OmniUPF □□□□

□□

1. □□
2. □□ 5G □□□□□□□
3. UPF □□
4. PFCP □□□ SMF □□
5. □□□□
6. □□□□
7. □□□□
8. □□□

□□

OmniUPF□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□ 5G/LTE □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□QoS □□□□□ □□□□□□□□□□ Linux eBPF□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

OmniUPF □□□□

□□□□□□□

- □□□□ 3GPP □□□□□□□□□□□□□□
- □□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□□
- GTP-U□GPRS □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□ IPv4 □ IPv6 □□
- XDP□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□

QoS □□□□□□□

- □□□□□ QoS □□□□□QER□
- □□□□□□□□□□□□PDR□
- □□□□□□□□□□□□□FAR□
- □□□□□□□□□□□□□□SDF□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□URR□

□□□□□□□□□

- PFCP□□□□□□□□□□□□□□□ SMF/PGW-C
- □□□□□□□□ RESTful API
- □□□□□□□□
- eBPF □□□□□□
- □□ Web □□□□□

□□□□□

- □□ eBPF □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□
- □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□ Web UI □□□

□□□□□□□□

OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□□□ 5G □□□SA□□5G NSA □ 4G LTE/EPC □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□**OmniUPF** □□□□□□□□□□□□□□□□□

- **UPF**□□□□□□□□□ - 5G/NSA □□□□□□□□ N4/PFCP □ OmniSMF □□□
- **PGW-U□PDN** □□□□□□□□ - 4G EPC □□□□□□□□□□□ Sxc/PFCP □ OmniPGW-C □□□
- **SGW-U**□□□□□□□□□□□ - 4G EPC □□□□□□□□ Sxb/PFCP □ OmniSGW-C □□□

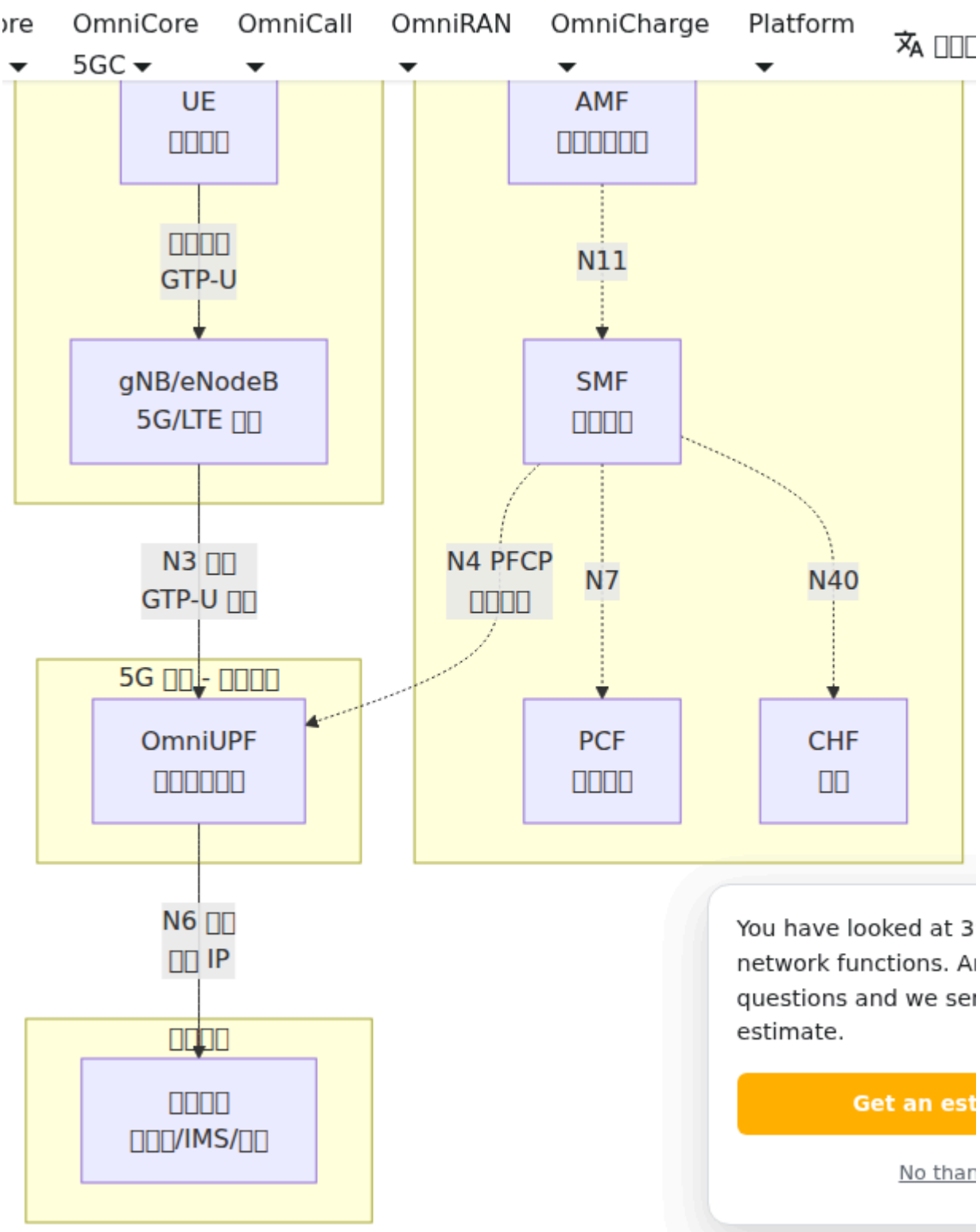
OmniUPF □□□ □□□□ □□□□□□□□□□

- □ **UPF**□□ 5G □□
- **PGW-U + SGW-U**□□□ 4G □□□□□□ EPC □□□
- **UPF + PGW-U + SGW-U**□□□□□ 4G □ 5G□□□□□□

□□□□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□ PFCP □□□□□□□□ UPF□PGW-U□SGW-U □□□□□□□□□□□□□□□□

5G □□□□□SA □□□

OmniUPF □□□□□□ 5G □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

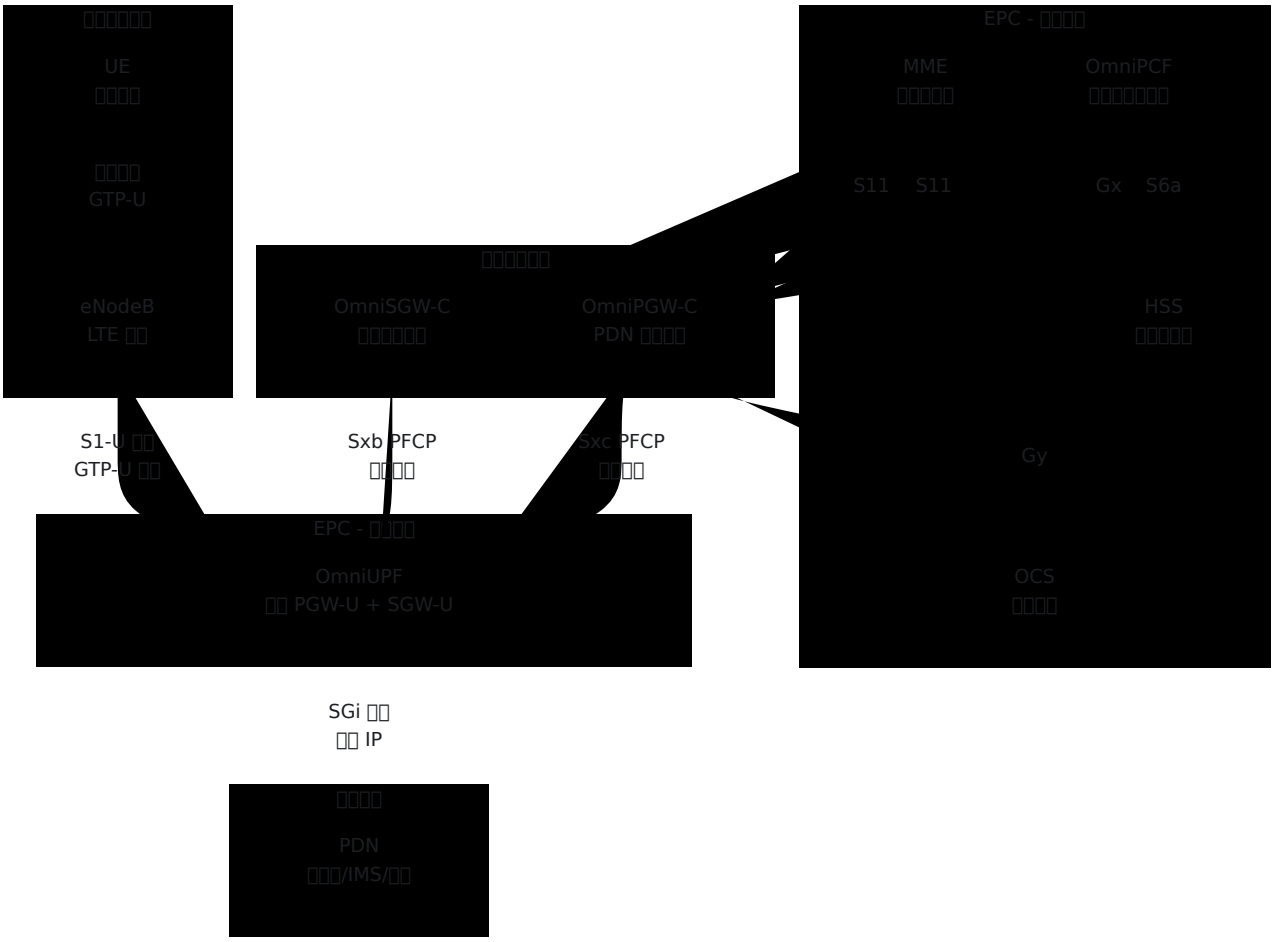


4G LTE/EPC

OmniUPF 4G LTE EPC OmniPGW-U OmniSGW-U

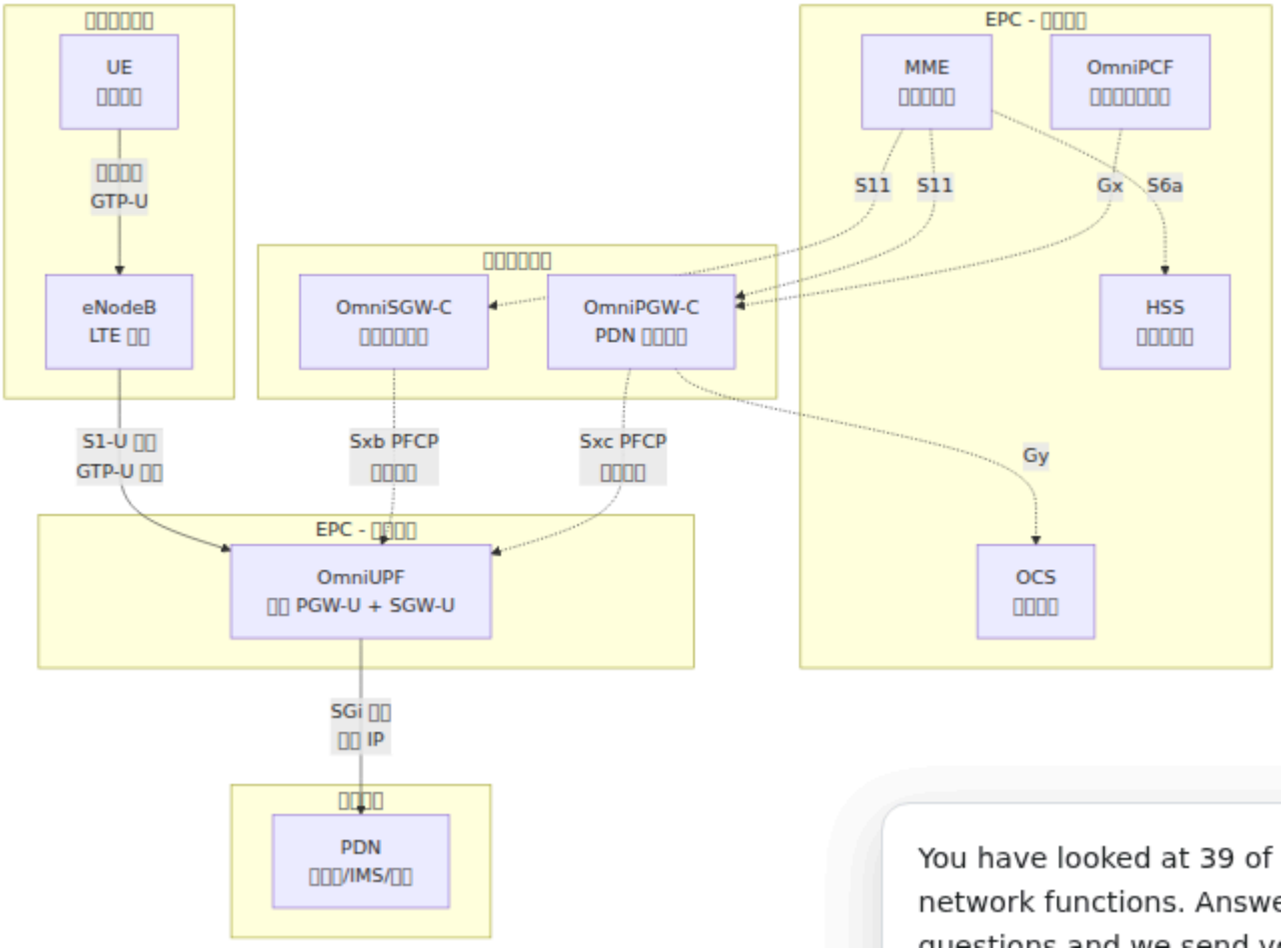
□□ PGW-U/SGW-U □□□□□□□ 4G □□□

□□□□□□□OmniUPF □□□□□ SGW-U □ PGW-U□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□



□□□ SGW-U □ PGW-U □□□□□□/□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□ - □□□□□ SGW-U□□□□□□ PGW-U□



□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□OmniUPF□OmniPGW-U □ OmniSGW-U□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

1. □□□□

   - **5G**□OmniSMF □□ N4 □□□ OmniUPF □□ PFCP □□
   - **4G**□OmniPGW-C □ OmniSGW-C □□ Sxb/Sxc □ OmniPGW-U/OmniSGW-U □ □ PFCP □□
   - □□□□□□□□ UE PDU □□□5G□□ PDP □□□□4G□□□ PFCP □□
   - □□□□□□□ PFCP □□ PDR□FAR□QER □ URR □□
   - eBPF □□□□□□□□□

2. □□□□□□□□□UE → □□□□□□

   - **5G**□□□□□□□ N3 □□□ gNB □□□□□□ GTP-U □□
   - **4G**□□□□□□□ S1-U □□□SGW-U□□ S5/S8 □□□PGW-U□□ eNodeB □□□□□□ GTP-U □□

- □□□□□□□ TEID □□□□□□□□ PDR □□
- eBPF □□□□ QER□□□□□□□□□□
- FAR □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□ GTP-U □□□□□□□□□□ N6□5G□□ SGi□4G□□□
- URR □□□□□□□□□□□□□□□□□□

3. □□□□□□□□□□□□□ → UE□

- **5G**□□□□□□□ N6 □□□□□□□ IP □□
- **4G**□□□□□□□ SGi □□□□□□□ IP □□
- □□□□□□□ UE IP □□□□□□□□□□ PDR □□
- SDF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- FAR □□ GTP-U □□□□□□□□
- □□□□ TEID □ GTP-U □□
- **5G**□□□□□□□□ N3 □□□□ gNB
- **4G**□□□□□□□□ S1-U□SGW-U□□ S5/S8□PGW-U□□□ eNodeB

4. □□□□□□

- **5G**□OmniSMF □□□□□□□□□ PDR/FAR □□
- **4G**□OmniSGW-C/OmniPGW-C □ eNodeB □□□□□ TAU□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□4G □ 5G□

OmniUPF □□□□□ 3GPP □□□ 5G □ 4G □□□□□□□□□□

5G □□

□□	□ → □	□□	**3GPP □□**
N4	OmniSMF ↔ OmniUPF	PFCP □□□□□□□□□□	TS 29.244
N3	gNB → OmniUPF	□□ RAN □□□□□□□□GTP-U□	TS 29.281
N6	OmniUPF → □□□□	□ DN □□□□□□□□□□ IP□	TS 23.501
N9	OmniUPF ↔ OmniUPF	□□/□□□□ UPF □□	TS 23.501

4G/EPC □□

□□	□ → □	□□	**3GPP □□**
Sxb	OmniSGW-C ↔ OmniUPF□SGW-U □□□	□□□□□ PFCP □□□□	TS 29.244
Sxc	OmniPGW-C ↔ OmniUPF□PGW-U □□□	PDN □□□ PFCP □□□□	TS 29.244
S1-U	eNodeB → OmniUPF□SGW-U □□	□□ RAN □□□□□□□□□GTP-U□	TS 29.281
S5/S8	OmniUPF□SGW-U□↔ OmniUPF□PGW-U□	□□□□□□□□□GTP-U□	TS 29.281
SGi	OmniUPF□PGW-U □□□→ PDN	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□IP□	TS 23.401

□□□□□ PFCP □□N4□Sxb□Sxc□□□ TS 29.244 □□□□□□□ PFCP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

UPF □□

eBPF □□□□

eBPF □□□□□□□□□ Linux □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

- **GTP-U** □□□GTP-U □□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□ TEID□UE IP □ SDF □□□□□□□□□ PDR □□□□
- **QoS** □□□□□□ QER □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□ FAR □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□ URR □□□

eBPF □□□□ □□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□	□□	□	□
`uplink_pdr_map`	□□ PDR	TEID□32 □□	PDR □□□FAR ID□QER ID□URR IDs□
`downlink_pdr_map`	□□ PDR □IPv4□	UE IP □□	PDR □□
`downlink_pdr_map_ip6`	□□ PDR □IPv6□	UE IPv6 □□	PDR □□
`far_map`	□□□□	FAR ID	□□□□□□□□□□□□□□□
`qer_map`	QoS □□	QER ID	QoS □□□MBR□GBR□□□□
`urr_map`	□□□□	URR ID	□□□□□□□□□□□□□□□□□
`sdf_filter_map`	SDF □□□	PDR ID	□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **XDP** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□ CPU □□□□□□□□□ CPU □□
- □□□eBPF □□□□□□□□□□□□ PDR/FAR□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□ □□□□□□

PFCP □□□□□□

PFCP □□□□□ 3GPP TS 29.244□□□□□ SMF □ PGW-C □□□

□□□□□□

- □□□□□□PFCP □□□□□□□□□/□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ PFCP □□
- □□□□□□□ PFCP □□□□□□□□ eBPF □□□□□
- □□□□□□□□ SMF □□□□□□□□□□□□□□□

PFCP □□□□□□

□□□□□	□□	□□
□□□□□	SMF → UPF	□□ PFCP □□□□□
□□□□□	SMF → UPF	□□ PFCP □□
□□	□□	□□□□□□□
□□□□□	SMF → UPF	□□□□□ PDU □□□□□□ PDR/FAR/QER/URR
□□□□□	SMF → UPF	□□□□□□□QoS □□□□□□
□□□□□	SMF → UPF	□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□	UPF → SMF	□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□**IE**□□

- □□ PDR□FAR□QER□URR
- □□ PDR□FAR□QER□URR
- □□ PDR□FAR□QER□URR
- □□□□□□□□□UE IP□F-TEID□SDF □□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- QoS □□□MBR□GBR□QFI□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

REST API □□□

REST API □□□ UPF □□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□ PFCP □□□□□
- □□□□□□□□ PDR□FAR□QER□URR □□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□XDP □□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□

API □□□□□ 34 □□□□

□□	□□	□□
□□	`/health`	□□□□□□□□
□□	`/config`	UPF □□
□□	`/pfcp_sessions`, `/pfcp_associations`	PFCP □□/□□□
PDRs	`/uplink_pdr_map`, `/downlink_pdr_map`, `/downlink_pdr_map_ip6`, `/uplink_pdr_map_ip6`	□□□□□□□
FARs	`/far_map`	□□□□□□
QERs	`/qer_map`	QoS □□□ ◆◆
URRs	`/urr_map`	□□□□□□
□□	`/buffer`	□□□□□□□□□□
□□	`/packet_stats`, `/route_stats`, `/xdp_stats`, `/n3n6_stats`	□□□□
□□	`/map_info`	eBPF □□□ □□□□
□□□□	`/dataplane_config`	N3/N9 □□ □□

□□ API □□□□□□□□□□□□ □□□□□

Web □□□□

Web □□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□□□□□ PFCP □□□□□ UE IP□TEID □□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□ PDR□FAR□QER □ URR
- □□□□□□□□□□□□□□□□□ FAR □□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□XDP □ N3/N6 □□□□
- □□□□□eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□ UPF □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□

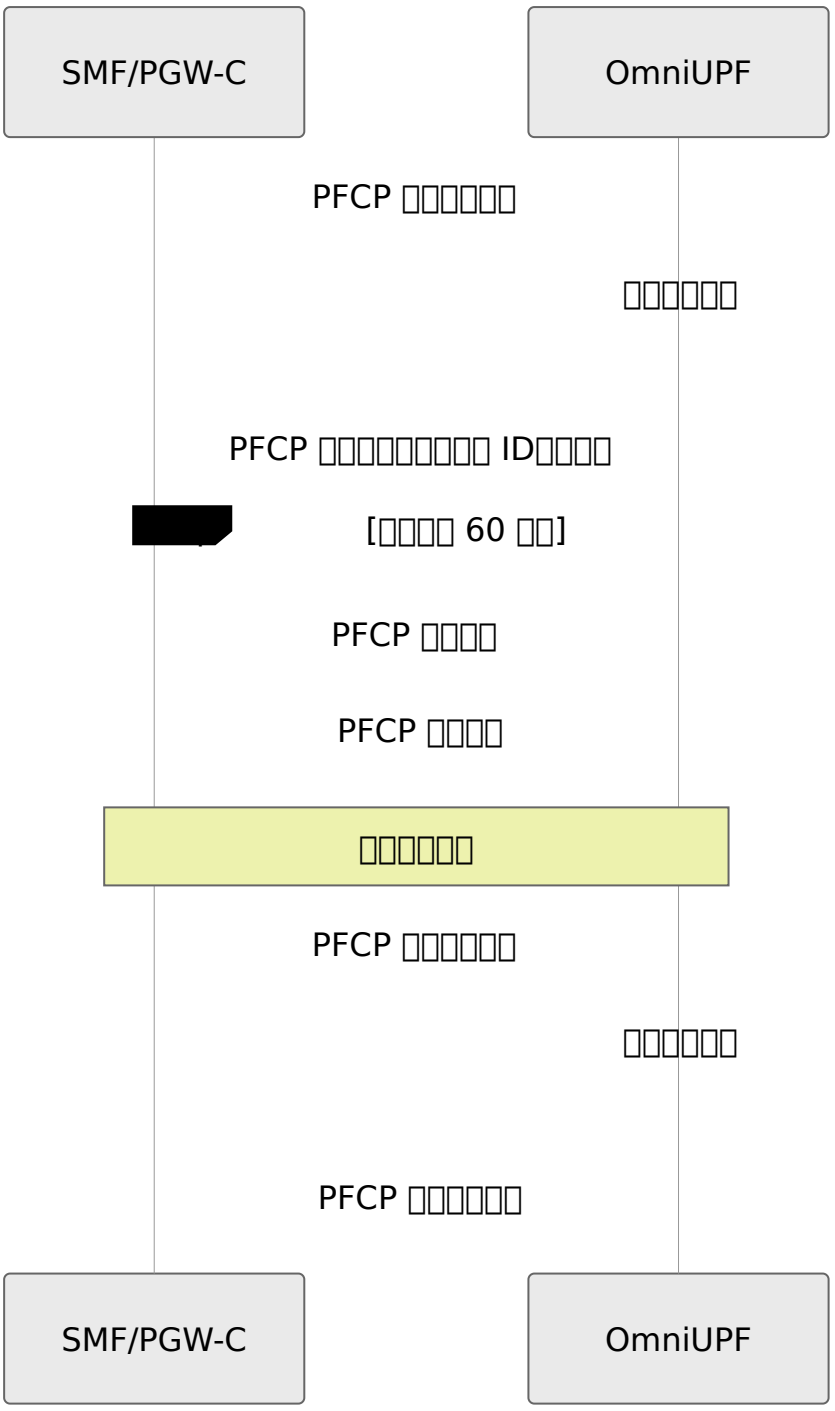
□□□□ UI □□□□□□ **Web UI □□□□**□

PFCP □□□ SMF □□

PFCP □□

□□□□□□□□SMF □□□ UPF □□ PFCP □□□

□□□□□□□



□□□□

- □□ SMF □ UPF □□□□□□□
- UPF □□□□ ID□FQDN □ IP □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□

SMF □□□□□□□□□□□□

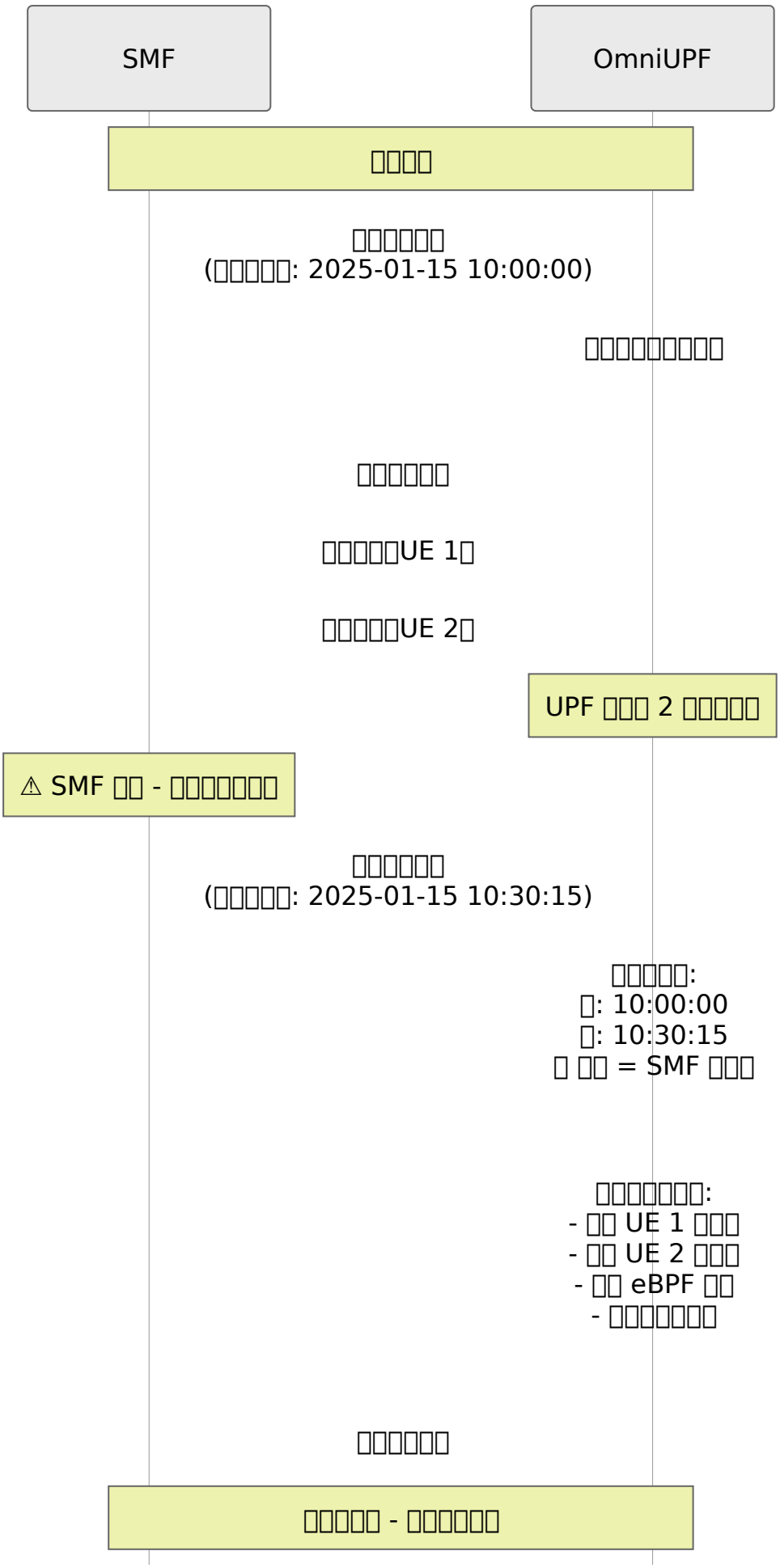
OmniUPF □□□□ SMF □□□□□□ 3GPP TS 29.244 □□□□□□□□□

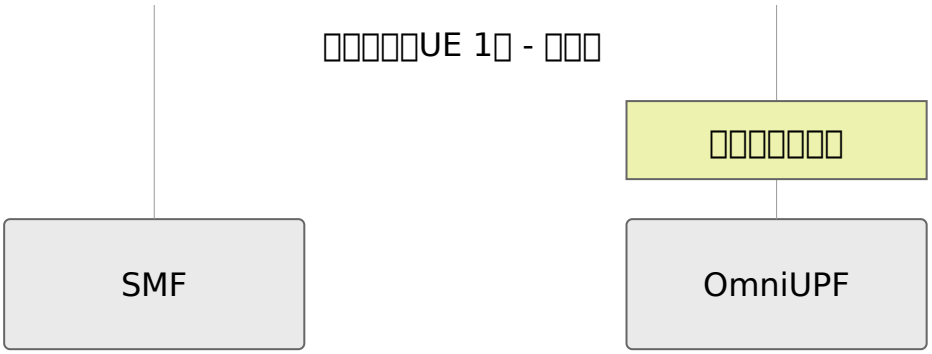
□□□□□

□ SMF □□ PFCP □□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□ SMF □□□

1. SMF □□□□□□□□□□□□
2. SMF □□□ UPF □□ PFCP □□
3. SMF □□ □□□□□□□□□□□□□□
4. UPF □□□□□□□□ = SMF □□
5. UPF □□□□ □□□□□□ □□□ SMF □□
6. SMF □□□□□□□□□□□

□□□□□□□


SMF
OmniUPF
□□□□
□□□□□□□
(□□□□□□: 2025-01-15 10:00:00)
□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□
□□□□□□UE 1□
□□□□□□UE 2□
UPF □□□ 2 □□□□□□
⚠ SMF □□ - □□□□□□□□
□□□□□□□
(□□□□□□: 2025-01-15 10:30:15)
□□□□□□:
□: 10:00:00
□: 10:30:15
□ □□ = SMF □□□
□□□□□□□□:
- □□ UE 1 □□□
- □□ UE 2 □□□
- □□ eBPF □□
- □□□□□□□□
□□□□□□□
□□□□□□ - □□□□□□□



□□□□□

□ SMF □□□□□□□□□□

```
WARN: □ NodeID: smf-1 □□□: 192.168.1.10 □□□□□□□
WARN: SMF □□□□□□□□□□□: 2025-01-15T10:00:00Z□□: 2025-01-
15T10:30:15Z□ - SMF □□□□□ 245 □□□□□
INFO: □□ SMF □□□□□□□□□□ 2□LocalSEID□
INFO: □□ SMF □□□□□□□□□□ 3□LocalSEID□
...
INFO: □□ SMF □□□□□□□□□□ 246□LocalSEID□
```

□□□□□

1. □□□□□□□□□□ SMF □□□□□□□ SMF □□□□□□□ □□□□□□

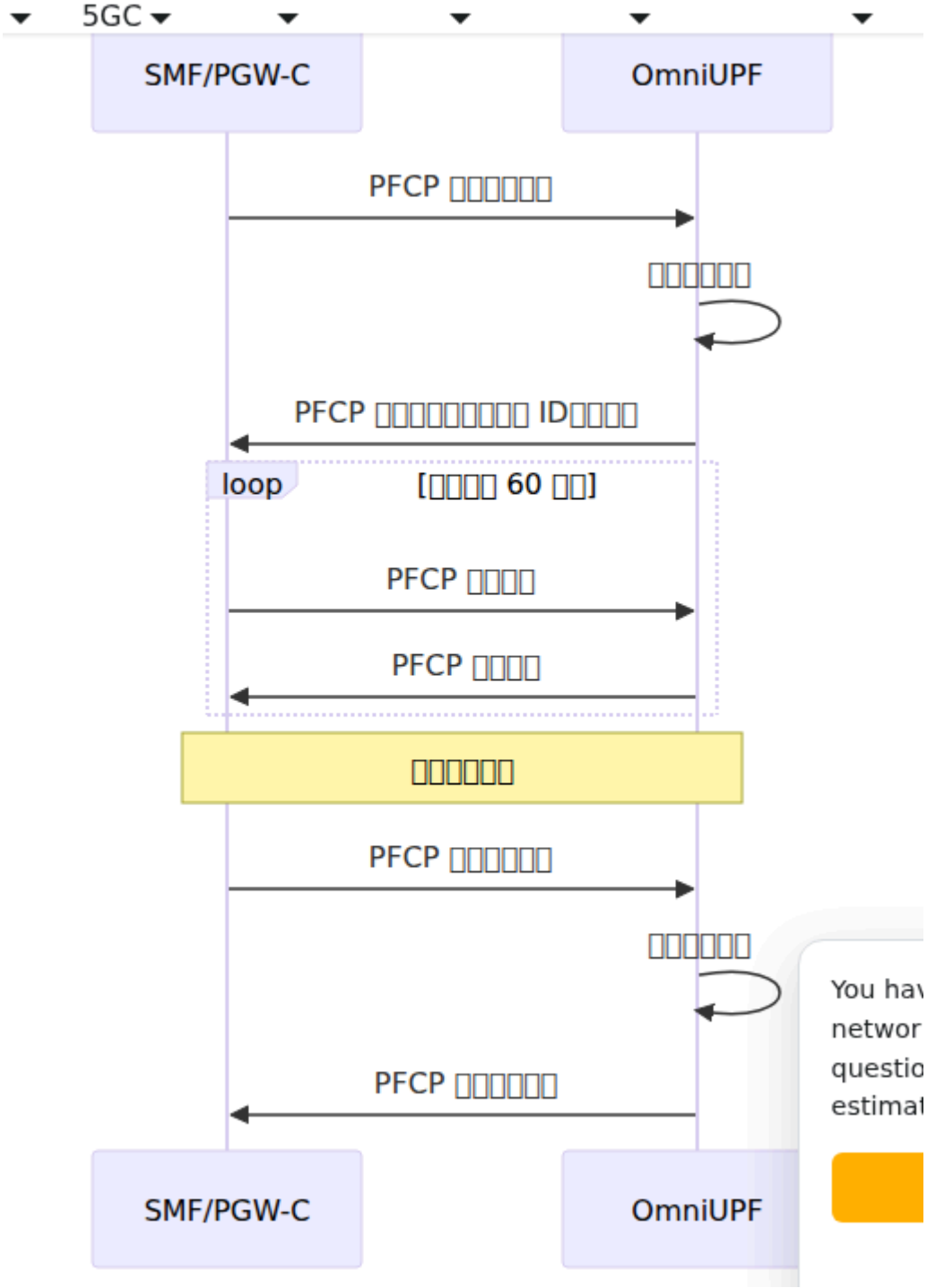
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□SMF□□□□□□□□□□□

3. **3GPP**□□□□□□□□□□3GPP TS 29.244□5.22.2□□□□

   > “□□CP□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□UP□□□□□□CP□□□□□□□□□□□□□□□□□□CP□□□□□□□□□PFCP□□□”

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□OmniUPF□GTP-U□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□SGW-U□□□□PGW-U□□□□□□□□□□□□TEID□□□□□□□□□□□□□□□□□□□



□□□□□□3GPP TS 29.281□7.3.1□□□

```
GTP-U□□□□□
┌─────────────────────────────────────────┐
│ GTP-U□□□12□□□                          │
├─────────────────────────────────────────┤
│ □□□PT□□□        │ 0x32                  │
│ □□□□□            │ 26 (0x1A)            │
│ □□                  │ 9□□                │
│ TEID                  │ 0 (□□)           │
│ □□□                │ □□                 │
│ N-PDU□□            │ 0                    │
│ □□□□□□□□         │ 0                    │
├─────────────────────────────────────────┤
│ IE: TEID□□I□5□□□                        │
├─────────────────────────────────────────┤
│ □□                    │ 16 (0x10)        │
│ □□TEID                │ 4□□              │
└─────────────────────────────────────────┘
```

□□□□□

□□1□S5/S8 GTP□□□□□PGW-U□□

- SGW-U□OmniUPF□□S5/S8□□□□□PGW-U
- PGW-U□□□□□□□□S5/S8□□□□
- SGW-U□□□□□□TEID
- PGW-U□□□□□□
- SGW-U□□□□□□□□□□

□□2□N9□□□□□□□UPF□□

- UPF-1□OmniUPF□□N9□□□□□UPF-2
- UPF-2□□
- UPF-1□□□□□□
- UPF-1□□□□

□□□□□

□□□□□□□□□

```
WARN: □192.168.50.10:2152□□□GTP-U□□□□□TEID 0x12345678 - □□□□□□□□□□
TEID
WARN: □□□□LocalSEID=42□FAR GlobalId=1□□□□□□TEID 0x12345678□□□□□□
192.168.50.10
INFO: □□□□LocalSEID=42□□□□192.168.50.10□TEID 0x12345678□GTP-U□□□□
WARN: □□□192.168.50.10□TEID 0x12345678□GTP-U□□□□□□□1□□□
```

Prometheus□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

```
# □□□□□□□□□□□□□□□□
upf_buffer_listener_error_indications_received_total{node_id="pgw-u-
1",peer_address="192.168.50.10"}

# □□□□□□□□□□□□□□
upf_buffer_listener_error_indication_sessions_deleted_total{node_id="
u-1",peer_address="192.168.50.10"}

# □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□TEID□
upf_buffer_listener_error_indications_sent_total{node_id="enodeb-
1",peer_address="10.60.0.1"}
```

□□□□□

- `node_id`□□□□□□PFCP□□ID□□□□□□□□□□“□□”□
- `peer_address`□□□□□□□IP□□

□□□

□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□ - □□□□□□□□

2. **TEID**□□□□□□□□□□□□□□TEID□□□

3. □□

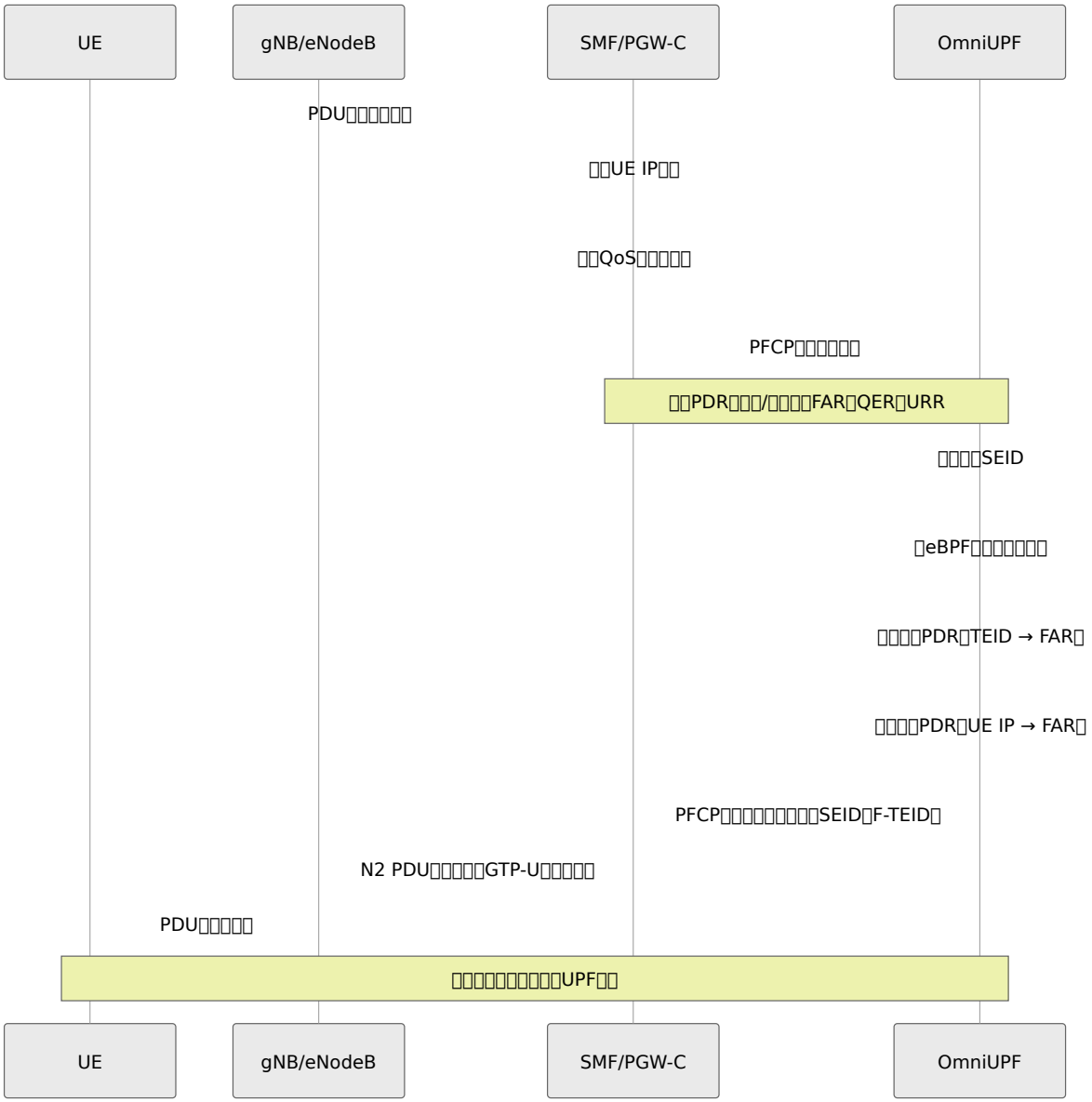
4. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□TEID□□□□□□□

5. □□□□□□□□□□

    - □□□□□□□□ = □□□□□□□□□□□□□□□□□□
    - □□□□□□□ = □□□□□□□□□□□□□□□□□□

6. □□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□



□□□□□□□

- □□**PDR**□□□N3 TEID□□□FAR□□□N6
- □□**PDR**□□□UE IP□□□□□GTP-U□□□FAR□□□N3
- **FAR**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **QER**□QoS□□□MBR□GBR□□□□□□□□QFI□
- **URR**□□□□□□□□□□□□□□□□

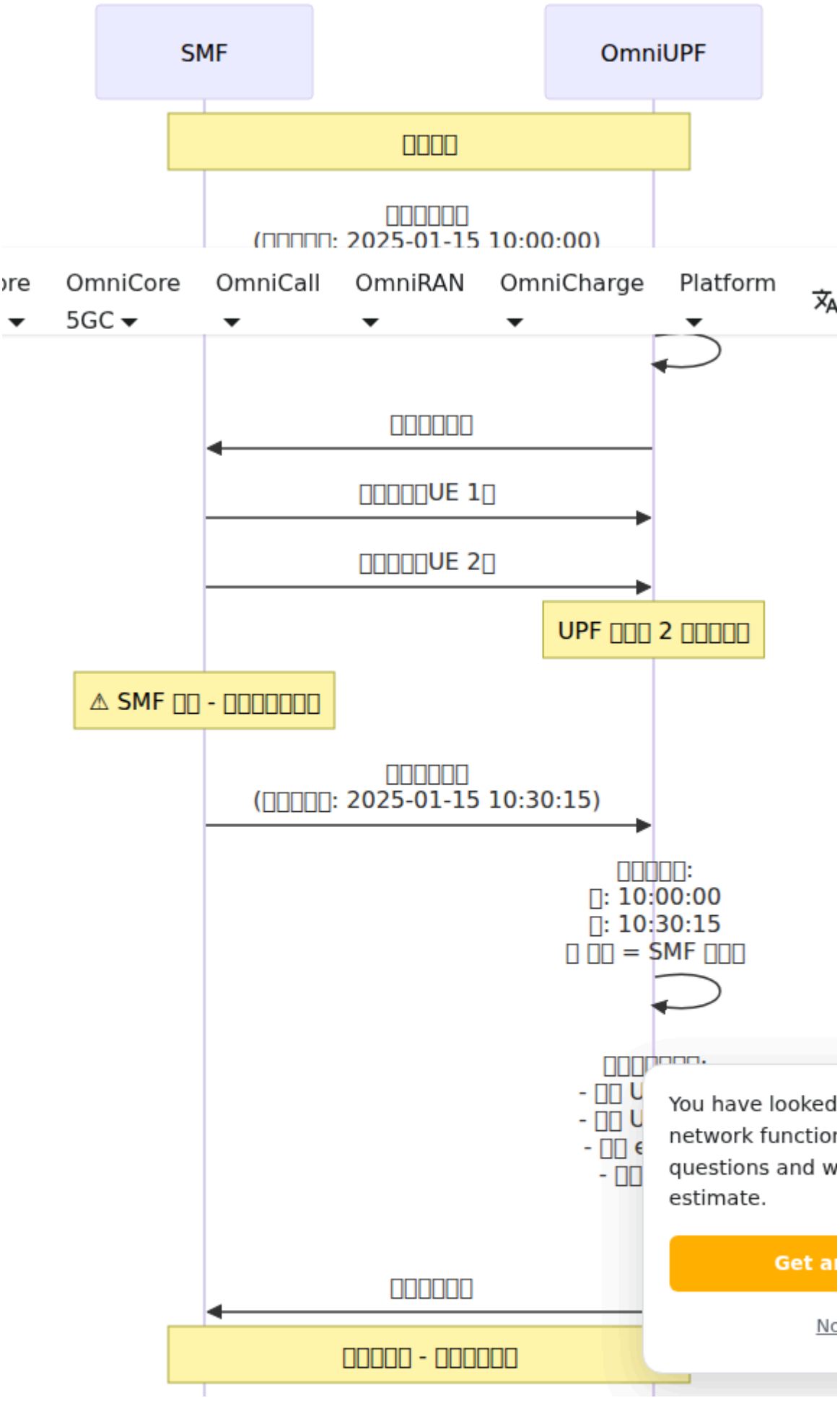
PFCP□□□□

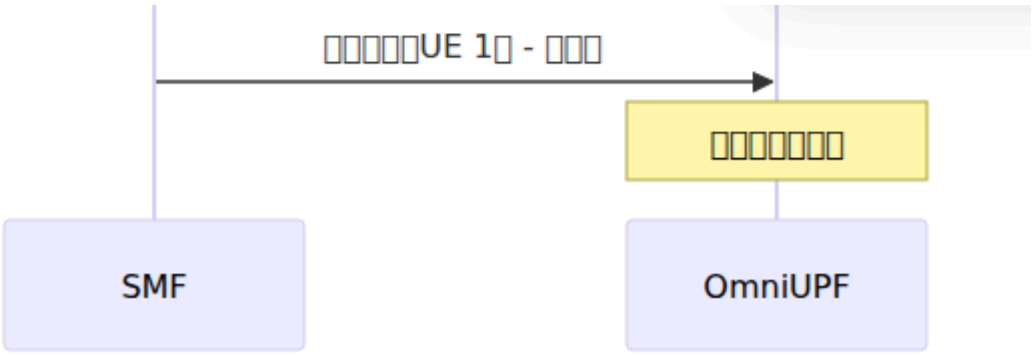
SMF□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□QoS□□□□□□□□

