¶æ²¡æœ‰åŒºåˆ†å¯¹å¾…ä¸åŒç§ç±»çš„ä¸šåŠ¡æ¥ä¿è¯ä¸åŒçš„QoSéœ€æ±‚ã€‚é’ˆå¯¹ä¸Šè¿°é—®é¢˜,æœ¬æ–‡å……åˆ†åˆ©ç”¨SDNçš„ä¼˜ç‚¹,ç ”ç©¶SDNä¸­çš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ã€æ‹¥å¡žæŽ§åˆ¶å’ŒQoSè·¯ç”±,æå‡ºå¹¶å®žçŽ°äº†åŒºåˆ†ä¸šåŠ¡ä¼˜å…ˆçº§çš„QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥,æ—¨åœ¨ä¼˜å…ˆä¿éšœè§†é¢‘æµåª’ä½“çš„æœåŠ¡è´¨é‡,åŒæ—¶åˆå…¼é¡¾å…¶ä»–ä¸åŒä¸šåŠ¡çš„QoSã€‚çŽ°å°†æœ¬æ–‡çš„ç ”ç©¶å†…å®¹å½’çº³å¦‚ä¸‹:

ä¸€æ˜¯ä¾æ®ç½‘ç»œä¼ è¾“ä¸šåŠ¡æ‰€éœ€è¦çš„QoSè¦æ±‚é«˜ä½Ž,å¯¹ä¸šåŠ¡è¿›è¡Œäº†ä¼˜å…ˆçº§çš„åŒºåˆ†,å¹¶è®¾å®šäº†ä¸åŒçš„ä¼˜å…ˆçº§å€¼ã€‚

äºŒæ˜¯ä»ŽæŽ§åˆ¶å±‚å’Œæ•°æ®å±‚åˆ¶å®šæ•´å¥—è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„QoSä¿éšœç­–ç•¥ã€‚æŽ§åˆ¶å±‚é‡‡ç”¨QoSè·¯ç”±ç­–ç•¥,å®ƒé€šè¿‡åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±æ»¡è¶³äº†æœ€é«˜ä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡çš„QoSéœ€æ±‚,è€Œå¯¹å…¶å®ƒç­‰çº§ä¸šåŠ¡ä½¿ç”¨Dijstraç®—æ³•åŸºäºŽè·³æ•°çš„è·¯ç”±ã€‚æ•°æ®å±‚çš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦,å®ƒèƒ½å¯¹ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§çš„è¿›è¡ŒåŒºåˆ†è°ƒåº¦,ä¿éšœäº†è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¼˜å…ˆä¼ è¾“çš„åŒæ—¶æä¾›å¸¦å®½å……è¶³æ—¶çš„å€Ÿå¸¦å®½æœºåˆ¶,å°½é‡æ»¡è¶³å…¶ä»–ä¸šåŠ¡çš„QoSã€‚

ä¸‰æ˜¯åœ¨SDNç½‘ç»œä¸­,å¯¹QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶çš„åŠŸèƒ½æ¨¡å—è¿›è¡Œäº†å®žçŽ°ã€‚ä¸€æ–¹é¢åœ¨æŽ§åˆ¶å™¨ç¼–å†™ç¨‹åºå®žçŽ°äº†åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±,è¾ƒå¥½çš„ä¿éšœäº†è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„QoSã€‚å¦ä¸€æ–¹é¢,åœ¨OpenFlowäº¤æ¢æœºä¸Šè¿›è¡Œé˜Ÿåˆ—çš„é…ç½®,é€šè¿‡æŽ§åˆ¶å™¨ä¸‹å‘æŒ‡ä»¤å°†æ•°æ®åŒ…é€å…¥é…ç½®å¥½çš„é˜Ÿåˆ—ä¸­,å®žçŽ°äº†ä¸åŒç­‰çº§ä¸šåŠ¡æ•°æ®åŒ…çš„å·®åˆ«è°ƒåº¦,åœ¨è½¬å‘ç«¯å£è¿›ä¸€æ­¥ä¿è¯è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„QoSã€‚  
å››æ˜¯æ­å»ºè½¯ä»¶å®šä¹‰ç½‘ç»œæ¨¡æ‹Ÿå®žéªŒå¹³å°,å¯¹QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥è¿›è¡Œæµ‹è¯•ã€‚

1.3.2è®ºæ–‡çš„ç»“æž„å®‰æŽ’

æœ¬æ–‡çš„ä¸»è¦å·¥ä½œæ˜¯åœ¨SDNç½‘ç»œä¸­,åˆ©ç”¨SDNç½‘ç»œçš„ä¼˜åŠ¿,ä»ŽæŽ§åˆ¶å±‚å’Œè½¬å‘å±‚åˆ†åˆ«åˆ¶å®šæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥,æ—¨åœ¨æ»¡è¶³è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡ç«¯åˆ°ç«¯çš„QoSéœ€æ±‚,åŒæ—¶å°½æœ€å¤§å¯èƒ½æ»¡è¶³å…¶ä»–ç±»åž‹ä¸šåŠ¡QoSéœ€æ±‚ã€‚å›´ç»•ç€è®ºæ–‡çš„ä¸»è¦å·¥ä½œ,æœ¬æ–‡å¯¹å†…å®¹ç»“æž„åšå¦‚ä¸‹å®‰æŽ’:

ç¬¬ä¸€ç« ,ç»ªè®ºã€‚ä»‹ç»æœ¬è¯¾é¢˜çš„ç ”ç©¶èƒŒæ™¯å’Œæ„ä¹‰ä»¥åŠå›½å†…å¤–ç ”ç©¶çŽ°çŠ¶,é˜è¿°æœ¬æ–‡çš„ä¸»è¦ç ”ç©¶å†…å®¹ã€‚

ç¬¬äºŒç« ,SDNä¸­QoSçš„ç›¸å…³æŠ€æœ¯åˆ†æžã€‚å¯¹QoSä»¥åŠSDNç½‘ç»œè¿›è¡Œäº†æ¦‚è¿°,ä»¥åŠå¯¹ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œä¸‹æµåª’ä½“ä¼ è¾“é‡åˆ°çš„é—®é¢˜è¿›è¡Œäº†åˆ†æžæ€»ç»“ã€‚

ç¬¬ä¸‰ç« ,QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥åˆ†æžä¸Žè®¾è®¡ã€‚é’ˆå¯¹è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¼ è¾“çš„ç‰¹ç‚¹,æå‡ºäº†åŸºäºŽä¸šåŠ¡ä¼˜å…ˆçº§çš„QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥,åˆ†åˆ«å¯¹QoSè·¯ç”±å’Œäº¤æ¢æœºç«¯å£é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥è¿›è¡Œäº†è®¾è®¡ã€‚

ç¬¬å››ç« ,QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥å®žçŽ°ã€‚æ ¹æ®ç¬¬ä¸‰ç« æå‡ºçš„æŽ§åˆ¶ç­–ç•¥,åˆ†åˆ«å¯¹QoSè·¯ç”±å’Œé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥è¿›è¡Œå®žçŽ°ã€‚åŒ…æ‹¬é“¾è·¯ä¿¡æ¯èŽ·å–ã€åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±ã€HTBé˜Ÿåˆ—è§„åˆ™çš„é…ç½®ã€‚

ç¬¬äº”ç« ,å®žéªŒä»¿çœŸä¸Žç»“æžœåˆ†æžã€‚æ­å»ºç½‘ç»œæ¨¡æ‹ŸçŽ¯å¢ƒåŠè§†é¢‘ä¼ è¾“å¹³å°,å¯¹QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ¡†æž¶è¿›è¡Œæµ‹è¯•ã€‚

ç¬¬å…­ç« ,æ€»ç»“ä¸Žå±•æœ›ã€‚æ€»ç»“äº†æ­¤æ¬¡è®ºæ–‡æ‰€åšçš„å·¥ä½œ,æŒ‡å‡ºéœ€è¦æ”¹è¿›çš„åœ°æ–¹å¹¶å¯¹æœªæ¥å·¥ä½œåšå‡ºå±•æœ›ã€‚  
2 SDNä¸­QoSçš„ç›¸å…³æŠ€æœ¯åˆ†æž

2.1 QoSæŠ€æœ¯

2.1.1 QoSçš„å®šä¹‰

æœåŠ¡è´¨é‡(Quality of Service,QoS)æ˜¯æŒ‡ç½‘ç»œåˆ©ç”¨å„ç§æŠ€æœ¯ä¿éšœç½‘ç»œå»¶æ—¶å’Œåžåé‡ç­‰æ€§èƒ½çš„æœåŠ¡è¦æ±‚,å‘é€‰å®šçš„ç½‘ç»œé€šä¿¡æä¾›æ›´å¥½æœåŠ¡çš„ä¸€ç§å®‰å…¨æœºåˆ¶[24]ã€‚åœ¨é€šä¿¡ä¸­,QoS ä¸»è¦é€šè¿‡å„ç§æ€§èƒ½å‚æ•°ä½“çŽ°,å…¶ä¸­å¸¸è§çš„å‡ ç§QoSæ€§èƒ½æŒ‡æ ‡æœ‰åžåé‡ï¹‘ä¸¢åŒ…çŽ‡ï¹‘æ—¶å»¶[25]ã€‚

åžåé‡:æŒ‡æ•°æ®çš„ä¼ è¾“é€Ÿåº¦,å³å•ä½æ—¶é—´å†…æˆåŠŸä¼ è¾“çš„æ•°æ®å¤§å°,å¸¸ç”¨å•ä½ M/sã€‚

ä¸¢åŒ…çŽ‡:å‡å¦‚å‘é€æ–¹ä¸€å…±å‘äº†nä¸ªæ•°æ®åŒ…,æŽ¥æ”¶æ–¹ä¸€å…±æ”¶åˆ°mä¸ªæ•°æ®åŒ…,åˆ™ä¸¢åŒ…çŽ‡ä¸º(n-m)/nã€‚ç½‘ç»œä¸¢åŒ…ä¸€æ–¹é¢ä¼šé€ æˆç”¨æˆ·ä½“éªŒä¸‹é™,å¦ä¸€æ–¹é¢ä¸¢åŒ…æ‰€å¼•èµ·çš„ä¸¢åŒ…é‡ä¼ ä¼šé€ æˆç½‘ç»œè´Ÿè·è¿›ä¸€æ­¥åŠ å¤§ã€‚

æ—¶å»¶:æŒ‡å‘é€æ–¹å‘é€æ•°æ®åˆ°æŽ¥æ”¶æ–¹æ”¶åˆ°æ•°æ®ç”¨çš„æ—¶é—´,å¸¸ç”¨å•ä½ ms,æ—¶å»¶åŒ…æ‹¬å‘é€æ—¶å»¶,ä¼ è¾“æ—¶å»¶,å¤„ç†æ—¶å»¶,æŽ’é˜Ÿæ—¶å»¶ã€‚  
2.1.2 QoSæœåŠ¡æ¨¡åž‹åŠæœºåˆ¶

QoSç®¡ç†ä»Žæ¨¡åž‹åŠæœºåˆ¶ä¸Šæ¥è¯´å¯åˆ†ä¸ºå°½åŠ›è€Œä¸ºæœåŠ¡æ¨¡åž‹(Best-Effort)ã€ç»¼åˆæœåŠ¡æ¨¡åž‹(IntServ)ã€åŒºåˆ†æœåŠ¡æ¨¡åž‹(DiffServ)ã€å¤šåè®®æ ‡ç­¾äº¤æ¢(MPLS)ä»¥åŠQoSè·¯ç”±ã€‚

å°½åŠ›è€Œä¸ºæœåŠ¡æ¨¡åž‹,ä¸èƒ½æä¾›ä»»ä½•QoSçš„ä¿è¯,å¯¹æ•°æ®åŒ…é‡‡å–å…ˆæ¥å…ˆæœåŠ¡ç­–ç•¥,å½“ç½‘ç»œå‘ç”Ÿæ‹¥å¡žæ—¶,é‡‡å–å°¾ä¸¢å¼ƒç­‰æ–¹å¼ä¸¢å¼ƒæ•°æ®åŒ…ã€‚

ç»¼åˆæœåŠ¡æ¨¡åž‹(IntServ)[26]é€šè¿‡èµ„æºé¢„ç•™åè®®(RSVP)ä¸ºä¸šåŠ¡é¢„ç•™å¸¦å®½ã€ç¼“å­˜ç­‰èµ„æº,ä¿è¯ä¸šåŠ¡å®žçŽ°ç«¯åˆ°ç«¯çš„QoSä¿éšœã€‚ä½†ç”±äºŽè¦ä¸ºä¸šåŠ¡é¢„ç•™èµ„æº,æ•´ä¸ªç½‘ç»œä¸­çš„æ¯å°è®¾å¤‡éƒ½è¦èƒ½å®žçŽ°æ­¤åŠŸèƒ½,æ‰©å±•æ€§è¾ƒå·®ã€‚IntServ æ›´æ¢è·¯ç”±æ—¶éœ€è¦æ–­å¼€è¿žæŽ¥ã€é‡æ–°å»ºç«‹è¿žæŽ¥ç­‰ä¸€ç³»åˆ—æ“ä½œ,å°†ä¼šå¢žåŠ é¢å¤–çš„æ—¶å»¶,å› æ­¤éš¾ä»¥åº”ç”¨åŠ¨æ€QoSè·¯ç”±ã€‚

åŒºåˆ†æœåŠ¡(DiffServ)[27-28]æ¨¡åž‹å°†ä¼ è¾“çš„ä¸šåŠ¡æµåœ¨è¿›å…¥ç½‘ç»œæ—¶è¿›è¡Œåˆ†ç±»å’Œæ ‡è®°,å°†ä¸åŒçš„ä¸šåŠ¡æµæ˜ å°„åˆ°ç›¸åº”çš„QoSç­‰çº§ä¸Š,åŽç»­çš„ç½‘ç»œè®¾å¤‡æ ¹æ®å·²æœ‰çš„QoSæ ‡è®°æä¾›å¯¹åº”çš„QoSæœåŠ¡ã€‚è¾¹ç¼˜ç½‘ç»œè®¾å¤‡å¿…é¡»è¦å…·å¤‡æŠ¥æ–‡åˆ†ç±»ã€æŠ¥æ–‡æ ‡è®°ã€æµé‡æ•´å½¢ç­‰åŠŸèƒ½,è€Œæ ¸å¿ƒç½‘ç»œè®¾å¤‡åˆ™åªéœ€è¦æ ¹æ®QoSä¼˜å…ˆçº§è¿›è¡Œç›¸åº”ç±»åˆ«çš„è½¬å‘åŠŸèƒ½,è§£å†³äº†IntServ æ‰©å±•æ€§å·®çš„é—®é¢˜,ä½†æ˜¯ç”±äºŽDiffServ æž¶æž„ä¸­ç¼ºä¹ç«¯åˆ°ç«¯ç³»ç»Ÿé—´çš„åè®®é€šä¿¡,ä¸èƒ½æä¾›ç«¯åˆ°ç«¯çš„QoSä¿éšœã€‚

å¤šåè®®æ ‡ç­¾äº¤æ¢(MPLS)[29]é‡‡ç”¨åˆ†ç±»æ ‡è®°çš„æ–¹æ³•é€‰æ‹©ä¼ è¾“æ•°æ®åŒ…çš„è·¯ç”±,åŸºäºŽæ ‡ç­¾äº¤æ¢æŠ€æœ¯è¿›è¡Œæ•°æ®è½¬å‘,è€Œä¸æ˜¯åŸºäºŽç›®çš„IPåœ°å€æŸ¥æ‰¾è·¯ç”±è¡¨ã€‚MPLSåˆ†ç¦»æ•°æ®è½¬å‘ä¸ŽæŽ§åˆ¶,èƒ½å¤Ÿæœ‰æ•ˆåœ°æ”¯æŒç½‘ç»œç³»ç»Ÿå‡çº§ã€‚MPLSæœ€ä¸»è¦çš„åŠŸèƒ½æ˜¯æµé‡å·¥ç¨‹,å³å¤šæ¡å€™é€‰è·¯å¾„ä¸­è¿›è¡Œé“¾è·¯è´Ÿè½½å¹³è¡¡ã€‚

QoSè·¯ç”±çš„ä¸»è¦ç›®æ ‡æ˜¯ä¸ºæŽ¥å…¥çš„ä¸šåŠ¡é€‰æ‹©æ»¡è¶³æœåŠ¡è´¨é‡(å¦‚å¸¦å®½ã€æ—¶å»¶ã€ä¸¢åŒ…ç­‰)è¦æ±‚çš„ä¼ è¾“è·¯å¾„,åŒæ—¶ä¿è¯æ•´ä¸ªç½‘ç»œèµ„æºçš„æœ‰æ•ˆåˆ©ç”¨ã€‚  
2.2ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œä¸‹çš„æµåª’ä½“ä¼ è¾“åˆ†æž

ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œåœ¨ä¼ è¾“æµåª’ä½“æ•°æ®æ—¶ä¸»è¦å­˜åœ¨ä»¥ä¸‹å‡ ä¸ªé—®é¢˜:ä¸€æ˜¯æµåª’ä½“æ•°æ®é‡è¿œè¶…å‡ºæ™®é€šæ•°æ®,å¯¹äºŽå·²è‡ƒè‚¿ä¸å ªçš„ç½‘ç»œæ¥è¯´,ä¼ è¾“å¤§é‡çš„æµåª’ä½“èµ„æºä¼šç½‘ç»œå¸¦æ¥æ›´æ²‰é‡çš„è´Ÿæ‹…,ä¸ºäº†è§£å†³è¿™ä¸ªé—®é¢˜,åœ¨ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œä¸­åŠ å…¥æ›´å¤šçš„åè®®åŠåŠŸèƒ½,ä½¿å¾—ç½‘ç»œæ›´åŠ å¤æ‚,è¿™æ ·çš„æ¶æ€§å¾ªçŽ¯ä½¿å¾—ç½‘ç»œä¼šæœ‰å´©å¡Œçš„å±é™©;äºŒæ˜¯å¤„ç†åª’ä½“æ•°æ®è¦æ¯”æ™®é€šæ•°æ®äº§ç”Ÿæ›´å¤šçš„å¼€é”€,é™¤äº†è¦è¿›è¡Œç¼–è§£ç ,å®¢æˆ·ç«¯æ’­æ”¾,è¿˜è¦è¿è¡Œç½‘ç»œçŠ¶æ€æ£€æµ‹æœºåˆ¶å’Œæ‹¥å¡žæŽ§åˆ¶æœºåˆ¶,è¿™äº›é¢å¤–çš„æ“ä½œéƒ½ä¼šå¯¹ç½‘ç»œè®¾å¤‡äº§ç”Ÿå½±å“;ä¸‰æ˜¯çŽ°åœ¨çš„ç½‘ç»œç»“æž„ä¸èƒ½ä¿è¯æœ‰æ•ˆçš„QoS,å°½ç®¡ç›®å‰å·²ç»æå‡ºäº†è®¸IP å±‚çš„QoSæ¨¡åž‹å’Œæœºåˆ¶,åœ¨æŸä¸ªåŸŸå†…æˆ–æŸæ¡ç‰¹å®šçš„ç½‘ç»œè·¯å¾„ä¸Šå®žçŽ°ç½‘ç»œå±‚æœåŠ¡è´¨é‡æ˜¯å®Œå…¨å¯è¡Œçš„,ä½†æ˜¯ä¸€æ–¹é¢ç”±äºŽè¿™äº›æ–¹æ¡ˆçš„åŸŸé—´äº’é€šæ€§è¾ƒå·®,å¦ä¸€æ–¹é¢ç”±äºŽå‘IP è·¯ç”±å™¨å¼•å…¥äº†è¾ƒå¤šå¤æ‚åŠŸèƒ½,è·¯ç”±è®¾å¤‡çš„è½¯ç¡¬ä»¶æ›´æ–°æ¢ä»£çš„æˆæœ¬è¿‡é«˜,åœ¨æ•´ä¸ªInternet èŒƒå›´å†…å®žçŽ°ä»»æ„ç«¯èŠ‚ç‚¹ä¹‹é—´çš„QoSä¿è¯çš„ç›®æ ‡ä»ç„¶é¥ä¸å¯åŠã€‚

è‹¥æµåª’ä½“è§†é¢‘æµåœ¨ç½‘ç»œä¸­ä¼ è¾“æ—¶ä¸æ»¡è¶³æœ€ä½Žçš„QoSè¦æ±‚,ä¼šå‡ºçŽ°ä»¥ä¸‹æƒ…å†µ:è‹¥æœ‰è§†é¢‘æ•°æ®å¸§å»¶è¿Ÿ,å¯èƒ½é€ æˆåŒä¸€å¹…ç”»é¢ä¸Šå„ç‚¹çš„æ—¶é—´ä¸åŒæ­¥,è§†è§‰ä¸Šçœ‹,ç‰©ä½“éƒ½æ˜¯å˜å½¢çš„ã€‚è§†é¢‘æµåœ¨ä¼ è¾“æ—¶,è‹¥äº§ç”Ÿæ•°æ®ä¸¢å¤±,å¯¼è‡´åŒä¸€å¹…ç”»é¢å„ä¸ªåŒºåŸŸè§†è§‰æ•ˆæžœä¸åŒ,æœ‰çš„åœ°æ–¹æ¸…æ™°,æœ‰çš„è¶‹äºŽæ¸…æ™°,æœ‰çš„åŒºåŸŸæ¨¡ç³Šã€‚è§†é¢‘ä¼ è¾“æ—¶äº§ç”Ÿçš„å»¶è¿Ÿæ¯”è¾ƒå¤§,ä½¿å¾—ç”»é¢æŠ–åŠ¨æ¯”è¾ƒåŽ‰å®³,æ•ˆæžœå¾ˆå·®ã€‚  
2.3 SDNç›¸å…³æŠ€æœ¯

å¦‚ä½•è§£å†³ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œå­˜åœ¨çš„ç“¶é¢ˆé—®é¢˜,å­¦æœ¯ç•Œä¸€ç›´éƒ½æ˜¯å„ç§å£°éŸ³æ­¤èµ·å½¼ä¼,ä¸€äº›å­¦è€…è®¤ä¸ºçŽ°æœ‰ç½‘ç»œæž¶æž„å·²ç»éžå¸¸æˆç†Ÿ,è®¾è®¡å¹¶åº”ç”¨å…¨æ–°çš„ç½‘ç»œæž¶æž„å¹¶ä¸çŽ°å®ž;ä¸€äº›å­¦è€…åˆ™è®¤ä¸ºçŽ°æœ‰ç½‘ç»œæž¶æž„çš„å¼Šç—…å®žåœ¨å¤ªå¤š,è¦æ”¹å˜çŽ°çŠ¶å¿…é¡»è®¾è®¡æ–°çš„ç½‘ç»œæž¶æž„,ä»¥ä¾¿èƒ½å¤Ÿå…¨é¢æå‡ç½‘ç»œçš„æ€§èƒ½,ä¸ºæ­¤è®¾è®¡å‡ºä¸€äº›æ–°çš„ç½‘ç»œæž¶æž„,æ–°çš„ç½‘ç»œæž¶æž„ä¸­å…·æœ‰ä»£è¡¨æ€§çš„æœ‰å†…å®¹ä¸­å¿ƒç½‘ç»œ(Content-Centric Networking CCN)[30]å’ŒSDNç½‘ç»œã€‚CCNç½‘ç»œè¯·æ±‚æ•°æ®æ—¶ç›´æŽ¥ä»¥å†…å®¹çš„åå­—è¿›è¡Œè¯·æ±‚è€Œä¸å†æ˜¯é€šè¿‡IP,ç½‘ç»œä¸­æœ‰å¾ˆå¤šèŠ‚ç‚¹å¯¹å†…å®¹è¿›è¡Œç¼“å­˜,è€ŒSDN ç½‘ç»œåˆ™æ˜¯å¯¹ç½‘ç»œçš„æŽ§åˆ¶å±‚å’Œæ•°æ®å±‚è¿›è¡Œåˆ†ç¦»ã€‚ç›¸æ¯”ä¹‹ä¸‹CCNå¯¹ç½‘ç»œçš„æ”¹å˜æ›´å¤§ä¸€äº›,æ›¿æ¢äº†ç½‘ç»œå±‚,è€ŒSDNå¯¹ç½‘ç»œçš„å˜é©è¦å°ä¸€äº›,SDNä¹Ÿæ›´å®¹æ˜“å®žçŽ°ä¸€äº›,æœ¬æ–‡ä»¥ SDN ç½‘ç»œä¸ºç ”ç©¶åŸºç¡€ã€‚

OpenFlowæ¦‚å¿µæºäºŽæ–¯å¦ç¦å¤§å­¦çš„Clean Slateè®¡åˆ’,ç”±è¯¥é¡¹ç›®çš„Nick McKeownæ•™æŽˆæå‡º,æœ€åˆæ˜¯ä½œä¸ºæ ¡å›­çš„å®žéªŒå¹³å°äº§ç”Ÿçš„,ä¹‹åŽSDNçš„æ¦‚å¿µåº”è¿è€Œç”Ÿ,Mckeown ç­‰è®¾è®¡è€…ä»¬å¼€å§‹æŽ¨å¹¿SDNæ¦‚å¿µ[31],å¹¶å¼•èµ·ä¸šå†…å¤–å¹¿æ³›å…³æ³¨ã€‚

å›¾2.1ä¼ ç»Ÿåˆ†å¸ƒå¼ç»“æž„ä¸ŽSDNæž¶æž„å¯¹æ¯”å›¾å¦‚å›¾2.1æ‰€ç¤º,SDNé›†ä¸­æŽ§åˆ¶çš„ç½‘ç»œæž¶æž„ä¸Žä¼ ç»Ÿç½‘ç»œæž¶æž„ä¸åŒ,å…¶æŽ§åˆ¶å±‚ä¸Žæ•°æ®è½¬å‘å±‚æ˜¯åˆ†å¼€çš„ã€‚å½“å‰SDNçš„æž¶æž„éµå¾ªäºŽå¼€æ”¾ç½‘ç»œåŸºé‡‘ä¼š(Open Network Foundation,ONF)æå‡ºçš„æž¶æž„,ç”±åŸºç¡€è®¾æ–½å±‚ã€æŽ§åˆ¶å±‚ã€åº”ç”¨å±‚ç»„æˆ[32],å¦‚å›¾2.2æ‰€ç¤ºã€‚

å›¾2.2 SDNæž¶æž„å›¾æŽ§åˆ¶å±‚æ˜¯æŽ§åˆ¶å¹³é¢çš„æŠ½è±¡,å…¶æ˜¯SDNç½‘ç»œçš„æ ¸å¿ƒ,æŽ§åˆ¶å±‚çš„æŽ§åˆ¶å™¨è´Ÿè´£æ”¶é›†ç½‘ç»œä¿¡æ¯å¹¶ä½œå‡ºæŽ§åˆ¶å†³ç­–ã€‚åŸºç¡€è®¾æ–½å±‚æ˜¯æ•°æ®è½¬å‘å¹³é¢çš„æŠ½è±¡,ä½äºŽè¯¥å±‚çš„è½¬å‘è®¾å¤‡åªè´Ÿè´£æ ¹æ®æŽ§åˆ¶å™¨çš„æŒ‡ä»¤ä¼ è¾“æ•°æ®,è¿™ä¸Žä¼ ç»Ÿç½‘ç»œè®¾å¤‡æ˜¯éžå¸¸ä¸åŒçš„,è¯¥å±‚çš„è½¬å‘è®¾å¤‡é™¤äº†å¯ä»¥æ˜¯ç¡¬ä»¶è®¾å¤‡,è¿˜å¯ä»¥æ˜¯è½¯ä»¶äº¤æ¢æœº,å¦‚OpenvSwitchã€‚åº”ç”¨å±‚æ ¹æ®ä¸åŒçš„ä¸šåŠ¡éœ€æ±‚,è°ƒç”¨æŽ§åˆ¶å±‚çš„åŒ—å‘æŽ¥å£,ç”¨è½¯ä»¶çš„æ–¹å¼çµæ´»åœ°å¯¹åŸºç¡€è®¾æ–½å±‚ä¸­çš„ç½‘ç»œè®¾å¤‡è¿›è¡Œç®¡ç†å’ŒæŽ§åˆ¶ã€‚å—å‘æŽ¥å£ç”¨äºŽæŽ§åˆ¶å¹³é¢ä¸Žæ•°æ®å¹³é¢é—´ä¿¡æ¯çš„äº¤äº’,é€šè¿‡è¯¥æŽ¥å£,æŽ§åˆ¶å™¨å¯ä»¥èŽ·å–æ•°æ®å¹³é¢çš„è¿è¡Œä¿¡æ¯,å¹¶å¯¹æ•°æ®å¹³é¢çš„è®¾å¤‡è¿›è¡Œé…ç½®ã€‚åŒ—å‘æŽ¥å£ç”¨äºŽæŽ§åˆ¶å™¨ä¸Žä¸Šå±‚åº”ç”¨ç¨‹åºçš„äº¤äº’,å¯¹ç½‘ç»œè¿›è¡Œäº†æŠ½è±¡,è¿™æ ·ç½‘ç»œç®¡ç†è€…å¯ä»¥ä¸ç”¨å…³å¿ƒåº•å±‚ç½‘ç»œçš„ç»†èŠ‚,é€šè¿‡è¯¥æŽ¥å£,è¿›è¡Œç®€å•çš„ç¼–ç¨‹å°±å¯ä»¥æŽ§åˆ¶ç½‘ç»œçš„è¿è¡Œé€»è¾‘,ä»Žè€Œæ–¹ä¾¿åœ°ç®¡ç†ç½‘ç»œã€‚

SDNçš„ä½“ç³»æž¶æž„å…·æœ‰ä¸¤ä¸ªç‰¹å¾:æŽ§åˆ¶å¹³é¢ä¸Žæ•°æ®è½¬å‘å¹³é¢è§£è€¦åˆ,æŽ§åˆ¶å¹³é¢çš„æ˜“ç¼–ç¨‹æ€§ã€‚è½¬æŽ§åˆ†ç¦»çš„æ€æƒ³ä½¿è½¬å‘è®¾å¤‡ä»Žç¹é‡çš„å·¥ä½œä¸­è§£è„±å‡ºæ¥,ä¸“æ³¨äºŽæ•°æ®çš„ä¼ è¾“,ç›¸åº”çš„æŽ§åˆ¶å†³ç­–è¡Œä¸ºäº¤ç»™æŽ§åˆ¶å™¨æ¥å®Œæˆã€‚åŒæ—¶SDNå‡ºçŽ°ä¼Šå§‹å°±è¢«å®šä¹‰ä¸ºå¼€æ”¾æ€§çš„æž¶æž„å¹³å°,å°†è‡ªç”±å¯ç¼–ç¨‹å¼•å…¥æŽ§åˆ¶å¹³é¢,ä¸ºç®€åŒ–ç½‘ç»œé…ç½®ã€æé«˜ç½‘ç»œçš„æ€§èƒ½ã€é¼“åŠ±ç½‘ç»œåº”ç”¨åˆ›æ–°å¸¦æ¥äº†å·¨å¤§çš„ä¾¿åˆ©æ€§ã€‚  
2.3.1 SDNæŽ§åˆ¶å™¨

SDNæŽ§åˆ¶å™¨æ˜¯SDNç½‘ç»œæž¶æž„çš„ä¸­æž¢,è´Ÿè´£ç›‘å¬ã€ç»´æŠ¤å’Œç®¡ç†ç½‘ç»œ,å¹¶ä¸ºä¸Šå±‚åº”ç”¨æä¾›å„ç±»ç»Ÿä¸€çš„ç¼–ç¨‹æŽ¥å£,é€šè¿‡å„ç±»åº”ç”¨æ¥å®žçŽ°ç½‘ç»œçš„åŠ¨æ€ç®¡ç†å’Œé…ç½®ã€‚éšç€SDNåœ¨ç½‘ç»œé¢†åŸŸé€æ¸å±•éœ²å¤´è§’ä»¥åŠæŽ§åˆ¶å™¨æ ¸å¿ƒä½œç”¨çš„å‡¸æ˜¾,ä¸šç•Œå·²å‘å¸ƒäº†å¤šæ¬¾æŽ§åˆ¶å™¨,ç›®å‰å·²æœ‰è¶…è¿‡20ç§æŽ§åˆ¶å™¨çš„å®žçŽ°,ä¸€äº›å¸¸è§çš„æŽ§åˆ¶å™¨å¦‚è¡¨2.1æ‰€ç¤º[33]ã€‚  
è¡¨2.1å¸¸è§çš„è½¯ä»¶å®šä¹‰ç½‘ç»œæŽ§åˆ¶å™¨

æŽ§åˆ¶å™¨åç§°å®žçŽ°è¯­è¨€ç®€ä»‹NOXC++/Pythonç¬¬ä¸€æ¬¾OpenFlowæŽ§åˆ¶å™¨POXPythonNOXçš„çº¯Pythonå®žçŽ°BeaconJavaæ‰©å¹³å°çš„æ¨¡å—åŒ–è®¾è®¡,æ˜“äºŽéƒ¨ç½²å¼€å‘FloodLightJavaä¼ä¸šçº§æŽ§åˆ¶å™¨,è„±èƒŽäºŽBeaconMulCä½¿ç”¨Cçš„å¤šçº¿ç¨‹æ¡†æž¶,æä¾›å¤šå±‚æ¬¡åŒ—å‘æŽ¥å£RyuPythonèƒ½ä¸ŽOpenStackå¹³å°æ•´åˆ,æ˜“äºŽå¼€å‘MeastroJavaè·¨å¹³å°,æ˜“éƒ¨ç½²ã€‚æ”¯æŒå¤šçº¿ç¨‹NodeFlowJavascriptæžåº¦ç®€åŒ–çš„OpenFlowæŽ§åˆ¶å™¨,ç”¨äºŽç¼–å†™å¯æ‰©å±•çš„å› ç‰¹ç½‘åº”ç”¨

Ryuæ˜¯ç”±æ—¥æœ¬NTTå…¬å¸è´¡çŒ®çš„åŸºäºŽç»„ä»¶çš„å¼€æºSDNæ¡†æž¶,ç»„ä»¶æ˜¯ä»¥ä¸€ä¸ªæˆ–å¤šä¸ªçº¿ç¨‹çš„å½¢å¼å­˜åœ¨,é€šè¿‡ç»„ä»¶æä¾›çš„æŽ¥å£å¯æ–¹ä¾¿æŽ§åˆ¶ç»„ä»¶çŠ¶æ€å’Œäº‹ä»¶äº§ç”Ÿ;æä¾›GUIç•Œé¢ç”¨äºŽç®¡ç†å’Œç›‘æŽ§ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘å’ŒçŠ¶æ€,æ¨¡å—æ¸…æ™°,å¯æ‰©å±•æ€§å¥½;é‡‡ç”¨pythonè¯­è¨€å¼€å‘,pythonè¯­æ³•ç®€æ´æ¸…æ™°,æ˜“äºŽå­¦ä¹ é˜…è¯»;è·¨å¹³å°,å¹¶æä¾›å¤§é‡çš„ç¬¬ä¸‰æ–¹åº“,å–„äºŽåšç§‘å­¦è®¡ç®—;æ”¯æŒå¤šç§ç”¨ä»¥ç®¡ç†ç½‘ç»œè®¾å¤‡çš„åè®®,å¦‚OpenFlowã€Netconfã€OF-configç­‰;æ”¯æŒOpenFlowä»Ž1.0åˆ°1.5ä»¥åŠNicira çš„å…¨éƒ¨ç‰ˆæœ¬[34],æœ¬æ–‡æ‰€å®žçŽ°çš„QoSè·¯ç”±åŠŸèƒ½å°±æ˜¯åœ¨Ryuä¸­ç¼–å†™ç›¸åº”æ¨¡å—å®žçŽ°çš„ã€‚  
2.3.2 OpenFlow

ç›®å‰,æœ€ä¸ºä¸»æµçš„å—å‘æŽ¥å£ä¸ºOpenFlowåè®®,OpenFlowåè®®å¯¹SDNæ•°æ®å¹³é¢ä¸­çš„è½¬å‘è®¾å¤‡(OpenFlowäº¤æ¢æœº)çš„åŸºæœ¬ç»„ä»¶ä¸ŽåŠŸèƒ½è¦æ±‚è¿›è¡Œäº†å®šä¹‰,åŒæ—¶è¿˜è§„èŒƒäº†SDNæŽ§åˆ¶å™¨ä¸ŽOpenFlowäº¤æ¢æœºé—´æŽ§åˆ¶çš„æ¶ˆæ¯ã€‚  
1)OpenFlowäº¤æ¢æœº

ä¸€ä¸ªOpenFlowäº¤æ¢æœºé€šå¸¸ç”±OpenFlowé€šé“ä»¥åŠä¸€ä¸ªæˆ–å¤šä¸ªæµè¡¨ã€ç»„è¡¨ç»„æˆã€‚OpenFlowå®‰å…¨é€šé“æ˜¯äº¤æ¢æœºå’ŒæŽ§åˆ¶å™¨çš„è¿žæŽ¥æŽ¥å£,æŽ§åˆ¶å™¨ä¸Žäº¤æ¢æœºä¹‹é—´æ˜¯é€šè¿‡å®‰å…¨é€šé“è¿›è¡Œé€šä¿¡çš„,æ‰€æœ‰çš„ä¿¡æ¯å¿…é¡»æŒ‰ç…§åè®®è§„å®šçš„æ ¼å¼æ¥æ‰§è¡Œ,æ ¹æ®OpenFlowåè®®çš„è¦æ±‚,é‡‡ç”¨TCPè¿žæŽ¥ä»¥ä¿è¯å¯é æ€§,é€šè¿‡å®‰å…¨ä¼ è¾“å±‚åè®®(TLS,Transpor Layer Security)åŠ å¯†ä»¥ä¿è¯å®‰å…¨æ€§ã€‚æµè¡¨åŠç»„è¡¨æ˜¯æ•°æ®è½¬å‘çš„æŒ‡å¼•è€…,å½“æ•°æ®è¿›å…¥åˆ°OpenFlowäº¤æ¢æœº,è‹¥èƒ½åŒ¹é…ä¸Šäº¤æ¢æœºä¸­å­˜åœ¨çš„æµè¡¨,å°±æŒ‰ç…§æµè¡¨çš„æŒ‡ç¤ºæ‰§è¡Œç›¸åº”çš„åŠ¨ä½œã€‚å›¾2.3æ˜¯OpenFlow1.3å®šä¹‰çš„OpenFlowäº¤æ¢æœºçš„ç»“æž„ã€‚  
å›¾2.3 OpenFlowäº¤æ¢æœºç½‘ç»œç»“æž„

OpenFlowçš„æµè¡¨ä¸Žä¼ ç»Ÿç½‘ç»œè®¾å¤‡ä¸­çš„äºŒå±‚MACåœ°å€è½¬å‘è¡¨æˆ–è€…ä¸‰å±‚IPåœ°å€è·¯ç”±è¡¨ç±»ä¼¼,ä¸è¿‡OpenFlowåœ¨æµè¡¨é¡¹çš„åŒ¹é…åŸŸä¸­å¯¹ç½‘ç»œä¸­å„ä¸ªå±‚æ¬¡çš„ç½‘ç»œé…ç½®å±žæ€§è¿›è¡Œäº†æ•´åˆ,ä½¿å¾—ç½‘ç»œè®¾å¤‡èƒ½å¤Ÿæ›´åŠ ç²¾ç¡®çš„å¯¹ç½‘ç»œä¸­çš„æµè¿›è¡ŒåŒ¹é…,å¯ä»¥å¯ä»¥å¯¹æ•°æ®æµæ‰§è¡Œæ›´ç»†ç²’åº¦çš„æ“ä½œã€‚äº¤æ¢æœºä¸­çš„æµè¡¨ç”±å¤šä¸ªæµè¡¨é¡¹ç»„æˆ,æ¯ä¸ªæµè¡¨é¡¹éƒ½åŒ…å«åŒ¹é…åŸŸã€ä¼˜å…ˆçº§ã€è®¡æ•°å™¨ç­‰ä¸€ç³»åˆ—æŒ‡ä»¤,OpenFlow1.3è§„å®šçš„æµè¡¨é¡¹çš„ç»“æž„å¦‚å›¾2.4æ‰€ç¤ºã€‚

å›¾2.4æµè¡¨é¡¹ç»“æž„å›¾åŒ¹é…åŸŸæ˜¯ç”¨æ¥åˆ¤æ–­æ•°æ®åŒ…ä¸Žæµè¡¨é¡¹æ˜¯å¦åŒ¹é…,ä»Žå›¾2.4å¯çŸ¥ç”±16ä¸ªå­—æ®µç»„æˆ,æ¶µç›–äº†1-4å±‚çš„ç½‘ç»œä¿¡æ¯,å…¶ä¸­æ¯ä¸ªå…ƒç»„å¯ä»¥æ˜¯åŒ¹é…ç²¾ç¡®å€¼,å¯ä»¥æ˜¯åŒ¹é…"ANY"ä»»æ„å€¼,æˆ–è€…åˆ©ç”¨æŽ©ç åŒ¹é…æŸä¸€èŒƒå›´çš„å€¼ã€‚ä¼˜å…ˆçº§å®šä¹‰äº†ç›¸åº”æµè¡¨çš„åŒ¹é…é¡ºåº,OpenFlowå®šä¹‰ä¸­è§„å®šè¯¥å€¼è¶Šé«˜,ä¼˜å…ˆçº§è¶Šé«˜ã€‚è®¡æ•°å™¨(counters)çš„ä½œç”¨æ˜¯ç»´æŠ¤ä¸€äº›ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯,æ¯”å¦‚æŸç«¯å£çš„æŽ¥æ”¶ä¸Žå‘é€å­—èŠ‚æ•°æˆ–æŸä¸ªæµçš„åŒ¹é…æ•°æ®åŒ…æ•°ç­‰ä¿¡æ¯ã€‚

