OmniUPF دليل العمليات

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. فهم بنية مستوى المستخدم 5G
3. مكونات UPF
4. بروتوكول PFCP وتكامل SMF
5. العمليات الشائعة
6. استكشاف الأخطاء وإصلاحها
7. وثائق إضافية
8. مسرد المصطلحات

نظرة عامة

OmniUPF (وظيفة مستوى المستخدم المعتمدة على eBPF) هي وظيفة مستوى مستخدم 5G/LTE عالية الأداء توفر توجيه الحزم بمستوى الناقل، وإنفاذ جودة الخدمة (QoS)، وإدارة الحركة لشبكات الهاتف المحمول. تم بناؤها على تقنية Linux eBPF (مرشح الحزم البيركلي الموسع) ومعززة بقدرات إدارة شاملة، تقدم OmniUPF البنية التحتية الأساسية لمعالجة الحزم المطلوبة لشبكات 5G SA و5G NSA وLTE.

ما هي وظيفة مستوى المستخدم؟

وظيفة مستوى المستخدم (UPF) هي العنصر الشبكي المعتمد من 3GPP المسؤول عن معالجة الحزم وتوجيهها في شبكات 5G وLTE. يوفر:

- **توجيه حزم عالي السرعة** بين الأجهزة المحمولة والشبكات البيانات
- **إنفاذ جودة الخدمة (QoS)** لأنواع الحركة المختلفة
- **كشف الحركة وتوجيهها** بناءً على مرشحات الحزم والقواعد
- **تقرير الاستخدام** لأغراض الفوترة والتحليلات
- **تخزين الحزم** لسيناريوهات إدارة الحركة والجلسات
- **دعم الاعتراض القانوني** للامتثال التنظيمي

تقوم OmniUPF بتنفيذ الوظائف الكاملة لـ UPF المحددة في 3GPP TS 23.501 (5G) وTS 23.401 (LTE)، مما يوفر حلاً كاملاً جاهزاً للإنتاج لوظيفة مستوى المستخدم باستخدام تقنية eBPF لنواة Linux لتحقيق أقصى أداء.

القدرات الرئيسية لـ OmniUPF

معالجة الحزم:

- م��الجة حزم مستوى المستخدم المتوافقة مع 3GPP بالكامل
- مسار بيانات معتمد على eBPF لأداء على مستوى النواة

•تغليف وفك تغليف GTP-U (بروتوكول نفق GPRS)
•دعم IPv4 وIPv6 لكل من الشبكات الوصول والبيانات
•XDP (مسار البيانات السريع) لمعالجة ذات زمن استجابة منخفض للغاية
•معالجة حزم متعددة الخيوط

جودة الخدمة وإدارة الحركة:

•قواعد إنفاذ جودة الخدمة (QER) لإدارة النطاق الترددي
•قواعد كشف الحزم (PDR) لتصنيف الحركة
•قواعد إجراءات التوجيه (FAR) لقرارات التوجيه
•تصفية تدفق بيانات الخدمة (SDF) للتوجيه الخاص بالتطبيقات
•قواعد تقرير الاستخدام (URR) لتتبع الحجم والفوترة

التحكم والإدارة:

•واجهة PFCP (بروتوكول التحكم في توجيه الحزم) إلى SMF/PGW-C
•واجهة برمجة تطبيقات RESTful للمراقبة والتشخيص
•إحصائيات ومقاييس في الوقت الحقيقي
•مراقبة سعة خريطة eBPF
•لوحة تحكم قائمة على الويب

ميزات الأداء:

•معالجة الحزم بدون نسخ عبر eBPF
•توجيه الحزم على مستوى النواة (بدون تحميل على مساحة المستخدم)
•قابلية التوسع متعددة النوى
•القدرة على التحميل لأغراض تسريع الأجهزة
•محسّنة للنشر السحابي

للحصول على تفاصيل استخدام لوحة التحكم، راجع عمليات واجهة الويب.

فهم بنية مستوى المستخدم

تعد OmniUPF حلاً موحدًا لمستوى المستخدم يوفر توجيه الحزم بمستوى الناقل لشبكات 5G المستقلة (SA) و5G NSA و4G LTE/EPC. **OmniUPF** **هو منتج واحد** يمكن أن يعمل في نفس الوقت كـ:

•**UPF (وظيفة مستوى المستخدم)** - مستوى مستخدم 5G/NSA (يتم التحكم فيه بواسطة OmniSMF عبر N4/PFCP)
•**PGW-U (بوابة PDN لمستوى المستخدم)** - بوابة EPC 4G إلى الشبكات الخارجية (يتم التحكم فيها بواسطة OmniPGW-C عبر Sxc/PFCP)
•**SGW-U (بوابة الخدمة لمستوى المستخدم)** - بوابة الخدمة EPC 4G (يتم التحكم فيها بواسطة OmniSGW-C عبر Sxb/PFCP)

يمكن أن تعمل OmniUPF في **أي مجموعة** من هذه الأوضاع:

•**UPF فقط**: نشر 5G خالص
•**PGW-U + SGW-U**: بوابة 4G مجمعة (نشر EPC نموذجي)

• **UPF + PGW-U + SGW-U**: دعم 4G و5G في نفس الوقت (سيناريو ترحيل)

تستخدم جميع الأوضاع نفس محرك معالجة الحزم المعتمد على eBPF وبروتوكول PFCP، مما يوفر أداءً عاليًا متسقًا سواء كانت تعمل كـ UPF أو PGW-U أو SGW-U أو جميعها في نفس الوقت.

بنية شبكة 5G (وضع SA)

تقع حل OmniUPF في مستوى البيانات لشبكات 5G، حيث توفر طبقة توجيه الحزم عالية السرعة التي تربط الأجهزة المحمولة بشبكات البيانات والخدمات.

بنية شبكة 4G LTE/EPC

تدعم OmniUPF أيضًا نشرات 4G LTE وEPC (النواة المحسنة للحزم)، حيث تعمل كـ OmniPGW-U أو OmniSGW-U اعتمادًا على بنية الشبكة.

وضع PGW-U/SGW-U المجمّع (نشر 4G نموذجي)

في هذا الوضع، تعمل OmniUPF كلاً من SGW-U وPGW-U، ويتم التحكم فيها بواسطة وظائف مستوى التحكم المنفصلة.

وضع SGW-U وPGW-U المنفصل (التجوال/المواقع المتعددة)

في نشرات التجوال أو المواقع المتعددة، يمكن نشر حالتين منفصلتين من OmniUPF - واحدة كـ SGW-U وواحدة كـ PGW-U.

وضع N9 Loopback (حالة SGWU+PGWU واحدة)

للنشر المبسط، يمكن أن تعمل OmniUPF **كلاً من أدوار SGWU وPGWU على حالة واحدة** مع معالجة N9 loopback بالكامل في eBPF.

الميزات الرئيسية:

• **زمن استجابة N9 دون ميكروثانية** - تتم معالجتها بالكامل في eBPF، ولا تلمس الشبكة
• **تقليل استخدام وحدة المعالجة المركزية بنسبة 40-50%** - تمريرة XDP واحدة مقابل حالتين منفصلتين
• **نشر مبسط** - حالة واحدة، ملف تكوين واحد
• **الكشف التلقائي** - عندما n3_address = n9_address، يتم تمكين loopback
• **امتثال كامل لـ 3GPP** - بروتوكولات PFCP وGTP-U القياسية

التكوين:

```
# OmniUPF config.yml
interface_name: [eth0]
"n3_address": "10.0.1.10"      # عنوان IP لواجهة S1-U
"n9_address": "10.0.1.10"      # نفس عنوان IP يمكّن N9 loopback
"pfcp_address": ":8805"        # يتصل هنا كل من SGWU-C وPGWU-C
```

متى تستخدم:

- نشرات الحوسبة الحافة (تقليل زمن الاستجابة)
- البيئات ذات التكلفة المحدودة (خادم واحد)
- المختبر/الاختبار (إعداد مبسط)
- نشرات صغيرة إلى متوسطة (< 100K مشتركين)

متى لا تستخدم:

- الحاجة إلى التكرار الجغرافي (SGWU وPGWU في مواقع مختلفة)
- الالتزامات التنظيمية لبوابات منفصلة
- النطاق الضخم (> 1M مشتركين)

للحصول على تفاصيل كاملة، وأمثلة التكوين، واستكشاف الأخطاء، ومقاييس الأداء، راجع **دليل عمليات N9 Loopback**.

كيف تعمل وظائف مستوى المستخدم في الشبكة

تعمل وظيفة مستوى المستخدم (OmniPGW-U، OmniUPF، أو OmniSGW-U) كطائرة توجيه يتم التحكم فيها بواسطة طائرة التحكم المعنية:

1. **إنشاء الجلسة**
   - **5G**: يقوم OmniSMF بإنشاء ارتباط PFCP عبر واجهة N4 مع OmniUPF
   - **4G**: يقوم OmniPGW-C أو OmniSGW-C بإنشاء ارتباط PFCP عبر Sxb/Sxc مع OmniPGW-U/OmniSGW-U
   - تنشئ طائرة التحكم جلسات PFCP لكل جلسة PDU UE (5G) أو سياق PDP (4G)
   - تتلقى طائرة المستخدم قواعد PDR وFAR وQER وURR عبر PFCP
   - يتم ملء خرائط eBPF بقواعد التوجيه

2. **معالجة حزم الرفع** (UE → شبكة البيانات)
   - **5G**: تصل الحزم على واجهة N3 من gNB مع تغليف GTP-U
   - **4G**: تصل الحزم على واجهة S1-U (SGW-U) أو واجهة S5/S8 (PGW-U) من eNodeB مع تغليف GTP-U
   - تطابق طائرة المستخدم الحزم مع PDRs الرافعة بناءً على TEID
   - يطبق برنامج eBPF QER (تحديد المعدل، التعليم)
   - تحدد FAR إجراء ال��وجيه (توجيه، إسقاط، تخزين، تكرار)
   - تتم إزالة نفق GTP-U، ويتم توجيه الحزم إلى واجهة N6 (5G) أو SGi (4G)
   - تتعقب URR عدد الحزم والبايتات لأغراض الفوترة

3. **معالجة حزم النزول** (شبكة البيانات → UE)
   - **5G**: تصل الحزم على واجهة N6 كـ IP أصلي
   - **4G**: تصل الحزم على واجهة SGi كـ IP أصلي
   - تطابق طائرة المستخدم الحزم مع PDRs النزول بناءً على عنوان IP للـ UE
   - قد تصنف مرشحات SDF الحركة بشكل إضافي حسب المنفذ أو البروتوكول أو

التطبيق
◦تحدد FAR نفق GTP-U ومعلمات التوجيه
◦تتم إضافة تغليف GTP-U مع TEID المناسب
◦**5G**: يتم توجيه الحزم إلى واجهة N3 نحو gNB
◦**4G**: يتم توجيه الحزم إلى S1-U (SGW-U) أو S5/S8 (PGW-U) نحو eNodeB

4.**الحركة والتبديل**

◦**5G**: يقوم OmniSMF بتحديث قواعد PDR/FAR أثناء سيناريوهات التبديل
◦**4G**: يقوم OmniSGW-C/OmniPGW-C بتحديث القواعد أثناء التبديل بين eNodeB أو TAU (تحديث منطقة التتبع)
◦قد تقوم طائر�ة المستخدم بتخزين الحزم أثناء تبديل المسار
◦انتقال سلس بين محطات القاعدة دون فقدان الحزم

التكامل مع طائرة التحكم (4G و5G)

يتكامل OmniUPF مع كل من وظائف طائرة التحكم 5G و4G عبر واجهات 3GPP القياسية:

واجهات 5G

الواجهة	من → إلى	الغرض	مواصفة 3GPP
N4	OmniSMF ↔ OmniUPF	إنشاء ارتباط PFCP للجلسة، التعديل، الحذف	TS 29.244
N3	gNB → OmniUPF	حركة مستوى المستخدم من RAN (GTP-U)	TS 29.281
N6	OmniUPF → شبكة البيانات	حركة مستوى المستخدم إلى DN (IP أصلي)	TS 23.501
N9	OmniUPF ↔ OmniUPF	الاتصال بين UPF للتجوال/الحافة	TS 23.501

واجهات 4G/EPC

الواجهة	من → إلى	الغرض	مواصفة 3GPP
Sxb	OmniSGW-C ↔ OmniUPF (وضع SGW-U)	التحكم في جلسة PFCP للبوابة الخدمية	TS 29.244
Sxc	OmniPGW-C ↔ OmniUPF (وضع PGW-U)	التحكم في جلسة PFCP لبوابة PDN	TS 29.244
S1-U	eNodeB → OmniUPF (وضع SGW-U)	حركة مستوى المستخدم من RAN (GTP-U)	TS 29.281
S5/S8	OmniUPF (SGW-U) ↔ OmniUPF (PGW-U)	حركة مستوى المستخدم بين البوابات (GTP-U)	TS 29.281
SGi	OmniUPF (وضع PGW-U) → PDN	حركة مستوى المستخدم إلى شبكة البيانات (IP أصلي)	TS 23.401

ملاحظة: تستخدم جميع واجهات PFCP (N4، Sxb، Sxc) نفس بروتوكول PFCP المحدد في TS

29.244. تختلف أسماء الواجهات ولكن البروتوكول وصيغ الرسائل متطابقة.

لإدارة جلسات PFCP، راجع عمليات PFCP.

مكونات UPF

مسار eBPF

يعد **مسار eBPF** هو محرك معالجة الحزم الأساسي الذي يعمل في نواة Linux لتحقيق أقصى أداء.

الوظائف الأساسية:

- **معالجة GTP-U**: تغليف وفك تغليف أنفاق GTP-U
- **تصنيف الحزم**: مطابقة الحزم مع قواعد PDR باستخدام TEID، عنوان IP للـ UE، أو مرشحات SDF
- **إنفاذ QoS**: تطبيق تحديد المعدل وتعيين العلامات وفقًا لقواعد QER
- **قرارات التوجيه**: تنفيذ إجراءات FAR (توجيه، إسقاط، تخز��ن، تكرار، إعلام)
- **تتبع الاستخدام**: زيادة عدادات URR للفوترة المعتمدة على الحجم

خرائط eBPF: يستخدم المسار خرائط eBPF (جداول تجزئة في ذاكرة النواة) لتخزين القواعد:

اسم الخريطة	الغرض	المفتاح	القيمة
uplink_pdr_map	PDRs الرافعة	TEID (32-بت)	معلومات PDR (معرف FAR، معرف QER، معرفات URR)
downlink_pdr_map	PDRs النزول (IPv4)	عنوان IP للـ UE	معلومات PDR
downlink_pdr_map_ip6	PDRs النزول (IPv6)	عنوان IPv6 للـ UE	معلومات PDR
far_map	قواعد التوجيه	معرف FAR	معلمات التوجيه (الإجراء، معلومات النفق)
qer_map	قواعد QoS	معرف QER	معلمات QoS (MBR، GBR، التعليم)
urr_map	تتبع الاستخدام	معرف URR	عدادات الحجم (الرفع، النزول، الإجمالي)
sdf_filter_map	مرشحات SDF	معرف PDR	مرشحات التطبيقات (المنافذ، البروتوكولات)

خصائص الأداء:

- **بدون نسخ**: تتم معالجة الحزم بالكامل في مساحة النوا��
- **دعم XDP**: التعلق على مستوى برنامج تشغيل الشبكة لتحقيق زمن استجابة دون ميكروثانية
- **متعددة النوى**: تتوسع عبر نوى وحدة المعالجة المركزية مع دعم خريطة لكل وحدة معالجة مركزية
- **السعة**: ملايين من PDRs/FARs في خرائط eBPF (محدودة بواسطة ذاكرة النواة)

للحصول على مراقبة السعة، راجع إدارة السعة.

معالج واجهة PFCP

تقوم **واجهة PFCP** بتنفيذ 3GPP TS 29.244 للتواصل مع SMF أو PGW-C.

الوظائف الأساسية:

- **إدارة الارتباط**: نبض PFCP وإعداد/إصدار الارتباط
- **دورة حياة الجلسة**: إنشاء وتعديل وحذف جلسات PFCP
- **تثبيت القواعد**: تحويل عناصر المعلومات PFCP إلى إدخالات خريطة eBPF
- **تقرير الأحداث**: إعلام SMF بعوامل الاستخدام، الأخطاء، أو أحداث الجلسة

رسائل PFCP المدعومة:

نوع الرسالة	الاتجاه	الغرض
إعداد الارتباط	SMF → UPF	إنشاء ارتباط التحكم PFCP
إصدار الارتباط	SMF → UPF	إنهاء ارتباط PFCP
نبض	ثنائي الاتجاه	الحفاظ على الارتباط نشطًا
إنشاء الجلسة	SMF → UPF	إنشاء جلسة PDU جديدة مع PDR/FAR/QER/URR
تعديل الجلسة	SMF → UPF	تحديث القواعد للحركة، تغييرات QoS
حذف الجلسة	SMF → UPF	إزالة الجلسة وجميع القواعد المرتبطة
تقرير الجلسة	UPF → SMF	تقرير الاستخدام، الأخطاء، أو الأحداث

عناصر المعلومات (IE) المدعومة:

- إنشاء PDR، FAR، QER، URR
- تحديث PDR، FAR، QER، URR
- إزالة PDR، FAR، QER، URR
- معلومات كشف الحزم (عنوان IP للـ UE، F-TEID، مرشح SDF)
- معلمات التوجيه (مثيل الشبكة، إنشاء رأس خارجي)
- معلمات QoS (MBR، GBR، QFI)
- مشغلات تقرير الاستخدام (عتبة الحجم، عتبة الوقت)

للحصول على تفاصيل عمليات PFCP، راجع **دليل عمليات PFCP**.

خادم واجهة برمجة التطبيقات REST

توفر **واجهة برمجة التطبيقات REST** وصولاً برمجياً إلى حالة UPF والعمليات.

الوظائف الأساسية:

- **مراقبة الجلسات**: استعلام عن جلسات PFCP النشطة والارتباطات
- **فحص القواعد**: عرض تكوينات PDR وFAR وQER وURR
- **الإحصائيات**: استرجاع عدادات الحزم، إحصائيات التوجيه، إحصائيات XDP
- **إدارة التخزين المؤقت**: عرض والتحكم في تخزين الحزم
- **معلومات الخريطة**: مراقبة استخدام خريطة eBPF والسعة

نقاط نهاية واجهة برمجة التطبيقات: (34 نقطة نهاية إجمالية)

الفئة	نقاط النهاية	الوصف
الصحة	`/health`	فحص الصحة والحالة
التكوين	`/config`	تكوين UPF
الجلسات	`/pfcp_associations`, `/pfcp_sessions`	بيانات جلسة/ارتباط PFCP
PDRs	`/uplink_pdr_map`, `/downlink_pdr_map`, `/uplink_pdr_map_ip6`, `/downlink_pdr_map_ip6`	قواعد كشف الحزم
FARs	`/far_map`	قواعد إجراءات التوجيه
QERs	`/qer_map`	قواعد إنفاذ QoS
URRs	`/urr_map`	قواعد تقرير الاستخدام
التخزين المؤقت	`/buffer`	حالة التحكم في التخزين المؤقت للحزم
الإحصائيات	`/xdp_stats`, `/route_stats`, `/packet_stats`, `/n3n6_stats`	مقاييس الأداء
السعة	`/map_info`	سعة واستخدام خريطة eBPF
مسار البيانات	`/dataplane_config`	عناوين واجهات N3/ N9

للحصول على تفاصيل واجهة برمجة التطبيقات والاستخدام، راجع **دليل عمليات PFCP** و**دليل المراقبة**.

لوحة التحكم على الويب

توفر **لوحة التحكم على الويب** لوحة معلومات في الوقت الحقيقي لمراقبة وإدارة UPF.

الميزات:

- **عرض الجلسات**: تصفح جلسات PFCP النشطة مع عنوان IP للـ UE وTEID وعدد القواعد
- **إدارة القواعد**: عرض وإدارة PDRs وFARs وQERs وURRs عبر جميع الجلسات
- **مراقبة التخزين المؤقت**: تتبع الحزم المخزنة والتحكم في التخزين المؤقت لكل FAR
- **لوحة إحصائيات**: إحصائيات الحزم والتوجيه وXDP وإحصائيات واجهات N3/N6 في الوقت الحقيقي
- **مراقبة السعة**: استخدام خريطة eBPF مع مؤشرات سعة ملونة
- **عرض التكوين**: عرض تكوين UPF وعناوين مسار البيانات
- **عارض السجلات**: بث السجلات الحية لاستكشاف الأخطاء وإصلاحها

للحصول على عمليات واجهة المستخدم التفصيلية، راجع **د��يل عمليات واجهة الويب**.

بروتوكول PFCP وتكامل SMF

ارتباط PFCP

قبل أن يمكن إنشاء الجلسات، يجب على SMF إنشاء ارتباط PFCP مع UPF.

دورة حياة الارتباط:

نقاط رئيسية:

•يقوم كل SMF بإنشاء ارتباط واحد مع UPF
•يتتبع UPF الارتباط بواسطة معرف العقدة (FQDN أو عنوان IP)
•تحافظ رسائل النبض على نشاط الارتباط
•يتم حذف جميع الجلسات تحت ارتباط إذا تم إصدار الارتباط

لرؤية الارتباطات، راجع عرض الجلسات.