□□□□□□□

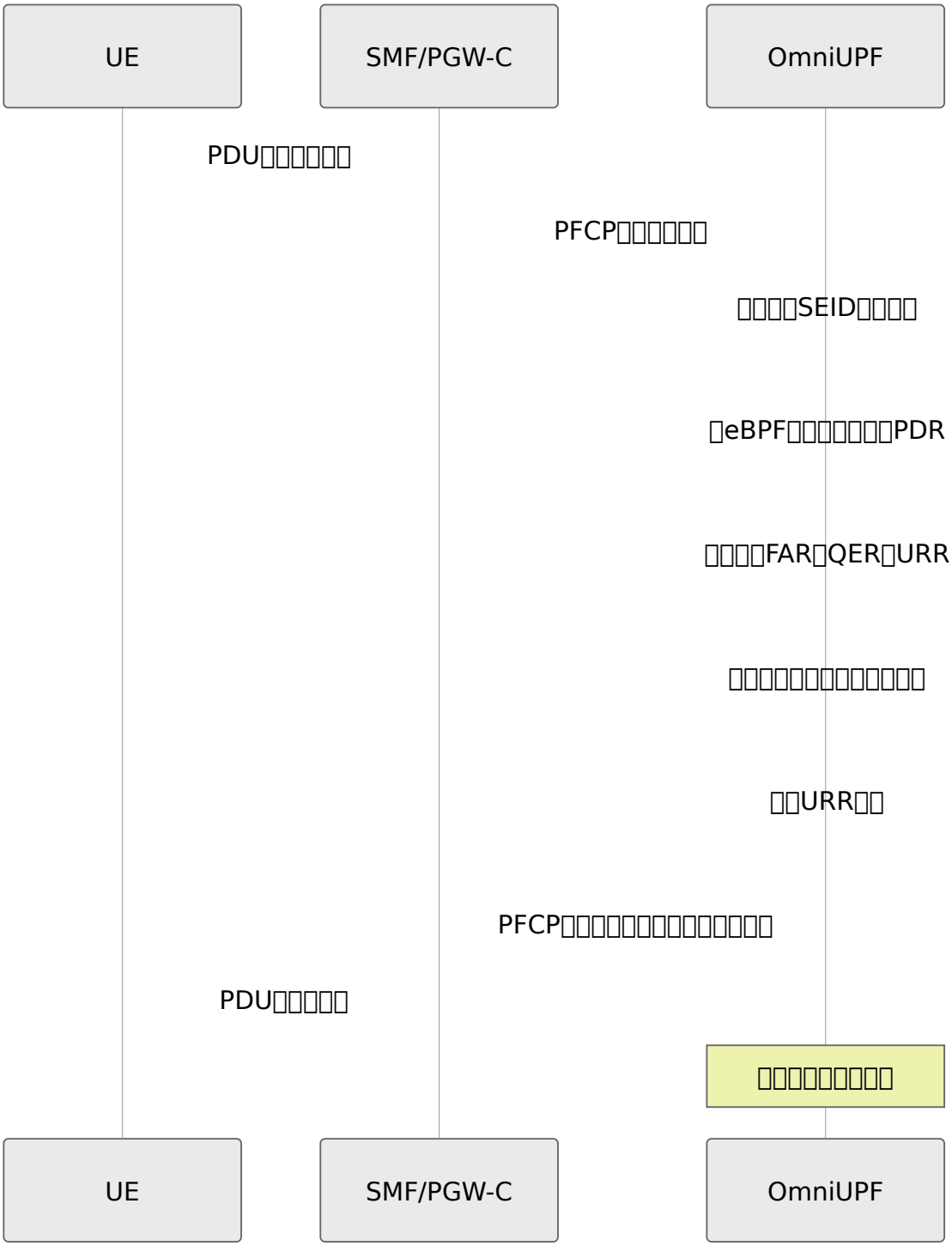
1. □□□□□**N2**□
    - □□□□gNB□□□□□□F-TEID□□□□□□FAR
    - □□□□□□□□□□□□□□□□□□
    - □□□□□□□□□□□□□□□□□□
2. **QoS**□□
    - □□□□MBR/GBR□□□QER
    - □□PDR□□□□/□□SDF□□□□□□□□□□□□□QoS
3. □□□□
    - □□□□□□□□□□□PDR
    - □□FAR□□□□□□□□

□□□□□□□□


SMF
OmniUPF
□□□□
□□□□□□
(□□□□□: 2025-01-15 10:00:00)
ore
OmniCore
5GC
OmniCall
OmniRAN
OmniCharge
Platform
□□□□□□
□□□□□UE 1□
□□□□□UE 2□
UPF □□□ 2 □□□□□
⚠ SMF □□ - □□□□□□□
□□□□□□
(□□□□□: 2025-01-15 10:30:15)
□□□□□:
□: 10:00:00
□: 10:30:15
□ □□ = SMF □□□
□□□□□□□:
- □□ U
- □□ U
- □□ e
- □□
□□□□□□
□□□□□ - □□□□□□
You have looked
network functio
questions and w
estimate.
Get a
No


□□□□□UE 1□ - □□□
□□□□□□□□
SMF
OmniUPF

□□□□□□□□



□□□□□□

- □□□□PDR□□□□□□□
- □□□□FAR□QER□URR
- □□□□□□□□
- □SMF□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

OmniUPF□□□□□Web□□□□□□REST API□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□**PFCP**□□□

PFCP□□□□□□□□UE PDU□□□5G□□PDP□□□□LTE□□□□□□□□□□

- □□□□□SEID□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□PDR
- □□□□□□□□FAR
- □□QoS□□□QER□□□□
- □□□□□□□□URR□□□□

□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□UE IP□□□TEID□□□□□
- □**IP**□□□**TEID**□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□PDR/FAR/QER/URR□□
- □□□□**PFCP**□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□**FAR**□□

FAR□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□**FAR**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□**FAR**□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□**FAR**□□□

QoS□□□□□□**QER**□□

QER□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□**QoS**□□□□MBR□GBR□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□**QER**
- □□**5G QoS**□□**QFI**□□

□□□□□□□□**URR**□□

URR□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□**URR**

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

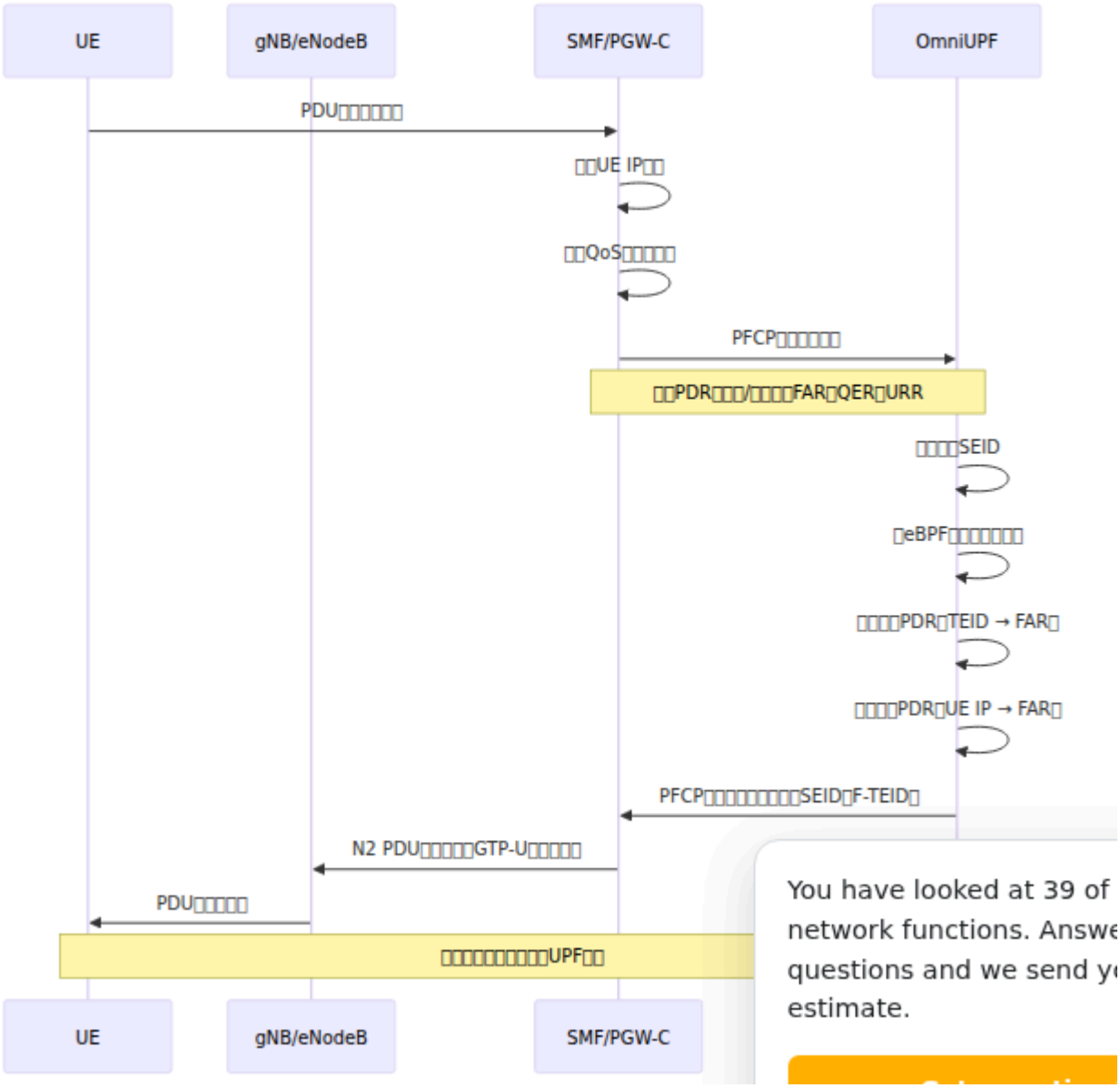

□□□
OmniUPF
GTP-U□□
TEID: 67890
□gNB
□□B


□□□□ - □□□□
□□□□□
□□UE
OmniUPF
□ □□□□
□□□□□□
□□□□□
□□□□□□□□


□□□


gNB
A
GTP-U
TEID: 12345
OmniUPF

□□□



□□□□□

- **T+0ms**□□□□□□□□□□
- **T+10ms**□SMF□□UPF□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **T+10-50ms**□□□□□□□□ - □□□□□□□□□□□□
- **T+50ms**□□□□□□□□□□□SMF□□UPF□□
- **T+50ms+**□UPF□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

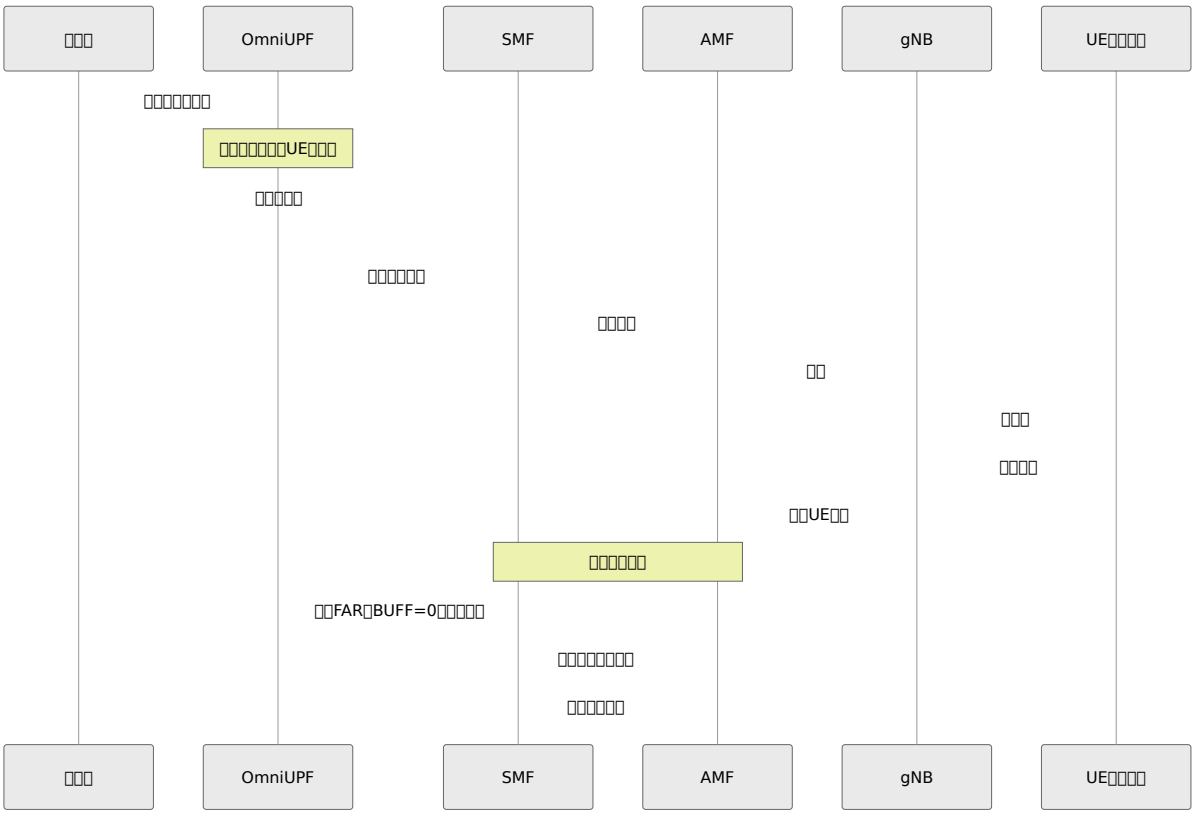
- **QoS**□□/□□□□□□□4G□□□5G□□□NSA□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□UPF□ULCL□□□

□□□/□□□□□□□□□□□□□□

---

3. □□□□□□□□□□□□□□□□

□UE□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□



□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

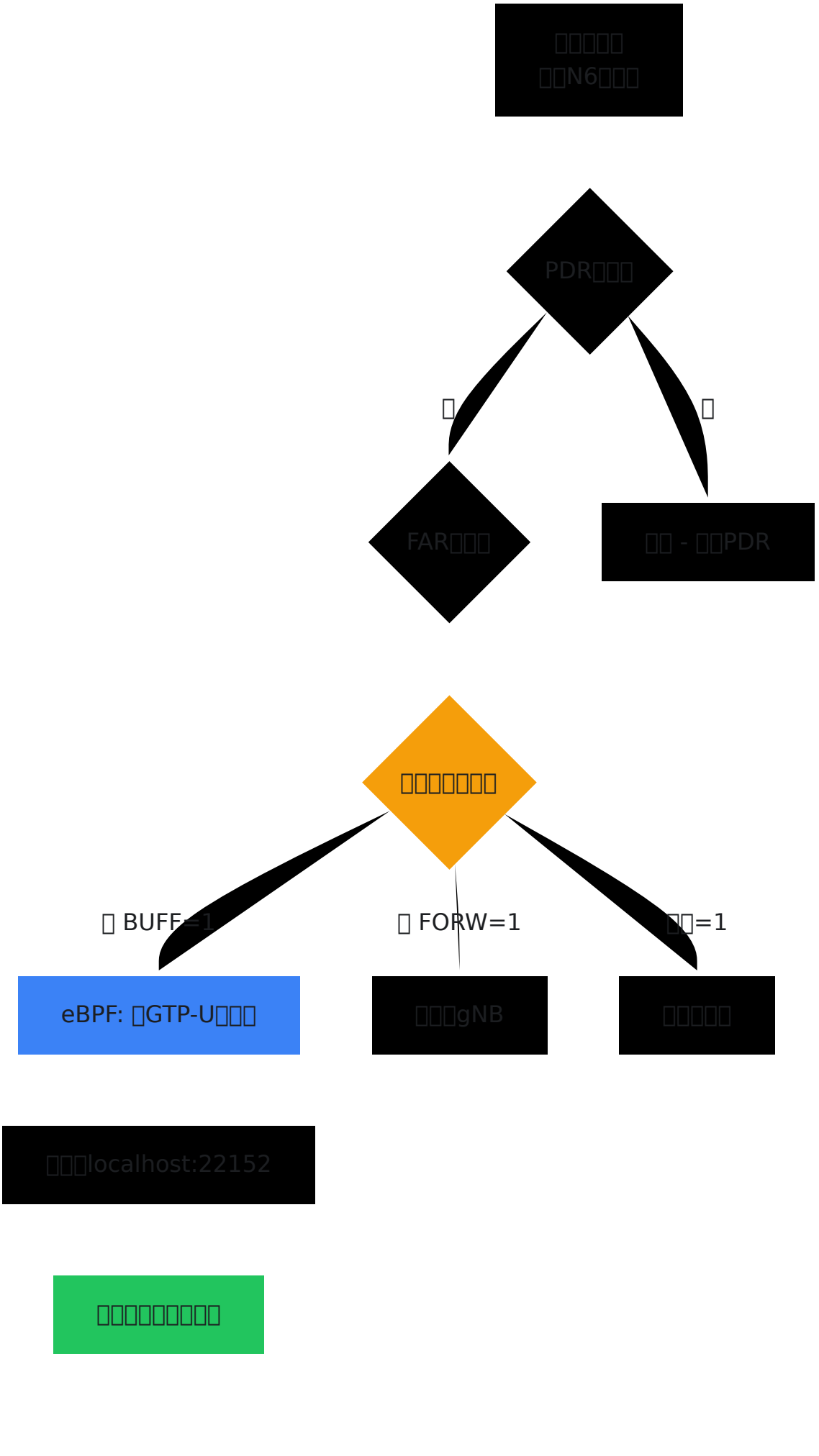
OmniUPF□□□□□□□□□

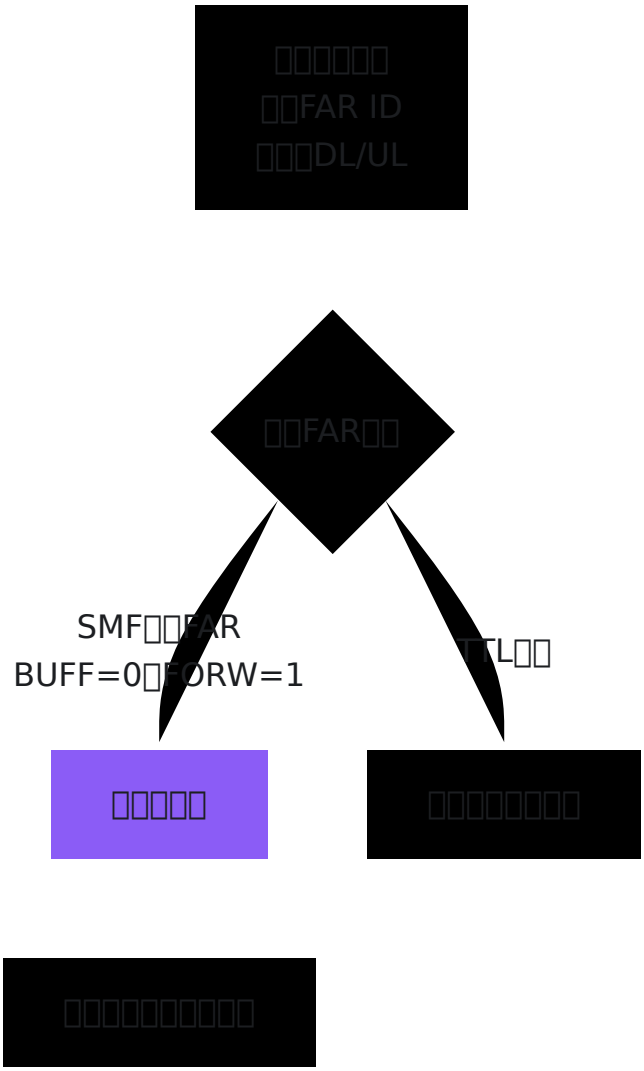
□□□□□

OmniUPF□□□□□□□□□□□

1. **eBPF**□□□□□□□□□□FAR□□□□□□□□□□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□


□□□□□□
□□N6□□□
PDR□□□
□
□
FAR□□□
□□ - □□PDR
□□□□□□□□
□ BUFF=1
□ FORW=1
□□=1
eBPF: □GTP-U□□□
□□□gNB
□□□□□
□□□localhost:22152
□□□□□□□□□□



□□□□□

- □□□□□UDP□□22152□□□□□eBPF□□□□□□□□□
- □□□□□□□□GTP-U□□□FAR ID□□TEID
- □□□□FAR ID□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□
  - □FAR□□□10,000□□□□□□□□
  - □□□□□□□□FAR□□100,000□□□□
  - TTL□30□□□□□ - □□TTL□□□□□□□□
- □□□□□□□□□60□□□□□□□□□

□□□□□□□

1. □□□□□SMF□□PFCP□□□□□□FAR□□BUFF=1□□2□□
2. □□□□□□eBPF□□□BUFF□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□22152

3. □□□□□□□□□□□□□□□□FAR ID□□□□□□□□□□□□□□
4. □□□□□□SMF□□□□□□□□□□□□FAR□□FORW=1□BUFF=0
5. □□□□□□□□□□□□□□□□FAR□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
6. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

□□	□□□□	□□□
□□□□□□□□□□□	□□□□□1-2□□□□□□□	□□□□□□□
□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□
□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□
□□**VoIP**□□	□□□□□□□□□□□□	□□□□□□
□□□□□□□□	□□□□□□□□□□	□□□□
□□□□□□□□□□□□	SSH□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□

□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□ **(CDR)**□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□“□□□□□□□”□□□

□□□□□□□

□□□□□□□□ Web UI □ API □□□□□□□□□

□□□

- □□□□ **FAR ID** □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□ FAR□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□ > TTL □□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□ **TTL**□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□ FAR □□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□ SMF □□□□□ FAR □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□ `buffer_packet_ttl` □□□ 15 □
- □□□□□□□□ `buffer_packet_ttl` □□□ 10 □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□

- **RX** □□□□□□□□□□□□□□□□□
- **TX** □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **GTP-U** □□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□/□□
- □□□□□□□□□□□ TEID□□□□□ UE IP

XDP □□□

eXpress □□□□□□□□□□

- **XDP** □□□□□ XDP □□□□□□□□
- **XDP** □□□□□□□□□□□□□□□□□
- **XDP** □□□□□ XDP □□□□□□□□
- **XDP** □□□□□□□□

N3/N6 □□□□□□

□□□□□□□□□□□□

- **N3 RX/TX**□□ RAN□gNB/eNodeB□□□□
- **N6 RX/TX**□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□□

eBPF □□□□□□□□

UPF □□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□ **eBPF** □□□□□□□□
- □□□□□□□□□
  - □□□<50%□□□□
  - □□□50-70%□□□□
  - □□□□70-90%□□□□
  - □□□>90%□□□□

□□□□□□□□□□□

- `uplink_pdr_map`□□□□□□□□
- `downlink_pdr_map`□□□ IPv4 □□□□
- `far_map`□□□□□
- `qer_map`□QoS □□
- `urr_map`□□□□□

□□□□□

- □□ PDR □□□□□□□□□□□□□ + □□□□
- □□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□□

UPF □□□

□□□□□□ UPF □□□□□□

- **N3** □□□□□□ RAN □□□ IP □□□GTP-U□
- **N6** □□□□□□□□□□□□□□ IP □□
- **N9** □□□□□□ UPF □□□□□□ IP □□□□□□□
- **PFCP** □□□□□□ SMF □□□ IP □□
- **API** □□□REST API □□□□
- □□□□□Prometheus □□□□

□□□□□□□□

□□□ eBPF □□□□□□□□

- □□ **N3** □□□□□□□ N3 □□□□
- □□ **N9** □□□□□□□ N9 □□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□ □□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□PFCP □□□□□□□□UE □□□□□□□□□

□□□□□□□□

1. **PFCP** □□□□□

    - □□ SMF □□□□□□□ UPF PFCP □□□□□□ 8805□
    - □□□□□□□□□ PFCP □□□□
    - □□ SMF □ UPF □□□□□□ ID □□□□□□□

2. **eBPF** □□□□□□□

   - □□□□□□□□□□□□>90%□□□□□□□□□□
   - □ UPF □□□□□□ eBPF □□□□□
   - □□□□□□□□□□□□□□□□

3. □□□ **PDR/FAR** □□

   - □□ UE IP □□□□□□□□□□
   - □□ TEID □□□□□□□
   - □□ FAR □□□□□□□□□□

4. □□□□□□□

   - □□ N3 □□ IP □□□□□□ gNB □□
   - □□□□□□□□□ N6 □□□□□□□□□
   - □□ GTP-U □□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□

□□□□□□□□□□

□□□UE □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

1. **PDR** □□□□

   - □□□□ PDR TEID □□□ gNB □□□ TEID □□
   - □□□□ PDR UE IP □□□□□□□ IP □□
   - □□ SDF □□□□□□□□□□

2. **FAR** □□□□

   - □□ FAR □□□□□□ FORWARD□□□□ DROP □ BUFFER□
   - □□ GTP-U □□□□□□□□□
   - □□□□□□□□□

3. **QoS** □□□□

   - □□ QER MBR□□□□□□□□□□
   - □□ GBR□□□□□□□□□□
   - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

4. □□ **MTU** □□

   - □□ GTP-U □□□40-50 □□□□□□□□□□
   - □□ N3/N6 □□□ MTU □□
   - □□ ICMP □□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□

   - □□ FAR □□□□□□□ 2□
   - □□ SMF □□□□□□□□□□□□□□□□
   - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

2. □□ **TTL** □□

   - □□□□□□□□□□□□□□□
   - □□□□ TTL □□□□□□□□□□□
   - □□□□□□□□□□

3. □□□□□□

   - □□□□□□□□□□□□□ FAR □□
   - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
   - □□ max_per_far □ max_total □□□□

□□□□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

1. □□□□□□
    - eBPF □□□□□ 64 □□□□□□□□□□□□
    - □□□□□□□□□□□□□□□□
    - □□ URR □□□□□□□□□
2. □□□□□□□□
    - □□ eBPF □□□□□□□□□□
    - □□□□□□□□□□□□□□□□ eBPF □□
    - □□ XDP □□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□
    - □ N3/N6 □□□□□□□□□□□□□□□
    - ���□□□□□□□□□□□ eBPF□□□□□□□□□□
    - □□□□□□□□□□□□ XDP □□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□CPU □□

□□□

1. □□ **XDP** □□□□□□ XDP □□□□□
2. □□ **eBPF** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
3. □□ **CPU** □□□□□eBPF □□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□ NIC □□□□□ XDP □□

□□□□□□□□

- **XDP** □□□□□□□□□□ 10M+ □□□

- **PDR** □□□□□□□ PDR□□□□□□□□□
- □□□□□□□ UPF □□□□□□□□□
- □□□□□□□□ NIC □□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□

□□□□□□□□

□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□

- □□□□□YAML□□□□□□CLI□
- □□□□□UPF/PGW-U/SGW-U□
- XDP □□□□□□
- □□□□□□□Proxmox□VMware□KVM□Hyper-V□VirtualBox□
- NIC □□□□ XDP □□□□
- □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□

XDP □□□□

□□□ XDP □□□□□□□□□

- XDP □□□□□□□□□/□□/□□□
- □□□□□□□□□
- Proxmox VE □□ XDP □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- VMware ESXi□KVM □ Hyper-V XDP □□
- XDP □□□□□□□
- XDP □□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□

- eBPF □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□ XDP □□□□□□□□□
- PFCP □□□□□
- □□□□□□GTP-U □□□□□□ 22152□
- QoS □□□□□□□□□□□5ms □□□
- □□□□□□3.5µs □□□10 Mpps/core□

□□□□□□□

PFCP □□□□□□□□□□

- □□□□□□□□ (PDR) - □□□□□
- □□□□□□□ (FAR) - □□□□□□□□□□□□
- QoS □□□□□ (QER) - □□□□□ (MBR/GBR)
- □□□□□□□ (URR) - □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□

□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□

- N3/N6 □□□□□□□□□□□
- XDP □□□□□□□□□/□□/□□□□/□□□
- □□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□

Web UI □□□□

□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□

- □□□□□□□□/□□□□□□□
- □□□□□PDR□FAR□QER□URR □□□□□
- □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□
- eBPF □□□□□□□□
- □□□□

API □□

□□□ REST API □□□□□□□

- OpenAPI/Swagger □□□□□
- API □□□□□□□□□□□□□□□
- PFCP □□□□□□□□
- □□□□□□□□ (PDR) - IPv4 □ IPv6
- □□□□□□□ (FAR)
- QoS □□□□ (QER)
- □□□□□□□ (URR)
- □□□□□□□□
- □□□□□□□□
- □□□□□ FRR □□
- eBPF □□□□
- □□□□
- □□□□□□□□
- □□ API □□□□□□□

□□□□

Prometheus □□□□□□□□□

- PFCP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- XDP □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- PFCP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- URR □□□□□□ PFCP □□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□DLDR □□□
- eBPF □□□□□□□□□□□□□
- Prometheus □□□□
- Grafana □□□□□

PFCP □□□□□□

PFCP □□□□□□□□□□

- □□□□□□□ 3GPP □□□□TS 129.244□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□ Prometheus □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□

UE □□□□□□

FRR □□□□□□□□□

- FRR□□□□□□□□□□□□□□□
- UE □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□
- □□ OSPF □ BGP □□□□□
- OSPF □□□□
- OSPF □□ LSA □□□□□
- BGP □□□□□□
- Web UI □□□□□□
- □□□□□□□□
- □□□□□□□ Mermaid □

IPv6 / □□□□

□□□□ IPv6 □□□□ IPv6 □ IPv4v6 PDN □□□

- □□□□□□□□□□ IPv6 □□□□
- UE IPv6 □□□□□
- UE `/128` □□□□□ OSPFv3 □□
- IPv6 □□/□□□□□□□□
- □□□□ IPv6 □□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□
- PFCP □□□□
- □□□□□□□□
- XDP □ eBPF □□
- □□□□
- □□□□□□□□□□Proxmox□VMware□VirtualBox□
- NIC □□□□□□□
- □□□□□□

□□□□□□

□□□□□ **OmniUPF**

1. □□□□□□□□□□□
2. □□□□ □□□□□□
3. Web UI □□ □□□□□□

□ **Proxmox** □□□

1. XDP □□□□ - Proxmox □□ XDP □□ - □□□□□□□□□□
2. □□□□ - □□□□□□
3. □□□□ - Proxmox SR-IOV □□
4. □□□□ - Proxmox □□

□□□□

1. XDP □□□□ - □□□□ **XDP** □□□ **5-10** □□□□□□□
2. □□□□ - □□□□
3. □□□□ - XDP □□
4. □□□□ - □□□□
5. □□□□ - □□□□

□□□□□□□

1. □□□□ - □□□□□□□
2. □□□□□□
3. □□□□ - □□□□

□□□□

1. □□□□ - □□□□
2. □□□□ - □□□□
3. □□□□ - □□□□□□

□□ **UE** □□□ **FRR** □□

1. UE □□□□□□ - □□□□□□□□□
2. API □□ - □□□□ - □□ API □□
3. Web UI □□ - □□□□□□
4. UE □□□□ - FRR □□ - OSPF LSA □□

□□ **REST API**

1. API □□ - □□□ API □□
2. API □□ - Swagger UI - □□□ API □□□
3. API □□ - API □□ - API □□□□
4. Web UI □□ - Web □□□□ API □□□□□

□□□□□□

1. □□□□□□ - □□□□□
2. □□□□ - □□□□□□□□□

3. Web UI □□ - □□□□□□□□□

□□□□

□□ **API** □□

OmniUPF □□□□□□□□□□□ REST API□

```
# □□□□□□
GET http://localhost:8080/api/v1/upf_status

# PFCP □□
GET http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline

# □□
GET http://localhost:8080/api/v1/sessions

# □□
GET http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
GET http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats

# □□□□
GET http://localhost:8080/api/v1/map_info

# □□□□
GET http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info
```

□□□□□ API □□□□□□ Swagger UI□□□□ `http://<upf-ip>:8080/swagger/index.html`

□□□□□□

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "eth0"                # N3/N6/N9 □□□□□
xdp_attach_mode = "native"             # "generic" | "native" |
"offload"
n3_address = "10.100.50.233"           # N3 □□ IP
pfcp_address = "10.100.50.241"         # PFCP □□□□
pfcp_port = 8805                       # PFCP □□
node_id = "10.100.50.241"              # PFCP □□ ID

# □□
max_sessions = 100_000                 # □□□□□□□□

# API
api_port = 8080                        # REST API □□
```

□□□□□□□

- **eBPF □□□□ < 70%**□□□□□
- **eBPF □□□□ 70-90%**□□□□ 1 □□□□□□
- **eBPF □□□□ > 90%**□□□ - □□□□□□□□□
- □□□□□□ **< 0.1%**□□□
- □□□□□□ **0.1-1%**□□□ - □□□
- □□□□□□ **> 5%**□□□ - □□□□
- **XDP □□ > 0**□eBPF □□□□□□□□□

3GPP □□□□

OmniUPF □□□□ 3GPP □□□

□□	□□	□□□
TS 23.501	5G □□ (5GS) □□□□□	5G UPF □□□□□
TS 23.401	E-UTRAN □□□□□□□□□□□□ (GPRS) □□	LTE UPF (PGW-U) □□
TS 29.244	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ (PFCP)	N4 PFCP □□
TS 29.281	□□□□□□□□ (GPRS) □□□□□□□□□ (GTPv1-U)	GTP-U □□
TS 23.503	5G □□ (5GS) □□□□□□□□□□	QoS □□□
TS 29.212	□□□□□□□ (PCC)	QoS □□

□□□

5G □□□□

- **3GPP**□□□□□□□□□□□ - □□□□□□□□□
- **AMF**□□□□□□□□□□ - 5G □□□□□□□□□□□□□□
- **CHF**□□□□□ - 5G □□□□
- **DN**□□□□□ - □□□□□□□□□IMS□□□□
- **eNodeB**□□□□□ B - LTE □□
- **F-TEID**□□□□□□□□□□□□□□ - □ IP □□□ GTP-U □□ ID
- **gNB**□□□□□□ B - 5G □□
- **GTP-U**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ - □□□□□□□□□□
- **MBR**□□□□□□ - QoS □□□□□□□□□
- **GBR**□□□□□□ - QoS □□□□□□□□□□
- **N3**□RAN □ UPF □□□□□□□□□□□□□
- **N4**□SMF □ UPF □□□□□□PFCP □□□
- **N6**□UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **N9**□□□ UPF □□□□□□UPF □□□□□□□□□
- **PCF**□□□□□□□ - 5G □□□□□

- **PDU**□□□□□□□□ - 5G □□□□□□□
- **PGW-C**□PDN □□□□□□□ - LTE □□□□□□□□□ SMF
- **PGW-U**□PDN □□□□□□□ - LTE □□□□□UPF □□□□
- **QFI**□QoS □□□□ - 5G QoS □□□
- **QoS**□□□□□□ - □□□□□□□□□□□□
- **RAN**□□□□□□□□ - □□□□□gNB/eNodeB□
- **SEID**□□□□□□□□□ - PFCP □□ ID
- **SMF**□□□□□□□□ - 5G □□□□□□□□□□□□□□□
- **TEID**□□□□□□□□□ - GTP-U □□ ID
- **UE**□□□□□□ - □□□□
- **UPF**□□□□□□□□ - 5G □□□□□□□□□□

PFCP □□□□

- **Association**: SMF □ UPF □□□□□□□□
- **FAR**: □□□□□□□ - □□□□□□□□□□
- **IE**: □□□□ - PFCP □□□□
- **Node ID**: UPF □ SMF □□□ (FQDN □ IP □□)
- **PDR**: □□□□□□□□ - □□□□□□□□□□
- **PFCP**: □□□□□□□□□□ - N4 □□□□
- **QER**: QoS □□□□ - □□□□□□□□□□
- **SDF**: □□□□□□ - □□□□□□□□□□□
- **Session**: □□ UE PDU □□□ PDP □□□□ PFCP □□
- **URR**: □□□□□□□ - □□□□□□□□□

eBPF □ Linux □□□□

- **BPF**: □□□□□□□□□□ - □□□□□□□□□□
- **eBPF**: □□ BPF - □□□□□□□□□□
- **Hash Map**: eBPF □□□□□□□□□□□□
- **XDP**: eXpress □□□□ - □□□□□□□□□□□□□
- **Verifier**: □□ eBPF □□□□□□□□□□
- **Map**: □□□□□□□□□□□□□ eBPF □□□□

- **Zero-copy**: □□□□□□□□□□□□□□□□□

OmniUPF □□□□

- **OmniUPF**: □□ eBPF □□□□□□□□□□□□
- **Datapath**: □□□□□□□□□eBPF □□□
- **Control Plane**: PFCP □□□□□□□□□
- **REST API**: □□□□□□□□ HTTP API
- **Web UI**: □□□□□□□□□□

OmniUPF □□□□

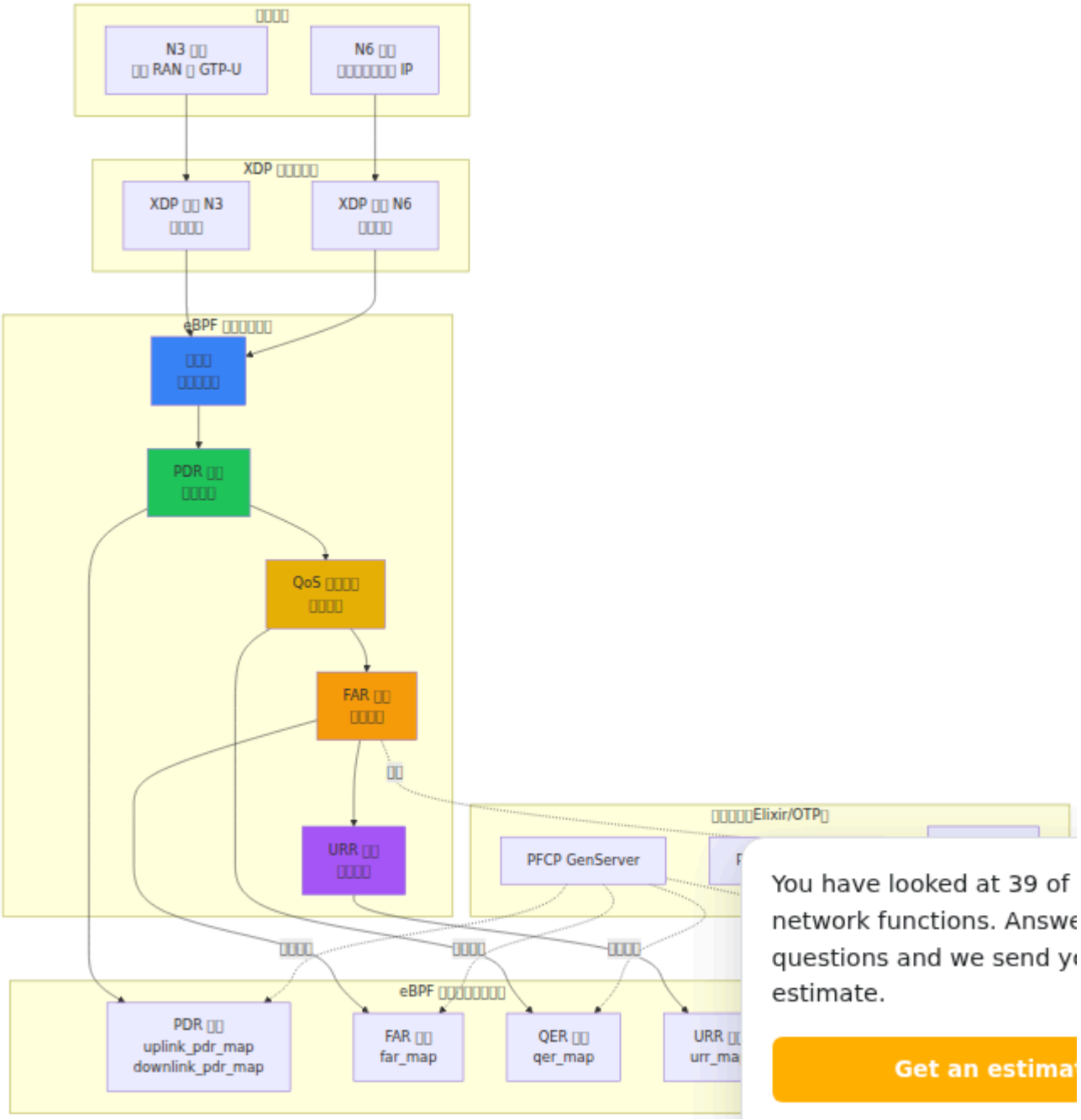
□□

1. □□
2. eBPF □□□□
3. XDP □□□□
4. □□□□□□□□
5. eBPF □□□□
6. □□□□
7. QoS □□□□
8. □□□□
9. □□□□□□□□

□□

OmniUPF □□ eBPF□□□□□□□□□□□□□□□□ XDP□□□□□□□□□□ 5G/LTE □□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□ Elixir/OTP □□□□□ GenServer □ PFCP □□□□□□□□□□□□□ Linux □□□□□ eBPF □□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□

⬚⬚⬚


N3 ⬚⬚
⬚⬚ RAN ⬚ GTP-U
N6 ⬚⬚
⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚ IP
XDP ⬚⬚⬚⬚⬚
XDP ⬚⬚ N3
⬚⬚⬚⬚
XDP ⬚⬚ N6
⬚⬚⬚⬚
eBPF ⬚⬚⬚⬚⬚⬚
⬚⬚⬚
⬚⬚⬚⬚⬚⬚
PDR ⬚⬚
⬚⬚⬚⬚
QoS ⬚⬚⬚⬚
⬚⬚⬚⬚
FAR ⬚⬚
⬚⬚⬚⬚
⬚⬚
URR ⬚⬚
⬚⬚⬚⬚
⬚⬚⬚⬚⬚Elixir/OTP⬚
PFCP GenServer
⬚⬚⬚⬚
⬚⬚⬚⬚
⬚⬚⬚⬚
eBPF ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚
PDR ⬚⬚
uplink_pdr_map
downlink_pdr_map
FAR ⬚⬚
far_map
QER ⬚⬚
qer_map
URR ⬚⬚
urr_ma
You have looked at 39 of
network functions. Answe
questions and we send y
estimate.
Get an estima

⬚⬚⬚⬚⬚⬚

⬚⬚⬚⬚⬚⬚

- ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚
- ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚
- ⬚⬚ XDP ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚

□□□□□□□□

- eBPF □□□□□ CPU □□□□
- □□□□□□□□□□
- □□□□□/□□□□□

□□□□□□□□

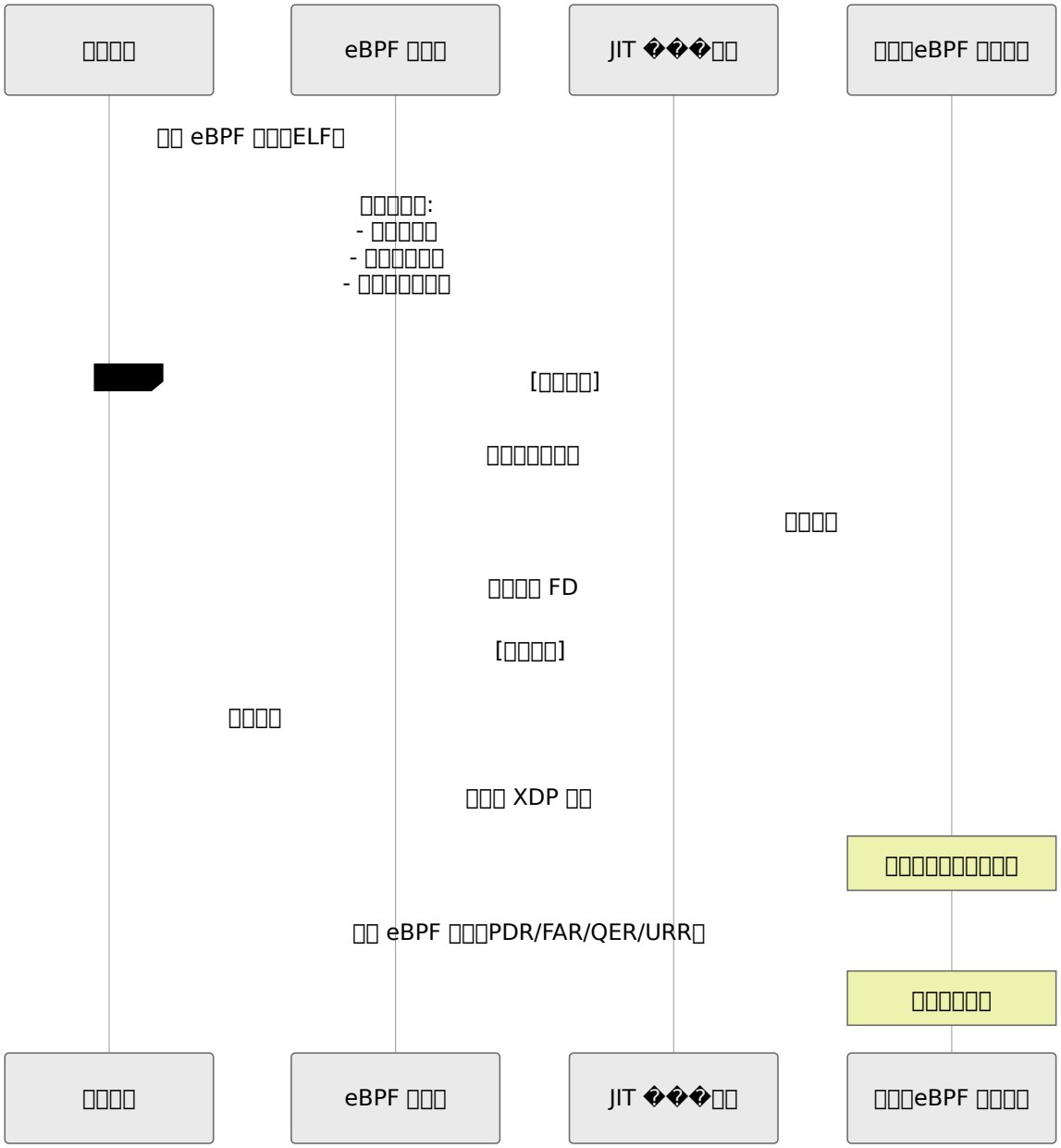
- XDP □□□□□□ SmartNIC □□
- □□□□ XDP □□□□
- □□□□□□□□□□□□□

eBPF □□□□

□□□ eBPF□

eBPF□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ Linux □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

eBPF □□□□□□



eBPF □□

eBPF □□□□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□

OmniUPF □□□□□□□□□□

□□□□	□□	□□
`BPF_MAP_TYPE_HASH`	□□□□□□□□	□ TEID □ UE IP □□ PDR
`BPF_MAP_TYPE_ARRAY`	□□□□□□□□	□ ID □□ QER□FAR□URR
`BPF_MAP_TYPE_PERCPU_HASH`	□ CPU □□□□□□□□	□□□ PDR □□
`BPF_MAP_TYPE_LRU_HASH`	LRU□□□□□□□□□	□□□□□□□

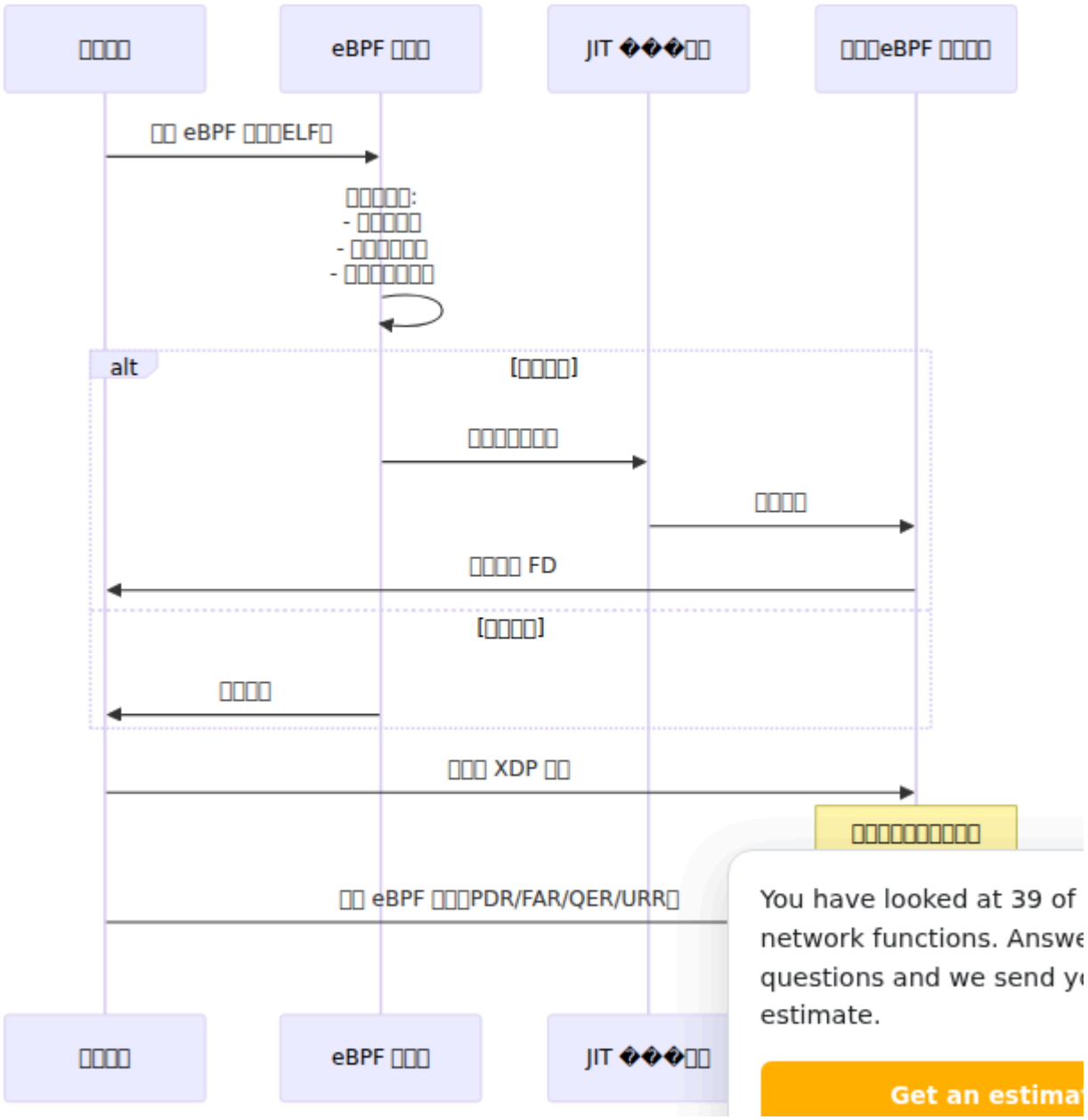
□□□□□

- □□□O(1) □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□

XDP □□□

XDP □□

XDP□□□□□□□□□□ Linux □□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□



1. XDP □□□□

□□□□□□□□□□□□

- eBPF □□□□□ SmartNIC □□□□□
- □□□□□□□ NIC □□□□□□□□□ CPU
- □◆◆ 100 Gbps+ □□□
- □□□□□ SmartNIC□Netronome□Mellanox ConnectX-6□

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_attach_mode = "offload"
```