è¶…æ—¶ä¸»è¦ç”¨äºŽæµè¡¨é¡¹çš„è¶…æ—¶,åŒ…æ‹¬idle timeoutå’Œhard timeout,åˆ†åˆ«è¡¨ç¤ºæµè¡¨é¡¹çš„æ´»è·ƒæ—¶é—´å’Œç¡¬è¶…æ—¶æ—¶é—´ã€‚Cookieæ˜¯ç”±æŽ§åˆ¶å™¨è®¾ç½®çš„æ•°æ®å€¼,æŽ§åˆ¶å™¨ç”¨è¿™ä¸ªå€¼æ¥è¿›è¡Œè¿‡æ»¤æµç»Ÿè®¡æ•°æ®,æµæ”¹å˜å’Œæµåˆ é™¤,ä½†äº¤æ¢æœºå¹¶ä¸ç”¨æ­¤æ•°æ®æ¥å¤„ç†æ•°æ®åŒ…ã€‚

æŒ‡ä»¤è¡¨ç¤ºåŒ¹é…çš„æ•°æ®åŒ…è¯¥æ‰§è¡Œçš„åŠ¨ä½œ,æŒ‡ä»¤ä¸»è¦æœ‰è½¬å‘(Forward)ã€ä¸¢å¼ƒ(Drop)ã€æŽ’é˜Ÿ(Enqueue)ã€ä¿®æ”¹åŸŸç­‰æŒ‡ä»¤,ä¸€ä¸ªæµè¡¨é¡¹å¯ä»¥æœ‰é›¶ä¸ªåˆ°å¤šä¸ªæŒ‡ä»¤,å¦‚æžœæœ‰å¤šä¸ªæŒ‡ä»¤åˆ™å¯ä»¥è§„å®šæ¯ä¸ªæŒ‡ä»¤çš„æ‰§è¡Œé¡ºåº,å¦‚æžœåœ¨è¿™äº›æŒ‡ä»¤é‡Œä¸å«è½¬å‘,åˆ™å’Œè¿™ä¸ªæµè¡¨é¡¹åŒ¹é…çš„æ•°æ®æµå°±ä¼šè¢«ä¸¢å¼ƒã€‚

è½¬å‘çš„ä¸ƒç§è¡Œä¸ºåˆ†åˆ«æ˜¯LOCAL,è½¬å‘ç»™å½“åœ°çš„ç½‘ç»œåè®®æ ˆ;IN\_PORT,ä»Žå“ªä¸ªç«¯å£è¿›æ¥,å°±è½¬å‘ç»™å“ªä¸ªç«¯å£;TABLE,å¯¹packet\_outæ¶ˆæ¯æ‰§è¡Œæµè¡¨çš„åŠ¨ä½œ;CONTROLLER,å°†æ•°æ®åŒ…å°è£…å¹¶è½¬å‘ç»™OpenFlowæŽ§åˆ¶å™¨;ALL,è½¬å‘ç»™é™¤å…¥å£ç«¯çš„æ‰€æœ‰å‡ºç«¯å£;FLOOD,éµç…§æœ€å°ç”Ÿæˆæ ‘ä»Žè®¾å¤‡å‡ºç«¯å£æ´ªæ³›å‘å‡º,ä½†ä¸å«å…¥ç«¯å£;NORMAL,åˆ©ç”¨ä¼ ç»Ÿè½¬å‘æœºåˆ¶å¦‚MACåœ°å€å’ŒIP ç­‰ä¿¡æ¯è½¬å‘æ•°æ®åŒ…ã€‚

ä¸¢å¼ƒ(Drop):è‹¥æ•°æ®åŒ…æ²¡æœ‰å’Œä»»ä½•æµè¡¨é¡¹åŒ¹é…,ä¸”æ²¡æœ‰è®¾ç½® table-missing é¡¹æˆ–table-missing é¡¹çš„åŠ¨ä½œæ˜¯ä¸¢å¼ƒ,åˆ™ä¼šè¢«ä¸¢å¼ƒã€‚

æŽ’é˜Ÿ(Enqueue):è®¾ç½®æ•°æ®åŒ…çš„é˜Ÿåˆ—ID,å°†æ•°æ®åŒ…æ”¾åˆ°å‡ºç«¯å£çš„å¯¹åº”è½¬å‘é˜Ÿåˆ—,æ­¤é¡¹æ“ä½œä¸ŽQoSç›¸å…³ã€‚

ä¿®æ”¹åŸŸ(Modify-Field)å¯é€‰çš„å­—æ®µä¿®æ”¹æ“ä½œæœ‰ä¿®æ”¹IPåŒ…å¤´çš„ToS(æœåŠ¡ç±»åž‹)å­—æ®µ,æŠŠæ–°çš„å€¼å†™å…¥åŽŸToSå­—æ®µ,è¯¥æ“ä½œå¯ç”¨äºŽæ”¯æŒQoSæœåŠ¡(ToS çš„å‰å…­ä½ä¸º DSCP,åŽä¸¤ä½ç›®å‰ä¿ç•™);ä¿®æ”¹æºç›®çš„IPåœ°å€,æŠŠå…¶ç”¨æŒ‡å®šçš„å€¼æ›¿æ¢,å¹¶å¯¹IPã€TCPæˆ–UDPçš„æ ¡éªŒå’Œé‡æ–°è®¡ç®—;ä¿®æ”¹TCPæˆ–UDPçš„ç«¯å£å·,æ—¢å¯ä»¥ä¿®æ”¹æºç«¯å£å·,ä¹Ÿå¯ä»¥ä¿®æ”¹ç›®çš„ç«¯å£å·,ä¿®æ”¹åŽå¯¹TCPæˆ–UDPçš„æ ¡éªŒå’Œé‡æ–°è®¡ç®—;ä¿®æ”¹ä»¥å¤ªç½‘MACåœ°å€,æºåœ°å€ã€ç›®çš„åœ°å€çš†å¯;è®¾ç½®VLANä¼˜å…ˆçº§,è‹¥è¢«è®¾ç½®çš„æ•°æ®åŒ…ä»¥å‰æ²¡æœ‰VLANé¦–éƒ¨,åˆ™ä¼šè¢«åŠ ä¸Šä¸€ä¸ªæ–°çš„é¦–éƒ¨,è®¾ç½®å…¶ä¼˜å…ˆçº§,å¹¶å°†VLAN ID ç½®0,è‹¥æ•°æ®åŒ…å¤´å·²æœ‰VLANé¦–éƒ¨,åˆ™åªéœ€å°†æ—§çš„å€¼æ›¿æ¢å³å¯;åŽ»é™¤VLANé¦–éƒ¨,è‹¥æ•°æ®åŒ…ä¸­å­˜åœ¨VLANé¦–éƒ¨,åˆ™å°†å…¶åŽ»é™¤ã€‚

OpenFlowäº¤æ¢æœºä¸­,å¯¹æ•°æ®çš„æ‰€æœ‰æ“ä½œéƒ½é€šè¿‡æµè¡¨æ¥å®šä¹‰,äº¤æ¢æœºåªæ˜¯ç®€å•çš„æ ¹æ®æµè¡¨å¤„ç†,OpenFlow1.3é‡‡ç”¨å¤šçº§æµè¡¨çš„ç»“æž„,äº¤æ¢æœºé‡Œå­˜åœ¨æŽ§åˆ¶å™¨ä¸‹å‘çš„å¤šä¸ªæµè¡¨ã€‚OpenFlowäº¤æ¢æœºå¤„ç†æ•°æ®åŒ…çš„è¿‡ç¨‹å¦‚å›¾2.5æ‰€ç¤º,å½“ä¸€ä¸ªæ•°æ®åŒ…è¿›å…¥OpenFlowäº¤æ¢æœºåŽ,äº¤æ¢æœºé¦–å…ˆåœ¨ç¼–å·ä¸º0çš„æµè¡¨é‡Œè¿›è¡ŒåŒ¹é…,è‹¥æµè¡¨é‡Œå­˜åœ¨èƒ½åŒ¹é…è¯¥æ•°æ®åŒ…çš„æµè¡¨é¡¹,åˆ™æ›´æ–°æµè¡¨é¡¹çš„è®¡æ•°å™¨,æŒ‰ç…§è¯¥æµè¡¨é¡¹çš„æŒ‡ä»¤è½¬å‘æ•°æ®,å¦åˆ™æ•°æ®åŒ…è½¬åˆ°ä¸‹ä¸ªæµè¡¨é¡¹è¿›è¡ŒåŒ¹é…,è‹¥æ•°æ®åŒ…åœ¨æœ€åŽä¸€ä¸ªæµè¡¨é‡Œéƒ½æ²¡æœ‰åŒ¹é…æˆåŠŸ,åˆ™ä¸¢å¼ƒè¯¥æ•°æ®åŒ…æˆ–è€…æºå¸¦æ•°æ®ä¿¡æ¯è½¬å‘åˆ°æŽ§åˆ¶å™¨è¿›è¡Œç›¸åº”å¤„ç†ã€‚  
å›¾2.5æµè¡¨åŒ¹é…æµç¨‹å›¾2)OpenFlowåè®®

OpenFlowåè®®è¿è¡Œåœ¨OpenFlowäº¤æ¢æœºä¸­,æ˜¯äº¤æ¢æœºä¸ŽæŽ§åˆ¶å™¨é€šä¿¡éœ€è¦éµå¾ªçš„æ ‡å‡†ã€‚OpenFlowäº¤æ¢æœºå’ŒæŽ§åˆ¶å™¨é—´ä¹‹é—´çš„ä¿¡æ¯äº¤äº’ä¾é OpenFlowåè®®ä¸­çš„æ¶ˆæ¯,OpenFlowåè®®ä¸­çš„æ¶ˆæ¯åŒ…æ‹¬æŽ§åˆ¶å™¨-äº¤æ¢æœº(Controller-Switch)æ¶ˆæ¯ã€å¼‚æ­¥æ¶ˆæ¯(Asynchronous)ä»¥åŠåŒæ­¥æ¶ˆæ¯(Symmetric)ã€‚

æŽ§åˆ¶å™¨-äº¤æ¢æœºæ¶ˆæ¯ç”¨äºŽæŽ§åˆ¶å™¨å¯¹äº¤æ¢æœºçš„çŠ¶æ€è¿›è¡ŒæŸ¥è¯¢,æŽ§åˆ¶å™¨é€šè¿‡å‘é€Requestè¯·æ±‚,åˆ†æžäº¤æ¢æœºè¿”å›žçš„Replyæ¶ˆæ¯æ¥å¯¹äº¤æ¢æœºçš„çŠ¶æ€è¿›è¡ŒæŸ¥è¯¢ã€‚ä¾‹å¦‚features-requestæ¶ˆæ¯å¯ä»¥èŽ·å¾—äº¤æ¢æœºæ”¯æŒçš„æ€§è´¨;modify-state æ¶ˆæ¯å¯ä»¥ç®¡ç†äº¤æ¢æœºç«¯å£çŠ¶æ€(port-mod)å’Œæµè¡¨é¡¹(flow-mod);åˆ©ç”¨read-stateæ¶ˆæ¯å‘äº¤æ¢æœºå‘å‡ºè¯·æ±‚,èŽ·å–å„ä¸ªæµè¡¨ã€æµè¡¨é¡¹ã€ç«¯å£çš„ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯;åˆ©ç”¨send-packetæ¶ˆæ¯,é€šè¿‡packet-outæ¶ˆæ¯æ¥å“åº”packet-inæ¶ˆæ¯,æŽ§åˆ¶äº¤æ¢æœºå‘æŒ‡å®šç«¯å£å‘é€æ•°æ®åŒ…ã€‚

å¼‚æ­¥æ¶ˆæ¯ç”±äº¤æ¢æœºä¸»åŠ¨å‘èµ·,å‘æŽ§åˆ¶å™¨å‘ŠçŸ¥ç½‘ç»œäº‹ä»¶åŠå…¶çŠ¶æ€å˜åŒ–,å¼‚æ­¥æ¶ˆæ¯åŒ…æ‹¬packet-inã€flow-removedä»¥åŠports-statusç­‰ã€‚å½“è¿›åˆ°äº¤æ¢æœºä¸­çš„æ•°æ®æ²¡æœ‰æ‰¾åˆ°åŒ¹é…çš„æµè¡¨è¿›è¡Œè½¬å‘æ—¶,å°±ä¼šè§¦å‘packet-inæ¶ˆæ¯,å…¶æºå¸¦æ•°æ®æµé¦–ä¸ªæ•°æ®åŒ…çš„éƒ¨åˆ†ä¿¡æ¯æˆ–æ˜¯æºå¸¦æ•´ä¸ªæ•°æ®åŒ…çš„ä¿¡æ¯å‘é€åˆ°æŽ§åˆ¶å™¨,æŽ§åˆ¶å™¨é€šè¿‡åˆ†æžæ•°æ®åŒ…çš„ä¿¡æ¯,å¾—åˆ°æ•°æ®æµçš„æ•´ä½“ä¿¡æ¯,ä½œå‡ºç›¸åº”çš„å¤„ç½®å†³å®šã€‚å½“äº¤æ¢æœºä¸­çš„æµè¡¨é¡¹å› è¶…æ—¶æˆ–è¢«ä¿®æ”¹è€Œè¢«åˆ é™¤æ—¶,ä¼šè§¦å‘flow-removedæ¶ˆæ¯,å‘Šè¯‰æŽ§åˆ¶å™¨è¯¥æµè¡¨é¡¹å·²ä¸å­˜åœ¨ã€‚å½“ç«¯å£çŠ¶æ€å˜åŒ–,ä¾‹å¦‚ä»Župå˜ä¸ºdownæ—¶,äº¤æ¢æœºä¼šå‘é€ports-statusæ¶ˆæ¯,æŽ§åˆ¶å™¨å°†é‡æ–°æ•´åˆåº•å±‚ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘çŠ¶æ€ä¿¡æ¯ã€‚

åŒæ­¥æ¶ˆæ¯å¯ä»¥ç”±æŽ§åˆ¶å™¨å’Œäº¤æ¢æœºä»»æ„ä¸€æ–¹å‘èµ·,ä¸»è¦ç”¨äºŽå»ºç«‹å’Œä¿æŒè¿žæŽ¥ã€‚ä¾‹å¦‚é€šè¿‡helloæ¶ˆæ¯ç¡®è®¤è¿žæŽ¥,é€šè¿‡echoæ¶ˆæ¯ç¡®è®¤è¿žæŽ¥çŠ¶æ€æˆ–æµ‹é‡æ•°æ®ä¼ è¾“æ—¶å»¶ã€‚  
2.3.3 OpenFlowå¯¹QoSçš„æ”¯æŒ

QoSçš„æŽ§åˆ¶æœºåˆ¶æ˜¯æŒ‡æ ¹æ®QoSæµçš„çŠ¶æ€,å¯¹å…¶è¿›è¡Œå®žæ—¶çš„æŽ§åˆ¶ã€‚å‰æ–‡æåˆ°SDNä¸Žä¼ ç»Ÿç½‘ç»œä¸åŒçš„ç‰¹ç‚¹,å…¶å¯ä»¥å°†å¤æ‚çš„QoSæŽ§åˆ¶é€»è¾‘åœ¨æŽ§åˆ¶å¹³é¢å®žçŽ°,è¿›è¡Œå…¨å±€æ€§çš„è°ƒåº¦ã€‚

OpenFlow1.0æœ‰ä¸€ä¸ªå¯é€‰åŠ¨ä½œenqueue(1.1ç‰ˆæœ¬åŽå«set queue),è¯¥åŠ¨ä½œå¯ä»¥å°†æ•°æ®åŒ…é€å…¥ä¸€æŒ‡å®šçš„äº¤æ¢æœºé˜Ÿåˆ—ä¸­,ä¸Žä¼ ç»Ÿç½‘ç»œæœ€å¤§çš„ä¸åŒæ˜¯,SDNæž¶æž„å…·æœ‰å®žæ—¶æ›´æ–°é…ç½®çš„ç‰¹ç‚¹,å› æ­¤å¯ä»¥åˆ©ç”¨è¯¥åŠ¨ä½œå¯¹QoSè¿›è¡Œæ›´åŠ çµæ´»çš„æŽ§åˆ¶ã€‚

åœ¨OpenFlow1.1ä¸­,æ·»åŠ äº†VLAN,MPLSæ ‡ç­¾ä»¥åŠæµé‡ç±»åž‹å­—æ®µçš„åŒ¹é…ä¸Žæ“ä½œ,åœ¨è¯¥ç‰ˆæœ¬ä¹‹åŽ,èƒ½å¤Ÿé€šè¿‡OpenFlowåè®®å¯¹VLANæ ‡ç­¾è¿›è¡Œæ·»åŠ ã€ä¿®æ”¹ä¸ŽåŽ»é™¤æ“ä½œ,å¹¶ä¸”æ·»åŠ äº†å¤šçº§VLANçš„æ”¯æŒã€‚

OpenFlow1.2åè®®ä¸­æ·»åŠ ä¸€ä¸ªæ¶ˆæ¯,ä½¿å¾—æŽ§åˆ¶å™¨å¯ä»¥å¯¹äº¤æ¢æœºä¸­çš„æ‰€æœ‰é˜Ÿåˆ—è¿›è¡ŒæŸ¥è¯¢ã€‚

OpenFlow1.3ä¸­ä½¿ç”¨Meter,å¼•å…¥æ–°çš„é™é€Ÿæœºåˆ¶ã€‚Meterè¡¨ç”±Meterè¡¨é¡¹ç»„æˆ,ç»“æž„å¦‚å›¾2.6æ‰€ç¤ºã€‚

Meter bandçš„Type Specific Argumentså¯ä»¥æ˜¯dropæ“ä½œæˆ–DSCP remarkæ“ä½œã€‚å³å½“ä¸€ä¸ªMeterçš„é€ŸçŽ‡è¶…è¿‡é¢„å…ˆè®¾å®šçš„Rateæ—¶,Meterå³ä¼šé‡‡å–ç›¸åº”çš„ç­–ç•¥,å¯¹äºŽè¶…è¿‡è®¾å®šå€¼çš„è¿™ä¸€éƒ¨åˆ†æ•°æ®åŒ…ä¸¢å¼ƒæˆ–è€…å¯¹DSCPé‡æ ‡è®°(ä¼˜å…ˆçº§é™ä½Žæƒ©ç½š)ã€‚Meterä¸Žé˜Ÿåˆ—æœºåˆ¶ç»“åˆä½¿ç”¨,å¯ä»¥å®žçŽ°éžå¸¸å¤æ‚çš„QoSæŽ§åˆ¶ã€‚

å›¾2.6 Meterè¡¨é¡¹ç»„æˆå›¾Open Flow 1.4:è¯¥ç‰ˆæœ¬æå‡ºäº†æµé‡ç›‘æŽ§æ¡†æž¶,å…è®¸æŽ§åˆ¶å™¨å®žæ—¶ç›‘æŽ§å…¶ä»–æŽ§åˆ¶å™¨å¯¹æµè¡¨çš„ä»»ä½•å­é›†æ‰€åšçš„æ›´æ”¹ã€‚

Open Flow 1.5:å°†Meter æŒ‡ä»¤æ”¹ä¸ºMeteråŠ¨ä½œã€‚è¿™ä¸ªæ”¹åŠ¨ä½¿å¾—å¤šä¸ªmeterå¯ä»¥å±žäºŽä¸€æ¡æµè¡¨é¡¹ä»¥åŠè¢«ä½¿ç”¨åˆ°ç»„æ¡¶ä¸­ã€‚  
è½¯ä»¶å®šä¹‰ç½‘ç»œæž¶æž„åœ¨QoSè·¯ç”±ä¸Šç›¸å¯¹äºŽä¼ ç»Ÿç½‘ç»œå…·æœ‰æ˜Žæ˜¾çš„ä¼˜åŠ¿:

1.ç»Ÿç­¹å†³ç­–ã€‚èƒ½å¤Ÿæ ¹æ®ç½‘ç»œçš„å…¨å±€è§†å›¾è®¡ç®—è·¯ç”±,ä¸ºä¸šåŠ¡æµåˆ†é…æ»¡è¶³QoSçš„è·¯ç”±ã€‚

2.æ—¶æ•ˆæ€§ã€‚å®žæ—¶åœ°å¯¹ç½‘ç»œç›‘æµ‹çš„èƒ½åŠ›,ä½¿å¾—è·¯ç”±ç­–ç•¥çš„è®¡ç®—éƒ½æ˜¯åœ¨æœ€æ–°çš„æ•°æ®ä¸‹è¿›è¡Œçš„,å…·æœ‰æ¯”è¾ƒå¥½çš„å®žæ•ˆæ€§ã€‚

3.ç»†ç²’åº¦ã€‚èƒ½å¤Ÿç²¾ç¡®æŽ§åˆ¶ç½‘ç»œä¸­çš„æ¯ä¸€æ¡æ•°æ®æµ,åŠæ—¶æŽ§åˆ¶æ•°æ®æµçš„è½¬å‘,èƒ½å¤Ÿå¾ˆå¥½çš„åº”å¯¹ç½‘ç»œå‡ºçŽ°çš„é—®é¢˜,æ¯”å¦‚:é“¾è·¯å¤±æ•ˆã€é“¾è·¯æ‹¥å¡žã€‚  
2.3.4æ™ºèƒ½ç®—æ³•åœ¨SDNä¸Šè¿è¡Œçš„å¯è¡Œæ€§åˆ†æž

åœ¨SDNä¸­,é‡‡ç”¨å¯å‘å¼æ™ºèƒ½ç®—æ³•è§£å†³ç½‘ç»œä¸­çš„æµé‡é—®é¢˜æ˜¯ä¸€ç§å¯è¡Œå¹¶ä¸”æœ‰æ•ˆçš„é€‰æ‹©ã€‚å¯¹äºŽè·¯å¾„é€‰æ‹©è¿™ç§NPé—®é¢˜,ä¸€èˆ¬çš„æ™ºèƒ½ç®—æ³•éƒ½å¯ä»¥è¿›è¡Œä¼˜åŒ–è§£å†³,è™½ç„¶æ¯ç§æ™ºèƒ½ç®—æ³•è¿›è¡Œä¼˜åŒ–è®¡ç®—çš„æ–¹å¼ä¸åŒ,ä½†æ˜¯éƒ½éœ€è¦æ”¶é›†éƒ¨åˆ†æˆ–è€…æ•´ä¸ªç³»ç»Ÿçš„ä¿¡æ¯,é€šè¿‡è®¡ç®—å‡ºæœ€ä¼˜è§£å†è¿›è¡Œèµ„æºçš„é‡æ–°éƒ¨ç½²å®‰æŽ’ã€‚å› æ­¤è¿™äº›ç®—æ³•éƒ½éœ€è¦èƒ½å¤ŸæŒç»­åœ°æ”¶é›†åˆ°ç½‘ç»œå…¨å±€çš„å®žæ—¶ä¿¡æ¯,å¹¶ä¸”ç®—æ³•éƒ¨ç½²å®žæ–½çš„ä»£ä»·æ¯”è¾ƒå°ã€‚è€ŒSDNçš„ç‰¹æ€§èƒ½å¤Ÿæ¯”è¾ƒå¥½çš„æ»¡è¶³ä»¥ä¸Šçš„è¦æ±‚,ä½¿å¾—æ™ºèƒ½ç®—æ³•åœ¨SDNç½‘ç»œä¸­è¿è¡Œæˆä¸ºå¯è¡Œçš„ã€‚

ç›¸å¯¹äºŽä¼ ç»Ÿç½‘ç»œ,SDNæä¾›äº†æŽ§åˆ¶å™¨å¯¹ç½‘ç»œçš„é›†ä¸­æŽ§åˆ¶,è¿™é‡Œä¸»è¦æŒ‡æ”¶é›†å…¨å±€ä¿¡æ¯è¿™ä¸€ç‚¹ä¸Š,SDNä¹Ÿæœ‰åˆ†å¸ƒå¼æŽ§åˆ¶æ¨¡åž‹ã€‚æŽ§åˆ¶å™¨é€šè¿‡ä¸“ç”¨çš„æŽ§åˆ¶é“¾è·¯è¿žæŽ¥äº¤æ¢æœº,å¯ä»¥æ”¶é›†å…¨å±€çš„çŠ¶æ€ä¿¡æ¯,å¹¶ä¸”å¯ä»¥ç®€å•é«˜æ•ˆåœ°ç»™åº•å±‚äº¤æ¢æœºéƒ¨ç½²æµè¡¨æŒ‡ä»¤ã€‚

SDNæŽ§åˆ¶å™¨æ”¶é›†åˆ°çš„å®žæ—¶æ€§ä¿¡æ¯ååˆ†ä¸°å¯Œ,å› ä¸ºSDNæ˜¯åŸºäºŽæµåˆ†æžçš„,OpenFlowåè®®æ‰€è§„èŒƒçš„åå…­å…ƒç»„åŸºæœ¬ä¸Šå›Šæ‹¬äº†æ•°æ®æµçš„åŸºæœ¬ä¿¡æ¯,é€šè¿‡ä¸åŒç­–ç•¥çš„æµåˆ†æž,èƒ½å¤Ÿå¾—åˆ°å½“å‰æµçš„è¯¦ç»†ä¿¡æ¯,è¿›è€Œå¯¹æµè¿›è¡Œä¸åŒçš„å¤„ç†ã€‚æŽ§åˆ¶å™¨è¿˜å¯ä»¥æ”¶é›†æ•´ä¸ªç³»ç»Ÿè¿è¡Œæ—¶çš„çŠ¶æ€ä¿¡æ¯,è¿™äº›ä¿¡æ¯ä¸ºæ™ºèƒ½ç®—æ³•çš„è®¡ç®—æä¾›äº†å¾ˆå¥½çš„å‚è€ƒæ•°æ®,ä½¿ç®—æ³•åšå‡ºçš„ä¼˜åŒ–é€‰æ‹©æ›´åŠ æ™ºèƒ½ã€‚å¹¶ä¸”,é€šè¿‡OpenFlowåè®®,æŽ§åˆ¶å™¨å¯¹æµçš„æ“ä½œæŽ§åˆ¶å¯ä»¥è¿›è¡Œå¤šç²’åº¦å¤„ç†,ä¸ºç®—æ³•æä¾›çš„å¯æ“ä½œé¡¹ä¹Ÿæ›´å¤š,ä¾‹å¦‚æŽ§åˆ¶å™¨æ£€æµ‹åˆ°ä¼ è¾“è·¯å¾„å‡ºçŽ°æ‹¥å¡žæ—¶,èƒ½å¤Ÿæ ¹æ®å‘¨æœŸèŽ·å¾—çš„ç½‘ç»œä¿¡æ¯ä¸ºæ•°æ®æµæä¾›åŠ¨æ€è·¯ç”±çš„æœºåˆ¶ã€‚

SDNæä¾›äº†å¼€æ”¾çš„å¯ç¼–ç¨‹æŽ¥å£,å¼€å‘è€…å¯ä»¥åˆ©ç”¨è¿™äº›æŽ¥å£ç¼–å†™æ‰©å±•å‡ºè‡ªå®šä¹‰çš„åº”ç”¨æˆ–è€…æ¨¡å—,ä¾‹å¦‚å¯ä»¥åœ¨æŽ§åˆ¶å™¨å†…å¢žåŠ é¢å¤–çš„é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—,èŽ·å–ç½‘ç»œä¿¡æ¯;ç¼–å†™éƒ¨ç½²å®¢åˆ¶åŒ–çš„åº”ç”¨,å°†è¿™äº›ç­–ç•¥æˆ–ä¼˜åŒ–ç»“æžœéƒ¨ç½²åˆ°ç½‘ç»œä¸­åŽ»ã€‚  
2.4æœ¬ç« å°ç»“

æœ¬ç« é¦–å…ˆå¯¹QoSæŠ€æœ¯è¿›è¡Œäº†åˆ†æž,ä¸»è¦æ˜¯QoSæ¦‚å¿µä»¥åŠQoSæœåŠ¡æ¨¡åž‹åŠæœºåˆ¶çš„ä»‹ç»ã€‚ä¹‹åŽå¯¹ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œä¸‹è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¼ è¾“é‡åˆ°çš„å›°å¢ƒè¿›è¡Œäº†åˆ†æžã€‚æœ€åŽå¯¹SDNæŠ€æœ¯è¿›è¡Œäº†åˆ†æž,ä¸»è¦æ˜¯å¯¹SDNç½‘ç»œçš„è¿è¡Œæœºåˆ¶è¿›è¡Œé˜è¿°ä»¥åŠå¯¹æ™ºèƒ½ç®—æ³•åœ¨SDNä¸Šè¿è¡Œçš„å¯è¡Œæ€§è¿›è¡Œäº†åˆ†æžã€‚ä¸‹ä¸€ç« å°†ä»¥æœ¬ç« å†…å®¹ä¸ºåŸºç¡€å±•å¼€,é’ˆå¯¹ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œä¸­è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¼ è¾“é¢ä¸´çš„å›°å¢ƒ,å€ŸåŠ©SDNç½‘ç»œçš„ä¼˜åŠ¿,æé«˜å…¶ä¼ è¾“æ€§èƒ½ã€‚  
3 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥éœ€æ±‚åˆ†æžä¸Žè®¾è®¡

3.1éœ€æ±‚åˆ†æž

3.1.1åº”ç”¨çŽ¯å¢ƒåˆ†æž

æ ¹æ®SDNçš„ä¸‰å±‚æž¶æž„ä½“ç³»,ä»»ä½•åº”ç”¨éƒ½æ˜¯ä»¥SDNæŽ§åˆ¶å¹³å°ä¸ºä¸­å¿ƒå¹¶åœ¨å…¶ä¸Šæ‰©å±•ç›¸å…³æ¨¡å—è€Œå®žçŽ°çš„,SDNæŽ§åˆ¶å™¨çš„æ€§èƒ½å°†ç›´æŽ¥å½±å“åº”ç”¨çš„å®žçŽ°æ•ˆæžœ,å› æ­¤éœ€è¦å¯¹æŽ§åˆ¶å™¨çŽ¯å¢ƒåŠå®ƒèƒ½ä¸ºä¸Šå±‚åº”ç”¨æä¾›çš„ç¼–ç¨‹èƒ½åŠ›è¿›è¡Œç ”ç©¶åˆ†æžã€‚SDNæŽ§åˆ¶å™¨æ˜¯ä¸Šå±‚åº”ç”¨å’Œä¸‹å±‚ç½‘ç»œè®¾å¤‡ä¹‹é—´é€šä¿¡çš„æ¡¥æ¢,å‘ä¸Š,å®ƒå‘åº”ç”¨æä¾›æ•°æ®å¹³é¢çš„åŸºæœ¬ä¿¡æ¯,åŒ…æ‹¬ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ã€è®¾å¤‡èµ„æºä½¿ç”¨æƒ…å†µå’Œé“¾è·¯çŠ¶æ€ç­‰;å‘ä¸‹,å®ƒå°†åº”ç”¨å‘å‡ºçš„æŒ‡ä»¤å‘é€ç»™æ•°æ®å¹³é¢,å¯¹OpenFlowäº¤æ¢æœºçš„æµè¡¨è¿›è¡Œç¼–ç¨‹ã€‚

æœ¬æ–‡çš„QoSè·¯ç”±åŠŸèƒ½å±žäºŽä¸Šå±‚åº”ç”¨,éœ€è¦éƒ¨ç½²åœ¨æŽ§åˆ¶å™¨ä¸­,ä¸ºäº†å®žçŽ°è¿™äº›åº”ç”¨,ä¸ä»…éœ€è¦è°ƒç”¨æŽ§åˆ¶å™¨çš„ç›¸å…³æ¨¡å—å®žçŽ°ä¸€äº›åŸºæœ¬åŠŸèƒ½,å¦‚åŸºæœ¬çš„æ¨¡å—ç®¡ç†ã€åè®®é€‚é…ã€äº‹ä»¶æœºåˆ¶ç­‰æ¨¡å—;è¿˜éœ€è¦åœ¨æŽ§åˆ¶å™¨ä¸Šæ‰©å±•ç›¸åº”çš„æ¨¡å—æ¥å®žçŽ°æœ¬æ–‡æ‰€éœ€è¦çš„åŠŸèƒ½,æ¯”å¦‚æ‹“æ‰‘æŽ¢æµ‹ã€é“¾è·¯æ€§èƒ½ä¿¡æ¯èŽ·å–ç­‰æ¨¡å—;åŒæ—¶,ä¹Ÿéœ€è¦æ³¨æ„è‡ªå®šä¹‰æ¨¡å—ä¸ŽæŽ§åˆ¶å™¨åŽŸæœ‰æ¨¡å—ä¹‹é—´çš„è°ƒç”¨é¡ºåºä»¥åŠå®ƒä»¬çš„ååŒå·¥ä½œã€‚é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦åŠŸèƒ½å±žäºŽåº•å±‚åº”ç”¨,æ‘ˆå¼ƒå…¶å›ºæœ‰çš„å…ˆè¿›å…ˆå‡ºçš„é˜Ÿåˆ—æ¨¡å¼,é‡‡ç”¨æ–°çš„é˜Ÿåˆ—ç®—æ³•,ä½¿è§†é¢‘æµä¼˜å…ˆå‡ºé˜Ÿåˆ—,æ—¢èƒ½å¤Ÿæ›´å¥½åœ°ä¿è¯æµåª’ä½“è§†é¢‘æµçš„QoS,ä¹Ÿèƒ½å…¼é¡¾å…¶ä»–ä¸šåŠ¡ç­‰çº§æµçš„QoS,å› æ­¤éœ€è¦æ³¨æ„OpenFlowæµè¡¨ä¸­å…³äºŽé˜Ÿåˆ—çš„æ“ä½œåŠOpenFlowäº¤æ¢æœºä¸Šé˜Ÿåˆ—è§„åˆ™çš„é…ç½®ã€‚  
3.1.2åº”ç”¨éœ€æ±‚åˆ†æž

å®žçŽ°QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ–¹æ¡ˆçš„ç›®çš„æ˜¯ä¸ºäº†ä¿è¯è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„æœåŠ¡è´¨é‡,åŒæ—¶å…¼é¡¾å…¶ä»–ç­‰çº§æ•°æ®æµçš„ä¼ è¾“ã€‚æœ¬æ–‡çš„æŽ§åˆ¶ç­–ç•¥åŒ…æ‹¬æŽ§åˆ¶å±‚é¢ä¸Žæ•°æ®è½¬å‘å±‚é¢ä¸¤æ–¹é¢,æŽ§åˆ¶å±‚çš„ç­–ç•¥æ˜¯å½“æœ‰æ•°æ®åˆè¿›å…¥ç½‘ç»œæ—¶,å¯¹äºŽè§†é¢‘æµåª’ä½“,æ ¹æ®å…¨å±€çš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘å’Œæ‰€ç›‘æµ‹çš„ç½‘ç»œé“¾è·¯ä¿¡æ¯,ä½¿ç”¨åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±ç®—æ³•è¿›è¡Œè·¯ç”±,å¯¹äºŽå…¶ä»–ç­‰çº§çš„ä¸šåŠ¡æµåˆ™ä½¿ç”¨ä»¥è·¯å¾„è·³æ•°ä¸ºä»£ä»·çš„Dijkstraç®—æ³•è¿›è¡Œè·¯ç”±,åœ¨æ•°æ®è·¯ä¼ è¾“è¿‡ç¨‹ä¸­,å®žæ—¶ç›‘æµ‹æ•°æ®æµä¼ è¾“çš„å‰æ–¹è·¯å¾„çš„é“¾è·¯çŠ¶æ€,å½“ç›‘æµ‹åˆ°ä¼ è¾“è·¯å¾„å‰æ–¹å‘ç”Ÿæ‹¥å¡žæ—¶,ä¸ºè§†é¢‘æµè¿›è¡Œé‡è·¯ç”±ã€‚æ•°æ®è½¬å‘å±‚çš„ç­–ç•¥æ˜¯æ ¹æ®æŽ§åˆ¶å™¨æ ‡è®°çš„æµç±»åž‹å’Œäº¤æ¢æœºä¸Šé…ç½®å¥½çš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥,å°†ä¸šåŠ¡æµæ”¾å…¥åˆ°ç«¯å£ä¸åŒçš„é˜Ÿåˆ—ä¸­,ä¼˜å…ˆè°ƒåº¦è§†é¢‘æµåª’ä½“,ä½¿å…¶èƒ½å¾—åˆ°æ›´å¥½çš„QoSä¿éšœã€‚ç»¼ä¸Šæ‰€è¿°,æŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ•´ä½“çš„éœ€æ±‚åŒ…æ‹¬é“¾è·¯çŠ¶æ€ä¿¡æ¯çš„èŽ·å–ã€è§†é¢‘æµä¼ è¾“è·¯å¾„çš„è®¡ç®—ã€å…¶ä»–ä¸šåŠ¡æµä¼ è¾“è·¯å¾„çš„è®¡ç®—ã€é‡è·¯ç”±è·¯å¾„çš„é€‰æ‹©ã€ä¸åŒç±»åž‹ä¸šåŠ¡æµçš„åˆ’åˆ†ä»¥åŠé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥ç­‰å‡ ä¸ªæ–¹é¢ã€‚å› æ­¤éœ€è¦è€ƒè™‘å¹¶è§£å†³ä»¥ä¸‹é—®é¢˜:

1)ã€è®¡ç®—ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘:ç­–ç•¥çš„æ­£ç¡®éƒ¨ç½²ä¾èµ–äºŽå…¨ç½‘æ‹“æ‰‘è§†å›¾,å› æ­¤éœ€è¦åŠ¨æ€èŽ·å–å…¨ç½‘æ‹“æ‰‘,å½“æœ‰ä¼ è¾“èŠ‚ç‚¹æˆ–é“¾è·¯åŠ å…¥æˆ–é€€å‡ºæ—¶,åŠæ—¶æ›´æ–°ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ç»“æž„,ä»¥ä¿éšœåœ¨è·¯å¾„é€‰æ‹©æ—¶æœ‰å®žæ—¶çš„æ‹“æ‰‘å‚è€ƒã€‚

2)ã€æ”¶é›†é“¾è·¯ä¿¡æ¯:æœ¬æ–‡æ–¹æ¡ˆä¸­QoSåº¦é‡å‚æ•°åŒ…æ‹¬é“¾è·¯æ—¶å»¶ã€é“¾è·¯ä¸¢åŒ…çŽ‡,ä¸ºäº†ä½¿ç­–ç•¥èƒ½å¤Ÿé€‰å–å‡ºæ­£ç¡®çš„è·¯å¾„,éœ€è¦è®¾è®¡ç›¸åº”çš„æ¨¡å—å®žæ—¶åœ°ç›‘æŽ§å¹¶èŽ·å–è¿™äº›èµ„æºçš„ä½¿ç”¨æƒ…å†µã€‚

3)ã€ä¿è¯è§†é¢‘æµçš„æœåŠ¡è´¨é‡:ä¸ºäº†æ»¡è¶³è§†é¢‘æµçš„æœåŠ¡è´¨é‡,éœ€è¦å¯¹æ•°æ®æµæµè¿›è¡Œåˆ’åˆ†,åŒºåˆ«å¯¹å¾…æµåª’ä½“è§†é¢‘æµå’Œå…¶ä»–ä¸šåŠ¡æµ,ä¸ºè§†é¢‘æµæä¾›æ»¡è¶³å…¶ä¸ªæ€§åŒ–è¦æ±‚çš„æœ€ä¼˜è·¯å¾„,ä¸Žæ­¤åŒæ—¶,ä¹Ÿéœ€è¦åœ¨ç«¯å£é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦çš„è¿‡ç¨‹ä¸­å¯¹ä¸åŒç±»åž‹çš„ä¸šåŠ¡æµè¿›è¡Œå·®åˆ«è°ƒåº¦,ä¿è¯è§†é¢‘æµä¼˜å…ˆå‡ºç«¯å£ã€‚

4)ã€è‡ªåŠ¨åŒ–:åœ¨æ•°æ®æµä¼ è¾“è¿‡ç¨‹ä¸­,åˆ©ç”¨SDNæŽ§åˆ¶å™¨çš„é›†ä¸­ç®¡æŽ§èƒ½åŠ›å®žæ—¶ç›‘æµ‹é“¾è·¯å¹¶è¿›è¡Œè¯„ä¼°,å½“å‘ç”Ÿæ‹¥å¡žæ—¶,è‡ªåŠ¨æ ¹æ®å…¨ç½‘æ‹“æ‰‘ã€æµé‡åˆ†å¸ƒæƒ…å†µè°ƒç”¨åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥é€‰å–æ›¿ä»£è·¯å¾„,å¹¶ä¸‹å‘æµè¡¨ã€‚

5)ã€å¿«é€Ÿæ¢å¤:ç½‘ç»œæ‹¥å¡žä¼šå¢žå¤§æ•°æ®åŒ…çš„ä¼ è¾“æ—¶å»¶,å½±å“æ•°æ®ç«¯åˆ°ç«¯çš„ä¼ è¾“,æ‰€ä»¥åŠ¨æ€ç­–ç•¥å¿…é¡»è¦åŠæ—¶å‘çŽ°æ‹¥å¡žå¹¶å¿«é€Ÿæ¢å¤é“¾è·¯ç•…é€šã€‚å½“å‘ç”Ÿæ‹¥å¡žæ—¶,è¦ä½¿ä¸‹å‘æ–°æµè¡¨çš„æ—¶å»¶å°½é‡å°,åŒæ—¶åœ¨ä¸‹å‘æµè¡¨æœŸé—´,ä¹Ÿè¦ä¿è¯ä¸€å®šé‡çš„æ•°æ®ä¼ è¾“,é¿å…æµè¡¨ä¸‹å‘ä¸ä¸€è‡´å¸¦æ¥çš„"æµä¸­æ–­"ã€‚  
3.2 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ¡†æž¶