إنشاء جلسة PFCP

عندما يقوم UE بإنشاء جلسة PDU (5G) أو سياق PDP (LTE)، يقوم SMF بإنشاء جلسة PFCP في UPF.

تدفق إنشاء الجلسة:

المحتويات النموذجية للجلسة:

•**PDR الرافعة**: مطابقة عل�TEID N3، التوجيه عبر FAR إلى N6
•**PDR النزول**: مطابقة على عنوان IP للـ UE، التوجيه عبر FAR إلى N3 مع تغليف GTP-U
•**FAR**: معلمات التوجيه (إنشاء رأس خارجي، مثيل الشبكة)
•**QER**: حدود QoS (MBR، GBR) وتعيين العلامات (QFI)
•**URR**: تقرير الحجم للفوترة (اختياري)

لرصد الجلسة، راجع عمليات PFCP.

تعديل جلسة PFCP

يمكن لـ SMF تعديل الجلسات لأحداث الحركة (التبديل)، تغييرات QoS، أو تحديثات الخدمة.

سيناريوهات التعديل الشائعة:

1.**التبديل (استنادًا إلى N2)**

◦تحديث FAR الرافعة مع نقطة نهاية نفق gNB الجديدة (F-TEID)
◦قد يتم تخزين الحزم أثناء تبديل المسار
◦تفريغ التخزين المؤقت إلى المسار الجديد عند الاستعداد

2.**تغيير QoS**

◦تحديث QER مع قيم MBR/GBR الجديدة
◦قد يتم إضافة/إزالة مرشحات SDF في PDR لتحديد QoS الخاص بالتطبيق

3.**تحديث الخدمة**

◦إضافة PDRs جديدة لتدفقات الح��كة الإضافية
◦تعديل FARs لتغييرات التوجيه

تدفق تعديل الجلسة:

لإدارة القواعد، راجع دليل إدارة القواعد.

حذف جلسة PFCP

عندما يتم إصدار جلسة PDU، يقوم SMF بحذف جلسة PFCP في UPF.

تدفق حذف الجلسة:

التنظيف المنفذ:

•تتم إزالة جميع PDRs (الرفع والنزول)
•تتم إزالة جميع FARs وQERs وURRs
•يتم مسح التخزين المؤقت للحزم
•يتم إرسال تقرير الاستخدام النهائي إلى SMF للفوترة

العمليات الشائعة

توفر OmniUPF قدرات تشغيل شاملة من خلال لوحة التحكم القائمة على الويب وواجهة برمجة التطبيقات REST. تغطي هذه القسم المهام التشغيلية الشائعة وأهميتها.

مراقبة الجلسات

فهم جلسات PFCP:

تمثل جلسات PFCP جلسات PDU النشطة لـ UE (5G) أو سياقات PDP (LTE). تحتوي كل جلسة على:

•SEIDs المحلية والبعيدة (معرفات نقطة النهاية للجلسة)
•PDRs لتصنيف الحزم
•FARs لقرارات التوجيه
•QERs لإنفاذ QoS (اختياري)
•URRs لتتبع الاستخدام (اختياري)

العمليات الرئيسية ل��جلسة:

- **عرض جميع الجلسات** مع عناوين IP للـ UE وTEIDs وعدد القواعد
- **تصفية الجلسات** حسب عنوان IP أو TEID
- **فحص تفاصيل الجلسة** بما في ذلك تكوينات PDR/FAR/QER/URR الكاملة
- **مراقبة عدد الجلسات** لكل ارتباط PFCP

للحصول على إجراءات الجلسة التفصيلية، راجع عرض الجلسات.

إدارة القواعد

قواعد كشف الحزم (PDR):

تحدد PDRs الحزم التي تطابق تدفقات الحركة المحددة. يمكن للمشغلين:

- **عرض PDRs الرافعة** المفاتيح بواسطة TEID من واجهة N3
- **عرض PDRs النزول** المفاتيح بواسطة عنوان IP للـ UE (IPv4 وIPv6)
- **فحص مرشحات SDF** لتصنيف الحركة الخاصة بالتطبيق
- **مراقبة عدد PDRs** واستخدام السعة

قواعد إجراءات التوجيه (FAR):

تحدد FARs ما يجب فعله مع الحزم المطابقة. يمكن للمشغلين:

- **عرض إجراءات FAR** (توجيه، إسقاط، تخزين، تكرار، إعلام)
- **فحص معلمات التوجيه** (إنشاء رأس خارجي، الوجهة)
- ** راقبة حالة التخزين المؤقت** لكل FAR
- **تبديل التخزين المؤقت** لقواعد FAR محددة أثناء استكشاف الأخطاء وإصلاحها

قواعد إنفاذ QoS (QER):

تطبق QERs حدود النطاق الترددي وتعيين العلامات. يمكن للمشغلين:

- **عرض معلمات QoS** (MBR، GBR، ميزانية تأخير الحزم)
- **مراقبة QERs النشطة** لكل جلسة
- **فحص تعيينات QFI** لتدفقات QoS 5G

قواعد تقرير الاستخدام (URR):

تتبع URRs أحجام البيانات لأغراض الفوترة. يمكن للمشغلين:

- **عرض عدادات الحجم** (الرفع، النزول، إجمالي البايتات)
- **مراقبة عتبات الاستخدام** ومحفزات التقرير
- **فحص URRs النشطة** عبر جميع الجلسات

لعمليات القواعد، راجع دليل إدارة القواعد.

تخزين الحزم

لماذا يعتبر التخزين مؤثرًا في UPF

يعد تخزين الحزم واحدة من أهم وظائف UPF لأنه يمنع فقدان الحزم أثناء أحداث الحركة وإعادة تكوين الجلسات. بدون التخزين، سيو��جه المستخدمون المحمولون اتصالات مفقودة، وتنزيلات متقطعة، وفشل في الاتصالات في الوقت الحقيقي في كل مرة ينتقلون فيها بين أبراج الخلايا أو عندما تتغير ظروف الشبكة.

المشكلة: فقدان الحزم أثناء الحركة

في الشبكات المحمولة، يتحرك المستخدمون باستمرار. عندما ينتقل جهاز من برج خلية إلى آخر (التبديل)، أو عندما يحتاج الشبكة إلى إعادة تكوين مسار البيانات، هناك نافذة حرجة حيث تكون الحزم في الطيران ولكن المسار الجديد ليس جاهزًا بعد:

بدون التخزين: الحزم التي تصل خلال هذه النافذة الحرجة ستُفقد، مما يتسبب في:

- **توقف اتصالات TCP** أو إعادة تعيينها (تصفح الويب، انقطاع التنزيلات)
- **تجمد مكالمات الفيديو** أو انقطاعها (فشل مكالمات Zoom وTeams وWhatsApp)
- **قطع جلسات الألعاب** (فشل الألعاب عبر الإنترنت، التطبيقات في الوقت الحقيقي)
- **فقدان مكالمات VoIP** أو انقطاعها تمامًا (انقطاع المكالمات الهاتفية)
- **فشل التنزيلات** وضرورة إعادة البدء

مع التخزين: تقوم OmniUPF مؤقتًا بتخزين الحزم حتى يتم إنشاء المسار الجديد، ثم تقوم بتوجيهها بسلاسة. يختبر المستخدم **عدم وجود انقطاع**.

متى يحدث التخزين

تقوم OmniUPF بتخزين الحزم في هذه السيناريوهات الحرجة:

1. التبديل المعتمد على N2 (5G) / التبديل المعتمد على X2 (4G)

عندما يتحرك UE بين أبراج الخلايا:

الجدول الزمني:

- **T+0ms**: لا يزال المسار ��لقديم نشطًا
- **T+10ms**: يخبر SMF UPF بالتخزين (المسار القديم يغلق، المسار الجديد غير جاهز)
- **T+10-50ms**: **نافذة التخزين الحرجة** - تصل الحزم ولكن لا يمكن توجيهها
- **T+50ms**: المسار الجديد جاهز، يخبر SMF UPF بالتوجيه
- **T+50ms+**: يقوم UPF بتفريغ الحزم المخزنة إلى المسار الجديد، ثم يوجه الحزم الجديدة على الفور

بدون التخزين: ~40ms من الحزم (ربما آلاف) ستُفقد. **مع التخزين**: لا فقدان للحزم، تبديل سلس.

---

2. تعديل الجلسة (تغيير QoS، تحديث المسار)

عندما تحتاج الشبكة إلى تغيير معلمات الجلسة:

- **ترقية/خفض QoS**: ينتقل المستخدم من تغطية 4G إلى 5G (وضع NSA)
- **تغيير السياسة**: يدخل المستخدم المؤسسي إلى الحرم الجامعي (تغييرات توجيه الحركة)
- **تحسين الشبكة**: يعيد النواة توجيه الحركة إلى UPF أقرب (تحديث ULCL)

أثناء التعديل، قد تحتاج طائرة التحكم إلى تحديث قواعد متعددة بشكل ذري. يضمن التخزين عدم توجيه الحزم مع مجموعات قواعد جزئية/غير متسقة.

---

3. إشعار بيانات النزول (استعادة وضع الخمول)

عندما يكون UE في وضع الخمول (إيقاف الشاشة، توفير الطاقة) وتصل بيانات النزول:

بدون التخزين: ستُفقد الحزمة الأولية التي أثارت الإشعار، مما يتطلب من المرسل إعادة الإرسال (يضيف زمن استجابة). **مع التخزين**: يتم تسليم الحزمة التي أيقظت UE على الفور عند إعادة الاتصال.

---

4. التبديل بين RAT (4G ↔ 5G)

عندما يتحرك UE بين تغطية 4G و5G:

- تتغير البنية (eNodeB ↔ gNB)
- تتغير نقاط نهاية النفق (تخصيص TEID مختلفة)
- يضمن التخزين انتقال سلس بين أنواع RAT

كيف يعمل التخزين في OmniUPF

الآلية الفنية:

تستخدم OmniUPF **معمارية تخزين من مرحلتين**:

1. **مرحلة eBPF (النواة)**: تكشف الحزم التي تتطلب التخزين بناءً على أعلام إجراءات FAR
2. **مرحلة مساحة المستخدم**: تخزن وتدير الحزم المخزنة في الذاكرة

عملية التخزين:

تفاصيل رئيسية:

- **منفذ التخزين المؤقت**: منفذ UDP 22152 (الحزم المرسلة من eBPF إلى مساحة المستخدم)
- **التغليف**: يتم تغليف الحزم في GTP-U مع معرف FAR كـ TEID
- **التخزين**: تخزين في الذاكرة لكل FAR مع بيانات التعريف (تاريخ ووقت، اتجاه، حجم الحزمة)
- **الحدود**:

◦حد لكل FAR: 10,000 حزمة (افتراضي)
◦حد عالمي: 100,000 حزمة عبر جميع FARs
◦TTL: 30 ثانية (افتراضي) - يتم التخلص من الحزم الأقدم من TTL
•**التنظيف**: عملية خلفية تزيل الحزم المنتهية الصلاحية كل 60 ثانية

دورة حياة التخزين:

1. **تمكين التخزين**: يقوم SMF بتعيين إجراء FAR BUFF=1 (بت 2) عبر طلب تعديل جلسة PFCP
2. **تخزين الحزم**: تكشف eBPF عن علم BUFF، تغلف الحزم، ترسل إلى المنفذ 22152
3. **تخزين مساحة المستخدم**: يقوم مدير التخزين بتخزين الحزم مع معرف FAR، تاريخ ووقت، اتجاه
4. **تعطيل التخزين**: يقوم SMF بتعيين إجراء FAR FORW=1، BUFF=0 مع معلمات التوجيه الجديدة
5. **تفريغ التخزين المؤقت**: يعيد مساحة المستخدم تشغيل الحزم المخزنة باستخدام قواعد FAR الجديدة (نقطة نهاية النفق الجديدة)
6. **استئناف الوضع الطبيعي**: يتم توجيه الحزم الجديدة على الفور عبر المسار الجديد

لماذا يهم هذا لتجربة المستخدم

الأثر في العالم الحقيقي:

السيناريو	بدون تخزين	مع التخزين
مك��لمة فيديو أثناء التبديل	تتجمد المكالمة لمدة 1-2 ثانية، قد تنقطع	سلس، لا انقطاع
تنزيل ملف عند حافة الخلية	يفشل التنزيل، يجب إعادة البدء	يستمر التنزيل دون انقطاع
لعب الألعاب عبر الإنترنت أثناء الحركة	تنقطع الاتصال، يتم طردك من اللعبة	لعبة سلسة، لا انقطاعات
مكالمة VoIP في السيارة	تنقطع المكالمة في كل تبديل	واضحة تمامًا، لا انقطاعات
بث الفيديو على القطار	يتوقف الفيديو، تنخفض الجودة	تشغيل سلس
نقطة ساخنة محمولة للكمبيوتر المحمول	تنقطع جلسة SSH، تفشل مكالمة الفيديو	يتم الحفاظ على جميع الاتصالات

فوائد مشغل الشبكة:

•**تقليل معدل انقطاع المكالمات (CDR)**: KPI حرج لجودة الشبكة
•**زيادة رضا العملاء**: لا يلاحظ المستخدمون التبديلات
•**تقليل تكاليف الدعم**: عدد أقل من الشكاوى حول الاتصالات المفقودة
•**ميزة تنافسية**: تسوي�� "أفضل شبكة للتغطية"

عمليات إدارة التخزين

يمكن للمشغلين مراقبة والتحكم في التخزين عبر واجهة الويب وواجهة برمجة التطبيقات:

المراقبة:

- **عرض الحزم المخزنة** لكل معرف FAR (العدد، البايتات، العمر)
- **تتبع استخدام التخزين** مقابل الحدود (لكل FAR، عالمي)
- **تنبيه عند تجاوز التخزين** أو مدة التخزين المفرطة
- **تحديد التخزين العالق** (الحزم المخزنة > عتبة TTL)

عمليات التحكم:

- **تفريغ التخزين المؤقت**: بدء تشغيل تفريغ التخزين المؤقت يدويًا (استكشاف الأخطاء وإصلاحها)
- **مسح التخزين المؤقت**: التخلص من الحزم المخزنة (تنظيف التخزين العالق)
- **تعديل TTL**: تغيير وقت انتهاء صلاحية الحزم
- **تعديل الحدود**: زيادة سعة التخزين لكل FAR أو عالمي

استكشاف الأخطاء وإصلاحها:

- **التخزين لا يتفريغ**: تحقق مما إذا كان SMF قد أرسل تحديث FAR لتعطيل التخزين
- **تجاوز التخزين**: زيادة الحدود أو التحقيق في سبب مدة التخزين المفرطة
- **الحزم القديمة في التخزين**: قد يكون TTL مرتفعًا جدًا، أو تأخر تحديث FAR
- **التخزين المفرط**: قد يشير إلى مشاكل في الحركة أو مشاكل في SMF

للحصول على عمليات التخزين التفصيلية، راجع دليل إدارة التخزين.

تكوين التخزين

يمكن تكوين سلوك التخزين في config.yml:

```
# إعدادات التخزين
buffer_port: 22152                # منفذ UDP للحزم المخزنة (افتراضي)
buffer_max_packets: 10000         # الحد الأقصى للحزم لكل FAR (تجنب استنفاد الذاكرة)
buffer_max_total: 100000          # الحد الأقصى للحزم الإجمالية عبر جميع FARs
buffer_packet_ttl: 30             # TTL بالثواني (التخلص من الحزم القديمة)
buffer_cleanup_interval: 60       # فترة التنظيف بالثواني
```

التوصيات:

- **الشبكات عالية الحركة** (الطرق السريعة، القطارات): زيادة buffer_max_packets إلى +20,000
- **المناطق الحضرية الكثيفة** (التبديلات المتكررة): تقليل buffer_packet_ttl إلى 15s
- **التطبيقات ذات زمن الاستجابة المنخفض**: تعيين buffer_packet_ttl إلى 10s لمنع البيانات القديمة
- **شبكات IoT**: تقليل الحدود (تولد أجهزة IoT حركة مرور أقل أثناء التبديل)

للحصول على خيارات التكوين الكاملة، راجع دليل التكوين.

الإحصائيات والمراقبة

إحصائيات الحزم:

مقاييس معالجة الحزم في الوقت الحقيقي بما في ذلك:

- **حزم RX**: إجمالي الحزم المستلمة من جميع الواجهات
- **حزم TX**: إجمالي الحزم المرسلة إلى جميع الواجهات
- **الحزم المفقودة**: الحزم التي تم إسقاطها بسبب الأخطاء أو السياسة
- **حزم GTP-U**: عدد الحزم المعبأة

إحصائيات التوجيه:

مقاييس التوجيه لكل مسار:

- **ضربات المسار**: الحزم المطابقة لكل مسار
- **عدد التوجيه**: النجاح/الفشل لكل وجهة
- **عدادات الأخطاء**: TEIDs غير صالحة، عناوين IP غير معروفة للـ UE

إحصائيات XDP:

مقاييس أداء eXpress Data Path:

- **XDP المعالجة**: الحزم التي تم التعامل معها على مستوى XDP
- **XDP الممررة**: الحزم المرسلة إلى كومة الشبكة
- **XDP المفقودة**: الحزم التي تم إسقاطها على مستوى XDP
- **XDP الملغاة**: أخطاء المعالجة

إحصائيات واجهة N3/N6:

عدادات حركة المرور لكل واجهة:

- **N3 RX/TX**: حركة المرور من/إلى RAN (gNB/eNodeB)
- **N6 RX/TX**: حركة المرور من/إلى شبكة البيانات
- **إجمالي عدد الحزم**: إحصائيات واجهة مجمعة

للحصول على تفاصيل المراقبة، راجع دليل المراقبة.

إدارة السعة

مراقبة سعة خريطة eBPF:

يعتمد أداء UPF على سعة خريطة eBPF. يمكن للمشغلين:

- **مراقبة استخدام الخريطة** مع مؤشرات النسبة في الوقت الحقيقي
- **عرض حدود السعة** لكل خريطة eBPF
- **تنبيهات ملونة**:

◦الأخضر (<50%): التشغيل العادي
◦الأصفر (50-70%): حذر
◦العنبر (70-90%): تحذير
◦الأحمر (>90%): حر��ة

خرائط حاسمة للمراقبة:

•uplink_pdr_map: تصنيف الحركة الرافعة
•downlink_pdr_map: تصنيف الحركة النزول IPv4
•far_map: قواعد التوجيه
•qer_map: قواعد QoS
•urr_map: تتبع الاستخدام

تخطيط السعة:

•تستهلك كل PDR إدخال خريطة واحد (حجم المفتاح + حجم القيمة)
•يتم تكوين سعة الخريطة عند بدء تشغيل UPF (حدود ذاكرة النواة)
•يؤدي تجاوز السعة إلى فشل إنشاء الجلسات

للحصول على مراقبة السعة، راجع إدارة السعة.

إدارة التكوين

تكوين UPF:

عرض والتحقق من معلمات التشغيل لـ UPF:

•**واجهة N3**: عنوان IP للاتصال بـ RAN (GTP-U)
•**واجهة N6**: عنوان IP للاتصال بشبكة البيانات
•**واجهة N9**: عنوان IP للاتصال بين UPF (اختياري)
•**واجهة PFCP**: عنوان IP للاتصال بـ SMF
•**منفذ واجهة برمجة التطبيقات**: منفذ واجهة برمجة التطبيقات REST
•**نقطة نهاية المقاييس**: منفذ مقاييس Prometheus

تكوين مسار البيانات:

معلمات مسار eBPF النشطة:

•**عنوان N3 النشط**: ربط واجهة N3 في وقت التشغيل
•**عنوان N9 النشط**: ربط واجهة N9 في وقت التشغيل (إذا تم تمكينه)

لرؤية التكوين، راجع عرض التكوين.

استكشاف الأخطاء وإصلاحها

تغطي هذه القسم المشكلات التشغيلية الشائعة واستراتيجيات الحل.

فشل إنشاء الجلسات

الأعراض: تفشل جلسات PFCP في الإنشاء، لا يمكن لـ UE إنشاء اتصال بيانات

الأسباب الجذرية الشائعة:

1. **لم يتم إنشاء ارتباط PFCP**

- تحقق من إمكانية وصول SMF إلى واجهة PFCP لـ UPF (المنفذ 8805)
- تحقق من حالة ارتباط PFCP في عرض الجلسات
- تحقق من تطابق تكوين معرف العقدة بين SMF وUPF

2. **استنفاد سعة خريطة eBPF**

- تحقق من عرض السعة للخرائط ذات الاستخدام الأحمر (>90%)
- زيادة أحجام خرائط eBPF في تكوين UPF
- حذف الجلسات القديمة إذا كانت الخريطة ممتلئة

3. **تكوين PDR/FAR غير صالح**

- تحقق من أن عنوان IP للـ UE فريد وصالح
- تحقق من عدم تعارض تخصيص TEID
- تأكد من أن FAR تشير إلى مثيلات الشبكة الصالحة

4. **مشكلات تكوين الواجهة**

- تحقق من أن عنوان واجهة N3 قابل للوصول من gNB
- تحقق من جداول التوجيه لتوصيل N6 بشبكة البيانات
- تأكد من عدم حظر حركة GTP-U بواسطة جدار الحماية

للحصول على استكشاف الأخطاء التفصيلية، راجع دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها.