□□□

- □□□□□ SmartNIC □□
- □□ eBPF □□□□□
- □□□□ eBPF □□□□□□□□□

---

2. XDP □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□

- eBPF □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□ SKB□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□ 10-40 Gbps
- □□□□ XDP □□□□□□□□□□□□

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_attach_mode = "native"
```

□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□
- □□□ eBPF □□□

□□□□□□

- □□□□i40e□ice□ixgbe□igb
- Mellanox□mlx4□mlx5
- □□□bnxt
- □□□□ena
- □□□ 10G+ □□□

---

3. XDP □□□□

□□□□□□□□□□□□

- eBPF □□□□□□□□ SKB □□□
- XDP □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_attach_mode = "generic"
```

□□□

- □□□□□□
- □□□□□□□□□ SR-IOV □□□□□
- □□□□□□□□
- □□□□□□□

□□□1-5 Gbps□□□□□□□□/□□□

XDP □□□□

eBPF □□□□ XDP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□	□□	□ **OmniUPF** □□□□
`XDP_PASS`	□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□ICMP□□□□□□
`XDP_DROP`	□□□□□□□□	□□□□□□□□□□□□□□□□□
`XDP_TX`	□□□□□□□□□□□□□□□	□□□□□□
`XDP_REDIRECT`	□□□□□□□□□□□□	□□□□□□□□N3 ↔ N6□
`XDP_ABORTED`	□□□□□□□□□□□□□□	eBPF □□□□

□□□□□□□

□□□□

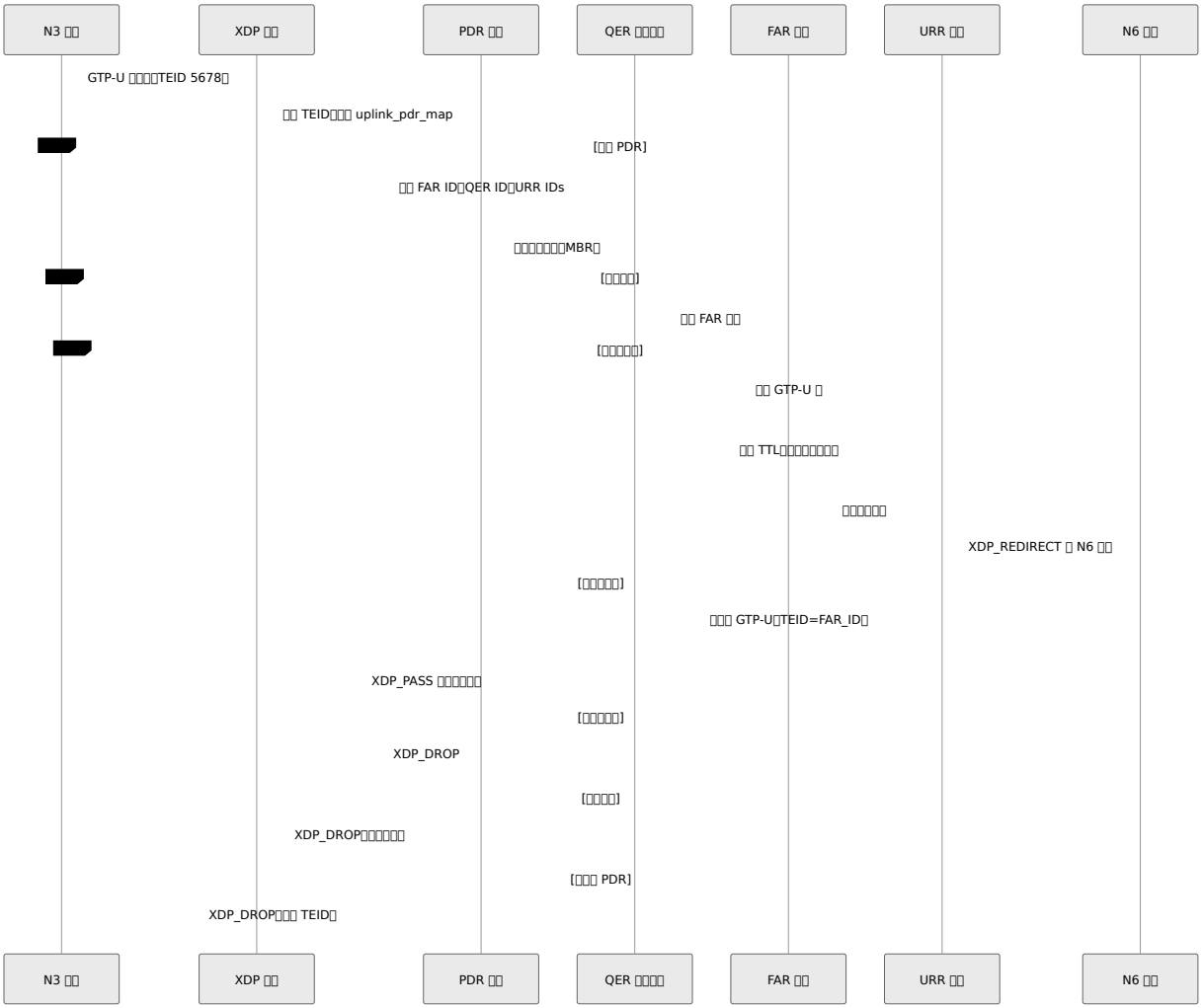
OmniUPF □□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□



□□□□

- □□ eBPF □□□□□□□ eBPF □□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□ 33 □□□□□□□

□□□□□□□


N3 □□
XDP □□
PDR □□
QER □□□□
FAR □□
URR □□
N6 □□
GTP-U □□□□TEID 5678□
□□ TEID□□□ uplink_pdr_map
[□□ PDR]
□□ FAR ID□QER ID□URR IDs
□□□□□□□□MBR□
[□□□□]
□□ FAR □□
[□□□□□]
□□ GTP-U □
□□ TTL□□□□□□□□
□□□□□□
XDP_REDIRECT □ N6 □□
[□□□□□]
□□□ GTP-U□TEID=FAR_ID□
XDP_PASS □□□□□□
[□□□□□]
XDP_DROP
[□□□□]
XDP_DROP□□□□□□
[□□□ PDR]
XDP_DROP□□□ TEID□
N3 □□
XDP □□
PDR □□
QER □□□□
FAR □□
URR □□
N6 □□

□□□□□□□


upf_entrypoint
□□□□□□
tail_call
pdr_lookup
□□ PDR
tail_call
qer_enforce
□□ QoS
tail_call
far_execute
□□
tail_call
urr_account
□□□□
XDP_REDIRECT
□□□□

eBPF □□□□

□□□□□□



□□□□

OmniUPF □□ `max_sessions` □□□□□□□□□□□□

```
PDR □□ = 2 × max_sessions  (□□ + □□)
FAR □□ = 2 × max_sessions  (□□ + □□)
QER □□ = 1 × max_sessions  (□□□□□)
URR □□ = 3 × max_sessions  (□□□□□ URR)
```

□□□max_sessions = 65,535□□

- PDR □□□□□ 131,070 □□
- FAR □□□131,070 □□
- QER □□□65,535 □□
- URR □□□131,070 □□

□□□□

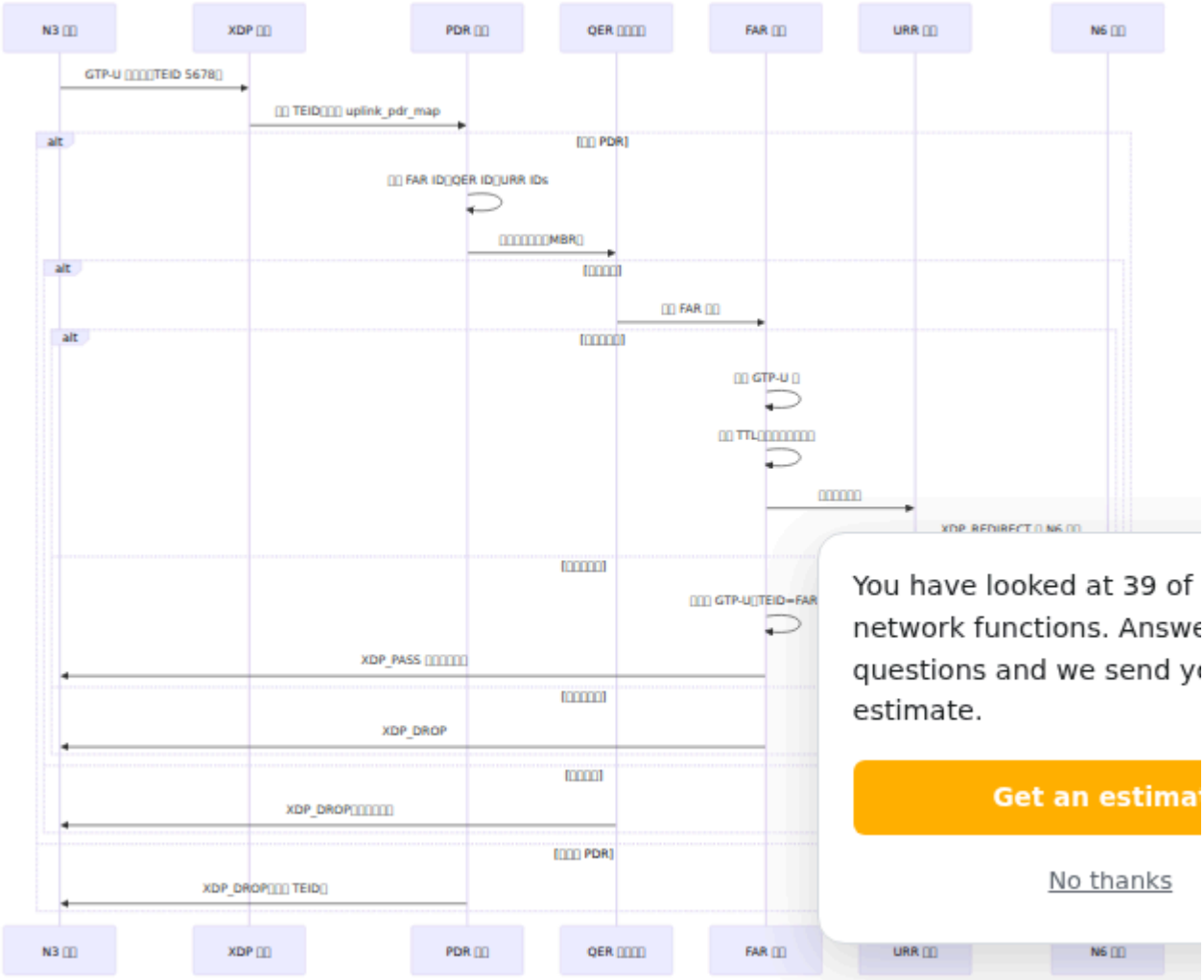
```
PDR □□□3 × 131,070 × 212 B = ~83 MB
FAR □□□ 131,070 × 20 B = ~2.6 MB
QER □□□ 65,535 × 36 B = ~2.3 MB
URR □□□ 131,070 × 20 B = ~2.6 MB
□□□~91 MB □□□□
```

□□□□

□□□□

OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ GTP-U □□□□ UDP □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□



□□□□□□

□□□□□□□□FAR □□□ 2 □□□□eBPF □□□

1. □□□□□□□□□□

```
orig_packet_len = ntohs(ip->tot_len);  // □□ IP □
```

2. □□□□□□□□

```
// □□□□□ IP + UDP + GTP-U □□□□
gtp_encap_size = sizeof(struct iphdr) + sizeof(struct udphdr) +
sizeof(struct gtpuhdr);
bpf_xdp_adjust_head(ctx, -gtp_encap_size);
```

3. □□□□ **IP** □□

```
ip->saddr = original_sender_ip;  // □□□□□□□□□□□□□□
ip->daddr = local_upf_ip;        // □□□□□□□□□□□□□□ IP
ip->protocol = IPPROTO_UDP;
ip->ttl = 64;
```

4. □□ **UDP** □□

```
udp->source = htons(22152);  // BUFFER_UDP_PORT
udp->dest = htons(22152);
udp->len = htons(sizeof(udphdr) + sizeof(gtpuhdr) +
orig_packet_len);
```

5. □□ **GTP-U** □□

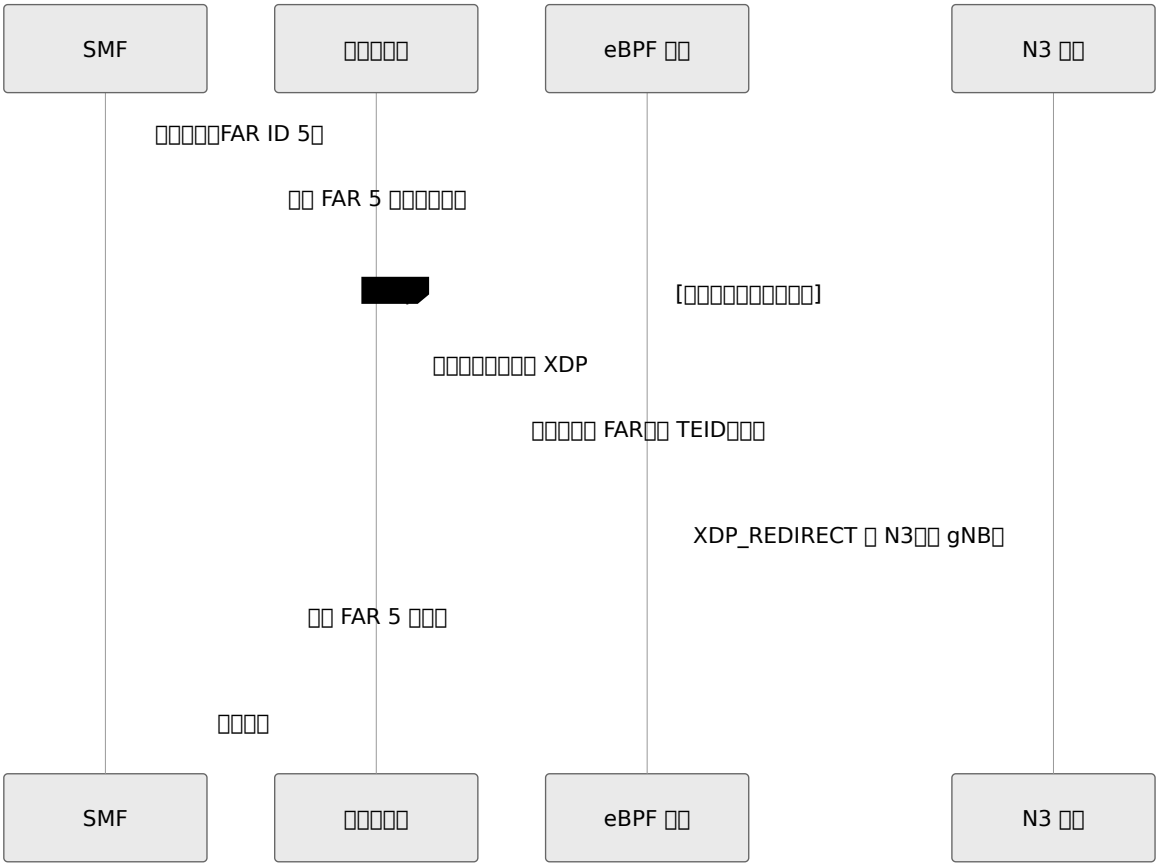
```
gtp->version = 1;
gtp->message_type = GTPU_G_PDU;
gtp->teid = htonl(far_id | (direction << 24));  // □□ FAR ID □□
□
gtp->message_length = htons(orig_packet_len);
```

6. □□ **XDP_PASS**□

   - □□□□□□□□□□□□ UDP □□□□□□□ 22152
   - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□SMF □□ FAR □□□ BUFFER □□□□□□□□□□□□□□



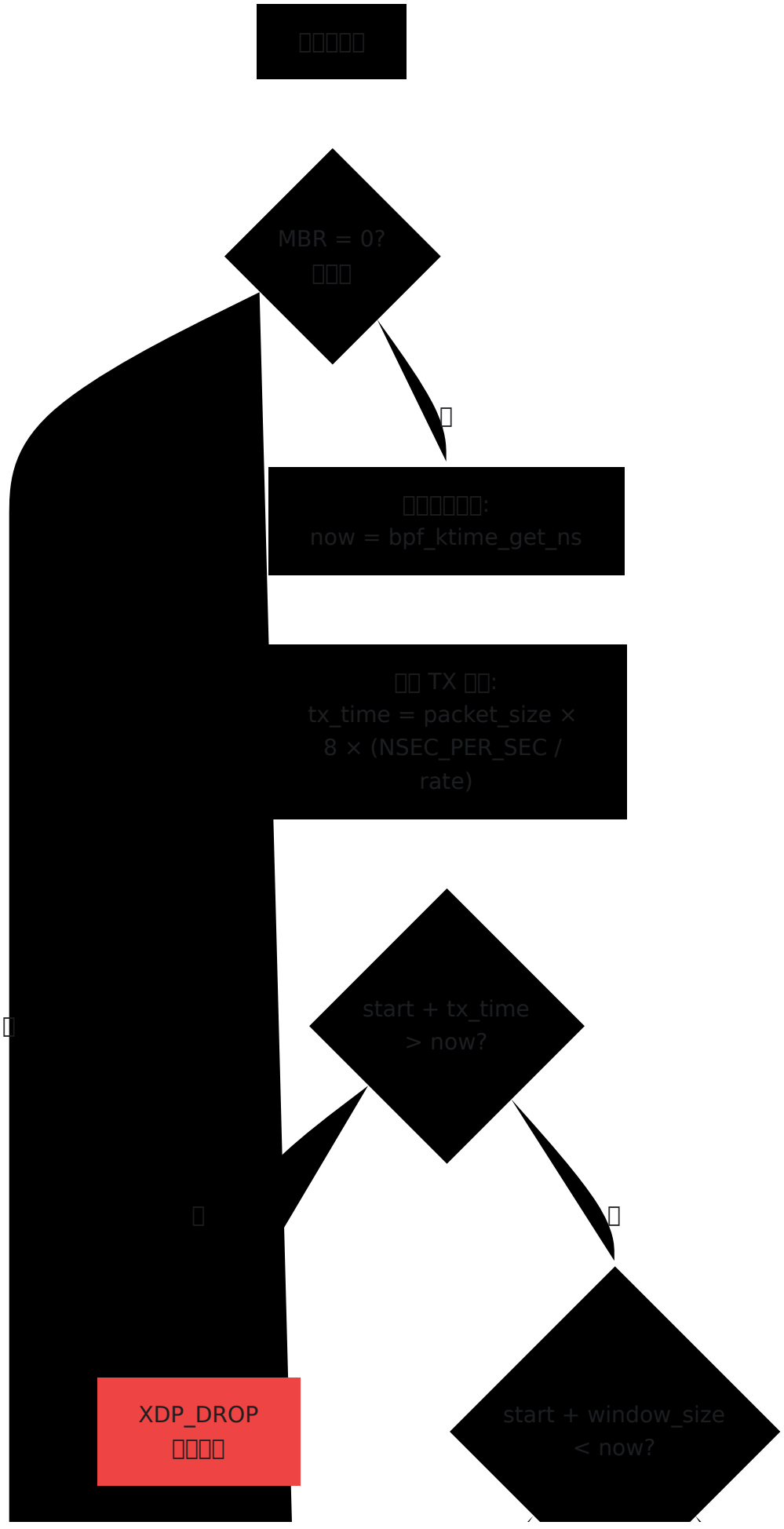
□□□□□□

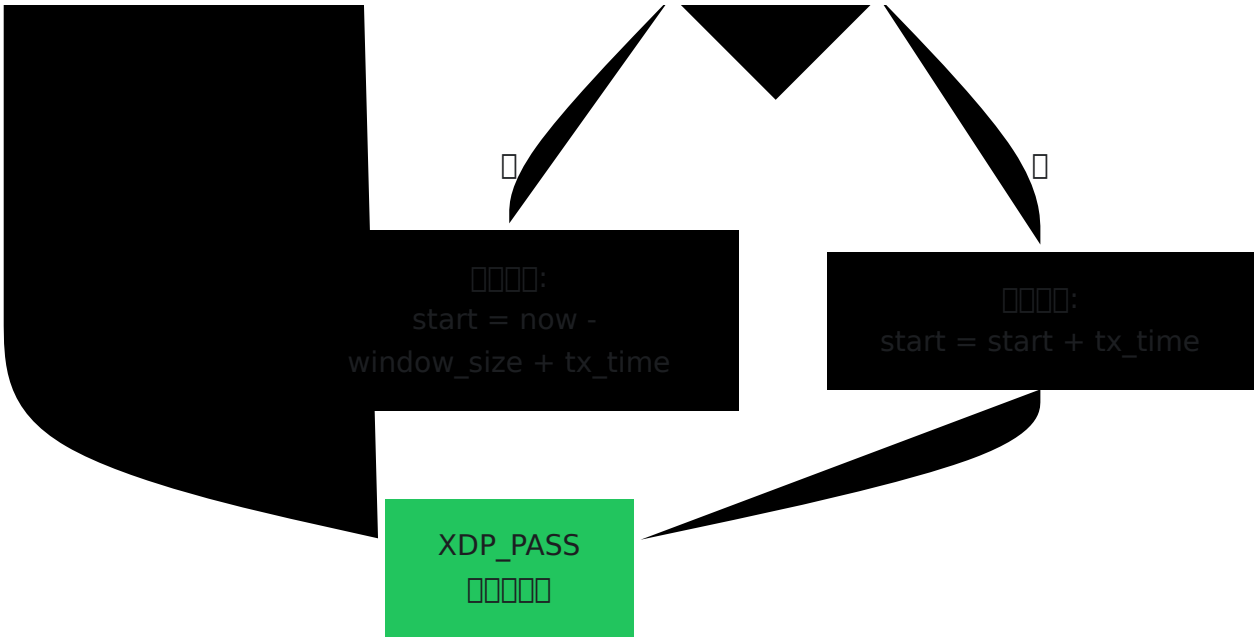
□□	□□□	□□
□ **FAR** □□	10,000 □□□	□□ FAR □□□□□□□□□□
□□□	100,000 □□□	□□□□□□□□□□
□□□ **TTL**	30 □	□□□□□□□□□□□□
□□□□	22152	□□□□□□□□ UDP □□
□□□□□□	60 □	□□□□□□□□□□□

QoS □□□□

□□□□□□□

OmniUPF □□□ □□□□□□□□□□ □□□ QoS □□□□□


MBR = 0?
是
获取当前时间:
now = bpf_ktime_get_ns
计算 TX 时间:
tx_time = packet_size ×
8 × (NSEC_PER_SEC /
rate)
start + tx_time
> now?
否
是
start + window_size
< now?
XDP_DROP
丢弃数据



□□□□□□

□□□□□ `qer.h`□□

```c
static __always_inline enum xdp_action limit_rate_sliding_window(
    const __u64 packet_size,
    volatile __u64 *window_start,
    const __u64 rate)
{
    static const __u64 NSEC_PER_SEC = 1000000000ULL;
    static const __u64 window_size = 5000000ULL;  // 5ms □□

    // □□ = 0 □□□□□□
    if (rate == 0)
        return XDP_PASS;

    // □□□□□□□□□□□□
    __u64 tx_time = packet_size * 8 * (NSEC_PER_SEC / rate);
    __u64 now = bpf_ktime_get_ns();

    // □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
    __u64 start = *window_start;
    if (start + tx_time > now)
        return XDP_DROP;  // □□□□□□

    // □□□□□□□□□□
    if (start + window_size < now) {
        *window_start = now - window_size + tx_time;
        return XDP_PASS;
    }

    // □□□□□□□□□□□□
    *window_start = start + tx_time;
    return XDP_PASS;
}
```

□□□□□

- □□□□□5ms□5,000,000 □□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **MBR = 0□□□□□□□**

QoS □□□□

□□□MBR = 100 Mbps□□□□□□ = 1500 □□

1. □□□□□

```
tx_time = 1500 □□ × 8 □/□□ × (1,000,000,000 ns/sec ÷
100,000,000 bps)
tx_time = 1500 × 8 × 10 = 120,000 ns = 120 µs
```

2. □□□□□

   - □□□□□□□□□□ `t=0` □□□□□□□□□□□□□□□ `t=120µs` □□
   - □□□□□□□ `t=100µs` □□□□□□□□□□□□
   - □□□□□□□ `t=150µs` □□□□□□□□□□□□□□□□

3. □□□□□□□□□

```
Max PPS = (100 Mbps ÷ 8) ÷ 1500 □□ = 8,333 □□□/□
□□□□□□ = 120 µs
```

□□□

□□□

□□	□□□	□□□/□	□□
XDP □□□SmartNIC□	100 Gbps	148 Mpps	< 1 µs
XDP □□□10G NIC□□□□□	10 Gbps	8 Mpps	2-5 µs
XDP □□□10G NIC□4 □□□	40 Gbps	32 Mpps	2-5 µs
XDP □□	1-5 Gbps	0.8-4 Mpps	50-100 µs

□□□□

□□□□□□□□□□XDP □□□□

□□	□□	□□
NIC RX	0.5 µs	0.5 µs
XDP □□□□	0.1 µs	0.6 µs
PDR □□□□□□	0.3 µs	0.9 µs
QER □□□□	0.1 µs	1.0 µs
FAR □□	0.5 µs	1.5 µs
URR □□	0.2 µs	1.7 µs
GTP-U □□/□□□	0.8 µs	2.5 µs
XDP_REDIRECT	0.5 µs	3.0 µs
NIC TX	0.5 µs	3.5 µs

□□□□□□□□□ ~3.5 µs□XDP □□□10G NIC□

CPU □□□

□□□□□□□□□

- □□□□8-10 Mpps□XDP □□□
- □□□□□□□12-15 Mpps
- □□□□□□□□□□□□□□□□ 8 □□

□□□□□□□ **CPU** □□□□□

```
CPU % ≈ (□□□□□□ / 10,000,000) × 100% □□□
```

□□□2 Mpps □□□□□ ~20% □□□□□□

□□□□

eBPF □□□□□□

- □□□□□□~100 ns□□□□□□□
- □□□□□□~300 ns□□□□□□□□
- □□□□□□~50 ns□□□□□□□□□

□□□□□□□□

```
□□ = □□□□□□ × (□□□□□□□□ + □□□□ × 64 □□)
```

□□□10 Mpps × (1500 B + 3 □□□ × 64 B) ≈ 160 Gbps □□□□

□□□□□□□

□□□□

□□ **UPF** □□□

Setting SMF as parent of SMF would create a cycle

□□

□□□□□

- SMF □ UPF □□□□□□□□
- □□ UPF □□□□□ UE □□
- □□□ UPF □□□□□□□□□□

□□□□

CPU □□□

1. □ XDP □□□□ CPU □□□
2. □□ RSS□□□□□□□□□□ RX □□
3. □ eBPF □□□□□□□□□□

NIC □□□

1. □□ RX □□□□□□□□
2. □□□□□ NIC□RSS□
3. □□□□□□□□□□□□□

□□□□□

```
# □□ eBPF □□□□□□□□□□
ulimit -l unlimited

# □□ IRQ □□□□□ XDP □□
systemctl stop irqbalance

# □ CPU □□□□□□□□□□
cpupower frequency-set -g performance

# □□□□□□□□□
sysctl -w net.core.rmem_max=134217728
sysctl -w net.core.wmem_max=134217728
```

□□□□

□□□

```
□□ CPU □□ = (□□ PPS ÷ 10,000,000) × 1.5  (50% □□)
□□□□ = (□□□□ × 212 B × 3) + 100 MB (eBPF □□ + □□)
□□□□ = (□□□□□ × 2) + 10 Gbps (□□)
```

□□□100 □□□□□□ 20 Gbps□□

- CPU: (20 Gbps ÷ □□□ 10 Gbps) × 1.5 = 3-4 □□
- □□: (1M × 212 B × 3) + 100 MB ≈ 750 MB
- □□: (20 Gbps × 2) + 10 Gbps = 50 Gbps □□

□□□□

- **UPF □□□□** - □□ UPF □□□□□
- □□□□□□ - PDR□FAR□QER□URR □□□□
- □□□□ - □□□□□□□
- **Web UI □□□□** - □□□□□□
- □□□□□□ - □□□□□□□
- □□□□□□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

OmniUPF □□□□

□□

1. □□
2. □□□□
3. XDP □□□□
4. □□□□
5. □□□□
6. □□□□□□□□□□
7. □□□□□□□□
8. □□□□
9. □□□□□□□□□

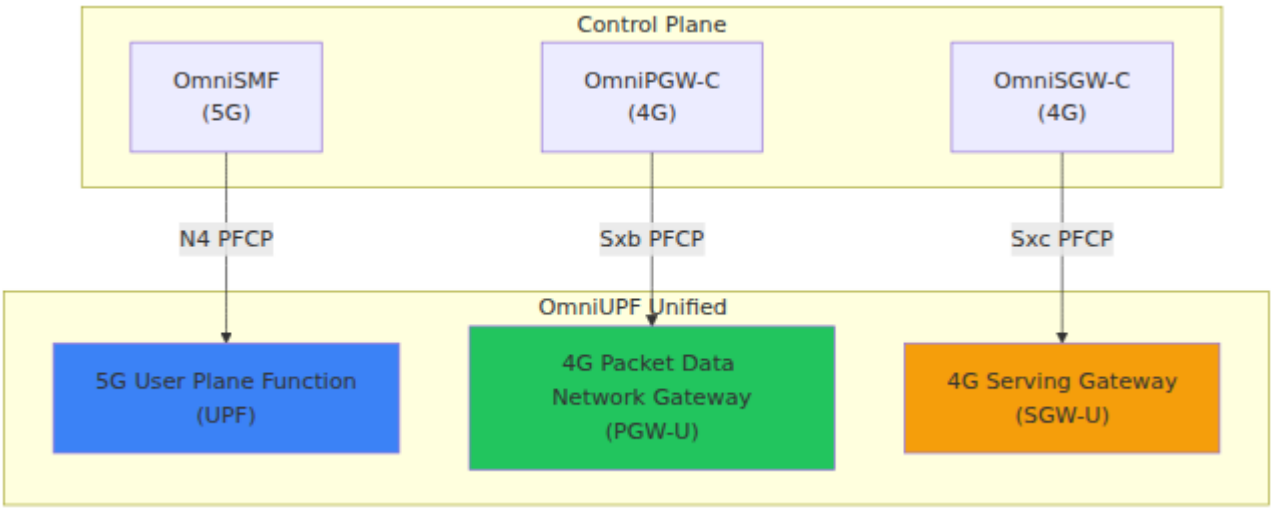
□□

OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 4G (EPC) □ 5G □□□□□□□□□□□□ Elixir/OTP □□□□□□□□ Elixir □□□□ (`runtime.exs`) □□□

□□□□□□□□□□□□□□□ `/etc/omniupf/runtime.exs`□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF□

□□□□

OmniUPF □□□ □□□□□□□□□□□□□□□



□□□□

□□□□□ □□□□□SMF□PGW-C □ SGW-C□□□□□□□□□□ OmniUPF □□ PFCP □□□□□□□□□□□□□ □ OmniUPF □□□

□□□□□

- OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□□ PFCP □□
- □□ OmniUPF □□□□□□□□ UPF□PGW-U □ SGW-U
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

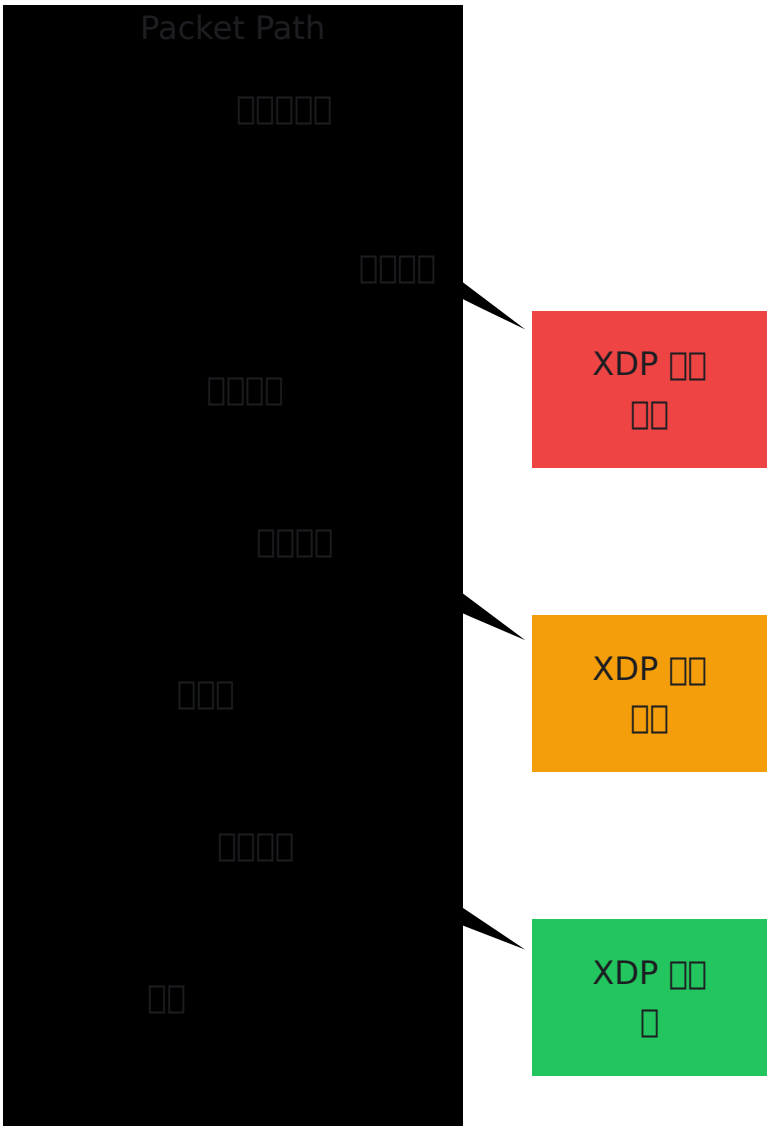
XDP □□□□

OmniUPF □□ XDP (eXpress Data Path) □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□ **XDP** □□□□□□□□□□ **Proxmox** □□□□□□□□□□□□□□ **XDP** □□□□□

□□□□

□□	□□□	□□	□□	**NIC □□**
□□	□□□□□□□□	~1-2 Mpps	□□□□□□□□□□	□□ NIC
□□	□□□□□□□□	~5-10 Mpps	□□□□□□□□ SR-IOV □□□□□	□□ XDP □□□
□□	NIC □□ □SmartNIC□	~10-40 Mpps	□□□□□□	□□ XDP □□□ SmartNIC



□□□□□□□□□

□□□XDP □□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□ □□ □□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□□□□□ ~1-2 Mpps□
- □□□□ XDP □□□□□□□□□

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_attach_mode = "generic"
```

□□□□□

- □□ SR-IOV □□□□
- □□□□□□□□
- □□□ XDP □□□ NIC
- □ Proxmox□VMware□VirtualBox □□□□□□□□□□

□□□□□□□□□

□□□XDP □□□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□□□□ ~5-10 Mpps□
- □□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□ SR-IOV □□□

□□□

- □□□□ XDP □□□□□
- □□□□ NIC/□□□□□□□ XDP

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_attach_mode = "native"
```

□□□□□

- □□□□□□□□□□
- □ SR-IOV □□□□□□
- □□ XDP □□□□□□ NIC□Intel□Mellanox □□

□□□

- □□ XDP □□□□□□□ NIC □□□□
- □□ XDP □□□ Linux □□ 5.15+

□□□□□□□□□

□□□XDP □□□□□ SmartNIC □□□□□

□□□

- □□□□□~10-40 Mpps□
- □□□□□□ CPU □□
- □□□□□
- □□□□□□□□□ CPU

□□□

- □□□□□ SmartNIC □□
- SmartNIC □□□□□

- □□□□□□□□□

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_attach_mode = "offload"
```

□□□□□

- □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- CPU □□□□□□□

□□□

- □□ XDP □□□ SmartNIC□Netronome Agilio CX□Mellanox BlueField□
- □□□□□□□

□□□□

□□□□

□□	□□	□□	□□
`xdp_interfaces`	□□ N3/N6/N9 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `"auto"` □□□□□□□□□	□□□	`"auto"`
`gtpu_interface`	□□□□ GTP-U□N3/N9/S5-S8□□ NIC□□ `sgi_interface` □□□□□□□ GTP-U □□□ XDP □□□□□□□ NIC□□□□□□□□□□□□□	□□□	`nil`
`sgi_interface`	□□□□ IP SGi/N6 □ NIC□□ `gtpu_interface` □□□□□□□□□□□□□ XDP □□□□□□□ NIC	□□□	`nil`
`n3_address`	N3 □□□ IPv4 □□□□□□ RAN □ GTP-U□	IP	`"127.0.0.1"`
`n9_address`	N9 □□□ IPv4 □□□UPF □ UPF □ ULCL□	IP	□ `n3_address` □□

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_interfaces = "eth0,eth1"
n3_address = "10.100.50.233"
n9_address = "10.100.50.234"
```

□ **NIC** □□□□□□□□ □ GTP-U □ SGi □□□□□ NIC □□□□□□□□□ NIC □□□□□□□□□ NIC □□□□□□□□ XDP □□□□ `gtpu_interface` □□□ GTP-U□□ `sgi_interface` □□□□□□□□□□□□□□□□“□□□□”□□□□□□□□□□ `xdp_interfaces` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

```
xdp_interfaces = "eth1,eth2"
gtpu_interface = "eth1"   # □□ GTP-U□N3/N9/S5-S8□
sgi_interface  = "eth2"   # □□ IP SGi/N6
```

PFCP □□

□□	□□	□□	□□
`pfcp_address`	PFCP □□□□□□□□□□N4/Sxb/Sxc □□□	IP □□□	`"127.0.0.1"`
`pfcp_port`	PFCP □□	□□	`8805`
`node_id`	PFCP □□□□□□□□ ID	IP □□□	`"127.0.0.1"`
`heartbeat_interval_ms`	PFCP □□□□□□□□□	□□	`5000`
`heartbeat_timeout_ms`	PFCP □□□□□□□□□	□□	`5000`
`heartbeat_retries`	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	□□	`3`
`association_setup_timeout`	□ UPF □□□□□□□□□ PFCP □□□□□□□□□□□□□□□	□□	`5000`
`pfcp_remote_nodes`	UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□ IP □□□□□□□□□UPF □□□□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□	□□□□	`[]`

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
pfcp_address = "10.100.50.241"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.100.50.241"
heartbeat_interval_ms = 10_000
heartbeat_retries = 5
association_setup_timeout = 5_000
pfcp_remote_nodes = []                # □□□ ["10.100.50.20",
"10.100.50.22"]
```

API □□□

□□	□□	□□	□□
`api_port`	REST API □□□□Phoenix□□□□□□	□□	`8080`
`log_level`	□□□□□`:debug`□`:info`□`:warning`□`:error`□	□□	`:info`

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
api_port = 8080
log_level = :debug
```

GTP □□□□

□□	□□	□□	□□
`gtpu_port`	GTP-U □□	□□	`2152`
`gtp_echo_interval`	□□□□□□□□□	□□	`10`
`gtp_echo_retries`	□□□□□□□□□□□□□□□	□□	`3`
`gtp_peers`	□□□□□□□□□□□ GTP □□□□□	□□	`[]`

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
gtp_echo_interval = 15
gtp_echo_retries = 3
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.100.50.50"), echo: true, echo_interval:
10},
  %{address: parse_ip.("10.100.50.60"), echo: false},
]
```

□□□□ GTP-U

GTP-U □□□□□□□□□□ 36 □□□□□□□□□□□□□□ 1500 □□□□□□□ 1536 □□□ GTP-U □□□□□□□□ 1500 □□□ N3 □□□GTP-U □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□TS 29.281 §4.2.4□□□□□□ UE □ □□□□□ PCO □□□□□□ MTU□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

XDP □□□□□□□□□□□□ GTP-U □□□□□□□ MTU □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UDP □□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□N6 □ N3□□□ GTP-U □□□□□□□□SGW-U□□

□□	□□	□□	□□
`gtpu_oversize_punt_enabled`	`true`□□□□□ GTP-U □□□□□□□□□□ □□□□`false`□□□□□	□□	□□□□

□□□□□□□□UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

TCP MSS □□

□□ PCO □□□ MTU □□□□□□□□□□□□□ TCP □□□□□ 1460 □□□ MSS□□□□□□□□ 1500 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ MSS □□□□□□□□□□□□□□□□□

□□	□□	□□	□□
`tcp_mss_clamp`	□□□ UPF □□□□□ TCP MSS□IPv4□□□□□□□□□□□□□□□IPv6 □□□ 20 □□□`false` □□ MSS □□	`false` □□□ 536-1460	□□ □□

□□□ SYN □ SYN-ACK □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
max_sessions = 100_000
far_map_size = 131_070
qer_map_size = 65_535
urr_map_size = 131_070
```

□□□□□

□□□□□□ UE □□□□□□□□ UE □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□	□□	□□	□□
`buffer_port`	□□ eBPF □□□□□□□ UDP □□	□□	`22152`
`buffer_max_total`	□□ FAR □□□□□□□□□□□□□□□□	□□	`10_000`
`buffer_max_per_far`	□□ FAR □□□□□□□□□□	□□	`100`
`buffer_ttl_ms`	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	□□	`30_000`
`buffer_cleanup_interval_ms`	□□□□□□□□□□□□□□□□	□□	`5_000`

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
buffer_port = 22152
buffer_max_total = 10_000
buffer_max_per_far = 100
buffer_ttl_ms = 30_000
buffer_cleanup_interval_ms = 5_000
```

□□□□□□□□□□□□□ `upf_buffer_packets_dropped_total`□□□ `global_limit`□`far_limit`□`expired`□□□□□ Metrics Reference□

□□□□

□□	□□	□□	□□
`feature_ueip`	□□ OmniUPF □ UE IP □□	□□	`false`
`ueip_pool`	UE IP □□□ IP □□□□ `feature_ueip`□	CIDR □□□	`"10.60.0.0/24"`
`feature_ftup`	□□ OmniUPF □ F-TEID □□	□□	`true`
`teid_pool_start`	TEID □□□□□□□□□□	□□	`1`
`teid_pool_end`	TEID □□□□□□□□□□□TEID □□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □	□□	`0xFFFFFFFF`

□□□**UE IP** □□□□□ `runtime.exs` □□□

```
feature_ueip = true
ueip_pool = "10.45.0.0/16"
```

□□□**F-TEID** □□□□□ `runtime.exs` □□□

```
feature_ftup = true
teid_pool_start = 1
teid_pool_end = 0xFFFFFFFF
```

□□□□□□□

□□□ FRR□Free Range Routing□□□□□□□ UE □□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□

□□	□□	□□	□□
`route_manager_enabled`	□□□□ UE □□□□	□□	`true`
`route_manager_type`	□□□□□□□□□□ `"frr"` □ `"static"`□	□□□	`"frr"`
`route_manager_nexthop`	□□ UE □□□□□□□□□□ = □□□□□	□□□	`""`
`route_manager_vtysh_path`	FRR `vtysh` □□□□□□□□□ □□ `route_manager_type` □ `"frr"` □□□□	□□□	`"/usr/bin/v`
`route_manager_sync_interval_ms`	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□	□□	`600_000`
`route_batch_interval_ms`	□□□□□□□□□/□□□□□□□□□□ □□□□□	□□	`1_000`

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
route_manager_enabled = true
route_manager_type = "frr"
route_manager_nexthop = ""
route_manager_vtysh_path = "/usr/bin/vtysh"
route_manager_sync_interval_ms = 600_000
route_batch_interval_ms = 1_000
```

□□□□□

- □□□□□□□□ UPF □□

- □ OSPF □ BGP □□□□□□□□
- □□□□□□□□ FRRouting □□□□

---

eBPF / XDP □□

□□	□□	□□	□□
`xdp_interfaces`	□□ XDP □□□□□□□□□□□□□□□□ `"auto"` □□□□□□□□□□	□□□	`"auto"`
`xdp_attach_mode`	XDP □ □□`"generic"`□`"native"` □ `"offload"`	□□□	`"generic"`
`ebpf_pin_path`	BPF □□□□□□□□□□	□□□	`"/sys/fs/bpf/upf_pipeli`
`xdp_obj_path`	□□□□ eBPF □□□□	□□□	`"/etc/omniupf/ipentrypo`
`ebpf_backend`	□□□□□□□□□□`:nif`□□□ NIF□□□□□`:port`□□□□□□ □□□ `:mock`□□□□□□□□□□ eBPF □□□□	□□	`:nif`

□□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_interfaces = "auto"              # □ "eth0,eth1" □□□□□□
xdp_attach_mode = "native"
ebpf_pin_path = "/sys/fs/bpf/upf_pipeline"
xdp_obj_path = "/etc/omniupf/ipentrypoint_bpf.o"
ebpf_backend = :nif
```

□□□□

Elixir □□□□ (runtime.exs)

□□□`/etc/omniupf/runtime.exs`

□□□□□□□ Elixir □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `config :upf_ex, ...` □□□□□□□□□□□□

```
import Config

parse_ip = fn str ->
  {:ok, addr} = :inet.parse_address(String.to_charlist(str))
  addr
end

#
==========================================================================
# PFCP (N4/Sx) □□
#
==========================================================================
pfcp_address = "10.100.50.241"       # □□ PFCP □□□ IP □□
pfcp_port = 8805                      # PFCP □□□□□□8805□
node_id = "10.100.50.241"            # □□□□□□□□□□□□ ID

#
==========================================================================
# GTP-U □□□□□□
#
==========================================================================
n3_address = "10.100.50.233"         # N3 □□ IP□GTP-U □□ RAN□
n9_address = n3_address               # N9 □□ IP□□□□ N3□
gtpu_port = 2152                      # GTP-U □□□□□□2152□
buffer_port = 22152                   # □□□□□□

#
==========================================================================
# eBPF / XDP □□
#
==========================================================================
xdp_interfaces = "auto"              # "auto" □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
xdp_attach_mode = "native"           # XDP □□□"generic"□"native" □ "d
ebpf_pin_path = "/sys/fs/bpf/upf_pipeline"
xdp_obj_path = "/etc/omniupf/ipentrypoint_bpf.o"

#
==========================================================================
# □□□□□□□□□
#
==========================================================================
max_sessions = 100_000
teid_pool_start = 1
```

```
teid_pool_end = 0xFFFFFFFF
far_map_size = 131_070
qer_map_size = 65_535
urr_map_size = 65_535

#
============================================================================
# □□□□
#
============================================================================
feature_ueip = true
feature_ftup = true
ueip_pool = "10.45.0.0/16"

#
============================================================================
# □□□□
#
============================================================================
route_manager_enabled = true
route_manager_type = "frr"