3.2.1æ•°æ®æµåˆ†ç±»

å®žæ—¶è§†é¢‘ä¼šè®®ã€é«˜æ¸…æ™°åœ¨çº¿è§†é¢‘ã€è§†é¢‘ç›‘æŽ§ç­‰æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡å¯¹æ—¶å»¶å’Œä¸¢åŒ…çŽ‡ç­‰æ€§èƒ½å‚æ•°æœ‰ç€ä¸¥æ ¼çš„è¦æ±‚,ä¸ºæ»¡è¶³è¿™ç±»ä¸šåŠ¡çš„QoS,å¹¶å……åˆ†åˆ©ç”¨ç½‘ç»œèµ„æº,éœ€è¦å¯¹æ‰€æœ‰ä¸šåŠ¡æµè¿›è¡Œä¼˜å…ˆçº§çš„åˆ†ç±»,é€šè¿‡æœ‰åŒºåˆ«çš„ä¸šåŠ¡è·¯ç”±å’Œä¸šåŠ¡æ•°æ®åŒ…é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦è½¬å‘,ä¼˜å…ˆæ»¡è¶³æ­¤ç±»ä¸šåŠ¡çš„QoSã€‚

æ•°æ®æµåˆ†ç±»çš„æ–¹æ³•æœ‰å¾ˆå¤š,å¦‚åº”ç”¨å±‚çš„æ·±åº¦å‡€è·æ£€æµ‹æ³•ã€ä¼ è¾“å±‚çš„ç«¯å£åˆ†æžæ³•ç­‰ã€‚æœ¬æ–‡ä¸ºäº†èƒ½å¯¹ä¸åŒç§ç±»ä¸šåŠ¡æ•°æ®åŒ…æ ‡è®°å¯¹åº”çš„ç­‰çº§å€¼,åˆ©ç”¨DiffServç½‘ç»œæ¨¡åž‹ä¸­çš„DSåŸŸ[35]æ¥è¿›è¡Œä¸šåŠ¡ç­‰çº§å€¼çš„å­˜å‚¨ã€‚DiffServç½‘ç»œæ¨¡åž‹å°†IPæ•°æ®åŒ…å¤´ä¸­çš„8ä½æœåŠ¡ç±»åž‹å­—æ®µ(ToS)é‡æ–°å®šä¹‰ä¸ºåŒºåˆ†æœåŠ¡å­—æ®µDS,ç”¨æ¥åŒºåˆ†ä¸åŒä¸šåŠ¡æ•°æ®æµ,è¡¨ç¤ºä¸åŒçš„ä¼˜å…ˆçº§ã€‚è™½ç„¶ToSå­—æ®µæœ‰8ä½,ä½†ç›®å‰åªç”¨åˆ°äº†å‰6ä½è®°ä¸º DSCP,ä»Žç†è®ºä¸Šè¯´DSCPå€¼ä¸åŒåˆ™æœåŠ¡ä¼˜å…ˆçº§ä¸åŒ,è¿™ä¸ªå€¼è¶Šå¤§å¯¹åº”çš„æœåŠ¡ä¼˜å…ˆçº§ä¹Ÿè¶Šé«˜ã€‚

æ ¹æ®IETFå®šä¹‰çš„æœåŠ¡ç±»åˆ«å¹¶ç»“åˆæœ¬æ–‡çš„ç ”ç©¶å†…å®¹,å¯¹å„ç§åº”ç”¨çš„ä¼˜å…ˆçº§åˆ†ç±»ä»¥åŠDSCPå€¼çš„è®¾å®šå¦‚è¡¨3.1æ‰€ç¤º,Q1è¡¨ç¤ºå¯¹QoSæœ‰æœ€é«˜éœ€æ±‚çš„å®žæ—¶è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡,Q2-Q4è¡¨ç¤ºå¯¹QoSéœ€æ±‚ç›¸å¯¹è¾ƒä½Žçš„åº”ç”¨ã€‚  
è¡¨3.1åº”ç”¨çš„QoSç­‰çº§åˆ†ç±»åŠå…¶å¯¹åº”çš„DSCPå€¼

åº”ç”¨ç±»åž‹åè®®ä¸¾ä¾‹QoSæœåŠ¡ç­‰çº§DSCPå€¼å®žæ—¶è§†é¢‘ä¼šè®®ã€è§†é¢‘ç›‘æŽ§RTP,RTSPQ1100000(32)å…³é”®æ•°æ®ä¸šåŠ¡NFC,SMB,RPCQ2011000(24)äº‹ç‰©å¤„ç†,äº¤äº’å¼æ•°æ®SQLQ3010000(16)æ•°æ®åŒæ­¥,å¤§å—æ•°æ®,e-mailFTP,SMTPQ4001000(8)å¯¹æµçš„åˆ†ç±»ä¸€èˆ¬çš„åšæ³•æ˜¯æ ¹æ®åŒ…å¤´ä¸­çš„æºIPåœ°å€ã€ç›®çš„IPåœ°å€ã€åè®®å­—æ®µã€æºç«¯å£å·ã€ç›®çš„ç«¯å£å·ç­‰å­—æ®µ,å¹¶æ ¹æ®åˆ†ç±»ç»“æžœé‡æ–°æ ‡è®°å®ƒçš„DSCPå€¼ã€‚ç”¨è¿™ç§æ–¹æ³•èƒ½åŒºåˆ†å¤§å¤šæ•°çš„ä¸šåŠ¡,å¦‚æžœæƒ³åŒºåˆ†çš„æ›´ç»†å¯ä»¥åšåŒ…è§£æž,ä½†å¤æ‚åº¦è¾ƒé«˜,æ•…ä¸€èˆ¬é‡‡ç”¨5å…ƒç»„,æˆ–æ›´å¤šç»´çš„åŒ…å¤´æ•°æ®ç›´æŽ¥åŒ¹é…,æœ¬æ–‡ä½¿ç”¨çš„ä¹Ÿæ˜¯è¿™ä¸ªæ–¹æ³•æ¥å¯¹æµè¿›è¡Œåˆ†ç±»ã€‚

ä¸Žåœ¨ä¼ ç»Ÿç½‘ç»œç»“æž„ä¸­åº”ç”¨DiffServç½‘ç»œæ¨¡åž‹ä¸åŒ,SDNè½¬æŽ§åˆ†ç¦»çš„æ€æƒ³ä½¿å¾—æ•°æ®åŒ…çš„æ ‡è®°(æ ‡è®°ä¸åŒçš„æ•°å€¼ä»¥åŒºåˆ†ä¸åŒç±»åˆ«çš„ä¸šåŠ¡)å¹¶ä¸ç”±äº¤æ¢æœºæ¥å®Œæˆ,è€Œæ˜¯ä¾é æŽ§åˆ¶å™¨çš„æµè¡¨é¡¹ä¸­çš„ä¿®æ”¹åŸŸæŒ‡ä»¤,è¯¥æŒ‡ä»¤å¯ä»¥ä¿®æ”¹IPåŒ…å¤´çš„ToSå­—æ®µä¸­çš„DSCPå€¼,æŠŠæ–°çš„å€¼å†™å…¥åŽŸDSCPã€‚åœ¨æŽ§åˆ¶å™¨ä¸‹å‘æµè¡¨æ—¶,è§„å®šåŒ¹é…è¯¥æµè¡¨çš„æ•°æ®æµçš„DSCPå€¼ä½œå‡ºç›¸åº”çš„ä¿®æ”¹ã€‚æ­¤åŠ¨ä½œéœ€åœ¨è¾¹ç¼˜ç»“ç‚¹ä¸­æ‰§è¡Œ,ç¡®ä¿ä»Žè¾¹ç¼˜ç½‘ç»œè¿›å…¥çš„æ•°æ®æµéƒ½è¢«æ‰“ä¸ŠDSCPæ ‡ç­¾,ç½‘ç»œå…¶ä»–ç»“ç‚¹åˆ™ç›´æŽ¥æ ¹æ®IPæ•°æ®åŒ…å¤´çš„ DSCPå€¼è¿›è¡Œç›¸åº”çš„æµåˆ†ç±»å’Œæ ‡è®°æ“ä½œã€‚  
3.2.2 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„æž¶æž„è®¾è®¡

ç”±ä¸ŠèŠ‚ä»‹ç»å¯çŸ¥,æœ¬æ–‡ä¾æ®ä¸šåŠ¡ç±»åž‹,å°†æ•°æ®æµåˆ†ä¸ºå››ä¸ªç­‰çº§,è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡å¯¹æ—¶å»¶ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ç­‰éƒ½æœ‰ç€ä¸¥æ ¼çš„è¦æ±‚,å…¶ä»–ç­‰çº§ä¸šåŠ¡åˆ™å¯¹QoSçš„è¦æ±‚è¾ƒä½Žã€‚ä¸ºäº†åœ¨å¤šç§æ•°æ®æµå¹¶å­˜çš„ç½‘ç»œä¸­æ»¡è¶³è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„QoS,å¹¶å‡å°‘å…¶å¯¹å…¶ä»–ç­‰çº§ä¸šåŠ¡æµçš„å½±å“,æœ¬æ–‡åˆ©ç”¨SDNæŽ§åˆ¶å™¨èƒ½èŽ·å–å…¨å±€ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ä¿¡æ¯å¹¶èƒ½é›†ä¸­æŽ§åˆ¶OpenFlowäº¤æ¢æœºä¸šåŠ¡æ•°æ®æµè½¬å‘è¡Œä¸ºçš„ç‰¹æ€§,ä»¥åŠOpenFlowåè®®æä¾›é˜Ÿåˆ—æœåŠ¡çš„ç‰¹ç‚¹,æå‡ºäº†è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„æ¡†æž¶ã€‚è¯¥QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æž¶æž„èƒ½å¤Ÿæ»¡è¶³è§†é¢‘æµåª’ä½“ç«¯åˆ°ç«¯çš„æœåŠ¡,å¹¶èƒ½åœ¨ç½‘ç»œå‡ºçŽ°æ‹¥å µæ—¶åŠæ—¶è°ƒæ•´ä¼ è¾“è·¯å¾„,å‡å°‘æ‹¥å µé€ æˆçš„è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¼ è¾“æ€§èƒ½å˜å·®çš„é—®é¢˜ã€‚å®ƒæé«˜äº†ç½‘ç»œèµ„æºçš„åˆ©ç”¨çŽ‡,ç»†åŒ–äº†ä¸šåŠ¡æµæŽ§åˆ¶çš„ç²’åº¦ã€‚

QoSæŽ§åˆ¶æž¶æž„å¦‚å›¾3.1æ‰€ç¤º,ä¸»è¦ç”±QoSè·¯ç”±ä¸Žé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ä¸¤ä¸ªéƒ¨åˆ†ç»„æˆ,è¿™ä¸¤ä¸ªéƒ¨åˆ†åœ¨SDNæŽ§åˆ¶å™¨ä¸ŽOpenFlowäº¤æ¢æœºéƒ½æœ‰ç€å¯¹åº”çš„æ¨¡å—,å„ä¸ªæ¨¡å—çš„åŠŸèƒ½åŠè®¾è®¡åœ¨ä¸‹ä¸€èŠ‚è¿›è¡Œè¯¦ç»†çš„é˜è¿°ã€‚

å›¾3.1 QoSæŽ§åˆ¶æž¶æž„å›¾å›¾3.2ä¸ºQoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶æ‰§è¡Œæµç¨‹,å½“æ•°æ®æµè¿›å…¥OpenFlowäº¤æ¢æœºæ—¶,è‹¥æ²¡æœ‰å¯åŒ¹é…çš„æµè¡¨,å°±ä¼šè§¦å‘packet-inæ¶ˆæ¯æºå¸¦æ•°æ®åŒ…ä¿¡æ¯è¿›å…¥åˆ°æŽ§åˆ¶å™¨,æŽ§åˆ¶å™¨é€šè¿‡è§£æžæ•°æ®åŒ…çš„å¤´éƒ¨ä¿¡æ¯,å¯¹è§†é¢‘æµåª’ä½“æ•°æ®æµæŒ‰ç…§OpenFlowæŽ§åˆ¶å™¨æ‰€è§„å®šçš„QoSçº¦æŸæ¡ä»¶,ä¾æ®å…¨å±€çš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘å’Œæ‰€ç›‘æµ‹åˆ°çš„ç½‘ç»œé“¾è·¯æ€§èƒ½ä¿¡æ¯,åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•è¿›è¡ŒQoSè·¯ç”±,å¯¹å…¶ä»–ä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡åˆ™ä½¿ç”¨ä»¥è·¯å¾„è·³æ•°ä¸ºä»£ä»·çš„Dijkstra ç®—æ³•è¿›è¡Œè·¯ç”±ã€‚ä¹‹åŽä¸‹å‘æµè¡¨å¹¶ä¿®æ”¹ToSå­—æ®µçš„DSCPå€¼ä»¥åŠå°†æ•°æ®åŒ…è¿›è¡Œå…¥é˜Ÿæ“ä½œ,ç„¶åŽä½¿ç”¨HTBé˜Ÿåˆ—è§„å®šå¯¹OpenFlowäº¤æ¢æœºå‡ºç«¯å£é˜Ÿåˆ—ä¸­çš„æ•°æ®åŒ…è¿›è¡Œè°ƒåº¦ã€‚  
å›¾3.2 QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶æ‰§è¡Œæµç¨‹

3.3 QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶æ¨¡å—åˆ†æžè®¾è®¡

QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶åˆ†ä¸ºQoSè·¯ç”±å’Œé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ä¸¤ä¸ªéƒ¨åˆ†,ä¸‹é¢åˆ†åˆ«å¯¹è¿™ä¸¤éƒ¨åˆ†çš„è®¾è®¡è¿›è¡Œé˜è¿°ã€‚  
3.3.1 QoSè·¯ç”±æ¡†æž¶

QoSè·¯ç”±æ—¨åœ¨åˆ©ç”¨SDNçš„å¯ç¼–ç¨‹æ€§ä»¥åŠå¯èŽ·å¾—å…¨å±€ç½‘ç»œä¿¡æ¯çš„ç‰¹ç‚¹,åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•ä¸ºè§†é¢‘æµåª’ä½“è®¡ç®—æ»¡è¶³å…¶QoSéœ€æ±‚çš„è·¯å¾„,å¹¶èƒ½åŠ¨æ€åœ°ä¿éšœå…¶QoSã€‚QoSè·¯ç”±æ¡†æž¶åŒ…æ‹¬æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—ã€é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—ã€è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—ã€‚QoSè·¯ç”±æ¡†æž¶çš„è®¾è®¡æ˜¯åœ¨æŽ§åˆ¶å™¨åŽŸæœ‰åŠŸèƒ½çš„åŸºç¡€ä¸Š,å……åˆ†åˆ©ç”¨äº†SDNç½‘ç»œä¸­æŽ§åˆ¶å¹³é¢å’Œæ•°æ®å¹³é¢å¯ä»¥é€šè¿‡OpenFlowåè®®è¿›è¡Œè‡ªç”±çµæ´»äº¤äº’çš„ç‰¹ç‚¹ã€‚  
1)æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—

æŽ§åˆ¶å™¨ä¸­çš„æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—ç”¨äºŽä¸»åŠ¨å¯¹ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘è¿›è¡ŒæŽ¢æµ‹,ä»¥èŽ·å–ç½‘ç»œä¸­OpenFlowäº¤æ¢æœºçš„MACåœ°å€,ç«¯å£å·ç­‰ä¿¡æ¯,å¹¶èƒ½å¤Ÿå‘¨æœŸæ€§åœ°èŽ·å–ç½‘ç»œè®¾å¤‡é—´çš„é“¾è·¯è¿žæŽ¥å…³ç³»,ä¸»è¦æ˜¯æ•°æ®å¹³é¢ä¸­äº¤æ¢æœºä¸Žäº¤æ¢æœºä¹‹é—´çš„é“¾è·¯,è¿˜åŒ…æ‹¬äº¤æ¢æœºä¸Žä¸»æœºçš„é“¾è·¯ä»¥åŠæŽ§åˆ¶å™¨å’Œäº¤æ¢æœºä¹‹é—´çš„è¿žæŽ¥æƒ…å†µã€‚åŒæ—¶ä¼šå¯¹ç½‘ç»œé“¾è·¯çš„å˜åŒ–è¿›è¡Œç›‘æµ‹,ä¿è¯æ¨¡å—ç»´æŠ¤çš„å…¨ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘è¿žæŽ¥ä¿¡æ¯æ˜¯æœ€æ–°çš„ã€‚è¯¥æ¨¡å—æ‰€å¾—åˆ°çš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘è¿žæŽ¥ç»“æž„ç»™æŽ§åˆ¶å™¨æä¾›äº†ä¸€ä¸ªå…¨å±€çš„ç½‘ç»œè§†é‡Ž,ä½¿å¾—æŽ§åˆ¶å™¨èƒ½æ ¹æ®å…¨ç½‘æ‹“æ‰‘è¿›è¡Œè·¯ç”±ã€‚

å¦ä¸€æ–¹é¢,æ¨¡å—ä¼šä»Žé“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—èŽ·å–é“¾è·¯çš„æ€§èƒ½ä¿¡æ¯,åŒ…æ‹¬æ—¶å»¶ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ã€å¸¦å®½ç­‰ä¿¡æ¯ã€‚å¾—åˆ°å½“å‰ç½‘ç»œé“¾è·¯çš„ç‰©ç†è¿žæŽ¥ä¿¡æ¯å’Œé“¾è·¯å¯¹åº”çš„æ€§èƒ½å‚æ•°åŽ,æ ¹æ®è¿™äº›ä¿¡æ¯æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—å¯¹é“¾è·¯è¿›è¡ŒæŠ½è±¡å°è£…,å› ä¸ºè·¯ç”±é—®é¢˜åŽŸåž‹æ˜¯å›¾è®ºä¸­çš„å¯»è·¯é—®é¢˜,è¿™é‡Œå°†ç½‘ç»œå…¨å±€ä¿¡æ¯æ˜ å°„ä¸ºä¸€ä¸ªé‚»æŽ¥é“¾è¡¨å½¢å¼è¡¨è¾¾çš„å¸¦æƒå›¾,ä»Žè€Œæ–¹ä¾¿åŽç»­QoSè·¯ç”±ç®—æ³•è¿›è¡Œæ•°æ®å¤„ç†ã€‚ç½‘ç»œä¸­ç‰©ç†çš„äº¤æ¢æœºæ˜ å°„ä¸ºå›¾ä¸­çš„é¡¶ç‚¹,äº¤æ¢æœºçš„è¿žæŽ¥å…³ç³»æ˜ å°„ä¸ºå›¾ä¸­é¡¶ç‚¹ä¹‹é—´è¿žæŽ¥çš„è¾¹,é“¾è·¯çš„æ€§èƒ½å‚æ•°æ˜ å°„ä¸ºå›¾ä¸­è¾¹ä¸åŒçš„æƒå€¼ã€‚é€šè¿‡è¿™æ ·çš„æ–¹å¼å®Œæˆäº†å¯¹ç½‘ç»œç‰©ç†çŠ¶æ€çš„æŠ½è±¡æ˜ å°„,å½¢æˆæŠ½è±¡çš„è¯¦ç»†ç½‘ç»œå…¨å±€èµ„æºè§†å›¾,è¯¥è§†å›¾æ˜¯QoSè·¯ç”±è®¡ç®—æ¨¡å—çš„æ•°æ®æ”¯æ’‘ã€‚

æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—ä¸­çš„æ‹“æ‰‘è¿žæŽ¥ä¿¡æ¯çš„èŽ·å–æµç¨‹å¦‚å›¾3.3æ‰€ç¤º,å…¶ä¸­ç½‘ç»œè®¾å¤‡å³ç½‘ç»œä¸­è¿žæŽ¥çš„äº¤æ¢æœºæˆ–è€…è·¯ç”±å™¨;ä¿¡æ¯é‡‡é›†æ˜¯å¯¹äº¤æ¢æœºä¿¡æ¯è¿›è¡Œç»Ÿè®¡(äº¤æ¢æœº datapath ID,ç«¯å£å· port,äº¤æ¢æœºé—´çš„é“¾è·¯è¿žæŽ¥);ä¿¡æ¯åˆ†æžæ˜¯æ ¹æ®ä¿¡æ¯é‡‡é›†æ¨¡å—ç»Ÿè®¡çš„ç›¸å…³ä¿¡æ¯,è¿›è¡Œè¿ç®—å¤„ç†,è®¡ç®—ç½‘ç»œçš„æ‹“æ‰‘å›¾;çŠ¶æ€è½®è¯¢æ¨¡å—åˆ©ç”¨å­çº¿ç¨‹æ‰§è¡Œæ‹“æ‰‘ä¿¡æ¯çš„å¾ªçŽ¯æŸ¥è¯¢,å½“ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘å‘ç”Ÿå˜åŒ–æ—¶,ä¾‹å¦‚äº¤æ¢æœºæŽ¥å…¥ã€ç¦»å¼€,é“¾è·¯çŠ¶æ€å˜åŒ–æ—¶,å¯¹ç›¸åº”çš„æ‹“æ‰‘ä¿¡æ¯è¿›è¡Œæ›´æ–°;æ‹“æ‰‘å›¾æ˜¾ç¤ºæ¨¡å—å°†å¯¹äº¤æ¢æœºé‚»æŽ¥çŸ©é˜µè¿›è¡ŒéåŽ†,å‘ç”¨æˆ·å±•ç¤ºç½‘ç»œçš„æ‹“æ‰‘ä¿¡æ¯ã€‚

å›¾3.3æ‹“æ‰‘å‘çŽ°æ¨¡å—å›¾SDNç½‘ç»œä¸­é“¾è·¯ä¿¡æ¯é‡‡é›†çš„å·¥ä½œç”±æŽ§åˆ¶å™¨ç»Ÿä¸€å®Œæˆã€‚OFDP(OpenFlow Discovery Protocol)åˆ©ç”¨é“¾è·¯å±‚å‘çŽ°åè®®(Link Layer Discovery Protocol,LLDP)è¿›è¡Œé“¾è·¯é—´ä¿¡æ¯çš„é‡‡é›†ã€‚LLDPçš„ä»¥å¤ªç½‘å¸§å¦‚å›¾3.4æ‰€ç¤ºã€‚

å›¾3.4 LLDPä»¥å¤ªç½‘å¸§å…¶ä¸­LLDPDUä¸ºæœ‰æ•ˆè½½è·,è¯¥éƒ¨åˆ†ä»¥TLV(Tag Length Value)é›†åˆä½“çš„å½¢å¼å°†è®¾å¤‡æ ‡è¯†ã€æŽ¥å£æ ‡è¯†ä»¥åŠåœ°å€ç­‰ç›¸å…³ä¿¡æ¯è¿›è¡Œå­˜å‚¨ã€‚LLDPå°†è¿™äº›ä¿¡æ¯è½¬é€ç»™ç½‘ç»œä¸­ç›¸é‚»çš„ç½‘ç»œè®¾å¤‡,æŽ¥æ”¶åˆ°LLDPå¸§çš„è®¾å¤‡èƒ½å¤ŸèŽ·å–å­˜å‚¨åœ¨LLDPDUä¸­çš„ç›¸åº”ä¿¡æ¯å¹¶å°†å…¶ä¿å­˜ã€‚

æŽ§åˆ¶å™¨æ‰§è¡Œä¿¡æ¯é‡‡é›†çš„è¿‡ç¨‹å¦‚å›¾3.5æ‰€ç¤º,æŽ§åˆ¶å™¨ä¸ºäº†èŽ·å¾—ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘è¿žæŽ¥æƒ…å†µ,å°†LLDPæ•°æ®åŒ…å°è£…åœ¨packet-outæ¶ˆæ¯ä¸­å‘é€ç»™s1å’Œs2ã€‚ä»¥s1ä¸ºä¾‹,packet-outä¸­ä¸‹å‘çš„æµè¡¨è§„åˆ™:s1å°†ä»ŽæŽ§åˆ¶å™¨ç«¯å£æ”¶åˆ°çš„LLDPæ•°æ®åŒ…ä»ŽéžæŽ¥æ”¶ç«¯å£å‘é€å‡ºåŽ»;s2çš„port1ä¸Žs1çš„port1ç«¯å£ç›¸è¿ž,å› æ­¤LLDPæ•°æ®åŒ…ä¼šä»Žs1çš„port1ç«¯å£å‘é€å‡ºåŽ»,s2çš„port1ç«¯å£æ”¶åˆ°æ­¤æ•°æ®åŒ…;äº¤æ¢æœºå†…æ²¡æœ‰ä¸“é—¨åŒ¹é…LLDPæ•°æ®åŒ…çš„æµè¡¨,å› æ­¤ä¼šè§¦å‘packet-inæ¶ˆæ¯æºå¸¦LLDPæ•°æ®åŒ…ä¿¡æ¯å‘é€ç»™æŽ§åˆ¶å™¨;æŽ§åˆ¶å™¨æ”¶åˆ°packet-inæ¶ˆæ¯åŽå¯¹LLDPæ•°æ®åŒ…è¿›è¡Œè§£æž,è§£æžæŠ¥æ–‡ä¸­æºå¸¦çš„classis IDå’Œport ID,ç¡®å®šå‘é€è¯¥LLDPæŠ¥æ–‡çš„ä¸ºs1çš„port1,è§£æžpacket-inæ¶ˆæ¯ä¸­æºå¸¦çš„in-port,å®šæ”¶åˆ°è¯¥LLDPæŠ¥æ–‡ä¸ºs2çš„port1,ä»Žè€Œç¡®å®šäº¤æ¢æœºs1ä¸Žs2é—´çš„é“¾è·¯è¿žæŽ¥æƒ…å†µ,å³s2çš„port1ä¸Žs1ç›¸è¿ž,åŒç†å¯çŸ¥s1çš„port2ä¸Žs2ç›¸è¿žã€‚ä¾ç…§è¿™æ ·çš„æ–¹å¼æŽ§åˆ¶å™¨èŽ·å¾—ç½‘ç»œä¸­ç›¸è¿žçš„ä¸¤ä¸ªäº¤æ¢æœºé—´çš„é“¾è·¯ä¿¡æ¯,è¿›è€Œå¾—åˆ°æ•´ä¸ªç½‘ç»œçš„é“¾è·¯è¿žæŽ¥æƒ…å†µã€‚  
å›¾3.5é“¾è·¯è¿žæŽ¥ä¿¡æ¯é‡‡é›†å›¾2)é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—

å¸¦å®½ã€æ—¶å»¶ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ç­‰é“¾è·¯æ€§èƒ½å‚æ•°ä»£è¡¨äº†é“¾è·¯ä¼ è¾“æ€§èƒ½çš„å¥½å,QoSè·¯ç”±çš„å‰ææ˜¯èƒ½åŠæ—¶èŽ·å–é“¾è·¯çš„è¿™äº›å‚æ•°ä¿¡æ¯,ç„¶åŽé€šè¿‡è¿™äº›é“¾è·¯ç»„åˆå‡ºæ»¡è¶³ä¸šåŠ¡æµQoSéœ€æ±‚çš„è½¬å‘è·¯å¾„ã€‚éšç€OpenFlowåè®®çš„ä¸æ–­æ›´æ–°,åè®®åŠŸèƒ½é€æ¸ä¸°å¯Œ,åˆ©ç”¨OpenFlowåè®®å¯ä»¥ç›´æŽ¥èŽ·å–å°‘é‡ç½‘ç»œçŠ¶æ€ä¿¡æ¯,ä½†æ˜¯é“¾è·¯çš„æ—¶å»¶ã€å¸¦å®½ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ç­‰é“¾è·¯æ€§èƒ½ä¿¡æ¯å¹¶ä¸èƒ½ç”±OpenFlowåè®®ç›´æŽ¥èŽ·å¾—,å› æ­¤æœ¬æ–‡å¯¹æŽ§åˆ¶å™¨åŠŸèƒ½è¿›è¡Œæ‰©å±•,æ·»åŠ äº†é“¾è·¯æ€§èƒ½ä¿¡æ¯æµ‹é‡æ¨¡å¿«,ä»Žè€Œé«˜æ•ˆåœ°å¯¹é“¾è·¯çš„QoSæ€§èƒ½å‚æ•°è¿›è¡Œæµ‹é‡ã€‚ä¸‹æ–‡å°†å¯¹é“¾è·¯æ€§èƒ½ä¿¡æ¯çš„æµ‹é‡åŽŸç†è¿›è¡Œå…·ä½“é˜è¿°ã€‚  
aã€å¸¦å®½ä½¿ç”¨æƒ…å†µåŠä¸¢åŒ…çŽ‡

OpenFlowåè®®ä¸­å¯¹äºŽäº¤æ¢æœºè®¡æ•°å™¨ç»Ÿè®¡çš„å­—æ®µæœ‰ç›¸åº”çš„å®šä¹‰åŠè¦æ±‚,å…¶ä¸­å¯¹äºŽäº¤æ¢æœºç«¯å£èƒ½å¤ŸæŸ¥è¯¢åˆ°ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯å¦‚å›¾3.6æ‰€ç¤ºã€‚

å›¾3.6ç«¯å£æ¶ˆæ¯å†…éƒ¨ç»“æž„å›¾é€šè¿‡è¯¥æ¶ˆæ¯å¯ä»¥èŽ·å¾—ç«¯å£å‘é€ä¸ŽæŽ¥æ”¶çš„å­—èŠ‚æ•°,å¹¶èƒ½èŽ·å–åˆ°ç«¯å£å‘é€ä¸ŽæŽ¥æ”¶è¿™äº›æ•°æ®æ‰€ç»è¿‡çš„æ—¶é—´,é€šè¿‡å®ƒä»¬èƒ½å¤Ÿè®¡ç®—å‡ºä¸€æ¡é“¾è·¯çš„å¸¦å®½ä½¿ç”¨æƒ…å†µåŠä¸¢åŒ…çŽ‡ã€‚

å‡è®¾ç³»ç»Ÿåˆ†åˆ«åœ¨t1æ—¶åˆ»ä¸Žt2æ—¶åˆ»æ ¹æ®OFP\_Port\_Statsæ¶ˆæ¯èŽ·å–äº†äº¤æ¢æœºs1ä¸Žäº¤æ¢æœºs2å¯¹åº”ç«¯å£çš„(s1çš„port1ä¸Žs2çš„port2ç›¸è¿ž)ä¿¡æ¯,å¯¹äºŽäº¤æ¢æœºs1çš„port1ç«¯å£,å…¶t1æ—¶åˆ»ä¸Žt2æ—¶åˆ»å‘é€ä¸ŽæŽ¥æ”¶çš„å­—èŠ‚æ•°å¦‚å…¬å¼(3.1)å’Œ(3.2),ç«¯å£é€ŸçŽ‡çš„è®¡ç®—å¦‚å…¬å¼(3.3)æ‰€ç¤º,speedå•ä½ä¸ºbit/sã€‚

pt1=tx\_bytest1+rx\_bytest1(3.1)pt2=tx\_bytest2+rx\_bytest2(3.2)speed=pt2-pt1t2-t1×8(3.3)åˆ™äº¤æ¢æœºs1çš„ç«¯å£port1è¢«å ç”¨çš„å¸¦å®½åŠé“¾è·¯å‰©ä½™å¸¦å®½å¦‚å…¬å¼(3.4)å’Œ(3.5)æ‰€ç¤ºã€‚

bwuse=speed(3.4)freebw=curr-bwuse(3.5)ç”±äºŽäº¤æ¢æœºs1çš„port1ä¸Žäº¤æ¢æœºs2çš„port2å¯¹äºŽä¼ è¾“æ•°æ®åŒ…çš„ç»Ÿè®¡æ˜¯å¯¹ç§°,å³é™¤åŽ»é“¾è·¯å‡ºçŽ°æ•…éšœç­‰æ„å¤–çŠ¶å†µ,ä½äºŽç«¯å£port1çš„ç»Ÿè®¡å­—æ®µtx\_bytesåº”å½“ä¸Žä½äºŽç«¯å£port2çš„ç»Ÿè®¡å­—æ®µrx\_bytesæ•°æ®ç›¸åŒã€‚å› æ­¤,ä½äºŽé“¾è·¯ä¸¤ç«¯çš„ä¸¤ä¸ªäº¤æ¢æœºçš„ç«¯å£,å…¶ä¸­ä¸€ä¸ªäº¤æ¢æœºçš„å‘é€æ•°æ®åŒ…æ•°å³ä¸ºå¦ä¸€ä¸ªç«¯å£çš„æŽ¥æ”¶æ•°æ®åŒ…æ•°ã€‚

é“¾è·¯æ‹¥å¡žçŽ‡ååº”äº†ç½‘ç»œä¸šåŠ¡æ•°æ®æµä¼ è¾“çš„æ‹¥å¡žç¨‹åº¦,æ‹¥å¡žçŽ‡è¶Šå¤§,åˆ™æ‹¥å¡žè¶Šä¸¥é‡ã€‚æœ¬æ–‡ä½¿ç”¨å…¬å¼(3.6)æ¥è®¡ç®—é“¾è·¯çš„æ‹¥å¡žçŽ‡,å…¶ä¸­speed106 QUOTE (speed106 QUOTE speed106 QUOTE speed106 QUOTE speed×8106ä¸ºå•ä½æ¢ç®—å³bits/s-Mbit/sã€‚

link\_congestion =speed106÷curr(3.6)OpenFlowå¯¹äºŽä¸€ä¸ªæµè¡¨é¡¹å®šä¹‰äº†ç±»ä¼¼ç«¯å£ç»Ÿè®¡å­—æ®µçš„ç»Ÿè®¡æ¶ˆæ¯,è¯¥æ¶ˆæ¯ä¸ºOFP\_Flow\_Stats,OFP\_Flow\_Statsèƒ½å¤Ÿè¿”å›žä¸€ä¸ªäº¤æ¢æœºä¸­æŸä¸ªæµè¡¨é¡¹å¯¹äºŽåŒ¹é…åˆ°è¯¥æµè¡¨é¡¹çš„æµçš„ç›¸åº”æ•°æ®çš„ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯,å…¶ä¸­åŒæ ·å®šä¹‰äº†duration\_secä»¥åŠduration\_nsecã€‚ç”±äºŽå¯¹äºŽä¸€æ¡æµè€Œè¨€,åªå­˜åœ¨ä¸€ä¸ªæ–¹å‘,å› æ­¤å¯¹äºŽæ•°æ®åŒ…çš„ç»Ÿè®¡å­—æ®µåªæœ‰packet\_countä¸Žbyte\_countå­—æ®µ,åˆ†åˆ«è¡¨ç¤ºå½“å‰æµè¡¨é¡¹åŒ¹é…åˆ°äº†å¤šå°‘æŠ¥æ–‡ä¸Žå­—èŠ‚æ•°,æ­¤å¤–ä¹Ÿå¯ä»¥æ ¹æ®è¯¥æ¶ˆæ¯çš„instructionså­—æ®µ,èŽ·çŸ¥åŒ¹é…åˆ°è¯¥æ¡æµè¡¨é¡¹çš„æ•°æ®åŒ…ä¼šè¢«é‡‡å–ä½•ç§åŠ¨ä½œ,æ¯”å¦‚ä¸¢å¼ƒæˆ–è€…é€è‡³æŸä¸€ä¸ªç«¯å£ã€‚

å¯¹äºŽä¸€æ¡é“¾è·¯,ä¸¢åŒ…çŽ‡çš„æµ‹é‡ä¸Žå¸¦å®½ä½¿ç”¨æƒ…å†µçš„æµ‹é‡æ–¹æ³•ç±»ä¼¼ã€‚ä½†å¯¹äºŽé“¾è·¯ä¸¢åŒ…çŽ‡çš„æµ‹é‡é™¤äº†ä½¿ç”¨OFP\_Port\_Statsæ¶ˆæ¯,è¿˜éœ€è¦ä½¿ç”¨OFP\_Flow\_Statsæ¶ˆæ¯ä¸­çš„instructionså­—æ®µä»¥åŠpacket\_countå­—æ®µ,é€šè¿‡OFP\_Flow\_Statsæ¶ˆæ¯èƒ½å¤ŸèŽ·å¾—OpenFlowäº¤æ¢æœºä¸­æ‰€æœ‰æµè¡¨é¡¹çš„ç»Ÿè®¡æ•°æ®,å¹¶æ ¹æ®instructionså­—æ®µæä¾›çš„è¾“å‡ºç«¯å£,ä»Žè€Œèƒ½å¤Ÿå¾—åˆ°é€å¾€å½“å‰äº¤æ¢æœºå…¶ä¸­æŸä¸€ä¸ªç«¯å£çš„æŠ¥æ–‡æ€»æ•°ã€‚å¯¹äºŽäº¤æ¢æœºs1ä¸Žs2é—´çš„é“¾è·¯(s1çš„port1ä¸Žs2çš„port2ç›¸è¿ž),æ ¹æ®OFP\_Flow\_Statsæ¶ˆæ¯,t1æ—¶åˆ»äº¤æ¢æœºs1æ‰€æœ‰æµè¡¨é¡¹ç»Ÿè®¡çš„å‘é€åˆ°port1çš„æŠ¥æ–‡æ€»æ•°ä¸ºtx\_packets\_byflowt1 QUOTE tx\_packets\_byflowt1 QUOTE tx\_packets\_byflowt1,åŒç†t2æ—¶åˆ»ä¸ºtx\_packets\_byflowt2,t1æ—¶åˆ»åˆ°t2æ—¶åˆ»,äº¤æ¢æœºs1ä¼ ç»™äº¤æ¢æœº2çš„æŠ¥æ–‡æ•°å¦‚å…¬å¼(3.7)æ‰€ç¤ºã€‚

tx\_packets=tx\_packets\_byflowt2-tx\_packets\_byflowt1(3.7)æ ¹æ®OFP\_Port\_Statsæ¶ˆæ¯ä¸­çš„rx\_packetså­—æ®µèŽ·å¾—t1æ—¶åˆ»äº¤æ¢æœºs2ä»Žport2ç«¯å£æŽ¥æ”¶åˆ°çš„æŠ¥æ–‡æ€»æ•°rx\_packetst1 QUOTE rx\_packetst1,åŒç†,t2æ—¶åˆ»æŽ¥æ”¶çš„æŠ¥æ–‡æ€»æ•°rx\_packetst2 QUOTE rx\_packetst2,t1æ—¶åˆ»åˆ°t2æ—¶åˆ»,äº¤æ¢æœºs2å®žé™…æŽ¥æ”¶çš„æŠ¥æ–‡æ•°å¦‚å…¬å¼(3.8)æ‰€ç¤ºã€‚ QUOTE âˆ†rx\_packets= rx\_packetst2-rx\_packetst1

rx\_packets=rx\_packetst2-rx\_packetst1(3.8)ä¸¢åŒ…çŽ‡plçš„è®¡ç®—å¦‚å…¬å¼(3.9)æ‰€ç¤ºã€‚

pl=1-rx\_packetstx\_packets(3.9)bã€æ—¶å»¶

OpenFlowåè®®æœ¬èº«å¹¶æœªæä¾›ç›´æŽ¥ç”¨äºŽæ—¶å»¶æµ‹é‡çš„æœºåˆ¶,ä½†é€šè¿‡åˆ©ç”¨OpenFlowåè®®ä¸­å®šä¹‰çš„æ¶ˆæ¯,ä½¿æ¶ˆæ¯ä¸­æºå¸¦æ—¶é—´æˆ³çš„æ–¹å¼,å¯ä»¥å¯¹ç½‘ç»œä¸­çš„æ—¶å»¶è¿›è¡Œæµ‹é‡ã€‚æœ¬æ–‡åˆ©ç”¨OpenFlowåè®®ä¸­çš„packet-outæ¶ˆæ¯ã€packet-inæ¶ˆæ¯ã€Echo Requestæ¶ˆæ¯å’ŒEcho Replyæ¶ˆæ¯ä¹‹é—´ç›¸å…³çš„è”ç³»è®¡ç®—é“¾è·¯çš„æ—¶å»¶ã€‚  
æ—¶å»¶æµ‹é‡çš„å…·ä½“æ­¥éª¤å¦‚ä¸‹:

(1)æŽ§åˆ¶å™¨æž„é€ packet-outæ¶ˆæ¯å¹¶æºå¸¦LLDPæ•°æ®åŒ…å‘é€åˆ°æ‰€æœ‰äº¤æ¢æœº,ä½¿æ¶ˆæ¯çš„dataåŸŸæºå¸¦å°†æ¶ˆæ¯é€å‡ºæŽ§åˆ¶å™¨çš„æ—¶é—´æˆ³Tlldp\_start,è¯¥æ¶ˆæ¯æŒ‡ç¤ºäº¤æ¢æœºå°†LLDPæ•°æ®åŒ…å‘é€åˆ°å…¶ä»–ç«¯å£,äº¤æ¢æœºs2æ”¶åˆ°s1å‘é€è¿‡æ¥çš„LLDPæ•°æ®åŒ…,äº¤æ¢æœºå†…å¹¶æ²¡æœ‰å¤„ç†è¿™ç§æ•°æ®åŒ…çš„è§„åˆ™,ä»¥packet-inæ¶ˆæ¯ä¸ŠæŠ¥åˆ°æŽ§åˆ¶å™¨,è®°å½•æ­¤æ—¶çš„æ—¶é—´Tlldp\_end QUOTE Tlldp\_end QUOTE Tlldp\_end ,T1=Tlldp\_end-Tlldp\_start QUOTE T=Tlldp\_end-Tlldp\_start QUOTE Tlldp\_end-Tlldp\_start å³ä¸ºæŽ§åˆ¶å™¨åˆ°s1äº¤æ¢æœº,s1åˆ°s2,s2åˆ°æŽ§åˆ¶å™¨çš„å¤§è‡´æ—¶å»¶ã€‚åŒç†,æŽ§åˆ¶å™¨åˆ°äº¤æ¢æœºs2,s2åˆ°s1,s1åˆ°æŽ§åˆ¶å™¨çš„æ—¶å»¶T2è®¡ç®—æ–¹å¼ä¹Ÿå¦‚æ­¤ã€‚