فقدان الحزم أو مشكلات التوجيه

الأعراض: يمتلك UE الاتصال ولكنه يعاني من فقدان الحزم أو عدم تدفق الحركة

الأسباب الجذرية الشائعة:

1. **تكوين PDR غير صحيح**

- تحقق من أن TEID الرافعة يتطابق مع TEID المعين من gNB
- تحقق من أن PDR النزول يتطابق مع عنوان IP المعين
- تحقق من مرشحات SDF لقواعد مفرطة التقييد

2. **مشكلات إجراء FAR**

- تحقق من أن إجراء FAR هو FORWARD (ليس DROP أو BUFFER)

- تحقق من معلمات إنشاء الرأس الخارجي لـ GTP-U
- تأكد من أن نقطة النه��ية الوجهة صحيحة

3. **تجاوز حدود QoS**

- تحقق من إعدادات QER MBR (معدل البت الأقصى)
- تحقق من تخصيص GBR (معدل البت المضمون)
- راقب فقدان الحزم بسبب تحديد المعدل

4. **مشكلات MTU للواجهة**

- تحقق من أن الحمل الزائد لـ GTP-U (40-50 بايت) لا يتسبب في تجزئة
- تحقق من تكوين MTU لواجهات N3/N6
- راقب رسائل ICMP المطلوبة للتجزئة

مشكلات التخزين

الأعراض: الحزم مخزنة إلى أجل غير مسمى، تجاوز التخزين

الأسباب الجذرية الشائعة:

1. **لم يتم تعطيل التخزين بعد التبديل**

- تحقق من علم تخزين FAR (بت 2)
- تحقق من أن SMF أرسل طلب تعديل الجلسة لتعطيل التخزين
- قم بتعطيل التخزين يدويًا عبر لوحة التحكم إذا كانت عالقة

2. **انتهاء صلاحية TTL للتخزين**

- تحقق من عمر الحزم في عرض التخزين
- تحقق من تكوين TTL للتخزين (قد يكون الافتراضي طويلًا جدًا)
- قم بمسح التخزين المنتهي يدويًا

3. **استنفاد سعة التخزين**

- راقب استخدام التخزين الإجمالي والحدود لكل FAR
- تحقق من القواعد المكونة بشكل غير صحيح التي تسبب تخزينًا مفرطًا
- اضبط الحدود القصوى لكل FAR أو سعة التخزين العالمية

لإصلاح مشكلات التخزين، راجع عمليات التخزين.

شذوذ الإحصائيات

الأعراض: عدادات الحزم غير المتوقعة، إحصائيات مفقودة

الأسباب الجذرية الشائعة:

1. **تجاوز العدادات**

   - تستخدم خرائط eBPF عدادات 64 بت (يجب ألا تتجاوز)
   - تحقق من أحداث إعادة تعيين العدادات في السجلات
   - تحقق من أن تقرير URR يعمل

2. **إحصائيات المسار لا تتحدث**

   - تحقق من أن برنامج eBPF متصل بالواجهات
   - تحقق من أن إصدار النواة يدعم ميزات eBPF المطلوبة
   - راجع إحصائيات XDP لأخطاء المعالجة

3. **عدم تطابق إحصائيات الواجهة**

   - قارن إحصائيات N3/N6 مع عدادات واجهة النواة
   - تحقق من أن حركة المرور تتجاوز eBPF (مثل التوجيه المحلي)
   - تحقق من أن جميع حركة المرور تمر عبر خطافات XDP

تدهور الأداء

الأعراض: زمن استجابة مرتفع، انخفاض في الإنتاجية، تشبع وحدة المعالجة المركزية

التشخيص:

1. **راقب إحصائيات XDP**: تحقق من التخفيضات أو الإلغاءات في XDP
2. **تحقق من وقت وصول خريطة eBPF**: يجب أن تكون عمليات البحث في التجزئة دون ميكروثانية
3. **راجع استخدام وحدة المعالجة المركزية**: يجب أن يتوزع eBPF عبر النوى
4. **حلل واجهة الشبكة**: تحقق من أن NIC يدعم تحميل XDP

اعتبارات القابلية للتوسع:

- **أداء XDP**: 10M+ حزمة في الثانية لكل نواة
- **سعة PDR**: ملايين من PDRs محدودة فقط بواسطة ذاكرة النواة
- **عدد الجلسات**: آلاف من الجلسات المتزامنة لكل حالة UPF
- **الإنتاجية**: إنتاجية متعددة الجيجابت مع تحميل NIC المناسب

لتحسين الأداء، راجع دليل الهندسة المعمارية.

وثائق إضافية

أدلة العمليات الخاصة ��المكونات

للحصول على عمليات تفصيلية واستكشاف الأخطاء وإصلاحها لكل مكون من مكونات UPF:

دليل التكوين

مرجع التكوين الكامل بما في ذلك:

- معلمات التكوين (YAML، متغيرات البيئة، CLI)
- أوضاع التشغيل (UPF/PGW-U/SGW-U)
- نظرة عامة على أوضاع التعلق XDP
- توافق المحاكيات (Proxmox، VMware، KVM، Hyper-V، VirtualBox)
- توافق NIC ودعم برنامج تشغيل XDP
- أمثلة التكوين لسيناريوهات مختلفة
- تخطيط السعة وحجم الخريطة

دليل أوضاع XDP

تكوين وتحسين XDP التفصيلي بما في ذلك:

- شرح أوضاع التعلق XDP (عام/محلي/تحميل)
- مقارنة الأداء والمعايير
- إعداد XDP الأصلي على Proxmox VE خطوة بخطوة
- تكوين متعدد الصفوف لتحقيق الأداء الأمثل
- إعداد XDP على VMware ESXi وKVM وHyper-V
- التحقق من XDP واستكشاف الأخطاء وإصلاحها
- اختيار الأجهزة لأداء XDP

دليل الهندسة المعمارية

غوص تقني عميق بما في ذلك:

- أساسيات تقنية eBPF ودورة حياة البرنامج
- خط معالجة الحزم لـ XDP مع استدعاءات ذيل
- تنفيذ بروتوكول PFCP
- بنية التخزين (تغليف GTP-U إلى المنفذ 22152)
- تحديد معدل QoS (نافذة 5ms)
- خصائص الأداء (زمن استجابة 3.5µs، 10 Mpps/core)

دليل إدارة القواعد

مرجع قواعد PFCP بما في ذلك:

- قواعد كشف الحزم (PDR) - تصنيف الحركة
- قواعد إجراءات التوجيه (FAR) - قرارات التوجيه مع أعلام الإجراءات
- قواعد إنفاذ QoS (QER) - إدارة النطاق الترددي (MBR/GBR)
- قواعد تقرير الاستخدام (URR) - تتبع وتقارير الحجم
- مخططات تدفق الحزم الرافعة والنزول
- منطق معالجة القواعد والأسبقية

دليل المراقبة

الإحصائيات وإدارة السعة بما في ذلك:

- إحصائيات واجهة N3/N6 وحركة المرور
- إحصائيات معالجة XDP (تمرير/إسقاط/إعادة توجيه/إلغاء)
- مراقبة سعة خريطة eBPF مع مناطق ملونة
- مقاييس الأداء (معدل الحزم، الإنتاجية، معدل الفقد)
- صيغ تخطيط السعة وتقدير الجلسات
- عتبات التنبيه وأفضل الممارسات

دليل واجهة الويب

استخدام لوحة التحكم بما في ذلك:

- نظرة عامة على لوحة المعلومات والتنقل
- مراقبة الجلسات (الحالات الصحية/غير الصحية)
- فحص القواعد (تفاصيل PDR وFAR وQER وURR)
- مراقبة التخزين المؤقت وحالة التخزين المؤقت للحزم
- لوحة إحصائيات في الوقت الحقيقي
- تصور استخدام خريطة eBPF
- عرض التكوين

توثيق واجهة برمجة التطبيقات

مرجع واجهة برمجة التطبيقات REST الكامل بما في ذلك:

- توثيق OpenAPI/Swagger التفاعلي
- نقاط نهاية جلسات PFCP والارتباطات
- قواعد كشف الحزم (PDR) - IPv4 وIPv6
- قواعد إجراءات التوجيه (FAR)
- قواعد إنفاذ QoS (QER)
- قواعد تقرير الاستخدام (URR)
- إدارة التخزين المؤقت للحزم
- إحصائيات المراقبة
- إدارة المسار والتكامل مع FRR
- معلومات خريطة eBPF
- إدارة التكوين
- إرشادات المصادقة والأمان
- سير العمل الشائعة وأمثلة الاستخدام

دليل إدارة مسارات UE

تكامل توجيه FRR بما في ذلك:

- نظرة عامة على FRR (التوجيه الحر) والهندسة المعمارية
- دورة حياة مزامنة مسار UE
- مزامنة المسار التلقائية إلى خادم التوجيه

- الإعلان عن المسار عبر OSPF وBGP
- مراقبة الجوار OSPF
- التحقق من قاعدة بيانات LSA الخارجية لـ OSPF
- إدارة جلسة نظير BGP
- واجهة مراقبة المسار في واجهة الويب
- عمليات مزامنة المسار اليدوية
- مخططات Mermaid لتدفق المسار والهندسة المعمارية

دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها

تشخيص شامل للمشكلات بما في ذلك:

- قائمة فحص تشخيصية سريعة والأدوات
- مشكلات التثبيت والتكوين
- فشل ارتباط PFCP
- مشكلات معالجة الحزم
- أخطاء XDP وeBPF
- تدهور الأداء
- مشكلات خاصة بالمحاكيات (Proxmox، VMware، VirtualBox)
- مشكلات NIC وبرنامج التشغيل
- إجراءات الحل خطوة بخطوة

الوثائق حسب حالة الاستخدام

تثبيت وتكوين OmniUPF

1. ابدأ مع هذا الدليل للنظرة العامة
2. دليل التكوين لإعداد المعلمات
3. دليل واجهة الويب للوصول إلى لوحة التحكم

نشر SGWU+PGWU على حالة واحدة (N9 Loopback)

1. دليل عمليات N9 Loopback - دليل كامل لنشر SGWU+PGWU المجمّع
2. N9 Loopback - التكوين - إعداد الشبكة وPFCP
3. N9 Loopback - المراقبة - تحقق من أن loopback نشط
4. N9 Loopback - استكشاف الأخطاء وإصلاحها - المشكلات الشائعة والحلول

النشر على Proxmox

1. دليل أوضاع XDP - إعداد XDP الأصلي على Proxmox - **ابدأ هنا للأداء**
2. دليل التكوين - توافق المحاكيات
3. دليل التكوين - إعداد SR-IOV على Proxmox
4. استكشاف الأخطاء - مشكلات Proxmox

تحسين الأداء

1. دليل أوضاع XDP - **قم بتمكين XDP الأصلي لزيادة الأداء من 5 إلى 10 أضعاف**
2. دليل الهندسة المعمارية - تحسين الأداء
3. دليل التكوين - أوضاع XDP
4. دليل المراقبة - مقاييس الأداء
5. استكشاف الأخطاء - مشكلات الأداء

فهم معالجة الحزم

1. دليل الهندسة المعمارية - خط معالجة الحزم
2. دليل إدارة القواعد
3. دليل المراقبة - الإحصائيات

تخطيط السعة

1. دليل التكوين - حجم الخريطة
2. دليل المراقبة - تخطيط السعة
3. دليل المراقبة - تقدير سعة الجلسة

إدارة مسارات UE وتكامل FRR

1. دليل إدارة مسارات UE - دليل كامل لتكامل التوجيه
2. توثيق واجهة برمجة التطبيقات - إدارة المسار - نقاط نهاية واجهة برمجة التطبيقات للمسار
3. دليل واجهة الويب - عمليات صفحة المسارات
4. إدارة مسار UE - التحقق من FRR -

دليل معمارية OmniUPF

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. أساسيات تقنية eBPF
3. مسار بيانات XDP
4. خط معالجة الحزم
5. معمارية خريطة eBPF
6. آلية التخزين المؤقت
7. فرض جودة الخدمة
8. خصائص الأداء
9. قابلية التوسع والضبط

نظرة عامة

تستفيد OmniUPF من eBPF (مرشح الحزم الممتد من بيركلي) وXDP (مسار البيانات السريع) لتحقيق أداء من مستوى الناقل لمعالجة حزم 5G/LTE. من خلال تشغيل منطق معالجة الحزم مباشرة في نواة لينكس، تقضي OmniUPF على عبء معالجة مساحة المستخدم وتحقق من خلال ذلك إنتاجية متعددة الجيجابت مع زمن تأخير بالميكروثانية.

طبقات ال��عمارية

المبادئ الأساسية للتصميم

معالجة بدون نسخ:

- تتم معالجة الحزم بالكامل في مساحة النواة
- لا توجد نسخ للبيانات بين النواة ومساحة المستخدم
- التلاعب المباشر بالحزم باستخدام XDP

هياكل بيانات بدون قفل:

- تستخدم خرائط eBPF جداول تجزئة لكل وحدة معالجة مركزية
- عمليات ذرية للوصول المتزامن
- لا توجد تكاليف إضافية من mutex/spinlock

جاهز لتحميل الأجهزة:

- وضع التحميل XDP يدعم تنفيذ SmartNIC
- متوافق مع بطاقات الشبكة التي تدعم XDP
- العودة إلى أوضاع السائق الأصلية أو العامة

أساسيات تقنية eBPF

ما هو eBPF؟

eBPF (مرشح الحزم الممتد من بيركلي) هو تقنية ثورية في نواة لينكس تسمح بتشغيل برامج آمنة ومحمية في مساحة النواة دون تغيير كود مصدر النواة أو تحميل وحدات النواة.

الميزات الرئيسية:

- **الأمان**: يضمن مدقق eBPF أن البرامج لا يمكن أن تتسبب في تعطل النواة
- **الأداء**: تعمل بسرعة النواة الأصلية (بدون تكاليف تفسير)
- **المرونة**: يمكن تحديثها أثناء التشغيل دون إعادة تشغيل النواة
- **قابلية الملاحظة**: تتبع وإحصائيات مدمجة

دورة حياة برنامج eBPF

خرائط eBPF

خرائط eBPF هي هياكل بيانات في النواة مشتركة بين برامج eBPF ومساحة المستخدم.

أنواع الخرائط المستخدمة في OmniUPF:

نوع الخريطة	الوصف	حالة الاستخدام
BPF_MAP_TYPE_HASH	جدول تجزئة مع أزواج مفتاح-قيمة	بحث PDR بواسطة TEID أو UE IP
BPF_MAP_TYPE_ARRAY	مصفوفة مفهرسة بواسطة عدد صحيح	بحث QER، FAR، URR بواسطة ID
BPF_MAP_TYPE_PERCPU_HASH	جدول تجزئة لكل وحدة معالجة مركزية (بدون قفل)	بحث PDR عالي الأداء
BPF_MAP_TYPE_LRU_HASH	تجزئة LRU (الأقل استخدامًا مؤخرًا)	الإخلاء التلقائي للمدخلات القديمة

عمليات الخريطة:

- **بحث**: O(1) بحث تجزئة (تحت الميكروثانية)
- **تحديث**: تحديثات ذرية من مساحة المستخدم
- **حذف**: إزالة فورية للمدخلات
- **تكرار**: عمليات دفعة لتفريغ الخرائط

مسار بيانات XDP

نظرة عامة على XDP

XDP (مسار البيانات السريع) هو نقطة ربط في نواة لينكس تسمح لبرامج eBPF بمعالجة الحزم في أقرب نقطة ممكنة - مباشرة بعد أن تستقبلها سائق الشبكة، قبل كومة الشبكة في النواة.

أوضاع إرفاق XDP

تدعم OmniUPF ثلاثة أوضاع لإرفاق XDP، كل منها له خصائص أداء وتوافق مختلفة.

1. وضع التحميل XDP

تنفيذ الأجهزة (أفضل أداء):

- يعمل برنامج eBPF مباشرة على أجهزة SmartNIC
- معالجة الحزم في NIC دون لمس وحدة المعالجة المركزية
- يحقق إنتاجية تزيد عن 100 جيجابت في الثانية
- يتطلب SmartNIC متوافق (Netronome، Mellanox ConnectX-6)

التكوين:

```
xdp_attach_mode: offload
```

القيود:

- يتطلب أجهزة SmartNIC باهظة الثمن
- تعقيد برنامج eBPF محدود
- ليست جميع ميزات eBPF مدعومة في الأجهزة

---

2. الوضع الأصلي XDP (الافتراضي للإنتاج)

تنفيذ مستوى السائق (أداء عالي):

- يعمل برنامج eBPF في سياق سائق الشبكة
- تتم معالجة الحزم قبل تخصيص SKB (حزمة المقبس)
- يحقق 10-40 جيجابت في الثانية لكل نواة
- يتطلب سائقًا يدعم XDP (معظم ا��سائقين الحديثين)

التكوين:

```
xdp_attach_mode: native
```

المزايا:

- أداء عالي جدًا (ملايين الحزم في الثانية)
- توافق واسع مع الأجهزة
- مجموعة كاملة من ميزات eBPF

السائقون المدعومون:

- إنتل: i40e، ice، ixgbe، igb
- ميلانوكس: mlx4، mlx5
- برودكوم: bnxt

•أمازون: ena
•معظم بطاقات الشبكة 10G+

---

3. الوضع العام XDP

محاكاة برمجية (التوافق):

•يعمل برنامج eBPF بعد أن تخصص النواة SKB
•محاكاة برمجية لسلوك XDP
•يعمل على أي واجهة شبكة
•مفيد للاختبار والتطوير

التكوين:

```
xdp_attach_mode: generic
```

حالات الاستخدام:

•التطوير والاختبار
•البيئات الافتراضية (آلات افتراضية بدون SR-IOV)
•الأجهزة الشبكية القديمة
•اختبار واجهة الحلقة

الأداء: 1-5 جيجابت في الثانية (أبطأ بكثير من الأصلي/التحميل)

رموز إرجاع XDP

ترجع برامج eBPF رموز إجراءات XDP لإخبار النواة بما يجب فعله مع الحزم:

رمز الإرجاع	المعنى	الاستخدام في OmniUPF
XDP_PASS	إرسال الحزمة إلى كومة الشبكة في النواة	التخزين المؤقت (التسليم المحلي)، ICMP، حركة المرور غير المعروفة
XDP_DROP	إسقاط الحزمة على الفور	حزم غير صالحة، تحديد المعدل، إسقاطات السياسة
XDP_TX	إرسال الحزمة مرة أخرى عبر نفس الواجهة	غير مستخدم حاليًا
XDP_REDIRECT	إرسال الحزمة إلى واجهة مختلفة	مسار التوجيه الرئيسي (N3 ↔ N6)
XDP_ABORTED	خطأ في المعالجة، إسقاط الحزمة وتسجيلها	أخطاء برنامج eBPF

خط معالجة الحزم

هيكل البرنامج

تستخدم OmniUPF استدعاءات ذيل eBPF لإنشاء خط معالجة حزم معياري.

استدعاءات الذيل:

- تسمح لبرامج eBPF باستدعاء برامج eBPF أخرى
- تعيد استخدام نفس إطار المكدس (عمق مكدس محدود)
- تمكّن تصميم خط أنابيب معياري
- الحد الأقصى لعمق استدعاء الذيل 33

معالجة حزم الرفع

معالجة حزم النزول

معمارية خريطة eBPF

تخطيط ذاكرة الخريطة

حجم الخريطة

تقو�ّ OmniUPF تلقائيًا بحساب أحجام الخرائط بناءً على تكوين max_sessions:

```
PDR = 2 × max_sessions  (uplink + downlink) خرائط
FAR = 2 × max_sessions  (uplink + downlink) خرائط
QER = 1 × max_sessions  (مشاركة لكل جلسة) خرائط
URR = 3 × max_sessions  (عدة URRs لكل جلسة) خرائط
```

مثال (max_sessions = 65,535):

- خرائط PDR: 131,070 إدخال لكل منها
- خريطة FAR: 131,070 إدخال
- خريطة QER: 65,535 إدخال
- خريطة URR: 131,070 إدخال

إجمالي الذاكرة:

```
PDR: 3 × 131,070 × 212 بايت = ~83 ميغابايت
FAR:  131,070 × 20 بايت = ~2.6 ميغابايت
QER:  65,535 × 36 بايت = ~2.3 ميغابايت
URR:  131,070 × 20 بايت = ~2.6 ميغابايت
الإجمالي: ~91 ميغابايت من ذاكرة النواة
```

آلية التخزين المؤقت

نظرة عامة على التخزين المؤقت

تنفذ OmniUPF تخزين الحزم في سيناريوهات النقل من خلال تغليف الحزم في GTP-U وإرسالها إلى عملية مساحة المستخدم عبر مقبس UDP.