#
============================================================================
# □□□□
#
============================================================================
heartbeat_interval_ms = 10_000
heartbeat_timeout_ms = 5_000
heartbeat_retries = 5

#
============================================================================
# GTP-U □□□□□□□
#
============================================================================
gtp_echo_interval = 10
gtp_echo_retries = 3
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.100.50.50"), echo: true, echo_interval: 10
]

#
============================================================================
```

```
# HTTP API □□□
#
================================================================================
api_port = 8080
log_level = :info

#
================================================================================
# □□□□□□□□□□□□□□□□□□
#
================================================================================
config :upf_ex,
  pfcp_address: parse_ip.(pfcp_address),
  pfcp_port: pfcp_port,
  n3_address: parse_ip.(n3_address),
  n9_address: parse_ip.(n9_address),
  node_id: parse_ip.(node_id),
  api_port: api_port,
  ebpf_pin_path: ebpf_pin_path,
  xdp_obj_path: xdp_obj_path,
  interface_names: String.split(xdp_interfaces, ","),
  xdp_attach_mode: xdp_attach_mode,
  feature_ueip: feature_ueip,
  feature_ftup: feature_ftup,
  ueip_pool: ueip_pool,
  teid_pool_start: teid_pool_start,
  teid_pool_end: teid_pool_end,
  far_map_size: far_map_size,
  qer_map_size: qer_map_size,
  urr_map_size: urr_map_size,
  max_sessions: max_sessions,
  route_manager_enabled: route_manager_enabled,
  route_manager_type: route_manager_type,
  buffer_port: buffer_port,
  gtpu_port: gtpu_port,
  heartbeat_interval_ms: heartbeat_interval_ms,
  heartbeat_timeout_ms: heartbeat_timeout_ms,
  heartbeat_retries: heartbeat_retries,
  gtp_echo_interval: gtp_echo_interval,
  gtp_echo_retries: gtp_echo_retries,
  gtp_peers: gtp_peers

config :logger, level: log_level
```

□□□□

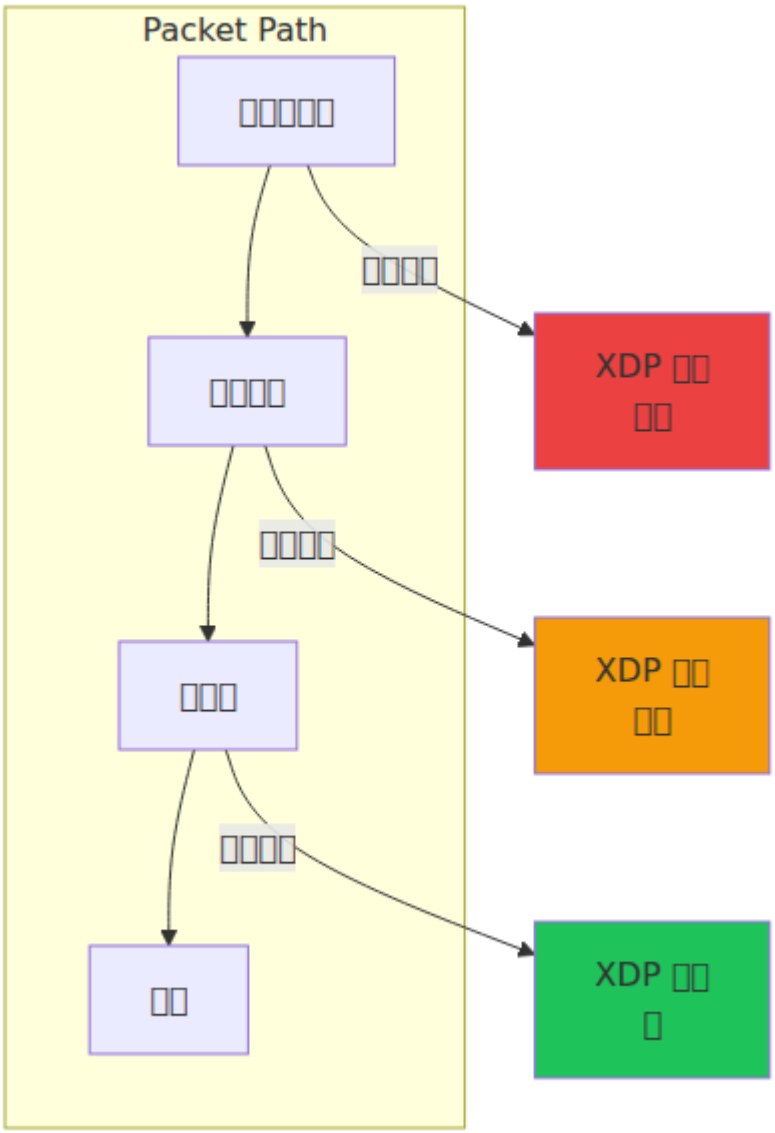
```
# □□ UPF
sudo systemctl start omniupf

# □□ UPF
sudo systemctl stop omniupf

# □□□□□□□□□□
sudo systemctl restart omniupf

# □□□□
sudo systemctl status omniupf

# □□□□
sudo journalctl -u omniupf -f

# □□□□□□□□□□□□□
sudo /opt/omniupf/bin/upf_ex start
sudo /opt/omniupf/bin/upf_ex stop
sudo /opt/omniupf/bin/upf_ex daemon   # □□□□□□□□□□
```

□□□□□□

□□

OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□XDP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□ **Proxmox** □□□□□□□□□□□□□□□□ **XDP** □□□□□□□□□□ **XDP** □□□□□



Proxmox VE

□□□□□□□

1. □□□□□□□□ XDP□

□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□VirtIO □ E1000
- XDP □□□`generic`
- □□□~1-2 Mpps

Proxmox □□□□□□

```
□□□□□net0
□□□VirtIO□□□□□□
□□□vmbr0
```

OmniUPF □□□□ `runtime.exs` **□□□**

```
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "generic"
```

---

2. SR-IOV □□□□□ XDP□

□□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□SR-IOV □□□□
- XDP □□□`native`
- □□□~5-10 Mpps

□□□

- □□ SR-IOV □□□ NIC□Intel X710□Mellanox ConnectX-5□
- BIOS □□□ SR-IOV
- □□ IOMMU□□ GRUB □□□ `intel_iommu=on` □ `amd_iommu=on`□

□ **Proxmox □□□ SR-IOV**□

```
# □□ GRUB □□
nano /etc/default/grub

# □□□ GRUB_CMDLINE_LINUX_DEFAULT□
intel_iommu=on iommu=pt

# □□ GRUB □□□
update-grub
reboot

# □ NIC □□□ VFs□□□□eth0 □□ 4 □□□□□□
echo 4 > /sys/class/net/eth0/device/sriov_numvfs

# □□□□□
echo "echo 4 > /sys/class/net/eth0/device/sriov_numvfs" >>
/etc/rc.local
chmod +x /etc/rc.local
```

Proxmox □□□□□□

```
□□ -> □□ -> PCI □□
□□□SR-IOV □□□□
□□□□□□□
□□ GPU□□
PCI-Express□□□□□□
```

OmniUPF □□□□ `runtime.exs` **□□□**

```
xdp_interfaces = "ens1f0"    # SR-IOV VF □□
xdp_attach_mode = "native"
```

---

3. PCI □□□□□ XDP□

□□□□□□□□□□□□□□□□ NIC

□□□

- □□□□ NIC □□□□□□

- XDP □□□`native` □ `offload`□□□□ SmartNIC□
- □□□~5-40 Mpps□□□□ NIC□

Proxmox □□□□□□

```
□□ -> □□ -> PCI □□
□□□□□□ NIC□□□□0000:01:00.0□
□□□□□□□
□□ GPU□□
PCI-Express□□
```

OmniUPF □□□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_interfaces = "ens1f0"
xdp_attach_mode = "native"    # □ "offload" □□ SmartNIC
```

KVM/QEMU

□□□□□

```
virt-install \
  --name omniupf \
  --network bridge=br0,model=virtio \
  --disk path=/var/lib/libvirt/images/omniupf.qcow2 \
  ...
```

SR-IOV □□□

```
<interface type='hostdev' managed='yes'>
  <source>
    <address type='pci' domain='0x0000' bus='0x01' slot='0x10'
function='0x1'/>
  </source>
</interface>
```

VMware ESXi

□□ vSwitch□□□ XDP□□

- □□□□□□VMXNET3
- XDP □□□`generic`

SR-IOV□□□ XDP□□

- □ ESXi □□□□□□□ SR-IOV
- □ SR-IOV □□□□□□□□□□□
- XDP □□□`native`

Microsoft Hyper-V

□□□□□□□□ XDP□□

- □□□□□□□□
- XDP □□□`generic`

SR-IOV□□□ XDP□□

- □ Hyper-V □□□□□□ SR-IOV
- □□□□□□□□□□□ SR-IOV
- XDP □□□`native`

VirtualBox

NAT/□□□□□□□□ XDP□□

- □□□□□□VirtIO-Net □ Intel PRO/1000
- XDP □□□`generic`
- □□□VirtualBox □□□ SR-IOV

NIC □□□

□□ Mpps □□□□

□□□□□□□□**Mpps**□□□□□□□**Gbps**□□□□□□□□ - □□□□□□□□□

□ 1 Mpps □□□□□□□□□ GTP-U □□□□□□□□□□

```
1536 □□ x 1,000,000 pps x 8 □/□□ = 12,288 Mbps ~ 12.3 Gbps
```

□□ IP □□□□N6 □□□□

□ N6□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ GTP-U □□□ IP□

□□ N6 □□□□

- **IP** □□20 □□
- **UDP** □□8 □□
- □□□□□□□□1 □□
- □□□29 □□

□ 1 Mpps □□□□□□□□□ N6 □□□□□□□□□□

```
29 ���□ x 1,000,000 pps x 8 □/□□ = 232 Mbps
```

□□ N6 □□□□1500 MTU□□

- **IP MTU**□1500 □□
- □□□1500 □□

□ 1 Mpps □□□□□□□□□ N6 □□□□□□□□□□

```
1500 □□ x 1,000,000 pps x 8 □/□□ = 12,000 Mbps = 12 Gbps
```

□□□□□□□□□

Intel X710 NIC□N3 □□□ 10 Mpps □□□□ GTP-U□□

□□□□	□□□□□□□□	**GTP-U □□**	**10 Mpps □□□□**	□□□□
VoIP □□（N3）	65-150 □□	101-186 □□	**0.8-1.5 Gbps**	AMR-WB □□□ G.711
□□□□□（N3）	400-600 □□	436-636 □□	**3.5-5.1 Gbps**	HTTP/HTTPS□□□
□□□□□**N3**）	**1200 □□**	**1236 □□**	**9.9 Gbps**	□□ **2024 □□□□**
□□□□N3）	1400-1450 □□	1436-1486 □□	**11.5-11.9 Gbps**	HD/4K □□□
□□ MTU（N3）	1500 □□	1536 □□	**12.3 Gbps**	□□ TCP □□

□ **N6 □□□□□ IP□□ GTP-U□□**

□□□□	□□□□□	**10 Mpps □□□□□**	□□□□
VoIP □□□	65-150 □□	**0.5-1.2 Gbps**	□□ RTP □
□□□□□	400-600 □□	**3.2-4.8 Gbps**	HTTP □□
□□□□	**1200 □□**	**9.6 Gbps**	□□ **2024 □□**
□□□	1400-1450 □□	**11.2-11.6 Gbps**	□□□□
□□ MTU	1500 □□	**12.0 Gbps**	□□□□□

□ 10 Mpps □□□□□□□□□1200 □□□□□□□□□□□□ N3 □ N6 □□□□□□□□□ **~10 Gbps□

□□□□□□□□

□ 1200 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

NIC Mpps □□	N3 □□□□(GTP-U□)	N6 □□□□□□ IP□	□□□□
1 Mpps	~1.0 Gbps	~1.0 Gbps	□□□□□□□□□□
5 Mpps	~4.9 Gbps	~4.8 Gbps	□□□□□□□
10 Mpps	~9.9 Gbps	~9.6 Gbps	□□□□□□□□
20 Mpps	~19.7 Gbps	~19.2 Gbps	□□□□□□□□
40 Mpps	~39.4 Gbps	~38.4 Gbps	□□□□□□□□□

□□ XDP □□□□□□□

OmniUPF □□□□ XDP □□□□□□□□□□ □□ □ □□ □□□□□□□□□□ □□ NIC□

Intel NICs

□□	□□□□	**XDP □□**	□□	□□
Intel X710	i40e	□	□□	~10 Mpps
Intel XL710	i40e	□	□□	~10 Mpps
Intel E810	ice	□	□□	~15 Mpps
Intel 82599ES	ixgbe	□	□□	~8 Mpps
Intel I350	igb	□□	□□	~1 Mpps
Intel E1000	e1000	□	□□□	~1 Mpps

Mellanox/NVIDIA NICs

□□	□□□□	**XDP □□**	□□	□□
Mellanox ConnectX-5	mlx5	□	□□	~12 Mpps
Mellanox ConnectX-6	mlx5	□	□□	~20 Mpps
Mellanox BlueField	mlx5	□	□□ + □□	~40 Mpps
Mellanox ConnectX-4	mlx4	□□	□□	~2 Mpps

Broadcom NICs

□□	□□□□	**XDP □□**	□□	□□
Broadcom BCM57xxx	bnxt_en	□	□□	~8 Mpps
Broadcom NetXtreme II	bnx2x	□	□□□	~1 Mpps

□□□□□

□□	□□□□	**XDP □□**	□□	□□
Netronome Agilio CX	nfp	□	□□	~30 Mpps
Amazon ENA	ena	□	□□	~5 Mpps
Solarflare SFC9xxx	sfc	□	□□	~8 Mpps
VirtIO	virtio_net	□□	□□	~2 Mpps

⬜⬜ NIC XDP ⬜⬜

⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜ **XDP**⬜

```
# ⬜⬜ NIC ⬜⬜⬜⬜
ethtool -i eth0 | grep driver

# ⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜ XDP ⬜⬜
modinfo <driver_name> | grep -i xdp

# Intel i40e ⬜⬜⬜
modinfo i40e | grep -i xdp
```

⬜⬜ **XDP** ⬜⬜⬜⬜

```
# ⬜⬜ XDP ⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜
ip link show eth0 | grep -i xdp

# ⬜⬜⬜⬜⬜XDP ⬜⬜⬜⬜
# 2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 xdp qdisc mq
```

⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜ NIC

⬜ 1200 ⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜⬜

□□□□	□□ NIC	□□	Mpps □□	□□□□（N3□）	□□□□
□□/□□	□□ NIC□VirtIO□E1000□	□□	1-2 Mpps	1-2 Gbps	□□□□□□PoC
□□□□	Intel X710□Mellanox CX-5	□□	5-10 Mpps	5-10 Gbps	□□□□□□□□
□□□□/□□	Intel E810□Mellanox CX-6	□□	10-20 Mpps	10-20 Gbps	□□□□□□□□□
□□□□	Mellanox CX-6□Intel E810□□□	□□	20-40 Mpps	20-40 Gbps	□□□□□□□□□
□□□□	Mellanox BlueField□Netronome Agilio	□□	40+ Mpps	40+ Gbps	□□□□
Proxmox □□□□□□□	VirtIO	□□	1-2 Mpps	1-2 Gbps	□□□
Proxmox □□□□SR-IOV□	Intel X710/E810 VF□Mellanox CX-5 VF	□□	5-10 Mpps	5-10 Gbps	□□□□□

□□□□

□□ XDP □□□

- XDP □□
- □□ XDP □□

NIC □□□□□□

- Cilium XDP □□□□
- IO Visor XDP □□□□

□□□□

□□ 1□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□ SR-IOV □□□□□□□□□□□□□□□ OmniUPF

```
# □□□□□ (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "generic"
api_port = 8080
pfcp_address = "127.0.0.1"
pfcp_port = 8805
node_id = "127.0.0.1"
n3_address = "127.0.0.1"
log_level = :debug
max_sessions = 1_000
```

□□ 2□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□ Intel X710 NIC □□□□□□□□□□□ UPF

```
# □□□□□□□□ (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "ens1f0,ens1f1"    # N3 □ ens1f0□N6 □ ens1f1
xdp_attach_mode = "native"
api_port = 8080
pfcp_address = "10.100.50.241"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.100.50.241"
n3_address = "10.100.50.233"
n9_address = "10.100.50.234"
log_level = :info
max_sessions = 500_000
gtp_echo_interval = 30
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.100.50.10"), echo: true, echo_interval:
30},
  %{address: parse_ip.("10.100.50.11"), echo: true, echo_interval:
30},
]
heartbeat_interval_ms = 10_000
feature_ueip = true
ueip_pool = "10.45.0.0/16"
```

□□ 3□Proxmox □□□□ SR-IOV□□□□□□

□□□□ Proxmox □□□□□□ SR-IOV □□□□ UPF

```
# Proxmox SR-IOV □□ (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "ens1f0"           # SR-IOV VF
xdp_attach_mode = "native"
api_port = 8080
pfcp_address = "192.168.100.10"
pfcp_port = 8805
node_id = "192.168.100.10"
n3_address = "192.168.100.10"
log_level = :info
max_sessions = 100_000
gtp_echo_interval = 15
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("192.168.100.50"), echo: true},
]
```

□□ 4□PGW-U □□□4G EPC□

□□□OmniUPF □ 4G EPC □□□□□ PGW-U

```
# PGW-U □□ (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "native"
api_port = 8080
pfcp_address = "10.200.1.10"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.200.1.10"
n3_address = "10.200.1.10"          # S5/S8 □□□GTP-U□
log_level = :info
max_sessions = 200_000
gtp_echo_interval = 20
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.200.1.50"), echo: true, echo_interval:
20},
]
heartbeat_interval_ms = 5_000
```

□□ 5□□□□□UPF + PGW-U □□□

□□□OmniUPF □□□ 5G □ 4G □□□□□□

```
# □□□□□□ (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "eth0,eth1"
xdp_attach_mode = "native"
api_port = 8080
pfcp_address = "10.50.1.100"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.50.1.100"
n3_address = "10.50.1.100"
n9_address = "10.50.1.101"
log_level = :info
max_sessions = 300_000
gtp_echo_interval = 15
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.50.2.10"), echo: true, echo_interval:
15},
  %{address: parse_ip.("10.50.2.20"), echo: true, echo_interval:
15},
]
heartbeat_interval_ms = 10_000
feature_ueip = true
ueip_pool = "10.60.0.0/16"
```

□□ 6□SmartNIC □□□□

□□□□□ Netronome Agilio CX SmartNIC □□□□□□□□□□

```
# SmartNIC □□□□ (/etc/omniupf/runtime.exs)
xdp_interfaces = "enp1s0np0"        # SmartNIC □□
xdp_attach_mode = "offload"
api_port = 8080
pfcp_address = "10.10.1.50"
pfcp_port = 8805
node_id = "10.10.1.50"
n3_address = "10.10.1.50"
log_level = :warning
max_sessions = 1_000_000
far_map_size = 2_000_000
qer_map_size = 1_000_000
gtp_echo_interval = 30
gtp_peers = [
  %{address: parse_ip.("10.10.2.10"), echo: true},
  %{address: parse_ip.("10.10.2.20"), echo: true},
  %{address: parse_ip.("10.10.2.30"), echo: true},
]
heartbeat_interval_ms = 15_000
```

□□□□□□□□□

□□□□□□

□□ `max_sessions` □□□□□□□□□□□□□□

```
max_sessions = 100_000
far_map_size = 131_070
qer_map_size = 65_535
```

□□□□□~91 MB □□ 100K □□

□□□□

□□□□□□□□

```
□□□□□□ = min(
  pdr_map_size / 2,
  far_map_size / 2,
  qer_map_size
)
```

□□□

- PDR □□□200,000
- FAR □□□200,000
- QER □□□100,000

□□□□□ = min(100,000, 100,000, 100,000) = **100,000**

□□□□

□□□□□□□□□□□□

- PDR: 2 x 212 B = 424 B
- FAR: 2 x 20 B = 40 B
- QER: 1 x 36 B = 36 B
- URR: 2 x 20 B = 40 B
- □□□~540 B □□□□

□□ **100K** □□□~52 MB □□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□ 2 □□□□□□□□

```
# □□□□□□□
ulimit -l

# □□□□□□□□eBPF □□□
ulimit -l unlimited
```

□□□□

- □□□□ - eBPF/XDP □□□□□□□□□
- □□□□□□□ - PDR□FAR□QER□URR □□
- □□□□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□ - □□□ Prometheus □□□□
- **Web UI □□** - □□□□□□□
- □□□□ - UPF □□□□□□□□
- □□□□□□□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□ IPv6 / □□

OmniUPF □□□□ IPv6 □□□□□□□□ IPv6 □ IPv4v6 PDN □□□□□□□□□□□UE □□□□□ PFCP □□ IPv6 □□□□□□□□□□ OSPFv3 □□□□□ UE □□□□□

□□□□ □□□□ □□□□□□□□□□PDN □□□□□PAA□Gx□□□□□ PFCP □ UPF □□ UE IPv6 □□□□ SMF/PGW-C □□□□□□□□ □□□□ □ □□□□□□

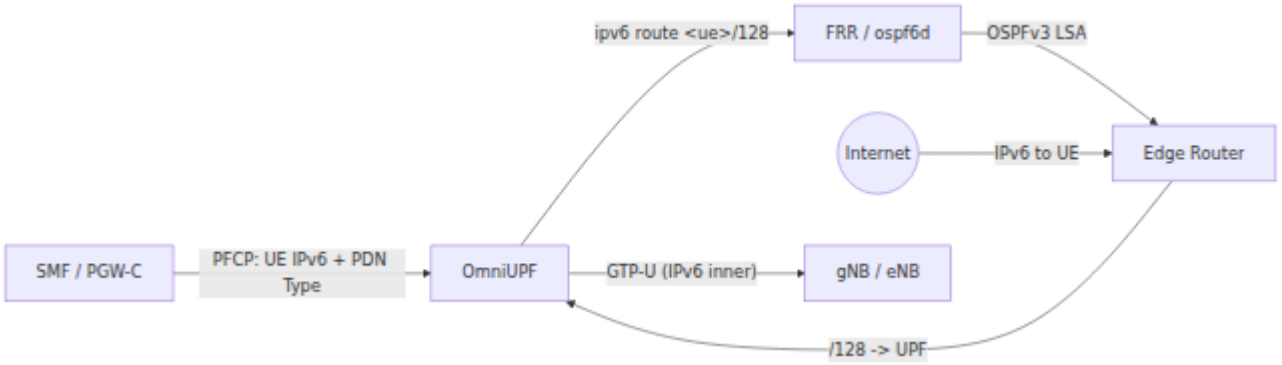
□□

- □□
- □□□□□□□
- UE IPv6 □□□
- OSPFv3 □□□□
- □□□□□□□
- □□□□

□□

□□□ IPv6□□ IPv4v6□PDN □□□□SMF/PGW-C □□ PFCP □ UE □ IPv6 □□□ PDN □□□□□ UPF□□□□UPF□

1. □□ **IPv6** □□□□□□□□□□□ UE □□□□□□□□□□□□□□□
2. □ UE □□□□ `/128` □□□□□□□□□ **OSPFv3** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF□
3. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ GTP-U □□□□□□□ IPv6 □□□□□□□



□□□□□□

□□□□□□□□□ IPv6 □□□□□□□□ sysctl drop-in □□□□□□□ `/etc/sysctl.d/` □□□

□□	□□□	□□
`net.ipv6.conf.all.disable_ipv6`	`0`	□□□□ IPv6□UPF □□□□□□□□□□□□□□□ IPv6 □□□□□□□□□□
`net.ipv6.conf.default.disable_ipv6`	`0`	□□□□□□□□□ IPv6 □□□□□
`net.ipv6.conf.all.forwarding`	`1`	□□ IPv6 □□□□□ UE □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IPv6 □□□□□ OSPFv3 □□□□□□□□□□□

UE IPv6 □□□

□ UPF □□ UE □□□□□□□□ SMF □□□□□□□ `runtime.exs` □□□□□ IPv6 □□□ SMF/PGW-C □□ PFCP □□ UE □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
config :upf_ex,
  ueip_pool: "2001:db8:6f85:70::/64"
```

□□	□□	□□	□□	□□
`ueip_pool`	□□□ □CIDR□	□	-	□ UPF □□□□□□□□□□□ UE IP □□□□ IPv4 □ IPv6 CIDR□□□□□□□□□□□□□□

OSPFv3 □□□□

□□□□□ UE IPv6 □□□□ `/128` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IPv4 `/32` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ FRR □□□□□ OSPF□

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
config :upf_ex,
  route_manager_enabled: true,
  route_manager_type: "frr"
```

□□	□□	□□	□□
`route_manager_enabled`	□□□	□	`false`	□□ UE □□□□□□□□□□ `true` □□□□ UE □□□
`route_manager_type`	□□□	□	-	□□□□□`"frr"` □□ FRR/`vtysh` □□□□□□□□□□□□□□□ `ip`/`ipv6` □□□□□□□ `"frr"` □□ OSPFv3 □□□

FRR □□□□□□□□□□□□□ **OSPFv3** (`ospf6d`) □□□□□□□□□□□□□ UE `/128` □□□□□□□□□□□□□□□□ IPv6 □□□□□□□ `ipv6 route <addr>/128` □□□□□□□ - IPv4 `ip route` □□□□□□ IPv6 □□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□□□□

□□	□□
□□□□□ → UE□	□□ IPv6 □□□□ PFCP □□□□□ IPv6 □□□□□□□□□□□□□□□ GTP-U □□□ gNB/eNB□□□□□□□□ BUFF□□□□□□
□□□UE → □□	GTP-U □□□□□□□ IPv6 □□□□□□□ IPv6 FIB □□□ N6 □□□□□□□□□ sysctl□□
□□□BUFF□	□□□ IPv6 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IPv4 □□□

□□□□□□□ `accept_local` / □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ martians□

□□□

IPv6 □□□□□□□ UE

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UE □□□□□□□□

□□□□□

- UE `/128` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□□ OSPFv3□□
- UPF □□□□□□□□□ OSPFv3 □□□□□□
- □□□□□□□□□ `/128`□□□□□□□

□□□□□

1. □□ `route_manager_enabled: true` □ `route_manager_type: "frr"`□
2. □□ UPF FRR □□□□□□□□□ OSPFv3 □□□□□□□□□
3. □□ OSPFv3 □□□□□□□□□□□□□□□□ OSPF □□□ UE `/128`□

IPv6 □□□□□□□□

□□□□□□□□□□□ IPv6 □□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□ IPv6□□□□□□□
- □□□□□□□□□□ IPv6 □□□

□□□□□

1. □□ □□□□□□□□□`disable_ipv6=0`□`forwarding=1`□□
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IPv6 □□□

□□□□

□□□□□□ OmniUPF □ `/api/metrics` □□□□□□□□ Prometheus □□□HTTP API □□□ `api_port`□□□□ `8080`□□□□□ `/api` □□ - □□ API □□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□□□□

□□□□

1. **PFCP** □□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
2. □□□□□□□□ - □□□□/□□/□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□ - □□□□□□□□□□□□□ TEID □□□□□□□□□□
4. □□□□□□ **(DLDR)** □□ - PFCP □□□□□□□□□ FAR □□□□
5. **GTP-U** □□ - □□□□□□□□□□□□□
6. **URR** □□ - □□□□□□□□□□ URR □□□
7. **eBPF** □□□□ - □□□□□□□□□□
8. □□□□□□□□ - □□□□ (N3/N6) `_total` □□□□□ `expose_xdp_metrics` □□ (#57)□□□□□ □ `/api/v1/xdp_stats` □□□□
9. □□/□□□□ - TEID/FAR-ID □□ UE □□□□
10. □□□□□□ - □□□□□□□□□□ DNS □□□□□

PFCP □□

UPF □□ PFCP □□□ (SMF / PGW-C / SGW-C) □□□□□□□□□□□□□□

□□□□	□□	□□	□
`upf_pfcp_associations`	Gauge	none	□□□□□ PFCP □□
`upf_pfcp_sessions`	Gauge	none	□□□□□ PFCP □□
`upf_pfcp_peer_restarts_total`	Counter	`peer`	□□□□□□□□□□□□□
`upf_pfcp_duplicate_requests_total`	Counter	none	□□□□□□□□□ PFC
`upf_orphaned_sessions_deleted_total`	Counter	none	□□□□□□□□□□□□□
`upf_pfcp_messages_rx_total`	Counter	`type`, `peer`	□□□□□□□□□□□□
`upf_pfcp_messages_tx_total`	Counter	`type`, `peer`	□□□□□□□□□□□□
`upf_pfcp_errors_total`	Counter	`type`	PFCP □□□□□□□□ `session_conte` `mandatory_ie_`

□□□□□□□□

□□□□	□□	□□
`upf_sessions_created_total`	Counter	none
`upf_sessions_deleted_total`	Counter	none
`upf_sessions_modified_total`	Counter	none
`upf_session_establishment_duration_microseconds`	Histogram	none

□□□□□□□□□□□□

eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□UDP □□ `22152`□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

`buffered`/`flushed`/`current` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `upf_walled_garden_*` □□□□□□ TEID □□□ `upf_gtpu_error_indications_sent_total`□

□□□□□	□□	□□	
`upf_userspace_punt_received_total`	Counter	none	□□□□□□□□□□□□□□ □ + □□ TEID□
`upf_gtpu_oversize_punted_total`	Counter	none	□□□□ GTP-U □ MTU□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□ □□□ `gtpu_oversi`
`upf_buffer_packets_buffered_total`	Counter	none	□□□□□□□□□□□□
`upf_buffer_packets_flushed_total`	Counter	none	□□□□□□□□□□□
`upf_buffer_packets_dropped_total`	Counter	`reason`	□□□□□□□/□□□□□□
`upf_buffer_packets_current`	Gauge	none	□□□□□□□□□□□□
`upf_buffer_flush_operations_total`	Counter	none	□□□□□□□□□□□□
`upf_buffer_flush_packets_sent_total`	Counter	none	□□□□□□□□□□□□
`upf_buffer_flush_errors_total`	Counter	`reason`	□□□□□□□□□□□

`upf_buffer_packets_dropped_total` **`reason`** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- `global_limit` - □□□□□□□□ (`buffer_max_total`)
- `far_limit` - □□□□ FAR □□□□□ (`buffer_max_per_far`)
- `expired` - TTL (`buffer_ttl_ms`) □□□□□□□
- `read_error` - □□□□□□□□□□□□□
- `too_small` - □□□□□ GTP □□□
- `invalid_gtp_type` - □ G-PDU GTP □□□□
- `not_buffering_far` - FAR □□ BUFF □□

- `error_indication_failed` - □□□□□□ TEID □□□ GTP-U □□□□

> □□ TEID □□ □□ □□□□□□□□ GTP-U □□□□□□□□□□□□□
> `upf_gtpu_error_indications_sent_total` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

`upf_buffer_flush_errors_total` **`reason`** □□

- `far_lookup_failed` - □□□ eBPF □□□□□ FAR □□
- `no_forw_action` - FAR □□□□ FORW □□
- `connection_failed` - □□□□□□□ UDP □□□□□

□□□□□□ (DLDR) □□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ PFCP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ SMF/PGW-C □ UE □□□□

□□□□	□□	□□	□□
`upf_dldr_sent_total`	Counter	`peer`	□□□□□□□□□□□ SMF/PGW-C □□ □□
`upf_dldr_errors_total`	Counter	none	DLDR □□/□□□□
`upf_dldr_skipped_total`	Counter	none	□□ FAR □□□□□□□□□ DLDR
`upf_far_index_size`	Gauge	none	□ DLDR □□□□□ FAR □□

GTP-U □□

GTP-U □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ TEID □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□	□□	□□	□□
`upf_gtpu_echo_responses_tx_total`	Counter	none	□□□ GTP-U □□□□
`upf_gtpu_error_indications_sent_total`	Counter	none	□□□ GTP-U □□□ □□□□ □□□□ □ TEID□
`upf_gtpu_error_indications_rx_total`	Counter	none	□□□□ □□□ GTP-U □□□ □
`upf_error_indication_sessions_deleted_total`	Counter	none	□□□□ □□□□ □□□□ □□□

□□□□□□□□□□ UPF □□□□ TEID □□□□ GTP-U □□□□□□□□□□□

URR□□□□□□□□□□

□□□□	□□	□□	□□
`upf_urr_reports_sent_total`	Counter	`trigger`	□□□ URR □□□□□□□□□□□□
`upf_urr_report_errors_total`	Counter	none	URR □□□□/□□□□
`upf_urr_active_timers`	Gauge	none	□□□ URR □□□□□□□□/□□□□/□□□□□□

`trigger` □□□□ URR □□□□□□ - □□ `periodic` (PERIO), `volume_threshold` (VOLTH), `time_threshold` (TIMTH), `quota_validity` (QUVTI)□

□□ URR □□□□□□□□□ Prometheus □□□□□□□□□□□□□□□ REST API □ `/api/v1/urr_map` □□□□ URR □□□□□

---

eBPF □□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□	□□	□□	□□
`upf_ebpf_far_entries`	Gauge	none	eBPF □□□□ FAR □□
`upf_ebpf_pdr_uplink_entries`	Gauge	none	eBPF □□□□□□ PDR □□ □□ TEID □ PDR□
`upf_ebpf_pdr_downlink_entries`	Gauge	none	eBPF □□□□□ PDR □ □□□ UE IP □□□ PDR□

`upf_ebpf_far_entries` □□□□□□ FAR-id □ (`upf_far_ids_allocated`)□□□ far_map □□□□□□ FAR id □□□□□□□PDR □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ O(□□□)□□

□□□□□□□□ (N3/N6)

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ (**N3** = GTP-U □□□ gNB/eNB□ **N6** = SGi □□□□□□□□) □□ eBPF `upf_ext_stat` □ CPU □□□

□□□□□	□□	□□	□□
`upf_n3_rx_packets_total` / `upf_n3_tx_packets_total`	Counter	none	N3 (GTP-U) □□□□□ XDP □□□□
`upf_n6_rx_packets_total` / `upf_n6_tx_packets_total`	Counter	none	N6 (SGi) □□□□□ XDP □□□□
`upf_n3_rx_bytes_total` / `upf_n3_tx_bytes_total`	Counter	none	N3 (GTP-U) □□□□
`upf_n6_rx_bytes_total` / `upf_n6_tx_bytes_total`	Counter	none	N6 (SGi) □□□□
`upf_xdp_ttl_exceeded_total`	Counter	none	□□□ IPv4 TTL / IPv6 □���□□□ 1 □□□□□ □□□□□□□□ UPF □□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□ □

□ **`expose_xdp_metrics`** □□□□□ **#57**□□ □□□□□□□□ `upf_ext_stat`□□□ Prometheus □□□□□□□□□ `virtio_net` □□ XDP **TX-ring wedge**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `Sampler` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `config :upf_ex, expose_xdp_metrics: true` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□ `_total` □□□□□□□□ `upf_ext_stat` □□□□□□□□□□□□ omniupf □□□□□□□□□ eBPF `.o` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `rate()` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `rate()`□

□□ **JSON**□ `GET /api/v1/xdp_stats` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ eBPF□□□□ `rx_n3` / `tx_n3` / `rx_n6` / `tx_n6`□□□□□□ `rx_n3_bytes` / `tx_n3_bytes` / `rx_n6_bytes` / `tx_n6_bytes`□□□ `ttl_exceeded`□

TTL / □□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IPv4 TTL / IPv6 □□□□□□□□□□□□□□□ N6□□□□□□□□□□ RAN□□□□□ GTP-U □ GTP-U □□□SGW-U□□□□ GTP-U □□ TTL□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ `ttl_exceeded`□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `upf_xdp_ttl_exceeded_total` □□□□□□□□□□□□□□□

□□ / □□□□

□□□□	□□	□□	□□
`upf_routes_total`	Gauge	none	□□□□□□□□□□□□ UE IP □□
`upf_teid_allocated`	Gauge	none	□□□□□□□□ TEID
`upf_far_ids_allocated`	Gauge	none	□□□□□□□□ FAR ID

□□□□□□

□□□□□□□/□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□

□□□□	□□	□□	□□
`upf_walled_garden_active_redirects`	Gauge	none	□□□□ ◆ ◆◆□□□ □□□□ □
`upf_walled_garden_packets_intercepted_total`	Counter	none	□□□ □□□ □□□ □□
`upf_walled_garden_packets_dropped_total`	Counter	none	□□□ □□□ □□□ □□
`upf_walled_garden_packets_forwarded_total`	Counter	`dst_ip`	□□□ IP □ □□□ □□□ □□
`upf_walled_garden_bytes_forwarded_total`	Counter	`dst_ip`	□□□ IP □ □□□ □□□ □
`upf_walled_garden_dns_spoofed_total`	Counter	`domain`	□□□ □□□ □□□ DNS □□

□□□□	□□	□□	□□
`upf_walled_garden_dns_forwarded_total`	Counter	`domain`	□□□ □□□ DNS □□ □□□ □□ □□

> □□□□□ `dst_ip` □ `domain` □□□□□

```
scrape_configs:
  - job_name: 'omniupf'
    metrics_path: /api/metrics
    static_configs:
      - targets: ['localhost:8080']
```

Grafana □□□

□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□ (`upf_pfcp_sessions`, `upf_pfcp_associations`)
- □□□□ N3/N6 □□□□□□□ `/api/v1/xdp_stats` □□□□□□□□□□□□□□ #57□
- □□□□ (`upf_buffer_packets_current`, □ `reason` □□□□)
- DLDR / □□□□ (`rate(upf_dldr_sent_total[5m])`)
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□□ - □□□□□□□□□□□□□
- □□□□ - □□ `api_port`□□□□□□□□ UPF □□
- **Web UI □□** - □□□□□□□□□□
- □□□□ - eBPF □□□□□□□□□
- □□□□□□ - □□ PDR□FAR□QER□URR □□
- □□□□□□ - □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□ - □□□□□□□□

□□□□

□□

1. □□
2. □□□□
3. □□□□
4. □□□□
5. □□□□□
6. □□□□
7. □□□□□□□□□

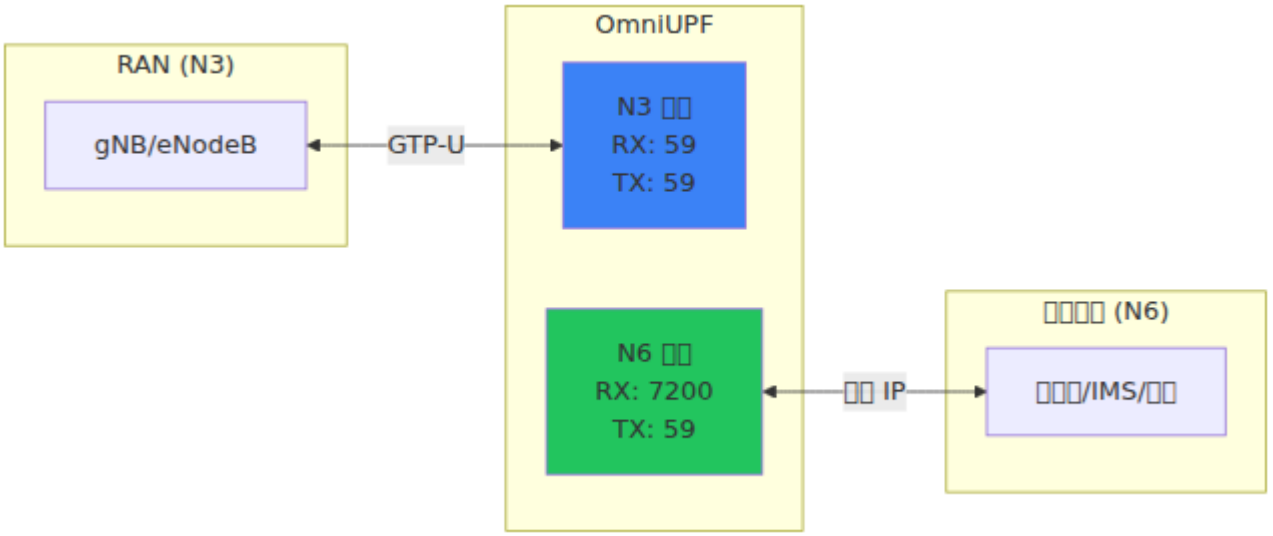
□□

□□□□ OmniUPF □□□□□□□□□

□□□□

N3/N6 □□□□

N3/N6 □□□□□□□ RAN (N3) □□□□□□ (N6) □□□□□□□□□□□□



□□□

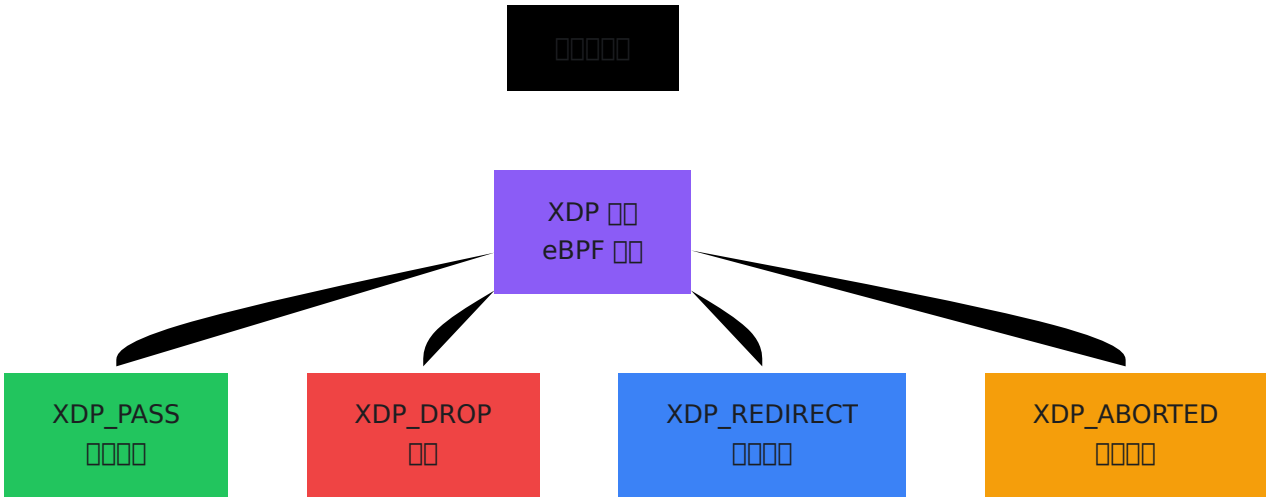
- **RX N3**□□□ RAN □□□□□□□□□ GTP-U □□□
- **TX N3**□□□□ RAN □□□□□□□□ GTP-U □□□
- **RX N6**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IP□
- **TX N6**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IP□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- **RX N3 ≈ TX N6**□□□□□□□□ RAN □□□□□□□
- **RX N6 ≈ TX N3**□□□□□□□□□□□□□□□ RAN
- □□□□□□□□□□□□
  - □□□□□□□□□ >> □□□
  - □□□□□□□□□□□
  - □□□□□

XDP □□

XDP (eXpress Data Path) □□□□□□□□□□□□□□□□□□



□□□

- □□□XDP □□□□□□□□□□□□ 0□

- □□□XDP □□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **TX**□□□ XDP □□□□□□□

□□□

- □□ **> 0**□eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□ **> 0**□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

- **RX ARP**□□□□□□□□□□□
- **RX GTP ECHO**□GTP-U □□□□/□□□□□□□□
- **RX GTP OTHER**□□□ GTP □□□□
- **RX GTP PDU**□GTP-U □□□□□□□□□□□□□□
- **RX GTP UNEXP**□□□□ GTP □□□□□
- **RX ICMP**□□□□□□□□□□□□ping□□□□
- **RX ICMP6**□ICMPv6 □□□
- **RX IP4**□IPv4 □□□
- **RX IP6**□IPv6 □□□
- **RX OTHER**□□□□□
- **RX TCP**□□□□□□□□□□
- **RX UDP**□□□□□□□□□□

□□□

- □□ **GTP-U PDU** □□□□□□□□□□□
- □□ **ICMP** □□□□□□□□□□□□□□□

- □□ **TCP** □ **UDP** □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

FIB (□□□□□□) □□□□□□□□□□□□□

IPv4 FIB □□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□

IPv6 FIB □□□

- □□□□□□□ IPv6 □□□□
- □□□□□□□ IPv6 □□□□

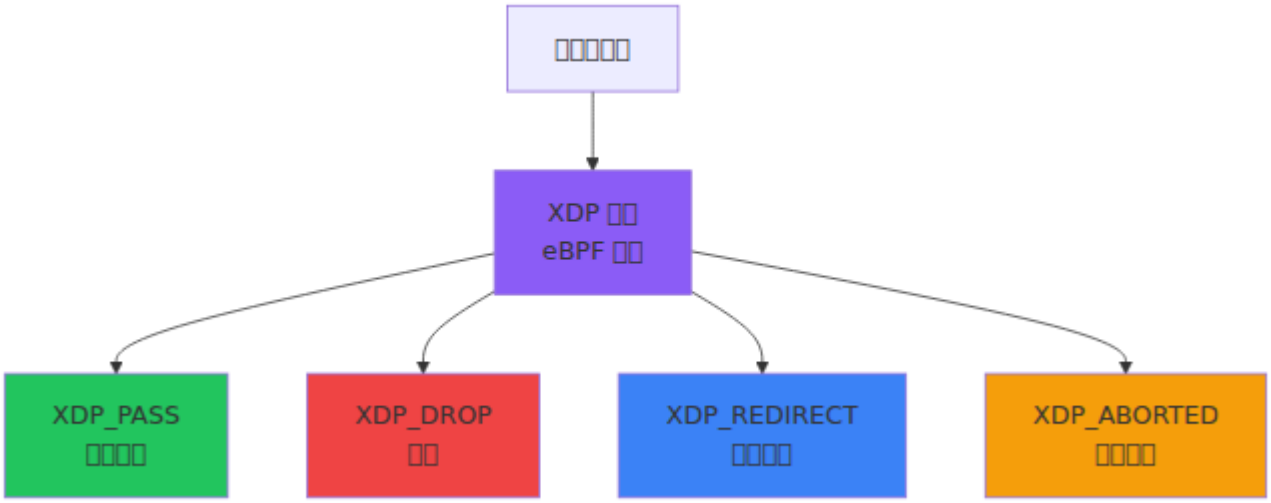
□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

eBPF □□□□

eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□



□□ eBPF □□

far_map (□□□□□□□)□

- □□□131,070 □□
- □□□□4 B (FAR ID)
- □□□□16 B (□□□□)
- □□□□□~2.6 MB
- □□□□□ - □□□□□□□□□□□

pdr_map_downlin (□□ PDRs - IPv4)□

- □□□131,070 □□
- □□□□4 B (UE IPv4 □□)
- □□□□208 B (PDR □□)
- □□□□□~27 MB
- □□□□□□ - □□□□□□□□□□

pdr_map_downlin_ip6 (□□ PDRs - IPv6)□

- □□□131,070 □□
- □□□□16 B (UE IPv6 □□)
- □□□□208 B (PDR □□)
- □□□□□~29 MB
- □□□□□□ - □□□□ IPv6 □□□□□□□

pdr_map_teid_ip (□□ PDRs)□

- □□□131,070 □□
- □□□□4 B (TEID)
- □□□□208 B (PDR □□)
- □□□□□~27 MB
- □□□□□□ - □□□□□□□□□□

qer_map (QoS □□□□)□

- □□□65,535 □□
- □□□□4 B (QER ID)
- □□□□32 B (QoS □□)
- □□□□□~2.3 MB
- □□□□□ - □□□ QoS □□

urr_map (□□□□□□)□

- □□□131,070 □□
- □□□□4 B (URR ID)
- □□□□16 B (□□□□□)
- □□□□□~2.6 MB
- □□□□□ - □□□□□

□□□□

□□	□□□□□□□□
0-50% (□□)	□□□□ - □□□□□□
50-70% (□□)	□□ - □□□□□□□□□□□□□□
70-90% (□□□)	□□ - □ 1 □□□□□□□□
90-100% (□□)	□□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□
2. □□□□□□□□

3. □□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

1. □□ OmniUPF □□
2. □□□□□□□□□□ UPF □□□□
3. □□□□ OmniUPF □□
4. □□□□□□□□□□□□
5. □□□□□□□□□□□

□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□ UPF□□□□□□□□□□□□

□□□

□□ OmniUPF □□□□□□ Prometheus □□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□□□□□