(2)æŽ§åˆ¶å™¨åˆ°äº¤æ¢æœºçš„å¾€è¿”æ—¶å»¶æµ‹é‡æ˜¯åˆ©ç”¨è¯·æ±‚å›žå¤æ¶ˆæ¯Echo Request,ä½¿æ¶ˆæ¯çš„dataåŸŸæºå¸¦å°†æ¶ˆæ¯é€å‡ºæŽ§åˆ¶å™¨çš„æ—¶é—´æˆ³Techo\_start,æŽ§åˆ¶å™¨å‘äº¤æ¢æœºs1å‘é€Echo Requestæ¶ˆæ¯,äº¤æ¢æœºæ”¶åˆ°Echo Requestæ¶ˆæ¯ä¼šä»¥Echo Replyæ¶ˆæ¯å›žå¤æŽ§åˆ¶å™¨,æŽ§åˆ¶å™¨æ”¶åˆ°Echo ReplyæŠ¥æ–‡åŽä¼šè®°å½•èŽ·å–æŠ¥æ–‡çš„æ—¶é—´Techo\_end QUOTE Techo\_end QUOTE Techo\_end ,å› æ­¤æŽ§åˆ¶å™¨ä¸Žs1äº¤æ¢æœºå¾€è¿”æ—¶é—´Trtt\_1=Techo\_end-Techo\_start,åŒç†,æŽ§åˆ¶å™¨ä¸Žs2äº¤æ¢æœºä¹‹é—´å¾€è¿”çš„æ—¶é—´Trtt\_2è®¡ç®—æ–¹å¼ä¹Ÿæ˜¯å¦‚æ­¤ã€‚  
(3)äº¤æ¢æœºs1ä¸Žs2ä¹‹é—´æ—¶å»¶è®¡ç®—å…¬å¼å¦‚(3.10)æ‰€ç¤ºã€‚

T=T1+T2-Trtt\_1-Trtt\_2÷2(3.10)å›¾3.7æ—¶å»¶æµ‹é‡åŽŸç†å›¾3)è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—

è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—è´Ÿè´£ç½‘ç»œçš„è·¯å¾„å†³ç­–,æ˜¯æ•´ä¸ªQoSè·¯ç”±æŽ§åˆ¶æœºåˆ¶ä¸­æœ€æ ¸å¿ƒçš„éƒ¨åˆ†ã€‚è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—æœ‰å››ä¸ªåŠŸèƒ½,ä¸€æ˜¯æ•°æ®æµçš„åŒºåˆ†,äºŒæ˜¯è·¯å¾„çš„è®¡ç®—,ä¸‰æ˜¯æµè¡¨ä¸‹å‘,å››æ˜¯ç½‘ç»œæ‹¥å¡žæ—¶çš„åŠ¨æ€è·¯ç”±ã€‚æ•°æ®æµçš„åŒºåˆ†ä¸»è¦æ˜¯åŒºåˆ†å‡ºè§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸Žå…¶ä»–ä¸šåŠ¡æµ,è¿›è€Œç»™äºˆä¸åŒçš„è·¯ç”±ç­–ç•¥;è·¯å¾„çš„è®¡ç®—éƒ¨åˆ†é‡‡ç”¨äº†åŒè½¨å¹¶è¡Œçš„æ–¹å¼,æ ¹æ®æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—æä¾›çš„å…¨å±€ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ç»“æž„ä»¥åŠå¸¦æœ‰é“¾è·¯æ€§èƒ½å‚æ•°çš„æ‹“æ‰‘ç»“æž„,å¯¹è§†é¢‘æµåª’ä½“æ•°æ®æµè¿›è¡ŒQoSè·¯ç”±,å¯¹å…¶ä»–ä½Žä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡æ•°æ®æµä½¿ç”¨ä»¥è·³æ•°ä¸ºè·¯å¾„ä»£ä»·çš„æœ€çŸ­è·¯å¾„ç®—æ³•è¿›è¡Œè·¯ç”±ã€‚é€šè¿‡è¿™ç§æ–¹å¼,å®žçŽ°äº†ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡çš„åŒºåˆ†è·¯ç”±,åœ¨æŽ§åˆ¶å±‚è¾ƒå¥½çš„ä¿è¯äº†è§†é¢‘æµåª’ä½“æ•°æ®æµç«¯åˆ°ç«¯çš„QoS;æµè¡¨ä¸‹å‘æ˜¯æ ¹æ®è·¯å¾„è®¡ç®—éƒ¨åˆ†å¾—åˆ°çš„é“¾è·¯è·¯å¾„å»ºç«‹æµè¡¨ä¿¡æ¯å¹¶ä¸‹å‘ç»™OpenFlowäº¤æ¢æœº,OpenFlowäº¤æ¢æœºæ ¹æ®æµè¡¨è¿›è¡Œä¸šåŠ¡æ•°æ®æµçš„è·¯ç”±è½¬å‘ã€‚

å¤šQoSçº¦æŸçš„è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„è·¯ç”±,å®žé™…ä¸Šæ˜¯æ»¡è¶³å¤šä¸ªæŒ‡æ ‡çš„ç›¸å¯¹ä¼˜è§£,å¯¹äºŽå•çº¦æŸQoSè·¯ç”±é—®é¢˜,æœ€çŸ­è·¯å¾„ç®—æ³•Dijstraç®—æ³•å³å¯è§£å†³[36],å¤šçº¦æŸè·¯ç”±é—®é¢˜å³åŒæ—¶æ»¡è¶³ä¸¤ä¸ªä»¥ä¸Šç›¸äº’ç‹¬ç«‹å‚æ•°çš„æ€§èƒ½è¦æ±‚ç›®å‰å·²è¢«è¯æ˜Žæ˜¯NP-Completeé—®é¢˜[37],æœ‰äº›ç ”ç©¶é€šè¿‡å°†å¤šç§çº¦æŸå‚æ•°ç”¨ä¸€ä¸ªæ··åˆçš„å‚æ•°æ¥åº¦é‡,é€šå¸¸åˆæˆè¿™ç§å‚æ•°çš„ç›¸å…³çº¦æŸä¹‹é—´çš„è¿ç®—ä¸æ˜“ç¡®å®š,è€Œä¸”è¿™ç§æ··åˆå‚æ•°ç®—å‡ºçš„è·¯å¾„å¯èƒ½ä¸èƒ½ååº”å…¶ä¸­ä»»ä½•ä¸€ä¸ªçº¦æŸ,å¹¶æ²¡æœ‰è¶³å¤Ÿçš„å®žé™…æ„ä¹‰ã€‚é€šå¸¸ä¸¤ä¸ªä»¥ä¸ŠåŠ æ€§å‚æ•°çš„å¤šçº¦æŸè·¯ç”±é—®é¢˜éœ€è¦ä½¿ç”¨è¿‘ä¼¼ç®—æ³•æˆ–å¯å‘å¼ç®—æ³•æ±‚è§£,è¿‘ä¼¼ç®—æ³•ä¸Žå¯å‘å¼ç®—æ³•å„æœ‰å„çš„ä¼˜ç¼ºç‚¹,è¿‘ä¼¼ç®—æ³•èƒ½å¤Ÿæ›´å¥½çš„ç¡®ä¿è§£çš„è´¨é‡,ä½†è®¡ç®—å´ç›¸å¯¹ç¼“æ…¢;å¯å‘å¼ç®—æ³•èƒ½å¤Ÿè¾ƒå¿«çš„è®¡ç®—å‡ºæœ€ä¼˜è§£,å´æ— æ³•ç¡®ä¿è§£çš„è´¨é‡,å¸¸ç”¨çš„å¯å‘å¼ç®—æ³•æœ‰é—ä¼ ç®—æ³•[38]ã€èšç¾¤ç®—æ³•[39]ç­‰ã€‚æœ¬æ–‡éœ€è¦åœ¨ä¼ è¾“è·¯å¾„ä¸æ»¡è¶³ä¼ è¾“è¦æ±‚æ—¶,èƒ½å¤Ÿå°½å¿«åœ°æ‰¾åˆ°å¦ä¸€æ¡å¯ä»¥ä¼ è¾“çš„è·¯å¾„,å› æ­¤æœ¬æ–‡ç ”ç©¶é‡‡ç”¨å¯å‘å¼ç®—æ³•ä¸­çš„é—ä¼ ç®—æ³•æ¥è§£å†³å¤šQoSçº¦æŸé—®é¢˜ã€‚

é—ä¼ ç®—æ³•æ˜¯å¯å‘å¼ç®—æ³•ä¸­è¾ƒä¸ºç»å…¸çš„ç®—æ³•,é€šè¿‡æ¨¡æ‹Ÿç”Ÿç‰©åœ¨è‡ªç„¶çŽ¯å¢ƒä¸­çš„é—ä¼ å’Œè¿›åŒ–æœºåˆ¶è€Œæå‡ºçš„ä¸€ç§å…¨å±€ä¼˜åŒ–æ¦‚çŽ‡æœç´¢ç®—æ³•[40-41],é—ä¼ ç®—æ³•æ˜¯ä¸€ç§è¿­ä»£æ–¹æ³•,é€šå¸¸å®ƒä¼šä»Žä¸€ç»„ç¾¤ä½“å¼€å§‹,æ¨¡æ‹Ÿç”Ÿç‰©çš„è¿›åŒ–è¿‡ç¨‹,é€šè¿‡äº¤å‰ã€å˜å¼‚ç­‰é—ä¼ æ“ä½œç”Ÿæˆä¸‹ä¸€ç»„ç¾¤ä½“,é€šè¿‡é€‚åº”åº¦æ¥è°ƒæ•´ç¾¤ä½“çš„è¿›åŒ–æ–¹å‘,ä¸æ–­è¿­ä»£,æœ€ç»ˆæ‰¾åˆ°æœ€ä¼˜è§£æˆ–è€…åˆé€‚çš„è§£ã€‚æœ¬æ–‡å°†åœ¨ä¸‹æ–‡è®ºè¿°å¦‚ä½•è®¾è®¡é—ä¼ ç®—æ³•è¿›è¡ŒQoSè·¯ç”±çš„è®¡ç®—ã€‚

ç”±äºŽç½‘ç»œçŠ¶æ€ä¸€ç›´å¤„äºŽåŠ¨æ€åœ°å˜åŒ–ä¸­,è·¯å¾„è®¡ç®—éƒ¨åˆ†è®¡ç®—å‡ºçš„è·¯å¾„åœ¨ä¸€å®šæ—¶é—´åŽå¯èƒ½ä¸å†æ»¡è¶³è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¼ è¾“çš„QoSéœ€æ±‚,åŠ¨æ€è·¯ç”±çš„åŠŸèƒ½æ˜¯èƒ½å¤Ÿæ ¹æ®å‘¨æœŸæ£€æµ‹çš„æƒ…å†µ,åœ¨å‘çŽ°è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„ä¼ è¾“è·¯å¾„å‡ºçŽ°æ‹¥å¡žæ—¶,é‡æ–°è®¡ç®—ç¬¦åˆéœ€æ±‚çš„è·¯å¾„,ç„¶åŽä¸‹å‘æ–°è·¯å¾„çš„æµè¡¨,åˆ é™¤äº¤æ¢æœºä¸­æ—§è·¯å¾„çš„æµè¡¨ã€‚æœ¬æ–‡å‡å®šç†æƒ³æƒ…å†µä¸ºè§¦å‘åŠ¨æ€è·¯ç”±ä»ŽåŽŸæœ‰è·¯å¾„è°ƒæ•´åˆ°å…¶ä»–è·¯å¾„æ—¶,å·²ç»å‘é€çš„æ•°æ®åŒ…ä¸ä¼šé‡æ–°å‘é€,ä¸å†é‡ä¼ çš„æ•°æ®æµä¾ç„¶éœ€è¦åœ¨æ‹¥å¡žçš„è·¯å¾„ä¸­ä¼ è¾“,ç«¯å£è½¬å‘ä¸€ç›´ä¼šä½¿ç”¨HTBé˜Ÿåˆ—è§„åˆ™æœ€å¤§å¯èƒ½å‡ç¼“æ‹¥å¡ž,ä¿è¯æ•°æ®æµçš„é€šè¿‡ã€‚åŠ¨æ€è·¯ç”±éƒ¨åˆ†æ¶‰åŠæ‹¥å¡žé“¾è·¯çš„åˆ¤å®šåŠæµè¡¨ä¸‹å‘æ—¶è·¯å¾„åˆ‡æ¢çš„é—®é¢˜,ä¸‹æ–‡ä¸ºå…·ä½“é˜è¿°ã€‚  
(1)æ‹¥å¡žé“¾è·¯åˆ¤æ–­

æœ¬æ–‡çš„æ–¹æ¡ˆæ˜¯åº”ç”¨äºŽæ··åˆæµé‡çš„ç½‘ç»œä¸­,å³åŒ…å«ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§çš„ä¸šåŠ¡æµ,æœ¬æ–‡çš„ä¸»è¦ç›®æ ‡æ˜¯ä¸ºè§†é¢‘æµåª’ä½“æä¾›æœ€å¥½çš„QoSä¿éšœ,ä½†æ˜¯ç½‘ç»œä¸­çš„ä¼ è¾“ä¼šå‡ºçŽ°å…¶ä»–ä¸šåŠ¡æµæŒ¤å è§†é¢‘æµèµ„æºçš„æƒ…å†µ,å³ä¼ è¾“è·¯å¾„å‡ºçŽ°æ‹¥æŒ¤,è¿™ä¸ªæ—¶å€™éœ€è¦å¯¹è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„ä¼ è¾“è·¯å¾„è¿›è¡Œè°ƒæ•´ã€‚æœ¬æ–‡è®¾å®šçš„æ‹¥å¡žçŽ‡ä¸º80%,å³è·¯å¾„ä¸­çš„é“¾è·¯å¸¦å®½çš„ä½¿ç”¨çŽ‡ä¸ºå›ºå®šå¸¦å®½çš„80%ä»¥ä¸Š,å³åˆ¤å®šä¸ºæ‹¥å¡ž,éœ€è¦ç”¨ä¾æ®é—ä¼ ç®—æ³•ä¸ºè§†é¢‘æµé‡è·¯ç”±,ä¸ºå…¶é‡æ–°é€‰æ‹©ä¸€æ¡åˆé€‚çš„è·¯å¾„è¿›è¡Œä¼ è¾“ã€‚  
(2)è·¯å¾„åˆ‡æ¢æœºåˆ¶

å½“è§¦å‘ç³»ç»Ÿä½¿ç”¨åŠ¨æ€è·¯ç”±æœºåˆ¶ä¸ºä¸€æ¡æµé‡æ–°è®¡ç®—è·¯ç”±ä¹‹åŽ,éœ€è¦ä¸‹å‘æ–°çš„æµè¡¨,ä½¿åŽç»­è¿›å…¥åˆ°ç½‘ç»œä¸­çš„æµåŒ¹é…åˆ°æ–°çš„æµè¡¨,åœ¨æ–°çš„è·¯å¾„ä¸­è¿›è¡Œä¼ è¾“ã€‚è¿™ä¸€è¿‡ç¨‹è™½ç„¶æ—¶é—´å¾ˆçŸ­,å´æ¶‰åŠæ–°è€æµè¡¨é¡¹å…±å­˜å’Œè·¯å¾„åˆ‡æ¢è¿‡ç¨‹ä¸­ä¸¢åŒ…çš„é—®é¢˜,å¯¹äºŽæ•°æ®çš„ä¼ è¾“æ˜¯éžå¸¸é‡è¦çš„,å› æ­¤éœ€è¦è®¾è®¡è·¯å¾„åˆ‡æ¢æœºåˆ¶æ¥è§£å†³ä¸Šè¿°é—®é¢˜ã€‚î—î—

è·¯å¾„åˆ‡æ¢æœºåˆ¶ä¸­æ¶‰åŠä¸¤ä¸ªé—®é¢˜:ä¸€æ˜¯æ–°æµè¡¨é¡¹å®‰è£…çš„é—®é¢˜,äºŒæ˜¯å¦‚ä½•å¤„ç†æ–°æ—§æµè¡¨å…±å­˜çš„é—®é¢˜ã€‚éœ€è¦æ³¨æ„çš„æ˜¯,åœ¨OpenFlowäº¤æ¢æœºçš„æµè¡¨ä¸­,æµè¡¨é¡¹ä¸Žæµè¡¨é¡¹çš„åŒºåˆ†æ˜¯ä»¥åŒ¹é…åŸŸä»¥åŠä¼˜å…ˆçº§ä½œä¸ºä¾æ®çš„,å³ä¸€ä¸ªæµè¡¨é¡¹çš„èº«ä»½æ ‡è¯†ä¸ºåŒ¹é…åŸŸä¸Žä¼˜å…ˆçº§ã€‚åœ¨OpenFlowåè®®ä¸­,ä¼˜å…ˆçº§çš„å€¼è¶Šå¤§åˆ™ä¼˜å…ˆçº§è¶Šé«˜ã€‚å¦‚æžœæ–°è·¯å¾„çš„æµè¡¨é¡¹åœ¨å®‰è£…è¿›äº¤æ¢æœºä¹‹åŽ,å…¶ä¼˜å…ˆçº§ä½ŽäºŽè€è·¯å¾„çš„æµè¡¨é¡¹,åˆ™æ•°æ®åŒ…è¿›å…¥ç½‘ç»œä¹‹åŽ,ä»å°†ä¼˜å…ˆåŒ¹é…åˆ°åŽŸæœ‰çš„æµè¡¨é¡¹,æœ€ç»ˆä»ç„¶æŒ‰ç…§åŽŸæœ‰çš„ä¼ è¾“è·¯å¾„è¿›è¡Œæ•°æ®åŒ…çš„ä¼ è¾“ã€‚è‹¥æ–°çš„æµè¡¨é¡¹ä¼˜å…ˆçº§ä¸ŽåŽŸæœ‰çš„æµè¡¨é¡¹çš„ä¼˜å…ˆçº§ç›¸åŒ,åˆ™å¯¹äºŽæ•°æ®åŒ…çš„ä¼ è¾“ä¼šå­˜åœ¨ä¸€å®šçš„é£Žé™©ã€‚è€Œå°†ä¼˜å…ˆçº§çš„è®¾ä¸ºé«˜äºŽåŽŸæœ‰çš„æµè¡¨é¡¹,åˆ™æ–°çš„æ•°æ®åŒ…ä¼šä¼˜å…ˆåŒ¹é…æ–°è·¯å¾„çš„æµè¡¨é¡¹,ä»Žè€Œæ–°è¿›å…¥ç½‘ç»œçš„æ•°æ®åŒ…ä¼šæŒ‰ç…§æ–°è·¯å¾„è¿›è¡Œä¼ è¾“ã€‚å› æ­¤æ–°çš„æµè¡¨é¡¹çš„ä¼˜å…ˆçº§å¿…æ˜¯è¦é«˜äºŽæ—§çš„æµè¡¨é¡¹ã€‚

ç¡®å®šæ–°çš„æµè¡¨é¡¹çš„ä¼˜å…ˆçº§é«˜äºŽæ—§çš„æµè¡¨é¡¹åŽ,éœ€è¦å†³å®šæµè¡¨çš„å®‰è£…é¡ºåºã€‚å¦‚æžœæŒ‰"æºäº¤æ¢æœº"åˆ°"ç›®çš„äº¤æ¢æœº"çš„é¡ºåºä¾æ¬¡ä¸‹å‘æµè¡¨,åˆ™å¾ˆæœ‰å¯èƒ½äº§ç”Ÿ"æµä¸­æ–­"çŽ°è±¡,å³å½“æ•°æ®æµåˆ°è¾¾æ–°è·¯å¾„çš„æŸä¸€äº¤æ¢æœºæ—¶,æµè¡¨æ›´æ–°è¿˜æ²¡æœ‰å®Œæˆ,æ­¤æ—¶æ•°æ®åŒ…ä¸èƒ½åŒ¹é…åˆ°ä»»ä¸€æµè¡¨é¡¹,åœåœ¨äº†æ­¤å¤„,"æµä¸­æ–­"ä¸ä½†è€½è¯¯äº†æ•°æ®æµçš„ä¼ è¾“æ—¶é—´,è¿˜æžæœ‰å¯èƒ½äº§ç”Ÿä¸¢åŒ…çŽ°è±¡,å½±å“ç«¯åˆ°ç«¯çš„ä¼ è¾“ã€‚

åŸºäºŽæ­¤,é‡‡ç”¨"å€’åºå¼"å®‰è£…æµè¡¨,å³æŒ‰ç…§ä»Ž"ç›®çš„äº¤æ¢æœº"åˆ°"æºäº¤æ¢æœº"çš„é¡ºåºä¾æ¬¡å†™å…¥æµè¡¨ã€‚åœ¨é‡å†™å…¨éƒ¨å®Œæˆä¹‹å‰,ä¸åˆ é™¤åŽŸæœ‰è·¯å¾„çš„æµè¡¨é¡¹,è¿™æ ·åœ¨è°ƒæ•´è¿‡ç¨‹ä¸­,æ•°æ®æµä»ç»§ç»­æŒ‰ç…§åŽŸæœ‰è·¯å¾„ä¼ è¾“,é¿å…äº†è·¯å¾„åˆ‡æ¢ä¸ä¸€è‡´æƒ…å†µä¸‹é€ æˆçš„æ•°æ®ä¸¢å¤±,å°½é‡ä¿è¯äº†æµåŠ¨æ€è°ƒæ•´ä¸­æ•°æ®çš„è¿žç»­æ€§ã€‚

å¦‚å›¾3.8æ‰€ç¤º,å‡è®¾æŸæ¡æµåŽŸæ¥çš„ä¼ è¾“è·¯å¾„ä¸ºs1-s2,åœ¨T0æ—¶s1-s2é“¾è·¯å‘ç”Ÿæ‹¥å¡ž,è§¦åŠ¨é‡è·¯ç”±æœºåˆ¶ä¸ºæµé‡æ–°é€‰æ‹©ä¼ è¾“è·¯å¾„ä¸ºs1-s3-s2,è‹¥æŒ‰ç…§"é¡ºåºå¼"å†™å…¥æµè¡¨,T1æ—¶åˆ»s1ä¸Šçš„æµè¡¨å·²ç»é‡æ–°æˆåŠŸ,æ–°è¿›å…¥åˆ°ç½‘ç»œä¸­çš„æµä¾æ®s1ä¸­æ–°çš„æµè¡¨é¡¹è¿›è¡ŒåŒ¹é…è½¬å‘,å³ä»Žs1çš„port2è½¬å‘å‡ºåŽ»,æ ¹æ®æµè¡¨é¡¹çš„åŠ¨ä½œ,æ•°æ®æµå·²ç»ä»Žs1åˆ°s3äº†,ä½†æ­¤æ—¶s3çš„æµè¡¨é¡¹å¯èƒ½è¿˜æ²¡é‡å†™å®Œæˆ,å°±ä¼šé€ æˆæ•°æ®æµåœåœ¨æ­¤å¤„,æ ¹æ®OpenFlowäº¤æ¢æœºçš„è®¾ç½®,æ­¤æ—¶æœ‰ä¸¤ç§åŠ¨ä½œ,ä¸€ç§æ˜¯ä¸¢å¼ƒæ•°æ®åŒ…,ä¸€ç§æ˜¯é€è‡³æŽ§åˆ¶å™¨ã€‚å¯¹äºŽç¬¬ä¸€ç§æƒ…å†µå°†ç›´æŽ¥é€ æˆä¸¢åŒ…,ç¬¬äºŒç§æƒ…å†µ,ä¼šå‡ºçŽ°çŸ­æ—¶é—´å¤§é‡packet-inæ¶ˆæ¯é€è‡³æŽ§åˆ¶å™¨çš„çŠ¶å†µ,å¯¹ç³»ç»Ÿçš„è¿è¡Œäº§ç”Ÿæžå¤§çš„è´Ÿè½½,ç”šè‡³å½±å“æ­£å¸¸å·¥ä½œã€‚å› æ­¤ä¸è®ºå“ªä¸€ç§æƒ…å†µ,éƒ½ä¸æ˜¯æœ¬æ–‡å¸Œæœ›å‘ç”Ÿçš„ã€‚

è‹¥é‡‡ç”¨"å€’åºå¼"é‡å†™æµè¡¨,å³æŒ‰ç…§s2åˆ°s3å†åˆ°s1çš„é¡ºåºé‡å†™æµè¡¨,åœ¨æœ€åŽä¸€ä¸ªäº¤æ¢æœºs1é‡å†™æˆåŠŸä¹‹å‰,æ•°æ®æµä»æŒ‰ç…§åŽŸå§‹çš„è·¯å¾„ä¼ è¾“,é¿å…äº†"æµä¸­æ–­"ã€‚

å›¾3.8æµè¡¨å®‰è£…å›¾å¯¹äºŽæ–°è€æµè¡¨å…±å­˜äºŽäº¤æ¢æœºä¸­çš„å¤„ç†æ–¹æ³•æœ‰ä¸¤ç§,ä¸€æ˜¯æ˜¯ä¸åšä»»ä½•å¤„ç†,ä½¿ä¹‹è‡ªç„¶è¶…æ—¶è§¦å‘æµè¡¨å¤±æ•ˆçš„æ“ä½œ,äºŒæ˜¯é‡‡å–ä¸»åŠ¨æ“ä½œåŽ»åˆ é™¤åŽŸæœ‰è·¯å¾„çš„æµè¡¨é¡¹ã€‚å¯¹äºŽç¬¬ä¸€ç§å¤„ç†æ–¹å¼,å¯¹äºŽæœ¬æ–‡çš„ç ”ç©¶å¹¶ä¸é€‚åˆ,å› ä¸º,åŽŸæœ‰çš„è·¯å¾„çš„æµè¡¨é¡¹å·±ç»å¤±æ•ˆ,å´å æ®æµè¡¨çš„æœ‰é™èµ„æº,è¿™æ˜¯ä¸€ç§æµªè´¹,æ­¤å¤–,ç”±äºŽæ–°çš„è·¯å¾„ä¸­çš„æµè¡¨é¡¹è®¾å®šäº†è¾ƒé«˜çš„ä¼˜å…ˆçº§,è‹¥åŽŸæœ‰è·¯å¾„çš„æµè¡¨é¡¹æœªè¢«æ¸…é™¤,åˆ™æ–°è·¯å¾„çš„æµè¡¨å¿…é¡»ä¿æŒè¾ƒé«˜çš„ä¼˜å…ˆçº§,è¿™ä¼šå¸¦æ¥é¢å¤–çš„ä¼˜å…ˆçº§ç®¡ç†é—®é¢˜ã€‚å› æ­¤æœ¬æ–‡ç”¨äº†ä¸»åŠ¨åˆ é™¤åŽŸæœ‰è·¯å¾„çš„æµè¡¨é¡¹çš„æœºåˆ¶,åœ¨æ–°çš„æµè¡¨é¡¹é‡æ–°å®‰è£…å®Œä¹‹åŽ,åˆ æŽ‰æ—§çš„æµè¡¨ã€‚  
3.3.2é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„åˆ†æžè®¾è®¡

åœ¨OpenvSwitch è™šæ‹Ÿäº¤æ¢æœºä¸­,å½“æ•°æ®ä¸šåŠ¡åˆ°è¾¾å‡ºç«¯å£æ—¶,OpenvSwitchçš„å‡ºç«¯å£å°†æŒ‰ç…§ FIFO(First In First Out,å…ˆå…¥å…ˆå‡º)çš„è½¬å‘è§„åˆ™æŠŠç¼“å†²åŒºä¸­çš„æ•°æ®åŒ…è½¬å‘å‡ºåŽ»ã€‚OpenvSwitchäº¤æ¢æœºåœ¨å‡ºç«¯å£ä¸Šé‡‡ç”¨äº†"å°½åŠ›è€Œä¸º"çš„ä¼ ç»Ÿè½¬å‘è§„åˆ™,æ˜¯ä¸€ç§æŠ¢å å¼çš„èµ„æºåˆ†é…æ–¹æ³•,å½“æŸä¸€ç±»åž‹çš„ä¸šåŠ¡æ‰€å çš„å¸¦å®½å¤šæ—¶,ä¼šå¯¼è‡´å…¶å®ƒç±»åž‹çš„ä¸šåŠ¡å ç”¨å¸¦å®½å‡å°‘,è¿™æ ·æœ‰å¯èƒ½ä¼šå‡ºçŽ°é‡è¦æ€§ä½Žçš„ä¸šåŠ¡æŠ¢å è¿‡å¤šå¸¦å®½èµ„æº,è€Œé€ æˆé‡è¦æ€§é«˜çš„ä¸šåŠ¡çŸ­æ—¶é—´å†…æ— æ³•å¾—åˆ°è½¬å‘çš„æƒ…å†µã€‚å› æ­¤,ä¸ºä¿éšœæµåª’ä½“è§†é¢‘æµçš„QoS,QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥åœ¨OpenvSwitch è™šæ‹Ÿäº¤æ¢æœºçš„å‡ºç«¯å£è®¾è®¡é‡‡ç”¨æ–°çš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç®—æ³•,ä¿è¯æµåª’ä½“è§†é¢‘æµåœ¨æ¯ä¸ªè½¬å‘èŠ‚ç‚¹ä¸Šçš„QoSè¦æ±‚ã€‚æ ¹æ®OpenFlowåè®®èƒ½å¤Ÿæä¾›é˜Ÿåˆ—é…ç½®çš„åŠŸèƒ½,å³åœ¨æµè¡¨ä¸­å¢žåŠ å°†æ•°æ®æµé€å…¥åˆ°ç«¯å£é˜Ÿåˆ—çš„åŠ¨ä½œ,æ•°æ®æµè¿›å…¥åˆ°äº¤æ¢æœºåŒ¹é…åˆ°æµè¡¨åŽ,å°±ä¼šæ ¹æ®æµè¡¨çš„æŒ‡å¼•è¿›å…¥å‡ºç«¯å£çš„æŸä¸ªé˜Ÿåˆ—ä¸­,ä¹‹åŽæ ¹æ®é˜Ÿåˆ—è§„åˆ™çš„é…ç½®è¿›è¡Œæ•°æ®çš„è½¬å‘ã€‚  
1)é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦åˆ†æž

é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦çš„è§„åˆ™æœ‰å¾ˆå¤š,æ¯”å¦‚FIFO ã€PRIOã€HTBç­‰ã€‚å…¶ä¸­,FIFOåªèƒ½æä¾›å°½åŠ›è€Œä¸ºçš„æœåŠ¡,ä¸èƒ½å¯¹ä¸åŒä¸šåŠ¡åšåŒºåˆ†å¤„ç†,æ— æ³•æä¾›QoSåŒºåˆ†æœåŠ¡;PRIOè™½ç„¶å¯ä»¥å¯¹æŠ¥æ–‡è¿›è¡Œåˆ†ç±»,ä½¿å¾—é«˜ä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡å¾—åˆ°ä¼˜å…ˆè°ƒåº¦,ä½†å®¹æ˜“ä½¿å¾—ä½Žä¼˜å…ˆçº§é˜Ÿåˆ—ä¸­çš„ä¸šåŠ¡è¢«"é¥¿æ­»";HTBæ—¢èƒ½å¯¹ä¸åŒä¼˜å…ˆç­‰çº§ä¸šåŠ¡è¿›è¡ŒåŒºåˆ†è°ƒåº¦,ä¹Ÿèƒ½å¯¹ç½‘ç»œè¿›è¡Œæµé‡æ•´å½¢å’Œé€ŸçŽ‡é™åˆ¶ã€‚

æœ¬æ–‡é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦çš„éœ€æ±‚æ˜¯ä¸ºè§†é¢‘æµåª’ä½“æä¾›è¶³å¤Ÿçš„å¸¦å®½;å¸¦å®½å……è¶³æ—¶,ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§çš„ä¸šåŠ¡æµé—´å¯ä»¥ç›¸äº’å€Ÿå¸¦å®½;ç«¯å£æä¾›ä¸åŒä¸šåŠ¡æµçš„ä¼˜å…ˆçº§è½¬å‘ã€‚æ ¹æ®æœ¬æ–‡çš„éœ€æ±‚ä»¥åŠå¯¹å„ä¸ªé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦è§„åˆ™çš„å¯¹æ¯”,ä½¿ç”¨HTB(åˆ†å±‚ä»¤ç‰Œæ¡¶,Hierarchical Token Bucket)é˜Ÿåˆ—è§„åˆ™æ¥å®Œæˆé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ã€‚

HTBé˜Ÿåˆ—è§„å®šæ˜¯æ ‘çŠ¶ç»“æž„,èƒ½å¯¹ä¸šåŠ¡æŒ‰ç…§æ ‘çŠ¶ç»“æž„è¿›è¡Œåˆ†ç±»[42]ã€‚å®ƒä½¿ç”¨DWRRç®—æ³•,æŒ‰ç…§ç±»çš„ä¼˜å…ˆçº§è¿›è¡Œæ•°æ®åŒ…çš„å·®é¢åŠ æƒè½®è¯¢è°ƒåº¦,å°†ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§çš„æ•°æ®åŒ…è°ƒåº¦åˆ°ç›¸åº”ç±»çš„é˜Ÿåˆ—è§„å®šä¸­;ä½¿ç”¨ä»¤ç‰Œæ¡¶ç®—æ³•å¯¹æµé‡è¿›è¡Œé™é€Ÿå’Œæ•´å½¢ã€‚ä¸‹é¢å¯¹è¿™ä¸¤ç§ç®—æ³•åˆ†åˆ«è¿›è¡Œä»‹ç»ã€‚  
aã€å·®é¢åŠ æƒè½®è¯¢ç®—æ³•

DWRRç®—æ³•æ˜¯å¯¹RRç®—æ³•ä¸ŽWRRç®—æ³•çš„æ”¹è¿›[43],å› æ­¤å…ˆä»‹ç»RRç®—æ³•ä¸ŽWRRç®—æ³•,ç„¶åŽå†é˜è¿°DWRRç®—æ³•çš„åŽŸç†ã€‚

è½®å¾ªç®—æ³•(Round Robin,RR)æ˜¯æœ€ç®€å•çš„è½®è¯¢ç®—æ³•,æŒ‰é¡ºåºè½®æµè°ƒåº¦å„ä¸ªé˜Ÿåˆ—,è‹¥é˜Ÿåˆ—ä¸ºç©ºåˆ™è·³è¿‡,å®žçŽ°è°ƒåº¦çš„å…¬å¹³æ€§ã€‚è™½ç„¶RRé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç®—æ³•èƒ½ä½“çŽ°å…¬å¹³ä¸Žå·¥ä½œå°½åŠ›çš„åŽŸåˆ™,ä½†æ˜¯å¹¶ä¸èƒ½ä½“çŽ°ä¸šåŠ¡çš„ä¼˜å…ˆç­‰çº§,å®žçŽ°åŒºåˆ†è°ƒåº¦æœåŠ¡,è¿™å¯¼è‡´äº†ä¸èƒ½æ»¡è¶³è¾ƒé«˜ä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡çš„æœåŠ¡è´¨é‡ã€‚

åŠ æƒè½®å¾ªç®—æ³•(Weighted Round Robin,WRR)å¯¹RRç®—æ³•è¿›è¡Œäº†æ”¹è¿›[44],æ˜¯ä¸€ç§åŠ æƒè½®è¯¢æŠ¥æ–‡è°ƒåº¦ç®—æ³•ã€‚å®ƒä¸ºæ¯ä¸€ä¸ªé˜Ÿåˆ—éƒ½åˆ†é…ä¸€ä¸ªç‹¬ç«‹çš„æƒå€¼å’Œè®¡æ•°å™¨,åˆå§‹æ—¶,æ¯ä¸ªé˜Ÿåˆ—ä¸­çš„è®¡æ•°å™¨å€¼è¢«åˆå§‹åŒ–ä¸ºé˜Ÿåˆ—çš„æƒå€¼ã€‚åœ¨æ¯ä¸€æ¬¡è½®å¾ªä¸­,å½“æœ‰æ•ˆé˜Ÿåˆ—å¾—åˆ°è°ƒåº¦æœºä¼šåŽ,æ¯è°ƒåº¦ä¸€ä¸ªæŠ¥æ–‡,é˜Ÿåˆ—è®¡æ•°å™¨çš„å€¼å°±å‡å°1,å½“é˜Ÿåˆ—æ²¡æœ‰æŠ¥æ–‡å¯è¢«è°ƒåº¦æˆ–è€…è®¡æ•°å™¨å€¼ä¸º0æ—¶,è®¡æ•°å™¨çš„å€¼è¢«é‡æ–°è®¾ç½®ä¸ºé˜Ÿåˆ—çš„æƒé‡å€¼,ç„¶åŽåˆ‡æ¢åˆ°ä¸‹ä¸€ä¸ªæœ‰æ•ˆé˜Ÿåˆ—ä¸­ç»§ç»­è¿›è¡Œè°ƒåº¦ã€‚æ²¡æœ‰æŠ¥æ–‡çš„é˜Ÿåˆ—ä¸å‚ä¸Žè°ƒåº¦,å¸¦å®½è¢«é‡Šæ”¾ä»¥ä¾›å…¶ä»–æœ‰æŠ¥æ–‡çš„é˜Ÿåˆ—ä½¿ç”¨ã€‚å½“ä¸€ä¸ªé˜Ÿåˆ—çš„æµé‡è¾ƒå°‘æ—¶,å…¶ä½™é˜Ÿåˆ—è¿˜å¯åˆ†äº«å…¶å¸¦å®½,WRRé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç®—æ³•èƒ½åœ¨å„ä¸ªé˜Ÿåˆ—é—´çµæ´»åˆ†é…å¸¦å®½,ä¸ºä¸åŒç­‰çº§ä¸šåŠ¡æä¾›å·®å¼‚åŒ–çš„æœåŠ¡,å›¾3.9ä¸ºWRRç®—æ³•åŽŸç†å›¾ã€‚

å›¾3.9 WRRç®—æ³•åŽŸç†å›¾WRRåŠ æƒè½®è¯¢è°ƒåº¦ç®—æ³•å¯ä»¥ä¸ºä¸åŒç±»æ•°æ®æä¾›ä¸åŒçš„ä¼˜å…ˆçº§æœåŠ¡,ä½†æ˜¯WRRç®—æ³•æ˜¯åŸºäºŽæ•°æ®åŒ…çš„,æ‹¥æœ‰è¾ƒå¤šè¾ƒé•¿æŠ¥æ–‡çš„é˜Ÿåˆ—ä¼šå¾—åˆ°æ›´å¤šçš„å¸¦å®½èµ„æº,å‡ºçŽ°ä¸å…¬å¹³çš„çŽ°è±¡ã€‚ä¸ºäº†å…‹æœWRRé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç®—æ³•å­˜åœ¨çš„ç¼ºé™·,ç®—æ³•è®¾è®¡äººå‘˜ä»¬æå‡ºäº†å·®é¢åŠ æƒè½®è¯¢(Deficit Weighted Round Robin,DWRR)ç®—æ³•ã€‚

DWRRé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç®—æ³•æ˜¯å¯¹WRRç®—æ³•çš„æ”¹è¿›,å…¶é˜Ÿåˆ—æƒå€¼ä¸æ˜¯æŠ¥æ–‡çš„ä¸ªæ•°,è€Œæ˜¯æŠ¥æ–‡çš„å­—èŠ‚æ•°,ä¸ºæ¯ä¸ªé˜Ÿåˆ—ç»´æŠ¤ä¸€ä¸ªæƒå€¼ Q(Q ä¸ºå®šå€¼),å’Œä¸€ä¸ªå·®é¢ Dã€‚ç®—æ³•æœ€åˆè¿è¡Œæ—¶éœ€è®¾ç½®æ¯ä¸ªé˜Ÿåˆ—çš„Qå€¼,å¹¶å°†æ¯ä¸ªé˜Ÿåˆ—çš„Då€¼å˜ä¸º0ã€‚åœ¨æ¯ä¸€è½®è°ƒåº¦ä¸­,ä¸€ä¸ªé˜Ÿåˆ—éœ€å‘é€å°½é‡å¤šçš„çš„æ•°æ®åŒ…,ä¸”å‘é€çš„å­—èŠ‚æ•°å°‘äºŽç­‰äºŽ Q+D,å¹¶ä¿è¯æŒ‰åºå‘é€,è‹¥å‘é€äº†Nä¸ªæ•°æ®åŒ…,åˆ™éœ€æ»¡è¶³Q+Då¤§äºŽç­‰äºŽè¿™Nä¸ªæ•°æ®åŒ…é•¿åº¦,ä¸”è¿™Nä¸ªæ•°æ®åŒ…é•¿åº¦åŠ ä¸Šè¿™ä¸ªé˜Ÿåˆ—ä¸‹ä¸€ä¸ªè¦å‘é€çš„æ•°æ®åŒ…é•¿åº¦éœ€å¤§äºŽ Q+D,å‘é€å®Œæ¯•åŽ,è‹¥é˜Ÿåˆ—ä¸ºç©ºåˆ™æŠŠDå€¼è®¾ç½®ä¸º0,ä¸ä¸ºç©ºåˆ™ D=Q+D-sendã€‚sendä¸ºè¿™ä¸ªé˜Ÿåˆ—è¿™ä¸€è½®å‘é€çš„å­—èŠ‚æ•°ã€‚DWRRç®—æ³•å¯ä»¥ä¸ºä¸åŒä¸šåŠ¡,æä¾›æ›´ä¸ºç²¾å‡†çš„ä¼˜å…ˆçº§æœåŠ¡ã€‚  
bã€ä»¤ç‰Œæ¡¶ç®—æ³•