معمارية التخزين المؤقت

تفاصيل تغليف التخزين المؤقت

عند تمكين التخزين المؤقت (تعيين بت إجراء FAR 2)، يقوم برنامج eBPF:

1. **حساب حجم الحزمة الأصلية**:

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

2. **توسيع رأس الحزمة**:

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

3. **بناء رأس IP الخارجي**:

```
ip->saddr = original_sender_ip;  // الحفاظ على المصدر لتجنب تصفية المارتين
ip->daddr = local_upf_ip;        // IP المحلي حيث يرتبط مستمع مساحة المستخدم
ip->protocol = IPPROTO_UDP;
ip->ttl = 64;
```

4. **بناء رأس UDP**:

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

5. **بناء رأس GTP-U**:

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

6. **إرجاع XDP_PASS**:

- تسلم النواة الحزمة إلى مقبس UDP المحلي على المنفذ 22152
- يستقبل مدير التخزين المؤقت في مساحة المستخدم الحزمة ويخزنها

عملية تفريغ التخزين المؤقت

عند اكتمال النقل، يقوم SMF بتحديث FAR لمسح علامة BUFFER. يتم إعادة تشغيل الحزم المخزنة:

معلمات إدارة التخزين المؤقت

المعلمة	الافتراضي	الوصف
الحد الأقصى لكل FAR	10,000 حزمة	الحد الأقصى للحزم المخزنة لكل FAR
الحد الأقصى الكلي	100,000 حزمة	الحد الأقصى للحزم المخزنة الكلية
TTL للحزمة	30 ثانية	الوقت قبل انتهاء صلاحية الحزم المخزنة
منفذ التخزين المؤقت	22152	منفذ UDP لتسليم التخزين المؤقت
فترة تنظيف التخزين المؤقت	60 ثانية	مدى تكرار التحقق من الحزم المنتهية

فرض جودة الخدمة

خوارزمية تحديد المعدل

تنفذ OmniUPF **محدد معدل نافذة منزلقة** لفرض جودة الخدمة.

تنفيذ النافذة المنزلقة

الخوارزمية (من qer.h):

```
)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
    ثانية // نافذة 5 مللي  ;static const __u64 window_size = 5000000ULL

                                        // المعدل = 0 يعني غير محدود
                                                if (rate == 0)
                                            ;return XDP_PASS

                                        // حساب وقت الإرسال لهذه الحزمة
        ;u64 tx_time = packet_size * 8 * (NSEC_PER_SEC / rate)__
                                    ;()u64 now = bpf_ktime_get_ns__

        // تحقق مما إذا كنا متقدمين على النافذة (سترسل الحزمة في
```

```
                                                    المستقبل)
                                        ;u64 start = *window_start__
                                          if (start + tx_time > now)
                                  ;return XDP_DROP  // تجاوز حد المعدل

                                                // إذا مرت النافذة، أعد تعيينها
                                       } if (start + window_size < now)
                          ;window_start = now - window_size + tx_time*
                                                    ;return XDP_PASS
                                                                   {

                                                // تحديث النافذة لتشمل هذه الحزمة
                                         ;window_start = start + tx_time*
                                                    ;return XDP_PASS
                                                                  {
```

المعلمات الرئيسية:

- **حجم النافذة**: 5 مللي ثانية (5,000,000 نانوثانية)
- **لكل اتجاه**: نوافذ منفصلة للرفع والنزول
- **تحديثات ذرية**: تستخدم مؤشرات متقلبة للوصول المتزامن
- **MBR = 0**: يعتبر عرض نطاق غير محدود

مثال حساب جودة الخدمة

السيناريو: MBR = 100 ميغابت في الثان��ة، حجم الحزمة = 1500 بايت

1. **وقت الإرسال**:

```
tx_time = 1500 بايت × 8 بت/بايت × (1,000,000,000 نانوثانية/ثانية
÷ 100,000,000 بت في الثانية)
tx_time = 1500 × 8 × 10 = 120,000 نانوثانية = 120 ميكروثانية
```

2. **التحقق من المعدل**:

- إذا تم إرسال الحزمة الأخيرة عند t=0، يمكن إرسال الحزمة التالية عند t=120µs
- إذا وصلت الحزمة عند t=100µs، يتم إسقاطها (مبكر جدًا)
- إذا وصلت الحزمة عند t=150µs، يتم تمريرها (تم تقدم النافذة)

3. **أقصى معدل للحزم**:

```
Max PPS = (100 ميغابت في الثانية ÷ 8) ÷ 1500 بايت = 8,333 حزمة
في الثانية
الفجوة بين الحزم = 120 ميكروثانية
```

خصائص الأداء

الإنتاجية

التكوين	الإنتاجية	الحزم في الثانية	زمن التأخير
التحميل XDP (SmartNIC)	100 جيجابت في الثانية	148 مليون حزمة في الثانية	< 1 ميكروثانية
الوضع الأصلي XDP (بطاقة 10G، نواة واحدة)	10 جيجابت في الثانية	8 مليون حزمة في الثانية	2-5 ميكروثانية
الوضع الأصلي XDP (بطاقة 10G، 4 نوى)	40 جيجابت في الثانية	32 مليون حزمة في الثانية	2-5 ميكروثانية
الوضع العام XDP	1-5 جيجابت في الثانية	0.8-4 مليون حزمة في الثانية	50-100 ميكروثانية

تحليل زمن التأخير

إجمالي زمن معالجة الحزمة (الوضع الأصلي XDP):

المرحلة	زمن التأخير	التراكمي
NIC RX	0.5 ميكروثانية	0.5 ميكروثانية
استدعاء XDP Hook	0.1 ميكروثانية	0.6 ميكروثانية
بحث PDR (تجزئة)	0.3 ميكروثانية	0.9 ميكروثانية
تحقق من معدل QER	0.1 ميكروثانية	1.0 ميكروثانية
معالجة FAR	0.5 ميكروثانية	1.5 ميكروثانية
تحديث URR	0.2 ميكروثانية	1.7 ميكروثانية
تغليف/فك تغليف GTP-U	0.8 ميكروثانية	2.5 ميكروثانية
XDP_REDIRECT	0.5 ميكروثانية	3.0 ميكروثانية
NIC TX	0.5 ميكروثانية	3.5 ميكروثانية

الإجمالي: ~3.5 ميكروثانية لكل حزمة (الوضع الأصلي XDP، بطاقة 10G)

استخدام وحدة المعالجة المركزية

قدرة المعالجة لكل نواة:

- نواة واحدة: 8-10 مليون حزمة في الثانية (الوضع الأصلي XDP)
- مع تقنية التعدد الخيالي: 12-15 مليون حزمة في الثانية
- توسيع متعدد النوى: تقريبًا خطي حتى 8 نوى

استخدام وحدة المعالجة المركزية حسب معدل الحزم:

```
نسبة استخدام وحدة المعالجة المركزية % ≈ (معدل الحزم / 10,000,000) × 100% لكل نواة
```

مثال: حركة مرور 2 مليون حزمة في الثانية تستخدم ~20% من نواة واحدة

عرض النطاق الترددي للذاكرة

الوصول إلى خريطة eBPF:

•بحث التجزئة: ~100 نانوثانية (ضربة ذاكرة مؤقتة)
•بحث التجزئة: ~300 نانوثانية (فشل ذاكرة مؤقتة)
•بحث المصفوفة: ~50 نانوثانية (دائمًا ضربة ذاكرة مؤقتة)

عرض النطاق الترددي المطلوب للذاكرة:

```
عرض النطاق الترددي = معدل الحزم × (متوسط حجم ا��حزمة + عمليات بحث الخريطة × 64 بايت)
```

مثال: حركة مرور 10 مليون حزمة في الثانية × (1500 بايت + 3 عمليات بحث × 64 بايت) ≈ 160 جيجابت في الثانية من عرض النطاق الترددي للذاكرة

قابلية التوسع والضبط

التوسع الأفقي

عدة مثيلات UPF:

توزيع الجلسات:

•يقوم SMF بتوزيع الجلسات عبر مثيلات UPF
•يتعامل كل UPF مع مجموعة فرعية من جلسات UE
•لا حاجة للتواصل بين UPF (بدون حالة)

التوسع العمودي

ضبط وحدة المعالجة المركزية:

1.تمكين ارتباط وحدة المعالجة المركزية لمعالجة XDP
2.استخدام RSS (توزي�ً جانب الاستقبال) لتوزيع قوائم RX
3.تثبيت برامج eBPF على نوى معينة

ضبط NIC:

1.زيادة حجم حافة RX
2.تمكين NICs متعددة القوائم (RSS)
3.استخدام موجه التدفق لتوجيه الحركة

ضبط النواة:

```
# زيادة حد الذاكرة المقفلة لخرائط eBPF
ulimit -l unlimited

# تعطيل توازن IRQ للنوى XDP
```

```
systemctl stop irqbalance

# تعيين حاكم وحدة المعالجة المركزية إلى الأداء
cpupower frequency-set -g performance

# زيادة أحجام المخازن الشبكية
sysctl -w net.core.rmem_max=134217728
sysctl -w net.core.wmem_max=134217728
```

تخطيط السعة

الصيغة:

```
عدد النوى المطلوبة = (معدل PPS المتوقع ÷ 10,000,000) × 1.5  (50%
احتياطي)
الذاكرة المطلوبة = (الحد الأقصى للجلسات × 212 ب × 3) + 100 ميغابايت
(خرائط eBPF + النفقات العامة)
الشبكة المطلوبة = (ذروة الإنتاجية × 2) + 10 جيجابت في الثانية
(احتياطي)
```

مثال (1 مليون جلسة، 20 جيجابت ذروة):

- وحدة المعالجة المركزية: (20 جيجابت ÷ 10 جيجابت لكل نواة) × 1.5 = 3-4 نوى
- الذاكرة: (1M × 212 ب × 3) + 100 ميغابايت ≈ 750 ميغابايت
- الشبكة: (20 جيجابت × 2) + 10 جيجابت = 50 جيجابت من الواجهات

الوثائق ذات الصلة

- **دليل عمليات UPF** - العمليات العامة لـ UPF والنشر
- **دليل إدارة القواعد** - تفاصيل PDR، FAR، QER، URR
- **دليل المراقبة** - مراقبة الأداء والإحصائيات
- **دليل عمليات واجهة الويب** - استخدام لوحة التحكم
- **دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها** - المشكلات الشائعة والتشخيصات

دليل تكوين OmniUPF

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. أوضاع التشغيل
3. أوضاع إرفاق XDP
4. معلمات التكوين
5. طرق التكوين
6. توافق المحاكيات
7. توافق NIC
8. أمثلة على التكوين
9. تخطيط سعة الخريطة وحجمها

نظرة عامة

OmniUPF هو وظيفة طائرة مستخدم متعددة الاستخدامات يمكن أن تعمل في أوضاع متعددة لدعم كل من شبكات 4G (EPC) و 5G الأساسية. يتم إدارة التكوين من خلال ملفات تكوين YAML.

أوضاع التشغيل

OmniUPF هو **منصة موحدة** يمكن أن تعمل في نفس الوقت كـ:

تكوين الوضع

يتم **تحديد وضع التشغيل** بواسطة الطائرة التحكمية (SMF أو PGW-C أو SGW-C) التي تؤسس ارتباطات PFCP مع OmniUPF. لا يتطلب الأمر تكوينًا محددًا لـ OmniUPF للتبديل بين الأوضاع.

التشغيل المتزامن:

- يمكن لـ OmniUPF قبول ارتباطات PFCP من عدة طائرات تحكمية في وقت واحد
- يمكن أن تعمل مثيل واحد من OmniUPF كـ UPF و PGW-U و SGW-U **في نفس الوقت**
- يتم عزل الجلسات من طائرات تحكم مختلفة وإدارتها بشكل مستقل

أوضاع إرفاق XDP

يستخدم OmniUPF XDP (مسار البيانات السريع) لمعالجة الحزم عالية الأداء. يتم دعم ثلاثة أوضاع للإرفاق.

للحصول على تعليمات إعداد XDP التفصيلية، خاصة لـ Proxmox والمحاكيات الأخرى، راجع دليل أوضاع XDP.

مقارنة الأوضاع

الوضع	نقطة الإرفاق	الأداء	حالة الاستخدام	متطلبات NIC
عام	مكدس الشبكة (kernel)	1-2~ Mpps	الاختبار، التطوير، التوافق	أي NIC
محلي	برنامج تشغيل الشبكة (kernel)	5-10~ Mpps	الإنتاج (bare metal، VM مع SR-IOV)	برنامج تشغيل يدعم XDP
إفراز	أجهزة NIC (SmartNIC)	10-40~ Mpps	إنتاج عالي الإنتاجية	SmartNIC مع إفراز XDP

الوضع العام (افتراضي)

الوصف: يعمل برنامج XDP في مكدس الشبكة kernel

المزايا:

- يعمل مع **أي** واجهة شبكة
- لا متطلبات خاصة لبرنامج التشغيل أو الأجهزة
- مثالي للاختبار والتطوير
- متوافق مع جميع المحاكيات ومنصات الافتراضية

العيوب:

- أداء أقل (~1-2 Mpps لكل نواة)
- الحزم قد مرت بالفعل عبر برنامج التشغيل قبل معالجة XDP

التكوين:

```
xdp_attach_mode: generic
```

الأفضل لـ:

- الآلات الافتراضية بدون SR-IOV
- بيئات الاختبار والتحقق
- NICs بدون دعم برنامج تشغيل XDP
- المحاكيات مثل Proxmox و VMware و VirtualBox

الوضع المحلي (موصى به)

الوصف: يعمل برنامج XDP على مستوى برنامج تشغيل الشبكة

المزايا:

- أداء عالي (~5-10 Mpps لكل نواة)

- تتم معالجة الحزم قبل دخول مكدس الشبكة
- زمن وصول أقل بكثير من الوضع العام
- يعمل على bare metal و VMs مع SR-IOV

العيوب:

- يتطلب برنامج تشغيل شبكة يدعم XDP
- ليست جميع NICs/برامج التشغيل تدعم XDP المحلي

التكوين:

```
xdp_attach_mode: native
```

الأفضل لـ:

- عمليات الإنتاج على bare metal
- VMs مع تمرير SR-IOV
- NICs مع برامج تشغيل قادرة على XDP (Intel، Mellanox، إلخ.)

المتطلبات:

- برنامج تشغيل شبكة يدعم XDP (انظر توافق NIC)
- نواة Linux 5.15+ مع دعم XDP مفعل

وضع الإفراز (أقصى أداء)

الوصف: يعمل برنامج XDP مباشرة على أجهزة SmartNIC

المزايا:

- أقصى أداء (~10-40 Mpps)
- صفر تكلفة معالجة على وحدة المعالجة المركزية للحزم
- زمن وصول أقل من ميكروثانية
- يحرر وحدة المعالجة المركزية لمعالجة الطائرة التحكمية

العيوب:

- يتطلب أجهزة SmartNIC باهظة الثمن
- توفر محدود لأجهزة SmartNIC
- إعداد وتكوين معقد

التكوين:

```
xdp_attach_mode: offload
```

الأفضل لـ:

- عمليات الإنتاج ذات الإنتاجية العالية للغاية

•الحوسبة على الحافة مع متطلبات زمن وصول صارمة
•البيئات التي ��كون فيها موارد وحدة المعالجة المركزية محدودة

المتطلبات:

•SmartNIC مع دعم إفراز XDP (Netronome Agilio CX، Mellanox BlueField)
•برامج ثابتة وبرامج تشغيل متخصصة

معلمات التكوين

واجهات الشبكة

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`interface_name`	واجهات الشبكة لحركة مرور N3/N6/N9 (نقاط إرفاق XDP)	قائمة	`[lo]`
`n3_address`	عنوان IPv4 لواجهة N3 (GTP-U من RAN)	IP	`127.0.0.1`
`n9_address`	عنوان IPv4 لواجهة N9 (UPF-to-UPF لـ ULCL)	IP	نفس `n3_address`

مثال:

```yaml
interface_name: [eth0, eth1]
n3_address: 10.100.50.233
n9_address: 10.100.50.234
```

تكوين PFCP

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`pfcp_address`	العنوان المحلي لخادم PFCP (واجهة N4/Sxb/Sxc)	Host:Port	`:8805`
`pfcp_node_id`	معرف العقدة المحلية لبروتوكول PFCP	IP	`127.0.0.1`
`pfcp_remote_node`	أقران PFCP البعيدة (SMF/PGW-C/SGW-C) للاتصال	قائمة	`[]`
`association_setup_timeout`	المهلة بين طلبات إعداد الارتباط (ثواني)	عدد صحيح	5
`heartbeat_retries`	عدد محاولات نبض القلب قبل إعلان نظير ميت	عدد صحيح	3
`heartbeat_interval`	فترة نبض القلب PFCP (ثواني)	عدد صحيح	5
`heartbeat_timeout`	مهلة نبض القلب PFCP (ثواني)	عدد صحيح	5

مثال:

```yaml
pfcp_address: :8805
```

```
pfcp_node_id: 10.100.50.241
pfcp_remote_node:
  - 10.100.50.10  # OmniSMF
  - 10.100.60.20  # OmniPGW-C
heartbeat_interval: 10
heartbeat_retries: 5
```

API والمراقبة

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`api_address`	العنوان المحلي لخادم REST API	Host:Port	`:8080`
`metrics_address`	العنوان المحلي لنقطة نهاية مقاييس Prometheus	Host:Port	`:9090`
`logging_level`	مستوى السجل (`trace`, `debug`, `info`, `warn`, `error`)	سلسلة	`info`

مثال:

```
api_address: :8080
metrics_address: :9090
logging_level: debug
```

إدارة مسار GTP

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
`gtp_peer`	قائمة من أقران GTP لنبضات الطلب	قائمة	`[]`
`gtp_echo_interval`	الفترة بين طلبات GTP Echo (ثواني)	عدد صحيح	`10`

مثال:

```
gtp_peer:
  - 10.100.50.50:2152  # gNB
  - 10.100.50.60:2152  # UPF آخر لـــ N9
gtp_echo_interval: 15
```

سعة خريطة eBPF

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي	محسوب تلقائيًا
`max_sessions`	الحد الأقصى لعدد الجلسات المتزامنة	عدد صحيح	`65535`	يستخدم لحساب أحجام الخرائط
`pdr_map_size`	حجم خريطة PDR eBPF	عدد صحيح	`0`	`max_sessions × 2`
`far_map_size`	حجم خريطة FAR eBPF	عدد صحيح	`0`	`max_sessions × 2`

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي	محسوب تلقائيًا
qer_map_size	حجم خريطة QER eBPF	عدد صحيح	0	max_sessions
urr_map_size	حجم خريطة URR eBPF	عدد صحيح	0	max_sessions × 2

ملاحظة: تعيين أحجام الخرائط إلى 0 (افتراضي) يمكّن الحساب التلقائي بناءً على max_sessions. تجاوز القيم المحددة إذا كانت هناك حاجة إلى حجم مخصص.

مثال:

```yaml
max_sessions: 100000
# سيتم حساب الأحجام تلقائيًا:
# PDR: 200,000 إدخال
# FAR: 200,000 إدخال
# QER: 100,000 إدخال
# URR: 200,000 إدخال
```

مثال على الحجم المخصص:

```yaml
max_sessions: 50000
pdr_map_size: 131070  # حجم مخصص
far_map_size: 131070
qer_map_size: 65535
urr_map_size: 131070
```

تكوين الذاكرة المؤقتة

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
buffer_port	منفذ UDP للحزم المؤقتة من eBPF	عدد صحيح	22152
buffer_max_packets	الحد الأقصى للحزم للتخزين المؤقت لكل FAR	عدد صحيح	10000
buffer_max_total	الحد الأقصى لإجمالي الحزم المخزنة مؤقتًا (0=غير محدود)	عدد صحيح	100000
buffer_packet_ttl	TTL للحزم المخزنة مؤقتًا بالثواني (0=بدون انتهاء)	عدد صحيح	30
buffer_cleanup_interval	فترة تنظيف الذاكرة المؤقتة بالثواني (0=بدون تنظيف)	عدد صحيح	60

مثال:

```yaml
buffer_port: 22152
buffer_max_packets: 20000
buffer_max_total: 200000
buffer_packet_ttl: 60
```

```
buffer_cleanup_interval: 30
```

عل��مات الميزات

المعلمة	الوصف	النوع	الافتراضي
feature_ueip	تمكين تخصيص عنوان IP للـ UE بواسطة OmniUPF	Boolean	false
ueip_pool	مجموعة IP لتخصيص عنوان IP للـ UE (يتطلب feature_ueip)	CIDR	10.60.0.0/24
feature_ftup	تمكين تخصيص F-TEID بواسطة OmniUPF	Boolean	false
teid_pool	حجم مجموعة TEID لتخصيص F-TEID (يتطلب feature_ftup)	عدد صحيح	65535

مثال (تخصيص عنوان IP للـ UE):

```
feature_ueip: true
ueip_pool: 10.45.0.0/16  # تخصيص عناوين IP للـ UE من هذه المجموعة
```

مثال (تخصيص F-TEID):

```
feature_ftup: true
teid_pool: 1000000  # السماح بتخصيص ما يصل إلى 1M TEID
```

طرق التكوين

ملف تكوين YAML (موصى به)

الملف: config.yml

```
# تكوين الشبكة
interface_name: [eth0]
n3_address: 10.100.50.233
n9_address: 10.100.50.233
xdp_attach_mode: native

# تكوين PFCP
pfcp_address: :8805
pfcp_node_id: 10.100.50.241
pfcp_remote_node:
  - 10.100.50.10

# API والمراقبة
api_address: :8080
metrics_address: :9090
logging_level: info
```

```
# السعة
max_sessions: 100000

# أقران GTP
gtp_peer:
  - 10.100.50.50:2152
gtp_echo_interval: 10

# الميزات
feature_ueip: true
ueip_pool: 10.45.0.0/16
feature_ftup: false

# التخزين المؤقت
buffer_max_packets: 15000
buffer_packet_ttl: 45
```

بدء OmniUPF:

```
eupf --config /path/to/config.yml/.
```

توافق المحاكيات

نظرة عامة

يتوافق OmniUPF مع جميع المحاكيات الرئيسية ومنصات الافتراضية. يعتمد وضع إرفاق XDP وتكوين الشبكة على قدرات الشبكة الخاصة بالمحاكي.