□□□

```
□□□□□ (pps) = (□□□□□□□□) / (□□□□□□□□)
```

□□□

- □□ RX □□□□7,000
- 10 □□□17,000
- □□□□□ = (17,000 - 7,000) / 10 = 1,000 pps

□□□□□

- □□ **UPF**□10,000 - 100,000 pps
- □□ **UPF**□100,000 - 1,000,000 pps
- □□ **UPF**□1,000,000 - 10,000,000 pps

□□□□□

- XDP □□□□□□□
- CPU □□□□
- □□□□□□□□
- □□□□

□□□□□

□□□

```
□□□ (Mbps) = (□□□□□□□ × 8) / (□□□□□□□□ × 1,000,000)
```

□□□

- □□ RX □□□500 MB
- 60 □□□800 MB
- □□□ = (300 MB × 8) / (60 × 1,000,000) = 40 Mbps

□□□□□□□□□□□ `expose_xdp_metrics` □□□ `_total` □□□□□□ □`upf_n3_rx_packets_total`□`upf_n3_rx_bytes_total`□... N6 □□□□□N3 □ GTP-U □ □gNB□□N6 □ SGi □□□□□□□□eBPF `upf_ext_stat` □□□□□□□□□ `Sampler` □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□ `virtio_net` TX-ring-wedge □□□□□□ #57□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ JSON □ `/api/v1/xdp_stats` □□□□□□□ □□□□□□□□□□□ □□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□N3/N6 □□□□□□□□□□
- □□ 2 □□□□□□□□□□□□□

□□□

□□□

```
□□□ (%) = (□□□□□□□ / □ RX □□□) × 100
```

□□□□□□□□

- **< 0.1%**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **0.1% - 1%**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **1% - 5%**□□□□□□ QoS □□□□□□□
- **> 5%**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

- QER □□□□□□MBR □□□
- eBPF □□□□□□□
- □□□ TEID □ UE IP
- □□□□

□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- eBPF □□□□ > 90%
- XDP □□□□ > 0
- □□□ > 5%
- UPF □□□□□□□

□□□□□□1 □□□□□□□□

- eBPF □□□□ > 70%
- □□□ > 1%
- □□□□□□□□□□□□□
- □□□ TTL □□□□□□□□□ 30 □□

□□□□□□□□□□□□□

- eBPF □□□□ > 50%

- □□□□□□□□□□
- □□ PFCP □□□□/□□
- URR □□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□

1. **Prometheus** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□
2. □□□□□□□□ OmniUPF □□□□□□□□□□
3. **REST API** □□□□□□□□ `/map_info`□`/packet_stats` □□
4. **Web UI** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□□

```
□□□□□□ = min(
  PDR □□□□ / 2,  # □□ + □□ PDR □□□
  FAR □□□□ / 2,  # □□ + □□ FAR □□□
  QER □□□□       # □□□□□□□□□ QER
)
```

□□□

- PDR □□□□□131,070
- FAR □□□□□131,070
- QER □□□□□65,535

□□□□□ = min(131,070 / 2, 131,070 / 2, 65,535) = **65,535** □□

□□□□

□□□ **eBPF** □□□□□

```
□□ = Σ (□□□□ × (□□□ + □□□))
```

□□□□□

- PDR □□□3 × 131,070 × 212 B = 83.3 MB
- FAR □□□131,070 × 20 B = 2.6 MB
- QER □□□65,535 × 36 B = 2.3 MB
- URR □□□131,070 × 20 B = 2.6 MB
- □□□~91 MB □□□□□

□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□`ulimit -l`□
- □□□□□□□ 2 □□□□□□
- □□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□
    - □□□□~5 Mbps
    - □□□□□~1 Mbps
    - VoIP□~0.1 Mbps
2. □□□□□□□

    ```
    □□□□ = □□□ × □□□□□□□
    ```

3. □□□□

```
□□□□□ = □□□□□ × 2  # 100% □□
```

□□□

- 10,000 □□□□□□
- □□□□□□□ 2 Mbps
- □□□20 Gbps
- □□□□□□40 Gbps (N3 + N6 □□)

□□□□

□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□
2. □□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□

□□□□□□□

```
□□□□□□□□□ = (□□ - □□□□□) / (□□□□□)
```

□□□

- □□□□□□30,000
- □□□65,535 □□
- □□□□□□2,000 □□
- □□□□□□□□□□ (65,535 - 30,000) / 2,000 = **17.8** □

□□□□□□□ 12 □□□□□□□□□□□□□□□ 5 □□□□□□□□

□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□ > 1%□□□□□□□□□□

□□□

1. □□□□ → □□□□□
2. □□□□□□□□□□□□□□□
3. □□ XDP □□□□□ XDP □□□□□□□□

□□□□□

- **QER** □□□□□□□ QER MBR □□□□□□
- □□□ **TEID**□□□□□ PDR TEID □□□ gNB □□□□
- □□□ **UE IP**□□□□□ PDR □□□□□ UE IP
- □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□ QER MBR
- □□ SMF □□□□□□□□ PDR
- □□□□□□□□□□□□□□□

XDP □□□

□□□XDP □□ > 0

□□□

1. □□□□□ → XDP □□
2. □□□□□□
3. □□ OmniUPF □□□□□ eBPF □□

□□□□□

- eBPF □□□□□□
- □□□□□□□
- eBPF □□□□□□
- □□□□

□□□□□

- □□□□ OmniUPF □□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□Linux 5.4+□
- □□ eBPF □□□□
- □□□□□□□□□□□□

□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□ 100%

□□□

1. □□□□□□□
2. □□□□□□□□ 100%
3. □□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□CPU □□

□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□
2. □□ XDP □□□□□□□□□□
3. □□ UPF □□□□□ CPU □□□
4. □□ N3/N6 □□□□□□

□□□□□

- □□□□ UPF □□
- □□□□□□□ CPU □□□□
- □□□□□□□
- eBPF □□□□□□□

□□□□□

- □□□□ UPF□□□□□□□□□
- □□ CPU □□□ RSS□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□ eBPF □□□□□□

□□□□

- □□□□ - □□□ Prometheus □□□□
- **UPF □□□□** - □□ UPF □□□□□
- □□□□□□□ - PDR□FAR□QER□URR □□
- **Web UI □□□□** - □□□□□□□□□
- □□□□□□□ - □□□□□□□□
- □□□□ - eBPF □□□□□□□□□

PFCP □□□□□□

□□

PFCP□□□□□

□□□□□□□

□□	□□	□□□□
64	**RequestRejected**	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
65	**SessionContextNotFound**	□□□□□□□□□□ SEID □□□□□□□□□□□□ UPF □□□□□
66	**MandatoryIEMissing**	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ NodeID□□□□□□□□ F-SEID□□□ RecoveryTimeStamp□
67	**ConditionalIEMissing**	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□
69	**MandatoryIEIncorrect**	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ NodeID □□□□□□ RecoveryTimeStamp □□□□□□□ F-SEID□
72	**NoEstablishedPFCPAssociation**	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ PFCP □□□
73	**RuleCreationModificationFailure**	□ PDR□FAR□QER □ URR □□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□□eBPF □□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□/□□□□□□

□□	□□	□□□□
74	**PFCPEntityInCongestion**	UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
75	**NoResourcesAvailable**	□□□□□□□□□□□□□□□□eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□ TEID □□□□
77	**SystemFailure**	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□□□□□□

□□	□□	□□□□
68	**InvalidLength**	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□□□
70	**InvalidForwardingPolicy**	UPF □□□□□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□□□
71	**InvalidFTEIDAllocationOption**	□□□□ F-TEID □□□□□□□□□ OmniUPF □□ □□□
76	**ServiceNotSupported**	□□□□□□□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□□□
78	**RedirectionRequested**	UPF □□□□□□□□□□ UPF □□□□□□□ OmniUPF □□□□□

□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□ NodeID

```
SMF → UPF: □□□□□□□□□ NodeID□
UPF → SMF: □□□□□□□□□□□MandatoryIEMissing□
```

□□□□□□□□ SMF □□□□□□□□□□□□□□ NodeID □□□□□□

□□□□□□□ **NodeID** □□

```
SMF → UPF: □□□□□□□□NodeID="invalid"□
UPF → SMF: □□□□□□□□□□□□MandatoryIEIncorrect□
```

□□□□□NodeID □□□□□□□ FQDN □ IPv4/IPv6 □□□

□□□□□□□□□□□

```
SMF → UPF: □□□□□□□□□ RecoveryTimeStamp□
UPF → SMF: □□□□□□□□□□□□MandatoryIEMissing□
```

□□□□□□□□□□□□□□□□□ RecoveryTimeStamp□

□□□□□□

□□□□□□□□□

```
SMF → UPF: □□□□□□□
UPF → SMF: □□□□□□□□□□□□NoEstablishedPFCPAssociation□
```

□□□□□□□□□□□□□□□□□ PFCP □□□

□□□□□□□□□□

```
SMF → UPF: □□□□□□□
UPF □□□□ FAR□QER□URR
UPF □□□□ PDR□eBPF □□□□□□
UPF → SMF: □□□□□□□□□□□□RuleCreationModificationFailure□
```

□□□□□

- □□ eBPF □□□□□□□□ □□□□□
- □ UPF □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□

□□□□□ **F-SEID**

```
SMF → UPF: □□□□□□□□ CP F-SEID□
UPF → SMF: □□□□□□□□□□MandatoryIEMissing□
```

□□□□□□□□□□□□□□□□ CP F-SEID□

□□□□□□

□□□□□ **SEID**

```
SMF → UPF: □□□□□□□SEID=12345□
UPF □□ SEID 12345 □□□
UPF → SMF: □□□□□□□□□□SessionContextNotFound□
```

□□□□□

- □□ SEID □□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□
- □□□□□□□ UPF □□□N9 □□□□□□□

□□□□□□

□□□□□ **SEID**

```
SMF → UPF: □□□□□□□SEID=67890□
UPF □□ SEID 67890 □□□
UPF → SMF: □□□□□□□□□□SessionContextNotFound□
```

□□□□□SEID □□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□

□□ Prometheus □□

□□ Prometheus □□□□□□□□□

```
# □□□□□□□□□□
rate(upf_pfcp_rx_errors{cause_code!="RequestAccepted"}[5m])

# □□□□□□□
topk(5, sum by (cause_code) (upf_pfcp_rx_errors))

# □ SMF □□□□□□□
sum by (peer_address, cause_code)
(upf_pfcp_rx_errors{cause_code!="RequestAccepted"})

# □□□□□□□
upf_pfcp_rx_errors{message_name="SessionEstablishmentRequest",
cause_code!="RequestAccepted"}
```

□□ Web □□

□□□ □□ □□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□/□□□
- □□□□□□□□

□□□ □□ □□□□□□□□

- eBPF □□□□□□RuleCreationModificationFailure □□□□□
- □□□□□□

□□□ Web UI □□ □□□□□□□□□□□

□□□□□□

□ MandatoryIEMissing □□

1. □□ SMF □□□□□□□□□□□
2. □□ PFCP □□□□□□
3. □□ SMF □□□□□□□□□□□□□□

□□□ **RuleCreationModificationFailure**□

1. □□ eBPF □□□□□ `GET /api/v1/map_info`
2. □□□□□□□□□ `upf_ebpf_map_used / upf_ebpf_map_capacity`
3. □□□□□ > 70%□□□□□□□□□□□□
4. □□□ □□□□

NoEstablishedPFCPAssociation □□□

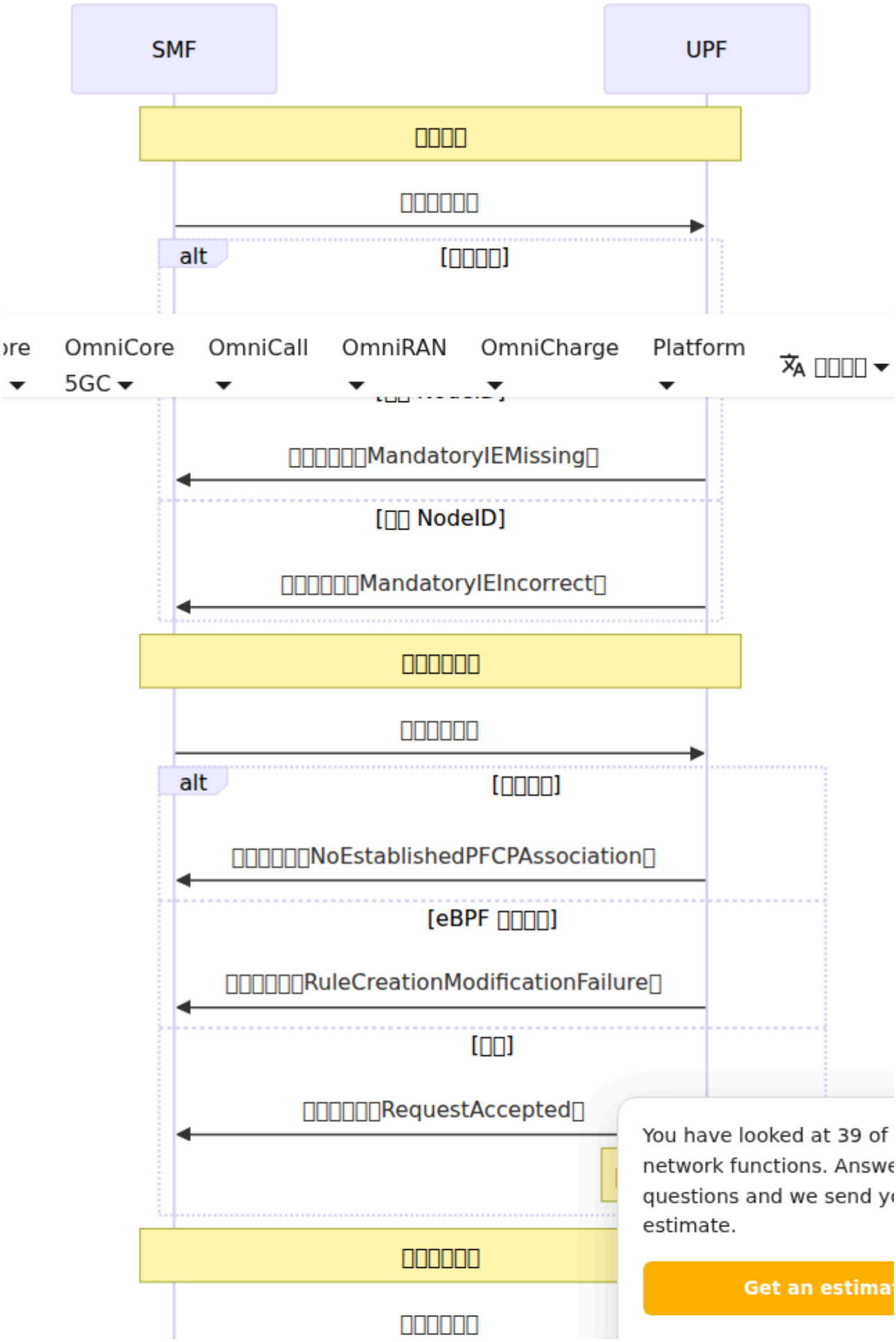
1. □□□□□□□□□ `GET /api/v1/pfcp_associations`
2. □□□□□□□□
3. □□□□□□□□
4. □□ SMF □ UPF □□□□□□

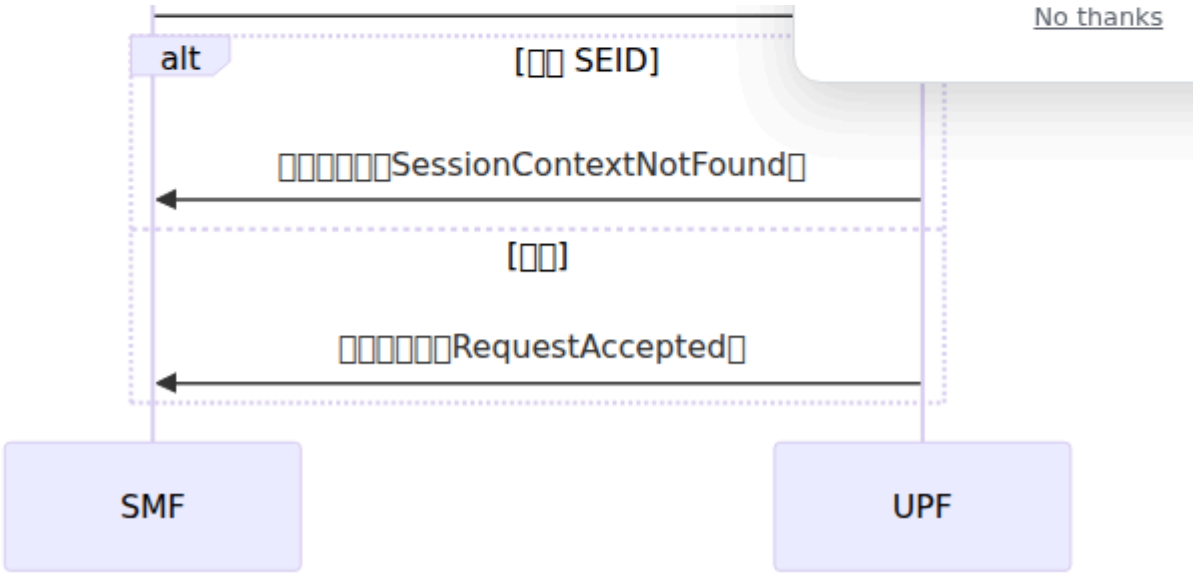
□□□□□ **SessionContextNotFound**□

1. □□□□□□□□□□ SEID
2. □□□□□□□□□□
3. □□ N9 □□□□□□□□□□□□ UPF □□
4. □□□□□□□ `GET /api/v1/pfcp_sessions`

□□□□□□□□□□

□□□□□□


SMF
UPF
□□□□
□□□□□□
alt
[□□□□]
ore
OmniCore
5GC
OmniCall
OmniRAN
OmniCharge
Platform
□□□□
□□□□□□MandatoryIEMissing□
[□□ NodeID]
□□□□□□MandatoryIEIncorrect□
□□□□□□
□□□□□□
alt
[□□□□]
□□□□□□NoEstablishedPFCPAssociation□
[eBPF □□□□]
□□□□□□RuleCreationModificationFailure□
[□□]
□□□□□□RequestAccepted□
□□□□□□
□□□□□□
You have looked at 39 of
network functions. Answe
questions and we send y
estimate.
Get an estima



□□□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□□
- alert: PfcpHighRejectionRate
  expr: |
    rate(upf_pfcp_rx_errors{cause_code!="RequestAccepted"}[5m]) > 0.1
  annotations:
    summary: "□ PFCP □□□□{{ $value }}/s"

# □□□□□□□□
- alert: PfcpRuleCreationFailures
  expr: |

rate(upf_pfcp_rx_errors{cause_code="RuleCreationModificationFailure"}
[5m]) > 0
  annotations:
    summary: "□□□ PFCP □□□□□□"

# □□□□□□□□
- alert: PfcpNoAssociation
  expr: |

rate(upf_pfcp_rx_errors{cause_code="NoEstablishedPFCPAssociation"}
[5m]) > 0
  annotations:
    summary: "□□□□□□□□□□□□ PFCP □□"
```

3GPP □□□□□

OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□

- **3GPP TS 129.244 v16.4.0** - PFCP □□
- □ **8.2.1** □ - □□□□□□□□□
- □ **8.19** □ - □□□□

□□□

- **PFCP □□□□** - PFCP □□□□□□□
- □□□□ - upf_pfcp_rx_errors □□□
- □□□□ - □□□□□□□
- □□□□□□ - PFCP □□□□□□□
- **Web UI □□** - □□□□□□□

□□□□□□

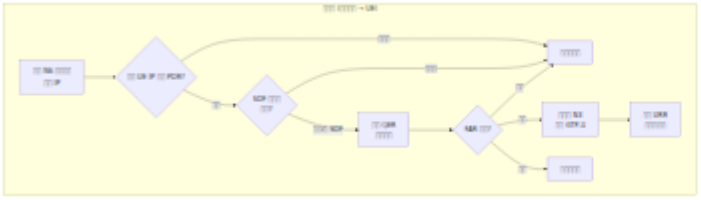
□□

1. □□
2. □□□□□□□□ (PDR)
3. □□□□□□□ (FAR)
4. QoS □□□□ (QER)
5. □□□□□□□ (URR)
6. □□□□
7. □□□□
8. □□□□

□□

OmniUPF □□□□□□□□

□□□□□□





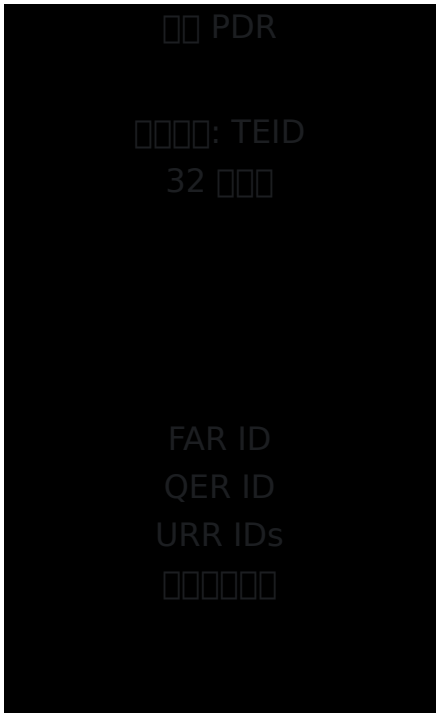
□□□□□□□□ (PDR)

□□

PDR □□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□□

PDR □□





□□ PDR

□□ PDR □□□□ RAN □ N3 □□□□□□□□□□

□□□□: TEID (□□□□□□□□)

- 32 □□□□□□
- □ SMF □□□□□□□□ gNB
- □□ UE □□□□□

□□□:

- **FAR ID**: □□□□□□□□□
- **QER ID**: QoS □□□□□□□□□□
- **URR IDs**: □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□: □□ GTP-U □□□□□

□□□□:

1. □ GTP-U □□□□ TEID
2. □ `uplink_pdr_map` eBPF □□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□ FAR ID□QER ID □ URR IDs
4. □□□□□□□□□□□□□

□□:

```
TEID: 5678
FAR ID: 2
QER ID: 1
□□□□□□: False
SDF □□: No SDF
```

□□ PDR

□□ PDR □□□□□□□□□□ N6 □□□□□□□□□□□

□□□□: UE IP □□

- IPv4 □□ (32 □) □ IPv6 □□ (128 □)
- □ PDU □□□□□□□□ SMF □□
- □□ UE □□

□□□:

- **FAR ID**: □□□□□□□□□□
- **QER ID**: QoS □□□□□□□□□□□□
- **URR IDs**: □□□□□□□□□□□□□□
- **SDF □□**: □□□□□□□□□□□
  - `No SDF`: □□□□□□□□□□□
  - `SDF Only`: □□□ SDF □□□□□

- `SDF + Default`: SDF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ FAR
- **SDF** □□□: □□□□□□□□□□□□□□□□□IP □□□

□□□□:

1. □□□□□□□□□□ IP
2. □ `downlink_pdr_map` (IPv4) □ `downlink_pdr_map_ip6` (IPv6) □□□□□□□
3. □□□□□□□□□□ SDF □□□□□□□□□
4. □□ FAR ID□QER ID □ URR IDs
5. □□□□□□□□□□□□□□

□□:

```
UE IP: 10.45.0.1
FAR ID: 1
QER ID: 1
□□□□□□: False
SDF □□: No SDF
```

SDF □□□ (□□□□□□)

SDF □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□:

- □□ YouTube □□□□□□□□
- □ VoIP □□□□□□□□□□□□□□ QoS
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

- □□: TCP, UDP, ICMP
- □□□□: □□□□□□□□□HTTPS □ 443□SIP □ 5060□
- **IP** □□□□: □□□□□□□
- □□□: 3GPP □□□□□□□

□□ **SDF** □□:

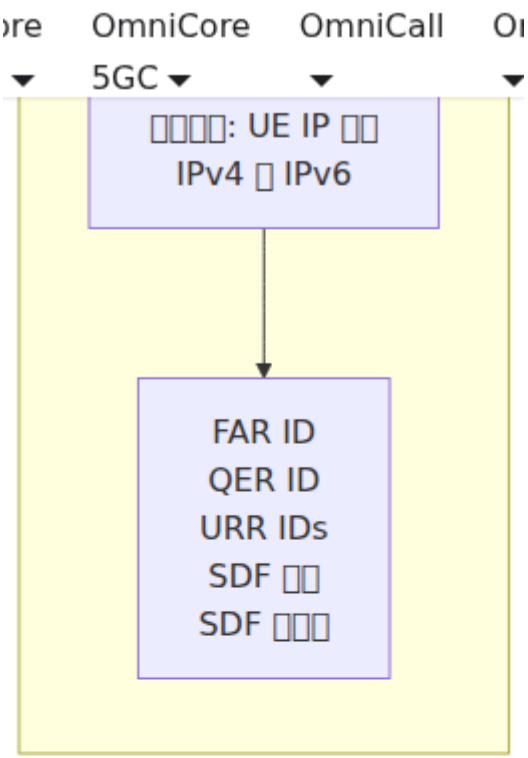
```
PDR ID: 10
UE IP: 10.45.0.1
SDF □□: SDF Only
SDF □□□:
  - □□: UDP, □□: 5060-5061 → FAR ID 5 (VoIP FAR)
  - □□: TCP, □□: 443 → FAR ID 1 (□□ FAR)
```

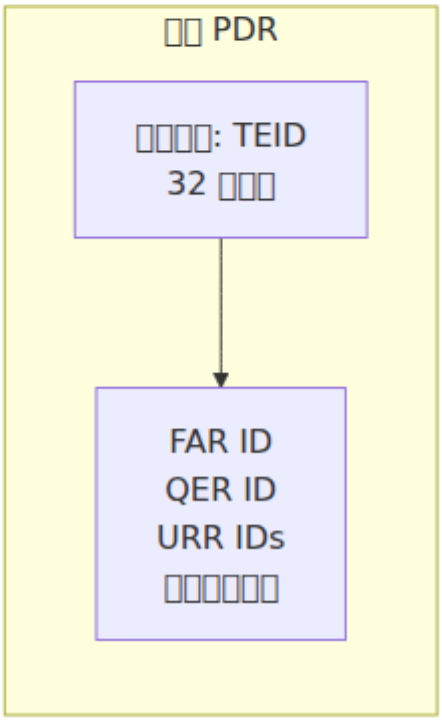
□□□□□□ (FAR)

□□

FAR □□□□□ PDR □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□GTP-U □□□□□□□□□□□

FAR □□


re
OmniCore
OmniCall
O
5GC
□□□□: UE IP □□
IPv4 □ IPv6
FAR ID
QER ID
URR IDs
SDF □□
SDF □□□


□□ PDR
□□□□: TEID
32 □□□
FAR ID
QER ID
URR IDs
□□□□□□

□□□□

FAR □□□□□□□□□□□□□□□

□□	□	□	□□
FORWARD	1	2	□□□□□□□□□□
BUFFER	2	4	□□□□□□□□□□□
DROP	0	1	□□□□□
NOTIFY	3	8	□□□□□□□□□
DUPLICATE	4	16	□□□□□□□□□□□□

□□□□□□:

- `Action: 2 (FORWARD)` - □□□□□□□□□
- `Action: 6 (FORWARD + BUFFER)` - □□□□□□□□□□
- `Action: 4 (BUFFER)` - □□□□□□□□□□□
- `Action: 1 (DROP)` - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

BUFFER □□□□ 2□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□ UE □□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

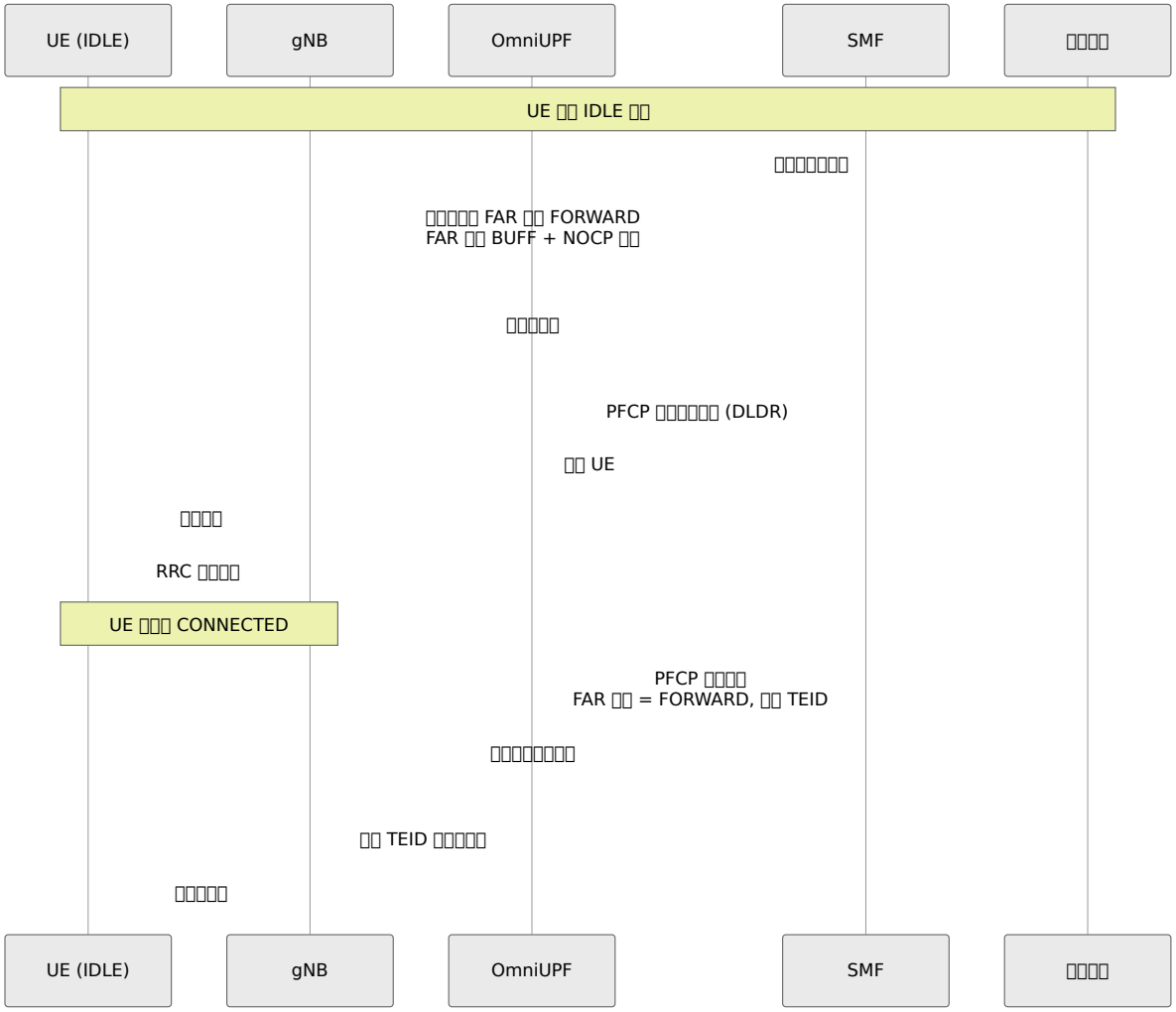
□□□□□□□□□: □□□□□□□□□□ IDLE □□□□□□□ gNB□□ UE □□UPF□

1. □□□□□
2. □ SMF □□□□□□□□ (DLDR)
3. SMF □ UE □□□□□□□□□□
4. □□□□□SMF □□ FAR □ FORWARD □□
5. UPF □□□□□□□□□□ UE

□□□□□□□□□: □ gNB □ gNB □□□□□□UPF □□□□□□□□□□□□□

1. □□ gNB □□□□□
2. SMF □ FAR □□□□□ BUFFER

3. □□□□□□□□□□□□□□□□□□
4. UE □□□□□□ gNB
5. SMF □□ FAR□□□□□□ TEID □ FORWARD □□
6. UPF □□□□□□□□□□□ gNB



□□□□□□□□

□□□□□□□:

- □□□□□□□□□: 100,000□□□□□□
- □□□□□□□: □□□□□□□
- **TTL (□□□□□)**: 60 □□□□□□□
- □□ **TTL** □□□□: □□□□

□□ **FAR** □□:

- □□ **FAR** □□□□□□□□: 10,000□□□□□

- □□: □□□□ FAR □□□□□□

□□□□□□:

- □□□□□□□□ FAR □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□ `reason="global_limit"` □ `reason="far_limit"`
- □□□□□□□□□□□□□□□ TTL □□□□□□□□

□□□□□□ **(DLDR)**

□ UPF □ IDLE UE □□□□□□□□□ SMF □□ PFCP □□□□□□□

DLDR □□:

- □□□□: □□□□□□ (DLDR)
- **FAR ID**: □□□□ FAR
- □□□□□□□□: □□ QFI□□□□□□□□

SMF □ DLDR □□:

1. □□ AMF → gNB □□ UE
2. □□ UE □□ RRC □□
3. □□ PFCP □□□□□□□□ FAR
4. FAR □□□ `BUFF+NOCP` □□□ `FORW`
5. UPF □□□□□□□□

DLDR □□:

- `upf_dldr_sent_total`: □□□ DLDR
- `upf_dldr_send_errors`: □□ DLDR
- `upf_buffer_notify_to_flush_duration_seconds`: □ DLDR □□□□□□□

□□ □□□ □□□□□□□

□□□

□□□□□□□ BUFF □□:

- FAR □□ `|= 0x04`□□□ 2□

- □□: `Action: 2 (FORW)` → `Action: 6 (FORW+BUFF)`
- □□□□□□□□□

□□□□□□BUFF □ FORW□:

- FAR □□ `= 0x04`□□ BUFF□
- □□□□□□□□□□□
- □□ IDLE UE □□□□□□□□

□□□□□□□ BUFF □□□:

- FAR □□ `&= ~0x04`□□□□ 2□
- □□: `Action: 6 (FORW+BUFF)` → `Action: 2 (FORW)`
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

- □□ □□ FAR □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□ TEID/□□□□□□
- □□□□□□□□□□□
- FAR □□□□ FORW □□

□□□□:

- □□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□ `reason="cleared"`

□□□□□□□□□

□□□□□Web UI□: □□□ □□ □□□

- □□□□□□□
- □□□□□
- □□□□□□□□□ FAR □□
- □□ FAR □□□□□□□
- □□□□□□□□□□
- □□/□□□□ FAR □□□

- □□□□□□□□

□□□□:

- □□□ **> 10** □: □□□□□□□□
- □□□ **> 30** □: □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□: □□□□□□□□□□□□□□□□□□

Prometheus □□:

- `upf_buffer_packets_current`: □□□□□□□□□
- `upf_buffer_bytes_current`: □□□□□□□□
- `upf_buffer_fars_active`: □□□□□□□□□ FAR
- `upf_buffer_packets_dropped{reason}`: □□□□□□□□□

□□□ □□□□ □□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

□□ 1: IDLE UE □□□□

```
□□□□□:
- UE □□ IDLE □□□□□□ gNB □□□
- FAR □□: 0x04 (□ BUFF)

□□□□□:
1. DN □□□□□□□□
2. UPF □□ PDR□□□ FAR
3. FAR □□ BUFF □□ → □□□□□□□
4. UPF □ SMF □□ DLDR
5. SMF □□ UE
6. UE □□□ gNB
7. SMF □□ FAR: Action = 0x02 (FORW)
8. UPF □□□ TEID □□□□□□□□□
```

□□ 2: □□□□

□□□□:
- UE □□□ gNB-1 (TEID 1234)
- FAR □□: 0x02 (FORW)

□□□□:
1. SMF □□ FAR: Action = 0x06 (FORW+BUFF)
2. □□□□□□ gNB-1 □□□
3. UE □□□ gNB-2
4. SMF □□ FAR: TEID = 5678, Action = 0x02 (FORW)
5. UPF □□□□□□□□□□ gNB-2□□□□ TEID
6. □□□□□□□□□□□□

□□ 3: □□□□

□□□□:
- UE □□□□□□□□□

□□□□:
1. SMF □□ FAR: Action = 0x04 (□ BUFF)
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□
4. SMF □□ FAR: Action = 0x02 (FORW)□□□□
5. UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□ GTP-U □□□

□□ **FAR** (N3 → N6):

- □□□□□□□: False
- □□: □□ GTP-U□□□□□□ IP □□□

□□ **FAR** (N6 → N3):

- □□□□□□□: True
- □□ IP: gNB IP □□□□□□□198.51.100.10□
- TEID: UE □□□□□ ID
- □□: □□ GTP-U □□□□□□□ gNB

Web UI □□ FAR □□

□□□□□□□□□□ ID □□ FAR □□□□

□□:

1. □□□□□ → FARs □□□
2. □□□□□□□□□ FAR ID
3. □□ "□□" □□ FAR □□□□

□□□□□:

- FAR ID
- □□□□□ + □□□□□
- □□□□□□□/□□□
- □□□□□□
- □□ IP □□□□□□□□□
- TEID
- □□□□□

QoS □□□□ (QER)

□□

QER □□□□□□□□□

QER □□


QER □□
QFI
QoS □□□□
□□□□□
□□/□□
□□□□□
□□/□□
QER ID
□□□□□
□□ MBR
□□□□□□
□□ MBR
□□□□□
□□ GBR
□□□□□
□□ GBR
□□□□□

QoS □□

QFI (QoS □□□□):

- 5G QoS □□ 6 □□□□
- □ 1-9 □□□□□□□□□□QFI 9 = □□□□□
- □□ 5GC □□□□□□□□

□□□:

- □□ **(0)**: □□□□
- □□ **(□□)**: □□□□

□□□□□ **(MBR)**:

- □□□□□□□□□□□
- □ kbps □□□□□
- **MBR = 0**: □□□□□□□□□□□
- □□ MBR □□□□□□□

□□□□□ **(GBR)**:

- □□□□□□□□□□□□
- □ kbps □□□□□
- **GBR = 0**: □□□□□□□□□
- **GBR > 0**: □□□□□□□□□□

QoS □□□

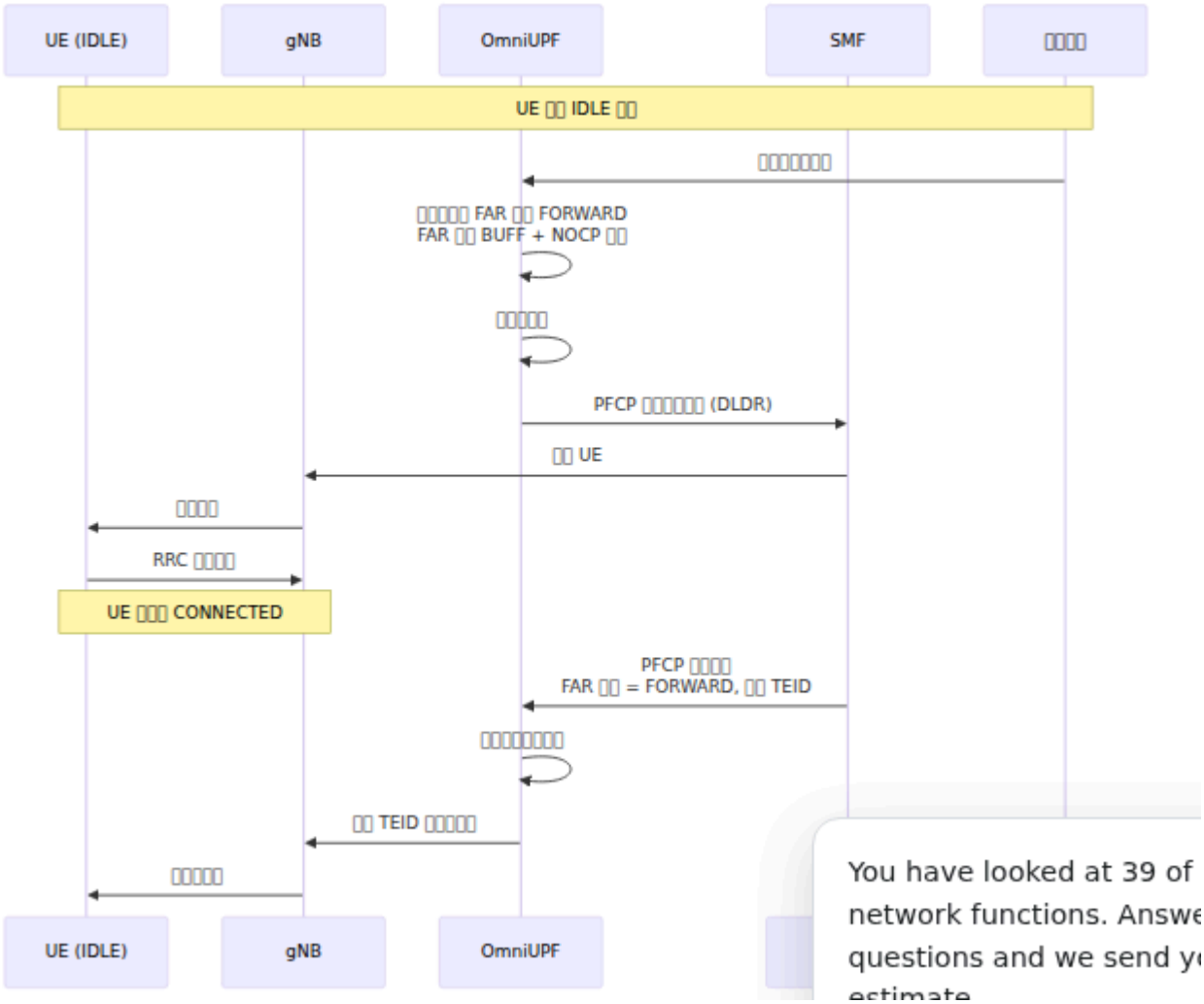
□□□□□ (GBR = 0):

```
QER ID: 1
QFI: 9
□□ MBR: 100000 kbps (100 Mbps)
□□ MBR: 100000 kbps (100 Mbps)
□□ GBR: 0 kbps
□□ GBR: 0 kbps
```

□□□ (GBR > 0):

```
QER ID: 2
QFI: 1
□□ MBR: 10000 kbps (10 Mbps)
□□ MBR: 10000 kbps (10 Mbps)
□□ GBR: 5000 kbps (5 Mbps)
□□ GBR: 5000 kbps (5 Mbps)
```

QoS □□□□



MBR □□□□

OmniUPF □□ □□□□□□□□□□ □□□□□□ MBR□□□□□□□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ XDP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□**:** □□□□□□□□□

□□□□□□□□□UPF □□□□□□□□

1. □□□□□□: □□□□□□□ `CLOSED`□□□□□□□□□□□□□□
2. **MBR** □□: □□ MBR = 0□□□□□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□:

```
tx_time = (packet_size_bytes × 8) × (1,000,000,000 ns/sec) /
MBR_kbps
```

4. □□□□: □□□□□□□□ 5ms □□□□□□□□□□□□□□
5. □□□□: □□□□□□□□□□□□ `tx_time` □□□□

□□□□:

□□:

- MBR = 100,000 kbps (100 Mbps)
- □□□□□ = 1500 □□
- □□□□ = 5,000,000 ns (5 ms)

```
□□ 1: □ 100 Mbps □□□□□□□
tx_time = (1500 □□ × 8 □/□□) × (1,000,000,000 ns/sec) /
100,000,000 bps
        = 12,000,000,000 / 100,000,000
        = 120 ns

□□ 2: □□□□□□□□□□□□
current_time = 1000000000 ns
window_start = 999990000 ns
if (window_start + tx_time > current_time):
    □□□□□□□□□□□□□□□□

□□ 3: □□□□□□□□□□
window_start = window_start + 120 ns
□□□□□
```

□□□□□□

5ms □□□□:

- □□□□□ 5 □□□□□□□
- □□□□□□ 5ms□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

- □□□□□□ 5ms □□□□□□□□□
- □□□□□□□ MBR □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□:

- □□ MBR □□ `qer->ul_start` □□□
- □□ MBR □□ `qer->dl_start` □□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□

□□ **(N3 → N6)**:

1. □□□□□□ N3 □□□□□□ gNB□
2. □□ TEID □□ PDR
3. □□ QER ID □□ QER
4. □□ `ul_gate_status` → □□□□□□□□
5. □□ `limit_rate_sliding_window()`□□□ `ul_maximum_bitrate`
6. □□□□□□□□□ N6 □□□ URR □□□

□□ **(N6 → N3)**:

1. □□□□□□ N6 □□□□□□□□□□□□
2. □□ UE IP □□□□□ PDR
3. □□ QER ID □□ QER
4. □□ `dl_gate_status` → □□□□□□□□
5. □□ `limit_rate_sliding_window()`□□□ `dl_maximum_bitrate`
6. □□□□□□□□ GTP-U □□□□□□□ N3

N9 □□ (SGWU ↔ PGWU):

- □ N9 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ QER
- □□ QER □ SGWU □ PGWU □□□□□□

MBR □□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□ **MBR** □□:

- □□□□: GTP-U□UDP□IP □□□□□□□□□ ~50-60 □□
- □□□□□□□□: □□□□□□□ = □□□□□□□□□□
- □□□□□□□: □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□: 5ms □□□□□□□□□□□□□□□ MBR

□□:

```
□□□ MBR: 100 Mbps
□□□□□□□□: ~95-98 Mbps□□□ GTP-U/UDP/IP □□□
```

□□□□□□□□□:

1. □□ URR □□□□□□□□□□□□: `upf_urr_*_volume_bytes`
2. □□□□□: `(volume_delta_bytes × 8) / time_delta_seconds / 1000` = kbps
3. □ QER □□□□ MBR □□□□

GBR (□□□□□)

□□: OmniUPF □□□□□□□□ GBR □□□□GBR □□□ QER □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

GBR □□:

- GBR □□□ PFCP □ SMF □□
- GBR □□□ QER □□□□□□□ API □□
- □□□□□□□□□□□ GBR □□□□□□□
- GBR □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

- GBR □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□ eBPF QoS □□□□

□□□□□□□ (URR)

□□

URR □□□□□□□

□□□□

□□□□:

- □ UE □□□□□□□□□□
- □ GTP-U □□□□□□
- □□ IP □□□□□□

□□□□:

- □□□□□□□□ UE □□□
- □ GTP-U □□□□□
- □□ IP □□□□□□

□□□:

- □□□□□□□□□□
- □□□□□□□

□□□□□□□

URR □□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

- □□□□□□□□□□□□□□
- □□: □ 1 GB □□□□□□

□□□□:

- □□□□□□□
- □□: □ 5 □□□□□□

□□□□:

- □□□□□□□□
- □ QoS □□□□□
- □□□□□□

□□□□□□

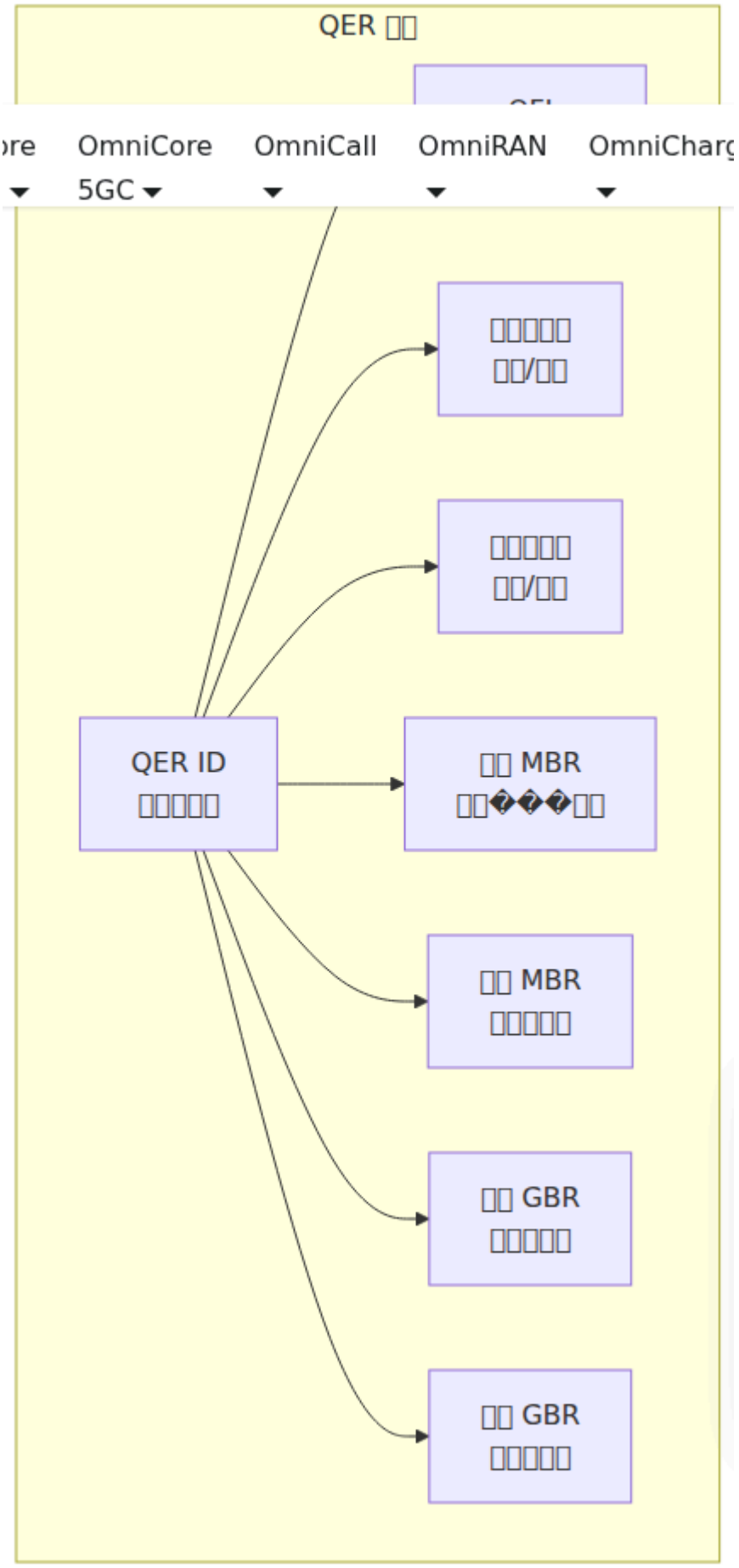
Web UI □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□	□□
0 - 1023	B (□□)
1024 - 1048575	KB (□□□)
1048576 - 1073741823	MB (□□□)
1073741824 - 1099511627775	GB (□□□□)
1099511627776+	TB (□□□)

□□:

```
URR ID: 0
□□□□: 12.3 KB
□□□□: 9.0 KB
□□□: 21.3 KB
```

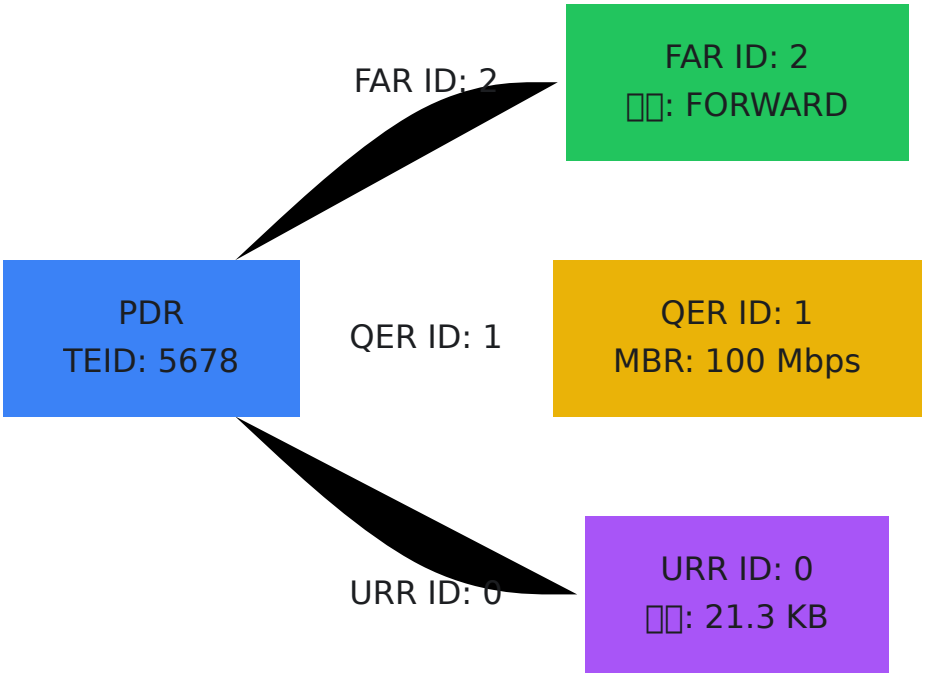
URR □□□□


QER □□
ore
OmniCore
5GC
OmniCall
OmniRAN
OmniCharg
□□□□□
□□/□□
□□□□□
□□/□□
QER ID
□□□□□
□□ MBR
□□□□□
□□ MBR
□□□□□
□□ GBR
□□□□□
□□ GBR
□□□□□

□□□□

PDR → FAR → QER → URR □

□□ PDR □□□□ FAR□FAR □□□□□□ QER □□□□□□ URR□



□□□□□□

□□ **PDR**:

```
TEID: 5678
FAR ID: 2
QER ID: 1
URR IDs: [0]
□□□□□□: False
```

□□ **PDR**:

```
UE IP: 10.45.0.1
FAR ID: 1
QER ID: 1
URR IDs: [0]
SDF □□: No SDF
```

FAR ID 1 (□□):

```
□□: 2 (FORWARD)
□□□□□□: True
□□ IP: 198.51.100.10
TEID: 5678
```

FAR ID 2 (□□):

```
□□: 2 (FORWARD)
□□□□□□: False
```

QER ID 1:

```
QFI: 9
□□ MBR: 100000 kbps
□□ MBR: 100000 kbps
□□ GBR: 0 kbps
□□ GBR: 0 kbps
```

URR ID 0:

```
□□□□: 12.3 KB
□□□□: 9.0 KB
□□□: 21.3 KB
```

□□□□

□□□□□□□□

□□□□□□□:

1. □□□□□□
2. □□ IP □ TEID □□ UE
3. □□ "□□" □□□□□□□ (PDR, FAR, QER, URR)

□□□□□□□:

1. □□□□□□
2. □ PDR □□□□□□□ TEID□□□□□□ UE IP□□□□□□□
3. □□ FAR ID, QER ID, URR IDs
4. □□□ FAR/QER/URR □□□□□□□□□□□□

□□/□□□□

□□: □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□:

1. □□□□□□ → FARs
2. □□□□□□□□□□ FAR ID
3. □□ "□□"
4. □□□□□□□□□□□□ "□□□□□"
5. □□ FAR □□□ 2 □□□□□□□□□□□□ 4□

□□□□□□□□□□□□□□:

1. □□□□□□
2. □□□□□□□□ FAR
3. □□□□□□□□ "□□□□"

□□ QoS □□□

□□□□□□□□□□□□□□:

1. □□□□□ → QERs
2. □□□ UE □□□□□ QER ID
3. □□□□ MBR □□□ MBR □
4. □ URR □□□□□□□□□

□□□□□□□:

```
□□□ (kbps) = (□□□□□□ × 8) / (□□□□□ × 1000)
```

□□□□□□□ MBR□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

□□ **URR** □□:

1. □□□□□□ → URRs
2. □□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□□

□□:

- □□□□□□
- □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□

□□□

□□□□□

□□ **PDR**:

1. □□ TEID□□□□□□ UE IP□□□□□□□□□ PDR
2. □□ FAR ID □□□□
3. □□ SDF □□□□□□□□□□

□□ **FAR**:

1. □□ FAR □□□□□□ FORWARD□□□□ DROP □□ BUFFER□
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□ IP □ TEID □□□□

□□ **QER**:

1. □□□□□□□□□□□ (0)
2. □□ MBR □□□□□□□

□□□□□□

□□ **QER** □□□□:

1. □□□□□ → QERs
2. □□ MBR □□□□□□□□□□
3. □□ URR □□□□□□□□□□□□□□□

□□ **FAR** □□:

1. □□□□□ → FARs
2. □□□□□□□□ FORWARD□□□□ DROP
3. □□□□□□□□□□□ BUFFER □□□

□□□□

□□□□□□□□□:

1. □□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□□□
3. □□ > 30 □□□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□

5. □ FAR □□□□□

□□□□:

1. □□□□□□□□□□□□□□□□□ 100,000□
2. □□□□ FAR □□□□□□□□□ FAR □□□□□□□□ 10,000□
3. □□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□

URR □□□

□□□□□□□□:

1. □□ PDR □□□□ URR ID
2. □□□□□□□□□□ PDR
3. □□ FAR □□□□□□□□□□□□□□□□
4. □□ URR ID □□□□□ URR □□□

□□□□□□ **SMF**:

1. □□ PFCP □□□□□□
2. □□ URR □□□□□□□□/□□□□□
3. □□ PFCP □□□□□□□□□

□□□

- **UPF □□□□** - OmniUPF □□□□□□□
- **Web UI □□□□** - □□□□□□□□□□□
- □□□□ - □□□□□□□
- □□□□□□ - □□□□□□□

OmniUPF □□□□□□

□□

1. □□
2. □□□□
3. □□□□
4. □□□□
5. PFCP □□□□
6. □□□□□□□□
7. XDP □ eBPF □□
8. □□□□
9. □□□□□□□□□□□□□□□
10. NIC □□□□□□□□
11. □□□□□□□
12. □□□□

□□

□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□

```
# 1. □□ OmniUPF □□□□□□
systemctl status omniupf

# 2. □□ PFCP □□
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline

# 3. □□ eBPF □□□□□□□
ls /sys/fs/bpf/

# 4. □□ XDP □□□□□□□
ip link show | grep -i xdp

# 5. □□□□□□□□□□
dmesg | tail -50
journalctl -u omniupf -n 50
```

□□□

OmniUPF REST API

□□ UPF □□□

```
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_status
```

□□ PFCP □□□

```
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline
```

□□□□□□□

```
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq 'length'
```

□□ eBPF □□□□

```
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info
```

□□□□□□□□□□□

```
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
```

□□ **XDP** □□□□□

```
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats
```

---

eBPF □□□□

□□□□ **eBPF** □□□

```
ls -lh /sys/fs/bpf/
bpftool map list
```

□□□□□□□□□□

```
bpftool map show
bpftool map dump name pdr_map_downlin
```

□□□□□□□□□□

```
bpftool map dump name far_map | grep -c "key:"
```

XDP □□□□

□□ **XDP** □□□□□□□□□

```
ip link show eth0 | grep xdp
```

□□□□ XDP □□□

```
bpftool net list
```

□□ XDP □□□□□□□□

```
bpftool prog show
```

□□ XDP □□□□□

```
bpftool prog dump xlated name xdp_upf_func
```

□□□□

□□ N4 □□ PFCP □□□□□□□□□□

```
# PFCP □□□ XDP □□□tcpdump □□□□
tcpdump -i eth0 -n udp port 8805 -w /tmp/pfcp_traffic.pcap
```

□□ N3 □□ GTP-U □□□□□□□□□□□□

```
# □□□□□□ tcpdump □ UPF □□□□□□□□ XDP □□□□□□□□
# XDP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ GTP-U□

# □□□□□□□□□□
# 1. □ gNB □ UPF □□□□□□□ TAP
# 2. □□□□□□□□/SPAN □□ N3 □□
# 3. □□□□□□□□□□□□□□ VM

# □□□/□□□□□□□□□□□ UPF □□□
# tcpdump -i <mirror_interface> -n udp port 2152 -w
/tmp/n3_capture.pcap

# □□□□□□ API □□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
curl http://localhost:8080/api/v1/n3n6_stats
```

□□□□□□□□□□

```
watch -n 1 'ip -s link show eth0'
```

□□□□□□

```
ip route show
ip route get 10.45.0.100  # □□ UE IP □□□
```

□□ **ARP □□**

```
ip neigh show
```

□□□□

□□□“eBPF □□□□□□□□”

□□□

```
ERRO[0000] failed to load eBPF objects: mount bpf filesystem at
/sys/fs/bpf
```

□□□eBPF □□□□□□□□

□□□□□

```
# □□ eBPF □□□□
sudo mount bpffs /sys/fs/bpf -t bpf

# □□□□□□□□□□ /etc/fstab□
echo "bpffs /sys/fs/bpf bpf defaults 0 0" | sudo tee -a /etc/fstab

# □□□□
mount | grep bpf
```

□□□□□□□□□

□□□

```
ERRO[0000] kernel version 5.4.0 is too old, minimum required is
5.15.0
```

□□□Linux □□□□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□
uname -r

# □□□□□□Ubuntu/Debian□
sudo apt update
sudo apt install linux-generic-hwe-22.04
sudo reboot

# □□□□□□
uname -r  # □□ >= 5.15.0
```

□□□□□ libbpf □□

□□□

```
error while loading shared libraries: libbpf.so.0: cannot open
shared object file
```

□□□□□□□ libbpf □

□□□□□□

```
# □□ libbpf□Ubuntu/Debian□
sudo apt update
sudo apt install libbpf-dev

# □□□□□
ldconfig -p | grep libbpf
```

□□□□

□□□□□□□□□□□

□□□

```
ERRO[0000] unable to read config file: unmarshal errors
```

□□□Elixir □□□□□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□□□
cd /opt/omniupf && bin/upf_ex eval "IO.puts(:ok)"

# □□□□□
# - □□□□□□□□□□
# - □□□□ Elixir □□□□□□□□ : □□□ =□
# - □□□□□□□□□□

# □□□□□□ /etc/omniupf/runtime.exs
# □□□□□□□□
# xdp_interfaces = "eth0"
# xdp_attach_mode = "generic"
# api_port = 8080
# pfcp_address = "10.0.0.1"
```

□□□□□□□□□□

□□□

```
ERRO[0000] interface eth0 not found
```

□□□□□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□□□□
ip link show

# □□□□□□□
ip addr show eth0

# □□□□□□□□□□□□□□ /etc/omniupf/runtime.exs□
# xdp_interfaces = "ens1f0"  # □□□□□□□□□

# □□□□□□□□□□□□□□□□
ls /sys/class/net/
```

□□□□□□□□□

□□□

```
ERRO[0000] failed to start API server: address already in use
```

□□□□□ 8080□8805 □ 9090 □□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□□□□
sudo lsof -i :8080
sudo netstat -tulpn | grep :8080

# □□□□□□□
sudo kill <PID>

# □□ /etc/omniupf/runtime.exs □□□ OmniUPF □□
# api_port = 8081
# pfcp_port = 8806
```

□□□□□□ PFCP □□ ID

□□□

```
ERRO[0000] invalid pfcp_node_id: must be valid IPv4 address
```

□□□PFCP □□ ID □□□□□ IPv4 □□

□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
# □□□□□ IP □□□□□□□□□□
node_id = "10.100.50.241"

# □□□□
# node_id = "localhost"
# node_id = "upf.example.com"
```

PFCP □□□□

□□□□□□ PFCP □□

□□□

- Web UI □□“□□□□”
- SMF □□□□“PFCP □□□□□□”

□□□

```
# 1. □□ PFCP □□□□□□□□□
sudo netstat -ulpn | grep 8805

# 2. □□□□□□□
sudo iptables -L -n | grep 8805
sudo ufw status

# 3. □□ PFCP □□
tcpdump -i any -n udp port 8805 -vv

# 4. □□ API □□ PFCP □□
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline
```

□□□□□□□□□□

□□□□□ **PFCP**

□□□□□

```
# □□ PFCP □□□UDP 8805□
sudo ufw allow 8805/udp
sudo iptables -A INPUT -p udp --dport 8805 -j ACCEPT
```

PFCP □□ ID □□

□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □□□□□ ID □□□□□□ N4 □□ IP
node_id = "10.100.50.241"    # □□□ N4 □□□□ IP □□
```

□□□□□ **SMF**

□□□□□

```
# □□□ SMF □□□□
ping <SMF_IP>

# □□□ SMF □□□
ip route get <SMF_IP>

# □□□□□□□□□□□
sudo ip route add <SMF_NETWORK>/24 via <GATEWAY>
```

SMF □□□□□□ UPF IP

□□□□□

- □□ SMF □□□□ UPF □□
- □□ SMF □□□ UPF □ `pfcp_node_id` IP
- □□ SMF □□□□□ UPF □ N4 □□

□□□PFCP □□□□

□□□

```
WARN[0030] PFCP heartbeat timeout for association 10.100.50.10
```

□□□

```
# □□ PFCP □□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline | jq
'.associations[] | {remote_id, uplink_teid_count}'

# □□□□□□
journalctl -u omniupf -f | grep heartbeat
```

□□□□□□□□

□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□ SMF □□□□□□
ping -c 100 <SMF_IP> | grep loss

# □□□□□□□□□□□□□□□
# - □□□□□□
# - □□□□□/□□□□□
# - □□□□□□
```

□□□□□□□□

□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
heartbeat_interval_ms = 30_000    # □ 5000 □□□ 30000 ms
heartbeat_retries = 5             # □□□□□□
heartbeat_timeout_ms = 10_000     # □□□□□□
```

□□□□□□

□□□□□□□□□□□□RX/TX □□□ 0□

□□□

- □□□□□□ 0 RX/TX □□□
- UE □□□□□□□□

□□□

```
# 1. □□ XDP □□□□□□□□
ip link show eth0 | grep xdp

# 2. □□□□□□□ UP
ip link show eth0

# 3. □□□□□□□□□□□□XDP □□□
# □□□tcpdump □□□□□ XDP □□□ GTP-U □□□
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
```

□□□□□

XDP □□□□□

□□□□□

```
# □□ OmniUPF □□□□□ XDP
sudo systemctl restart omniupf

# □□□□
ip link show eth0 | grep xdp
bpftool net list
```

□□□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□
sudo ip link set eth0 up

# □□□□□□□
ethtool eth0 | grep "Link detected"

# □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
```

□□□□□□□

□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
xdp_interfaces = "ens1f0"    # □□ 'ip link show' □□□□□□□□
```

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- RX □□□□□ TX □□□□□
- □□□ > 1%

□□□

```
# □□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq '.drop'

# □□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats'

# □□□□□□□□
watch -n 1 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq
".total_rx, .total_tx, .total_drop"'
```

□□□□□

□□ PDR □□□□□ TEID □ UE IP□

□□□□□

```
# □□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions

# □□□□□□□□□□□□□
# - PFCP □□□□□□□
# - SMF □□□□□□□
# - □□□□□□□□□

# □□ PDR □□□□
bpftool map dump name pdr_map_teid_ip | grep -c key
bpftool map dump name pdr_map_downlin | grep -c key
```

□□□□

□□□□□

```
# □□ FIB □□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats'

# □□ UE IP □□□
ip route get 10.45.0.100

# □□□□□□□□
sudo ip route add 10.45.0.0/16 dev eth1  # □ UE □□□□ N6
```

QER □□□□

□□□

- □□□□□□□
- □□□□□□□□□
- URR □□□□□□□□□□□
- □□□□□□□ XDP □□□□□□□

□□□

1. □□□□□ **MBR** □□□

```
# □□□□□□ QER ID
curl http://localhost:8080/api/v1/pfcp_sessions | jq '.data[] |
select(.ue_ip == "10.45.0.1")'

# □□ QER □□
curl http://localhost:8080/api/v1/qer_map | jq '.data[] |
select(.qer_id == 1)'
```

2. □□□□□□□

```
# □□□□□□ 0□□□□□□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/qer_map | jq '.data[] |
{qer_id, ul_gate: .ul_gate_status, dl_gate: .dl_gate_status}'
```

3. □ **URR** □□□□□□□□□

```
# □□□□□□□□□ URR □□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/urr_map | jq '.data[] |
select(.urr_id == 0)'

# □□□□□□□□□□□□
# throughput_kbps = (volume_delta_bytes × 8) /
time_delta_seconds / 1000
```

4. □□ **MBR** □□□□□□□□

   - □□□□□□ ≈ MBR □ 95-98%□□□□□□□□□
   - □□□□□□□□□□ MBR□□□□□□□□□
   - □□□□□□□ MBR □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□ **MBR** □□□□□□ SMF □□ PFCP □□□□□□□ QER□□□ MBR
- □□□□□□□□□ SMF □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□ SMF □□□□□□ QoS □□□□

□□ **MBR** □□□

OmniUPF □□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□ MBR □□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□ - MBR □□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□ MBR □□
- □□□□□□□□□/□□□□□□□□□□
- 5ms □□□□□□□

□□□□□□

- **VoIP** □□□□□□□□ MBR □□□□□□□□□□□□□□□□□G.711 ≈ ~80 kbps□
- □□□□□□□□□□ MBR > □□□□□□ + □□□1080p ≈ ~5-10 Mbps□
- □□□□□□□ 5ms □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- RX N3 □□□□□□□ TX N3 □□□□□□□□□□
- RX N6 □□□□□□□ TX N6 □□□□□□□□□□

□□□

```
# □□ N3/N6 □□□□□□□□XDP □□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/n3n6_stats
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats

# □□□□□□ tcpdump □□□□□ XDP □□□□ GTP-U □□
# □□□□□ API □ xdpdump □□□□□□□
# □□□□“□□ XDP □□□□□□”□□□□□□□□□
```

□□□□□□**RX N3□□ TX N6□□**

□□□□□□ FAR □□□□□ N6 □□□□□□

□□□□□□

```
# □□ FAR □□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].fars[] |
select(.applied_action == 2)'

# □□ N6 □□□□□□□
ip route get 8.8.8.8  # □□□□□□□□□□

# □□□□□□□□□□□□□□
sudo ip route add default via <N6_GATEWAY> dev eth1
```

□□□□□RX N6□□ TX N3□□

□□□□□□□□ PDR □□□ GTP □□

□□□□□

```
# □□ UE IP □□□ PDR □□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].pdrs[] |
select(.pdi.ue_ip_address)'

# □□ FAR □□□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].fars[] |
.outer_header_creation'

# □□ gNB □□□
ping <GNB_N3_IP>
```

XDP □ eBPF □□

□□□□□ **XDP** □□□□□□□□□□□□□□□□□ **XDP** □□□□□

□□□XDP □□□□□□

□□□

```
ERRO[0000] failed to load XDP program: invalid argument
```

□□□

```
# □□□□□ XDP □□
grep XDP /boot/config-$(uname -r)

# □□□□□
# CONFIG_XDP_SOCKETS=y
# CONFIG_BPF=y
# CONFIG_BPF_SYSCALL=y

# □□ dmesg □□□□□□□□
dmesg | grep -i bpf
```

□□□□□□□□□

□□□□ **XDP** □□

□□□□□

```
# □□□□□□□□□□ XDP □□□□□□□□□□
# Ubuntu 22.04+ □□□□ XDP
sudo apt install linux-generic-hwe-22.04
sudo reboot
```

XDP □□□□□□

□□□□□

```
# □□ OmniUPF □□□□□□□□□□
journalctl -u omniupf | grep verifier

# □□□□□
# - eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□
# - □□□□□□□□□eBPF □□□□□□□□
# □□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□
sudo sysctl kernel.bpf_stats_enabled=1
```

□□□XDP □□□□□□□

□□□

- XDP □□□□□□□ aborted > 0
- □□□□□□□□

□□□

```
# □□ XDP □□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq '.aborted'

# □□ XDP □□□□
watch -n 1 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats'
```

□□□eBPF □□□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□□□□ eBPF □□
dmesg | grep -i bpf

# □□ OmniUPF □□□□□ eBPF □□
sudo systemctl restart omniupf

# □□□□□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□
# □□ BPF_ENABLE_LOG=1 □□ OmniUPF
```

□□□eBPF □□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□
- □□□□□□ 100%

□□□

```
# □□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info | jq '.[] | {map_name,
capacity, used, usage_percent}'

# □□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info | jq '.[] |
select(.usage_percent > 90)'
```

□□□□□

```
# 1. □□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[] | {seid,
uplink_teid, created_at}'

# 2. □□ SMF □□□□□
# □□□ SMF □□□□□□ API□

# 3. □□□□□□□□□□□
watch -n 5 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/map_info | jq ".
[] | select(.map_name==\"pdr_map_downlin\") | .usage_percent"'
```

□□□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
max_sessions = 200_000    # □ 100_000 □□

# □□□□□□□□□□
far_map_size = 400_000
qer_map_size = 200_000
```

□□□□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□ < 1 Gbps □□ NIC □□□□
- CPU □□□□

□□□

```
# □□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.total_rx,
.total_tx'

# □□ NIC □□□□
ethtool -S eth0 | grep -i drop

# □□ XDP □□
ip link show eth0 | grep xdp
```

□□□□□

□□□□ **XDP** □□

□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
xdp_attach_mode = "native"    # □□□□ XDP □ NIC/□□□□
```

□□□□

□□□□□

```
# □ NIC □□□ RSS□□□□□□□□□
ethtool -L eth0 combined 4  # □□ 4 □ RX/TX □□

# □□ RSS □□□□
ethtool -l eth0

# □□□□□□□□□ CPU
# □□□ /proc/interrupts □□□ irqbalance □□□□□□
```

□□□□

□□□□□

```
□□□□□□□ Elixir □□□□□□□□
□□ /etc/omniupf/runtime.exs □□□□□□□□
```

□□□□□□

□□□

- Ping □□ > 50ms
- □□□□□□

□□□

```
# □□□ UE □□□
ping -c 100 <UE_IP> | grep avg

# □□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info | jq
'.total_packets_buffered'

# □□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats'
```

□□□□□

□□□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info | jq '.buffers[]
| {far_id, packet_count, direction}'

# □□□□□□□□□□□□□□
# □□□ OmniUPF □□□ PFCP □□□□□□□□ FAR□
```

FIB □□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□□□□□□□□□□□□□
# □□ BPF_ENABLE_ROUTE_CACHE=1 □□

# □□□□□
# □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
```

□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□□□□□□□□□
- NIC □□ RX □□

□□□

```
# □□ NIC □□
ethtool -S eth0 | grep -E "drop|error|miss"

# □□□□□□□□□□
ethtool -g eth0

# □□□□□□□
watch -n 1 'ethtool -S eth0 | grep -E "drop|miss"'
```

□□□□□

```
# □□ RX □□□□□□□□
ethtool -G eth0 rx 4096

# □□ TX □□□□□□□□
ethtool -G eth0 tx 4096

# □□□□□□
ethtool -g eth0
```

□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ **XDP □□□□**□

Proxmox: VM □□ XDP □□□□

□□□

- □□□□□□□□□□ XDP □□
- □□□□□□□□

□□□VM □□□□□□□□□□ SR-IOV

□□□□□

□□ **1**□□□□□□□□□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
xdp_attach_mode = "generic"
```

□□ 2□□□ SR-IOV □□

```
# □ Proxmox □□□□
# 1. □□ IOMMU
nano /etc/default/grub
# □□□intel_iommu=on iommu=pt
update-grub
reboot

# 2. □□ VFs
echo 4 > /sys/class/net/eth0/device/sriov_numvfs

# 3. □ Proxmox UI □□ VF □□□ VM
# □□ → □□ → PCI □□ → □□ VF
```

□ `/etc/omniupf/runtime.exs` □□

```
xdp_interfaces = "ens1f0"    # SR-IOV VF
xdp_attach_mode = "native"
```

VMware: □□□□□□

□□□

- OmniUPF □□□□□□□

□□□vSwitch □□□□□□ MAC □□

□□□□□

```
# □ vSwitch □□□□□□□□□□ vSphere □□□□□□□
# 1. □□ vSwitch → □□□□
# 2. □□□ → □□□□□□□□
# 3. □□□ → MAC □□□□□□□□
# 4. □□□ → □□□□□□□□
```

VirtualBox: □□□□□

□□□

- □□□ < 100 Mbps

□□□VirtualBox □□□ SR-IOV □□□ XDP

□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
xdp_attach_mode = "generic"    # VirtualBox □□□□□
```

□□ VirtualBox □□□

- □□ VirtIO-Net □□□□□□□□□□
- □□“□□□□”□□□□
- □ VM □□□□ CPU □□
- □□□□□□□□□ NAT
- □□□□□ KVM/Proxmox □□□□□□□□

NIC □□□□□□□

□□□NIC □□□□□□□ XDP

□□□

```
ERRO[0000] failed to attach XDP program: operation not supported
```

□□□

```
# □□ NIC □□□□
ethtool -i eth0 | grep driver

# □□□□□□□□□□□ XDP
modinfo <driver_name> | grep -i xdp

# □□□□ XDP □□□
ip link show | grep -B 1 "xdpgeneric\|xdpdrv\|xdpoffload"
```

□□□□□

□□ 1□□□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
xdp_attach_mode = "generic"
```

□□ 2□□□ NIC □□□□

```
# □□□□□□□□□Ubuntu□
sudo apt update
sudo apt install linux-modules-extra-$(uname -r)

# □□□□□□□□□□□□□
# Intel □□□
# □ https://downloadcenter.intel.com/ □□
```

□□ 3□□□ NIC

```
# □□□□ XDP □ NIC□
# - Intel X710, E810
# - Mellanox ConnectX-5, ConnectX-6
# - Broadcom BCM57xxx (bnxt_en □□□□)
```

□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□ XDP □□□□□
- NIC □□□□

□□□

```
# □□□□□□□
dmesg | tail -100

# □□□□□□□□□
journalctl -k | grep -E "BUG:|panic:"
```

□□□□□

```
# 1. □□□□□□□□□□
sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo reboot

# 2. □ /etc/omniupf/runtime.exs □□□□ XDP □□□□□□□□□□□□
# xdp_attach_mode = "native"

# 3. □□□□□□□□□□□□□
# xdp_attach_mode = "generic"

# 4. □ NIC □□□ Linux □□□□□□□□
```

□□□IPv6 SLAAC □□□ / UDP □□□□□□□□-XDP + virtio□

□□□

```
# IPv6 UEs □□□□□□ 50%□□□□□□ SLAAC □□□□□□□□
# RA □ UPF □□□□ RAN □□□□□□
# □ eNB/gNB□□□□□□□□□□□□□□□□ UDP □□□□□
# □□□□□□□□□□□□□□ RA □□□□
nstat -az | grep UdpInCsumErrors      # □□□□□ SLAAC □□□□□□□□
```

- □□□ **IPv6 SLAAC / □□□□□□ — □□□□□□□□□□□**
- □□□□□□ SGW-U □ PGW-U □□ □□ □□□□□□□□□□□□□□□□ SGW-U+PGW-U □□□□□□□□□

□□□□□□□□□□ □□ TX □□□□□□□`CHECKSUM_PARTIAL`□□□□□□ NIC □ `tx-checksum-ip-generic: on`□□□ □□□□□ **XDP** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `skb`□□□□□□ □ SGW-U □□□□□□ RA □□□□□□□□□ IP + TEID □□ `udp->check` □□□□□ skb □□□□□□□□□□□□ `csum_start`/`csum_offset`□□□□□□□virtio□NIC □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UDP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□□

□□□

- SMF □□□□□□□□
- UE □□□□ PDU □□

□□□ PFCP □□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

```
# □□ OmniUPF □□□□□□□□
journalctl -u omniupf | grep -i "session establishment"

# □□ PFCP □□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq 'length'

# □□□□□□□□□ PFCP □□
tcpdump -i any -n udp port 8805 -w /tmp/pfcp_session.pcap
```

□□□□

□□□□□

□□□□

```
# □□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info | jq '.[] |
select(.usage_percent > 90)'

# □□□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□
```

□□□ **PDR/FAR** □□

□□□□

```
# □□ OmniUPF □□□□□□□□□
journalctl -u omniupf | grep -E "invalid|error" | tail -20

# □□□□□□
# - □□□ UE IP □□□0.0.0.0 □□□□
# - □□□ TEID□0 □□□□
# - PDR □□ FAR
# - □□□ FAR □□

# □□ SMF □□□□□□□□
```

□□□□□□□**UEIP/FTUP**□

□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
feature_ueip = true
ueip_pool = "10.60.0.0/16"

feature_ftup = true
teid_pool_start = 1
teid_pool_end = 0xFFFFFFFF
```

□□□

□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□

□□□

```
# □□□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info

# □□□□ FAR □□□
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info | jq '.buffers[]
| {far_id, packet_count, oldest_packet_ms}'

# □□□□□□□□
watch -n 5 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info |
jq ".total_packets_buffered"'
```

□□□□□□□□□

FAR □□□□□□ FORWARD

□□□SMF □□□□ PFCP □□□□□□□□ FAR

□□□□□

```
# □□ FAR □□
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].fars[] |
{far_id, applied_action}'

# □□ BUFF = 1□□□□
# □□ FORW = 2□□□□

# □□□□ BUFF □□□□□□ SMF□
# - □□ PFCP □□□□□□
# - □□ FAR □ FORW □□
```

□□ **TTL** □□

□□□□□□□ FAR □□□□□□

□□□□□ □□ TTL □ Elixir □□□□□□□□□ `/etc/omniupf/runtime.exs` □□□□□□□

□□□□□

□□□□□ FAR □□□□□□□□

□□□□□ □□□□□ Elixir □□□□□□□□□□ `/etc/omniupf/runtime.exs` □□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□

```
# □ /etc/omniupf/runtime.exs □
log_level = :debug    # :debug | :info | :warning | :error
```

```
# □□□□□□□□□□ OmniUPF
sudo systemctl restart omniupf

# □□□□□□□
journalctl -u omniupf -f --output cat
```

---

eBPF □□□□

```
# □□ eBPF □□□□□□□□ bpftrace□
sudo bpftrace -e 'tracepoint:xdp:* { @[probe] = count(); }'

# □□□□□□□
sudo bpftrace -e 'tracepoint:bpf:bpf_map_lookup_elem {
printf("%s\n", str(args->map_name)); }'
```

□□ XDP □□□□□

□□ XDP □□□□□□□□□□

XDP □□□□□□ □□ □□□□□□□□□□□ `tcpdump` □□□□ **XDP** □□□□□□N3 □□ GTP-U □□□□UDP □□ 2152□□ XDP □□□□□□□□□□ UPF □□□□ tcpdump □□

□□□□□□□□□□

```
# □□ 1□□□□□ API □□□□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq
curl http://localhost:8080/api/v1/n3n6_stats

# □□ 2□□□ PFCP □□□□□ XDP □□□
tcpdump -i any -n udp port 8805 -w /tmp/pfcp.pcap

# □□ 3□□□□□□□□□□□□□□ GTP-U□
# □□□□ TAP □□□□□□□□□□□□□
# □□□
# - gNB □ UPF □□□□□ TAP
# - □□□ SPAN/□□□□□ N3 □□□□□□□□
# - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□
#
# □□□□□□□□□ UPF□□
# tcpdump -i <mirror_interface> -n udp port 2152 -w
/tmp/n3_mirror.pcap
```

□□□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□ TAP □□□□□□□□□
# □□□Cisco □□□ SPAN □□
(config)# monitor session 1 source interface Gi1/0/1
(config)# monitor session 1 destination interface Gi1/0/24

# □□□□ Gi1/0/24 □□□□□□□
tcpdump -i eth0 -n udp port 2152 -w /tmp/n3_capture.pcap
```

□□□□□VMware□KVM □□□

```
# □□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□□□□□□ VM
# □□□Linux □□□□□ VM □□□ tcpdump
# □□□□□□□□□□ UPF □ N3 □□□□□□□□□□

# □□□□ VM □□
tcpdump -i eth1 -n udp port 2152 -w /tmp/n3_virtual.pcap
```

□□□□□□□□□□□

- XDP □□□□□□□□□
- □□□□ NIC □□□□□□□□□□
- □□□□□ tcpdump □ XDP □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□ UPF □□□□□□□□□□

□□□□ **UPF** □□□□□□□□□

- □ PFCP □□□UDP 8805□ - □□□□□□□ XDP □□
- □ API □□□□□
- □ GTP-U □□□UDP 2152□ - □□□□□□ XDP □□

□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

1. □□□□□□□

```
# □□□□
uname -a
cat /etc/os-release

# OmniUPF □□
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_status
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats

# □□
journalctl -u omniupf --since "1 hour ago" > /tmp/omniupf.log
dmesg > /tmp/dmesg.log

# □□□□
ip addr > /tmp/network.txt
ip route >> /tmp/network.txt
ethtool eth0 >> /tmp/network.txt
```

2. □□□□□□□□□

   - OmniUPF □□
   - Linux □□□□
   - □□□□□
   - □□□□□□□□□□□□□
   - □□□□□□□
   - □□□□

□□□□

- □□□□ - □□□□□□□□
- □□□□ - eBPF/XDP □□□□□□□□□
- □□□□ - □□□□□□□□□□
- □□□□ - □□□□□□□□ Prometheus □□
- **PFCP** □□□□ - PFCP □□□□□□□□□
- □□□□□□□ - PDR□FAR□QER□URR □□
- □□□□ - UPF □□□□□

OmniUPF □□□□ / □□□□□□□□

□□

1. □□
2. □□
3. PFCP □□□
4. □□□□□□□
5. □□
6. □□□□□□
7. □□□□□□□ URL
8. API
9. Prometheus □□
10. □□□□

□□

□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□MikroTik □□□□□mangle □□□ DNAT□□□□□

□□□□□□□□□□SMF □□□□ `redirect_information` □ PFCP □□□□□OmniUPF □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

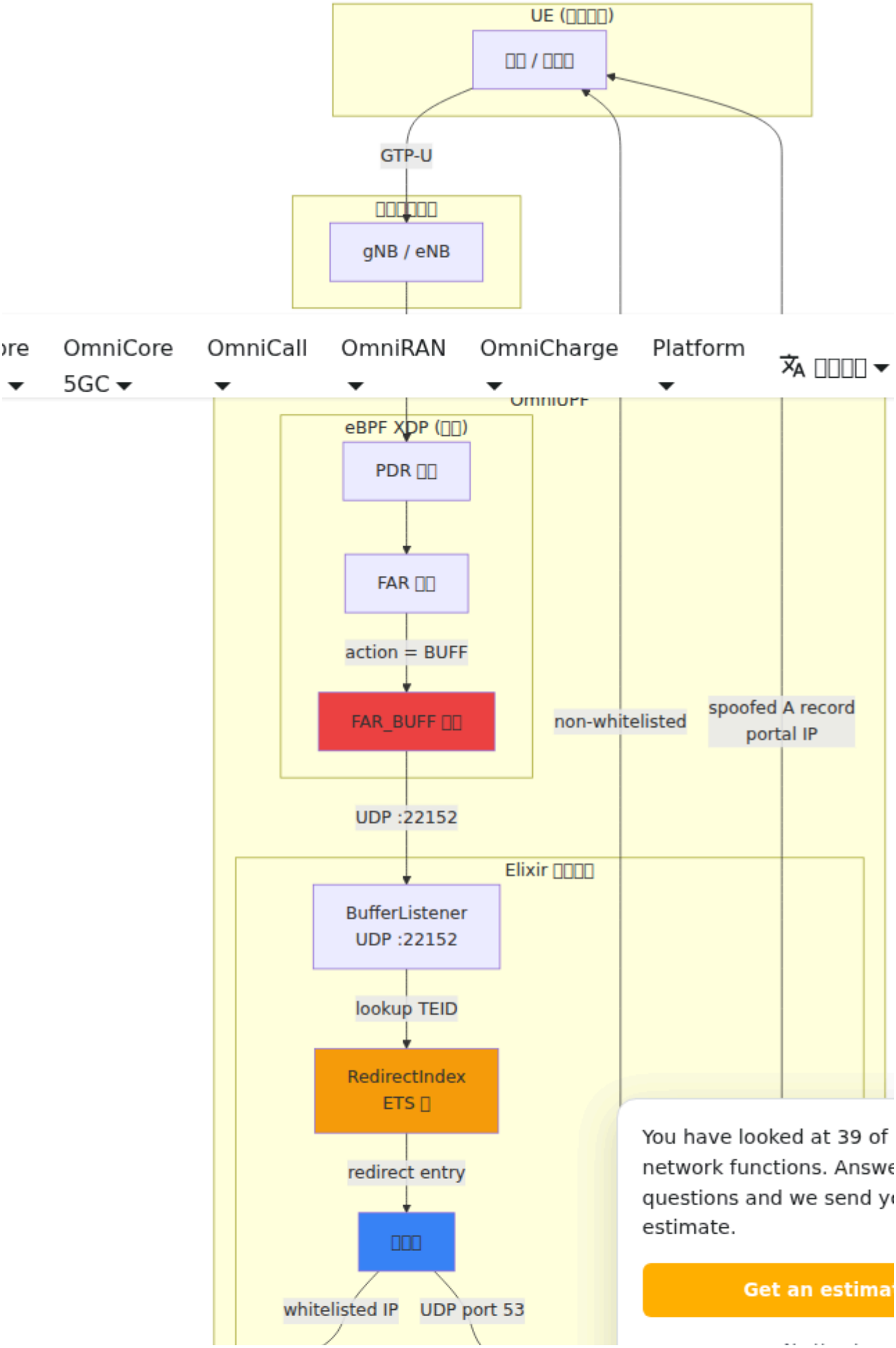
- **DNS** □□ □□□□□□□□□□□□ IP□□□□□□□□□□□Apple□Android□Windows□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□ **IP**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□ □□□□□□

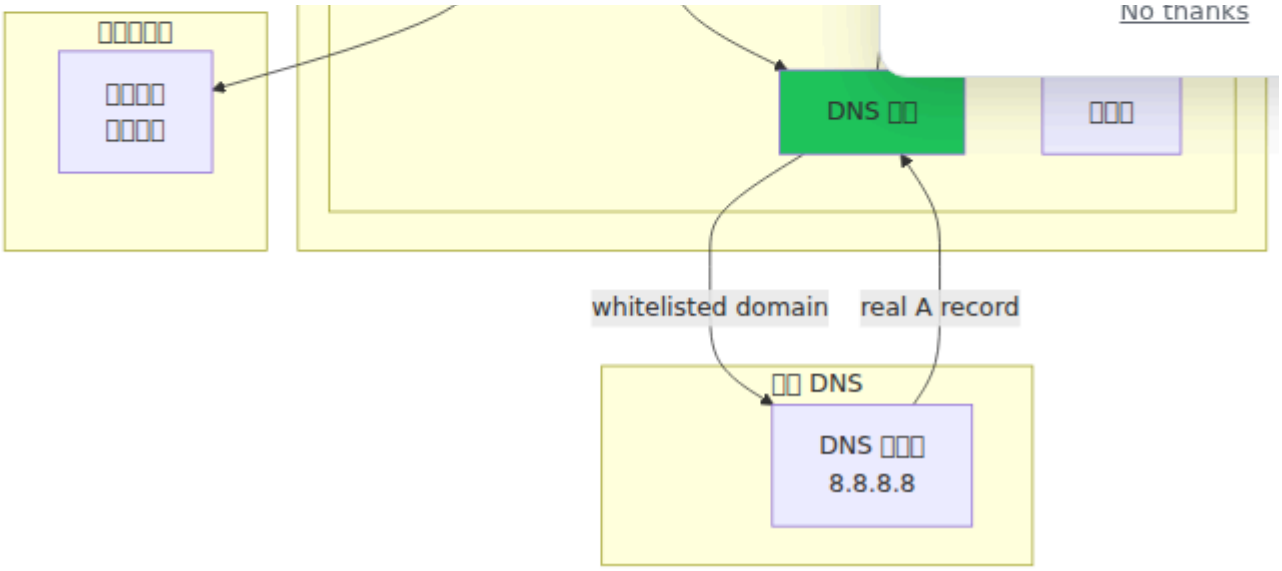
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□/□□□□□□□□□□□□□□□SMF □ FAR □□□ FORW□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□ **eBPF** □□ -- □□□□□□ `FAR_BUFF` □□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□ -- □□□□□□□□□□□□□□ IP □□□□□ URL□□ SMF □ `redirect_information` IE □□
- □□□□□□ **UPF** -- SMF □□“□□□□□□□”□UPF □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□ -- □□ FAR □□ FORW□□□□□□□□□□□□□□ GTP □□□□□□□ UE


UE (□□□□)
□□ / □□□
GTP-U
□□□□□□□
gNB / eNB
ore
OmniCore
5GC
OmniCall
OmniRAN
OmniCharge
Platform
□□□□
OmniUPF
eBPF XDP (□□)
PDR □□
FAR □□
action = BUFF
FAR_BUFF □□
non-whitelisted
spoofed A record
portal IP
UDP :22152
Elixir □□□□
BufferListener
UDP :22152
lookup TEID
RedirectIndex
ETS □
redirect entry
□□□
whitelisted IP
UDP port 53
You have looked at 39 of
network functions. Answe
questions and we send y
estimate.
Get an estima



□□□□

1. **UE** □□ **GTP-U** □□□□□□□□□DNS □□□HTTP □□□□□ UPF
2. **eBPF PDR** □□ □□□□□ PDR□□□ FAR
3. **FAR** □□□ **BUFF**□□□□□□□□□ FORW □□□□-- eBPF □□□□□□□ UDP □□ 22152 □ BufferListener
4. **BufferListener** □□ TEID□□□ RedirectIndex ETS □
5. □□ TEID □ RedirectIndex □□**Dispatcher** □□□□ IP □□□
6. □□□□
   - □□□□□□□□ DNS □□□□□ A □□□□□ IP
   - □□□□□□□ DNS □□□□□□□□□□□□□□□□□ IP
   - □□□□□ IP □□□□ IP□□□□□□□□□
   - □□□□□□□□□□□
7. **DNS/GTP-U** □□ □□□□ GTP-U □□□□□ DL TEID □□□□□□ gNB□□□□ UE

N9 □□□□□SGW + PGW □□□□

□ 4G EPC □□□□OmniUPF □□□□□□ **SGW-U** □ **PGW-U**□SGW-C □ PGW-C □□□□□□□□□ PFCP □□□SGW □□□□□ N9 FAR□□□□□□□ PGW □□□□□ TEID□□□ N3 □□□□□□□□PGW □□□□□□□□□□□□□□□□□

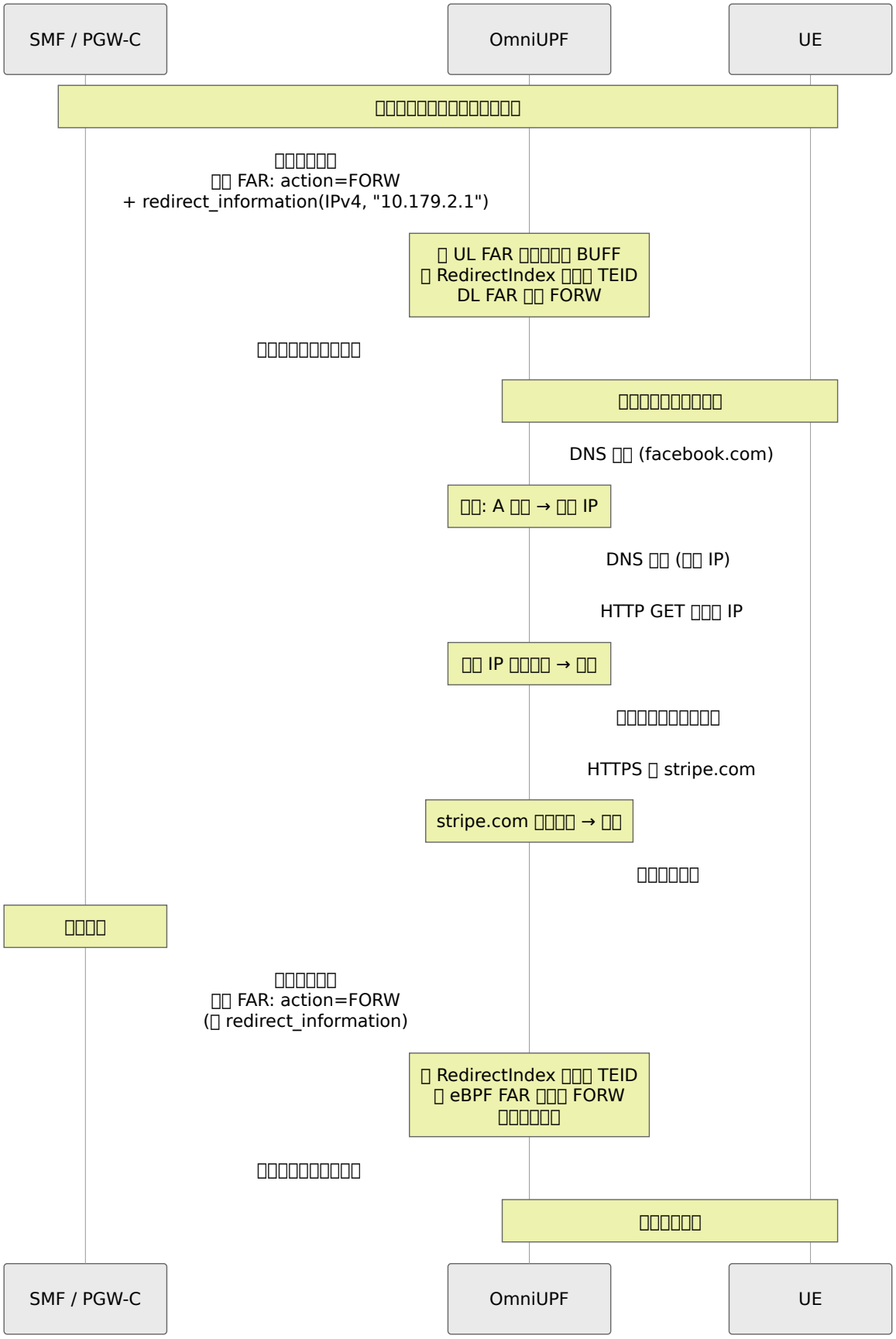
□□ `POST /v1/walled_garden` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

1. **PGW** □□ **TEID** □□□ SEID □□□ PDR □□□□

2. □□□□□□ PFCP □□□□□□□□□□□SGW □□□□□□□□□□□ FAR□□ `teid` □ PGW UL PDR TEID □□□□□□□□□□ `outer_header_creation`□□ FAR □□□ PGW □ N9 □□ FAR□
3. □□ PGW UL FAR □ SGW □□ gNB □ UL FAR □ eBPF □□□□□□□ `BUFF`□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□ eNB □□□□□ SGW □ TEID□□□□ PGW □ TEID□
4. □□ **SGW** □□ **gNB** □ **UL PDR** □□□□ RedirectIndex□□□□ PGW UL PDR□□SGW UL PDR TEID □ eBPF □□□ eNB □□□□□□□□□□□□□□
5. □□ **DL** □□□□□□□□□□ UE□□□□□□□□ **SGW** □□□ **DL FAR**□□□ eNB □ FAR□`remoteip != n3_address`□□DL TEID □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□ eNB TEID □□□□

□□□ **UPF** □□□□□□□ SGW□SMF □□□ UPF □□□□□□□□□□□□ UL FAR □ TEID □□ - SGW □□□□ □□□□□□□□□□□□□ UL PDR □□□□□

PFCP □□□


SMF / PGW-C
OmniUPF
UE
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□□
□□ FAR: action=FORW
+ redirect_information(IPv4, "10.179.2.1")
□ UL FAR □□□□□□ BUFF
□ RedirectIndex □□□ TEID
DL FAR □□ FORW
□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□□□□□□□□
DNS □□ (facebook.com)
□□: A □□ → □□ IP
DNS □□ (□□ IP)
HTTP GET □□□ IP
□□ IP □□□□□ → □□
□□□□□□□□□□□□□□
HTTPS □ stripe.com
stripe.com □□□□□ → □□
□□□□□□□□
□□□□□
□□□□□□□□
□□ FAR: action=FORW
(□ redirect_information)
□ RedirectIndex □□□ TEID
□ eBPF FAR □□□ FORW
□□□□□□□□
□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□□□
SMF / PGW-C
OmniUPF
UE

⬚⬚ PFCP IEs

SMF ⬚⬚⬚ FAR ⬚ `forwarding_parameters` ⬚⬚⬚ `redirect_information` ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚

IE	⬚⬚
`apply_action`	⬚ SMF ⬚⬚⬚ FORW⬚UPF ⬚⬚⬚⬚⬚⬚ BUFF⬚
`redirect_information`	⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚
`forwarding_parameters`	⬚⬚ `redirect_information` ⬚ `outer_header_creation`

⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚ 3GPP TS 29.244 ⬚ 8.2.20-1⬚⬚

⬚⬚	⬚	**UPF** ⬚⬚
IPv4	0	⬚⬚⬚⬚⬚ IPv4 ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚ IP
IPv6	1	⬚⬚⬚⬚⬚ IPv6 ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚ IP
URL	2	⬚ URL ⬚⬚⬚⬚⬚⬚ IP⬚⬚⬚⬚ IP ⬚⬚⬚⬚ IP⬚UPF ⬚⬚⬚ URL ⬚⬚ -- ⬚⬚⬚⬚⬚ API ⬚ ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚ Web ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚
SIP URI	3	⬚⬚⬚⬚⬚

⬚⬚⬚⬚⬚⬚

⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚ DNS ⬚⬚⬚⬚ ⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚⬚

□□□□□

□□	□□□	□□□□
Apple (iOS/macOS)	`captive.apple.com`	HTTP 200□□□□ `<HTML><HEAD> <TITLE>□□</TITLE> </HEAD><BODY>□□ </BODY></HTML>`
Android	`connectivitycheck.gstatic.com`	HTTP 204
Windows	`www.msftconnecttest.com`	HTTP 200□□□□ `Microsoft Connect Test`
Samsung	`connectivitycheck.samsung.com`	HTTP 200

□□□□□□□□□□ IP □□□□□□□□□□□

3. UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ **`Host`** □□□□□ □□□□□□□□□□

□□□□ IP □ □□□□□□□□□□ -- □□□□□□□□□□ `Host:` □□□□□□□□□ IP □□□□□□□□□□ -- □□□□□□□□□□□□ □ `Host` □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□CRM□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□

- □□□□□□□□ □□□□ **IP** □□□□□ IP □□□□□□□□□□ `Host`□□□
- □□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□ `Host:` □□□□□□□□□□□□

□□□ □ `walled_garden_portal_ip`□□□□□ URL □□□ `redirect_information` □□□□□□□□ □□□□□ □□ HTTP □□ *//* □□□□□□ IP□UPF □□□□□□□□□□□□ `Host` □□□□□□□□□ `Host` □□□

□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□`.deb` □□□□□□□□□□□ `/etc/omniupf/runtime.exs`□□□□□□ □□ (`rel/env.sh`) □□□□□□□□□□□□□□□□ `RELEASE_CONFIG_DIR=/etc/omniupf`□□□ Erlang □□□□□□□□□□□□ `config/runtime.exs`□□□□□□□□□□□ UPF□