ä»¤ç‰Œæ¡¶ç®—æ³•èƒ½å¯¹ç½‘ç»œæµé‡è¿›è¡Œæ•´å½¢å’Œé™åˆ¶æµé‡é€ŸçŽ‡,å¯æŽ§åˆ¶å‘é€åˆ°ç½‘ç»œä¸Šæ•°æ®çš„æ•°ç›®å¹¶å…è®¸çªå‘æ•°æ®çš„å‘é€ã€‚å›¾3.10ä¸ºä»¤ç‰Œæ¡¶ç®—æ³•çš„æµç¨‹å›¾ã€‚

å›¾3.10ä»¤ç‰Œæ¡¶ç®—æ³•æµç¨‹å›¾ä»¤ç‰Œæ¡¶æœ‰ä¸€ä¸ªå®¹é‡å›ºå®šä¸”å¯ä»¥è‡ªè¡Œä»¥æ’å®šçš„é€ŸçŽ‡æºæºä¸æ–­åœ°äº§ç”Ÿä»¤ç‰Œ,æ•°æ®åŒ…ç»è¿‡ä»¤ç‰Œæ¡¶æ—¶,å¦‚æžœæ¡¶ä¸­æœ‰è¶³å¤Ÿçš„ä»¤ç‰Œ,åˆ™å‘é€æ•°æ®åŒ…,åŒæ—¶å‡åŽ»ç›¸åº”çš„ä»¤ç‰Œæ•°ã€‚å¦‚æžœæ¡¶ä¸­çš„ä»¤ç‰Œä¸è¶³,é‚£ä¹ˆæ•°æ®åŒ…å°±ä¸èƒ½è¢«å‘é€,éœ€è¦ç­‰å¾…,ç›´åˆ°ä»¤ç‰Œæ¡¶ä¸­æœ‰è¶³å¤Ÿçš„ä»¤ç‰Œã€‚ä»¤ç‰Œæ¡¶ä¼ è¾“çªå‘æ•°æ®å’Œé™åˆ¶é€ŸçŽ‡åˆ†åˆ«é€šè¿‡ä¸‹é¢çš„ä¸¤ç§æ–¹å¼å®žçŽ°çš„ã€‚

(1)ä»¤ç‰Œäº§ç”Ÿçš„é€Ÿåº¦å¤§äºŽæ•°æ®åŒ…çš„ä¼ è¾“é€ŸçŽ‡,å¦‚æžœè¿™æ ·ä¸€ç›´ä¸‹åŽ»,æœ€ç»ˆä¼šä½¿å¾—ä»¤ç‰Œä¸æ–­å¢žå¤šç›´è‡³è¾¾åˆ°ä»¤ç‰Œæ¡¶çš„å®¹é‡,ç„¶åŽå¼€å§‹æº¢å‡ºã€‚å½“å¤§é‡çªå‘æ•°æ®åŒ…åˆ°æ¥æ—¶,ä»¤ç‰Œæ¡¶ä¸­å°±ä¼šæœ‰å¤šä½™çš„ä»¤ç‰Œæ¥å¤„ç†è¿™äº›çªå‘çš„å³°å€¼æµé‡ã€‚

(2)ä»¤ç‰Œäº§ç”Ÿçš„é€ŸçŽ‡å°äºŽæ•°æ®åŒ…çš„ä¼ é€é€ŸçŽ‡,è¿™æ ·ä¸€ç›´ä¸‹åŽ»å°±ä¼šå¯¼è‡´ä»¤ç‰Œæ¡¶å˜ç©º,å°±ä¼šä½¿å¾—æ•°æ®åŒ…çš„å‘é€é€ŸçŽ‡ç­‰äºŽä»¤ç‰Œçš„äº§ç”Ÿé€ŸçŽ‡,èµ·åˆ°äº†é™åˆ¶æµé‡çš„ä½œç”¨ã€‚  
2)é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„è®¾è®¡

å›¾3.11å±•ç¤ºäº†é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„è®¾è®¡,æ•°æ®æµåœ¨ä»Žäº¤æ¢æœºçš„ç«¯å£è¿›å…¥åŽ,ç»è¿‡æµè¡¨çš„åŒ¹é…æ‰§è¡Œç«¯å£è½¬å‘ã€æ•°æ®åŒ…æ ‡è®°ã€å…¥é˜Ÿåˆ—åŠ¨ä½œ,ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡è¿›å…¥ä¸åŒçš„é˜Ÿåˆ—,é€šè¿‡OpenvSwitchä¸Šè®¾ç½®çš„HTBé˜Ÿåˆ—è§„å®šçš„è°ƒåº¦åŽ,è§†é¢‘æµä¸ä»…å¯ä»¥èŽ·å¾—æ›´å¤šçš„è¾“å‡ºå¸¦å®½,ä¹Ÿå¯ä»¥ä¼˜å…ˆè¢«è°ƒåº¦å‡ºç«¯å£,è½¬å‘åˆ°ä¸‹ä¸€ä¸ªäº¤æ¢æœºä¸Šã€‚

3.11é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥å›¾3.4åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„å¤šQoSçº¦æŸè·¯ç”±ç®—æ³•åˆ†æžä¸Žè®¾è®¡

æœ¬æ–‡å°†é—ä¼ ç®—æ³•åº”ç”¨åˆ°SDNç½‘ç»œä¸­è§£å†³QoSè·¯ç”±é—®é¢˜,æ ¹æ®æœ¬æ–‡çš„åº”ç”¨åœºæ™¯,å°†å¯¹é—ä¼ ç®—æ³•è¿›è¡Œè®¾è®¡æ¥æ»¡è¶³å®žé™…åº”ç”¨çš„éœ€è¦ã€‚  
3.4.1è·¯ç”±åº¦é‡æ•°å­¦æ¨¡åž‹

QoSæŽ§åˆ¶æŒ‡æ ‡å‚æ•°[45]åˆ†ä¸ºå¯åŠ æ€§æŒ‡æ ‡,ä¹˜æ€§æŒ‡æ ‡,å‡¹æ€§æŒ‡æ ‡ã€‚å¯åŠ æ€§æŒ‡æ ‡,å³è·¯å¾„çš„ QoSä¸ºè¯¥è·¯å¾„æ¯æ¡é“¾è·¯QoSè¦æ±‚å€¼çš„å’Œ,æ¯”å¦‚è·³æ•°ã€é“¾è·¯æˆæœ¬ã€æ—¶å»¶ç­‰ã€‚ä¹˜æ€§æŒ‡æ ‡,å³è·¯å¾„çš„QoSä¸ºè¯¥è·¯å¾„æ¯æ¡é“¾è·¯QoSè¦æ±‚å€¼çš„ä¹˜ç§¯,æ¯”å¦‚ä¸¢åŒ…çŽ‡ã€é“¾è·¯åˆ©ç”¨çŽ‡ç­‰ã€‚å‡¹å½¢æŒ‡æ ‡,å³è·¯å¾„çš„QoSä¸ºè¯¥è·¯å¾„æ¯æ¡é“¾è·¯QoSè¦æ±‚å€¼çš„æœ€å°å€¼æˆ–æœ€å¤§å€¼,æœ€å°å€¼å¦‚å¸¦å®½ã€‚

ç½‘ç»œQoSè·¯ç”±é€‰æ‹©é—®é¢˜çš„ç†è®ºåŸºç¡€æ˜¯å›¾è®ºä¸­çš„å¯»è·¯é—®é¢˜,é€šå¸¸å°†ç½‘ç»œæè¿°ä¸ºæœ‰å‘å›¾G (V,E),å…¶ä¸­,Vä»£è¡¨å›¾ä¸­é¡¶ç‚¹çš„é›†åˆ,ç”¨äºŽæè¿°ç½‘ç»œä¸­çš„Open Flowäº¤æ¢æœºæˆ–ä¸»æœº,E ä»£è¡¨ç½‘ç»œä¸­è¾¹çš„é›†åˆ,æè¿°è¿žæŽ¥å„ä¸ªç½‘ç»œè®¾å¤‡çš„é“¾è·¯(æŽ§åˆ¶å™¨å’Œäº¤æ¢æœºçš„é“¾è·¯ä¸åŒ…æ‹¬åœ¨æ­¤é›†åˆå†…)ã€‚æ¯æ¡è¾¹a,b∈Eã€‚

è®¾æœ‰ä¸€æ¡è·¯å¾„p,s∈Vä¸ºè·¯å¾„çš„èµ·ç‚¹,d∈V-S QUOTE d∈V-s ä¸ºè·¯å¾„çš„ç»ˆç‚¹,æ ¹æ®ä»¥ä¸Šå®šä¹‰çš„QoSæŽ§åˆ¶æŒ‡æ ‡å‚æ•°çš„åˆ†ç±»æƒ…å†µ,å¯ä»¥å¾—åˆ°è·¯å¾„pçš„ä¼ è¾“æ€§èƒ½å‚æ•°è¡¨ç¤ºä¸º:

delayps,d=a,b∈ps,ddelaya,b(3.11)lossps,d=1-a,b∈ps,d1-lossa,b(3.12)bandwidthps,d=mina,b∈ps,dbandwidtha,b(3.13)å…¬å¼(3.11)ä¸ºè¯¥æ¡è·¯å¾„ç«¯åˆ°ç«¯æ—¶å»¶,å…¬å¼(3.12)ä¸ºä¼ è¾“è·¯å¾„æ€»çš„ä¸¢åŒ…çŽ‡,å…¬å¼(3.13)ä¸ºä¼ è¾“è·¯å¾„ä¸­å‰©ä½™çš„å¸¦å®½ã€‚

å¯¹äºŽä¸€ä¸ªç«¯åˆ°ç«¯çš„ä¼ è¾“éœ€æ±‚,éœ€è¦æ‰¾åˆ°ä¸€æ¡è·¯å¾„ps,d QUOTE p(s,d),åˆ†åˆ«æ»¡è¶³ä»¥ä¸‹çº¦æŸæ¡ä»¶:

delayps,d<D(3.14)lossps,d<L(3.15)bandwidthps,d>B(3.16)å…¶ä¸­Dã€Lã€Båˆ†åˆ«è¡¨ç¤ºä¼ è¾“å¯¹æ—¶å»¶ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡åŠå¸¦å®½çš„éœ€æ±‚,Dçš„å€¼ä¸º10ms,Lçš„å€¼ä¸º20×10-3,Bçš„å€¼ä¸º0.8Mbpsã€‚  
3.4.2é—ä¼ ç®—æ³•åŸºæœ¬æ¦‚å¿µ

é—ä¼ ç®—æ³•æ˜¯åŸºäºŽè‡ªç„¶é€‰æ‹©å’Œé—ä¼ è¿›åŒ–å­¦çš„è‡ªé€‚åº”å¯å‘å¼éšæœºæœç´¢ç®—æ³•,è™½ç„¶å¼ºè°ƒéšæœºåŒ–,ä½†æ˜¯é—ä¼ ç®—æ³•å¹¶ä¸æ˜¯å®Œå…¨éšæœºçš„,è€Œæ˜¯åˆ©ç”¨åŽ†å²é—ç•™ä¿¡æ¯å°†æœç´¢èŒƒå›´å¼•å¯¼åˆ°å¯èƒ½èŽ·å¾—æ›´ä¼˜è§£çš„æœç´¢ç©ºé—´ä¸­ã€‚é—ä¼ ç®—æ³•åŸºæœ¬æ¦‚å¿µå¦‚ä¸‹:  
(1)ç§ç¾¤:ç§ç¾¤æ˜¯ç®—æ³•å¾…è§£å†³é—®é¢˜çš„æ‰€æœ‰å¯èƒ½è§£çš„ç¼–ç æ–¹æ¡ˆçš„ä¸€ä¸ªå­é›†ã€‚

(2)æŸ“è‰²ä½“:ä¸€ä¸ªæŸ“è‰²ä½“ä»£è¡¨ç§ç¾¤ä¸­çš„ä¸€ä¸ªä¸ªä½“,å¯¹åº”å¾…è§£å†³é—®é¢˜çš„ä¸€ä¸ªè§£,ä¸ªä½“ä¸ŽæŸ“è‰²ä½“æ¦‚å¿µç­‰åŒã€‚  
(3)åŸºå› :åŸºå› æ˜¯æŸ“è‰²ä½“ä¸€ä¸ªä½ç‚¹ä¸Šçš„å…·ä½“å…ƒç´ ã€‚

(4)æŸ“è‰²ä½“ç¼–ç :æŒ‡ç§ç¾¤ä¸­æ¯ä¸ªæŸ“è‰²ä½“å†…éƒ¨åŸºå› çš„ç¼–ç æ–¹å¼,ç”¨äºŽå»ºç«‹å®žé™…é—®é¢˜è§£ä¸Žè®¡ç®—æœºå¯ä»¥ç†è§£çš„æ•°æ®ç»“æž„ä¹‹é—´çš„æ˜ å°„ã€‚

(5)é€‚åº”åº¦å‡½æ•°:é€‚åº”åº¦å‡½æ•°æ˜¯ç”¨äºŽå¯¹ç§ç¾¤ä¸­æŸ“è‰²ä½“å¯¹äºŽå½“å‰çŽ¯å¢ƒé€‚åº”ç¨‹åº¦çš„ä¸€ä¸ªé‡åŒ–å‡½æ•°,è®¡ç®—ç»“æžœä»£è¡¨ä¸€ä¸ªæŸ“è‰²ä½“çš„é€‚åº”å€¼,åæ˜ è§£ç©ºé—´ä¸€ä¸ªè§£å¯¹å½“å‰é—®é¢˜è§£å†³ç¨‹åº¦çš„ä¼˜åŠ£ã€‚

(6)é—ä¼ ç®—å­:é—ä¼ ç®—å­æ˜¯é—ä¼ ç®—æ³•ä¸­çš„è¿›åŒ–æ“ä½œ,åŒ…æ‹¬é€‰æ‹©ç®—å­ã€äº¤å‰ç®—å­å’Œå˜å¼‚ç®—å­ç­‰ã€‚

é—ä¼ ç®—æ³•æ¨¡æ‹Ÿçš„æ˜¯ç”Ÿç‰©è¿›åŒ–çš„è¿‡ç¨‹,ç®—æ³•æ‰§è¡Œæ—¶é¦–å…ˆéœ€è¦å¾—åˆ°ä¸€ä¸ªåˆå§‹ç§ç¾¤,é€‰æ‹©ç§ç¾¤ä¸­çš„éƒ¨åˆ†æŸ“è‰²ä½“æ‰§è¡Œäº¤å‰å’Œå˜å¼‚ç®—å­ä»Žè€Œç”Ÿæˆæ–°çš„å­ä»£æŸ“è‰²ä½“ã€‚ç„¶åŽç”¨å­ä»£ä¸­çš„é€‚åº”å€¼é«˜çš„æŸ“è‰²ä½“æ›¿ä»£çˆ¶ä»£ç§ç¾¤ä¸­çš„é€‚åº”å€¼è¾ƒå·®çš„æŸ“è‰²ä½“,é‡å¤è¿™ä¸ªè¿‡ç¨‹ç›´åˆ°ç®—æ³•æ”¶æ•›ã€‚  
3.4.3æŸ“è‰²ä½“ç¼–ç è®¾è®¡

æŸ“è‰²ä½“ç¼–ç æ˜¯å®žé™…é—®é¢˜ä¸Žè®¡ç®—æœºè”ç³»çš„æ¡¥æ¢,æ˜¯é—ä¼ ç®—æ³•çš„åŸºç¡€å’Œå…³é”®ã€‚åˆé€‚çš„æŸ“è‰²ä½“ç¼–ç å¯¹é—®é¢˜çš„è§£å†³æœ‰å¾ˆå¤§çš„åŠ©ç›Š,å¯ä»¥å°†å®žé™…é—®é¢˜ç©ºé—´ç›´è§‚åœ°æ˜ å°„åˆ°å…·ä½“çš„æœºå™¨ç©ºé—´,åŒæ—¶åˆèƒ½å…¼é¡¾è®¡ç®—æœºå¯¹ç®—æ³•æ‰§è¡Œçš„æ•ˆçŽ‡ã€‚å¸¸ç”¨çš„æŸ“è‰²ä½“ç¼–ç æœ‰ç¬¦å·ç¼–ç ã€äºŒè¿›åˆ¶ç¼–ç å’ŒåŸºäºŽæ ‘çš„è¡¨ç¤ºã€‚

ç”±äºŽè·¯ç”±ç»è¿‡çš„èŠ‚ç‚¹æ•°ç›®å¯ä»¥ä¸åŒ,å³æŸ“è‰²ä½“çš„é•¿åº¦å¯ä»¥æ˜¯å˜åŒ–çš„,QoSè·¯ç”±ç®—æ³•æŸ“è‰²ä½“ç¼–ç é€‰æ‹©å˜é•¿ç¬¦å·ç¼–ç çš„æ–¹å¼ã€‚ç½‘ç»œä¸­æ¯ä¸ªäº¤æ¢æœºéƒ½æœ‰å”¯ä¸€çš„datapath.idçš„æ ‡è¯†,å°†ä¸€è·¯å¾„ä¸Šçš„æ¯ä¸ªäº¤æ¢æœºçš„datapath.idæŒ‰ç…§é€”ç»çš„é¡ºåºæŽ’åˆ—ä½œä¸ºä¸€æ¡æŸ“è‰²ä½“çš„ç¼–ç ,æŸ“è‰²ä½“ç¬¬ä¸€ä¸ªä½ç½®çš„åŸºå› ä»£è¡¨è·¯ç”±çš„æºèŠ‚ç‚¹,æœ€åŽä¸€ä¸ªåŸºå› ä»£è¡¨è·¯ç”±çš„ç›®çš„èŠ‚ç‚¹,åŸºå› çš„æŽ’åˆ—é¡ºåºè¡¨ç¤ºè·¯ç”±ç»è¿‡çš„ç½‘ç»œèŠ‚ç‚¹çš„é¡ºåºã€‚æŸ“è‰²ä½“é•¿åº¦ä¸èƒ½è¶…è¿‡ç½‘ç»œä¸­èŠ‚ç‚¹çš„æ€»æ•°,å› ä¸ºè·¯ç”±æ°¸è¿œä¸éœ€è¦æ¯”ç½‘ç»œæ‰€æœ‰èŠ‚ç‚¹æ›´å¤šçš„èŠ‚ç‚¹æ¥æž„æˆã€‚ä»¥å›¾3.12ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ä¸ºä¾‹,ç”¨ç®­å¤´æ ‡å‡ºçš„è·¯å¾„ç”¨æŸ“è‰²ä½“ç¼–ç è¡¨ç¤ºçš„æ–¹å¼ä¸º[1,2,4,7](ä¸€æ¡è·¯å¾„æ˜¯ä¸€ä¸ªæŸ“è‰²ä½“)ã€‚  
å›¾3.12ä¸€ç§ç¤ºä¾‹ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘å›¾3.4.4ç§ç¾¤åˆå§‹åŒ–æ–¹æ³•è®¾è®¡

ç§ç¾¤åˆå§‹åŒ–æ˜¯ç®—æ³•çš„ç¬¬ä¸€æ­¥,æ‰§è¡Œåˆå§‹åŒ–ä¼šäº§ç”Ÿä¸€å®šæ•°é‡çš„æŸ“è‰²ä½“,å®ƒä»¬å°†æž„æˆç®—æ³•è¿è¡Œçš„åˆå§‹ç§ç¾¤ã€‚é€šå¸¸ç§ç¾¤åˆå§‹åŒ–éœ€è¦è€ƒè™‘ä¸‰ä¸ªè¦ç´ [46-47]:ç§ç¾¤æ¨¡åž‹ã€ç§ç¾¤åˆå§‹æ–¹å¼ã€ç§ç¾¤æ•°é‡è§„æ¨¡ã€‚

é—ä¼ ç®—æ³•çš„ç§ç¾¤æ¨¡åž‹åˆ†ä¸ºç¨³æ€å’Œä»£æ•°ä¸¤ç§æ–¹å¼ã€‚ç¨³æ€æ¨¡å¼ä¸­,ç®—æ³•æ¯æ¬¡è¿­ä»£äº§ç”Ÿä¸€æˆ–ä¸¤ä¸ªæ–°çš„æŸ“è‰²ä½“,å¹¶ç”¨å®ƒä»¬æ›¿æ¢åŽŸç§ç¾¤ä¸­çš„ä¸€ä¸ªæˆ–ä¸¤ä¸ªæŸ“è‰²ä½“,å› æ­¤ä¹Ÿè¢«ç§°ä¸ºå¢žé‡GAã€‚ä»£æ•°æ¨¡å¼ä¸­,æ¯æ¬¡è¿­ä»£äº§ç”Ÿnä¸ªæ–°çš„æŸ“è‰²ä½“,å…¶ä¸­nå°±æ˜¯ç§ç¾¤çš„è§„æ¨¡çš„å€¼,ç„¶åŽç”¨æ–°çš„æŸ“è‰²ä½“é›†åˆæ›¿æ¢åŽŸå…ˆæ•´ä¸ªç§ç¾¤ã€‚æœ¬æ–‡é‡‡ç”¨ç¨³æ€æ¨¡å¼ä½œä¸ºQoSè·¯ç”±ç®—æ³•çš„ç§ç¾¤æ¨¡åž‹ã€‚

åˆå§‹ç§ç¾¤ç”Ÿæˆé€šå¸¸æœ‰éšæœºå’Œå¯å‘ä¸¤ç§æ–¹å¼,éšæœºåˆå§‹åŒ–ç”¨å®Œå…¨éšæœºçš„æ–¹å¼æ¥ç”Ÿæˆåˆå§‹ç§ç¾¤,å¯å‘å¼åˆå§‹åŒ–åˆ©ç”¨å®žé™…é—®é¢˜çš„å·²æœ‰å¯å‘å¼æ–¹æ³•å¡«å……åˆå§‹ç§ç¾¤ã€‚ä¸ºä½¿QoSè·¯ç”±ç®—æ³•æœ‰æ›´å¤§çš„æœç´¢ç©ºé—´,æˆ‘ä»¬é‡‡ç”¨éšæœºåˆå§‹åŒ–çš„æ–¹æ³•ã€‚

ç§ç¾¤è§„æ¨¡è¡¨ç¤ºé—ä¼ ç®—æ³•ä¸­æ¯ä»£ç§ç¾¤ä¸­çš„æŸ“è‰²ä½“æ€»æ•°é‡,è¾ƒå°çš„ç§ç¾¤è§„æ¨¡,ç®—æ³•åœ¨è¿è¡Œæ—¶è®¡ç®—é‡å°,ä½†æ˜¯å¯èƒ½å¯¼è‡´ç®—æ³•æœç´¢ç©ºé—´é™·å…¥å±€éƒ¨æœ€ä¼˜åŒºåŸŸ,é™ä½Žè§£çš„è´¨é‡;è¾ƒå¤§çš„ç§ç¾¤è§„æ¨¡,ç®—æ³•æœç´¢ç©ºé—´ç›¸å¯¹è¾ƒå¤§,æœ‰åŠ©äºŽå¯»æ‰¾å…¨å±€æœ€ä¼˜è§£,ä½†æ˜¯æ¯ä»£ç§ç¾¤è¿›åŒ–çš„è®¡ç®—é‡ç›¸åº”å¢žå¤§,è®¡ç®—é‡çš„å¢žåŠ ä¼šå¢žåŠ è®¡ç®—æ—¶é—´,è¿›è€Œä¼šé™ä½Žç®—æ³•çš„æ—¶æ•ˆæ€§,ä¸ºäº†é—ä¼ ç®—æ³•æœ‰æœ€ä½³è¡¨çŽ°,ç§ç¾¤è§„æ¨¡çš„éœ€è¦è®¾ç½®ä¸€ä¸ªå¹³è¡¡çš„å€¼,å…¼é¡¾è®¡ç®—æ•ˆçŽ‡å’Œè§£çš„åˆç†æ€§ã€‚é’ˆå¯¹æœ¬æ–‡çš„æ‹“æ‰‘è®¾è®¡æƒ…å†µ,å°†æ‹“æ‰‘ä¸­æ‰€æœ‰è·¯å¾„çš„30%ä½œä¸ºè¯¥æ‹“æ‰‘çš„åˆå§‹ç§ç¾¤ã€‚  
3.4.5é€‚åº”åº¦å‡½æ•°è®¾è®¡

é€‚åº”åº¦æ˜¯è¯„ä»·ä¸€æ¡æŸ“è‰²ä½“æ‰€ä»£è¡¨è·¯å¾„çš„ä¼˜åŠ£ç¨‹åº¦çš„ä¾æ®,é€‰æ‹©ç®—å­ä¾æ®é€‚åº”åº¦é€‰æ‹©æŸ“è‰²ä½“,é€‚åº”åº¦æ›´å¥½çš„æŸ“è‰²ä½“å°†æœ‰æ›´é«˜çš„æ¦‚çŽ‡è¢«é€‰å…¥ä¸‹ä¸€ä»£çš„æŸ“è‰²ä½“ä¹‹ä¸­åŽ»ã€‚æŸ“è‰²ä½“é€‚åº”åº¦ç”±é€‚åº”åº¦å‡½æ•°æ¥è®¡ç®—,å› æ­¤é€‚åº”åº¦å‡½æ•°çš„è®¾è®¡å°¤ä¸ºå…³é”®,å…¶ç›´æŽ¥å½±å“åˆ°ç®—æ³•æ”¶æ•›çš„é€Ÿåº¦ä»¥åŠèƒ½å¦æ‰¾åˆ°ä¼˜åŒ–è§£ã€‚

å¸¸ç”¨çš„åº¦é‡å‚æ•°æœ‰å¸¦å®½ã€æ—¶å»¶ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ç­‰,ç”±äºŽå¸¦å®½ä¸ºå‡¹æ€§å‚æ•°,ä¸é€‚äºŽä½œä¸ºé€‚åº”åº¦å‡½æ•°,å› æ­¤é€‚åº”åº¦å‡½æ•°çš„è®¾è®¡åªè€ƒè™‘æ—¶å»¶å’Œä¸¢åŒ…çŽ‡ã€‚

æŸ“è‰²ä½“içš„é€‚åº”åº¦è®¡ç®—å‡½æ•°å¦‚å…¬å¼(3.17)æ‰€ç¤º,å…¶ä¸­2ä¸ºè¯¥é€‚åº”åº¦å‡½æ•°ä¸­åŒ…å«çš„QoSæµ‹åº¦ä¸ªæ•°ã€‚

fi=fdelayi+flossi÷2(3.17) QUOTE fdelayi fdelayiä¸ºæŸ“è‰²ä½“iå…³äºŽæ—¶å»¶åº¦é‡å‚æ•°çš„é€‚åº”åº¦è®¡ç®—å‡½æ•°,å¦‚å…¬å¼(3.18),å…¶ä¸­sumidelay QUOTE sumi(delay)ä¸ºæŸ“è‰²ä½“iæ‰€è¡¨ç¤ºçš„è·¯å¾„çš„æ—¶å»¶æ€»å’Œ,mä¸ºä¸€ä»£ç¾¤ä½“çš„æ•°é‡ã€‚

fdelayi=sumidelay÷j=1msumidelay(3.18) flossiä¸ºæŸ“è‰²ä½“iå…³äºŽä¸¢åŒ…çŽ‡æµ‹åº¦çš„é€‚åº”åº¦è®¡ç®—å‡½æ•°,å¦‚å…¬å¼(3.20),å…¶ä¸­ç”±äºŽä¸¢åŒ…çŽ‡å¹¶ä¸æ˜¯åŠ æ€§å‚æ•°,éœ€è¦é€šè¿‡å…¬å¼å°†å…¶è½¬æ¢æˆåŠ æ€§å‚æ•°,å¦‚å…¬å¼(3.19)ã€‚

loss'a,b=log1+lossa,b(3.19)flossi=sumi loss'÷j=1msumi loss'(3.20)æ—¶å»¶ä¸Žä¸¢åŒ…çŽ‡æµ‹åº¦çš„é€‚åº”åº¦è®¡ç®—å‡½æ•°,éƒ½é™¤ä»¥äº†è¯¥ä»£æ‰€æœ‰æŸ“è‰²ä½“ç›¸åº”æµ‹åº¦å’Œ,è¿™æ˜¯å› ä¸ºä»Žä¸¢åŒ…çŽ‡ä¸Žæ—¶å»¶çš„æµ‹é‡ç»“æžœå¯çŸ¥,ä¸¢åŒ…çŽ‡å€¼ä¸Žæ—¶å»¶å€¼ç›¸å·®å¾ˆå¤š,è‹¥ä¸åšè¿™æ ·çš„å¤„ç†,æ—¶å»¶å¯¹äºŽè·¯å¾„çš„é€‰æ‹©çš„å½±å“ä¼šå¤§äºŽä¸¢åŒ…çŽ‡,è¿™æ ·é€‰æ‹©çš„è·¯å¾„å¯èƒ½è¿‡å¤šçš„è€ƒè™‘äº†æ—¶å»¶,è€Œå¿½ç•¥äº†ä¸¢åŒ…çŽ‡ã€‚åšäº†ç›¸åº”çš„å¤„ç†åŽå–å€¼èŒƒå›´åœ¨åŒä¸€èŒƒå›´,è¢«è€ƒè™‘çš„å¯èƒ½æ€§å°±ç›¸å¯¹å‡ç­‰ã€‚

æ ¹æ®ä¸Šè¿°å®šä¹‰çš„å…¬å¼å¯çŸ¥,å¯¹äºŽä¸€æ¡æŸ“è‰²ä½“çš„é€‚åº”åº¦æ¥è¯´ã€‚å…¶å€¼è¶Šå°,è¡¨æ˜Žè¯¥æ¡æŸ“è‰²ä½“ä»£è¡¨çš„è·¯å¾„æ›´ä¼˜ç§€ã€‚  
3.4.6é—ä¼ ç®—å­çš„è®¾è®¡

1)é€‰æ‹©ç®—å­è®¾è®¡

ä»Žç¾¤ä½“ä¸­é€‰æ‹©ä¼˜èƒœçš„ä¸ªä½“,æ·˜æ±°åŠ£è´¨ä¸ªä½“çš„æ“ä½œå«é€‰æ‹©ã€‚é€‰æ‹©çš„ç›®çš„æ˜¯æŠŠä¼˜åŒ–çš„ä¸ªä½“ç›´æŽ¥é—ä¼ åˆ°ä¸‹ä¸€ä»£æˆ–é€šè¿‡é…å¯¹äº¤å‰äº§ç”Ÿæ–°çš„ä¸ªä½“å†é—ä¼ åˆ°ä¸‹ä¸€ä»£ã€‚

ä¸€æ¡æŸ“è‰²ä½“æ ¹æ®é€‚åº”åº¦å‡½æ•°æ±‚å¾—çš„é€‚åº”åº¦çš„å€¼è¶Šå°,è¯´æ˜Žè¯¥æ¡æŸ“è‰²ä½“æ‰€ä»£è¡¨çš„è·¯å¾„æ›´ç¬¦åˆè¦æ±‚ã€‚ä¸ºäº†é˜²æ­¢å½“å‰ç¾¤ä½“çš„æœ€ä¼˜ä¸ªä½“åœ¨ä¸‹ä¸€ä»£å‘ç”Ÿä¸¢å¤±,å¯¼è‡´é—ä¼ ç®—æ³•ä¸èƒ½æ”¶æ•›åˆ°å…¨å±€æœ€ä¼˜è§£,æœ¬æ–‡çš„é€‰æ‹©ç®—å­ä½¿ç”¨"ç²¾è‹±é€‰æ‹©(elitist selection or elitism)"ç­–ç•¥,è¯¥ç­–ç•¥çš„æ€æƒ³æ˜¯æŠŠç¾¤ä½“åœ¨è¿›åŒ–è¿‡ç¨‹ä¸­è¿„ä»Šå‡ºçŽ°çš„æœ€å¥½ä¸ªä½“(ç§°ä¸ºç²¾è‹±ä¸ªä½“(elitist))ä¸è¿›è¡Œé…å¯¹äº¤å‰è€Œç›´æŽ¥å¤åˆ¶åˆ°ä¸‹ä¸€ä»£ä¸­ã€‚ç®—æ³•çš„æ­¥éª¤å¦‚ä¸‹:  
(1)ç¡®å®šæ¯æ¬¡ä¿ç•™çš„ç²¾è‹±æŸ“è‰²ä½“æ•°é‡å’Œéšæœºä¿ç•™çš„æ™®é€šæŸ“è‰²ä½“æ•°é‡ã€‚

(2)å¯¹äºŽä¸€ä»£ç¾¤ä½“,å°†å…¶æŸ“è‰²ä½“æŒ‰ç…§é€‚åº”åº¦ç”±å°åˆ°å¤§é¡ºåºæŽ’åˆ—,æ ¹æ®è®¾å®šå€¼ä»Žä¸­é€‰æ‹©å‡ºé€‚åº”åº¦è¾ƒå¥½çš„çš„ç²¾è‹±æŸ“è‰²ä½“,ç›´æŽ¥å¤åˆ¶åˆ°ä¸‹ä¸€ä»£ã€‚  
(3)æ ¹æ®è®¾å®šå€¼å†ä»Žå‰©ä½™çš„æŸ“è‰²ä½“ä¸­éšæœºé€‰æ‹©æ™®é€šæŸ“è‰²ä½“,å¤åˆ¶åˆ°ä¸‹ä¸€ä»£ã€‚

(4)å°†å‰©ä½™çš„æŸ“è‰²ä½“æ‰§è¡Œäº¤å‰ç®—å­,å¹¶ä¼ å…¥ä¸‹ä¸€ä»£ã€‚

2)äº¤å‰ç®—å­è®¾è®¡

äº¤å‰æŒ‡æŠŠä¸¤ä¸ªçˆ¶ä»£ä¸ªä½“çš„éƒ¨åˆ†ç»“æž„åŠ ä»¥æ›¿æ¢é‡ç»„è€Œç”Ÿæˆæ–°ä¸ªä½“çš„æ“ä½œã€‚äº¤å‰ç®—å­å°†ç§ç¾¤ä¸­çš„ä¸¤ä¸ªä¸ªä½“éšæœºåœ°äº¤æ¢æŸäº›åŸºå› (æœ¬æ–‡æŒ‡çš„æ˜¯äº¤æ¢æœºèŠ‚ç‚¹),èƒ½å¤Ÿäº§ç”Ÿæ–°çš„ç»„åˆ,äº¤å‰ç®—å­å°†äº§ç”Ÿæ–°çš„ä¸ªä½“,æ‰©å¤§é—ä¼ ç®—æ³•çš„æœç´¢ç©ºé—´ã€‚äº¤å‰ç®—å­çš„è®¾è®¡ä¸€èˆ¬åŒ…æ‹¬äº¤å‰çŽ‡çš„è®¾ç½®å’Œäº¤å‰æ–¹å¼çš„è®¾è®¡,ä½†æœ¬æ–‡çš„è®¾è®¡æ˜¯åœ¨ç»è¿‡é€‰æ‹©ç®—å­åŽ,å¯¹å‰©ä¸‹çš„æ‰€æœ‰æŸ“è‰²ä½“æ‰§è¡Œäº¤å‰ç®—å­,ä¸”åªæœ‰é™¤å¤´å°¾åŸºå› å¤–æœ‰ç›¸åŒçš„åŸºå› çš„åŒäº²æŸ“è‰²ä½“æ‰èƒ½è¿›è¡Œäº¤å‰,å› æ­¤ä¸è®¾ç½®äº¤å‰çŽ‡,åªå¯¹äº¤å‰æ–¹å¼è¿›è¡Œè®¾è®¡ã€‚

é—ä¼ ç®—æ³•ä¸­çš„äº¤å‰ç®—å­ä¸€èˆ¬æ˜¯é€šç”¨çš„,ä½†è®¾è®¡ç®—æ³•æ—¶,éœ€è¦æ ¹æ®å…·ä½“é—®é¢˜é€‰æ‹©ç›¸é€‚åº”çš„äº¤å‰ç®—å­ã€‚ç®—æ³•å®žè·µä¸­å¸¸ç”¨çš„äº¤å‰ç®—å­æœ‰å•ç‚¹äº¤å‰,å¤šç‚¹äº¤å‰,èžåˆäº¤å‰ç­‰,å…¶ä¸­å•ç‚¹äº¤å‰æ˜¯åœ¨æŸ“è‰²ä½“ä¸­éšæœºé€‰æ‹©ä¸€ä¸ªç‚¹,ä½œä¸ºäº¤å‰ç‚¹,ç„¶åŽåœ¨è¯¥ç‚¹å°†çˆ¶ä»£æŸ“è‰²ä½“éƒ¨åˆ†åŸºå› äº¤æ¢,å¾—åˆ°æ–°çš„æŸ“è‰²ä½“,å¦‚å›¾3.13æ‰€ç¤ºã€‚

å›¾3.13å•ç‚¹äº¤å‰ç¤ºæ„å›¾QoSè·¯ç”±ç®—æ³•ä¸­äº¤å‰ç®—å­çš„è®¾è®¡å€Ÿé‰´äº†å•ç‚¹äº¤å‰çš„æ€æƒ³,å°†ä¸¤æ¡è·¯ç”±çš„éƒ¨åˆ†è·¯å¾„ç‰‡æ®µè¿›è¡Œäº¤æ¢,äº§ç”Ÿæ–°çš„è·¯ç”±,å…·ä½“æ˜¯å…ˆä»Žä¸¤æ¡è·¯ç”±ä¸­é€‰å‡ºä¸€ä¸ªèŠ‚ç‚¹,å°†è·¯ç”±åˆ†ä¸ºä¸¤éƒ¨åˆ†,ä¸€éƒ¨åˆ†æ˜¯ä»ŽæºèŠ‚ç‚¹åˆ°é€‰å‡ºçš„èŠ‚ç‚¹,å¦ä¸€éƒ¨åˆ†ä»Žé€‰å‡ºçš„èŠ‚ç‚¹åˆ°ç›®çš„èŠ‚ç‚¹,ç„¶åŽç›¸äº’äº¤æ¢é€‰å‡ºçš„èŠ‚ç‚¹åŽé¢çš„è·¯ç”±ç‰‡æ®µã€‚

åŒæ—¶,è·¯ç”±ç®—æ³•ä¸­é‡‡ç”¨çš„å•ç‚¹äº¤å‰ç®—å­åŒä¸Šæ–‡æåˆ°çš„å¸¸è§„å•ç‚¹äº¤å‰åˆæœ‰äº›åŒºåˆ«ã€‚æœ¬æ–‡ç®—æ³•è¦æ±‚åŒäº²çš„æŸ“è‰²ä½“å¤´å°¾åŸºå› å¿…é¡»ç›¸åŒ,å³æºç›®çš„èŠ‚ç‚¹è¦ç›¸åŒ,ä¸”åŒäº²çš„æŸ“è‰²ä½“é™¤äº†å¤´å°¾åŸºå› å¤–,å¿…é¡»åŒ…å«è‡³å°‘ä¸€ä¸ªç›¸åŒçš„åŸºå› ç‰‡æ®µ,ä½†æ˜¯å¹¶ä¸è¦æ±‚è¯¥ç›¸åŒåŸºå› ç‰‡æ®µåœ¨æŸ“è‰²ä½“ä¸­çš„ä½ç½®ä¹Ÿå¿…é¡»ç›¸åŒã€‚æŒ‰ç…§ç‰©ç†ä¸Šè®²,å³äºŒè€…æŸ“è‰²ä½“ä»£è¡¨çš„è·¯å¾„é™¤åŽ»èµ·ç‚¹å’Œç»ˆç‚¹,è‡³å°‘åŒ…å«ä¸€ä¸ªç›¸åŒçš„èŠ‚ç‚¹,ä½†æ˜¯è·¯å¾„ç»è¿‡è¯¥ç›¸åŒèŠ‚ç‚¹çš„é¡ºåºå¯ä»¥ä¸åŒã€‚è¿™äº›ç›¸åŒçš„åŸºå› ç‰‡æ®µä½œä¸ºæ½œåœ¨å¯è¡Œçš„äº¤å‰ç‚¹,æ­¤æ—¶äº¤å‰ç®—å­çš„æ‰§è¡Œæ˜¯ç­‰æ¦‚çŽ‡çš„éšæœºé€‰æ‹©æ½œåœ¨çš„äº¤å‰ç‚¹,å¹¶ä»¥è¯¥äº¤å‰ç‚¹ä¸ºä¸­å¿ƒ,å°†ä¸¤æ¡æŸ“è‰²ä½“çš„å‰åŽéƒ¨åˆ†åˆ†åˆ«äº’æ¢,ä»Žè€Œç”Ÿæˆä¸¤æ¡æ–°çš„æŸ“è‰²ä½“,å¦‚å›¾3.14æ‰€ç¤ºã€‚  
å›¾3.14 QoSè·¯ç”±å•ç‚¹äº¤å‰ç¤ºæ„å›¾3)å˜å¼‚ç®—å­è®¾è®¡