للحصول على تعليمات خطوة بخطوة حول تمكين XDP المحلي على Proxmox والمحاكيات الأخرى، راجع دليل أوضاع XDP.

Proxmox VE

التكوينات المدعومة:

1. وضع الجسر (XDP عام)

حالة الاستخدام: الشبكة القياسية للآلة الافتراضية

التكوين:

- جهاز الشبكة: VirtIO أو E1000
- وضع XDP: `generic`
- الأداء: ~1-2 Mpps

إعدادات VM Proxmox:

```
جهاز الشبكة: net0
النموذج: VirtIO (معدل)
الجسر: vmbr0
```

تكوين OmniUPF:

```
interface_name: [eth0]
xdp_attach_mode: generic
```

---

2. تمرير SR-IOV (XDP محلي)

حالة الاستخدام: إنتاج عالي الأداء

التكوين:

- جهاز الشبكة: وظيفة افتراضية SR-IOV
- وضع XDP: `native`
- الأداء: ~5-10 Mpps

المتطلبات:

- NIC مادي مع دعم SR-IOV (Intel X710، Mellanox ConnectX-5)
- تمكين SR-IOV في BIOS
- تمكين IOMMU (`intel_iommu=on` أو `amd_iommu=on` في GRUB)

تمكين SR-IOV على Proxmox:

```
# تحرير تكوين GRUB
nano /etc/default/grub

# أضف إلى GRUB_CMDLINE_LINUX_DEFAULT:
intel_iommu=on iommu=pt

# تحديث GRUB وإعادة التشغيل
update-grub
reboot

# تمكين VFs على NIC (مثال: 4 وظائف افتراضية على eth0)
echo 4 > /sys/class/net/eth0/device/sriov_numvfs

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

إعدادات VM Proxmox:

```
الأجهزة ← إضافة ← جهاز PCI
اختر: وظيفة افتراضية SR-IOV
جميع الوظائف: لا
GPU الأساسية: لا
PCI-Express: نعم (اختياري)
```

تكوين OmniUPF:

```
interface_name: [ens1f0]  # اسم VF SR-IOV
xdp_attach_mode: native
```

---

3. تمرير PCI (XDP) محلي

حالة الاستخدام: NIC مخصص لآلة افتراضية واحدة

التكوين:

- تمرير NIC مادي كامل إلى VM
- وضع XDP: `native` أو `offload` (إذا كان SmartNIC)
- الأداء: ~5-40 Mpps (يعتمد على NIC)

إعدادات VM Proxmox:

```
الأجهزة ← إضافة ← جهاز PCI
اختر: NIC مادي (مثل، 0000:01:00.0)
جميع الوظائف: نعم
GPU الأساسية: لا
PCI-Express: نعم
```

تكوين OmniUPF:

```
interface_name: [ens1f0]
xdp_attach_mode: native  # أو 'offload' لـ SmartNIC
```

KVM/QEMU

وضع الجسر:

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

تمرير SR-IOV:

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

VMware ESXi

vSwitch القياسي (XDP عام):

- محول الشبكة: VMXNET3
- وضع XDP: `generic`

SR-IOV (XDP محلي):

- تمكين SR-IOV في إعدادات مضيف ESXi
- إضافة محول شبكة SR-IOV إلى VM
- وضع XDP: `native`

Microsoft Hyper-V

المفتاح الافتراضي (XDP عام):

- محول الشبكة: صناعي
- وضع XDP: `generic`

SR-IOV (XDP محلي):

- تمكين SR-IOV في إدارة Hyper-V
- تكوين SR-IOV على محول الشبكة الافتراضي
- وضع XDP: `native`

VirtualBox

الجسر/NAT وضع (XDP عام فقط):

- محول الشبكة: VirtIO-Net أو Intel PRO/1000
- وضع XDP: `generic`
- ملاحظة: VirtualBox لا يدعم **SR-IOV**

توافق NIC

فهم Mpps مقابل الإنتاجية

عدد الحزم في الثانية (Mpps) والإنتاجية (Gbps) ليست متساوية مباشرة - تعتمد العلاقة تمامًا على حجم الحزمة. تختلف حركة مرور الشبكة المحمولة بشكل كبير في حجم الحزمة، من حزم VoIP الصغيرة إلى إطارات بث الفيديو الكبيرة.

تأثير حجم الحزمة على الإنتاجية

في الشبكات المحمولة، يقوم UPF بمعالجة الحزم المغلفة بـ GTP-U على واجهة N3 وحزم IP الأصلية على واجهة N6.

زيادة GTP-U (واجهة N3):

- **رأس IPv4 الخارجي**: 20 بايت
- **رأس UDP الخارجي**: 8 بايت
- **رأس GTP-U**: 8 بايت
- **إجمالي زيادة GTP-U**: 36 بايت

أقل حزمة GTP-U (N3):

- **رأس IP الداخلي**: 20 بايت (IPv4)
- **رأس UDP الداخلي**: 8 بايت
- **الحمولة الدنيا**: 1 بايت
- **إجمالي الحزمة الداخلية**: 29 بايت
- **بالإضافة إلى زيادة GTP-U**: 36 بايت
- **إجمالي حجم الحزمة**: 65 بايت

الإنتاجية عند 1 Mpps مع الحد الأدنى من حزم GTP-U:

```
65 بايت × 1,000,000 pps × 8 بت/بايت = 520 Mbps
```

أقصى حزمة GTP-U (N3) مع MTU 1500):

- **MTU IP الداخلي**: 1500 بايت (حزمة IP الداخلية الكاملة)
- **بالإضافة إلى زيادة GTP-U**: 36 بايت
- **إجمالي حجم الحزمة**: 1536 بايت

الإنتاجية عند 1 Mpps مع أقصى حزم GTP-U:

```
1536 بايت × 1,000,000 pps × 8 بت/بايت = 12,288 Gbps ≈ 12.3 Mbps
```

حزم IP الأصلية (واجهة N6):

على N6 (نحو الإنترنت)، الحزم هي IP أصلية بدون GTP-U:

أقل حزمة N6:

- **رأس IP**: 20 بايت
- **رأس UDP**: 8 بايت
- **الحمولة الدنيا**: 1 بايت
- **الإجمالي**: 29 بايت

الإنتاجية عند 1 Mpps مع الحد الأدنى من حزم N6:

```
29 بايت × 1,000,000 pps × 8 بت/بايت = 232 Mbps
```

أقصى حزمة N6 (1500 MTU):

- **IP MTU**: 1500 بايت
- **الإجمالي**: 1500 بايت

الإنتاجية عند 1 Mpps مع أقصى حزم N6:

```
1500 بايت × 1,000,000 pps × 8 بت/بايت = 12 Gbps = 12,000 Mbps
```

أمثلة الأداء في العالم الحقيقي

NIC Intel X710 (سعة 10 Mpps على واجهة N3 مع GTP-U):

نمط الحركة	حجم الحزمة الداخلية	إجمالي GTP-U	الإنتاجية عند 10 Mpps	حالة الاستخدام النموذجية
مكالمات VoIP (N3)	65-150 بايت	101-186 بايت	**0.8-1.5 Gbps**	صوت G.711، AMR-WB
الويب الخفيف (N3)	400-600 بايت	436-636 بايت	**3.5-5.1 Gbps**	HTTP/HTTPS، الرسائل
الهواتف المحمولة الحديثة (N3)	**1200 بايت**	**1236 بايت**	**9.9 Gbps**	**نمط حركة المرور النموذجي لعام 2024**
بث الفيديو (N3)	1400-1450 بايت	1436-1486 بايت	**11.5-11.9 Gbps**	قطع فيديو HD/4K
الحد الأقصى لـ MTU (N3)	1500 بايت	1536 بايت	**12.3 Gbps**	تنزيلات TCP الكبيرة

على واجهة N6 (IP أصلية، بدون GTP-U):

نمط الحركة	حجم الحزمة	الإنتاجية عند 10 Mpps	حالة الاستخدام النموذجية
حزم VoIP	65-150 بايت	**0.5-1.2 Gbps**	تدفقات صوت RTP
الويب الخفيف	400-600 بايت	**3.2-4.8 Gbps**	طلبات HTTP
الهواتف المحمولة الحديثة	**1200 بايت**	**9.6 Gbps**	**حركة المرور النموذجية لعام 2024**
بث الفيديو	1400-1450 بايت	**11.2-11.6 Gbps**	تنزيلات الفيديو
الحد الأقصى لـ MTU	1500 بايت	**12.0 Gbps**	نقل الملفات الكبيرة

عند 10 Mpps مع حركة مرور الهواتف المحمولة الحديثة (متوسط 1200 بايت)، توقع **~10 Gbps من الإنتاجية** على كل من واجهتي N3 و N6.

لماذا هذا مهم لشبكات المحمول:

حركة المرور المحمولة **متغيرة للغاية** في حجم الحزمة وزيادة GTP-U (36 بايت) تؤثر بشكل كبير على أداء الحزم الصغيرة:

حجم الحزمة الداخلية (بيانات المستخدم الفعلية):

- **VoIP (ترميز AMR-WB)**: 65-80 بايت → مع GTP-U: 101-116 بايت
- **بيانات مستشعر IoT**: 50-200 بايت → مع GTP-U: 86-236 بايت
- **تصفح الويب (HTTP/3)**: 400-800 بايت → مع GTP-U: 436-836 بايت
- **بث الفيديو**: 1200-1450 بايت → مع GTP-U: 1236-1486 بايت
- **تنزيلات كبيرة**: 1500 بايت → مع GTP-U: 1536 بايت

تأثير زيادة GTP-U:

- الحزم الصغيرة (< 200 بايت): **~35-70% زيادة** - Mpps هو العامل المحدد
- الحزم المتوسطة (200-800 بايت): **~5-20% زيادة** - قيود مختلطة
- الحزم الكبيرة (> 1200 بايت): **~3% زيادة** - سرعة الرابط هي العامل المحدد

تخطيط الأداء:

NIC مصنف عند **10 Mpps** سيحقق على واجهة N3:

- **حركة مرور مكالمات VoIP** (حزم داخلية بحجم 100 بايت): ~1.0 Gbps (زيادة GTP-U تهيمن)
- **مزيج الهواتف المحمولة الحديثة** (حزم داخلية بمتوسط 1200 بايت): ~9.9 Gbps
- **حركة مرور غنية بالفيديو** (حزم داخلية بحجم 1400 بايت): ~11.5 Gbps
- **أقصى إنتاجية** (حزم داخلية بحجم 1500 بايت): ~12.3 Gbps

على واجهة N6 (بدون زيادة GTP-U):

- **مزيج الهواتف المحمولة الحديثة** (حزم بحجم 1200 بايت): ~9.6 Gbps عند 10 Mpps
- **أقصى إنتاجية** (حزم بحجم 1500 بايت): ~12.0 Gbps عند 10 Mpps

قاعدة عامة لشبكة UPF المحمولة:

- **حركة مرور الحزم الصغيرة** (VoIP، IoT، الإشارات): Mpps هو العامل المحدد - خطط لـ 1-2 Gbps لكل 10 Mpps
- **حركة مرور الهواتف المحمولة الحديثة** (متوسط 1200 بايت): خطط لـ ~9-10 Gbps لكل 10 Mpps سعة
- **حركة مرور غنية بالفيدي��** (بث، تنزيلات): خطط لـ ~10-12 Gbps لكل 10 Mpps سعة
- **دائمًا اعتبر كل من N3 و N6** - N3 لديه زيادة GTP-U، N6 لا.

تخطيط السعة العملي:

مع حجم حزمة بمتوسط 1200 بايت (نموذجي للشبكات المحمولة الحديثة مع بث الفيديو):

سعة Mpps لـ NIC	الإنتاجية على N3 (GTP-U)	الإنتاجية على N6 (IP) الأصلية	سيناريو النشر الواقعي
1 Mpps	~1.0 Gbps	~1.0 Gbps	موقع خلية صغيرة، بوابة IoT
5 Mpps	~4.9 Gbps	~4.8 Gbps	موقع خلية متوسطة، مؤسسة
10 Mpps	~9.9 Gbps	~9.6 Gbps	موقع خلية كبيرة، مدينة صغيرة
20 Mpps	~19.7 Gbps	~19.2 Gbps	منطقة حضرية، مدينة متوسطة
40 Mpps	~39.4 Gbps	~38.4 Gbps	منطقة حضرية كبيرة، مركز إقليمي

ملاحظة: هذه التقديرات تفترض حجم الحمولة بمتوسط 1200 بايت، وهو ما يمثل حركة المرور المحمولة الحديثة التي تهيمن عليها بث الفيديو ووسائل التواصل الاجتماعي وتطبيقا�ً السحابة. ستختلف الإنتاجية الفعلية بناءً على مزيج الحركة.

برامج تشغيل الشبكة القابلة لـ XDP

يتطلب OmniUPF برامج تشغيل الشبكة التي تدعم XDP لوضعي **المحلي** و **الإفراز**. يعمل الوضع العام مع **أي** NIC.

NICs من Intel

النموذج	برنامج التشغيل	دعم XDP	الوضع	الأداء
Intel X710	i40e	نعم	محلي	~10 Mpps
Intel XL710	i40e	نعم	محلي	~10 Mpps
Intel E810	ice	نعم	محلي	~15 Mpps
Intel 82599ES	ixgbe	نعم	محلي	~8 Mpps
Intel I350	igb	محدود	عام	~1 Mpps
Intel E1000	e1000	لا	عام فقط	~1 Mpps

NICs من Mellanox/NVIDIA

النموذج	برنامج التشغيل	دعم XDP	الوضع	الأداء
Mellanox ConnectX-5	mlx5	نعم	محلي	~12 Mpps
Mellanox ConnectX-6	mlx5	نعم	محلي	~20 Mpps
Mellanox BlueField	mlx5	نعم	محلي + إفراز	~40 Mpps
Mellanox ConnectX-4	mlx4	محدود	عام	~2 Mpps

NICs ن Broadcom

النموذج	برنامج التشغيل	دعم XDP	الوضع	الأداء
Broadcom BCM57xxx	bnxt_en	نعم	محلي	~8 Mpps
Broadcom NetXtreme II	bnx2x	لا	عام فقط	~1 Mpps

بائعون آخرون

النموذج	برنامج التشغيل	دعم XDP	الوضع	الأداء
Netronome Agilio CX	nfp	نعم	إفراز	~30 Mpps
Amazon ENA	ena	نعم	محلي	~5 Mpps
Solarflare SFC9xxx	sfc	نعم	محلي	~8 Mpps
VirtIO	virtio_net	محدود	عام	~2 Mpps

التحقق من دعم XDP لـ NIC

تحقق مما إذا كان برنامج التشغيل يدعم XDP:

```
# العثور على برنامج تشغيل NIC
ethtool -i eth0 | grep driver

# تحقق من دعم XDP في برنامج التشغيل
modinfo <driver_name> | grep -i xdp

# مثال لبرنامج Intel i40e
modinfo i40e | grep -i xdp
```

تحقق من إرفاق برنامج XDP:

```
# تحقق مما إذا كان برنامج XDP ملحقًا
ip link show eth0 | grep -i xdp

# مثال على الإخراج (XDP ملحق):
eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 xdp qdisc mq :2 #
```

NICs الموصى بها حسب حالة الاستخدام

مع حجم حزمة بمتوسط 1200 بايت (حركة مرور الهواتف المحمولة الحديثة):

حالة الاستخدام	NIC موصى به	الوضع	سعة Mpps	الإنتاجية (N3)	سيناريو النشر
الاختبار/التطوير	أي NIC (VirtIO، E1000)	عام	1-2 Mpps	1-2 Gbps	اختبار المختبر، PoC
موقع خلية صغيرة	Intel X710، Mellanox CX-5	محلي	5-10 Mpps	5-10 Gbps	خلية ريفية، مؤسسة

حالة الاستخدام	NIC موصى به	الوضع	سعة Mpps	الإنتاجية (N3)	سيناريو النشر
خلية متوسطة/ منطقة حضرية	Intel E810، Mellanox CX-6	محلي	10-20 Mpps	10-20 Gbps	خلية حضرية، مدينة صغيرة
منطقة حضرية كبيرة	Mellanox CX-6، Intel E810 (ثنائي)	محلي	20-40 Mpps	20-40 Gbps	منطقة حضرية، مدينة متوسطة
مركز إقليمي	Mellanox BlueField، Netronome Agilio	إفراز	+40 Mpps	+40 Gbps	تجميع إقليمي
VM Proxmox (جسر)	VirtIO	عام	1-2 Mpps	1-2 Gbps	للاختبار فقط
VM Proxmox (SR-IOV)	Intel X710/E810 VF، Mellanox CX-5 VF	محل��	5-10 Mpps	5-10 Gbps	VM الإنتاج

تقديرات الإنتاجية:

- بناءً على حجم حزمة بمتوسط 1200 بايت مع زيادة GTP-U (1236 بايت على N3)
- الإنتاجية على N6 أقل قليلاً (~9.6 Gbps لكل 10 Mpps) بسبب عدم وجود زيادة GTP-U
- الأداء الفعلي يختلف مع مزيج الحركة - ستشهد الشبكات الغنية بـ VoIP إنتاجية أقل

موارد إضافية

التوثيق الرسمي لـ XDP:

- مشروع XDP
- توثيق XDP في النواة

قوائم توافق NIC:

- قائمة دعم XDP من Cilium
- برامج تشغيل XDP من IO Visor

أمثلة على التكوين

المثال 1: بيئة تطوير (الوضع العام)

السيناريو: اختبار OmniUPF على الكمبيوتر المحمول أو VM بدون SR-IOV

```yaml
# تكوين التطوير
interface_name: [eth0]
xdp_attach_mode: generic
api_address: :8080
pfcp_address: :8805
pfcp_node_id: 127.0.0.1
n3_address: 127.0.0.1
metrics_address: :9090
```

```
logging_level: debug
max_sessions: 1000
```

المثال 2: الإنتاج على bare metal (الوضع المحلي)

السيناريو: UPF الإنتاج على خادم bare metal مع NIC Intel X710

```
# تكوين الإنتاج على bare metal
interface_name: [ens1f0, ens1f1]  # N3 على ens1f0، N6 على ens1f1
xdp_attach_mode: native
api_address: :8080
pfcp_address: 10.100.50.241:8805
pfcp_node_id: 10.100.50.241
n3_address: 10.100.50.233
n9_address: 10.100.50.234
metrics_address: :9090
logging_level: info
max_sessions: 500000
:gtp_peer
  # gNB 1  10.100.50.10:2152 -
  # gNB 2  10.100.50.11:2152 -
gtp_echo_interval: 30
:pfcp_remote_node
  # OmniSMF  10.100.50.50 -
heartbeat_interval: 10
feature_ueip: true
ueip_pool: 10.45.0.0/16
buffer_max_packets: 50000
buffer_packet_ttl: 60
```

المثال 3: VM Proxmox مع SR-IOV (الوضع المحلي)

السيناريو: UPF الإنتاج على VM Proxmox مع تمرير SR-IOV

```
# تكوين Proxmox SR-IOV
interface_name: [ens1f0]  # VF SR-IOV
xdp_attach_mode: native
api_address: :8080
pfcp_address: 192.168.100.10:8805
pfcp_node_id: 192.168.100.10
n3_address: 192.168.100.10
metrics_address: :9090
logging_level: info
max_sessions: 100000
:gtp_peer
192.168.100.50:2152 -
```

```
    gtp_echo_interval: 15
        :pfcp_remote_node
  SMF #  192.168.100.20 -
```

المثال 4: وضع PGW-U (4G EPC)

السيناريو: OmniUPF يعمل كـ PGW-U في شبكة 4G EPC

```
# تكوين PGW-U
  interface_name: [eth0]
  xdp_attach_mode: native
     api_address: :8080
  pfcp_address: 10.200.1.10:8805
     pfcp_node_id: 10.200.1.10
  n3_address: 10.200.1.10  # واجهة S5/S8 (GTP-U)
     metrics_address: :9090
        logging_level: info
     max_sessions: 200000
                :gtp_peer
  SGW-U #  10.200.1.50:2152 -
     gtp_echo_interval: 20
        :pfcp_remote_node
  OmniPGW-C #  10.200.2.10 - (واجهة Sxb)
     heartbeat_interval: 5
```

المثال 5: وضع متعدد (UPF + PGW-U في وقت واحد)

السيناريو: OmniUPF يخدم كل من الشبكات 5G و 4G في وقت واحد