```
#
================================================================================
# □□□□□ / □□□□□□□□□
#
================================================================================

# □□□□□□□□□□□□□□□□□
walled_garden_enabled = true

# □□□□□□ IP□□□□□□ / □□□□□□
walled_garden_portal_ip = "10.179.2.1"

# □□□□ IPv6 □□□□□□□□□□IPv6 □□□□□□□
walled_garden_portal_ip6 = "fd00:179:2::1"

# □□□□□□□□□□□□□ DNS □□□
walled_garden_dns_resolver = "8.8.8.8"

# □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
# □□□□□□□"*.stripe.com" □□ "api.stripe.com"
walled_garden_whitelist = [
  "stripe.com",
  "*.stripe.com",
  "js.stripe.com",
  "hcaptcha.com",
  "*.hcaptcha.com",
  "newassets.hcaptcha.com",
]
```

□□

□□	□□	□□	□□	□□
`walled_garden_enabled`	□□	□	`false`	□□□□□□□□□□□□□□ FAR □□ `redirect_info` □□
`walled_garden_portal_ip`	□□□ □IPv4□	□ □□ □□ □□	`10.179.2.1`	□□□□ / □□□□□□ □ `redirect_in` URL □□□□□□□□□ SIP URI □□□□□□ IPv4/IPv6 □□□IE □□ URL □□□□□□ □□
`walled_garden_portal_ip6`	□□□ □IPv6□	□	`nil`	□□□ IPv6 □□□□□ □□□□□□□□□□ `walled_garder` □□ IPv4 □□□□□□ □□□□□□□
`walled_garden_dns_resolver`	□□□ □IPv4□	□	`8.8.8.8`	□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□ □□□□□□
`walled_garden_whitelist`	□□□□	□	`[]`	□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IP□□□□ UPF □□□□□□□ SMF -- SMF □□□□□□□

□□□□

□□	□□	□□□
`stripe.com`	`stripe.com`□`api.stripe.com`□ `js.stripe.com`	`evilstripe.com`□ `notstripe.com`
`*.stripe.com`	`api.stripe.com`□ `js.stripe.com`□ `dashboard.stripe.com`	`stripe.com`□□□□□ `evilstripe.com`
`hcaptcha.com`	`hcaptcha.com`□ `newassets.hcaptcha.com`	`evihcaptcha.com`

□□□□ □□□□□□`stripe.com` □□□□□□□□□□□□`foo.stripe.com`□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □`evilstripe.com`□□□□□□□□□□□□□

IP □□

□ DNS □□□□□□□□□□□□□□□□□□ IP □□□ □□□□ □□□□□□□□□□□□

1. □□□□ `api.stripe.com`
2. DNS □□□□□□□□□□□□□□ `203.0.113.7`
3. `203.0.113.7` □□□□□□□□ IP □□□
4. □□□ HTTP/HTTPS □□□ `203.0.113.7` □□□□□□□□□□□

□□ IP □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□ Stripe □□□□□ hCaptcha□

```
walled_garden_whitelist = [
  # □□□□□□
  "stripe.com",
  "*.stripe.com",

  # □□□□□□
  "hcaptcha.com",
  "*.hcaptcha.com",

  # Google □□□□□□□□□□□□□□
  "fonts.googleapis.com",
  "fonts.gstatic.com",

  # □□□□□□ CDN□□□□□□□□□□
  "cdn.example.com",
]
```

□□□□□□ URLs

□□ PFCP □□□□□□□□ □□□□□□□□□□SMF □□ FAR □□ `redirect_information` IE □□□□□□□

- **IPv4** □□□□□□□ IP □□□□□□□□□□□□□□□□ IP
- **IPv6** □□□□□□□ IPv6 □□□□□□□□□□□□□□□□ IP
- **URL** □□□□□□□□ FAR □□□□□□□□□ DNS □□□□□□□ IP □□□□ IP□UPF □□□ URL □□ -- □□□□ □□ API □□□□

□□□□□□□□□□□MVNO □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□	SMF redirect_information	□□□□□ IP	□□
□□A	`IPv4: 10.179.2.1`	`10.179.2.1`	`10.179.2.1`
□□B	`IPv6: 2001:db8::1`	`2001:db8::1`	`2001:db8::1`
□□C	`URL: https://topup.mvno.com/recharge`	□□□ `topup.mvno.com` □ IP	`https://topup`

UPF ���□□□□□□□ IP □□□□ URL□□□□□□□□□ API □□□

API

□□□□□□□□□□□□□□ `/v1/walled_garden`□□□ `/api` □□□□□□□□□□□□ `api_port`□□□□ 8080□□□ Phoenix HTTP □□□□□□

GET /v1/walled_garden

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ IP□□□□ CIDR □□□□□□□□□□

□□□

```
{
  "redirect_count": 2,
  "redirects": [
    {
      "teid": "0x4000",
      "session_seid": 1,
      "portal_ip": "10.179.2.1",
      "redirect_url": null,
      "ue_ip": "10.60.0.1",
      "gnb_ip": "10.179.1.21",
      "dl_teid": "0x5000",
      "far_global_id": 42
    },
    {
      "teid": "0x4001",
      "session_seid": 2,
      "portal_ip": "10.179.2.2",
      "redirect_url": "https://topup.mvno.com",
      "ue_ip": "10.60.0.2",
      "gnb_ip": "10.179.1.21",
      "dl_teid": "0x5001",
      "far_global_id": 43
    }
  ],
  "whitelisted_ips": [
    {"ip": "10.179.2.1", "type": "portal"},
    {"ip": "203.0.113.7", "type": "resolved"},
    {"ip": "203.0.113.6", "type": "resolved"}
  ],
  "whitelisted_cidrs": ["192.168.0.0/24"]
}
```


□□□□□

□□	□□
`redirect_count`	□□□□□□□□□□□□□□□
`redirects[].teid`	□□□□□□□ TEID□□□□□□□
`redirects[].session_seid`	PFCP □□ SEID
`redirects[].portal_ip`	□□□□□□□□□ IP
`redirects[].redirect_url`	SMF □□□□ URL□□□□ URL □□□□□ null
`redirects[].ue_ip`	UE IP □□
`redirects[].gnb_ip`	GTP-U □□□ gNB IP
`redirects[].dl_teid`	GTP-U □□□□□ TEID
`redirects[].far_global_id`	□□ FAR □□ ID
`whitelisted_ips`	□□□□□□□□□□ IP□□□ + □□□ DNS □□□
`whitelisted_cidrs`	□□□□□ API □□□ CIDR □□

POST /v1/walled_garden

□□ SEID □□□ PFCP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□/API □□□□□ - □□□□□□□□ PFCP □□□□□FAR □□□ `redirect_information`□API □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ SMF □□□□□□□□□□

□□□□

```
{
  "seid": 1,
  "url": "http://10.179.2.1/"
}
```

□□	□□	□□	□□
`seid`	□□	□	□□□□□ PFCP □□□□□ SEID
`url`	□□□	□	□□□□□ - □□ IPv4/IPv6 □□□ URL□□□ URL□□□□□□□□□□□□□ IP □□□□ IP□□□□ URL □□□□□□□ API □□□□

□□□**200 OK**□□

```
{
  "status": "redirect activated",
  "info": {
    "seid": 1,
    "sgw_seid": 7,
    "portal_ip": "10.179.2.1",
    "ue_ip": "10.60.0.1",
    "gnb_ip": "10.179.1.21",
    "ul_teids": ["0x4000", "0x4006"]
  }
}
```

`sgw_seid` □□□□□□ N9 □□□SGW+PGW □□□□□□□□□ TEID □□ BUFF □□□□□`ul_teids` □□□□□□□□□□□□□□□□ TEID□

□□□□□

□□	□□
404	□□□□□□SEID □□□□□□□ PFCP □□□
400	□□□□□□

DELETE /v1/walled_garden/:seid

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ FAR□□□ N9 □□□□□□□□□ SGW □□ FAR□□ eBPF □□□□ □□□□□□ `action=FORW`□□□ TEID □□□□□□□□□□□□

□□□□□□ `:seid` - □□□□□□□□□□ SEID□

□□□**200 OK**□□

```
{"status": "redirect removed", "info": {"seid": 1}}
```

□□□□□□

□□	□□
404	□□□□□□

GET /v1/walled_garden/whitelist

□□□□□□□□□□□□□□□ IP□□□□ IP □ DNS □□□□ IP□□□□□□ API □□□□□□ CIDR □□□□

□□□□

```
{
  "ips": [
    {"ip": "10.179.2.1", "type": "portal"},
    {"ip": "203.0.113.7", "type": "resolved"}
  ],
  "cidrs": ["192.168.100.0/24"]
}
```

POST /v1/walled_garden/whitelist

□□□□□□ IP □□□□ CIDR □□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ - □□□□□□□□□□ `runtime.exs` □□ `walled_garden_whitelist`□

□□□□□□ **IP□□**

```
{"ip": "203.0.113.10"}
```

□□□□□□ **CIDR □□□□**

```
{"cidr": "192.168.100.0/24"}
```

□□□□ `ip` □ `cidr` □□□□□□□ CIDR □□□□□□□□□□□□□ IP □□□□□□□□□□□□□□□□ IP □ DNS □□□□

□□□**200 OK - IP □□□□**

```
{"status": "added", "ip": "203.0.113.10"}
```

□□□**200 OK - CIDR □□□□**

```
{"status": "added", "cidr": "192.168.100.0/24"}
```

□□□□□

□□	□□
400	□□□ IP□□□□ CIDR □□□□□□□□

Prometheus □□

□□□

□□: `upf_walled_garden_active_redirects` □□: □□□ □□: □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

```
# □□□□□□□□
upf_walled_garden_active_redirects
```

□□□

□□: `upf_walled_garden_packets_intercepted_total` □□: □□□ □□: □□□□□□□□

□□□□

```
# □□□□□□□□□□
upf_walled_garden_active_redirects

# □□□□□□□□/□□
rate(upf_walled_garden_packets_intercepted_total[5m])

# □□□□□□□□□□□□□
rate(upf_walled_garden_packets_dropped_total[5m])

# □□□□□□□□□□□/□□
sum by (dst_ip)
(rate(upf_walled_garden_bytes_forwarded_total[5m]))

# □□□□□□□□□ 5 □□□□□□
topk(5, sum by (dst_ip)
(rate(upf_walled_garden_bytes_forwarded_total[5m])))

# □□□□□□□□□
topk(10, sum by (domain)
(rate(upf_walled_garden_dns_spoofed_total[5m])))

# □□□□□□□□
sum by (domain) (rate(upf_walled_garden_dns_forwarded_total[5m]))

# □□□□□□□□□
sum(rate(upf_walled_garden_packets_dropped_total[5m]))
  / sum(rate(upf_walled_garden_packets_intercepted_total[5m]))
```

□□□□

□□□□□□□□□□

□□: □□□□□□□□□ API □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

- □□□□□□□□□□□□□□ IP □□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□ URL
- DNS ���□□□□ UE□□□ GTP-U □□□

□□□□:

1. □□□□□□□□□□□□□□`curl http://<portal_ip>/`
2. □□□□□□□□ URL□□□□Apple □ `GET /hotspot-detect.html`□
3. □□ `GET /v1/walled_garden` □□□□□□□□□
4. □□ Prometheus □□□`upf_walled_garden_dns_spoofed_total` □□□□□
5. □□□□ GTP-U □□□□□□□□□DL FAR □□□ FORW□

□□□□□□□

□□: □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□Stripe □□□

□□□□:

- □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□ CDN IP □□□□
- □□□□□□□□□□□□□

□□□□:

1. □□ `GET /v1/walled_garden` - □□ `whitelisted_ips` □□□□□□□ IP
2. □□ Prometheus: `upf_walled_garden_dns_forwarded_total{domain="stripe.com"}` □□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□□□`js.stripe.com`□`m.stripe.network`□
4. □□ `upf_walled_garden_bytes_forwarded_total` □ `dst_ip` □□□□□□

□□□□□□

□□: SMF □□□□ `redirect_information` □□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

- `walled_garden_enabled` □ `false`

- `redirect_information` IE □□□□ FAR □□□□□ □□ FAR □□
- FAR □□□□□□□ BUFF

□□□□:

1. □□□□□`walled_garden_enabled = true`
2. □□ `GET /v1/pfcp_sessions` - □□□□□ FAR □□□□□ FAR □□□□□ `0x04`□BUFF□
3. □□ `GET /v1/walled_garden` - □□□ TEID □□□□□□□□□□
4. □□ UPF □□□□□□□□□□□□ `redirect_info` □□

□□□□□□□□□

□□: □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□:

- SMF □□□□□□□□□□□□□□□
- BUFF->FORW □□□□□□□

□□□□:

1. □□ `GET /v1/walled_garden` - □□□□□□□□□
2. □□ `GET /v1/pfcp_sessions` - □□ FAR □□□□□□ `0x02`□FORW□
3. □□ SMF □□□□□□□□□□□□□
4. □□ UPF □□□□□“□□□□□□□□□□□□”□□

□□□□ TEID□□□□□□□□

□□: DNS □□□□□□□□□□□ UE□GTP-U □□□□□□□□ gNB IP□□ eNB □□□□□□ TEID□

□□: □ 4G/SGW+PGW □□□□SGW DL FAR □□ eNB TEID □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ TEID □□□□`□□□□□□□` □□□□□□□□□□□□ eNB □□□ TEID □□□□□□□□□□□□□□□□SGW □□□□ DL FAR □□□□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ TEID□

□□□□: □□□□□□□ □□ □□ DL TEID□□□□□ SGW □□□□□ DL FAR□□□□ `outer_header_creation` □ `remoteip != n3_address` □ FAR□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□ TEID □□□□□ DNS □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ TEID□

1. □□ `GET /v1/walled_garden` - □□□□□□□□ `dl_teid` □□□□□□□□□□
2. □□ `GET /v1/pfcp_sessions` - □□ SGW □□□ FAR □□□□□ gNB □ FAR □□□□□□ `teid` □ `remoteip`□
3. □□ SGW □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ RedirectIndex □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□ `DELETE /v1/walled_garden/:seid` □□□□□□□□□ SMF □□□□□

□□□□ 304 □□□

□□: □□

□□: □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ HTTP 304□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ Web □□ □□□□□□□□□□□□□□`/hotspot-detect.html`□`/generate_204` □□□□□□□□□□ `If-Modified-Since` □ `If-None-Match` □□□□□ 304□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 304□

□□□□:

1. UPF □□□□□□□□□□□□□□□ HTTP □□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□□ Web □□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□200□□□□ 304□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□□□□□ `Cache-Control: no-store`□□□□ `ETag`/`Last-Modified` □□ □□□□□□□□□□□□□
4. □□□`curl -v -H "If-None-Match: foo" http://<portal_ip>/hotspot-detect.html` - □□□□ 200□□□□ 304□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□: □□□□□□□□□ `GET /v1/walled_garden` □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ -- □□□□ □□□□CRM □□□□□□□□ -- □□□□□□/□□□□□`curl` □□□□□□□□□□□ `Host:` □□□□□

```
curl -s -H 'Host: portal.example'
http://<portal_ip>/   # -> □□/□□□□   □□□□
curl -s -H 'Host: connectivitycheck.gstatic.com'
http://<portal_ip>/   # -> □□□□□□□□□□□□□
curl -s -H 'Host: <portal_ip>'
http://<portal_ip>/   # -> □□□□□□□□□□□
```

□□: □□ IP □ □□□□

□□	□□□□	□□
□□□□□□□	`EPERM` - □□□□□□□□ root □ `CAP_NET_RAW`	□□ OmniUPF □ root □□□□□□□□ `CAP_NET_RAW` □□
□□□□□□□□□□□□□□□ □ UE	N6 □□□□□□□□	□ UPF □□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□□ `Walled garden: raw socket open failed`	□□□□□□□□□□	□□ `systemd` □□ `AmbientCapabilities=CAP_NET_RAW`
□□□□□□□ UE □□□□ □□ IP □□□	N6 □□ NAT □□□	□□□□□□ UE IP □□□□□□ UPF □□□□

□□ UPF □□□□□□ `Walled garden forward failed` □ `raw socket open failed` □□□□ □□ `upf_walled_garden_packets_forwarded_total` □ `upf_walled_garden_bytes_forwarded_total` Prometheus □□□□□□□□□□□□□□□

Prometheus □□□□□□

□□: □□□□□□□□□ `dst_ip` □ `domain` □□□□□□□□□□□□□□□

Web UI □□□□

□□

1. □□
2. □□□□□□
3. □□□□
4. □□□□
5. □□□□□
6. □□□□□
7. □□□□
8. □□□□
9. □□□□
10. XDP □□□□
11. □□□□□

□□

OmniUPF Web UI □□□□□□

- □□ PFCP □□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□ eBPF □□□□□□□□□

□□□□□

□□□

□□□□□□□□ HTTPS □ OmniUPF □□□□□□□□□

```
https://<upf-server>:443/
```

□□□□□443□□□□□□□□ HTTPS□

□□

□□□□□□□ `config/config.exs` □□□ OmniUPF □□□

□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□

`upf_hosts` □□□□□□ UI □□□□□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□

□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□ - `/sessions` - PFCP □□□□□
- □□ - `/rules` - PDR□FAR□QER□URR □□□□
- □□□ - `/buffers` - □□□□□□□□□□
- □□ - `/statistics` - □□□□□□□XDP □□□□□
- □□ - `/capacity` - eBPF □□□□□□□□□
- □□ - `/upf_config` - UPF □□□□□□□□□

- □□ - `/routes` - UE □□□□□□□□□□□□OSPF□BGP□
- **XDP** □□ - `/xdp_capabilities` - XDP □□□□□□□□□□
- □□ - `/logs` - □□□□□

□□□□

URL□`/sessions`

□□

□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□□□□□□ PFCP □□□□□□

PFCP □□□□

□□□□□□ PFCP □□□□□ SMF/PGW-C □□□□□□□

□	□□
□□ **ID**	SMF □ PGW-C □□□□□□FQDN □ IP□
□□	SMF/PGW-C □□ PFCP □□□ IP □□
□□□□□ **ID**	□□□□□□□□□□ PFCP □□ ID

□□□

- □□ SMF □ UPF □□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□ ID □□

□□□□□

□□□□ PFCP □□□□□□□□ UE PDU □□□

□	□□
□□ **SEID**	UPF □□□□□□□□□□□
□□ **SEID**	SMF □□□□□□□□□□□
UE IP	□□□□□ IPv4 □ IPv6 □□
TEID	□□□□□ GTP-U □□□□□□□
PDRs	□□□□□□□□□□□□□
FARs	□□□□□□□□□□□□
QERs	□□□□ QoS □□□□□□
URRs	□□□□□□□□□□□□
□□	□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- □ **IP** □□□□□□□ UE IP □□□□□
- □ **TEID** □□□□□□□□ ID □□□□
- □□□□□□□□□□ PDR/FAR/QER/URR JSON □□□□
- □□□□□□ 10 □□□□□

□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□“□□”□□□□□□□

- □□□□□□□ **(PDRs)**□□□ TEID□UE IP□FAR ID□QER ID□SDF □□□□□□ JSON
  - **PDR ID** □□□ - □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ PDR □□□□
  - □□ PDR□TEID ≠ 0□□□□□□ PDR □□
  - □□ PDR□IPv4□□□□□□ PDR □□
  - □□ PDR□IPv6□□□□ IPv6 □□ PDR □□
- □□□□□□ **(FARs)**□□□□□□□□□□□□□□□□

- **QoS □□□□ (QERs)**□MBR□GBR□QFI □□□ QoS □□
- □□□□□□□ **(URRs)**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□ PDRs□FARs □ QERs□

□□

□□ **UE** □□□□

1. □□□□□□□□
2. □□□□□□□□ UE IP □□
3. □□□□□□□□ TEID □□
4. □□□□□□ PDR/FAR □□

□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□
- □□□ UPF □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□

- □□□□□ UE IP □ TEID
- □□□□□□□□□□□□
- □□ FAR □□□□
- □□ QER QoS □□

□□□□

□□□□□ 10 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□□□

- □□□□□□□□UPF □□□□□□□
- □□□□□□□□□UPF □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

URL□`/rules`

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□QoS □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

PDR □□□ - □□□□□□□

□□□□□ UPF □□□□ PDR□□□ □□□□ □ □□□□□□□

□□ **PDRs** (N3 → N6):

- □□□□□□□ TEID □□□□□□□□□□ PDR □□□□
- **TEID**□□□ gNB □ GTP-U □□□□ ID□□□□ - □□□□□□□
- **FAR ID**□□□□□□□□□□□□□□□ - □□□ FAR □□□□
- **QER ID**□□□□ QoS □□□□□□□□ - □□□ QER □□□□
- **URR IDs**□□□□□□□□□□□□□□□ - □□□ URR □□□□
- □□□□□□□GTP-U □□□□□
- **SDF** □□□□□□□□□□□□□□

□□ **PDRs** (N6 → N3):

- □□□□□□□ UE IPv4 □□□□□□□□□□□□ PDR □□□□
- **UE IP**□□□□□□□ IPv4 □□□□□□□□□□□□□
- **FAR ID**□□□□□□□□□□□□□□□□ - □□□ FAR □□□□
- **QER ID**□□□□ QoS □□□□□□□□ - □□□ QER □□□□
- **URR IDs**□□□□□□□□□□□□□□□ - □□□ URR □□□□
- **SDF** □□□□□□□□□□□□□□□□□ sdf□sdf + □□□
- □□□□□□□□□□□ PDR□□□□□ 100□□□ 1000□

IPv6 □□ PDRs□

- API □□ IPv6 □□ PDR □□□
- □□□ IPv4 □□□□□ IPv6 □□□□
- □□□□□□□□□□□□ UI □□□

FAR □□□ - □□□□□□

□□□□ FAR □□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□ FAR ID □□□□□□□ FAR □□□□
- □□□□□□ PDR □□□□□□□ FAR ID □□□□□□□
- □□□□□FAR □□□□□□□□□□

□	□□
FAR ID	□□□□□□□□□□
□□	□□□□□□□□FORWARD□DROP□BUFFER□DUPLICATE□NOTIFY□
□□	□□□□□□□□□/□□□
□□	□□□□□□□□TEID□IP □□□

FAR □□□□□

- **FORWARD (1)**□□□□□□□□□□

- **DROP (2)**□□□□□□□
- **BUFFER (4)**□□□□□□□□□□□□□
- **NOTIFY (8)**□□□□□□□□□□□
- **DUPLICATE (16)**□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□“□□□□□□□□□”□□“□□□□□”□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □ eBPF □□□□□□□□ FAR □□

QER □□□ - QoS □□□□

□□□□□□□□□□ QoS □□□

□□□

- □□□□□□□□ PDR □□□□□□□□ QER ID □□□□□□□□□□ QER
- □□□□□□□□ PDR □□□□QER □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□ QER□□□□□□ 100□□□ 1000□

□	□□
QER ID	□□□ QoS □□□□□□□□ PDR □□□□□□□□
MBR□□□□	□□□□□□□□□□□□□□kbps□
MBR□□□□	□□□□□□□□□□□□□□kbps□
GBR□□□□	□□□□□□□□□□□□□□kbps□
GBR□□□□	□□□□□□□□□□□□□□kbps□
QFI	QoS □□□□□5G □□□

QoS □□□

- **MBR = 0**□□□□□□□□
- **GBR = 0**□□□□□□□□□□□□□□□□
- **GBR > 0**□□□□□□□□□□□□□□□□

URR □□□ - □□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

- □□□□□□□ URR ID □□□□□□□□□□□□□□ URR
- □□□□□□□□ PDR □□□□□□□□ URR ID □□□□□□□□□□ URR
- □□□□□□□□ PDR □□□□□□□□□□URR □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□ URR□□□□□□ 100□□□ 1000□

□	□□
URR ID	□□□□□□□□□□□□□□□□□ PDR □□□□□□□□
□□□□	□ UE □□□□□□□□□□□□□
□□□□	□□□□□□□□□ UE □□□□
□□□	□□□□□□□□
□□	□□□□□□□□□ URR □□□□

□□□□□

- □□□□□□□B□KB□MB□GB□TB□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□

□□□

- □□□□□□□□□ URR
- □□□□□□□□□□ 0 □□□□ URR□□□□□□□

□□

□□□□□□□□

1. □□□□□□ → PDR □□□
2. □□□□ TEID □ UE IP
3. □□ PDR □□□□ FAR □ QER □□

□□□□□□□□□□

1. □□□□□□ → FAR □□□
2. □□□ PDR □□□ FAR ID
3. □□□□□□ FORWARD□□□□ DROP □ BUFFER□
4. □□□□□□□□□□

□□ **QoS** □□□

1. □□□□□□ → QER □□□
2. □□ MBR □ GBR □□□□□□
3. □□ 5G □□ QFI □□

□□□□□□□□

1. □□□□□□ → URR □□□
2. □□□□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□
4. □□□□□□□

□□□□□

URL□`/buffers`

□□

□□□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□ FAR □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□
- □ **FARs**□□□□□□□□□□ FAR □□
- □□ **FAR** □□□□□□□□□ FAR □□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□ **TTL**□□□□□□□□□□□□□□□□

□ **FAR** □□□□

□□□□□□□□□□ FAR □□□

□	□□
FAR ID	□□□□□□□□□□
□□□□□	□ FAR □□□□□□□□□
□□□□	□ FAR □□□□□□□□
□□□□□	□□□□□□□□□□□□
□□□□□	□□□□□□□□□□□□
□□	□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□ FAR□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□ FAR □□□□□□ FAR □□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□ FAR □□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□□ FAR □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

- □□□□□□“□□□□”□□
- □□□□ FAR □□□□
- □□□□

□□

□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□□□□
2. □□ FAR □□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□

□□□□

1. □□□□□□□□□“□□”□□□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□□
3. □□“□□□□”□□□□

□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□ FAR□□□□□□□□
2. □□“□□”□□□□□□□□
3. □□□“□□□□”□□□□□□□

□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□□□□
2. □□□□□□□□□ FAR
3. □□ SMF □□□□□□□□□□□□□□
4. □□ SMF □□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□ 5 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

URL□`/statistics`

□□

□□□□□□□□□ OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□□□ Prometheus □□□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **GTP-U** □□□□□□□ GTP-U □□□□□□□□□

□□□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□

XDP □□

eXpress Data Path □□□□□

- **XDP** □□□□ XDP □□□□□□□□□

- **XDP** □□□□□□□□□□□□□□□□
- **XDP** □□□□ XDP □□□□□□□□
- **XDP** □□□XDP □□□□□□□□□

□□□□□ XDP □□□□□□□□□□

XDP □□□□□

- □□□□□□□□□
- eBPF □□□□□□
- □□□□□□□□
- □□□□

N3/N6 □□□□

□□□□□□□□□□□□□

N3 □□□RAN □□□□

- □□ **N3**□□ gNB/eNodeB □□□□□□□□
- □□ **N3**□□□□ gNB/eNodeB □□□□

N6 □□□□□□□□□□□□

- □□ **N6**□□□□□□□□□□□/IMS□□□□□□□□
- □□ **N6**□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□

□□□□□□□

1. □□□□□□□/□□□□
2. □□□□□□□□□□□□□
3. □□ N3 □ N6 □□□□□□□□□

□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□
2. □□ XDP □□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

1. □□ XDP □□□□□□□□
2. □□ XDP □□□□□□□□
3. □□ N3/N6 □□□□□□

□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□
2. □ UPF □□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□

□□□

□□□□□ 5 □□□□□□

□□□

URL□`/capacity`

□□

□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□

eBPF □□□□□

□□ eBPF □□□□□□□□□□□

□	□□
□□□□	eBPF □□□□□□□□□`uplink_pdr_map`□`far_map`□
□□□	□□□□□□□□□□□
□□	□□□□□□□□□□□□□
□□□□	□□□□□□□□□□□□
□□□	□□□□□□□□□□□□□□
□□□	□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□**<50%**□□□□□□□□□□□
- □□□**50-70%**□□□□□□□□□
- □□□□**70-90%**□□□□□□□□□□
- □□□**>90%**□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□

uplink_pdr_map□

- □□□ TEID □□□□□ PDR
- □□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□

downlink_pdr_map / downlink_pdr_map_ip6□

- □□□ UE IP □□□□□□□ PDR
- □□ UE IPv4/IPv6 □□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□

far_map：

- □□□ FAR ID □□□□□□□□□□
- □□□ PDR □□□□
- □□□□□□□□□□□□

qer_map：

- □□□ QER ID □□□ QoS □□□□
- □□□□□□□□ QoS□□□□□□□□□□

urr_map：

- □□□ URR ID □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□

□□□□□

1. □□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□ PDR □□□□□□
2. □□□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□□□
2. □□ PDR □□□□□□>90%□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

1. □□□□□□□□

2. □□□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

eBPF □□□□□□ UPF □□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□ 10,000 - 100,000 □□
- □□□□□□□□□□ 100,000 - 1,000,000 □□
- □□□□□□□□□□ 1,000,000+ □□

□□□□□□

```
□□□□□ = (□□□□ + □□□□) × □□
```

□□□□□□□□ 100 □□□□□ 64 □□□□□ PDR □□□□□□□ 64 MB □□□□□□□

□□□□

□□□□□□ 10 □□□□□□□

□□□□

URL□`/upf_config`

□□

□□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□□□□

UPF □□

□□□□ UPF □□□

- **PFCP** □□□SMF/PGW-C □□□ IP □□□□□□
- **N3** □□□RAN□gNB/eNodeB□□□□ IP □□
- **N6** □□□□□□□□□□□ IP □□

- **N9** □□□UPF □□□□□ IP □□□□□□
- **API** □□□REST API □□□□
- □□□OmniUPF □□□□

□□□□□**eBPF**□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□ **N3** □□□□□□ N3 □□□□
- □□ **N9** □□□□□□ N9 □□□□□□□□□□

□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□

□□ **UPF** □□□□

1. □□ N3 □□ IP □□□ gNB □□□□
2. □□ N6 □□□□□□□□□□□□□□
3. □□ PFCP □□□□□□ SMF □□

□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□

□□□□□

1. □□ UPF □□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□

□□□

URL□`/routes`

□□

□□□□□□□□□□□□□□UE□IP □□□□□□□□□□□OSPF □ BGP□□□□□□□□

□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□
- □□□□UE IP □□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□

□□ **UE IP** □□

□□□□□□□□□□□□ IP □□□□□□

□	□□
□□	□□□□□□
UE IP □□	□□□ UE □ IPv4 □ IPv6 □□

□□□

- □□□□□□□□□□□□ UE IP □□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□

OSPF □□

OSPF□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□	□□
□□ **ID**	OSPF □□□□□□
□□	OSPF □□□ IP □□
□□	□□ OSPF □□□□□
□□	OSPF □□□□□□□□□□□□□□
□□□	OSPF □□□□
□□□□	□□□□□□□□
□□□□	□□□□□□□□□□

OSPF □□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

BGP □□□

BGP□□□□□□□□□□□□□□□□□

□	□□
□□ **IP**	BGP □□□□ IP □□
ASN	□□□□□□□□□□
□□	BGP □□□□□□□□□□□□□□
□/□	◆◆□□□□□□□□
□□□□□	□□□□□□□□□□□□□□
□□□□□	□□□□□□□□ BGP □□
□□□□□	□□□□□□□□ BGP □□

BGP □□□

- □□□□□□□□□□□ BGP □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□ BGP □□□ ID □ ASN□□ BGP □□□□□

OSPF □□□□

□□□□□□ UE □□□ OSPF □□ LSA□□□□□□□□□□

□	□□
□□□□ **ID**	LSA □□□□□□□□□□□□□□
□□	□□□□□□□□
□□□□□	□□□□□□□□□□□□□ ID
□□□□	OSPF □□□□□□□□E1 □ E2□
□□	□□□ OSPF □□□□
□□	LSA □□□□□□□□□□
□□□	LSA □□□□□□

□□□

- □□ UE □□□□□□□□□□ OSPF
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□ LSA □□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□ FRR□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□ UE □□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□
- □□ OSPF □□□BGP □□□□□□□

□□

□□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□
2. □□ OSPF □□□□□□□□“□□”□
3. □□ BGP □□□□“□□□”
4. □□□□□□□□/□□□□□□

□□ **UE** □□□□□

1. □□□□ UE IP □□□□□□□□ UE
2. □□□ OSPF □□□□□□□□
3. □□ UE □□□□□□□□□□ LSA □
4. □□□□□□□□□□□□ UPF □□

□□□□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□“□□□□”□□
3. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
4. □□□□□□□□ OSPF/BGP □□□□

□□□ **UPF** □□□

1. □□□□□□□□□□□□ UPF □□
2. □□□□□□□□□□□□□
3. □□ OSPF □□□□□□□□
4. □□ BGP □□□□

□□□□□□□

1. □□ UE □□□□□□□□□□□□□□
2. □□□□□□□□□□□□□□
3. □□ OSPF LSA □□□□
4. □□ BGP □□□□□□□□

□□□□

□□□□□ 10 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UE □□□

□□□□

□□□□□□□ UPF □□□□ FRR□□□□□□□□□□□□

- **OSPF**□□□□□□□□□ 2 LSA □□□□
- **BGP**□□□□□□□□□□ BGP □□□
- □□□□□REST API □□□□ vtysh □□□□□ FRR

XDP □□□□

URL□`/xdp_capabilities`

□□

XDP □□□□□□ eXpress Data Path (XDP) □□□□□□□□□□ UPF □□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□

□□	□□
□□□□	□□ XDP □□□□□□□□□□eth0□ens1f0□
□□□□	□□□□□□□□□□□□□i40e□ixgbe□virtio_net□
□□□□□□	□□□□□□□□□
□□□□	□□□ XDP □□□DRV□SKB □ NONE□
□□□□□	□□□□□□□ NIC □□□□

XDP □□

□□□□□□□□ XDP □□□□□□□□□□□□□□□□□

XDP_DRV□□□□□□□□

- □□□~5-10 Mpps□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□ XDP □□□□□□□□
- □□□□□□□□ XDP □□□ NIC □□□□□i40e□ixgbe□mlx5 □□
- □□□□□□□□□□□□ XDP □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□✓□□□□□□□□□□□□ X□✗□□

XDP_SKB□□□□□□□□

- □□□~1-2 Mpps
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□✓□

□□□□□□□□□

- □□□□ XDP □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□

□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□“□□”□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□ XDP □□□□□□□□□□□

XDP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ Mpps □□□□□□

□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

- "✓ □□□□□ XDP_DRV □□□□□□□□□□□□□□□"
- □□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

- "⚠ □□□□□ XDP_DRV □□□□□□□□□□□"
- □□□□□□□□□□□□□□□□□
- "⚠ □□□□□□□□□□□□ XDP_DRV"
- □□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

- □□ XDP □□□□□□□□

Mpps □□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□Mpps□□□□□□□□□Gbps□□

□□□□

□□□□□□□**Mpps**□□

- □□□0.1 - 100 Mpps
- □□□□ XDP □□□□□□ Mpps
- □□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□

- □□□64 - 9000 □□
- □□□1200 □□□□□□ GTP □□□□
- □□□□□□□□□ GTP □□

□□□□□□□□

- **64B**□□□□□□□□□□□□□□□□
- **128B**□□□□□□
- **256B**□□□□□□□□□
- **512B**□□□□□□□□□□
- **1024B**□□□□□□
- **1518B**□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□**Gbps**□□

- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□`Gbps = Mpps × Packet_Size × 8 / 1000`
- □□ GTP□UDP□IP □□□□□

□□□□□□□□**Gbps**□□

- □□□□□□□□□□□□□□

- □□□ ~50 □□□ GTP □□□□
- □□□`Gbps = Mpps × (Packet_Size - 50) / 1000`

□□□□□□

- □□ Mpps □□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□10 Mpps = 10,000,000 □□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□
- □□□`10 Mpps × 1200 □□ × 8 □/□□ ÷ 1000 = 96 Gbps`

□□ Mpps

□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□ **Mpps**□

- □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□

□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□ Mpps = □□□ Gbps
- □□□□□□□□□□□ Mpps = □□□ Gbps
- □□□□□□□□□□□□□□□□

GTP □□□□□

- □□□□□14 □□
- IP □□20 □□□IPv4□□ 40 □□□IPv6□
- UDP □□8 □□
- GTP □□8 □□□□□□
- □□□□□□□□□□□□ ~50 □□

□□

□□ **XDP** □□□

1. □□□ XDP □□□□
2. □□□□ XDP □□□□□ DRV □□□□□□□□
3. □□ Mpps □□□□
4. □□□□□□

□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□Mpps□
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□Gbps□
4. □□□□□□□□□□□□□□□

□□ **XDP** □□□

1. □□□□□□□□□□ XDP_DRV □□
2. □□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□ CPU □□□□

□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□□ Mpps
2. □□□ XDP □□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□

1. □□ XDP □□□ DRV□□□□ SKB
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□**XDP_DRV**□□

- □□□□□□□ XDP □□□ NIC□Intel i40e/ixgbe□Mellanox mlx5□
- □□ NIC □□□□□□□□□□
- □□□□□□□RSS□□□□□□□□□
- □□ NIC □□□□□□□□

□□□□□**XDP_SKB**□□

- □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

- □□□□□□□ CPU □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□
- □□ RSS□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

XDP □□□□□ 30 □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

URL□`/logs`

□□

□□□□ OmniUPF □□□□□□□□

□□□

- □□ Phoenix LiveView □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

OmniUPF □□□□□□□ Elixir Logger □□□

- **DEBUG**□□□□□□□□□
- **INFO**□□□□□□□□□□□□
- **WARNING**□□□□□□□□□□□□
- **ERROR**□□□□□□□□□

□□

□□□□□□□□□□

1. □□□□□□□
2. □ SMF □□□□□□□
3. □□ PFCP □□□□□□□□□□

□□ **PFCP** □□□

1. □□ PFCP □□□□□□□
2. □□□□□□□/□□/□□
3. □□□□□□□

□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□
2. □□ eBPF □□□□□□□
3. □□ FAR/PDR □□□□

□□□□

□□□□

□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□
- □□ XDP □□□□

□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□ TTL□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□
- □□“□□”□□□“□□”□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□ UE □□
- □□□□□□□□□□□□□
- □□□ UPF □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□ UE □□□
- □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□

- □□□□□□□□□□□□ 5-10 □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□URR □□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□ UPF □□□□□

□□□□

- **□□□□□□□** - PDR□FAR□QER□URR □□
- **□□□□** - □□□□□□□□□□□
- **□□□□** - □□□ Prometheus □□□□
- **PFCP □□□□** - PFCP □□□□□□□□□□
- **API □□** - REST API □□□□□
- **□□□□** - UE □□□ FRR □□□□□□
- **XDP □□□□** - □□□ XDP □□□□□ eBPF □□
- **□□□□□□□** - □□□□□□□□
- **UPF □□□□** - □□ UPF □□□□□

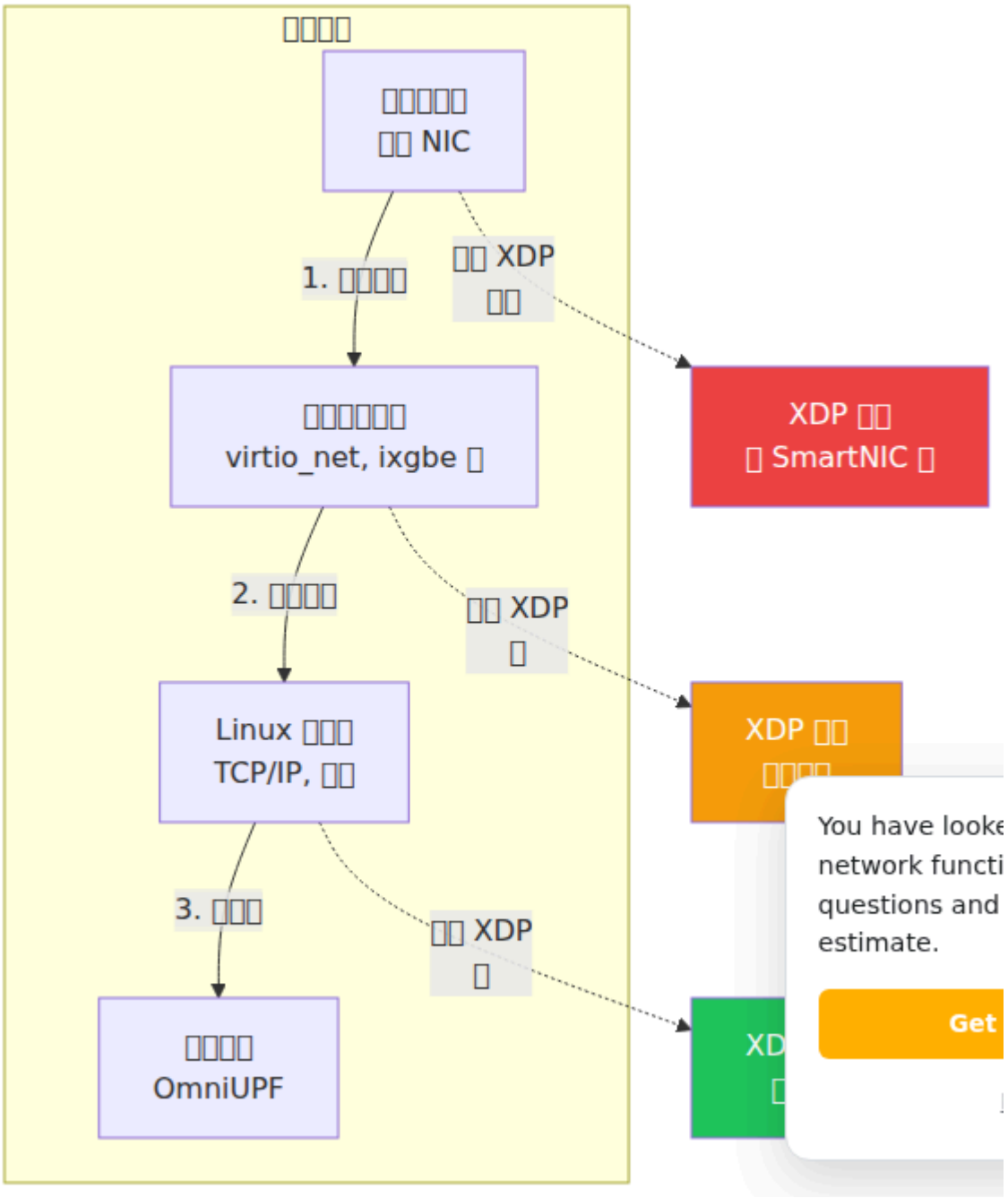
OmniUPF □ XDP □□□□

□□

1. □□
2. XDP □□□□
3. □□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□□□□
5. □□□□□SmartNIC□
6. □ Proxmox VE □□□□□ XDP
7. □□□□□□□□□□□□□□□□ XDP
8. □□ XDP □□
9. □□□□ XDP □□

□□

OmniUPF □□ **XDP (eXpress Data Path)** □□□□□□□□□□□□XDP □□□ Linux □□□□□□□□□□□□□□□eBPF□□□□□□□□□□□□□□□


□□□□
□□□□□
□□ NIC
1. □□□□
□□ XDP
□□
XDP □□
□ SmartNIC □
□□□□□□□
virtio_net, ixgbe □
2. □□□□
□□ XDP
□
XDP □□
□□□□
Linux □□□
TCP/IP, □□
3. □□□
□□ XDP
□
□□□□
OmniUPF
You have looke
network functi
questions and
estimate.
Get

□□□□□ XDP □□□ OmniUPF □□□□□□□□

XDP □□□□

□□	□□□□	□□□□	□□□□
□□□	Linux □□□	□□□□□□	NIC □□
□□	~1-2 Mpps	~5-10 Mpps	~10-40 Mpps
□□	~100 µs	~10 µs	~1 µs
CPU □□□	□	□	□
NIC □□	□□ NIC	□□ XDP □□□	□□ XDP □ SmartNIC
□□□□ □□□□ □	□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□	□□□PCI □□□
□□□□	□□□□□	□□□□□□	□□□□□□□□□
□□	`xdp_attach_mode: generic`	`xdp_attach_mode: native`	`xdp_attach_mode: offload`

□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□

□□

□□ XDP □□□□□□□□□□ □□ □ Linux □□□□□□ eBPF □□□□□□□□ XDP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

- □□□□~1-2 □□□□□□□□ (Mpps)
- □□□□□□□□□ ~100 □□
- **CPU** □□□□□□□□□□ XDP □□□□□□□□□□

□□□□

- □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□

□□

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "generic"    # □□□□
```