å˜å¼‚ç®—å­çš„ç›®çš„æ˜¯åœ¨ç§ç¾¤ä¸­ä¿æŒå’Œå¼•å…¥åŸºå› å¤šæ ·æ€§,æ‰©å¤§æœç´¢èŒƒå›´,èƒ½å¤Ÿä¸€å®šç¨‹åº¦çš„é˜²æ­¢å±€éƒ¨æœ€ä¼˜è§£çš„å‡ºçŽ°ã€‚å˜å¼‚ç®—å­çš„è®¾è®¡åŒ…æ‹¬å˜å¼‚æ¦‚çŽ‡çš„è®¾ç½®å’Œå˜å¼‚æ–¹å¼çš„è®¾è®¡ã€‚

å˜å¼‚æ¦‚çŽ‡å†³å®šäº†ä¸€ä¸ªæŸ“è‰²ä½“å‘ç”Ÿå˜å¼‚çš„æ¦‚çŽ‡,é—ä¼ ç®—æ³•çš„å˜å¼‚çŽ‡å¹¶æ²¡æœ‰æ˜Žç¡®çš„å€¼,ä½†æœ‰äº›å˜å¼‚æ¦‚çŽ‡ç¡®æ˜¯æ¯”å…¶ä»–å˜å¼‚æ¦‚çŽ‡æä¾›å¥½å¾ˆå¤šçš„ç»“æžœã€‚è¾ƒé«˜çš„å˜å¼‚çŽ‡å…è®¸ç§ç¾¤ä¸­æœ‰æ›´å¤šçš„é—ä¼ å¤šæ ·æ€§,è¿™æ ·æ‰©å¤§äº†æœç´¢èŒƒå›´,æœ‰åŠ©äºŽé¿å…é™·å…¥å±€éƒ¨æœ€ä¼˜ã€‚ç„¶è€Œ,å˜å¼‚çŽ‡è¿‡é«˜ä¼šå¯¼è‡´è¿‡å¤šçš„é—ä¼ ç‰¹æ€§å˜å¼‚,å¯èƒ½å¯¼è‡´å¤±åŽ»å‰ä»£ç§ç¾¤ä¸­çš„ä¼˜è‰¯è§£ã€‚æœ€å¥½çš„å˜å¼‚æ¦‚çŽ‡åº”è¯¥è®¾ç½®ä¸ºè¿™æ ·ä¸€ä¸ªå€¼,è¯¥å€¼å…è®¸è¶³å¤Ÿçš„å¤šæ ·æ€§,ä»¥é˜²æ­¢ç®—æ³•æœç´¢åœæ­¢ä¸å‰,åŒæ—¶ç®—æ³•åœ¨å˜å¼‚ä¸­åˆå¯ä»¥è¾ƒå¥½åœ°ä¿ç•™åŽŸç§ç¾¤ä¸­æœ‰ä»·å€¼çš„é—ä¼ ä¿¡æ¯ã€‚é€šè¿‡æ”¹å˜å˜å¼‚æ¦‚çŽ‡çš„å€¼è¿›è¡Œå®žéªŒå¯¹æ¯”å¯çŸ¥,åœ¨æœ¬æ–‡è®¾è®¡çš„æ‹“æ‰‘è·¯å¾„ä¸­,å˜å¼‚çŽ‡åœ¨1%èƒ½æä¾›ä¸€ä¸ªå¾ˆå¥½çš„ç»“æžœ,æ•…å°†å˜å¼‚æ¦‚çŽ‡çš„å€¼è®¾ä¸º1%ã€‚

å¸¸è§çš„å˜å¼‚ç®—å­æœ‰ç¿»è½¬ã€éšæœºé‡ç½®å’Œäº¤æ¢çªå˜ã€‚æœ¬æ–‡çš„å˜å¼‚ç®—å­é€‰æ‹©çš„æ˜¯éšæœºé‡ç½®,éšæœºé‡ç½®æ˜¯åœ¨æŸ“è‰²ä½“ä¸­éšæœºé€‰æ‹©ä¸€ä¸ªåŸºå› ,å¹¶èµ‹å€¼ä¸ºä¸€ä¸ªåˆç†çš„éšæœºå€¼ã€‚  
4)ç»ˆæ­¢æ£€æŸ¥

ç»ˆæ­¢æ£€æŸ¥å†³å®šè¿è¡Œçš„ç®—æ³•åœ¨ä½•æ—¶ç»ˆæ­¢,é—ä¼ ç®—æ³•çš„ç»ˆæ­¢æ¡ä»¶ä¸€èˆ¬æ˜¯è¿­ä»£æ¬¡æ•°,ä½†ä½œä¸ºQoSæŽ§åˆ¶è¿™ä¸€åº”ç”¨åœºæ™¯ä¸‹,éœ€è¦æé«˜ç®—æ³•æ”¶æ•›çš„é€Ÿåº¦,å› æ­¤è®¾ç½®äº†å¦ä¸€ç»ˆæ­¢æ¡ä»¶,å³å­˜å‚¨çš„æ»¡è¶³éœ€æ±‚çš„æŸ“è‰²ä½“(è·¯å¾„)çš„æ•°é‡åˆ°è¾¾Næ—¶,ä¹Ÿå¯ä»¥ç»ˆæ­¢é—ä¼ ç®—æ³•,å¹¶è¿”å›žå…¶ä¸­é€‚åº”åº¦æœ€å¥½çš„ä¸€æ¡è·¯å¾„ã€‚Nçš„å€¼å¯ä»¥æ ¹æ®å…·ä½“çš„åœºæ™¯è¿›è¡Œè®¾ç½®,è‹¥æ˜¯æœ€åˆçš„QoSæœåŠ¡è¯·æ±‚,Nå¯ä»¥è®¾å®šä¸€ä¸ªè¾ƒå¤§çš„å€¼,ä»Žè€Œå¯ä»¥æä¾›æ›´å¥½çš„æœåŠ¡,è‹¥æ˜¯è§†é¢‘æµä¼ è¾“æ—¶å‡ºçŽ°åŠ£åŒ–éœ€è¦è¿›è¡ŒQoSæŽ§åˆ¶æ—¶,åˆ™å°†Nè®¾ç½®ä¸ºä¸€ä¸ªè¾ƒå°çš„å€¼,ä»Žè€Œç¡®ä¿ç®—æ³•èƒ½å¤Ÿåœ¨è¾ƒçŸ­çš„æ—¶é—´å†…æ”¶æ•›,æ›´å¿«å¯»æ‰¾åˆ°é‡è·¯ç”±çš„è·¯å¾„,å‡å°‘æ‹¥å µæ—¶é—´å¤ªé•¿é€ æˆè§†é¢‘æµçš„åžåé‡ä¸‹é™ç­‰é—®é¢˜ã€‚

åˆ©ç”¨é—ä¼ ç®—æ³•æ±‚è§£QoSè·¯ç”±çš„æµç¨‹å¦‚å›¾3.15æ‰€ç¤º,å…¶ä¸­Mä¸ºåˆå§‹ç§ç¾¤æ•°,Lä¸ºä¸‹ä¸€ä»£çš„ç§ç¾¤æ•°,N,Kä¸ºåˆ¤æ–­ç®—æ³•æ˜¯å¦åœæ­¢çš„ç»ˆæ­¢æ¡ä»¶ã€‚  
å›¾3.15 QoSè·¯ç”±æµç¨‹å›¾

3.5æœ¬ç« å°ç»“

æœ¬ç« é¦–å…ˆé˜è¿°äº†SDNç½‘ç»œä¸­QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„éœ€æ±‚åˆ†æž,å¯¹æ•´ä½“çš„QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶çš„è®¾è®¡è¿›è¡Œäº†ä»‹ç»ã€‚ç„¶åŽä¾æ® RyuæŽ§åˆ¶å™¨ã€OpenFlow åè®®å’ŒOpenvSwitch,å¯¹æ¡†æž¶ä¸­å„ä¸ªæ¨¡å—çš„ä½œç”¨å’Œè®¾è®¡åŽŸç†è¿›è¡Œäº†å…·ä½“é˜è¿°,æœ€åŽå¯¹åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„å¤šQoSçº¦æŸè·¯ç”±ç®—æ³•çš„è®¾è®¡è¿›è¡Œäº†è¯¦ç»†çš„é˜è¿°ã€‚  
4 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥å®žçŽ°

4.1 QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶å®žçŽ°æ¦‚è¿°

åŸºäºŽSDNç½‘ç»œçš„QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ¡†æž¶çš„å®žçŽ°åŒ…æ‹¬ä¸¤æ–¹é¢:QoSè·¯ç”±å’Œé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦,æœ¬ç« å°†é˜è¿°è¿™ä¸¤éƒ¨åˆ†åŠŸèƒ½çš„å…·ä½“å®žçŽ°ã€‚

å¦‚å›¾4.1æ‰€ç¤º,åœ¨RyuæŽ§åˆ¶å™¨ä¸­å¢žæ·»äº†Topology Manager æ¨¡å—ã€Measureæ¨¡å—ã€Routing Managementæ¨¡å—,Ryuä¸­çš„è¿™ä¸‰ä¸ªæ¨¡å—åˆ†åˆ«å¯¹åº”äºŽQoSç­–ç•¥æŽ§åˆ¶æ¡†æž¶ä¸­çš„æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—ã€é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—ã€è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—ã€‚

Measureæ¨¡å—å®žçŽ°äº†å‘¨æœŸåœ°æµ‹é‡ç½‘ç»œå¸¦å®½ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ã€æ—¶å»¶ã€é“¾è·¯æ‹¥å¡žçŽ‡ç­‰QoSæ€§èƒ½å‚æ•°çš„åŠŸèƒ½ã€‚Topology Manageræ¨¡å—èƒ½å¤ŸèŽ·å–ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘è§†å›¾,å¹¶å°†é“¾è·¯æ€§èƒ½ä¿¡æ¯ä¸Žé“¾è·¯çš„è¿žæŽ¥å…³ç³»ç»“åˆèµ·æ¥,è®©æŽ§åˆ¶å™¨æ‹¥æœ‰æ›´è¯¦ç»†å’Œå‡†ç¡®çš„ç½‘ç»œå…¨å±€èµ„æºä¿¡æ¯,å½¢æˆå…¨å±€QoSæ‹“æ‰‘è§†å›¾ã€‚Routing Managementå®žçŽ°äº†åŒºåˆ†ä¸åŒæ•°æ®æµçš„åŠŸèƒ½;å¹¶è¿›è¡Œç›¸åº”çš„è·¯å¾„è®¡ç®—;å°†æ•°æ®æµçš„æ ‡è®°ã€å…¥é˜Ÿä»¥åŠè®¡ç®—å‡ºçš„è·¯å¾„ä»¥æµè¡¨çš„å½¢å¼ä¸‹å‘åˆ°äº¤æ¢æœºä¸­,ä¾›æ•°æ®æµåŒ¹é…ã€ä¼ è¾“;åœ¨ç½‘ç»œä¼ è¾“è·¯å¾„å‡ºçŽ°æ‹¥å¡žæ—¶,èƒ½å¤ŸåŠæ—¶è¿›è¡ŒåŠ¨æ€è·¯ç”±,ä¿è¯è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„QoSã€‚

å›¾4.1 QoSæŽ§åˆ¶åœ¨Ryuä¸­çš„å®žçŽ°åœ¨OpenvSwtichè½¯ä»¶äº¤æ¢æœºä¸­å®žçŽ°äº†QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ¡†æž¶çš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦æ¨¡å—,ä¸»è¦è´Ÿè´£åœ¨æ•°æ®è½¬å‘å±‚é¢ä¸ºä¸šåŠ¡æä¾›QoSä¿éšœã€‚ä¸‹é¢å°†é˜è¿°QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶ä¸­å„ä¸ªæ¨¡å—åœ¨RyuæŽ§åˆ¶å™¨å’ŒOpenvSwitchè½¯äº¤æ¢æœºä¸­çš„å…·ä½“å®žçŽ°ã€‚  
4.2 QoSè·¯ç”±çš„å®žçŽ°

4.2.1é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—çš„å®žçŽ°

SDNä¸­OpenFlowåè®®ä½œä¸ºå—å‘æŽ¥å£åè®®è¢«å¹¿æ³›åº”ç”¨,ç”±ç¬¬ä¸‰ç« å¯çŸ¥OpenFlowåè®®å¹¶ä¸æ˜¯ä¸“é—¨ä¸ºæµ‹é‡ç½‘ç»œé“¾è·¯æ€§èƒ½è€Œè®¾è®¡çš„,ä¸”OpenFlowäº¤æ¢æœºä¸ä¼šå‘æŽ§åˆ¶å™¨ç›´æŽ¥æä¾›äº¤æ¢æœºé“¾è·¯çš„æ€§èƒ½æŒ‡æ ‡ä¿¡æ¯,ä½†æ˜¯æ”¯æŒOpenFlowåè®®çš„äº¤æ¢æœºå†…éƒ¨æœ‰ç›¸å…³ç»Ÿè®¡è¿è¡Œä¿¡æ¯çš„è®¡æ•°å™¨,ç”¨äºŽè®°å½•æ¯ä¸ªPortã€Flow ç­‰ä¿¡æ¯,è¿™äº›è®¡æ•°å™¨è®°å½•çš„ä¿¡æ¯è¶³å¤Ÿæ”¯æŒå®Œæˆé“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡å·¥ä½œã€‚ä¸‹é¢å°†è¯¦ç»†ä»‹ç»é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—çš„å®žçŽ°ã€‚  
1)é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—æ¡†æž¶

é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—å‘¨æœŸåœ°å¯¹é“¾è·¯è¿›è¡Œæµ‹é‡,èŽ·å–å…¨ç½‘é“¾è·¯QoSæ€§èƒ½ä¿¡æ¯ã€‚å›¾4.2å±•ç¤ºäº†é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—ç›¸å…³ç±»å’ŒæŽ¥å£ä¹‹é—´çš„å…³ç³»,ä¸‹é¢è¯´æ˜Žå…¶ä¸­å„ä¸ªç±»å’ŒæŽ¥å£çš„åŠŸèƒ½ã€‚

å›¾4.2é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—ç±»å’ŒæŽ¥å£å›¾TrafficMonitorç±»ä¸ºé“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—çš„ä¸»ä½“,ç±»ä¸­çš„\_monitor()æ–¹æ³•ç”¨ä»¥å‘¨æœŸæ€§åœ°å‘ç½‘ç»œä¸­çš„æ‰€æœ‰äº¤æ¢æœºå‘é€Port\_Stats\_Requestå’ŒFlow\_Stats\_Requestè¯·æ±‚æŠ¥æ–‡ã€‚ç±»ä¸­çš„\_flow\_stats\_reply\_handler()æ–¹æ³•ä»¥åŠ\_port\_stats\_ reply\_handler()æ–¹æ³•æ˜¯åœ¨äº¤æ¢æœºæ”¶åˆ°è¯·æ±‚æŠ¥æ–‡åŽ,å°†éœ€è¦çš„æµä¿¡æ¯å’Œç«¯å£ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯ä¸ŠæŠ¥ç»™æŽ§åˆ¶å™¨ã€‚

BandWidthç±»å®šä¹‰äº†\_get\_allbandwidth()ã€\_get\_freebandwidth()å’Œ\_get\_bandwidth\_ congestion ()ä¸‰ä¸ªæ–¹æ³•,åˆ†åˆ«ç”¨äºŽè®¡ç®—ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘é“¾è·¯çš„æ€»å¸¦å®½ã€å‰©ä½™å¸¦å®½å’Œæ‹¥å¡žçŽ‡ã€‚

PackLossRateç±»å®šä¹‰äº†\_get\_packet\_loss\_rate()æ–¹æ³•ç”¨ä»¥è®¡ç®—ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘é“¾è·¯çš„ä¸¢åŒ…çŽ‡ã€‚

Delayç±»å®šä¹‰äº†\_get\_delay()æ–¹æ³•ç”¨ä»¥è®¡ç®—å…¨å±€ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘é“¾è·¯çš„æ—¶å»¶ã€‚

BandWidthDisplayã€PacketLossRateDisplayã€DelayDisplayä¸‰ä¸ªæŽ¥å£åˆ†åˆ«å®šä¹‰äº†show\_bandwidth()ã€show\_packet\_loss\_rate()ã€show\_delay()ä¸‰ä¸ªæ–¹æ³•ç”¨ä»¥å±•ç¤ºé“¾è·¯é—´çš„å¸¦å®½ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ã€æ—¶å»¶ç­‰ä¿¡æ¯ã€‚ConsoleLinkInfoDisplayç±»å®žçŽ°äº†ä»¥ä¸Šä¸‰ä¸ªæŽ¥å£ä¸­çš„æ–¹æ³•,ç”¨ä»¥åœ¨æŽ§åˆ¶å°å±•ç¤ºç›¸å…³ä¿¡æ¯ã€‚

TopoFindç±»ä¸ºæ•´ä¸ªé“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—æä¾›ä¾èµ–,æä¾›æ•´ä¸ªç½‘ç»œçš„æ‹“æ‰‘è¿žæŽ¥æƒ…å†µã€‚

SwitchPortInfoç±»è´Ÿè´£ç¼“å­˜äº¤æ¢æœºç«¯å£ç»Ÿè®¡æŠ¥æ–‡ä¸­ä¸Žæµ‹é‡ç›¸å…³ç»Ÿè®¡æ•°æ®,timeå˜é‡ä¿å­˜æµ‹é‡çš„æ—¶é—´æˆ³,ä¸ºé“¾è·¯å¸¦å®½ã€é“¾è·¯æ‹¥å¡žçŽ‡ã€é“¾è·¯ä¸¢åŒ…çŽ‡è®¡ç®—æä¾›æ•°æ®ä¾èµ–ã€‚  
2)å¸¦å®½ã€æ‹¥å¡žçŽ‡åŠä¸¢åŒ…çŽ‡æµ‹é‡å®žçŽ°

ç”±äºŽå¸¦å®½ã€é“¾è·¯æ‹¥å¡žçŽ‡ä»¥åŠä¸¢åŒ…çŽ‡æ€§èƒ½ä¿¡æ¯éƒ½æ˜¯é€šè¿‡åˆ†æžå’Œè®¡ç®—OpenFlowäº¤æ¢æœºç«¯å£æˆ–æµç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯èŽ·å¾—çš„,æœ¬èŠ‚å°†é“¾è·¯å¸¦å®½ã€é“¾è·¯æ‹¥å¡žçŽ‡å’Œä¸¢åŒ…çŽ‡æµ‹é‡çš„å®žçŽ°åˆå¹¶ä»‹ç»ã€‚

Trafficç±»ä¸­çš„\_monitor()æ–¹æ³•æ˜¯ä¸€ä¸ªå‘¨æœŸæ‰§è¡Œçš„çº¿ç¨‹,è¯¥çº¿ç¨‹æ¯2så‘ç½‘ç»œä¸­çš„æ‰€æœ‰äº¤æ¢æœºå‘é€Flow\_Stats\_Requestå’ŒPort\_Stats\_Requestè¯·æ±‚æŠ¥æ–‡,äº¤æ¢æœºæŽ¥æ”¶åˆ°è¿™ä¸¤ä¸ªè¯·æ±‚æŠ¥æ–‡åŽ,å°†ç«¯å£çš„æµé‡ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯ä½¿ç”¨Port\_Stats\_Replyã€å°†æµçš„ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯ä½¿ç”¨Flow\_Stats\_Replyåº”ç­”æŠ¥æ–‡è¿›è¡ŒåŒ…è£…åŽå‘é€ç»™RyuæŽ§åˆ¶å™¨,æŽ§åˆ¶å™¨æ”¶åˆ°åº”ç­”æŠ¥æ–‡åŽè¿›è¡Œè§£æž,ç„¶åŽå¾—åˆ°ç«¯å£çš„æµé‡ä»¥åŠæµçš„ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯ã€‚æœ¬æ–‡ä½¿ç”¨ç»Ÿè®¡ä¿¡æ¯ä¸­äº¤æ¢æœºç«¯å£å‘é€çš„å­—èŠ‚æ•°ä¸ŽæŽ¥æ”¶çš„å­—èŠ‚æ•°,ä»¥åŠä¸¤æ¬¡ç»Ÿè®¡çš„æ—¶é—´å·®æ¥è®¡ç®—å¾—åˆ°ç«¯å£çš„é€ŸçŽ‡,è§å…¬å¼(3.3);ä½¿ç”¨OFP\_Port\_Statsæ¶ˆæ¯ä¸­çš„rx\_packetså­—æ®µ,OFP\_Flow\_Statsæ¶ˆæ¯ä¸­çš„instructionså­—æ®µå’Œpackets\_countå­—æ®µæ¥è®¡ç®—å¾—åˆ°é“¾è·¯ä¸¤ç«¯å‘é€ä¸ŽæŽ¥æ”¶çš„packets,è§å…¬å¼(3.7)å’Œ(3.8)ã€‚

OpenvSwitchç«¯å£çš„å¸¦å®½ä¸º20Gbps,ä¸ºäº†ç¬¦åˆå®žé™…æƒ…å†µ,éœ€è¦å¯¹äº¤æ¢æœºç«¯å£çš„å®žé™…å¸¦å®½è¿›è¡Œé™åˆ¶,ä»¥ä½œä¸ºè¿žæŽ¥è¯¥ç«¯å£é“¾è·¯çš„å¸¦å®½ã€‚æœ¬æ–‡åœ¨Ryuå¯åŠ¨é…ç½®æ–‡æ¡£ä¸­ç»Ÿä¸€è®¾ç½®æ‰€æœ‰é“¾è·¯çš„å¸¦å®½å€¼,è¿™ä¸ªå€¼å¯¹åº”äºŽäº¤æ¢æœºç«¯å£æ‰€è®¾ç½®çš„å®žé™…å¸¦å®½å€¼ã€‚RyuæŽ§åˆ¶å™¨å¯åŠ¨åŽ,é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—ä¼šå‘é€Port\_Desc\_Stats\_Requestç»Ÿè®¡æŠ¥æ–‡èŽ·å–è¿™ä¸ªå¸¦å®½æ•°å€¼,æ ¹æ®åé¦ˆçš„æŠ¥æ–‡å°†å¸¦å®½ä¿¡æ¯è¿›è¡Œå­˜å‚¨ã€‚

åœ¨å¾—åˆ°é€ŸçŽ‡ä¸Žç«¯å£å¸¦å®½åŽ,é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—ä¼šä½¿ç”¨å…¬å¼(3.5)å’Œ(3.6)è®¡ç®—å¾—åˆ°ç«¯å£çš„å‰©ä½™å¸¦å®½å’Œç«¯å£çš„æ‹¥å¡žçŽ‡,ä¹‹åŽæ ¹æ®ä¸€æ¡é“¾è·¯ç«¯å£é—´çš„å¯¹åº”å…³ç³»å¾—åˆ°é“¾è·¯çš„å‰©ä½™å¸¦å®½å’Œæ‹¥å¡žçŽ‡ã€‚åœ¨å¾—åˆ°é€å¾€å½“å‰äº¤æ¢æœºçš„æŸä¸ªç«¯å£çš„æ•°æ®åŒ…æ€»æ•°ä»¥åŠå¯¹ç«¯ç«¯å£æ”¶åˆ°çš„æŠ¥æ–‡æ€»æ•°åŽ,é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—ä¼šåˆ©ç”¨å…¬å¼(3.9)è®¡ç®—é“¾è·¯çš„ä¸¢åŒ…çŽ‡ã€‚å›¾4.3ä¸ºèŽ·å–äº¤æ¢æœºé“¾è·¯å‰©ä½™å¸¦å®½å’Œæ‹¥å¡žçŽ‡ä»¥åŠä¸¢åŒ…çŽ‡çš„æµç¨‹å›¾ã€‚å›¾4.4ã€å›¾4.5ä»¥åŠå›¾4.6åˆ†åˆ«ä¸ºé“¾è·¯å‰©ä½™å¸¦å®½å’Œæ‹¥å¡žçŽ‡ä»¥åŠä¸¢åŒ…çŽ‡çš„ç»ˆç«¯å±•ç¤º,å¯ä»¥æ›´ç›´è§‚çš„çœ‹åˆ°ç½‘ç»œä¸­çš„è¿™äº›ä¿¡æ¯ã€‚  
å›¾4.3èŽ·å–é“¾è·¯æ€§èƒ½ä¿¡æ¯çš„æµç¨‹å›¾

å›¾4.4å‰©ä½™å¸¦å®½å±•ç¤ºå›¾

å›¾4.5æ‹¥å¡žçŽ‡å±•ç¤ºå›¾

å›¾4.6ä¸¢åŒ…çŽ‡å±•ç¤ºå›¾3)æ—¶å»¶æµ‹é‡å®žçŽ°

é€šè¿‡å‘é€LLDPæ•°æ®åŒ…å’Œ Echoæ•°æ®åŒ…å¹¶æºå¸¦æ—¶é—´æˆ³å¾—åˆ°ç›¸å…³çš„æ—¶é—´ä¿¡æ¯,æ ¹æ®æ—¶å»¶è®¡ç®—å…¬å¼è®¡ç®—å‡ºé“¾è·¯çš„æ—¶å»¶ã€‚å›¾4.7æ˜¯èŽ·å–é“¾è·¯æ—¶å»¶çš„ç›¸å…³ç±»çš„å…³ç³»å›¾,å›¾4.8æ˜¯é“¾è·¯é—´æ—¶å»¶ä¿¡æ¯çš„å±•ç¤ºå›¾,ä¸‹é¢é˜è¿°æ¯ä¸ªç±»çš„åŠŸèƒ½ã€‚

OFChannelHandleç±»ç”¨ä»¥å¤„ç†OpenFlowäº¤æ¢æœºå’ŒRyuæŽ§åˆ¶å™¨é—´ä¿¡æ¯äº¤äº’çš„è¿žæŽ¥,å®ƒçš„send\_echo\_request()æ–¹æ³•å‘äº¤æ¢æœºå‘é€EchoRequestè¯·æ±‚æŠ¥æ–‡,åŒæ—¶æºå¸¦æœ‰å‘é€è¯·æ±‚ä¿¡æ¯æ—¶çš„æ—¶é—´Techo\_start,å½“äº¤æ¢æœºæ”¶åˆ°è¯·æ±‚æŠ¥æ–‡åŽä¼šå‘æŽ§åˆ¶å™¨åº”ç­”æºå¸¦æœ‰æŽ§åˆ¶å™¨è¯·æ±‚ä¿¡æ¯æ—¶é—´çš„EchoReply æŠ¥æ–‡,æŽ§åˆ¶å™¨ä½¿ç”¨process\_echo\_reply()æ–¹æ³•å¤„ç† Echo ReplyæŠ¥æ–‡åŽ,ä¼šæå–æ‰€æºå¸¦çš„è¯·æ±‚æŠ¥æ–‡æ—¶é—´Techo\_start,RyuæŽ§åˆ¶å™¨æŽ¥æ”¶EchoReplyæŠ¥æ–‡çš„æ—¶é—´Techo\_endä¸Žå‘é€EchoRequest è¯·æ±‚æŠ¥æ–‡çš„æ—¶é—´Techo\_startçš„å·®å€¼å°±æ˜¯äº¤æ¢æœºå’ŒæŽ§åˆ¶å™¨é—´å¾€è¿”é€šä¿¡çš„ RRTæ—¶é—´ã€‚

LinkDiscoveryManagerç±»å‘é€LLDPæ¶ˆæ¯æ¥å‘çŽ°OpenFlowäº¤æ¢æœºä¹‹é—´çš„é“¾è·¯è¿žæŽ¥å¹¶ç»´æŠ¤é“¾è·¯çš„çŠ¶æ€ã€‚å®ƒçš„ generate\_LLDPmessage()æ–¹æ³•å‘ç½‘ç»œä¸­çš„OpenvSwitchè½¯äº¤æ¢æœºå‘é€LLDPæŠ¥æ–‡å¹¶åœ¨æŠ¥æ–‡ä¸­æ’å…¥æŠ¥æ–‡ä¸‹å‘çš„æ—¶é—´æˆ³Tlldp\_start,å¯¹åº”çš„è½¯äº¤æ¢æœºæ”¶åˆ° LLDP æŠ¥æ–‡åŽä¼šå‘å®ƒç›¸é‚»çš„äº¤æ¢æœºå‘é€è¯¥LLDPæŠ¥æ–‡,å½“é‚»è¿‘äº¤æ¢æœºæ”¶åˆ°LLDP æŠ¥æ–‡åŽæŠŠè¿™ä¸ªæŠ¥æ–‡è¿”å›žç»™RyuæŽ§åˆ¶å™¨;åœ¨æ”¶åˆ°è¿™ä¸ªLLDPæŠ¥æ–‡åŽ,æŽ§åˆ¶å™¨ä¼šä½¿ç”¨ handle\_LLDPmessage()æ–¹æ³•æ¥å¤„ç†è¿™ä¸ªLLDPæŠ¥æ–‡,ç„¶åŽè§£æžè¯¥æŠ¥æ–‡ä¸­RyuæŽ§åˆ¶å™¨æ’å…¥çš„æ—¶é—´æˆ³å¹¶å­˜å‚¨è¿™ä¸ªæ—¶é—´,æŽ§åˆ¶å™¨æ”¶åˆ°LLDPæŠ¥æ–‡çš„æ—¶é—´è®°ä¸ºTlldp\_end ;Tlldp\_endä¸ŽTlldp\_startçš„å·®å€¼å³ä¸ºLLDPæŠ¥æ–‡ä»ŽæŽ§åˆ¶å™¨å‘å‡º,ç»è¿‡äº¤æ¢æœºåŽ,å†å›žåˆ°æŽ§åˆ¶å™¨çš„æ—¶é—´ã€‚

LinkDelayç±»ä¸­çš„monitor\_server\_latency()æ–¹æ³•å‘¨æœŸåœ°å‘ç½‘ç»œä¸­å‘é€LLDPæŠ¥æ–‡ä¸ŽEchoRequestæŠ¥æ–‡,get\_latency()æ–¹æ³•æ˜¯æ ¹æ®LinkDiscoveryManagerç±»å’ŒOFChannelHandleç±»è®¡ç®—èŽ·å¾—çš„æ—¶é—´æ•°æ®å¹¶é€šè¿‡å…¬å¼(3.10)è®¡ç®—å¹¶å­˜å‚¨æ—¶å»¶ä¿¡æ¯ã€‚

TopoFindä¸ºæ•´ä¸ªæ—¶å»¶æµ‹é‡æ¨¡å—æä¾›æ‹“æ‰‘ç»“æž„çš„ä¾èµ–,æž„å»ºç½‘ç»œæ‹“æ‰‘è§†å›¾ã€‚  
å›¾4.7æ—¶å»¶æµ‹é‡å®žçŽ°å›¾

å›¾4.8æ—¶å»¶ä¿¡æ¯å±•ç¤ºå›¾

4.2.2æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—çš„å®žçŽ°

æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—è´Ÿè´£ä¸ºå…¨å±€æä¾›æ‹“æ‰‘ç»“æž„,å¹¶ä¸ºQoSè·¯ç”±ç®—æ³•æä¾›å¸¦æœ‰æœ€æ–°çš„é“¾è·¯æ€§èƒ½å‚æ•°çš„æ‹“æ‰‘æ•°æ®ã€‚è¯¥æ¨¡å—åˆ©ç”¨LLDPåè®®èŽ·å–çš„é“¾è·¯è¿žæŽ¥å…³ç³»ä¿¡æ¯å’Œé“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—æä¾›çš„é“¾è·¯QoSå‚æ•°ä¿¡æ¯å®žçŽ°ã€‚å›¾4.9å±•ç¤ºäº†æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—ç›¸å…³ç±»çš„å…³ç³»,ä¸‹é¢é˜è¿°æ¯ä¸ªç±»çš„åŠŸèƒ½ã€‚

TopoManagerç±»ä¸ºæ‹“æ‰‘ç®¡ç†çš„ä¸»ä½“,ç±»ä¸­çš„discover()æ–¹æ³•ä»¥çº¿ç¨‹çš„å½¢å¼å‘¨æœŸåœ°å‘çŽ°ç½‘ç»œèµ„æºã€‚

TopoFindç±»è´Ÿè´£ç½‘ç»œç›‘æµ‹å¹¶å‘çŽ°ç½‘ç»œä¸­çš„æ‹“æ‰‘,å®ƒå†…éƒ¨ç»´æŠ¤äº†å…¨å±€ç½‘ç»œçš„æ‹“æ‰‘æ˜ å°„ä¿¡æ¯ã€‚

Graphç±»æ˜¯ç‰©ç†ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘çš„æŠ½è±¡å›¾,æä¾›æ–¹æ³•å°†æ‹“æ‰‘ä¿¡æ¯è½¬æ¢ä¸ºé‚»æŽ¥çŸ©é˜µå’Œé‚»æŽ¥é“¾è¡¨ä»¥ä¾›è·¯å¾„è®¡ç®—æ¨¡å—ä½¿ç”¨ã€‚ç±»ä¸­çš„get\_adjacency\_matrix()æ–¹æ³•æ˜¯å°†ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ä¸Žé“¾è·¯æ€§èƒ½ä¿¡æ¯ç»“åˆ,é™„å¸¦æœ‰ç½‘ç»œå®žæ—¶é“¾è·¯æ€§èƒ½å‚æ•°çš„æ‹“æ‰‘,å¯ä»¥ä¸ºQoSè·¯ç”±ç®—æ³•æä¾›æœ€æ–°èµ„æº,Dijstra()æ–¹æ³•å°†æ‹“æ‰‘ç»“æž„è½¬æ¢æˆé‚»æŽ¥çŸ©é˜µä¾›Dijstraç®—æ³•ä½¿ç”¨ã€‚

Edgeç±»ä¿å­˜é“¾äº†è·¯çš„æ€§èƒ½å‚æ•°ä¿¡æ¯,å…¶ä¸­sã€tã€bandwithã€loss Rateã€delayä»¥åŠcongestion rateåˆ†åˆ«è¡¨ç¤ºä¿å­˜å½“å‰é“¾è·¯çš„æºäº¤æ¢æœºç¼–å·ã€ç›®çš„äº¤æ¢æœºç¼–å·ã€å‰©ä½™å¯ç”¨å¸¦å®½ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ã€æ—¶å»¶å’Œæ‹¥å¡žçŽ‡ã€‚

ConsoleTopoDisplayæ˜¯TopoDisplayæŽ¥å£çš„ä¸€ç§å®žçŽ°,è´Ÿè´£å°†èŽ·å–åˆ°çš„æ‹“æ‰‘ä¿¡æ¯å±•ç¤ºäºŽç»ˆç«¯ã€‚  
å›¾4.9æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—ç±»ä¸ŽæŽ¥å£é—´çš„å…³ç³»4.2.3è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—

1)è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—æ¡†æž¶

æœ¬æ–‡åœ¨RyuæŽ§åˆ¶å™¨ä¸Šå¢žæ·»äº†Routing Managementæ¨¡å—,å¯¹åº”äºŽQoSè·¯ç”±æŽ§åˆ¶æ¡†æž¶çš„è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—,å®ƒå®žçŽ°äº†æ•°æ®æµçš„åŒºåˆ†ä»¥åŠåŸºäºŽDijstraç®—æ³•å’Œé—ä¼ ç®—æ³•çš„è·¯ç”±åŠŸèƒ½,ç”¨ä»¥è®¡ç®—ç›¸å…³åº”ç”¨æ•°æ®æµçš„è·¯ç”±,å¹¶å°†éœ€è¦çš„æŽ§åˆ¶è¡Œä¸ºä»¥æµè¡¨çš„å½¢å¼ä¸‹å‘åˆ°äº¤æ¢æœºä¸Š,ä½¿äº¤æ¢æœºä¾ç…§æµè¡¨æ‰§è¡Œå‘½ä»¤ã€‚è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—æ‰€æ¶‰åŠåˆ°çš„ç±»å’ŒæŽ¥å£å…³ç³»å¦‚å›¾4.10æ‰€ç¤º,ä¸‹é¢è¯¦ç»†é˜è¿°è¿™äº›ç±»å’ŒæŽ¥å£ã€‚

PacketInMessageHandlerç±»æ˜¯å¯¹PacketInæŠ¥æ–‡çš„å¤„ç†,å…¶ä¸­do\_drop()ã€do\_flood()ã€do\_forwarding\_flow()æ–¹æ³•åˆ†åˆ«ä¸ºä¸¢å¼ƒå¤„ç†ã€æ³›æ´ªå¤„ç†ã€è½¬å‘å¤„ç†,è½¬å‘å¤„ç†å³æ˜¯å¯¹æœ‰è·¯ç”±è¯·æ±‚çš„æ•°æ®æµè¿›è¡Œè·¯å¾„è®¡ç®—åŠè½¬å‘ã€‚

RoutePlanneræŽ¥å£å®šä¹‰äº†calculate()æ–¹æ³•,ç”¨ä»¥è·¯ç”±çš„è®¡ç®—ã€‚QoSRoutePlannerç±»å’ŒDijstraRoutePlannerç±»å®žçŽ°äº†RoutePlanneræŽ¥å£,åˆ†åˆ«æ˜¯è§†é¢‘æµåª’ä½“åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±,å…¶ä»–ç­‰çº§æ•°æ®æµçš„åŸºäºŽDijstraç®—æ³•çš„è·¯ç”±ã€‚

Graphç±»æ˜¯ä¸ºQoSRoutePlannerç±»å’ŒDijstraRoutePlannerç±»æä¾›å¸¦æœ‰é“¾è·¯æ€§èƒ½çš„æ‹“æ‰‘ä¿¡æ¯ä»¥åŠæ‹“æ‰‘ä¿¡æ¯ã€‚

RouteHandlerç±»ä¸»è¦å®žçŽ°æ•°æ®æµçš„åŒºåˆ†,å°†è·¯ç”±å±•ç¤ºåœ¨ç»ˆç«¯ä»¥åŠä¸‹å‘æµè¡¨åˆ°äº¤æ¢æœºä¸Šã€‚

DynamicQoSRouteç±»ä¸ºç½‘ç»œæ‹¥å¡žæ—¶çš„åŠ¨æ€è·¯ç”±,add\_path()ä¸Ždel\_path()æ–¹æ³•åˆ†åˆ«ä¸ºæ·»åŠ æ–°çš„è·¯å¾„å’Œåˆ é™¤æ—§çš„è·¯å¾„ã€‚  
å›¾4.10è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—ç±»ä¸ŽæŽ¥å£å›¾2)è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—å®žçŽ°

SDNç½‘ç»œä¸­,å½“æœ‰æ•°æ®åŒ…è¿›å…¥åˆ°OpenFlowäº¤æ¢æœºæ—¶,äº¤æ¢æœºä¼šå¯¹æ•°æ®åŒ…è¿›è¡Œæµè¡¨åŒ¹é…æ“ä½œ,è‹¥åŒ¹é…æµè¡¨é¡¹æˆåŠŸ,æ‰§è¡Œè¯¥æµè¡¨é¡¹ä¸­è§„å®šçš„åŠ¨ä½œ;è‹¥åŒ¹é…å¤±è´¥,äº¤æ¢æœºä¼šå°†è¯¥æ•°æ®åŒ…å°è£…åˆ°packet\_inæŠ¥æ–‡ä¸­å‘é€ç»™RyuæŽ§åˆ¶å™¨,æŽ§åˆ¶å™¨è·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—ä¸­çš„PacketInMessageHandlerç±»ä¼šå¯¹è¯¥packet\_inè¿›è¡Œä¸åŒçš„å¤„ç†ã€‚ä¸ºäº†å¯¹æœ€é«˜ä¼˜å…ˆçº§çš„è§†é¢‘æµåª’ä½“æ•°æ®æµä½¿ç”¨QoSè·¯ç”±,æœ¬æ–‡å¯¹do Forwarding Flow()æ–¹æ³•è¿›è¡Œäº†æ‰©å±•,ä½¿å¾—RyuæŽ§åˆ¶å™¨åœ¨åŒºåˆ†å‡ºè§†é¢‘æµåª’ä½“æ•°æ®æµåŽèƒ½åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•è¿›è¡ŒQoSè·¯ç”±,å…¶ä»–ç­‰çº§çš„ä¸šåŠ¡æ•°æ®æµåŸºäºŽDijstraç®—æ³•è¿›è¡Œæœ€å°è·³æ•°è·¯ç”±ã€‚