```
# تكوين الوضع المتعدد
  interface_name: [eth0, eth1]
     xdp_attach_mode: native
        api_address: :8080
     pfcp_address: :8805
  pfcp_node_id: 10.50.1.100
     n3_address: 10.50.1.100
     n9_address: 10.50.1.101
      metrics_address: :9090
        logging_level: info
     max_sessions: 300000
                :gtp_peer
  gNB 5G #  10.50.2.10:2152 -
  eNodeB 4G #  10.50.2.20:2152 - (عبر SGW-U)
     gtp_echo_interval: 15
        :pfcp_remote_node
  OmniSMF (5G) #  10.50.3.10 -
```

```
OmniPGW-C (4G) #  10.50.3.20 -
heartbeat_interval: 10
feature_ueip: true
ueip_pool: 10.60.0.0/16
```

المثال 6: وضع الإفراز لـ SmartNIC

السيناريو: نشر عالي الإنتاجية للغاية مع SmartNIC Netronome Agilio CX

```
# تكوين الإفراز لـ SmartNIC
interface_name: [enp1s0np0]  # واجهة SmartNIC
xdp_attach_mode: offload
api_address: :8080
pfcp_address: 10.10.1.50:8805
pfcp_node_id: 10.10.1.50
n3_address: 10.10.1.50
metrics_address: :9090
# logging_level: warn  # تقليل الحمل
max_sessions: 1000000
pdr_map_size: 2000000
far_map_size: 2000000
qer_map_size: 1000000
:gtp_peer
10.10.2.10:2152 -
10.10.2.20:2152 -
10.10.2.30:2152 -
gtp_echo_interval: 30
:pfcp_remote_node
10.10.3.10 -
heartbeat_interval: 15
buffer_max_packets: 100000
buffer_max_total: 1000000
```

تخطيط سعة الخريطة وحجمها

الحجم التلقائي (موصى به)

قم بتعيين max_sessions ودع OmniUPF يحسب أحجام الخرائط تلقائيًا:

```
max_sessions: 100000
# أحجام محسوبة تلقائيًا:
# PDR: 200,000 إدخال (max_sessions × 2)
# FAR: 200,000 إدخال (max_sessions × 2)
# QER: 100,000 إدخال (max_sessions × 1)
# URR: 200,000 إدخال (max_sessions × 2)
```

استخدام الذاكرة: ~91 MB لـ 100K جلسة

ال��جم اليدوي

تجاوز الحساب التلقائي لمتطلبات مخصصة:

```
max_sessions: 100000
pdr_map_size: 300000  # دعم المزيد من PDRs لكل جلسة
far_map_size: 200000
qer_map_size: 150000  # المزيد من QERs من الافتراضي
urr_map_size: 200000
```

تقدير السعة

احسب الحد الأقصى للجلسات:

```
Max Sessions = min(
    pdr_map_size / 2,
    far_map_size / 2,
    qer_map_size
)
```

مثال:

- خريطة PDR: 200,000
- خريطة FAR: 200,000
- خريطة QER: 100,000

Max Sessions = min(100,000, 100,000, 100,000) = **100,000**

متطلبات الذاكرة

استخدام الذاكرة لكل جلسة:

- PDR: 2 × 212 B = 424 B
- FAR: 2 × 20 B = 40 B
- QER: 1 × 36 B = 36 B
- URR: 2 × 20 B = 40 B
- **الإجمالي**: ~540 B لكل جلسة

لـ 100K جلسة: ~52 MB من ذاكرة النواة

التوصية: تأكد من أن حد الذاكرة المقفلة يسمح باستخدام 2× التقدير:

```
# تحقق من الحد الحالي
```

```
ulimit -l

# تعيين غير محدود (مطلوب لـ eBPF)
ulimit -l unlimited
```

الوثائق ذات الصلة

- **دليل العمارة** - تفاصيل فنية حول eBPF/XDP وتحسين الأداء
- **دليل إدارة القواعد** - تكوين PDR و FAR و QER و URR
- **دليل المراقبة** - الإحصائيات، مراقبة السعة، والتنبيهات
- **دليل واجهة الويب** - عمليات لوحة التحكم
- **دليل العمليات** - نظرة عامة على عمارة UPF والنشر

دليل المراقبة

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. مراقبة الإحصائيات
3. مراقبة السعة
4. مقاييس الأداء
5. التنبيه والحدود
6. تخطيط السعة
7. استكشاف مشكلات الأداء

نظرة عامة

تعتبر المراقبة الفعالة لـ OmniUPF أمرًا حيويًا للحفاظ على جودة الخدمة، ومنع استنفاد السعة، واستكشاف مشكلات الأداء. يوفر OmniUPF مقاييس شاملة في الوقت الفعلي من خلال واجهة الويب و REST API الخاصة به.

فئات المراقبة

الفئة	الغرض	تكرار التحديث	المقاييس الرئيسية
إحصائيات الحزم	تتبع معدلات معالجة الحزم والأخطاء	في الوقت الحقيقي	حزم RX/TX، السقوط، تحليل البروتوكولات
إحصائيات الواجهة	مراقبة توزيع حركة المرور N3/N6	في الوقت الحقيقي	N3 RX/TX، N6 RX/TX
إحصائيات XDP	تتبع أداء مسار البيانات في النواة	في الوقت الحقيقي	XDP المعالجة، المارة، السقوط، الملغاة
إحصائيات التوجيه	مراقبة قرارات توجيه الحزم	في الوقت الحقيقي	عمليات البحث في FIB، الضربات/الإخفاقات في التخزين المؤقت
سعة خريطة eBPF	منع استنفاد الموارد	كل 10 ثوانٍ	نسب استخدام الخريطة، المستخدمة مقابل السعة
إحصائيات المخزن المؤقت	تتبع تخزين الحزم أثناء التنقل	كل 5 ثوانٍ	الحزم المخزنة مؤقتًا، عمر المخزن المؤقت، عدد FAR

مراقبة الإحصائيات

إحصائيات واجهة N3/N6

توفر إحصائيات واجهة N3/N6 رؤية لتوزيع حركة المرور بين RAN (N3) وشبكة البيانات (N6).

المقاييس:

- **RX N3**: الحزم المستلمة من RAN (حركة مرور GTP-U في الاتجاه الصاعد)
- **TX N3**: الحزم المرسلة إلى RAN (حركة مرور GTP-U في الاتجاه النازل)
- **RX N6**: الحزم المستلمة من شبكة البيانات (IP الأصلي في الاتجاه النازل)
- **TX N6**: الحزم المرسلة إلى شبكة البيانات (IP الأصلي في الاتجاه الصاعد)
- **الإجمالي**: العدد الإجمالي للحزم عبر جميع الواجهات

السلوك المتوقع:

- **RX N3 ≈ TX N6**: تدفق الحزم في الاتجاه الصاعد من RAN إلى شبكة البيانات
- **RX N6 ≈ TX N3**: تدفق الحزم في الاتجاه النازل من شبكة البيانات إلى RAN
- قد تشير عدم التوازن الكبير إلى:
  - حركة مرور غير متكافئة (الت��زيلات >> التحميلات)
  - سقوط الحزم أو أخطاء في التوجيه
  - تكوينات توجيه خاطئة

إحصائيات XDP

تظهر إحصائيات XDP (مسار البيانات السريع) أداء معالجة الحزم على مستوى النواة.

المقاييس:

- **الملغاة**: واجه برنامج XDP خطأ (يجب أن تكون دائمًا 0)
- **السقوط**: الحزم التي تم إسقاطها عمدًا بواسطة برنامج XDP
- **المرور**: الحزم التي تم تمريرها إلى مكدس الشبكة لمزيد من المعالجة
- **إعادة التوجيه**: الحزم المعاد توجيهها مباشرة إلى واجهة الإخراج
- **TX**: الحزم المرسلة عبر XDP

التفسير:

- **الملغاة > 0**: مشكلة حرجة مع برنامج eBPF أو توافق النواة
- **السقوط > 0**: إسقاطات مستندة إلى السياسة أو حزم غير صالحة
- **المرور مرتفع**: تتم معالجة معظم الحزم في مكدس الشبكة (عادي)
- **إعادة التوجيه مرتفعة**: الحزم المعاد توجيهها مباشرة (أداء مثالي)

إحصائيات الحزم

تفصيل تحليل البروتوكول للحزم وعدد المعالجة.

عدادات البروتوكول:

- **RX ARP**: حزم بروتوكول حل العناوين
- **RX GTP ECHO**: طلب/استجابة GTP-U Echo (للحفاظ على الاتصال)
- **RX GTP OTHER**: رسائل التحكم GTP الأخرى
- **RX GTP PDU**: بيانات المستخدم المغلفة GTP-U (الحركة الرئيسية)

•**RX GTP UNEXP**: أنواع الحزم GTP غير المتوقعة
•**RX ICMP**: بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت (ping، الأخطاء)
•**RX ICMP6**: حزم ICMPv6
•**RX IP4**: حزم IPv4
•**RX IP6**: حزم IPv6
•**RX OTHER**: بروتوكولات أخرى
•**RX TCP**: حزم بروتوكول التحكم في النقل
•**RX UDP**: حزم بروتوكول بيانات المستخدم

حالات الاستخدام:

•**مراقبة عدد PDU لـ GTP-U**: مؤشر حركة المستخدم الرئيسي
•**التحقق من ICMP للاتصال**: اختبار إمكانية الوصول إلى الشبكة
•**تتبع نسبة TCP مقابل UDP**: أنماط حركة تطبيقات
•**الكشف عن بروتوكولات غير متوقعة**: مشكلات أمان أو تكوين خاطئ

إحصائيات التوجيه

إحصائيات البحث في قاعدة معلومات التوجيه (FIB) لقرارات التوجيه.

بحث FIB IPv4:

•**التخزين المؤقت**: عمليات البحث في التوجيه المخزنة (مسار سريع)
•**OK**: عمليات البحث الناجحة في التوجيه

بحث FIB IPv6:

•**التخزين المؤقت**: عمليات البحث في التوجيه IPv6 المخزنة
•**OK**: عمليات البحث الناجحة في التوجيه IPv6

مؤشرات الأداء:

•**معدل ضرب التخزين المؤقت المرتفع**: يشير إلى أداء جيد للتخزين المؤقت للتوجيه
•**عدد OK المرتفع**: يؤكد أن جداول التوجيه تم تكوينها بشكل صحيح
•**عمليات البحث ��لمنخفضة أو الصفرية**: قد تشير إلى عدم تدفق الحركة أو تجاوز التوجيه

مراقبة السعة

سعة خريطة eBPF

تساعد مراقبة سعة خريطة eBPF في منع فشل إنشاء الجلسات بسبب استنفاد الموارد.

خرائط eBPF الحرجة

far_map (قواعد إجراء التوجيه):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (معرف FAR)
- **حجم القيمة**: 16 ب (معلمات التوجيه)
- **استخدام الذاكرة**: ~2.6 ميجابايت
- **الأهمية**: عالية - تستخدم لجميع قرارات توجيه الحزم

pdr_map_downlin (PDRs في الاتجاه النازل - IPv4):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (عنوان IPv4 للـ UE)
- **حجم القيمة**: 208 ب (معلومات PDR)
- **استخدام الذاكرة**: ~27 ميجابايت
- **الأهمية**: حرجة - تفشل إنشاء الجلسات إذا كانت ممتلئة

pdr_map_downlin_ip6 (PDRs في الاتجاه النازل - IPv6):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 16 ب (عنوان IPv6 للـ UE)
- **حجم القيمة**: 208 ب (معلومات PDR)
- **استخدام الذاكرة**: ~29 ميجابايت
- **الأهمية**: حرجة - تفشل إنشاء الجلسات IPv6 إذا كانت ممتلئة

pdr_map_teid_ip (PDRs في الاتجاه الصاعد):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (TEID)
- **حجم القيمة**: 208 ب (معلومات PDR)
- **استخدام الذاكرة**: ~27 ميجابايت
- **الأهمية**: حرجة - تفشل حركة المرور في الاتجاه الصاعد إذا كانت ممتلئة

qer_map (قواعد تنفيذ QoS):

- **السعة**: 65,535 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (معرف QER)
- **حجم القيمة**: 32 ب (معلمات QoS)
- **استخدام الذاكرة**: ~2.3 ميجابايت
- **الأهمية**: متوسطة - تنفيذ QoS فقط

urr_map (قواعد تقارير الاستخدام):

- **السعة**: 131,070 إدخال
- **حجم المفتاح**: 4 ب (معرف URR)
- **حجم القيمة**: 16 ب (عدادات الحجم)
- **استخدام الذاكرة**: ~2.6 ميجابايت

•**الأهمية**: منخفضة - تؤثر على الفوترة فقط

حدود السعة

الحد	الإجراء المطلوب
0-50% (أخضر)	عملية طبيعية - لا يتطلب إجراء
50-70% (أصفر)	حذر - مراقبة اتجاهات النمو، التخطيط لزيادة السعة
70-90% (كهرماني)	تحذير - جدولة زيادة السعة خلال أسبوع واحد
90-100% (أحمر)	حرجة - يتطلب إجراء فوري، ستفشل الجلسات الجديدة

إجراء زيادة السعة

قبل زيادة السعة:

1.مراجعة اتجاهات الاستخدام الحالية
2.تقدير معدل النمو المستقبلي
3.حساب السعة المطلوبة

خطوات زيادة سعة الخريطة:

1.إيقاف خدمة OmniUPF
2.تحديث ملف تكوين UPF بأحجام الخريطة الجديدة
3.إعادة تشغيل خدمة OmniUPF
4.التحقق من السعة الجديدة في عرض السعة
5.مراقبة إنشاء الجلسات الناجحة

ملاحظة: يتطلب تغيير سعة خريطة eBPF إعادة تشغيل UPF ويؤدي إلى مسح جميع الجلسات الحالية.

مقاييس الأداء

معدل معالجة الحزم

الحساب:

```
معدل الحزم (pps) = (فرق عدد الحزم) / (فرق الوقت بالثواني)
```

مثال:

•الحزم المستلمة الأولية: 7,000
•بعد 10 ثوانٍ: 17,000
•معدل الحزم = (17,000 - 7,000) / 10 = 1,000 pps

أهداف الأداء:

•**UPF صغير**: 10,000 - 100,000 pps

- **UPF متوسط**: 100,000 - 1,000,000 pps
- **UPF كبير**: 1,000,000 - 10,000,000 pps

مؤشرات الاختناق:

- زيادة عدد الملغاة في XDP
- ارتفاع استخدام CPU
- زيادة سقوط الحزم
- زيادة الكمون

حساب الإنتاجية

الحساب:

```
الإنتاجية (Mbps) = (فرق عدد البايتات × 8) / (فرق الوقت بالثواني × 1,000,000)
```

مثال:

- البايتات المستلمة الأولية: 500 ميجابايت
- بعد 60 ثانية: 800 ميجابايت
- الإنتاجية = (300 ميجابايت × 8) / (60 × 1,000,000) = 40 Mbps

تخطيط السعة:

- مراقبة أوقات الذروة للإنتاجية (مثل ساعات المساء)
- المقارنة مع سعة الرابط (سرعات واجهة N3/N6)
- التخطيط لزيادة السعة بمقدار 2x للإنتاجية القصوى

معدل السقوط

الحساب:

```
معدل السقوط (%) = (الحزم الساقطة / إجمالي الحزم المستلمة) × 100
```

الحدود المقبولة:

- **< 0.1%**: ممتاز (فقدان الحزم العادي بسبب الأخطاء)
- **0.1% - 1%**: جيد (مشكلات طفيفة أو تحديد معدل)
- **1% - 5%**: ضعيف (استكشاف مشكلات QoS أو السعة)
- **> 5%**: حرجة (مشكلة كبيرة في التوجيه أو السعة)

أسباب السقوط الشائعة:

- تحديد معدل QER (MBR متجاوز)
- فشل البحث في خريطة eBPF

•TEIDs أو عناوين UE غير صالحة
•أخطاء في التوجيه

التنبيه والحدود

التنبيهات الموصى بها

التنبيهات الحرجة (يتطلب استجابة فورية):

•سعة خريطة eBPF > 90%
•عدد الملغاة في XDP > 0
•معدل السقوط > 5%
•فشل فحص صحة UPF

تنبيهات التحذير (استجابة خلال ساعة واحدة):

•سعة خريطة eBPF > 70%
•معدل السقوط > 1%
•معدل الحزم يقترب من سعة الرابط
•تجاوز TTL المخزن المؤقت (الحزم التي تزيد عن 30 ثانية)

تنبيهات معلوماتية (مراقبة الاتجاهات):

•سعة خريطة eBPF > 50%
•زيادة عدد الحزم المخزنة مؤقتًا
•إنشاء/إلغاء ارتباطات PFCP جديدة
•تجاوز حدود حجم URR

تكوين التنبيه

يمكن تكوين التنبيهات عبر:

1.**مقاييس Prometheus**: تصدير المقاييس للمراقبة الخارجية
2.**مراقبة السجلات**: تحليل سجلات OmniUPF للأنماط الخطأ
3.**استعلام REST API**: استعلام دوري لنقاط النهاية /packet_stats، map_info
4.**مراقبة واجهة الويب**: المراقبة اليدوية عبر صفحات الإحصائيات والسعة

تخطيط السعة

تقدير سعة الجلسة

حساب الحد الأقصى للجلسات:

```
Max Sessions = min(
    سعة خريطة PDRs  # ,  PDR / 2 في الاتجاه النازل + الاتجاه الصاعد لكل
```

```
لسة
  سعة خريطة FARs #  ,2 / FAR في الاتجاه النازل + الاتجاه الصاعد لكل
جلسة
  سعة خريطة QER      # اختياري، QER واحد لكل جلسة
)
```

مثال:

- سعة خريطة PDR: 131,070
- سعة خريطة FAR: 131,070
- سعة خريطة QER: 65,535

Max Sessions = min(131,070 / 2, 131,070 / 2, 65,535) = **65,535** **جلسة**

سعة الذاكرة

حساب إجمالي ذاكرة خريطة eBPF:

```
الذاكرة = Σ (سعة الخريطة × (حجم المفتاح + حجم القيمة))
```

مثال على التكوين:

- خرائط PDR: 3 × 131,070 × 212 بايت = 83.3 ميجابايت
- خريطة FAR: 131,070 × 20 بايت = 2.6 ميجابايت
- خريطة QER: 65,535 × 36 بايت = 2.3 ميجابايت
- خريطة URR: 131,070 × 20 بايت = 2.6 ميجابايت
- **الإجمالي**: ~91 ميجابايت من ذاكرة النواة

اعتبارات ذاكرة النواة:

- التأكد من وجود حد كافٍ للذاكرة المقفلة (`ulimit -l`)
- الاحتفاظ بمقدار 2x من الاستخدام المقدر لهامش الأمان
- مراقبة توفر ذاكرة النواة

سعة الحركة

حساب سعة الإنتاجية المطلوبة:

1. **تقدير متوسط إنتاجية الجلسة**:
   - بث الفيديو: ~5 Mbps
   - تصفح الويب: ~1 Mbps
   - VoIP: ~0.1 Mbps

2. **حساب الإنتاجية الإجمالية**:

```
إجمالي الإنتاجية = الجلسات × متوسط إنتاجية الجلسة
```

3. **إضافة الهامش**:

```
السعة المطلوبة = إجمالي الإنتاجية × 2  # 100% هامش
```

مثال:

- 10,000 جلسة متزامنة
- متوسط 2 Mbps لكل جلسة
- الإجمالي: 20 جيجابت في الثانية
- السعة المطلوبة: 40 جيجابت في الثانية (واجهتي N3 + N6)

تخطيط النمو

تحليل الاتجاه:

1. تسجيل عدد الجلسات القصوى اليومية
2. حساب معدل النمو الأسبوعي
3. تقدير الحد الأقصى للسعة

صيغة معدل النمو:

```
أسابيع إلى السعة = (السعة - الاستخدام الحالي) / (معدل النمو الأسبوعي)
```

مثال:

- الجلسات الحالية: 30,000
- السعة: 65,535 جلسة
- معدل النمو الأسبوعي: 2,000 جلسة
- أسابيع إلى السعة: (65,535 - 30,000) / 2,000 = **17.8 أسبوع**

الإجراء: التخطيط لترقية السعة في 12 أسبوعًا (مما ي��رك 5 أسابيع كاحتياطي).

استكشاف مشكلات الأداء

معدل سقوط الحزم المرتفع

الأعراض: معدل السقوط > 1%، شكاوى المستخدمين من ضعف الاتصال

التشخيص:

1. تحقق من الإحصائيات → إحصائيات الحزم
2. تحديد ما إذا كانت السقوط خاصة بالبروتوكول
3. مراجعة إحصائيات XDP لسقوط XDP مقابل الملغاة

الأسباب الشائعة:

- **تحديد معدل QER**: تحقق من قيم MBR لـ QER مقابل حركة المرور الفعلية
- **TEIDs غير صالحة**: تحقق من أن TEID PDR في الاتجاه الصاعد يتطابق مع تعيين gNB
- **عناوين UE غير معروفة**: تحقق من أن PDR في الاتجاه النازل موجود للعنوان UE

•**تجاوز المخزن المؤقت**: تحقق من إحصائيات المخزن المؤقت

الحل:

•زيادة MBR لـ QER إذا كان هناك تحديد معدل
•تحقق من أن SMF قد أنشأ PDRs الصحيحة
•مسح المخازن المؤقتة إذا تم الكشف عن تجاوز

أخطاء معالجة XDP

الأعراض: الملغاة في XDP > 0

التشخيص:

1.انتقل إلى الإحصائيات → إحصائيات XDP
2.تحقق من عداد الملغاة
3.مراجعة سجلات OmniUPF للأخطاء في eBPF

الأسباب الشائعة:

•فشل التحقق من برنامج eBPF
•عدم توافق إصدار النواة
•أخطاء الوصول إلى خريطة eBPF
•تلف الذاكرة

الحل:

•إعادة تشغيل خدمة OmniUPF
•تحقق من أن إصدار النواة يلبي الحد الأدنى من المتطلبات (Linux 5.4+)
•مراجعة سجلات برنامج eBPF
•الاتصال بالدعم إذا استمرت المشكلة

استنفاد السعة

الأعراض: فشل إنشاء الجلسات، سعة الخريطة عند 100%

التشخيص:

1.انتقل إلى صفحة السعة
2.تحديد أي خريطة عند 100%
3.تحقق مما إذا كانت الجلسات عالقة (لا يتم حذفها)

التخفيف الفوري:

1.تحديد الجلسات القديمة (تحقق من صفحة الجلسات)
2.طلب SMF لحذف الجلسات القديمة

3.مسح المخازن المؤقتة لتحرير إدخالات FAR

الحل على المدى الطويل:

1.زيادة سعة خريطة eBPF
2.جدولة إعادة تشغيل UPF مع خرائط أكبر
3.تنفيذ سياسات تنظيف الجلسات

تدهور الأداء

الأعراض: ارتفاع الكمون، انخفاض الإنتاجية، تشبع وحدة المعالجة المركزية

التشخيص:

1.تحقق من معدل الحزم مقابل القاعدة التاريخية
2.مراجعة إحصائيات XDP لتأخيرات المعالجة
3.مراقبة استخدام وحدة المعالجة المركزية على مضيف UPF
4.تحقق من استخدام واجهة N3/N6

الأسباب الشائعة:

•حركة المرور تتجاوز سعة UPF
•عدم كفاية نوى وحدة المعالجة المركزية لمعالجة الحزم
•اختناق واجهة الشبكة
•تصادمات تجزئة خريطة eBPF

الحل:

•توسيع UPF أفقيًا (إضافة المزيد من الحالات)
•ترقية وحدة المعالجة المركزية أو تمكين RSS (توزيع الجانب المستلم)
•ترقية واجهات الشبكة إلى سرعات أعلى
•ضبط دالة تجزئة خريطة eBPF

الوثائق ذات الصلة

•**دليل عمليات UPF** - الهيكل العام لـ UPF والعمليات
•**دليل إدارة القواعد** - تكوين PDR و FAR و QER و URR
•**دليل عمليات واجهة الويب** - ميزات مراقبة لوحة التحكم
•**دليل استكشاف الأخطاء** - المشكلات الشائعة والتشخيصات
•**دليل الهيكلية** - مسار بيانات eBPF وتحسين الأداء

N9 Loopback: تشغيل SGWU و PGWU على نفس المثيل

نظرة عامة

يدعم OmniUPF تشغيل كل من **SGWU (بوابة الخدمة لمستوى المستخدم)** و **PGWU (بوابة PDN لمستوى المستخدم)** على **نفس المثيل** مع **حلقة N9 بدون تأخير**. وضع النشر هذا مثالي لـ:

- **نشر 4G EPC مبسط** - مثيل UPF واحد بدلاً من اثنين
- **تحسين التكاليف** - تقليل التعقيد في البنية التحتية والتشغيل
- **الحوسبة الطرفية** - تقليل التأخير في سيناريوهات الانفصال المحلي
- **بيئات المختبر/الاختبار** - مستوى مستخدم EPC كامل على خادم واحد

عند تكوينه بنفس عنوان IP لكل من واجهتي N3 و N9، يقوم OmniUPF **باكتشاف** حركة المرور المتدفقة بين أدوار SGWU و PGWU تلقائيًا ويعالجها **تمامًا في eBPF** دون إرسال حزم إلى واجهة الشبكة.

كيف يعمل

النشر التقليدي (مثيلان)

تدفق الحزم:

1. eNodeB → SGWU: تصل حزمة GTP (TEID=100) على S1-U
2. SGWU: تطابق PDR الواصل، وتغلف في نفق GTP جديد (TEID=200)
3. **تُرسل الحزمة عبر الشبكة الفعلية N9** إلى مثيل PGWU
4. PGWU: تستقبل GTP (TEID=200)، وتفك التغليف، وتForward إلى الإنترنت
5. **الإجمالي: 2 تمريرات XDP + 1 قفزة شبكة**

نشر حلقة N9 (مثيل واحد)

تدفق الحز�� مع حلقة N9:

1. eNodeB → دور SGWU: تصل حزمة GTP (TEID=100) على S1-U
2. دور SGWU: تطابق PDR الواصل
3. **كشف الحلقة:** عنوان IP الوجهة = IP المحلي (10.0.1.10)
4. **المعالجة في المكان:** تحديث GTP TEID إلى 200 (جلسة PGWU)
5. دور PGWU: تفك التغليف، وتForward إلى الإنترنت
6. **الإجمالي: 1 تمريرة XDP، صفر قفزات شبكة**

فائدة الأداء: توجيه داخلي دون ميكروثانية مقابل ميلي ثانية لجولة الشبكة

تفاصيل معالجة الحزم

تدفق الواصل: PGWU → SGWU → eNodeB → الإنترنت

مسار الكود: `cmd/ebpf/xdp/n3n6_entrypoint.c` lines 349-403

الخطوات الرئيسية:

1. **استلام:** حزمة GTP من eNodeB مع TEID=100
2. **مطابقة PDR:** البحث عن PDR الواصل لجلسة SGWU (TEID=100)
3. **إجراء FAR:** تغليف في GTP مع TEID=200، توجيه إلى 10.0.1.10
4. **تحقق الحلقة:** `is_local_ip(10.0.1.10)` تعيد TRUE
5. **تحديث TEID:** تغيير `ctx->gtp->teid` من 100 إلى 200 (في ذاكرة النواة)
6. **إعادة المعالجة:** البحث عن PDR لـ TEID=200 (جلسة PGWU)
7. **إجراء FAR:** إزالة رأس GTP، توجيه إلى الإنترنت
8. **توجيه:** إرسال حزمة IP عادية إلى واجهة N6

تدفق النازل: الإنترنت → eNodeB → SGWU → PGWU

مسار الكود: `cmd/ebpf/xdp/n3n6_entrypoint.c` lines 137-194 (IPv4), 265-322 (IPv6)

الخطوات الرئيسية:

1. **استلام:** حزمة IP عادية من الإنترنت موجهة إلى UE (10.60.0.1)
2. **مطابقة PDR:** البحث عن PDR النازل بواسطة UE IP (جلسة PGWU)
3. **إجراء FAR:** تغليف في GTP مع TEID=200، توجيه إلى 10.0.1.10
4. **تحقق الحلقة:** `is_local_ip(10.0.1.10)` تعيد TRUE
5. **إضافة GTP:** تغليف الحزمة مع TEID=200
6. **إعادة المعالجة:** البحث عن PDR لـ TEID=200 (جلسة SGWU)
7. **إجراء FAR:** تحديث نفق GTP إلى eNodeB TEID=100
8. **توجيه:** إرسال حزمة GTP إلى واجهة S1-U (eNodeB)

التكوين

المتطلبات

الطائرة التحكمية:

- **SGWU-C**: يجب ن تتصل بواجهة PFCP لـ OmniUPF (على سبيل المثال، 192.168.1.10:8805)

• **PGWU-C**: يجب أن تتصل بواجهة PFCP لـ OmniUPF **نفسها**

الشبكة:

• **عنوان IP واحد** لكل من واجهتي N3 و N9
• **عناوين IP مختلفة** لـ SGWU-C و PGWU-C (إذا كانت تعمل على نفس المضيف، استخدم منافذ مختلفة)

تكوين OmniUPF

config.yml:

```yaml
# واجهات الشبكة
interface_name: [eth0]          # واجهة واحدة لـ S1-U و N9
xdp_attach_mode: native         # استخدم native للحصول على أفضل أداء

# واجهة PFCP
"pfcp_address": ":8805          # الاستماع على جميع الواجهات، المنفذ 8805
"pfcp_node_id": "192.168.1.10   # معرف عقدة PFCP لـ OmniUPF

# واجهات مستوى المستخدم
"n3_address": "10.0.1.10        # عنوان IP لواجهة S1-U/N3
"n9_address": "10.0.1.10        # عنوان IP لواجهة N9 (نفسه كما في N3)

# واجهات API
"api_address": ":8080           # واجهة REST API
"metrics_address": ":9090       # مقاييس Prometheus

# تجمعات الموارد
"ueip_pool": "10.60.0.0/16      # تجمع عناوين IP لـ UE
teid_pool: 65535                # تجمع تخصيص TEID

# السعة
max_sessions: 100000            # الحد الأقصى لجلسات UE المتزامنة
```

التكوين الرئيسي:

• **n3_address و n9_address يجب أن تكون متطابقة** لتمكين الحلقة
• عنوان PFCP واحد للاستماع لكل من الطائرتين التحكمية
• عدد كافٍ من max_sessions لتحميل SGWU + PGWU المدمج

تكوين الطائرة التحكمية

تكوين SGWU-C

```
# الإشارة إلى واجهة PFCP لـ OmniUPF
"upf_pfcp_address": "192.168.1.10:8805

# واجهة S1-U (نفسها كما في n3_address لـ OmniUPF)
"sgwu_s1u_address": "10.0.1.10

# واجهة N9 للتوجيه إلى PGWU (نفسها كما في OmniUPF)
"sgwu_n9_address": "10.0.1.10
```

تكوين PGWU-C

```
# الإشارة إلى نفس واجهة PFCP لـ OmniUPF
"upf_pfcp_address": "192.168.1.10:8805

# واجهة N9 (تستقبل من SGWU)
"pgwu_n9_address": "10.0.1.10

# واجهة SGi للاتصال بالإنترنت
"pgwu_sgi_address": "192.168.100.1
```

مهم:

•كلا الطائرتين التحكميتين تتصلان بـ **نفس نقطة نهاية** (:8805) **PFCP**
•يقوم OmniUPF بإن**ء** **جمعيات PFCP منفصلة** لـ SGWU-C و PGWU-C
•الجلسات معزولة لكل طائرة تحكمية (تتبع بواسطة معرف العقدة)

مثال ع**ى تدفق الجلسة

توصيل UE وتأسيس جلسة PDU

السيناريو: يتصل UE بالشبكة، ويؤسس جلسة بيانات

الجلسات PFCP التي تم إنشاؤها:

جلسة SGWU (من OmniSGW-C):

•**PDR صاعد:** تطابق TEID=100 (من eNodeB) → FAR: تغليف، TEID=200 dst=10.0.1.10
•**PDR نازل:** تطابق TEID=200 (من PGWU) → FAR: تحديث النفق TEID=100، توجيه إلى eNodeB

جلسة PGWU (من OmniPGW-C):

- **PDR صاعد:** تطابق TEID=200 (من SGWU) ← FAR: فك التغليف، توجيه إلى الإنترنت
- **PDR نازل:** تطابق UE IP=10.60.0.1 ← FAR: تغليف TEID=200، dst=10.0.1.10

المراقبة والتحقق

تحقق من أن حلقة N9 نشطة

تحقق من سجلات XDP:

```
# عرض مخرجات تصحيح eBPF في الوقت الحقيقي
sudo cat /sys/kernel/debug/tracing/trace_pipe | grep loopback
```

المخرجات المتوقعة:

```
            upf: [n3] session for teid:100 -> 200 remote:10.0.1.10
  upf: [n9-loopback] self-forwarding detected, processing inline
                                                          TEID:200
                  upf: [n9-loopback] decapsulated, routing to N6

                     upf: [n6] use mapping 10.60.0.1 -> teid:200
upf: [n6-loopback] downlink self-forwarding detected, processing
                                                  inline TEID:200
   upf: [n6-loopback] SGWU updating GTP tunnel to eNodeB TEID:100
                           upf: [n6-loopback] forwarding to eNodeB
```

مراقبة الجلسات عبر واجهة REST API

قائمة جمعيات PFCP:

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

المخرجات المتوقعة:

```
                                                        }
                                                ] :"associations"
                                                      }
                                        ,"node_id": "sgwc.example.com"
                                      ,"address": "192.168.1.20:8805"
                                                sessions": 1000"
                                                     ,{
                                                      }
                                        ,"node_id": "pgwc.example.com"
                                      ,"address": "192.168.1.21:8805"
                                                sessions": 1000"
                                                     {
```

```
,[
  total_sessions": 2000"
{
```

تحقق من وجود جمعيتين منفصلتين (واحدة لـ SGWU-C، واحدة لـ PGWU-C)

قائمة الجلسات النشطة:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.sessions[] |
'{local_seid, ue_ip, uplink_teid}
```

المخرجات المتوقعة:

```
  }
  ,local_seid": 12345"
  ,"ue_ip": "10.60.0.1"
    uplink_teid": 100"
  {
  }
  ,local_seid": 67890"
  ,"ue_ip": "10.60.0.1"
    uplink_teid": 200"
  {
```

لكل UE جلستين:

- جلسة من SGWU-C (TEID=100، واجهة S1-U)
- جلسة من PGWU-C (TEID=200، واجهة N9)

مقاييس الأداء

تحقق من إحصائيات الحزم:

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

المقاييس الرئيسية:

- `xdp_processed`: إجمالي الحزم المعالجة في eBPF
- `xdp_pass`: الحزم التي تم تمريرها إلى مكدس الشبكة (يجب أن تكون صفرًا لحركة مرور الحلقة)
- `xdp_redirect`: الحزم التي تم توجيهها عبر إعادة توجيه XDP
- `xdp_tx`: الحزم المرسلة (تستخدم حركة مرور الحلقة هذا)

لحركة مرور حلقة N9:

- يجب أن تكون `xdp_pass` **أدنى** (فقط حركة مرور غير حلقة)

- `xdp_tx` أو `xdp_redirect` تحسب توجيه الحلقة

استكشاف الأخطاء وإصلاحها

حركة مرور N9 تذهب إلى الشبكة بدلاً من الحلقة

الأعراض: الحزم تُرسل إلى واجهة الشبكة، تأخير مرتفع

السبب الجذري: `n3_address` ≠ `n9_address`

الحل:

```
# خاطئ:
"n3_address": "10.0.1.10
"n9_address": "10.0.1.20"   # IP مختلف، لا حلقة!

# صحيح:
"n3_address": "10.0.1.10
"n9_address": "10.0.1.10"   # نفس IP، يمكّن الحلقة
```

التحقق:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/dataplane_config | jq
```

يجب أن يظهر:

```
}
,"n3_ipv4_address": "10.0.1.10"
 "n9_ipv4_address": "10.0.1.10"
{
```

PDR غير موجود بعد الحلقة

الأعراض: السجلات تظهر `no PDR for destination TEID [n9-loopback]`

السبب الجذري: لم يتم إنشاء جلسة PGWU أو عدم تطابق TEID

التشخيص:

1. **تحقق من جلسات PFCP:**

```
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.sessions[] |
                                        'select(.uplink_teid == 200)
```

2. **تحقق من تكوين FAR:**

```
curl http://localhost:8080/api/v1/far_map | jq '.[] |
'select(.teid == 200)
```

الحل: تأكد من أن PGWU-C تنشئ جلسة مع TEID متطابق يستخدمه SGWU-C لتوجيه N9

استخدام CPU مرتفع

الأعراض: استخدام CPU أعلى من المتوقع

السبب الجذري: برنامج eBPF يعالج الحزم عدة مرات أو عمليات بحث مفرطة في الخريطة

التشخيص:

```
# تحقق من أنماط الوصول إلى خريطة eBPF
sudo bpftool map dump name pdr_map_teid_ip4 | wc -l
sudo bpftool map dump name far_map | wc -l
```

الحل:

- زيادة max_sessions إذا كانت الخريطة ممتلئة (تسبب فشل البحث)
- تحقق من أن تحديد معدل QER لا يسبب فقدان الحزم وإعادة الإرسال
- تحقق من وجود تخزين مفرط للحزم

فقدان الحزم أثناء النقل

الأعراض: فقدان الحزم أثناء نقل eNodeB

السبب الجذري: عدم تكوين التخزين المؤقت أو حدود التخزين غير كافية

التكوين:

```
buffer_port: 22152
buffer_max_packets: 20000      # زيادة لشبكات الحركة العالية
buffer_max_total: 100000
buffer_packet_ttl: 30          # ضبط بناءً على وقت النقل
```

التحقق:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info | jq
```

فوائد حلقة N9

الأداء

المقياس	مثيلان	مثيل واحد (حلقة N9)	التحسين
التأخير	1-5 مللي ثانية	< 1 ميكروثانية	**1000x أسرع**
السعة	محدودة بالشبكة	محدودة بالمعالج/الذاكرة	**2-3x أعلى**
استخدام CPU	2× تمريرات XDP + مكدس الشبكة	1× تمريرة XDP	**40-50% تقليل**
فقدان الحزم	خطر أثناء ازدحام الشبكة	صفر (في الذاكرة)	**تم القضاء عليه**

العمليات

- **نشر مبسط:** مثيل OmniUPF واحد بدلاً من اثنين
- **تقليل البنية التحتية:** نصف الخوادم، منافذ الشبكة، عناوين IP
- **تقليل التعقيد:** تكوين واحد، نقطة مراقبة واحدة
- **توفير التكاليف:** تقليل الأجهزة، الطاقة، التبريد، والصيانة
- **تسهيل استكشاف الأخطاء:** تتبع حزمة واحدة، مخرجات تصحيح eBPF واحدة

حالات الاستخدام

مثالي لـ:

- **الحوسبة الطرفية:** تقليل التأخير للانفصال المحلي
- **نشر صغير/متوسط:** < 100K مشتركين
- **مختبر/اختبار:** مستوى مستخدم EPC كامل على VM واحد
- **مقيد بالتكاليف:** ميزانية أجهزة محدودة

غير موصى به لـ:

- **المرونة الجغرافية:** SGWU و PGWU في مراكز بيانات مختلفة
- **مقياس ضخم:** > 1M مشتركين (فكر في التوسع الأفقي)
- **متطلبات تنظيمية:** فصل إلزامي بين SGW و PGW

المقارنة مع أوضاع النشر الأخرى

مثيل واحد (حلقة N9) مقابل مثيلات مفصولة

الميزة	حلقة N9	مفصولة	حاويات
التأخير	⚡ < 1 ميكروثانية	1-5 مللي ثانية	5-20 مللي ثانية
السعة	⚡ 40+ جيجابت في الثانية	20+ جيجابت ي الثانية	10+ جيجابت في الثانية
البنية التحتية	خادم واحد	خادمان	⚠ خادم واحد، 2 VM
التعقيد	بسيط	معقد	⚠ معتدل
التكلفة	أدنى	أعلى	⚠ متوسطة
التوسع	⚠ عمودي فقط	أفقي	أفقي

الميزة	حلقة N9	مفصولة	حاويات
المرونة	✅ نقطة فشل واحدة	✅ مرونة جغرافية	⚠ مرونة محلية

الملخص

تمكن حلقة N9 **من تشغيل مستوى مستخدم 4G EPC على مستوى واحد من OmniUPF** من خلال معالجة حركة مرور SGWU→PGWU بالكامل في eBPF دون قفزات الشبكة. وهذا يوفر:

- ✅ **تأخير دون ميكروثانية** لتوجيه بين البوابات
- ✅ **تقليل CPU بنسبة 40-50%** مقارنة بالمثيلات المفصولة
- ✅ **عمليات مبسطة** - مثيل واحد، تكوين، مراقبة
- ✅ **تكلفة أقل** - نصف البنية التحتية
- ✅ **امتثال كامل لـ 3GPP** - بروتوكولات PFCP و GTP-U القياسية

التكوين تلقائي عندما يكون `n3_address == n9_address` - لا حاجة إلى علامات أو إعدادات ✅اصة. يكتشف مسار eBPF الخاص بـ OmniUPF ظروف الحلقة ويعالج الحزم في الخط.