□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ CPU □□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `skb`□□□□□□ NIC □ TX □□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□ □□□□□□□□ UE □□□□□□ IPv6 □□□□□□□□□□ `CHECKSUM_PARTIAL`□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ `csum_start`/`csum_offset` □□□ NIC □□□□□□ □□ □ UDP □□□□□□□□□□□□□□□□□ XDP □□□□□□□□□□`CHECKSUM_NONE`□□□□□□□□□□□□□□□□□/□□□□□□□□□□□□ skb□□□□□□□□□□□ NIC□□□ virtio□□□□□□□□ NIC □ TX □□□□□□`ethtool -K <iface> tx off`□ — □□ TROUBLESHOOTING.md □“IPv6 SLAAC □□□ / UDP □□□□□”□□

□□□□□□□□□□□□

□□

□□ XDP □□□□□□□ □□ □□ eBPF □□□□□□□□□ Linux □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

- □□□□□□□□□ ~5-10 □□□□□□□□ (Mpps)
- □□□□□□□□□ ~10 □□
- **CPU** □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□ CPU □□□ NIC □□□□□□

□□□□

- □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□

NIC □□□□

□□ XDP □□□□ XDP □□□□□□□□□□□□□□ NIC □□□□ XDP□

□□ **NIC□□□□□□**

- □□□□`ixgbe`□10G□□`i40e`□40G□□`ice`□100G□
- □□□`bnxt_en`
- □□□`mlx4_en`□`mlx5_core`
- Netronome□`nfp`□□□□□□
- Marvell□`mvneta`□`mvpp2`

□□ **NIC**□□□□□□□□□□

- VirtIO□`virtio_net`□KVM□Proxmox□OpenStack□ ✓
- VMware□`vmxnet3` ✓
- □□□`hv_netvsc`□Hyper-V□ ✓
- □□□□`ena`□AWS□ ✓
- SR-IOV□`ixgbevf`□`i40evf`□PCI □□□ ✓

□□□VirtualBox □ □□□□ XDP□□□□□□□□□

□□

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "native"
```

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ NIC □□□□□□□□□□□ Proxmox □□□□

□□□□□SmartNIC□

□□

□□ XDP □□□ NIC □□□SmartNIC□□□□ eBPF □□□□□□□□ CPU □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□

```
# /etc/omniupf/runtime.exs
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "offload"
```

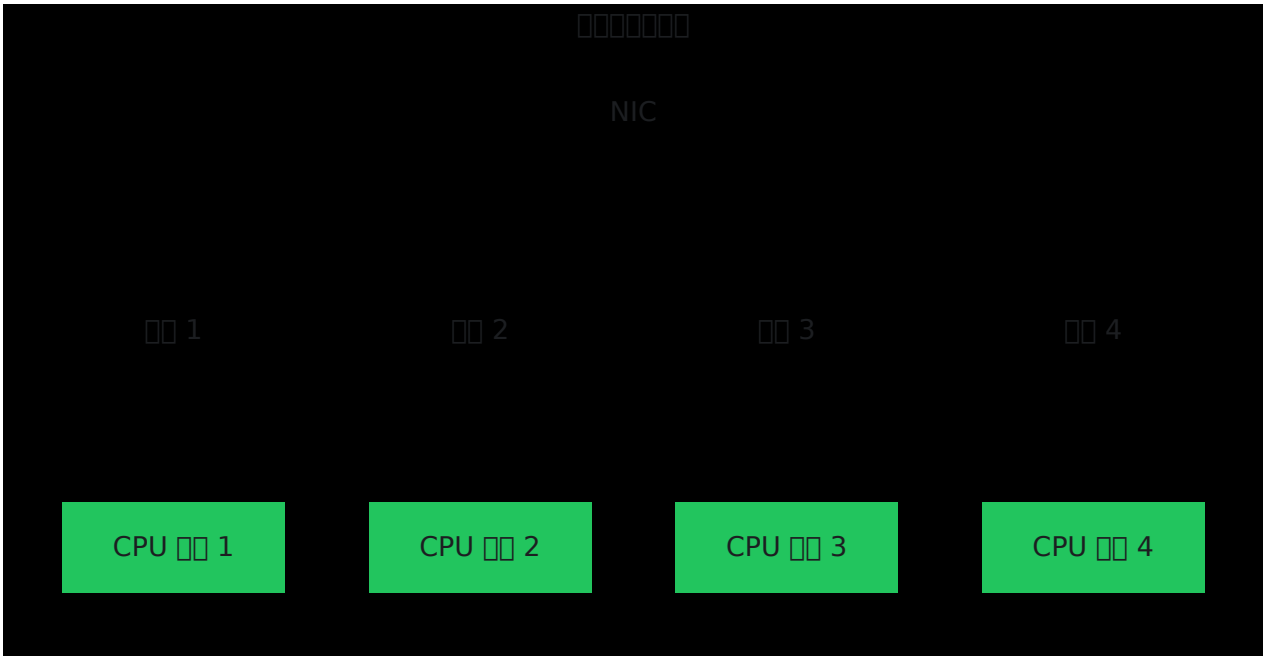
□ Proxmox VE □□□□□ XDP

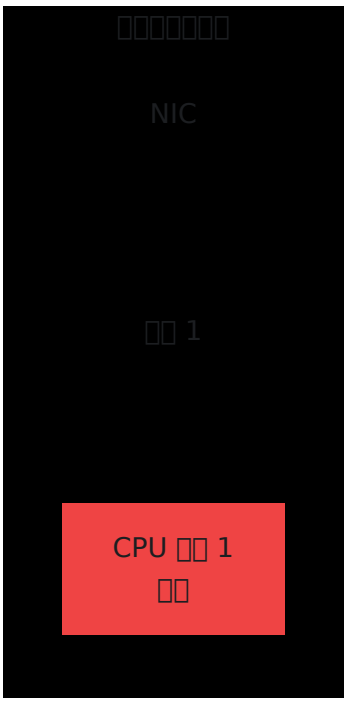
Proxmox VE □□ **VirtIO** □□□□□□□□□□□□□□□□□ `virtio_net` □□□□□□□□ XDP□□□□□□□□□□ □ □□□ □□□□□□□□□

□ 1 □□□□□□

□□□□□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□ CPU □□□□ → □□
- □□□□□□□□□□□ CPU □□ → □□□□





□ 2 □□□ Proxmox □□□□□□

□□ A□□□ Proxmox Web UI

1. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

    - □ Proxmox Web □□□□□□□□□□□
    - □□ □□

2. □□□□□□

   - □□ □□ □□□
   - □□□□□□□□□□□□□□□`net0`□
   - □□ □□

3. □□□□□

   - □□ "□□□" □□
   - □□□ **8**□□□□□ vCPU □□□□□□□ 16□
   - □□ □□

4. □□□□□

   - □□ □□

□□ **B**□□□ **Proxmox** □□□

```
# SSH □□□ Proxmox □□

# □□□□□□□ ID
qm list

# □□□□□□□ XXX □□□□□□□□ ID□
qm set XXX -net0 virtio=XX:XX:XX:XX:XX:XX,bridge=vmbr0,queues=8

# □□□□□□ 191□MAC BC:24:11:1D:BA:00
qm set 191 -net0 virtio=BC:24:11:1D:BA:00,bridge=vmbr0,queues=8

# □□□□□
qm shutdown XXX

# □□□□□□□□□
qm start XXX
```

□□□□□□□

- **4** □□□□□□□□□□□□□□□ 2-4 vCPU □□□□
- **8** □□□□□□□□□□□□□□□□4-8 vCPU □□□□
- **16** □□□□□□□□□□□□□□□8+ vCPU □□□□

□ 3 □□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□SSH □□□□□□□□□□

```
# □□□□□□□
ethtool -l eth0

# □□□□□□
# eth0 □□□□□□□
# Combined:     8         <-- □□□□□□□□□□

# □□□□□□□
ls -1d /sys/class/net/eth0/queues/rx-* | wc -l
ls -1d /sys/class/net/eth0/queues/tx-* | wc -l

# □□□□□□□ 8□□□□□□□□
```

□ 4 □□□ OmniUPF □□□□□ XDP

□□ OmniUPF □□□

```
# □□□□□□□
sudo nano /etc/omniupf/runtime.exs
```

□□ XDP □□□

```
# □□
xdp_attach_mode = "generic"

# □□
xdp_attach_mode = "native"
```

□□ OmniUPF□

```
sudo systemctl restart omniupf
```

□ 5 □□□□□□ XDP □□□□□□□□

□□□□□

```
# □□□□□□□
journalctl -u omniupf --since "1 minute ago" | grep -i
"xdp\|attach"

# □□□□□
# xdp_attach_mode:native
# XDPAttachMode:native
# □□ XDP □□□□□ "eth0"□□□ 2□
```

□□ API □□□

```
# □□□□
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | grep xdp_attach_mode

# □□□□□
# "xdp_attach_mode": "native",
```

□□ Proxmox □□

□□□“□□ XDP □□□□”

□□□□□

- □□□□□□□□□□□`ethtool -l eth0`□
- □□□□□□□□`uname -r`□□□ ≥ 5.15□
- □□ VirtIO □□□□□□`lsmod | grep virtio_net`

□□□□□□□□ 1 □□□

□□□□□

- □□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□ `qm shutdown XXX && sleep 5 && qm start XXX`
- □ Proxmox □□□□□□`grep net0 /etc/pve/qemu-server/XXX.conf`

□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□ CPU □□□□□□□□□□
- □□ `top` - CPU □□□□□□□□□□□□
- □□ XDP □□□□□`curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats`

□□□□□□□□□□□□□□□ XDP

VMware ESXi / vSphere

VMware □□ `vmxnet3` □□□□□□□□□ XDP□

□□□

- ESXi 6.7 □□□□□
- □□□□ vmxnet3 □□□□□□ 1.4.16 □□□
- □□□□□□□ 14 □□□

□□□□□□

1. □□□□□
2. □□□□□□□□
   - □□□□□□□ → □□□□
   - □□□□□ → □□
   - □ □□□□□□□ □□□ □□
3. □□ **.vmx** □□□□□□□□□□□□

   ```
   ethernet0.pnicFeatures = "4"
   ethernet0.multiqueue = "8"
   ```

4. □□□□□□□□□

```
ethtool -l ens192  # □□□□□□□
```

□□ **OmniUPF**□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_interfaces = "ens192"    # VMware □□□□ ens192
xdp_attach_mode = "native"
```

KVM / libvirt□□□□

□□ **virsh** □□□□□□□

```
# □□□□□□□□
virsh edit your-vm-name
```

□□□□□□□□□□□

```
<interface type='network'>
  <source network='default'/>
  <model type='virtio'/>
  <driver name='vhost' queues='8'/>
</interface>
```

□□□□□□□□□□

```
ethtool -l eth0
```

□□ Hyper-V

Hyper-V □□ `hv_netvsc` □□□□□□□□□□ XDP□

□□□

- Windows Server 2016 □□□□□
- □□□□ Linux □□□□ 4.3 □□□

- □□ 2 □□□

□□□□□□

□ Hyper-V □□□□□ PowerShell□

```
# □□ VMQ□□□□□□□□- Hyper-V □□□□
Set-VMNetworkAdapter -VMName "YourVM" -VrssEnabled $true -
VmmqEnabled $true
```

□□ **OmniUPF**□□ `runtime.exs` □□□

```
xdp_interfaces = "eth0"
xdp_attach_mode = "native"
```

VirtualBox

□□□VirtualBox □ □□□□ XDP□

□□□VirtualBox □□□□□□□□e1000□virtio-net□□□□ XDP □□□

□□□□□□□□□□□□□□□

```
xdp_attach_mode = "generic"    # VirtualBox □□□□
```

□□ XDP □□

□□□□□ XDP □□□□□□□□□□□□□□

1. □□ OmniUPF □□

```
# □□□□□□□□
journalctl -u omniupf --since "5 minutes ago" | grep -i xdp

# □□□
# ✓ "xdp_attach_mode:native"
# ✓ "□□ XDP □□□□□□"
# ✗ "□□□□□" □ "□□□□□□"
```

2. □□ API □□

```
# □□□□□□□
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | jq .xdp_attach_mode

# □□□□□□
# "native"
```

3. □□ XDP □□□□

```
# □□ XDP □□□□□□□
curl -s http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq

# □□□□□□
{
  "xdp_aborted": 0,      # □□ 0□□□□
  "xdp_drop": 1234,      # □□□□□□
  "xdp_pass": 5678,      # □□□□□□□□
  "xdp_redirect": 9012,  # □□□□□□□
  "xdp_tx": 3456         # □□□□□□
}
```

4. □□□□□□□

```
# □□□□□□□□□□ XDP
ethtool -i eth0 | grep driver

# □□ Proxmox/KVM□□□□ "virtio_net"
# □□ VMware□□□□ "vmxnet3"
# □□ Hyper-V□□□□ "hv_netvsc"
```

5. □□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

```
# □□□□□□□□
watch -n 1 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq
.rx_packets'

# □□□□□□~1-2 Mpps
# □□□□□□~5-10 Mpps□□□ 5-10 □□
```

□□□□ XDP □□

□□□“□□□□□ XDP □□□□”

□□□

```
□□□□□□□ XDP □□□□□□□□ eth0
```

□□□

1. □□□□□□□□

```
ethtool -i eth0 | grep driver

# □□□□□□□ virtio_net/vmxnet3/hv_netvsc□□□ XDP □□□□□□
```

2. □□□□□□□□

```
uname -r

# □□ ≥ 5.15 □□□□□□□ XDP
```

3. □□□□□□□□□□ **XDP** □□□

```
ip link show eth0 | grep xdp

# □□□□□□□□□ XDP □□□□□□□□□
ip link set dev eth0 xdp off
```

□□□□□

- □□□□□□□□□□□□ 5.15+
- □□□□□ virtio_net □□□□□`modprobe virtio_net`
- □□□□□□□□□ XDP□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□

□□□

```
□□□□□□□□□ XDP □□
```

□□□

□□ `dmesg` □□□□□□□

```
dmesg | grep -i xdp | tail -20
```

□□□□□

1. □□□□□□□ **XDP**□
   - VirtualBox □□□□□□□□□□ XDP□
   - □□□ NIC □□□□
2. □□□□□□□
   - □□□`ethtool -l eth0`
   - □□□ > 1 □□□□□
3. □□ **XDP** □□□□□□

```
# □□□□□□□□□□ XDP
grep XDP /boot/config-$(uname -r)

# □□□□
# CONFIG_XDP_SOCKETS=y
# CONFIG_BPF=y
```

□□□□□

- □□□□□□□ Proxmox □□□
- □□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□ XDP

□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□

1. □□□□□□□□

```
# □□□□□□□□□□□□□
ethtool -S eth0 | grep rx_queue

# □□□□□□□□□□□□□
```

2. □□ **CPU** □□□□

```
# □□□□□□□□ CPU □□□
mpstat -P ALL 1

# □□□□□□□□□□□□□ CPU □
```

3. □□ **XDP** □□□□□□□□□□□□□

```
# □□ bpftool□□□□□□□
sudo bpftool net list

# □□□ XDP □□□□□
```

□□□□□

- □□□□□□□□8-16 □□□□
- □□ CPU □□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□ CPU □□□□

□□□XDP □□□□□□xdp_aborted > 0□

□□□

```
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats
{
  "xdp_aborted": 1234,  # □□□□□□
  ...
}
```

□□□

XDP □□□□□□ eBPF □□□□□□□□□□□□□□□□

1. □□ **eBPF** □□□□□□□

```
dmesg | grep -i bpf | tail -20
```

2. □□□□□□□□□□

```
# eBPF □□□□□□□
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info

# □□□□□□ 100% □□□
```

□□□□□□

- □□□□□□□ eBPF □□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□ eBPF □□
- □□ Linux □□ eBPF □□□□□□□

□□□Proxmox □□□□□□□□□

□□□`ethtool -l eth0` □□□□ 1 □□□□□□□□□□

□□□

1. □□ **Proxmox** □□□□□□□

```
# □ Proxmox □□□
grep net0 /etc/pve/qemu-server/YOUR_VM_ID.conf

# □□□□queues=8
```

2. □□□□□□□□□□□□□□

```
# □ Proxmox □□□
qm status YOUR_VM_ID

# □□□□ "status: stopped" □□□□□□
```

□□□□□

```
# □ Proxmox □□□
# □□□□□□□□□
qm shutdown YOUR_VM_ID
sleep 10
qm start YOUR_VM_ID

# □□□□□□□□□□□
ethtool -l eth0
```

□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□ XDP □□□□□□□

□□□

```
□□□□□□ XDP □□□□□□□□□
```

□□□

XDP □□□□ `CAP_NET_ADMIN` □ `CAP_SYS_ADMIN` □□□

□□□□□□

1. □ **root** □□□□ **OmniUPF**□□□□□□□□

   ```
   sudo systemctl restart omniupf
   ```

2. □□□□ **systemd**□□□□□□□□□□□□

```
# /lib/systemd/system/omniupf.service
[Service]
CapabilityBoundingSet=CAP_NET_ADMIN CAP_SYS_ADMIN CAP_NET_RAW
AmbientCapabilities=CAP_NET_ADMIN CAP_SYS_ADMIN CAP_NET_RAW
```

3. □□□□ **Docker**□□ `--privileged` □□□

```
docker run --privileged -v /sys/fs/bpf:/sys/fs/bpf ...
```

□□□□□□

OmniUPF □□□□□□□□□□□□□□

□□	□□□□	□□□□	□□
□□□□□	1.5 Mpps	8.2 Mpps	□□ **5.5** □
□□	95 µs	12 µs	□□ **8** □
CPU □□□□1 Gbps□	85%□1 □□□	15%□□□□□	□□ **5** □□□
□□□□□	~1.2 Gbps	~10 Gbps	□□ **8** □

□□□□□□□□□□□□□□ □□□□ □ □□□□□□□

XDP □□□□

⚠ □□□□□□□□□□□□□□□□□ **Omnitouch** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ **100%** □□□

□□□□□□ XDP □□□ NIC

□□ NIC □□□□□ OmniUPF □□□ XDP □□□

□□□ NIC□□□□□□□□□

□□	□□	□□□□	**XDP □□**	□□
□□□ **X520**	10GbE	ixgbe	□□ ✓	□□□□□□□□□□□□□□□
□□□ **X710**	10/40GbE	i40e	□□ ✓	□□□□□□□□
□□□ **E810**	100GbE	ice	□□ ✓	□□□□□□□□□
□□□ **i350**	1GbE	igb	□□ ✓□□□ 5.10+□	□□□□□□□□

Mellanox/NVIDIA NICs (□□□)

□□	□□	□□□□	**XDP □□**	□□
ConnectX-4	25/50/100GbE	mlx5	□□ ✓	□□□□□□□□□□□
ConnectX-5	25/50/100GbE	mlx5	□□ ✓	□□□□□□□□□□
ConnectX-6	50/100/200GbE	mlx5	□□ ✓	□□□□□□□□□□□□
BlueField-2	100/200GbE	mlx5	□□ ✓	□□ DPU □□□ SmartNIC

Broadcom NICs

□□	□□	□□□□	**XDP □□**	□□
BCM57xxx □□	10/25/50GbE	bnxt_en	□□ ✓	□□□ Dell/HP □□□

□□ NICs (□□□□□)

□□	**NIC □□**	□□□□	**XDP □□**	□□□	□□
Proxmox/KVM	VirtIO	virtio_net	□□ ✓	□□□ □□□	□□□□□□□
VMware ESXi	vmxnet3	vmxnet3	□□ ✓	□	□□ ESXi 6.7 □□□ □□
Hyper-V	□□ NIC	hv_netvsc	□□ ✓	□	Windows Server 2016 □□□□
AWS	ENA	ena	□□ ✓	□	EC2 □□□
VirtualBox	□□	□□	□□□ □	□	□□□□□□□□

□□□□□□□ NICs

□□□ **XDP** □□□□□eBPF □ NIC □□□□□

□□□	□□	□□	□□
Netronome	Agilio CX 10G	10GbE	□□□□□ XDP □□
Netronome	Agilio CX 25G	25GbE	□□□□□□
Netronome	Agilio CX 40G	40GbE	□□□□□□ $2,500-5,000□
Netronome	Agilio CX 100G	100GbE	□□□□

□□□□□□□ NICs □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ XDP□

□□□□

□□□□□□□□□□□□ OmniUPF □□□

□□□□ **(1-10 Gbps)**

- **NIC**: Intel X520 (10GbE □□□)
- □□: □□ XDP
- □□□: □□ UPF □□□ 8-10 Gbps
- □□: □ $100-200□□□/□□□

□□ **(10-50 Gbps)**

- **NIC**: Intel X710 (40GbE) □ Mellanox ConnectX-4 (25GbE)
- □□: □□ XDP
- □□□: □□ UPF □□□ 25-40 Gbps
- □□: □ $300-800

□□ **(50-100+ Gbps)**

- **NIC**: Mellanox ConnectX-5/6 (100GbE)
- □□: □□ XDP
- □□□: □□ UPF □□□ 80-100 Gbps
- □□: □ $1,000-2,500

□□□□□ **(Proxmox/KVM)**

- **NIC**: VirtIO□□□ 8-16 □□□
- □□: □□ XDP
- □□□: □□ UPF □□□ 5-10 Gbps
- □□: □□□□□□□

□□□□□□□

□□□□□□□□ OmniUPF □□□

NIC/□□	□□	□□□□
Realtek NICs	□ XDP □□□Linux □□□□□	Intel i350 □□□
VirtualBox	□□□ XDP □□	□□□ Proxmox/KVM
□□□ **NICs**	□□□□□□□□□□	□□□□ Intel/Mellanox
□□□□ **NICs** (<2014)	□ XDP □□□□□□	Intel X520 □□□

□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□

1. □ □□□□□□: □□ Linux □□□□□□□□ XDP

   ```
   # □□□□□□
   modinfo <driver_name> | grep -i xdp
   ```

2. □ □□□□: □□□□ ≥ 5.15 □□□□□□ XDP

   ```
   uname -r
   ```

3. □ □□□: □□ NIC □□□□□□□□ (RSS/VMDq)

4. □ **PCI** □□: □□ PCIe □□□□□□□

   - 10GbE: □□ PCIe 2.0 x4
   - 40GbE: □□ PCIe 3.0 x8
   - 100GbE: PCIe 3.0 x16 □□ PCIe 4.0 x8

5. □ □□□:

   - □□: □□□ NIC
   - □□: □□ VirtIO □ SR-IOV □□
   - □□: □□ NIC □□□

⚠ □□□□□□□□□□□□□ - □□□□ **Omnitouch** □□□□□

□□□□

- □□□□: CONFIGURATION.md - □□□□□□□□
- □□□□□□□: TROUBLESHOOTING.md - □□□□□□□
- □□□□: ARCHITECTURE.md - eBPF □ XDP □□□□
- □□□□: MONITORING.md - □□□□□□□□□□

□□□□

Proxmox □□ XDP □□ (TL;DR)

```
# □ Proxmox □□□□
qm set <VM_ID> -net0 virtio=<MAC>,bridge=vmbr0,queues=8
qm shutdown <VM_ID> && sleep 10 && qm start <VM_ID>

# □□□□□□□□
ethtool -l eth0  # □□ 8 □□□
sudo nano /etc/omniupf/runtime.exs  # □□: xdp_attach_mode =
"native"
sudo systemctl restart omniupf
journalctl -u omniupf --since "1 min ago" | grep xdp  # □□□□□□
```

□□ XDP □□□□□□

```
# □□□□
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | grep xdp_attach_mode

# □□□□□□
curl -s http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq

# □□□□
ethtool -l eth0
```

OmniUPF API □□

□□

OmniUPF API □□□□□□□□ RESTful □□□□□□□□□□□□ eBPF □□□□□□□□□ API □□□ UPF □□□ □□□□□□□□□□□□□□□

API □□

□□□□□

- **PFCP** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ UE IP □ TEID □□
- **PFCP** □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□

- □□□□□□□ **(PDR)**□□□□□□□□□□□□□ (IPv4/IPv6)
- □□□□□□ **(FAR)**□□□□□□□□□□□□□
- **QoS** □□□ **(QER)**□□□□□□□□ QoS □□
- □□□□□□ **(URR)**□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

- □□□□□□□□□ FAR □□□□□□ (`GET /buffer`, `GET /buffer/:far_id`)
- □□□□□□□□□□□□□□□ (`POST /buffer/:far_id/flush`, `DELETE /buffer/:far_id`, `DELETE /buffer`)
- □□□□□□□□□□□ (`POST /buffer/:far_id/notify`)
- □□□□□□□ DLDR □□□ (`GET /buffer/notifications`)

□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□ (GTP, IP, TCP, UDP, ICMP, ARP)
- **XDP** □□□□□□□□□□ (□□□□□□□□□□□□)
- **N3/N6** □□□□RAN □□□□□□□□
- □□□□FIB □□□ (□□□□□□□□□□)

□□□□□

- **UE** □□□□□ UE IP □ gNB □□□□ (`GET /routes`)
- **FRR** □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ (`POST /routes/sync`)
- □□□□□□□□□□□□□□ (`GET /routing/sessions`)
- **OSPF** □□□□□□□ OSPF □□□□□□□□ (`GET /ospf/database/external`)

□□□

- **UPF** □□□□□□□□□□ (`GET /config`, `POST /config`)
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□ (`GET /dataplane_config`)
- **XDP** □□□□□ XDP □□□□□□□□□ (`GET /xdp_capabilities`)
- **eBPF** □□□□□□□□□□□□□□□□ (`GET /map_info`)

Web UI □□

OmniUPF Web UI □□□ API □□□□□□□ API □□□□□□□□□□□□□ Web UI □□ □□□□□□□□□□□□ □□

Swagger API □□

□ API □□□□ **OpenAPI 3.0 (Swagger)** □□□□□□□□□□□□ Swagger UI □□□

- □□□□□□□□□□□□□/□□□□
- □□□□□□□□ API □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□
- HTTP □□□□□□□□

□□□ Swagger UI □□ OmniUPF API □□□□□□□□

□□ Swagger UI

Swagger □□□□□□□□□□□□

```
http://<upf-host>:8080/swagger/index.html
```

□□□`http://10.98.0.20:8080/swagger/index.html`

API □□□□

□□ API □□□□□□□

```
/api/v1
```

API □□

□□

OmniUPF API □□□□□□□□□□□□

1. □□□□□□□□□□□□□□□□
    - `page`□□□□□□ 1 □□□□
    - `page_size`□□□□□□□□□□□□□100□□□□□1000□
2. □□□□□□□□□□□□
    - `offset`□□□□□□□□□□
    - `limit`□□□□□□□□□□□□□□□□1000□

□□□□□□

```
# □□□□□□□□□□□ 50 □□□□□□
GET /api/v1/pfcp_sessions?page=2&page_size=50

# □□□□□□□□□□□ 100 □□□□□□□□□□ 50 □
GET /api/v1/pfcp_sessions?offset=100&limit=50

# □□□□□□□□□□□□□□□□ 100 □
GET /api/v1/pfcp_sessions
```

□□□□□□

```
{
  "data": [
    { /* session object */ },
    { /* session object */ },
    ...
  ],
  "pagination": {
    "total": 5432,
    "page": 2,
    "page_size": 50,
    "total_pages": 109
  }
}
```

□□□□□□

- `/api/v1/pfcp_sessions` - PFCP □□□□

- `/api/v1/pfcp_associations` - PFCP □□□□
- `/api/v1/routes` - UE IP □□
- `/api/v1/uplink_pdr_map` - □□ PDR□□□□□□
- `/api/v1/uplink_pdr_map/full` - □□ PDR □□□ SDF □□□□□□
- `/api/v1/downlink_pdr_map` - □□ PDR IPv4□□□□□□
- `/api/v1/downlink_pdr_map/full` - □□ PDR IPv4 □□□ SDF □□□□□□
- `/api/v1/downlink_pdr_map_ip6` - □□ PDR IPv6□□□□□□
- `/api/v1/downlink_pdr_map_ip6/full` - □□ PDR IPv6 □□□ SDF □□□□□□
- `/api/v1/far_map` - □□□□□□
- `/api/v1/qer_map` - QoS □□□□
- `/api/v1/urr_map` - □□□□□□

□□□□□□□

- `GET /api/v1/buffer` - □□□□ FAR □□□□□□□□□
- `GET /api/v1/buffer/:far_id` - □□□□ FAR □□□□□
- `GET /api/v1/buffer/notifications` - □□ DLDR □□□□
- `DELETE /api/v1/buffer` - □□□□□□□□
- `DELETE /api/v1/buffer/:far_id` - □□□□ FAR □□□
- `POST /api/v1/buffer/:far_id/flush` - □□□□□□□□□□□
- `POST /api/v1/buffer/:far_id/notify` - □□□□ DLDR □□

□□□□□

- `GET /api/v1/config` - □□□□ UPF □□
- `POST /api/v1/config` - □□ UPF □□□□□□□□□□□□□
- `GET /api/v1/dataplane_config` - □□□□□□□□□□

□□□□□□□

- `GET /api/v1/routes` - □□ UE □□
- `POST /api/v1/routes/sync` - □□□ FRR □□□□□
- `GET /api/v1/routing/sessions` - □□□□□□□□
- `GET /api/v1/ospf/database/external` - □□ OSPF □□ LSA □□□

□□□□□

- □□ Web UI □□□□□ `page_size=100`
- □□□□□□□□□ `page_size=1000`□□□□□□
- □□ `pagination.total_pages` □□□□□□□
- □□ `page_size` □□□ API □□□□□□□□

CORS □□

□□□□□□ (CORS) □□□□□ API □□□□□□□ Web UI □□□□□□□□□□□□□□□ API□

Prometheus □□

□□ REST API□OmniUPF □□ `/metrics` □□□□□□□ `:9090`□□□□ Prometheus □□□

□□□□□

- □□□□□□ PFCP □□□□□□□
- □□□□□□□□□□□
- XDP □□□□
- □□□□
- eBPF □□□□□□□
- URR □□□□

□□□ □□□□ □□□□□□□□

□□□□

- **Web UI □□** - □□□ API □□□□□□□□□
- □□□□ - Prometheus □□□□
- **PFCP □□□□** - PFCP □□□□□□□□□
- □□□□□□ - PDR□FAR□QER□URR □□
- □□□□□□ - FRR □□□ UE □□
- □□□□ - □□□□□□□□□
- □□□□ - UPF □□□□
- **Swagger UI** - □□□ API □□□□ `localhost` □□□□□ UPF □□□

UE □□□□

> □□□□□

- API □□ - □□□□□□□□□□□□ API □□
- □□□□ - Web UI □□□□□

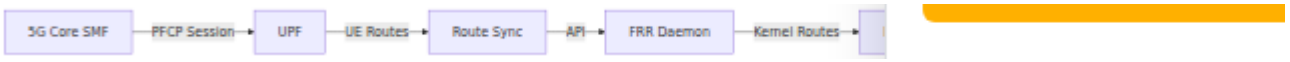
□□

UPF□□□□□□□□□ **FRR**□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□UE□IP □□□□□□□□□ UE □□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□ FRR□

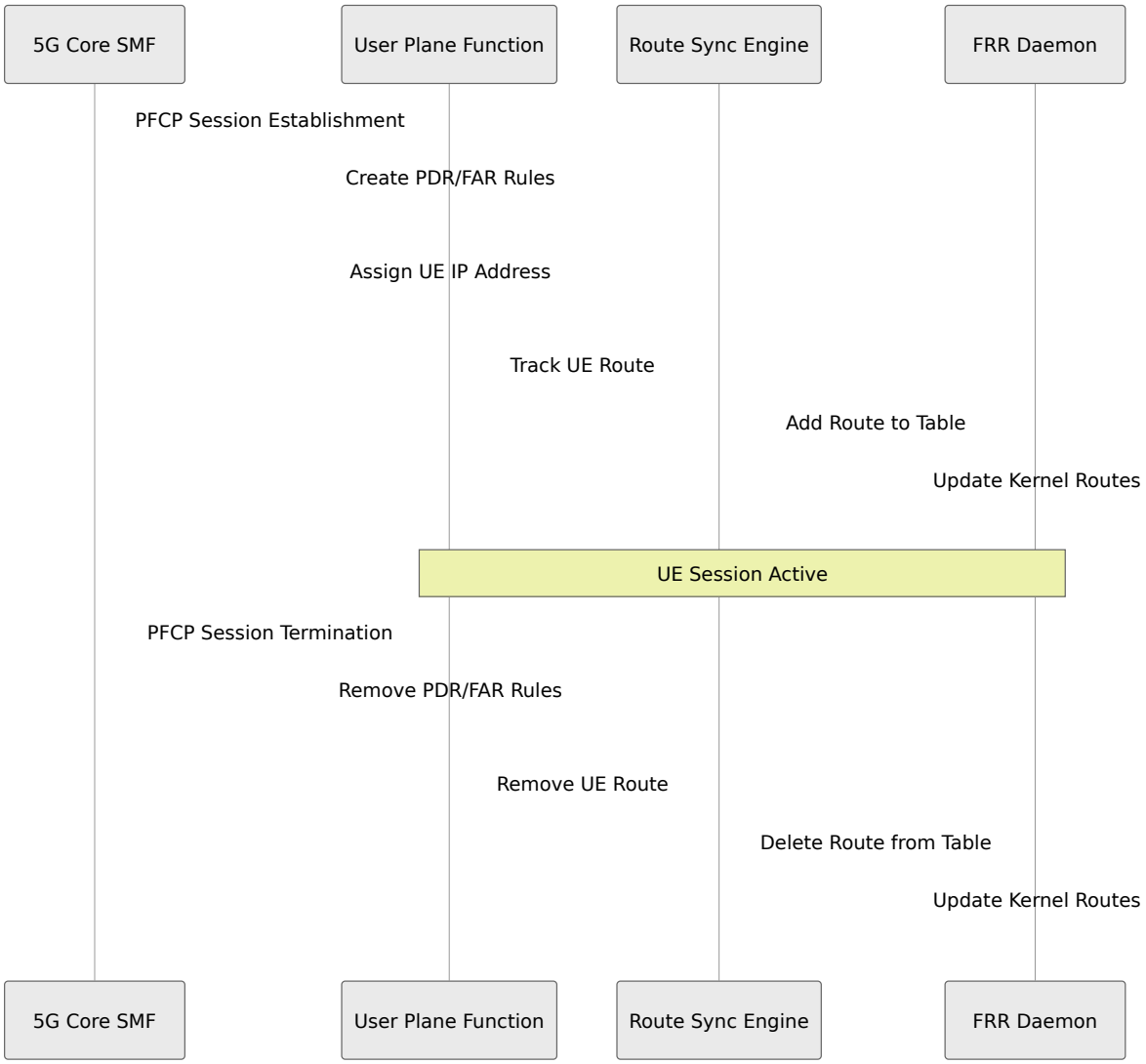
FRR□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ Linux □ Unix □□□□□□□□□□□□□□□□ BGP□ OSPF□RIP □□□□□□□□□□FRR □□□

□□



□□□□□□□□

□□□□□□



□□□□

UPF □□□□□□□ UE IP □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

1. □□ **UE** □□□□□□□□□□□ PFCP □□□□□□□□ UE IP □□
2. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
3. □□□ **FRR**□□□□ API □□□□□□□□□□ FRR □□□□
4. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□/□□□□□□□□□□□

FRR □□

□□

FRR □□ **Ansible** □□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ Ansible □□□□□□□□ FRR □□□□ **Jinja2** □□□ Ansible □□□□□□□□□□□□□□□□□ UPF □□□

□□□□□ FRR Jinja2 □□□□□□□□

```
frr version 7.2.1
frr defaults traditional
hostname pgw02
log syslog informational
service integrated-vtysh-config
!
ip route {{ hostvars[inventory_hostname]['ansible_default_ipv4']
['gateway'] }}/32 {{ ansible_default_ipv4['interface'] }}
!
interface {{ ansible_default_ipv4['interface'] }}
 ip address ospf router-id {{hostvars[inventory_hostname]
['ansible_host']}}
 ip ospf authentication null
!
router ospf
 ospf router-id {{hostvars[inventory_hostname]['ansible_host']}}
 redistribute static
 network {{ hostvars[inventory_hostname]['ansible_default_ipv4']
['network'] }}/{{ mask_cidr }} area 0
 area 0 authentication message-digest
!
line vty
!
end
```

□□□□□

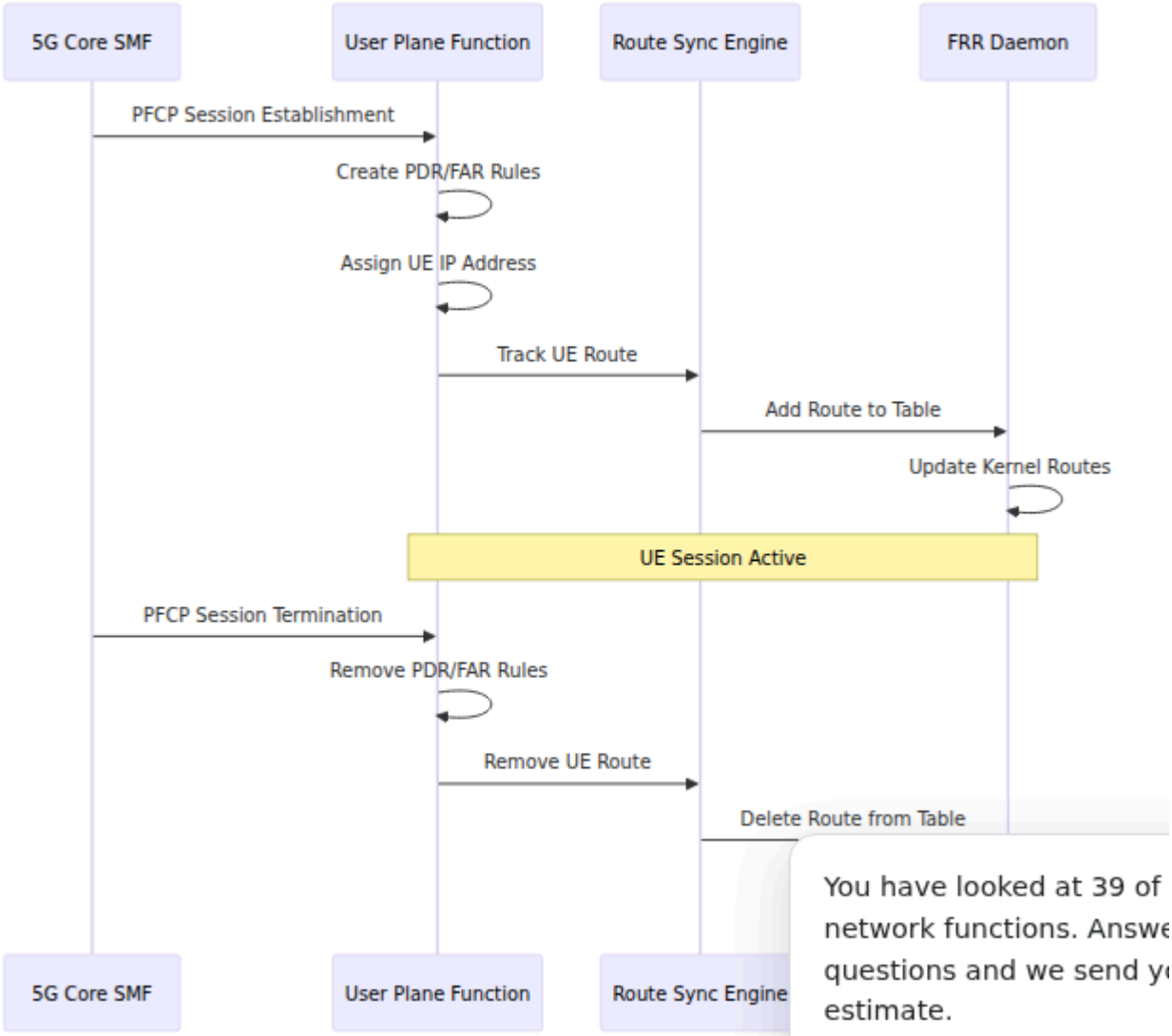
1. □□□□□□□□ Ansible □□□□□ FRR Jinja2 □□□□□□ `roles/frr/templates/frr.conf.j2`□
2. □□□□□□□□ Ansible □□□□□□ UPF □□□□□□
3. □□□□□□□ Ansible □□□ FRR □□□□□□□ UPF □□

4. □□□□□Ansible □□□□□□□□□□□IP □□□□□□ ID □□□□□□ UPF □ FRR □□

Jinja2 □□□□□□□□□□

- **OSPF** □□□□□□ ID□□□□□□□□□□□□□□□□
- **BGP** □□□ASN□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□`redistribute static` □□ UE □□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□



□□□□□

Web UI □□

UPF □□□□□□□□ □□ □□□□□□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□ UE IP □□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□ UE IP □□□□□□□
- **OSPF** □□□□□□□□□□□ OSPF □□□□

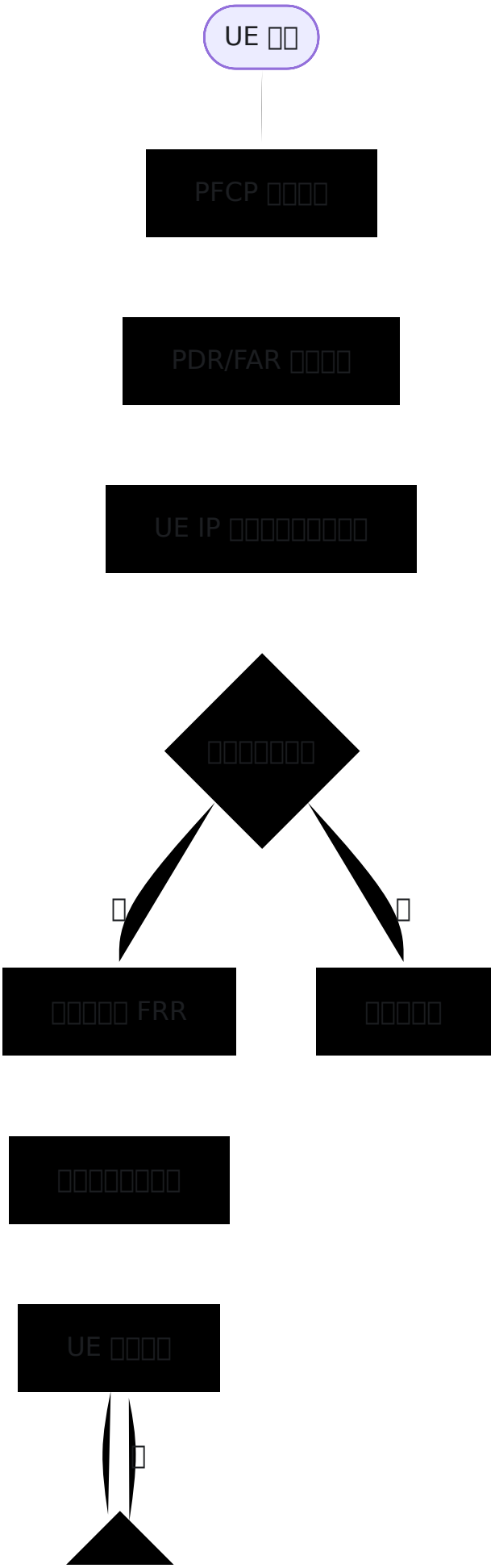
- **BGP** □□□□BGP □□□□□□□□□□□□□□□□□□
- **OSPF** □□□□□□□□□□ UE □□□□□□□□□□□ LSA □□□□□□

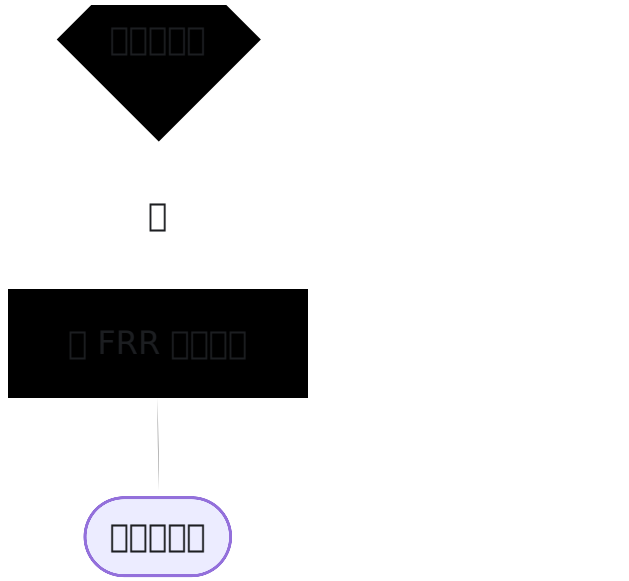
□□□□□□□□ UE □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□

□□□□□□□□ Web UI □□ □□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□

1. □□□□ UPF □□□□□□□ UE □□□□
2. □ FRR □□□□□□□□□
3. □□□□□□□□□□
4. □□□□□□□□□□
5. □□□□□□□□□□


UE □□
PFCP □□□□
PDR/FAR □□□□
UE IP □□□□□□□□□
□□□□□□□
□
□
□□□□□ FRR
□□□□□
□□□□□□□□
UE □□□□
□



□□

- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□ UE □□□□□□□□
- □□□□□□□□□□□□□□□ UE □□
- □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□
- □□□□□□□ Web UI □□□□□□□□□

□□□□

API □□

UPF □□□□□□□□□□□□

- `GET /api/v1/routes` - □□□□□□□□ UE □□□□□□□□□
- `POST /api/v1/routes/sync` - □□□□□□□ FRR □□□□□□□□□
- `GET /api/v1/route_stats` - □□□□□□□□□□□□
- `GET /api/v1/routing/sessions` - □□□□□□□□□□OSPF □□□BGP □□□□
- `GET /api/v1/ospf/database/external` - □□ OSPF AS-External LSA □□□□□□□□ □□□□□

> □□□API □□ - □□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□

□□□□□□□□ IP □□□□□□□`100.64.18.5`□□□□□□□□

FRR □□

OSPF □□ LSA □□□

□□□□□□□□ FRR OSPF □□□□□□□□□□□ UE □□□□□□□□□□□□□ OSPF□□□ LSA□□□ 5□□□□□□□□□□ □□ OSPF □□□□

FRR OSPF □□□□□□□□ LSA□□□ UE □□ 100.64.18.5/32 □□□□ E2□□□□□ 2□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□

- □□ **LSA (10.98.0.20)**□UPF □□□□□□□□
- □□□ **LSA (192.168.1.1)**□OSPF □□□□□
- □□ **LSA**□□□ UE □□ `100.64.18.5` □ E2□□□□□ 2□□□□□□□□□□ OSPF

□□□□□□

1. UPF □□□□□□ UE IP □□
2. □□□□□□□□□□□□□□ FRR
3. FRR □□□□□□□□□ OSPF
4. OSPF □□□□□□□□□□