å›¾4.11æ˜¯ä¿®æ”¹åŽçš„do Forwarding Flow()æ–¹æ³•çš„æ‰§è¡Œæµç¨‹ã€‚å½“PacketInMessageHandlerç±»æ”¶åˆ°packet\_in æŠ¥æ–‡åŽ,ç»è§£æžæ˜¯è·¯ç”±è¯·æ±‚,å°†å…¶äº¤ç»™do Forwarding Flow()æ–¹æ³•,do Forwarding Flow()æ–¹æ³•é¦–å…ˆæå–æŠ¥æ–‡ä¸­çš„æœ‰æ•ˆè´Ÿè½½æ•°æ®,éšåŽä¼šä¾æ¬¡è§£æžæœ‰æ•ˆæ•°æ®ä¸­çš„æºäº¤æ¢æœºã€ç›®çš„äº¤æ¢æœºå’Œåº”ç”¨å±‚åè®®,è‹¥è¯†åˆ«å‡ºä¸ºéžæœ€é«˜ç­‰çº§ä¸šåŠ¡æ•°æ®æµ,Ryuä½¿ç”¨ä»¥é“¾è·¯è·³æ•°ä¸ºä»£ä»·çš„Dijkstraç®—æ³•æ¥æ±‚å–æºäº¤æ¢æœºåˆ°ç›®çš„äº¤æ¢æœºä¹‹é—´çš„è·¯å¾„,ç„¶åŽæ ¹æ®è¯¥è·¯å¾„å‘äº¤æ¢æœºä¸‹å‘æµè¡¨,ä»¥æŒ‡å¯¼éžæœ€é«˜ç­‰çº§ä¸šåŠ¡æ•°æ®æµåœ¨ç½‘ç»œä¸­çš„ä¼ è¾“ã€‚å¦‚è‹¥è¯†åˆ«å‡ºæœ€é«˜ä¼˜å…ˆçº§çš„è§†é¢‘æµåª’ä½“,åˆ™éœ€è¦ä½¿ç”¨é—ä¼ ç®—æ³•èŽ·å¾—æºç›®çš„äº¤æ¢æœºé—´çš„ä¼ è¾“è·¯å¾„ã€‚è‹¥ä¼ è¾“è·¯å¾„å‡ºçŽ°æ‹¥å¡ž,åˆ™ä¼šè§¦å‘DynamicQoSRouteç±»è°ƒç”¨QoSRoutePlanneré‡æ–°è§„åˆ’è·¯å¾„,è‹¥æ–°çš„è·¯å¾„ä¸ŽRouteHandlerä¸­çš„result\_routeä¸åŒ,åˆ™ç›´æŽ¥å¢žåŠ æ–°çš„è·¯å¾„,åˆ é™¤æ—§çš„è·¯å¾„,æŒ‰ç…§æ–°è·¯å¾„è¿›è¡Œæµè¡¨çš„ä¸‹å‘,è‹¥æ–°çš„è·¯å¾„ä¸ŽRouteHandlerä¸­çš„result\_routeç›¸åŒ,åˆ™è¡¨ç¤ºç½‘ç»œä¸­å·²ç»å‡ºçŽ°äº†å…¨é¢æ‹¥å¡ž,è¿™æ—¶å€™åªèƒ½ä¾é é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥åœ¨ç«¯å£å¯¹è§†é¢‘æµåª’ä½“è¿›è¡Œä¼˜å…ˆè°ƒåº¦,æœ€å¤§å¯èƒ½å‡å°‘æ‹¥å¡žå¸¦æ¥çš„é—®é¢˜ã€‚æµè¡¨ä¸­çš„åŠ¨ä½œé™¤äº†æœ‰è½¬å‘åˆ°ç«¯å£,è¿˜æœ‰æ•°æ®åŒ…æ ‡è®°ä»¥åŠå…¥é˜Ÿçš„åŠ¨ä½œ,æ­¤éƒ¨åˆ†æ˜¯é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦çš„åŸºç¡€ã€‚  
å›¾4.11 do Forwarding Flow()æ–¹æ³•çš„æ‰§è¡Œæµç¨‹

4.2.4é—ä¼ ç®—æ³•çš„å®žçŽ°

1)é—ä¼ ç®—æ³•æ¨¡å—æ¡†æž¶

æœ¬èŠ‚å¯¹åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±çš„å®žçŽ°è¿›è¡Œé˜è¿°,ç®—æ³•çš„è®¾è®¡åœ¨å‰ä¸€ç« èŠ‚å·²ç»è¿›è¡Œäº†ä»‹ç»,å›¾4.12å±•ç¤ºäº†è·¯ç”±ç®—æ³•å®žçŽ°çš„ç›¸å…³ç±»ä¹‹é—´çš„å…³ç³»,å…¶ä¸­Geneticsç±»å®žçŽ°äº†åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±,individual()æ˜¯éšæœºè·¯å¾„ç”Ÿæˆç®—æ³•,éšæœºç”Ÿæˆç§ç¾¤ä¸­çš„ä¸ªä½“;population()å®žçŽ°åˆå§‹ç§ç¾¤çš„ç”Ÿæˆ,åˆ©ç”¨é“¾è·¯ä¿å­˜ä¸€ç»„æŸ“è‰²ä½“,è¯¥ç±»æ˜¯é—ä¼ ç®—æ³•è¿›åŒ–è®¡ç®—çš„ä½œç”¨å¯¹è±¡;fitness()æ˜¯é€‚åº”åº¦å‡½æ•°çš„è®¡ç®—;evolve()æ˜¯é—ä¼ ç®—æ³•é€»è¾‘ä¸»ä½“,å†…éƒ¨å®žçŽ°äº†å„ç§é—ä¼ ç®—å­ã€‚  
å›¾4.12é—ä¼ ç®—æ³•æ¨¡å—æ¡†æž¶å›¾2)ç§ç¾¤åˆå§‹åŒ–ç­–ç•¥å®žçŽ°

Geneticsç±»æ˜¯ç§ç¾¤åˆå§‹åŒ–çš„æ ¸å¿ƒç±»,å…¶ä¸­individual()æ–¹æ³•éšæœºç”Ÿæˆä»Žèµ·ç‚¹åˆ°ç»ˆç‚¹çš„è·¯å¾„ä½œä¸ºåˆå§‹ç§ç¾¤,å®ƒä¹Ÿæ˜¯QoSè·¯ç”±ç®—æ³•çš„é‡è¦æ–¹æ³•,ç®—æ³•çš„æµç¨‹å¦‚å›¾4.13æ‰€ç¤ºã€‚è¯¥ç®—æ³•æ˜¯å¯¹æ·±åº¦ä¼˜å…ˆéåŽ†ç®—æ³•çš„ä¸€ç§æ”¹è¿›ç®—æ³•,è€ƒè™‘åˆ°è·¯å¾„ç”Ÿæˆæ—¶éœ€è¦å°½å¯èƒ½ä¿è¯è·¯å¾„çš„éšæœºæ€§,å› æ­¤æ–¹æ³•æ‰§è¡Œæµç¨‹ä¸­,æ¯æ¬¡é€‰æ‹©æœªè¢«æ ‡è®°çš„é‚»æŽ¥èŠ‚ç‚¹ä¹‹å‰,å…ˆå¯¹å…¶è¿›è¡ŒéšæœºæŽ’åˆ—,ä¿è¯ä¸‹ä¸€ä¸ªåŠ å…¥è·¯å¾„çš„èŠ‚ç‚¹æ˜¯å®Œå…¨æ— è§„å¾‹çš„ã€‚åŒæ—¶,æ–¹æ³•å¯¹å·²ç»è®¿é—®è¿‡çš„èŠ‚ç‚¹è¿›è¡Œæ ‡è®°,ä¿è¯ç”Ÿæˆçš„è·¯ç”±æ²¡æœ‰çŽ¯è·¯ã€‚å½“é‡åˆ°ä¸€ä¸ªèŠ‚ç‚¹æ‰€æœ‰é‚»æŽ¥èŠ‚ç‚¹éƒ½å·²ç»è¢«æ ‡è®°æ—¶,æ‰§è¡Œå›žé€€æ“ä½œ,ç›´åˆ°æ‰¾åˆ°ä¸€ä¸ªç‚¹æœ‰é‚»æŽ¥èŠ‚ç‚¹æœªè¢«æ ‡è®°æ—¶åœæ­¢,å¹¶å°†å…¶é‚»æŽ¥èŠ‚ç‚¹æ·»åŠ è‡³è·¯å¾„é“¾è¡¨ä¸­,é‡å¤ä¸Šè¿°æ“ä½œ,ç›´åˆ°å¾—åˆ°è¿žæŽ¥æºç‚¹å’Œç»ˆç‚¹çš„ä¸€æ¡è·¯å¾„ã€‚

å›¾4.13 individual()æ–¹æ³•æµç¨‹å›¾Geneticsç±»çš„population()æ–¹æ³•é€šè¿‡individul()ç”Ÿæˆéšæœºè·¯å¾„,æ¯æ¬¡ç”Ÿæˆçš„è·¯å¾„ä¼šä¿å­˜åˆ°è·¯å¾„é›†åˆä¸­,å¦‚æžœæ–°ç”Ÿæˆçš„è·¯å¾„åœ¨æ­¤é›†åˆä¸­,æ–°çš„è·¯å¾„å°†è¢«ä¸¢å¼ƒ,ä¸ç”¨äºŽæž„é€ ç§ç¾¤ã€‚å¦‚æžœæ–°ç”Ÿæˆçš„è·¯å¾„ä¸åœ¨æ­¤é›†åˆä¸­,å°±å°†æ–°è·¯å¾„åŠ å…¥åˆ°è·¯å¾„é›†åˆä¸­,ç›´åˆ°è¾¾åˆ°ç§ç¾¤è§„æ¨¡ã€‚è¿™æ ·ç¬¬ä¸€ä»£ç§ç¾¤ä¸­çš„æ¯ä¸ªæŸ“è‰²ä½“éƒ½æ˜¯ä¸åŒçš„,æœ‰åˆ©äºŽä¿è¯ç§ç¾¤åŸºå› çš„å¤šæ ·æ€§,æ‰©å¤§æœç´¢ç©ºé—´ã€‚ç§ç¾¤åˆå§‹åŒ–æµç¨‹å¦‚å›¾4.14æ‰€ç¤ºã€‚  
å›¾4.14ç§ç¾¤åˆå§‹åŒ–æµç¨‹å›¾3)é€‚åº”åº¦å€¼çš„è®¡ç®—

é€‚åº”åº¦å€¼çš„è®¡ç®—ç”± Geneticsç±»çš„fitness()æ–¹æ³•å®žçŽ°ã€‚è®¡ç®—é€‚åº”åº¦å€¼çš„æµç¨‹å¦‚å›¾4.15æ‰€ç¤º,è®¡ç®—æŸ“è‰²ä½“é€‚åº”åº¦å€¼æ—¶,é¦–å…ˆè®¾ç½®é€‚åº”åº¦è®¡ç®—å…¬å¼,å–å¾—ä¿å­˜è·¯å¾„çš„é“¾è¡¨,å³è·¯å¾„åŒ…å«çš„é“¾è·¯ã€‚ç„¶åŽé€šè¿‡æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—æä¾›çš„æ¯æ¡é“¾è·¯å…·ä½“çš„QoSæ€§èƒ½ä¿¡æ¯,èŽ·å¾—è·¯å¾„çš„QoS æ€§èƒ½æŒ‡æ ‡,æœ€åŽä¾æ®é€‚åº”åº¦å‡½æ•°è®¡ç®—æ¯æ¡æŸ“è‰²ä½“çš„é€‚åº”å€¼ã€‚ç”±äºŽæ—¶å»¶ä¸Žä¸¢åŒ…çŽ‡æµ‹åº¦çš„é€‚åº”åº¦è®¡ç®—å‡½æ•°éƒ½é™¤ä»¥äº†è¯¥ä»£æ‰€æœ‰æŸ“è‰²ä½“ç›¸åº”æµ‹åº¦å’Œ,æ‰€ä»¥åœ¨èŽ·å¾—è·¯å¾„é“¾è¡¨åŽ,åº”è®¡ç®—å‡ºæ‰€æœ‰æŸ“è‰²ä½“ç›¸åº”æµ‹åº¦å’Œ,ä»¥ä¾¿æ¯ä¸ªæµ‹åº¦çš„é€‚åº”åº¦å€¼çš„è®¡ç®—ã€‚  
å›¾4.15é€‚åº”åº¦å€¼è®¡ç®—æµç¨‹å›¾4)é—ä¼ ç®—å­çš„å®žçŽ°

æœ¬èŠ‚é˜è¿°åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±ç”¨åˆ°çš„é—ä¼ ç®—å­çš„å®žçŽ°,åŒ…æ‹¬äº†é€‰æ‹©ã€äº¤å‰ã€å˜å¼‚ç­‰,è¿™äº›ç®—å­éƒ½é€šè¿‡Geneticsç±»è¿›è¡Œå®žçŽ°ã€‚  
aã€é€‰æ‹©ç®—å­

ç²¾è‹±é€‰æ‹©ç­–ç•¥å®žçŽ°æµç¨‹å¦‚å›¾4.16æ‰€ç¤º,ç²¾è‹±é€‰æ‹©ç­–ç•¥ä»¥å½“å‰ç§ç¾¤æ•°ä¸ºå‚æ•°,é¦–å…ˆè®¡ç®—ç§ç¾¤ä¸­æ‰€æœ‰ä¸ªä½“çš„é€‚åº”åº¦çš„å€¼,å¹¶å°†é€‚åº”åº¦å€¼çš„å¤§å°è¿›è¡ŒæŽ’åº,ç„¶åŽæ ¹æ®è®¾å®šçš„ä¿ç•™çŽ‡,é€‰æ‹©ç¾¤ä½“ä¸­è¾ƒå¥½çš„ç²¾è‹±ä¸ªä½“,ç›´æŽ¥å¤åˆ¶åˆ°ä¸‹ä¸€ä»£,ä¿ç•™çŽ‡å€¼è®¾ç½®ä¸º10%;åœ¨å‰©ä¸‹çš„ä¸ªä½“ä¸­éåŽ†,æ¯éåŽ†ä¸€ä¸ªä¸ªä½“,ä½¿ç”¨éšæœºç”Ÿæˆå™¨ç”Ÿæˆä¸€ä¸ªéšæœºå€¼,ä¸Žé€‰æ‹©çŽ‡åšæ¯”è¾ƒ,è‹¥é€‰æ‹©çŽ‡å¤§äºŽéšæœºå€¼,åˆ™å°†è¿™ä¸ªä¸ªä½“ä½œä¸ºä¸‹ä¸€ä»£ç§ç¾¤ä¸­çš„ä¸ªä½“,é€‰æ‹©çŽ‡è®¾ç½®ä¸º1%,éšæœºç”Ÿæˆå™¨ç”Ÿæˆçš„éšæœºå€¼æ˜¯åœ¨0-1ä¹‹é—´ã€‚  
å›¾4.16ç²¾è‹±é€‰æ‹©æ³•æµç¨‹å›¾bã€äº¤å‰ç®—å­

äº¤å‰ç®—å­å®žçŽ°æµç¨‹å¦‚å›¾4.17æ‰€ç¤º,å¯¹ç»è¿‡ç²¾è‹±é€‰æ‹©ç­–ç•¥åŽå‰©ä¸‹çš„ä¸ªä½“è¿›è¡Œäº¤å‰,åœ¨è¿™äº›æŸ“è‰²ä½“ä¸­éšæœºé€‰æ‹©ä¸¤ä¸ªæŸ“è‰²ä½“,è‹¥æŸ“è‰²ä½“ä¸­æœ‰ç›¸åŒçš„åŸºå› ,åˆ™éšæœºé€‰å–åŸºå› ç‚¹è¿›è¡Œäº¤å‰,ç”±äºŽåœ¨äº¤å‰ä¹‹åŽå½¢æˆçš„è·¯å¾„å¯èƒ½ä¼šå‡ºçŽ°çŽ¯è·¯çš„æƒ…å†µ,å› æ­¤éœ€è¦å¯¹äº¤å‰åŽå½¢æˆçš„æ–°çš„æŸ“è‰²ä½“è¿›è¡ŒåŸºå› æ˜¯å¦é‡å¤çš„åˆ¤æ–­,ä»¥ä¾¿æŽ’é™¤æœ‰çŽ¯è·¯çš„æŸ“è‰²ä½“ã€‚  
å›¾4.17äº¤å‰ç®—å­æµç¨‹å›¾cã€å˜å¼‚ç®—å­

å˜å¼‚ç®—å­ä½¿ç”¨çš„æ˜¯éšæœºé‡ç½®,éšæœºé‡ç½®æ–¹æ³•çš„å®žçŽ°å¦‚å›¾4.18æ‰€ç¤º,éåŽ†æ‰€æœ‰ç»è¿‡é€‰æ‹©ä¸Žäº¤å‰åŽçš„ä¸‹ä¸€ä»£,æ¯éåŽ†ä¸€ä¸ªä¸ªä½“,ä½¿ç”¨éšæœºç”Ÿæˆå™¨ç”Ÿæˆä¸€ä¸ªéšæœºæ•°,ä¸Žå˜å¼‚çŽ‡åšæ¯”è¾ƒ,è‹¥å˜å¼‚çŽ‡å¤§äºŽéšæœºå€¼,å˜å¼‚çš„ä½ç½®ä¸ºè¯¥æŸ“è‰²ä½“ä¸­éšæœºé€‰æ‹©çš„åŸºå› ä½ç½®,å¹¶éšæœºé‡ç½®ä¸ºæ–°çš„å€¼ã€‚  
å›¾4.18å˜å¼‚ç®—å­å®žçŽ°æµç¨‹å›¾dã€ç»ˆæ­¢æ ¡éªŒç®—å­

ç»ˆæ­¢åˆ¤æ–­æµç¨‹å¦‚å›¾4.19æ‰€ç¤º,æœ¬æ–‡å®žçŽ°äº†ä¸¤ç§ç»ˆæ­¢åˆ¤æ–­æ–¹å¼,ä¸€æ˜¯è¿­ä»£æ•°,ç®—æ³•æ‰§è¡Œè¿‡ç¨‹ä¸­ç§ç¾¤ä»£æ•°è¾¾åˆ°è®¾ç½®çš„æœ€å¤§è¿›è¡Œä»£æ•°,ç®—æ³•å°†é€€å‡ºæœç´¢è¿‡ç¨‹,è¿”å›žæœ€å¥½çš„ä¸€æ¡è·¯å¾„;äºŒæ˜¯éœ€è¦ä¾èµ–ç®—æ³•åˆå§‹åŒ–æ—¶è®¾ç½®çš„Nå€¼,å³å­˜å‚¨çš„æ»¡è¶³éœ€æ±‚çš„æŸ“è‰²ä½“(è·¯å¾„)çš„æ•°é‡åˆ°è¾¾Næ—¶,ä¹Ÿå¯ä»¥ç»ˆæ­¢é—ä¼ ç®—æ³•,å¹¶è¿”å›žå…¶ä¸­é€‚åº”åº¦æœ€å¥½çš„ä¸€æ¡è·¯å¾„ã€‚è¿™æ ·åšæ˜¯å› ä¸ºåœ¨QoSæŽ§åˆ¶è¿™ä¸€åº”ç”¨åœºæ™¯ä¸­å¯¹æ—¶é—´è¦æ±‚éžå¸¸æ•æ„Ÿ,æé«˜ç®—æ³•æ”¶æ•›çš„é€Ÿåº¦,å¯ä»¥æå‡è·¯ç”±æ•ˆçŽ‡,æé«˜QoSæŽ§åˆ¶çš„æ€§èƒ½ã€‚  
å›¾4.19ç»ˆæ­¢åˆ¤æ–­æµç¨‹å›¾4.3é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„å®žçŽ°

å®žæ—¶è§†é¢‘ä¼šè®®ä¸Žç›‘æŽ§è§†é¢‘ç­‰è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡å¯¹æ—¶å»¶ã€å¸¦å®½ç­‰QoSå‚æ•°æœ‰è¾ƒé«˜çš„è¦æ±‚,å…¶ä»–ä¸šåŠ¡å¯¹QoSè¦æ±‚ä¾æ¬¡é™ä½Žã€‚ä¾æ®è¡¨3.1,æœ¬æ–‡å°†å®žæ—¶è§†é¢‘ä¸Žç›‘æŽ§è§†é¢‘ã€å…³é”®æ•°æ®ä¸šåŠ¡ã€äº‹ç‰©å¤„ç†ä¸Žäº¤äº’å¼æ•°æ®ã€æ•°æ®åŒæ­¥ä¸Že-mailä¼˜å…ˆçº§åˆ†åˆ«æ˜ å°„ä¸º32ã€24ã€16ã€8ã€‚æ ¹æ®ç¬¬ä¸‰ç« æå‡ºçš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦çš„æ¡†æž¶,å°†å¯¹é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦åŠŸèƒ½äºˆä»¥å®žçŽ°ã€‚

é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥ä¸­çš„æµåˆ†ç±»ã€æ ‡è®°ã€å…¥é˜Ÿæ“ä½œç”±æŽ§åˆ¶å™¨ä¸‹å‘æµè¡¨æ¥å®Œæˆ,é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦è§„åˆ™çš„é…ç½®åœ¨OpenvSwitchä¸Šå®Œæˆ,å…·ä½“æµç¨‹å¦‚å›¾4.20æ‰€ç¤ºã€‚

å›¾4.20é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥å®žçŽ°æµç¨‹å›¾å½“æ•°æ®åˆ°è¾¾è¾¹ç¼˜äº¤æ¢æœº,æŽ§åˆ¶å™¨æ ¹æ®å…¶å››å±‚åè®®å°†æ•°æ®æµè¿›è¡Œåˆ†ç±»,å¹¶æ ¹æ®åˆ†ç±»ç»“æžœ,å°†æ•°æ®æµçš„IPå¤´ä¸­çš„DSCPå€¼æ ‡è®°ä¸ºå¯¹åº”çš„ä¼˜å…ˆçº§,å¦‚è¡¨3.1ã€‚å¯¹DSCPå€¼çš„ä¿®æ”¹æ˜¯åˆ©ç”¨äº†OpenFlowåŠ¨ä½œé›†ä¸­çš„ä¿®æ”¹åŸŸ,ä¿®æ”¹åŸŸå¯é€‰çš„å­—æ®µéƒ¨åˆ†å¦‚å›¾4.21æ‰€ç¤ºã€‚

å›¾4.21ä¿®æ”¹åŸŸå¯é€‰å­—æ®µå›¾å…¶ä¸­ip\_dscpä¸ºIPæŠ¥æ–‡å¤´ä¸­ToSçš„å‰å…­ä½,é€šè¿‡ä¿®æ”¹ip\_dscpçš„å€¼,å®žçŽ°å¯¹æ•°æ®åŒ…çš„æ ‡è®°,å…·ä½“æ“ä½œå¦‚å›¾4.22æ‰€ç¤º,parser.OFPActionSetFieldæ˜¯æ‰§è¡ŒDSCPå€¼ä¿®æ”¹çš„åŠ¨ä½œ, parser.OFPActionOutputæ˜¯æ‰§è¡Œæ•°æ®åŒ…å‘åˆ°ç«¯å£çš„åŠ¨ä½œ,æ­¤åŠ¨ä½œæ˜¯æ‰€æœ‰åŠ¨ä½œçš„å‰æ,è‹¥æ²¡æœ‰è¯¥åŠ¨ä½œ,æ•°æ®åŒ…å°†ä¼šè¢«ä¸¢å¼ƒã€‚å…¥é˜Ÿæ“ä½œæ˜¯æŒ‡æŽ§åˆ¶å™¨æ ¹æ®OpenvSwicthäº¤æ¢æœºä¸­é˜Ÿåˆ—çš„é…ç½®,é€šè¿‡æµè¡¨çš„å½¢å¼å°†ä¸åŒç­‰çº§çš„æ•°æ®åŒ…æ”¾å…¥ä¸åŒçš„å¯¹åˆ—,å…·ä½“å‘½ä»¤ä¸ºparser.OFPActionSetQueue(queue\_id),queue\_idä¸ºäº¤æ¢æœºç«¯å£ä¸Šå·²ç»é…ç½®å¥½çš„é˜Ÿåˆ—å·ã€‚

å›¾4.22ä¿®æ”¹DSCPå€¼çš„ç¨‹åºå›¾HTBé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦è§„åˆ™æ˜¯é€šè¿‡å¯¹ Open vSwitch çš„linux-htbé˜Ÿåˆ—æ¨¡å—è¿›è¡Œé…ç½®æ¥å®žçŽ°çš„,å…·ä½“é…ç½®å¦‚å›¾4.23æ‰€ç¤ºã€‚

å›¾4.23 HTBé˜Ÿåˆ—è§„åˆ™é…ç½®å›¾å…¶ä¸­,typeæ˜¯é…ç½®OpenvSwitchç«¯å£é˜Ÿåˆ—çš„ç±»åž‹;dscpç”¨äºŽé…ç½®è¿›å…¥é˜Ÿåˆ—çš„ä¸šåŠ¡æµçš„ä¼˜å…ˆçº§,å…·ä½“å€¼è§è¡¨3.1;max-rateæ˜¯æŒ‡ä»¤ç‰Œæ¡¶çš„äº§ç”Ÿé€ŸçŽ‡,è¡¨ç¤ºå½“å‰é˜Ÿåˆ—æ¯ç§’ä¼ è¾“æ•°æ®çš„æœ€å¤§å­—èŠ‚æ•°; burstè¡¨ç¤ºæ¡¶å¤§å°,æŒ‡èƒ½å¤„ç†çš„çªå³°å‘é€é€ŸçŽ‡;protioryç”¨äºŽé…ç½®DWRRçš„ä¼˜å…ˆçº§,ç”¨æ¥ä¿è¯é‡è¦çš„æ•°æ®è¿›å…¥ä¼˜å…ˆé˜Ÿåˆ—è€Œä¼˜å…ˆå‘é€;quantumè¡¨ç¤ºåœ¨è¿›è¡Œ DWRR ç®—æ³•è°ƒåº¦æ—¶,æ¯æ¬¡æœ€å¤šè°ƒåº¦çš„å­—èŠ‚æ•°ã€‚å›¾4.24ã€å›¾4.25ä¸Žå›¾4.26åˆ†åˆ«æ˜¯æ˜¯ç«¯å£åˆ—è¡¨æŸ¥è¯¢ã€qosåˆ—è¡¨æŸ¥è¯¢å’Œqueueåˆ—è¡¨æŸ¥è¯¢çš„ç»“æžœå›¾ã€‚ä»Žå›¾4.24ä¸­å¯ä»¥çœ‹åˆ°é…ç½®äº†ç«¯å£qosç­–ç•¥å’Œæœªé…ç½®ç«¯å£qosç­–ç•¥çš„qoså€¼çš„ä¸åŒ;ä»Žå›¾4.25å’Œ4.26ä¸­å¯ä»¥çœ‹å‡ºqoså’Œqueueçš„é…ç½®ç»“æžœã€‚  
å›¾4.24ç«¯å£åˆ—è¡¨æŸ¥è¯¢å›¾å›¾4.25ç«¯å£qosæŸ¥è¯¢å›¾

å›¾4.26ç«¯å£queueæŸ¥è¯¢å›¾4.4æœ¬ç« å°ç»“

æœ¬ç« å™è¿°äº†è§†é¢‘æµåª’ä½“QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ¡†æž¶ä¸­å„ä¸ªæ¨¡å—çš„å®žçŽ°,ä¸»è¦æ˜¯QoSè·¯ç”±æ¨¡å—ä¸­çš„æ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—ã€é“¾è·¯æ€§èƒ½æµ‹é‡æ¨¡å—ä»¥åŠè·¯ç”±ç®¡ç†æ¨¡å—çš„å®žçŽ°è¿‡ç¨‹,åˆ†åˆ«å¯¹å„ä¸ªæ¨¡å—çš„å…·ä½“å®žçŽ°ç±»å’Œé‡è¦æ–¹æ³•çš„æ‰§è¡Œæµç¨‹åšäº†è¯¦ç»†ä»‹ç»ã€‚å¹¶åœ¨OpenvSwitchçš„ç«¯å£ä¸Šå®Œæˆäº†HTBé˜Ÿåˆ—è§„åˆ™çš„é…ç½®,ä»¥å®žçŽ°è½¬å‘ç«¯å£å¯¹QoSçš„ä¿éšœã€‚  
5å®žéªŒä»¿çœŸä¸Žç»“æžœåˆ†æž

5.1ä»¿çœŸå®žéªŒçŽ¯å¢ƒä»‹ç»

5.1.1ç½‘ç»œä»¿çœŸè½¯ä»¶Mininet

ä¸ŽNS2/3ã€OPNETç­‰ç½‘ç»œä»¿çœŸå™¨ä¸åŒ, Mininet[48-49]é‡‡ç”¨è½»é‡çº§çš„è™šæ‹ŸåŒ–æŠ€æœ¯ä½¿å¾—å•ä¸€çš„ç³»ç»Ÿå¯ä»¥ä»¿çœŸä¸€ä¸ªå®Œæ•´çš„ç½‘ç»œ,å³ä½¿åœ¨ä¸€å°ç”µè„‘ä¸Š,ä¹Ÿå¯ä»¥å¾ˆå®¹æ˜“çš„åˆ›å»ºå‡ºåŒ…å«ä¸»æœºå’Œäº¤æ¢æœºçš„ç½‘ç»œ,æ¨¡æ‹Ÿçš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘æœ€å¤šå¯æœ‰4096å°ä¸»æœºçš„ç½‘ç»œç»“æž„ã€‚Mininetæ”¯æŒOpenFlowåè®®å„ç§ç‰ˆæœ¬ä»¥åŠOpenvSwitch,å¯ä»¥å¾ˆæ–¹ä¾¿çš„è¿›è¡ŒSDNåº”ç”¨çš„éªŒè¯å’Œæµ‹è¯•ã€‚Mininetæ”¯æŒç³»ç»Ÿçº§åˆ«çš„å›žå½’æµ‹è¯•,é™¤äº†æœ¬èº«æä¾›å¸¦æœ‰åŸºæœ¬å‚æ•°çš„å¸¸è§æ‹“æ‰‘ç»“æž„ä¹‹å¤–,è¿˜æ”¯æŒç”¨æˆ·è‡ªå®šä¹‰æ‹“æ‰‘ç»“æž„,å¯ä»¥åˆ›å»ºä»»ä½•éœ€è¦çš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ç»“æž„ã€‚é™¤æ­¤ä¹‹å¤–,åŸºäºŽMininetå¼€å‘çš„æŽ§åˆ¶å™¨ç›¸å…³çš„ä»£ç å¯ä»¥ç›´æŽ¥åœ°è¿ç§»åˆ°çœŸå®žçš„ç½‘ç»œçŽ¯å¢ƒä¸­,å³ç”±OpenFlow äº¤æ¢æœºç»„ç½‘çš„ç¡¬ä»¶çŽ¯å¢ƒ,è¿™æ ·æžå¤§åœ°æ–¹ä¾¿äº†ç”¨æˆ·å¼€å‘ä¸Ž SDN ç›¸å…³çš„ç½‘ç»œåº”ç”¨,ä»¥éžå¸¸ä½Žçš„æˆæœ¬è¿›è¡Œæ–°åº”ç”¨çš„å¼€å‘ã€æµ‹è¯•å’ŒéªŒè¯,è€Œä¸éœ€è¦æµªè´¹æ—¶é—´åŽ»æ­å»ºçœŸå®žçš„ç½‘ç»œ,å¤§å¤§ç¼©çŸ­äº†SDNåº”ç”¨å¼€å‘æµ‹è¯•çš„å‘¨æœŸ,å…·æœ‰å¾ˆé«˜çš„çµæ´»æ€§ã€‚

Mininetæä¾›å¤šä¸ªpython API (Application Programming Interface,åº”ç”¨ç¨‹åºç¼–ç¨‹æŽ¥å£),å¯ä»¥å¾ˆæ–¹ä¾¿åœ°åˆ›å»ºå¤æ‚çš„æ‹“æ‰‘ç½‘ç»œã€‚è¡¨5.1æè¿°äº†Mininetä¸­åˆ›å»ºç½‘ç»œæ‹“æ‰‘å¸¸ç”¨çš„å‡½æ•°åŠå˜é‡,é€šè¿‡è¿™äº›å‡½æ•°å¯ä»¥ç®€å•ã€å¿«é€Ÿåœ°åˆ›å»ºæ‰€éœ€çš„ç½‘ç»œã€‚Mininetä¹Ÿæ”¯æŒLinuxçš„å‘½ä»¤è¡ŒæŽ¥å£(CLI)è°ƒç”¨,åœ¨CLIä¸Š,é€šè¿‡nodesæŸ¥çœ‹ç½‘ç»œçš„èŠ‚ç‚¹,ä½¿ç”¨netæŸ¥çœ‹ç½‘ç»œé“¾æŽ¥æƒ…å†µ,é€šè¿‡linksèŽ·å–èŠ‚ç‚¹é—´çš„è¿žæŽ¥çŠ¶æ€,é€šè¿‡linkç¦ç”¨æˆ–å¯åŠ¨ä¸¤ä¸ªèŠ‚ç‚¹é—´çš„é“¾è·¯ã€‚  
è¡¨5.1 Mininetç½‘ç»œç›¸å…³å‡½æ•°åŠŸèƒ½

å‡½æ•°åŠŸèƒ½addHost()ä¸ºç½‘ç»œè®¾ç½®ä¸»æœº,å¯é…ç½®ç›¸å…³å‚æ•°addSwitch()ä¸ºç½‘ç»œè®¾ç½®äº¤æ¢æœº,å¯é…ç½®ç›¸å…³å‚æ•°addLink()ä¸ºç½‘ç»œè®¾ç½®é“¾è·¯,å¯é…ç½®ç›¸å…³å‚æ•°start()å¼€å¯ç½‘ç»œpingall()æŽ§åˆ¶æ‰€æœ‰èŠ‚ç‚¹ç›¸äº’æ‰§è¡Œpingå‘½ä»¤,æµ‹è¯•è¿žé€šæ€§stop()åœæ­¢ç½‘ç»œè¿è¡Œnet.hostsç½‘ç»œä¸­æ‰€æœ‰ä¸»æœº5.1.2 OpenvSwitch

SDNæž¶æž„ä¸­åŸºç¡€è®¾æ–½å±‚çš„è½¬å‘è®¾å¤‡ä¹Ÿå¯ç”±è½¯ä»¶çš„å½¢å¼å®žçŽ°,ç›®å‰è½¯ä»¶äº¤æ¢æœºä¹Ÿå·²èƒ½å¤Ÿæ»¡è¶³å¾ˆå¤šåº”ç”¨åœºæ™¯ä¸­çš„æ•°æ®ä¼ è¾“,å› æ­¤ä»¥è½¯ä»¶äº¤æ¢æœºçš„å½¢å¼æž„å»ºSDNç½‘ç»œ,å·²æˆä¸ºå¯é€‰æ–¹æ¡ˆä¹‹ä¸€ã€‚

OpenvSwitch[50]æ˜¯ä¸€ä¸ªå¼€æºçš„å¤šå±‚è™šæ‹Ÿäº¤æ¢æœº,å®ƒæ”¯æŒçŽ°æœ‰çš„æ ‡å‡†ç®¡ç†æŽ¥å£å’Œåè®®(å¦‚ CLI,LACP,802.1ag ç­‰)ã€‚OpenvSwitchæ—¢èƒ½å¤Ÿåœ¨è™šæ‹ŸæœºçŽ¯å¢ƒä¸­ä½œä¸ºè½¯ä»¶äº¤æ¢æœº(soft switch)è¿è¡Œ,ä¹Ÿèƒ½å¤ŸåµŒå…¥åˆ°ç¡¬ä»¶äº¤æ¢æœºåˆ‡ç‰‡ä¸­ä½œä¸ºæŽ§åˆ¶è½¯ä»¶è¿è¡Œ,å…¶æ”¯æŒOpenFlowåè®®åŠç”¨äºŽè™šæ‹ŸåŒ–çš„å…¶ä»–æ‰©å±•ã€‚  
5.1.3å…¶ä»–å®žéªŒçŽ¯å¢ƒåŠç›¸å…³è½¯ä»¶ä»‹ç»

ä»¿çœŸå®žéªŒæ‰€ç”¨çš„æ“ä½œç³»ç»Ÿæ˜¯Windows7ä¸“ä¸šç‰ˆ64ä½;å®‰è£…å†…å­˜(RAM):8.00GB;å¤„ç†å™¨:Intel(R)Core(TM)i5-3230M CPU @2.60GHz 2.60GHzã€‚

è™šæ‹Ÿæœº:VMware Workstation10.0.1build-1379776;è™šæ‹Ÿæœºç³»ç»Ÿ:Ubuntu14.04ã€‚  
å¤šåª’ä½“æ’­æ”¾å™¨VLC media player:2.2.2

æ•°æ®åŒ…æŠ“åŒ…è½¯ä»¶Wireshark

OpenvSwitch:2.5.0

Mininet:2.3.0

Ryu:4.25

æ‘„åƒå¤´:Z-star Gsou USB 2.0

5.2ç½‘ç»œçŽ¯å¢ƒçš„æ­å»º

è§†é¢‘ä¼ è¾“çš„ä»¿çœŸå¹³å°ä¸»è¦ç”±RyuæŽ§åˆ¶å™¨ã€æµåª’ä½“æœåŠ¡å™¨ã€æ‘„åƒå¤´å’ŒMininetè½¯ä»¶æ¨¡æ‹Ÿçš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ç»„æˆ,å¦‚å›¾5.1æ‰€ç¤ºã€‚  
å›¾5.1è§†é¢‘ä¼ è¾“å¹³å°ç»“æž„å›¾5.2.1æ‹“æ‰‘çŽ¯å¢ƒæ­å»º

æœ¬æ–‡åœ¨Mininetä¸­é€šè¿‡pythonè„šæœ¬å®Œæˆç½‘ç»œæ‹“æ‰‘çš„æž„å»º,ç½‘ç»œä¸­åŒ…å«s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8å…«ä¸ªè™šæ‹Ÿäº¤æ¢æœº,å®ƒä»¬ç”±å…±åŒçš„è¿œç«¯RyuæŽ§åˆ¶å™¨æŽ§åˆ¶;æœ‰5ä¸ªæœåŠ¡å™¨å’Œ2ä¸ªå®¢æˆ·ç«¯,å…·ä½“è¿žæŽ¥æ–¹å¼å¦‚å›¾5.2æ‰€ç¤ºã€‚å…¶ä¸­server1ä¸ºæµåª’ä½“æœåŠ¡å™¨,server2ä¸ºå…¶ä»–ä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡æµçš„æœåŠ¡å™¨,server3ã€server4å’Œserver5æ˜¯èƒŒæ™¯æµçš„æœåŠ¡å™¨,client2ä¸ºèƒŒæ™¯æµçš„æŽ¥æ”¶ç«¯ã€‚ç”±äºŽOpenvSwitché»˜è®¤çš„é“¾è·¯å¸¦å®½ä¸º20Gbps,ä¸ç¬¦åˆçœŸå®žæƒ…å†µ,ä¹Ÿä¸åˆ©äºŽä»¿çœŸéªŒè¯,å› æ­¤åœ¨åˆ›å»ºæ‹“æ‰‘è¿›è¡Œä»¿çœŸéªŒè¯æ—¶,éœ€è¦åˆ©ç”¨Mininetå¯¹é“¾è·¯å¸¦å®½è¿›è¡Œè®¾ç½®ã€‚

å›¾5.2ä»¿çœŸå®žéªŒæ‹“æ‰‘å›¾ä½¿ç”¨VMwareåˆ›å»ºä¸€å°Ubuntunè™šæ‹Ÿæœº,å®‰è£…Ryuå’ŒMininetã€‚ä¸ºäº†åœ¨Mininetä¸ŠæˆåŠŸåœ°åˆ›å»ºå¦‚å›¾5.2æ‰€ç¤ºçš„å®žéªŒæ‹“æ‰‘,é¦–å…ˆéœ€è¦ç¼–å†™è‡ªå®šä¹‰çš„ Python è„šæœ¬ cai-topo.py,å¦‚å›¾5.3æ‰€ç¤º,å¹¶æ”¾åœ¨/home/mininet/custom è·¯å¾„ä¸‹,ç„¶åŽåœ¨Mininetä¸­è¿è¡Œæ­¤è„šæœ¬,å®žçŽ°ä¸ŽæŒ‡å®šæŽ§åˆ¶å™¨ç›¸è¿ž,è‹¥è¿è¡Œçª—å£å‡ºçŽ°å›¾5.4æ‰€ç¤ºçš„æƒ…å†µ,ä¸”è¿è¡Œæ‹“æ‰‘ç®¡ç†æ¨¡å—å‡ºçŽ°5.5æ‰€ç¤ºçš„ç»“æžœ,åˆ™è¡¨ç¤ºæ‹“æ‰‘åˆ›å»ºæˆåŠŸä¸”æŽ§åˆ¶å™¨èƒ½æ­£ç¡®èŽ·å¾—åº•å±‚ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘çš„è¿žæŽ¥æƒ…å†µã€‚  
å›¾5.3è‡ªå®šä¹‰æ‹“æ‰‘ç¨‹åºå›¾

å›¾5.4è¿è¡Œç»“æžœåŠé“¾è·¯ä¿¡æ¯å›¾

å›¾5.5æŽ§åˆ¶å™¨ç»ˆç«¯æ‹“æ‰‘è¿žæŽ¥å±•ç¤ºå›¾5.2.2è§†é¢‘æœåŠ¡å™¨æ­å»º

æœ¬æ–‡ä½¿ç”¨VLC media playerä½œä¸ºè§†é¢‘æœåŠ¡å™¨,ä½¿ç”¨å¤–ç½®æ‘„åƒå¤´Z-star Gsou USB2.0 CameraåŠ¨æ€èŽ·å–640\*480åˆ†è¾¨çŽ‡çš„å®žæ—¶è§†é¢‘,é€šè¿‡VLC media playerå°†æ‘„åƒå¤´æ•èŽ·çš„å®žæ—¶è§†é¢‘å‘é€åˆ°Mininetè™šæ‹Ÿçš„ç½‘ç»œä¸­ã€‚å…·ä½“æ­¥éª¤å¦‚ä¸‹:

ä½¿ç”¨Gsou USB2.0 Cameraè¿žæŽ¥ç”µè„‘,å¹¶å°†å…¶æŒ‚è½½è‡³Ubuntuè™šæ‹Ÿæœº,åœ¨Ubuntuä¸­æ‰“å¼€VLC media playerå°†å…¶æ•èŽ·çš„è§†é¢‘ä¿¡æ¯ä½¿ç”¨RTSPåè®®å‘é€è‡³/cameraè·¯å¾„çš„8854ç«¯å£ã€‚

åœ¨å®¢æˆ·ç«¯ä¸­ä½¿ç”¨VLC media playerçš„å®¢æˆ·ç«¯æ¨¡å¼è¿žæŽ¥è‡³rtsp://10.0.0.1:8854/camera ,ä½¿ç”¨Wiresharkç›‘æŽ§å®¢æˆ·ç«¯å’ŒæœåŠ¡å™¨ä¹‹é—´çš„è§†é¢‘ä¼ è¾“,ç»“æžœå¦‚å›¾5.6æ‰€ç¤º,è¯´æ˜Žè§†é¢‘æœåŠ¡å™¨æ­å»ºæˆåŠŸä¸”å®¢æˆ·ç«¯èƒ½å¤Ÿä¸Žè§†é¢‘æœåŠ¡å™¨å»ºç«‹æ­£ç¡®çš„è¿žæŽ¥å¹¶æ­£å¸¸é€šä¿¡ã€‚

å›¾5.6 Wiresharkç›‘æŽ§çš„ä¼ è¾“æƒ…å†µå›¾5.3å®žéªŒä»¿çœŸä¸Žç»“æžœåˆ†æž

åŸºäºŽæœ¬æ–‡å¯¹è§†é¢‘æµåª’ä½“QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„ç ”ç©¶,è®¾è®¡äº†å››ç»„å®žéªŒåˆ†åˆ«å¯¹QoSè·¯ç”±è®¡ç®—çš„æœ‰æ•ˆæ€§ã€åŠ¨æ€è·¯ç”±çš„æœ‰æ•ˆæ€§ã€é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦çš„QoSæŽ§åˆ¶æ€§èƒ½ã€QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ€§èƒ½è¿›è¡Œä»¿çœŸéªŒè¯,ç”¨ä»¥è¯´æ˜ŽQoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥å¯¹è§†é¢‘æµä¼ è¾“æ€§èƒ½çš„æé«˜ã€‚

ä¸ºäº†æ¨¡æ‹ŸçœŸå®žç½‘ç»œä¸­çš„æµé‡æƒ…å†µ,åœ¨æ¯ä¸ªå®žéªŒå¼€å§‹ä¹‹å‰,åˆ†åˆ«ä½¿ç”¨iperf[51]ç”±server3ã€server4ã€ server5å‘client2å‘é€0.5Mbpsçš„èƒŒæ™¯æµ,åœ¨ä»¥åŽçš„å®žéªŒä¸­ä¸å†è¯´æ˜Žã€‚  
5.3.1 QoSè·¯ç”±è®¡ç®—æœ‰æ•ˆæ€§åˆ†æž

é“¾è·¯çš„æ—¶å»¶åæ˜ äº†å½“å‰é“¾è·¯çš„ä¼ è¾“æ•ˆçŽ‡,ä¸¢åŒ…çŽ‡åˆ™åæ˜ äº†é“¾è·¯æ•°æ®ä¼ è¾“çš„å¯é æ€§,å®ƒä»¬æ˜¯è¡¡é‡æµåª’ä½“ä¼ è¾“æ€§èƒ½çš„é‡è¦æŒ‡æ ‡,å…·æœ‰é«˜QoSè¦æ±‚çš„è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡åº”å°½é‡é€‰æ‹©æ—¶å»¶å°ã€ä¸¢åŒ…çŽ‡ä½Žçš„é“¾è·¯,ä»¥ä¿éšœå…¶å¯¹æœåŠ¡è´¨é‡çš„éœ€æ±‚ã€‚ä»¿çœŸå®žéªŒçš„æµç¨‹å¦‚ä¸‹:

1)ã€å¯åŠ¨æŽ§åˆ¶å™¨å’ŒMininetä»¿çœŸå·¥å…·,é€šè¿‡è„šæœ¬åˆ›å»ºå›¾5.2çš„å®žéªŒæ‹“æ‰‘,å¹¶è¿žæŽ¥æŽ§åˆ¶å™¨ã€‚

2)ã€åˆ†åˆ«åœ¨server2å’Œclient1å¯åŠ¨iperfå·¥å…·,é€šè¿‡å…¶æ¨¡æ‹Ÿå‘SDNç½‘ç»œä¸­ä¸æ–­å‘é€1Mbpsçš„å…¶ä»–ç±»åž‹ä¸šåŠ¡æµã€‚

3)ã€åˆ†åˆ«åœ¨server1å’Œclient1ä¸Šå¯åŠ¨VLCçš„æœåŠ¡ç«¯å’Œå®¢æˆ·ç«¯,é€šè¿‡SDNç½‘ç»œå‘é€å’ŒæŽ¥æ”¶è§†é¢‘æµåª’ä½“æ•°æ®æµã€‚

4)ã€é€šè¿‡æŽ§åˆ¶å™¨ç›‘æŽ§ç½‘ç»œä¸­è·¯å¾„çš„æ—¶å»¶ä¸Žä¸¢åŒ…çŽ‡å˜åŒ–æƒ…å†µ,å¹¶ä½¿ç”¨matplotlibåº“åˆ†åˆ«ç»˜åˆ¶é—ä¼ ç®—æ³•å’ŒDijstraç®—æ³•æ‰€é€‰è·¯å¾„ä¸Šçš„æ—¶å»¶ä¸Žä¸¢åŒ…çŽ‡çš„å˜åŒ–å›¾,å¦‚å›¾5.7å’Œ5.8æ‰€ç¤ºã€‚  
å›¾5.7æ—¶å»¶å˜åŒ–æƒ…å†µå›¾

å›¾5.8ä¸¢åŒ…çŽ‡å˜åŒ–æƒ…å†µä»Žå›¾ä¸­å¯ä»¥çœ‹å‡º,å½“è§†é¢‘æµå’Œå…¶ä»–ç±»åž‹çš„æµè¿›å…¥SDNç½‘ç»œä¸­ä¹‹åŽ,è·¯å¾„çš„æ—¶å»¶å’Œä¸¢åŒ…çŽ‡é€æ¸å˜å¤§,ä¸€æ®µæ—¶é—´ä¹‹åŽ,è™½ç„¶ä¸¤è€…éƒ½é€æ¸è¶‹äºŽç¨³å®š,ä½†æ˜¯ä½¿ç”¨é—ä¼ ç®—æ³•æ‰€é€‰è·¯å¾„çš„æ—¶å»¶å’Œä¸¢åŒ…çŽ‡éƒ½å°äºŽä½¿ç”¨Dijstraç®—æ³•æ‰€é€‰è·¯å¾„,å¹¶ä¸”ä½¿ç”¨é—ä¼ ç®—æ³•æ‰€é€‰è·¯å¾„çš„æ—¶å»¶å’Œä¸¢åŒ…çŽ‡å‡åœ¨è®¾å®šçš„QoSæŒ‡æ ‡èŒƒå›´å†…ã€‚å³ä¸¢åŒ…çŽ‡åœ¨20×10-3ä»¥å†…,æ—¶å»¶åœ¨10msä»¥å†…ã€‚ç»¼ä¸Šæ‰€è¿°,åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±è®¡ç®—æé«˜äº†è§†é¢‘æµçš„ä¼ è¾“æ€§èƒ½ã€‚  
5.3.2åŠ¨æ€è·¯ç”±æœ‰æ•ˆæ€§åˆ†æž

é—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±è®¡ç®—ä»…ä»…èƒ½ä¿è¯è§†é¢‘æµåœ¨åˆæ¬¡é€‰è·¯æ—¶æœ‰è¾ƒå¥½QoSä¿éšœ,ä½†æ˜¯ç½‘ç»œä¸­çš„çŽ¯å¢ƒæ˜¯å¤šå˜çš„,ä¸€æ—¦è§†é¢‘æµåœ¨ä¼ è¾“è¿‡ç¨‹ä¸­é‡åˆ°æ´ªå³°,è§†é¢‘æµçš„QoSå°†ä¼šå—åˆ°æžå¤§å½±å“,æ­¤æ—¶å¿…é¡»ä½¿ç”¨åŠ¨æ€è·¯ç”±ä¸ºå…¶ä¼˜åŒ–è·¯å¾„,æ‰èƒ½ä¿è¯å…¶QoSã€‚åŠ¨æ€è·¯ç”±çš„æœ‰æ•ˆæ€§åˆ†æž,é€šè¿‡ä¼ è¾“è¿‡ç¨‹ä¸­æ˜¯å¦ä½¿ç”¨äº†åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥,å¯¹æ¯”è§†é¢‘æµçš„æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨ã€åžåé‡ä»¥åŠPSNRçš„å˜åŒ–æƒ…å†µ,éªŒè¯åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥çš„æœ‰æ•ˆæ€§ã€‚ä¸ºäº†ä¾¿äºŽä»¿çœŸå®žéªŒçš„éªŒè¯,éœ€è¦å°†s1-s7-s8é“¾è·¯å¸¦å®½æé«˜,ä½¿åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•é€‰å‡ºçš„è·¯å¾„ä¸Žæœ€çŸ­è·³æ•°çš„è·¯å¾„ç›¸åŒ,å°†s1-s7é—´é“¾è·¯å¸¦å®½è®¾ç½®ä¸º2.8Mbps,s7-s8é—´é“¾è·¯å¸¦å®½è®¾ç½®ä¸º3Mbpsã€‚

æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨ç”¨äºŽè¡¡é‡ç½‘ç»œæ—¶å»¶çš„ç¨³å®šæ€§,åžåé‡ç”¨äºŽè¡¨æ˜Žå•ä½æ—¶é—´å†…æˆåŠŸä¼ è¾“çš„æ•°æ®å¤§å°ã€‚ç½‘ç»œæ‹¥å¡žä¼šå¯¼è‡´æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨è¿‡å¤§ä»¥åŠåžåé‡è¿‡å°,è‹¥æŒç»­æ—¶é—´è¿‡é•¿,å°†ä¼šå½±å“è§†é¢‘ç«¯åˆ°ç«¯çš„ä¼ è¾“ã€‚ä»¿çœŸå®žéªŒçš„æµç¨‹å¦‚ä¸‹:

1)ã€ä½¿ç”¨client1åˆ†åˆ«å‘è§†é¢‘æœåŠ¡å™¨server1çš„8854å’Œ8855ç«¯å£è¯·æ±‚åŠ¨æ€è§†é¢‘,å…¶ä¸­8854ç«¯å£çš„è§†é¢‘ä½¿ç”¨åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥,8855ç«¯å£çš„è§†é¢‘æµä¸ä½¿ç”¨åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥ã€‚ä½¿ç”¨iperfåˆ†åˆ«è®°å½•ä¸¤ç§è§†é¢‘æµä¼ è¾“è¿‡ç¨‹ä¸­çš„æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨å’Œåžåé‡ã€‚

2)ã€åœ¨æµåª’ä½“è§†é¢‘ä¼ è¾“çš„ç¬¬10s,é€šè¿‡iperfå·¥å…·æ¨¡æ‹Ÿå‘ç½‘ç»œä¸­å‘é€3Mbpsçš„å…¶ä»–ç±»åž‹ä¸šåŠ¡æµã€‚

3)ã€ä½¿ç”¨iperfç›‘æŽ§ç½‘ç»œä¸­çš„æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨å’Œåžåé‡çš„å˜åŒ–æƒ…å†µã€‚å›¾5.9ä¸Žå›¾5.10åˆ†åˆ«æè¿°äº†æœ‰æ— åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥æ—¶,è§†é¢‘æµçš„åžåé‡å’Œæ—¶å»¶æŠ–åŠ¨éšæ—¶é—´çš„å˜åŒ–è¶‹åŠ¿ã€‚

4)ã€åœ¨å®¢æˆ·ç«¯èŽ·å–å‰40sä¼ è¾“çš„è§†é¢‘,ä½¿ç”¨ffmpegè¿›è¡Œè§£ç ,å¹¶è®¡ç®—å‡ºä¸¤ä¸ªè§†é¢‘çš„å³°å€¼ä¿¡å™ªæ¯”( PSNR),æ¯”è¾ƒçš„ç»“æžœå¦‚å›¾5.11ã€‚  
å›¾5.9è§†é¢‘æµåœ¨ç½‘ç»œæ‹¥å¡žæ—¶æœ‰åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥çš„æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨ä¸Žåžåé‡å˜åŒ–å›¾

å›¾5.10è§†é¢‘æµåœ¨ç½‘ç»œæ‹¥å¡žæ—¶æ— åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥çš„æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨ä¸Žåžåé‡å˜åŒ–å›¾

å›¾5.11 PSNRå¯¹æ¯”å›¾

ä»Žå›¾5.9å’Œ5.10ä¸­å¯ä»¥çœ‹åˆ°,åœ¨ç¬¬10sæ—¶,ç”±äºŽç½‘ç»œä¸­æµé‡çš„å¢žåŠ ,è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„åžåé‡ç”±äºŽé“¾è·¯çš„æ‹¥å¡žè¿…é€Ÿä¸‹é™,å…¶æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨ä¹Ÿéšä¹‹å¢žåŠ ,è‹¥ä½¿ç”¨åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥,æŽ§åˆ¶å™¨ç›‘æµ‹åˆ°é“¾è·¯æ‹¥å¡žåŽ,é€šè¿‡æŽ§åˆ¶å™¨çš„åŠ¨æ€è·¯ç”±æœºåˆ¶,ä½¿ç”¨é—ä¼ ç®—æ³•é‡æ–°ä¸ºè§†é¢‘æµåª’ä½“è®¡ç®—ä¸€æ¡ç¬¦åˆQoSéœ€æ±‚çš„è·¯å¾„,å› æ­¤åœ¨13ç§’åŽè§†é¢‘æµåª’ä½“åžåé‡é€æ¸ä¸Šå‡,å…¶æ—¶å»¶æŠ–åŠ¨åœ¨4såŽå›žè½è‡³ç¨³å®šçŠ¶æ€ã€‚è€Œæœªä½¿ç”¨åŠ¨æ€è·¯ç”±ç­–ç•¥çš„,åªæ˜¯åœ¨æœ€åˆä¸ºè§†é¢‘æµåª’ä½“é€‰å‡ºä¸€æ¡ç¬¦åˆéœ€æ±‚QoSéœ€æ±‚çš„è·¯å¾„,å¹¶æœªåœ¨ç½‘ç»œçŠ¶æ€å‘ç”Ÿå˜åŒ–æ—¶åŠ¨æ€æ”¹å˜ä¼ è¾“è·¯å¾„,å„ä¸ªç­‰çº§çš„æ•°æ®å¹³ç­‰çš„äº‰å¤ºè·¯å¾„ä¸­é“¾è·¯çš„å¸¦å®½,å› æ­¤åœ¨ç½‘ç»œæ‹¥å¡žåŽ,ç½‘ç»œä¸­æ‰€æœ‰æ•°æ®æµ"äº’ä¸ç›¸è®©",è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„åžåé‡åœ¨18ç§’åŽæ‰é€æ¸å‘ç¨³å®šçŠ¶æ€æ¢å¤,è€Œå»¶æ—¶æŠ–åŠ¨ä¹Ÿæ˜¯ç»åŽ†äº†ä¸¤æ¬¡è·³è·ƒæ‰æ¢å¤è‡³ç¨³å®šã€‚

å³°å€¼ä¿¡å™ªæ¯”PSNR(Peak Signal Noise Ratio)æ˜¯è¯„ä»·è§†é¢‘è´¨é‡æœ€é€šç”¨çš„æ ‡å‡†ã€‚ä»Žå›¾5.11ä¸­ä¸¤ä¸ªè§†é¢‘æµçš„PSNRå¯¹æ¯”å¯çŸ¥,å½“è§†é¢‘æµå‡ºçŽ°ä¸‹é™æ—¶,å³ä¼ è¾“è·¯å¾„ä¸­æ³¨å…¥å¤§é‡å…¶ä»–ç±»åž‹çš„ä¸šåŠ¡æµå¯¼è‡´è§†é¢‘æµä¼ è¾“å‡ºçŽ°æ‹¥å¡žæ—¶,åŠ¨æ€è·¯ç”±æœºåˆ¶èƒ½å¤Ÿä½¿è§†é¢‘æµçš„ä¼ è¾“çŠ¶æ€åœ¨è¾ƒçŸ­çš„æ—¶é—´å†…æ¢å¤,è€Œæ²¡æœ‰ä½¿ç”¨åŠ¨æ€è·¯ç”±æœºåˆ¶çš„è§†é¢‘æµåˆ™æ¢å¤çš„è¾ƒæ…¢ã€‚ä¸¤ä¸ªè§†é¢‘æµçš„PSNRå¯¹æ¯”åŒæ ·éªŒè¯äº†åŠ¨æ€è·¯ç”±æœºåˆ¶çš„æœ‰æ•ˆæ€§ã€‚  
5.3.3é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦çš„QoSæŽ§åˆ¶æ€§èƒ½æµ‹è¯•

ä¼ è¾“é€ŸçŽ‡æ˜¯QoSçš„é‡è¦æŒ‡æ ‡,ä¸šåŠ¡æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡ä¸Žå‘é€é€ŸçŽ‡æ˜¯å¦ç›¸åŒåæ˜ äº†ç½‘ç»œæ˜¯å¦æä¾›ä¸šåŠ¡æµæœ€å¥½çš„ä¼ è¾“ä¿éšœã€‚æœ¬æ¬¡æ€§èƒ½æµ‹è¯•èŽ·å–åœ¨ä¸åŒå‘é€é€ŸçŽ‡ä¸‹,åˆ†ç±»ä¸šåŠ¡çš„æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡,ä»¥æ£€æµ‹æ‰€æå‡ºçš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦èƒ½å¦ä¼˜å…ˆä¿éšœè§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡çš„QoSã€‚

ä¸ºäº†æµ‹è¯•è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„æŽ§åˆ¶æ€§èƒ½,é¦–å…ˆæŽ’é™¤ç›‘æŽ§è§†é¢‘é€ŸçŽ‡çš„ä¸ç¨³å®šæ€§,ä¸ºæ­¤å››ç§ä¼˜å…ˆçº§ä¸åŒçš„æ•°æ®æµéƒ½ç”±iperfæ¥æ¨¡æ‹Ÿ;å…¶æ¬¡éœ€è¦æŽ’é™¤QoSè·¯ç”±çš„å¹²æ‰°,ä¸ºæ­¤ä½¿ç”¨Dijstraç®—æ³•åŸºäºŽè·³æ•°ä¸ºæ•°æ®æµè®¡ç®—è·¯å¾„ã€‚å½“server1å‘client1å‘é€æŠ¥æ–‡æ—¶,ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡å°†é€šè¿‡è·¯å¾„server1->s1->s7->s8->client1è¿›è¡Œä¼ è¾“ã€‚ç”±äºŽèƒŒæ™¯æµä¼ è¾“è·¯å¾„ä¸å›ºå®š,å› æ­¤éœ€è¦å¯¹æ‰€æœ‰äº¤æ¢æœºçš„å‡ºç«¯å£è¿›è¡Œé˜Ÿåˆ—ç­–ç•¥çš„é…ç½®,åŒæ—¶è®¾ç½®äº¤æ¢æœºé—´çš„é“¾è·¯å¸¦å®½ä¸º16Mbpsã€‚å›¾5.12æ˜¯é…ç½®çš„ä¸€ä¸ªç«¯å£é˜Ÿåˆ—è§„åˆ™ç¤ºæ„å›¾,å…¶ä»–äº¤æ¢æœºç«¯å£é˜Ÿåˆ—è§„åˆ™é…ç½®ä¸Žå…¶ä¸€æ ·ã€‚

å›¾5.12é˜Ÿåˆ—è§„åˆ™é…ç½®å›¾server1ä½¿ç”¨iperfå·¥å…·å‘client1å‘é€6ç»„UDPæŠ¥æ–‡,æ¯ç»„æŠ¥æ–‡å‘é€é€ŸçŽ‡ä»Ž1000kbpsé€’å¢žåˆ°7000kbps,é€’å¢žçš„æ¢¯åº¦ä¸º1000kbps,ç»„å†…ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡å‘é€é€ŸçŽ‡ç›¸åŒ,æ¯ç»„æŠ¥æ–‡ä¼ è¾“æ—¶é—´ä¸º2åˆ†é’Ÿ,æœ€åŽè®°å½•å®¢æˆ·ç«¯çš„å¹³å‡æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡ã€‚å›¾5.13å±•ç¤ºäº†æœªé…ç½®è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„æƒ…å†µä¸‹ä¸åŒç­‰çº§ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡çš„æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡;å›¾5.14å±•ç¤ºäº†é…ç½®äº†è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„æƒ…å†µä¸‹ä¸åŒç­‰çº§ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡çš„æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡ã€‚  
å›¾5.13æœªé…ç½®è°ƒåº¦ç­–ç•¥æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡å›¾

å›¾5.14é…ç½®è°ƒåº¦ç­–ç•¥æŽ¥æ”¶ç­–ç•¥å›¾

ä»Žå›¾5.13ä¸­å¯ä»¥çœ‹åˆ°,åœ¨æ²¡æœ‰é…ç½®ç«¯å£è°ƒåº¦ç­–ç•¥æ—¶,ä¸åŒç§ç±»ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡çš„æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡å’Œå‘é€é€ŸçŽ‡åŸºæœ¬ä¿æŒä¸€è‡´,å½“å‘é€é€ŸçŽ‡ä¸º4000Kbps çš„æ—¶å€™,ä¼ è¾“é“¾è·¯å‡ºçŽ°äº†æ‹¥å¡ž,æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡è¾¾åˆ°äº†æœ€å¤§å€¼;åœ¨å‘é€é€ŸçŽ‡è¶…è¿‡4000Kbps åŽ,éšç€å‘é€é€ŸçŽ‡çš„å¢žåŠ ,4ç§ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡çš„æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡åœ¨3800 Kbps ä¸Šä¸‹æ‘†åŠ¨ã€‚è¿™è¡¨æ˜Ž,åœ¨æœªé…ç½®ç«¯å£è°ƒåº¦ç­–ç•¥æ—¶,ç½‘ç»œå¯¹4ç§ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡çš„æŠ¥æ–‡ä»…ä»…åªæä¾›äº†å°½åŠ›è€Œä¸ºçš„æœåŠ¡,å¹¶æ²¡æœ‰åŒºåˆ†ä¿éšœå®ƒä»¬çš„QoSã€‚

ä»Žå›¾5.14ä¸­å¯ä»¥çœ‹åˆ°,åœ¨é…ç½®è°ƒåº¦ç­–ç•¥åŽ,éšç€æŠ¥æ–‡å‘é€é€ŸçŽ‡çš„å¢žå¤§,ä¼˜å…ˆçº§æœ€ä½Žçš„æ•°æ®åŒæ­¥ç±»ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡,å®ƒçš„æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡æœ€å…ˆé™ä½Ž;ä¼˜å…ˆçº§ç¬¬ä¸‰çš„äº‹åŠ¡å¤„ç†ç±»æŠ¥æ–‡åœ¨å‘é€é€ŸçŽ‡è¶…è¿‡3000Kbpsæ—¶,å…¶æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡å¼€å§‹ä¸‹é™;ä¼˜å…ˆçº§æ¬¡é«˜çš„å…³é”®æ•°æ®ç±»ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡åœ¨å‘é€é€ŸçŽ‡å¤§äºŽ5000Kbpsæ—¶å¼€å§‹ä¸‹é™;è€Œä¼˜å…ˆçº§æœ€é«˜çš„è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡,å…¶æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡éšç€å‘é€é€ŸçŽ‡çš„å¢žåŠ ä¸€ç›´æŒç»­å¢žæ¶¨ã€‚

ä»Žå›¾5.11é˜Ÿåˆ—é…ç½®å›¾ä¸­å¯ä»¥çœ‹åˆ°,ä¼˜å…ˆçº§æœ€ä½Žçš„æ•°æ®åŒæ­¥ç±»ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡è®¾ç½®çš„æœ€å¤§ä¼ è¾“é€ŸçŽ‡ä¸º900Kbpsä½†æ˜¯åœ¨å‘é€é€ŸçŽ‡ä¸º2000Kbpsçš„æ—¶å€™,å…¶æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡ä¹Ÿä¸º2000Kbps,æ˜¯å› ä¸ºç½‘ç»œä¸­çš„å¸¦å®½è¿˜æœ‰å¾ˆå¤§çš„ç›ˆä½™,HTBå¯ç”¨äº†å€Ÿå¸¦å®½çš„ç­–ç•¥ç”¨äºŽä¿è¯å…¶ä¼ è¾“,ä½†æ˜¯éšç€å‘é€çš„æŠ¥æ–‡çš„é€ŸçŽ‡é€æ¸å¢žå¤§,è€ŒåŒæ­¥ç±»ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡å´é€æ¸å‡å°,æ˜¯å› ä¸ºç½‘ç»œä¸­çš„å‰©ä½™å¸¦å®½é€æ¸å‡å°‘,ä¸ºä¼˜å…ˆä¿è¯é«˜ç­‰çº§çš„æŠ¥æ–‡ä¼ è¾“,é€æ¸å¢žåŠ äº†å¯¹åŒæ­¥ç±»æŠ¥æ–‡çš„é™åˆ¶,ä¸”ç”±äºŽå…¶ä¼˜å…ˆçº§æœ€ä½Ž,æ‰€ä»¥å…¶æŽ¥æ”¶é€ŸçŽ‡æœ€å…ˆè¢«é™åˆ¶ã€‚

ç»¼åˆä»¥ä¸Šåˆ†æž,ç­‰çº§è¶Šé«˜çš„ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡,å®ƒçš„QoSè¶Šèƒ½ä¼˜å…ˆå¾—åˆ°ä¿éšœ,è¿™è¯´æ˜ŽåŒºåˆ†ä¸šåŠ¡çº§åˆ«çš„ç«¯å£è°ƒåº¦ç­–ç•¥å¯ä»¥ä¿éšœä¸åŒç­‰çº§ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡çš„ä¸åŒQoSéœ€æ±‚ã€‚  
5.3.4 QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥æ€§èƒ½åˆ†æž

ä¸Šè¿°ä¸‰ä¸ªå®žéªŒä»Žä¸‰ä¸ªæ–¹é¢éªŒè¯äº†QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥å¯¹è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¼ è¾“æ€§èƒ½çš„æé«˜,æœ¬å®žéªŒå°†å…¶ç»¼åˆèµ·æ¥,ä»¥éªŒè¯QoSæŽ§åˆ¶æ¡†æž¶çš„æ•´ä½“ä¼ è¾“æ€§èƒ½ã€‚

1)ã€è®¾ç½®é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦è§„åˆ™,å›¾5.15æ˜¯é…ç½®çš„ä¸€ä¸ªç«¯å£é˜Ÿåˆ—è§„åˆ™ç¤ºæ„å›¾,å…¶ä»–äº¤æ¢æœºç«¯å£é˜Ÿåˆ—è§„åˆ™é…ç½®æ“ä½œä¸Žå…¶ä¸€æ ·ã€‚ç«¯å£çš„é…ç½®è§„åˆ™ä¸ºè§†é¢‘æµåª’ä½“ã€å…¶ä»–ä¸‰ä¸ªç­‰çº§ä¸šåŠ¡æµåŠèƒŒæ™¯æµæ‰€å å¸¦å®½åˆ†åˆ«æ˜¯æ ¹å¸¦å®½çš„50%ã€20%ã€15%ã€10%ä»¥åŠ5%ã€‚

å›¾5.15é˜Ÿåˆ—è§„åˆ™é…ç½®å›¾2)ã€åˆ†åˆ«åœ¨server2å’Œclient1å¯åŠ¨iperfå·¥å…·,é€šè¿‡å…¶æ¨¡æ‹Ÿå‘SDNç½‘ç»œä¸­ä¸æ–­å‘é€å…¶ä»–ç±»åž‹çš„ä¸šåŠ¡æµã€‚å…¶ä»–ç±»åž‹çš„æ•°æ®æµç›¸å…³è®¾ç½®å¦‚è¡¨5.2æ‰€ç¤ºã€‚  
è¡¨5.2æ•°æ®æµç›¸å…³è®¾ç½®

æ•°æ®æµç±»åž‹å‘é€é€ŸçŽ‡å‘é€ç«¯å£TOSå€¼å…³é”®æ•°æ®ç±»ä¸šåŠ¡0.4Mbps500096äº‹åŠ¡å¤„ç†ç±»ä¸šåŠ¡0.4Mbps500164æ•°æ®åŒæ­¥ç±»ä¸šåŠ¡0.4Mbps5002323)ã€åˆ†åˆ«åœ¨server1å’Œclient1ä¸Šå¯åŠ¨VLCçš„æœåŠ¡ç«¯å’Œå®¢æˆ·ç«¯,é€šè¿‡SDNç½‘ç»œå‘é€å’ŒæŽ¥æ”¶è§†é¢‘æµåª’ä½“æ•°æ®æµã€‚

4)ã€ä½¿ç”¨iperfç›‘æŽ§ç½‘ç»œä¸­ä¸šåŠ¡æµçš„åžåé‡å˜åŒ–æƒ…å†µ,å›¾5.16ä¸ºç½‘ç»œä¸­ä¸šåŠ¡æµçš„åžåé‡å˜åŒ–æƒ…å†µã€‚

å›¾5.16åžåé‡å˜åŒ–æƒ…å†µä»Žå›¾5.16ä¸­å¯ä»¥çœ‹å‡º,Q2ã€Q3ä»¥åŠQ4ä¸‰ç§ä¸šåŠ¡æµçš„å‘é€é€ŸçŽ‡ç›¸åŒ,å³0.4Mbps;ä¼ è¾“çš„è·¯å¾„ä¹Ÿç›¸åŒ,å³è·³æ•°æœ€çŸ­è·¯å¾„;åžåé‡å´ä¾æ¬¡é™ä½Ž,è¿™æ˜¯å› ä¸ºåœ¨äº¤æ¢æœºçš„å„ä¸ªç«¯å£å¯¹ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§çš„ä¸šåŠ¡æµçš„é€ŸçŽ‡ä»¥åŠå‡ºç«¯å£çš„é¡ºåºè¿›è¡Œäº†è®¾ç½®,å¦‚å›¾5.15æ‰€ç¤º,è¿™è¯´æ˜Žé˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥å¯ä»¥æ ¹æ®ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡çš„ç±»åž‹ä¿è¯å…¶QoSã€‚é€šè¿‡è§†é¢‘æµçš„åžåé‡ä¸Žå…¶ä»–ä¸‰ç§ä¸šåŠ¡æµçš„åžåé‡å¯¹æ¯”å¯çœ‹å‡º,åœ¨ç½‘ç»œæ¡ä»¶ç›¸åŒçš„æƒ…å†µä¸‹,è§†é¢‘æµçš„çš„åžåé‡é«˜äºŽå…¶ä»–ä¸‰ç§ä¸šåŠ¡æµ,è¿™è¯´æ˜Žä½¿ç”¨åŸºäºŽé—ä¼ ç®—æ³•çš„QoSè·¯ç”±å¯ä»¥ä¸ºè§†é¢‘æµé€‰æ‹©æ€§èƒ½æ›´å¥½çš„çš„è·¯å¾„è¿›è¡Œä¼ è¾“ã€‚  
5.4æœ¬ç« å°ç»“

æœ¬ç« æ˜¯å¯¹é’ˆå¯¹æœ¬æ–‡æå‡ºçš„QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥è¿›è¡Œä»¿çœŸå®žéªŒåˆ†æžã€‚é¦–å…ˆå¯¹å®žéªŒçš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘åŠç›¸å…³è®¾ç½®è¿›è¡Œè¯´æ˜Žã€‚ç„¶åŽå¯¹QoSè·¯ç”±ã€åŠ¨æ€è·¯ç”±ã€é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥ä»¥åŠæ•´ä½“æŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„æœ‰æ•ˆæ€§è¿›è¡Œäº†åˆ†æžã€‚é€šè¿‡ç›¸åº”QoSæŒ‡æ ‡å¯¹æ¯”è¡¨æ˜Ž,æœ¬æ–‡çš„QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥å¯ä»¥è¾ƒå¥½åœ°ä¿éšœè§†é¢‘æµåª’ä½“çš„ä¼ è¾“æ€§èƒ½,å¹¶å¯æ ¹æ®ä¸šåŠ¡ä¼˜å…ˆçº§çš„ä¸åŒ,åœ¨ç«¯å£ä¿éšœä¸åŒä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡æŠ¥æ–‡çš„QoSã€‚  
6æ€»ç»“ä¸Žå±•æœ›

6.1å…¨æ–‡å·¥ä½œæ€»ç»“

éšç€ç½‘ç»œæŠ€æœ¯çš„å‡çº§åˆ›æ–°,ç½‘ç»œä¸Šçš„ä¸šåŠ¡æµå°†ä¼šè¶Šæ¥è¶Šå¤š,æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡çš„åº”ç”¨ä¹Ÿå°†ä¼šé€æ¸å æ®ç€ç½‘ç»œæµé‡çš„åŠå£æ±Ÿå±±,è¿™ç±»ä¸šåŠ¡å¯¹QoSçš„éœ€æ±‚éžå¸¸ä¸¥æ ¼ã€‚ç„¶è€Œä¼ ç»Ÿçš„ç½‘ç»œæž¶æž„å´å­˜åœ¨ç€è¯¸å¤šä¸èƒ½æ»¡è¶³æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡ä¼ è¾“çš„å¼Šç«¯,å¯¼è‡´æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡çš„ä¼ è¾“æ€§èƒ½è¾ƒå·®ã€‚è€ŒSDNç½‘ç»œæž¶æž„è½¬æŽ§åˆ†ç¦»ã€å¯ç¼–ç¨‹çš„ç‰¹ç‚¹,ç®€åŒ–äº†ç½‘ç»œç®¡ç†çš„å¤æ‚æ€§,å¹¶èƒ½çµæ´»åœ°è°ƒç”¨ç½‘ç»œèµ„æº,ä¸Žä¼ ç»Ÿçš„ç½‘ç»œç›¸æ¯”,ä¸ºæé«˜æµåª’ä½“è§†é¢‘ä¼ è¾“æä¾›äº†å¯è¡Œçš„æ–¹æ¡ˆã€‚å› æ­¤æœ¬æ–‡åŸºäºŽSDNæŠ€æœ¯,é€šè¿‡å°†æ™ºèƒ½ç®—æ³•åº”ç”¨åˆ°SDNç½‘ç»œä»¥åŠå°†æ–°çš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç®—æ³•åº”ç”¨åˆ°åº•å±‚è½¬å‘è®¾å¤‡ä¸Š,æé«˜è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„ä¼ è¾“æ€§èƒ½ã€‚é€šè¿‡ä»¥ä¸Šçš„ä»‹ç»,æœ¬æ–‡ä¸»è¦ç ”ç©¶å·¥ä½œå†…å®¹å¦‚ä¸‹:

ç¬¬ä¸€,æŽ§åˆ¶å±‚çš„QoSè·¯ç”±æŽ§åˆ¶ç­–ç•¥ã€‚QoSè·¯ç”±ç­–ç•¥åˆ©ç”¨SDNç½‘ç»œçš„å¯ç¼–ç¨‹æ€§ä»¥åŠèƒ½å¤Ÿå‘¨æœŸåœ°èŽ·å¾—ç½‘ç»œé“¾è·¯ä¿¡æ¯çš„ç‰¹ç‚¹,å°†é—ä¼ ç®—æ³•åº”ç”¨äºŽQoSè·¯ç”±é€‰è·¯,å¹¶èƒ½æ‰§è¡ŒåŠ¨æ€è·¯ç”±çš„ç­–ç•¥,åœ¨ç½‘ç»œæ‹¥å¡žæ—¶,ä¸ºè§†é¢‘æµåª’ä½“è®¡ç®—æ–°çš„ä¼ è¾“è·¯å¾„,åŒæ—¶ä¼˜åŒ–äº†æµè¡¨æ›´æ–°é¡ºåº,è§£å†³äº†æµè¡¨ä¸€è‡´æ€§é—®é¢˜,é¿å…ç”±åŠ¨æ€è·¯ç”±é€ æˆçš„æµä¼ è¾“ä¸­æ–­ä»¥åŠä¸¢åŒ…ç­‰é—®é¢˜ã€‚

ç¬¬äºŒ,è½¬å‘å±‚çš„é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥ã€‚é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç­–ç•¥æ ¹æ®HTBè°ƒåº¦è§„åˆ™åœ¨è½¬å‘ç«¯å£å¤„ç»™è§†é¢‘æµåª’ä½“åˆ†é…è¾ƒå¤§å¸¦å®½å¹¶ç»™äºˆä¼˜å…ˆè½¬å‘çš„"æƒåˆ©",åœ¨åº•å±‚ä¿è¯è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¸šåŠ¡QoS;ä¸”åœ¨å¸¦å®½å……è¶³çš„æ—¶å€™,ä¸åŒä¼˜å…ˆçº§çš„ä¸šåŠ¡å¯ä»¥ç›¸äº’å€Ÿå¸¦å®½,ä¿éšœä¸åŒä¼˜å…ˆçº§ä¸šåŠ¡çš„QoSã€‚

ç¬¬ä¸‰,é€šè¿‡ Ryuã€Mininet ç­‰è½¯ä»¶æˆåŠŸæ¨¡æ‹Ÿäº†ç½‘ç»œå®žéªŒçŽ¯å¢ƒ,åœ¨æ–‡ä¸­ç»™å‡ºäº†è¯¦ç»†çš„é€»è¾‘æž¶æž„ä»¥åŠç‰©ç†æ‹“æ‰‘å’Œè½¯ä»¶å®žçŽ°çš„è¿‡ç¨‹ã€‚åœ¨çŽ¯å¢ƒä¸­å®žçŽ°äº†æœ¬æ–‡çš„æŽ§åˆ¶ç­–ç•¥,ä»Žç®—æ³•é€‰è·¯çš„ä¼˜è¶Šæ€§ã€åŠ¨æ€è·¯ç”±çš„æœ‰æ•ˆæ€§ã€åº•å±‚è°ƒåº¦ç­–ç•¥çš„å®žçŽ°ä»¥åŠQoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥çš„æœ‰æ•ˆæ€§åšå‡ºäº†æµ‹è¯•ã€‚å®žéªŒè¡¨æ˜Ž,æœ¬æ–‡æå‡ºçš„æŽ§åˆ¶ç­–ç•¥,èƒ½å¤Ÿè¾ƒå¥½åœ°æé«˜è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„ä¼ è¾“æ€§èƒ½,é™ä½Žæ‹¥å¡žé€ æˆçš„è§†é¢‘ä¸æµç•…ç­‰é—®é¢˜,è¾¾åˆ°äº†ä¼˜åŒ–è§†é¢‘æµåª’ä½“ä¼ è¾“æ€§èƒ½çš„ç›®çš„ã€‚  
6.2ä¸è¶³ä¸Žå±•æœ›

æœ¬æ–‡åˆ©ç”¨SDNç½‘ç»œæž¶æž„çš„å¯ç¼–ç¨‹æ€§åŠå¯å‘¨æœŸèŽ·å–é“¾è·¯ä¿¡æ¯çš„ç‰¹ç‚¹,æå‡ºäº†è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„QoSæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥,æ¯”è¾ƒæœ‰æ•ˆåœ°æé«˜äº†è§†é¢‘æµåª’ä½“çš„ä¼ è¾“æ€§èƒ½ã€‚ä½†å°šæœ‰ä¸è¶³ä¹‹å¤„éœ€è¦è¿›ä¸€æ­¥å®Œå–„å’Œæ”¹è¿›ã€‚ä¸»è¦åŒ…æ‹¬:

ç¬¬ä¸€,åœ¨äº¤æ¢æœºå±‚é¢é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ä¸­åªå®žçŽ°äº† DWRR è°ƒåº¦ç®—æ³•,ä»ŠåŽé‡ç‚¹æ”¹è¿›çš„åœ°æ–¹æ˜¯åŠ å…¥éšæœºå…¬å¹³é˜Ÿåˆ— SQF ç­‰é˜Ÿåˆ—è®¾ç½®,å¹¶ä¸”åœ¨äº¤æ¢æœºç«¯å£è½¬å‘ä¸­æ·»åŠ å¯åŠ¨æ€é…ç½®é˜Ÿåˆ—è°ƒåº¦ç®—æ³•çš„åŠŸèƒ½ã€‚

ç¬¬äºŒ,æœ¬æ–‡ä½¿ç”¨çš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ç»“æž„å•ä¸€,è€ŒçœŸå®žçš„ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘è§„æ¨¡è¾ƒå¤§ä¸”ç»“æž„ç›¸å¯¹å¤æ‚,å¦‚å…¸åž‹æ•°æ®ä¸­å¿ƒç½‘ç»œç»“æž„,å› æ­¤æœ¬æ–‡æ‰€æ¶‰åŠè§†é¢‘æµä¼ è¾“æŽ§åˆ¶è¿˜éœ€è¦åœ¨å…¶ä»–å¤æ‚ç½‘ç»œæ‹“æ‰‘ä¸­è¿›è¡ŒéªŒè¯ã€‚  
ç¬¬ä¸‰,æ•´ä¸ªæŽ§åˆ¶ç­–ç•¥åªæ˜¯åœ¨æ¨¡æ‹ŸçŽ¯å¢ƒè¿›è¡Œäº†å®žçŽ°,æ²¡æœ‰å®žé™…åœ¨çœŸå®žçŽ¯å¢ƒä¸­åŽ»éƒ¨ç½²,å¯ä»¥è€ƒè™‘ç§»æ¤åˆ°çœŸå®žç½‘ç»œä¸­è¿›è¡Œæµ‹è¯•æ”¹è¿›ã€‚