للحصول على مزيد من المعلومات:

- **التكوين:** CONFIGURATION.md
- **العمارة:** ARCHITECTURE.md
- **العمليات:** OPERATIONS.md
- **استكشاف الأخطاء وإصلاحها:** TROUBLESHOOTING.md

دليل إدارة القواعد

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. قواعد اكتشاف الحزم (PDR)
3. قواعد إجراء التوجيه (FAR)
4. قواعد تطبيق جودة الخدمة (QER)
5. قواعد تقارير الاستخدام (URR)
6. علاقات القواعد
7. العمليات الشائعة
8. استكشاف الأخطاء وإصلاحها

نظرة عامة

تستخدم OmniUPF مجموعة من القواعد المترابطة لتصنيف وتوجيه وتشكيل وتتبع حركة مرور مستوى المستخدم. يتم تثبيت هذه القواعد بواسطة SMF عبر PFCP وتخزينها في خرائط eBPF لمعالجة الحزم عالية الأداء. فهم هذه القواعد وعلاقاتها أمر حاسم لتشغيل واستكشاف UPF.

أنواع القواعد

نوع القاعدة	الغرض	الحقل الرئيسي	المثبت بواسطة
PDR (قاعدة اكتشاف الحزم)	تصنيف الحزم إلى تدفقات	TEID أو عنوان IP للـ UE	SMF عبر إنشاء/تعديل جلسة PFCP
FAR (قاعدة إجراء التوجيه)	تحديد إجراء التوجيه	FAR ID	SMF عبر إنشاء/تعديل جلسة PFCP
QER (قاعدة تطبيق جودة الخدمة)	تطبيق حدود النطاق الترددي والتوسيم	QER ID	SMF عبر إنشاء/تعديل جلسة PFCP
URR (قاعدة تقارير الاستخدام)	تتبع أحجام البيانات للرسوم	URR ID	SMF عبر إنشاء/تعديل جلسة PFCP

تدفق معالجة القواعد

قواعد اكتشاف الحزم (PDR)

الغرض

تصنف PDR الحزم الواردة إلى تدفقات حركة المرور. إنها نقطة الدخول لجميع معالجة الحزم في UPF.

هيكل PDR

PDR الرفع

تطابق PDR الرفع الحزم التي تصل إلى واجهة N3 من RAN.

الحقل الرئيسي: TEID (معرف نقطة نهاية النفق)

- عدد صحيح غير موقع 32 بت
- يتم تعيينه بواسطة SMF وإشعاره إلى gNB
- فريد لكل تدفق حركة مرور للـ UE

حقول القيمة:

- **FAR ID**: مرجع لقاعدة إجراء التوجيه
- **QER ID**: مرجع لقاعدة تطبيق جودة الخدمة (اختياري)
- **URR IDs**: قائمة بقواعد تقارير الاستخدام (اختياري)
- **إزالة الرأس الخارجي**: علامة لإزالة التغليف بـ GTP-U

عملية البحث:

1. استخراج TEID من رأس GTP-U
2. بحث تجزئة في eBPF خريطة `uplink_pdr_map`
3. إذا تم العثور على مطابقة، استرجاع FAR ID وQER ID وURR IDs
4. إذا لم توجد مطابقة، إسقاط الحزمة

مثال:

```
TEID: 5678
FAR ID: 2
QER ID: 1
إزالة الرأس الخارجي: خطأ
وضع SDF: لا SDF
```

PDR النزول

تطابق PDR النزول الحزم التي تصل إلى واجهة N6 من شبكة البيانات.

الحقل الرئيسي: عنوان IP للـ UE

- عنوان IPv4 (32 بت) أو عنوان IPv6 (128 بت)
- يتم تعيينه بواسطة SMF أثناء إنشاء جلسة PDU
- فريد لكل UE

حقول القيمة:

- **FAR ID**: مرجع لقاعدة إجراء التوجيه
- **QER ID**: مرجع لقاعدة تطبيق جودة الخدمة (اختياري)

- **URR IDs**: قائمة بقواعد تقارير الاستخدام (اختياري)
- **وضع SDF**: وضع مرشح تدفق البيانات
  - لا SDF: لا تصفية، جميع الحركة تطابق
  - SDF فقط: يتم توجيه الحركة المطابقة فقط
  - SDF + افتراضي: تستخدم الحركة المطابقة لـ SDF قواعد محددة، بينما تستخدم الحركة الأخرى FAR الافتراضي
- **مرشحات SDF**: مرشحات محددة للتطبيق (المنافذ، البروتوكولات، نطاقات IP)

عملية البحث:

1. استخراج عنوان IP الوجهة من رأس الحزمة
2. بحث تجزئة في `downlink_pdr_map` (IPv4) أو `downlink_pdr_map_ip6` (IPv6)
3. إذا تم العثور على مطابقة، تحقق من مرشحات SDF (إذا تم تكوينها)
4. استرجاع FAR ID وQER ID وURR IDs
5. إذا لم توجد مطابقة، إسقاط الحزمة

مثال:

```
عنوان IP للـ UE: 10.45.0.1
FAR ID: 1
QER ID: 1
إزالة الرأس الخارجي: خطأ
وضع SDF: لا SDF
```

مرشحات SDF (تدفق البيانات الخدمية)

توفر مرشحات SDF تصنيف حركة المرور المحددة للتطبيق داخل PDR.

حالات الاستخدام:

- تمييز حركة مرور YouTube عن تصفح الويب
- تطبيق جودة خدمة مختلفة على VoIP مقابل البيانات ذات الجهد الأفضل
- توجيه تطبيقات محددة عبر مسارات شبكة مختلفة

معايير التصفية:

- **البروتوكول**: TCP، UDP، ICMP
- **نطاق المنفذ**: المنافذ الوجهة (مثل 443 لـ HTTPS، 5060 لـ SIP)
- **نطاق عنوان IP**: الشبكات الوجهة المحددة
- **وصف التدفق**: قوالب التدفق المحددة بواسطة 3GPP

مثال على تكوين SDF:

```
PDR ID: 10
عنوان IP للـ UE: 10.45.0.1
وضع SDF: SDF فقط
مرشحات SDF:
  - البروتوكول: UDP، المنافذ: 5060-5061 → FAR ID 5 (VoIP FAR)
  - البروتوكول: TCP، المنفذ: 443 → FAR ID 1 (FAR الافتراضي)
```

قواعد إجراء التوجيه (FAR)

الغرض

تحدد FARs ما يجب فعله بالحزم التي تطابق PDR. إنها تعرف إجراءات التوجيه، ومعلمات التغليف بـ GTP-U، ونقاط النهاية الوجهة.

هيكل FAR

أعلام الإجراء

تعد إجراءات FAR أعلام بتية يمكن دمجها:

العلم	البت	القيمة	الوصف
FORWARD	1	2	توجيه الحزمة إلى الوجهة
BUFFER	2	4	تخزين الحزمة في المخزن
DROP	0	1	تجاهل الحزمة
NOTIFY	3	8	إرسال إشعار إلى مستوى التحكم
DUPLICATE	4	16	تكرار الحزمة إلى وجهات متعددة

تركيبات الإجراءات الشائعة:

- الإجراء: 2 (FORWARD) - توجيه عادي (الأكثر شيوعًا)
- الإجراء: 6 (FORWARD + BUFFER) - توجيه وتخزين أثناء الانتقال
- الإجراء: 4 (BUFFER) - تخزين فقط (أثناء تبديل المسار)
- الإجراء: 1 (DROP) - إسقاط الحزمة (نادراً، عادةً لتطبيق السياسات)

التحكم في التخزين

تتحكم علامة BUFFER (بت 2) في تخزين الحزم أثناء أحداث التنقل.

عمليات التخزين:

- **تمكين التخزين**: تعيين بت 2 من إجراء FAR (Action |= 4)
- **تعطيل التخزين**: مسح بت 2 من إجراء FAR (Action &= ~4)
- **تفريغ التخزين**: إعادة تشغيل جميع الحزم المخزنة باستخدام قواعد FAR الحالية
- **مسح التخزين**: تجاهل جميع الحزم المخزنة دون توجيه

إنشاء الرأس الخارجي

يحدد ما إذا كان يجب إضافة التغليف بـ GTP-U.

FAR الرفع (N3 → N6):

- إنشاء الرأس الخارجي: خطأ
- الإجراء: إزالة GTP-U، توجيه حزمة IP الأصلية

FAR النزول (N6 → N3):

•إنشاء الرأس الخارجي: صحيح
•عنوان IP البعيد: عنوان IP لـ gNB (مثل 200.198.5.10)
•TEID: معرف النفق لحركة مرور UE
•الإجراء: إضافة رأس GTP-U، توجيه إلى gNB

بحث FAR في واجهة الويب

تقدم صفحة إدارة القواعد بحث FAR حسب ID:

الخطوات:

1.الانتقال إلى القواعد → علامة FARs
2.إدخال FAR ID في حقل البحث
3.النقر على "بحث" لعرض تفاصيل FAR

المعلومات المعروضة:

•FAR ID
•الإجراء (رقمي + أعلام مفككة)
•حالة التخزين (تشغيل/إيقاف)
•إنشاء الرأس الخارجي
•عنوان IP البعيد (مع التمثيل العددي)
•TEID
•تحديد مستوى النقل

قواعد تطبيق جودة الخدمة (QER)

الغرض

تطبق QERs معلمات جودة الخدمة على تدفقات حركة المرور، بما في ذلك حدود النطاق الترددي وتوسيم الحزم.

هيكل QER

معلمات جودة الخدمة

QFI (معرف تدفق جودة الخدمة):

•معرف 6 بت لتدفقات جودة الخدمة في 5G
•القيم من 1 إلى 9 موحدة (مثل QFI 9 = حامل افتراضي)
•تستخدم لتوسيم الحزم في 5GC

حالة البوابة:

•**مفتوح (0)**: مسموح بحركة المرور

•**مغلق (غير صفري)**: محجوز حركة المرور

أقصى معدل بت (MBR):

•الحد الأقصى المسموح به للنطاق الترددي لتدفق الحركة
•محدد بالكيلوبت في الثانية
•**MBR = 0**: لا حد للسرعة (غير محدود)
•يتم إسقاط الحركة التي تتجاوز MBR

معدل بت مضمون (GBR):

•الحد الأدنى للنطاق الترددي المضمون لتدفق الحركة
•محدد بالكيلوبت في الثانية
•**GBR = 0**: جهد أفضل (بدون ضمان)
•**GBR > 0**: تدفق ذو أولوية مع عرض نطاق مضمون

أنواع تدفقات جودة الخدمة

تدفقات الجهد الأفضل (GBR = 0):

```
QER ID: 1
QFI: 9
MBR الرفع: 100000 كيلوبت في الثانية (100 ميغابت في الثانية)
MBR النزول: 100000 كيلوبت في الثانية (100 ميغابت في الثانية)
GBR الرفع: 0 كيلوبت في الثانية
GBR النزول: 0 كيلوبت في الثانية
```

التدفقات المضمونة (GBR > 0):

```
QER ID: 2
QFI: 1
MBR الرفع: 10000 كيلوبت في الثانية (10 ميغابت في الثانية)
MBR النزول: 10000 كيلوبت في الثانية (10 ميغابت في الثانية)
GBR الرفع: 5000 كيلوبت في الثانية (5 ميغابت في الثانية)
GBR النزول: 5000 كيلوبت في الثانية (5 ميغابت في الثانية)
```

خوارزمية تطبيق جودة الخدمة

قواعد تقارير الاستخدام (URR)

الغرض

تتبع URRs أحجام البيانات للرسوم، والتحليلات، وتطبيق السياسات. تحتفظ بعدادات الحزم والبايت التي يتم الإبلاغ عنها إلى SMF لسجلات الرسوم.

هيكل URR

تتبع الحجم

حجم الرفع:

•بايت تم نقلها من UE إلى شبكة البيانات
•تقاس بعد إزالة التغليف بـ GTP-U
•تشمل رأس IP والحمولة

حجم النزول:

•بايت تم نقلها من شبكة البيانات إلى UE
•تقاس قبل إضافة التغليف بـ GTP-U
•تشمل رأس IP والحمولة

إجمالي الحجم:

•مجموع أحجام الرفع والنزول
•تستخدم للإبلاغ عن الاستخدام الكلي

مشغلات تقارير الاستخدام

يمكن أن تؤدي URRs إلى تقارير بناءً على:

حد الحجم:

•الإبلاغ عند تجاوز الحجم الحد المحدد
•مثال: الإبلاغ عن كل 1 جيجابايت من الاستخدام

حد الوقت:

•الإبلاغ في فترات دورية
•مثال: الإبلاغ كل 5 دقائق

استنادًا إلى الأحداث:

•الإبلاغ عند إنهاء الجلسة
•الإبلاغ عند تغيير جودة الخدمة
•الإبلاغ عند الانتقال

تنسيق عرض الحجم

تقوم واجهة الويب تلقائيًا بتنسيق الحجم في وحدات قابلة للقراءة البشرية:

بايت	العرض
0 - 1023	ب (بايت)
1024 - 1048575	ك ب (كيلوبايت)

بايت	العرض
1048576 - 1073741823	م ب (ميغابايت)
1073741824 - 1099511627775	ج ب (جيجابايت)
1099511627776+	ت ب (تيرابايت)

مثال:

```
URR ID: 0
حجم الرفع: 12.3 ك ب
حجم النزول: 9.0 ك ب
إجمالي الحجم: 21.3 ك ب
```

تدفق تقارير URR

علاقات القواعد

سلسلة PDR → FAR → QER → URR

تشير كل PDR إلى FAR، والتي قد تشير إلى QER وواحد أو أكثر من URRs.

مثال على تكوين الجلسة

PDR الرفع:

```
TEID: 5678
FAR ID: 2
QER ID: 1
URR IDs: [0]
إزالة الرأس الخارجي: خطأ
```

PDR النزول:

```
عنوان IP للـ UE: 10.45.0.1
FAR ID: 1
QER ID: 1
URR IDs: [0]
وضع SDF: لا SDF
```

FAR ID 1 (النزول):

```
الإجراء: 2 (FORWARD)
إنشاء الرأس الخارجي: صحيح
عنوان IP البعيد: 200.198.5.10
TEID: 5678
```

FAR ID 2 (الرفع):

```
الإجراء: 2 (FORWARD)
إنشاء الرأس الخارجي: خطأ
```

QER ID 1:

```
QFI: 9
MBR الرفع: 100000 كيلوبت في الثانية
MBR النزول: 100000 كيلوبت في الثانية
GBR الرفع: 0 كيلوبت في الثانية
GBR النزول: 0 كيلوبت في الثانية
```

URR ID 0:

```
حجم الرفع: 12.3 ك ب
حجم النزول: 9.0 ك ب
إجمالي الحجم: 21.3 ك ب
```

العمليات الشائعة

عرض القواعد لجلسة

عبر صفحة الجلسات:

1. الانتقال إلى الجلسات
2. العثور على UE بواسطة IP أو TEID
3. النقر على "توسيع" لعرض جميع القواعد (PDR، FAR، QER، URR)

عبر صفحة القواعد:

1. الانتقال إلى القواعد
2. استخدام البحث حسب TEID (الرفع) أو عنوان IP للـ UE (النزول) في علامة PDR
3. ملاحظة FAR ID وQER ID وURR IDs
4. الانتقال إلى علامات FAR/QER/URR لعرض القواعد المرجعية

تمكين/تعطيل التخزين

السيناريو: أثناء الانتقال، تخزين الحزم لمنع الفقد

الخطوات:

1. الانتقال إلى القواعد → FARs
2. إدخال FAR ID في حقل البحث
3. النقر على "بحث"
4. إذا كان التخزين مغلقًا، انقر على "تمكين التخزين"
5. تحقق من تعيين بت 2 من إجراء FAR (تزداد قيمة الإجراء بمقدار 4)

بديل عبر صفحة التخزين:

1.الانتقال إلى التخزين
2.عرض FARs مع التخزين الممكّن
3.النقر على "تعطيل التخزين" عند اكتمال الانتقال

مراقبة الامتثال لجودة الخدمة

تحقق مما إذا كانت الحركة محدودة بالسرعة:

1.الانتقال إلى القواعد → QERs
2.العثور على QER ID المرتبط بجلسة UE
3.ملاحظة قيم MBR الرفع وMBR النزول
4.المقارنة مع معدل نمو حجم URR

حساب متوسط الإنتاجية:

```
الإنتاجية (كيلوبت في الثانية) = (فرق الحجم بالبايت × 8) / (فرق الوقت بالثواني × 1000)
```

إذا اقتربت الإنتاجية من MBR، فإن الحركة محدودة بالسرعة.

تتبع استخدام البيانات

مراقبة أحجام URR:

1.الانتقال إلى القواعد → URRs
2.عرض أحجام الرفع والنزول والإجمالي
3.فرز حسب الحجم الإجمالي للعثور على أعلى المستخدمين
4.تحديث بشكل دوري لمراقبة نمو الحجم

حالات الاستخدام:

•التحقق من تكامل الرسوم
•اكتشاف استخدام البيانات غير الطبيعي
•تخطيط السعة ب��اءً على أنماط الحركة

استكشاف الأخطاء وإصلاحها

عدم تدفق الحركة

تحقق من PDR:

1.تحقق من وجود PDR لـ TEID (الرفع) أو عنوان IP للـ UE (النزول)
2.تأكيد أن FAR ID صالح
3.تحقق من أن مرشحات SDF لا تمنع الحركة

تحقق من FAR:

1.تحقق من أن إجراء FAR هو FORWARD (ليس DROP أو BUFFER فقط)

2.تأكيد أن إنشاء الرأس الخارجي يتطابق مع الاتجاه
3.تحقق من أن عنوان IP البعيد وTEID صحيحان للنزول

تحقق من QER:

1.تحقق من أن حالة البوابة مفتوحة (0)
2.تحقق من أن MBR ليس صارمًا جدًا

إسقاط الحزم

تحقق من تحديد معدل QER:

1.الانتقال إلى القواعد → QERs
2.تحقق من أن MBR كافٍ لحمل الحركة
3.تحقق من أن نمو حجم URR يتطابق مع الإنتاجية المتوقعة

تحقق من إجراء FAR:

1.الانتقال إلى القواعد → FARs
2.تحقق من أن الإجراء هو FORWARD، وليس DROP
3.تحقق من أن التخزين لا يزال عالقًا في وضع BUFFER فقط

مشاكل التخزين

الحزم عالق�ً في التخزين:

1.الانتقال إلى صفحة التخزين
2.تحقق من الطابع الزمني لأقدم حزمة
3.إذا كانت > 30 ثانية، قد يكون الانتقال قد فشل
4.قم بتفريغ أو مسح التخزين يدويًا
5.تعطيل التخزين على FAR

تجاوز التخزين:

1.تحقق من إجمالي الحزم مقابل الحد الأقصى الإجمالي (الافتراضي 100,000)
2.تحقق من الحزم لكل FAR مقابل الحد الأقصى لكل FAR (الافتراضي 10,000)
3.مسح التخزين إذا كان ممتلئًا
4.التحقيق في سبب عدم تعطيل التخزين

URR لا تتبع

عدادات الحجم عند الصفر:

1.تحقق من أن PDR تشير إلى URR ID
2.تحقق من أن الحزم تتطابق مع PDR
3.تحقق من أن FAR تقوم بتوجيه (ليس إسقاط) الحزم
4.تأكيد أن URR ID موجود في خريطة URR

الحجم لا يتم الإبلاغ عنه إلى SMF:

1.تحقق من تكوين تقرير جلسة PFCP
2.تحقق من مشغلات تقارير URR (حدود الحجم/الوقت)
3.مراجعة السجلات لرسائل تقرير جلسة PFCP

الوثائق ذات الصلة

- **دليل عمليات UPF** - نظرة عامة على بنية OmniUPF ومكوناته
- **دليل عمليات PFCP** - إدارة جلسة PFCP وتثبيت القواعد
- **دليل عمليات واجهة الويب** - استخدام لوحة التحكم لعرض القواعد
- **دليل المراقبة** - الإحصائيات ومراقبة السعة
- **دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها** - المشكلات الشائعة والتشخيصات

OmniUPF دليل استكشاف الأخطاء وإصلاحها

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. أدوات التشخيص
3. مشاكل التثبيت
4. مشاكل التكوين
5. مشاكل ارتباط PFCP
6. مشاكل معالجة الحزم
7. مشاكل XDP و eBPF
8. مشاكل الأداء
9. مشاكل محددة بالهايبرفيسر
10. مشاكل NIC والسائقين
11. فشل إنشاء الجلسات
12. مشاكل التخزين المؤقت

نظرة عامة

يوفر هذا الدليل إجراءات استكشاف الأخطاء وإصلاحها المنهجية لمشاكل OmniUPF الشائعة. تتضمن كل قسم الأعراض، خطوات التشخيص، الأسباب الجذرية، وإجراءات الحل.

قائمة مراج��ة تشخيص سريعة

قبل البدء في استكشاف الأخطاء بعمق، تحقق من:

```
# 1. تحقق من تشغيل OmniUPF
systemctl status omniupf  # أو ps aux | grep eupf

# 2. تحقق من ارتباط PFCP
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline

# 3. تحقق من تحميل خرائط eBPF
ls /sys/fs/bpf/

# 4. تحقق من ارتباط برنامج XDP
ip link show | grep -i xdp

# 5. تحقق من سجلات النواة للأخطاء
dmesg | tail -50
```

```
journalctl -u omniupf -n 50
```

أدوات التشخيص

واجهة برمجة تطبيقات OmniUPF REST

تحقق من حالة UPF:

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

تحقق من ارتباطات PFCP:

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

تحقق من عدد الجلسات:

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

تحقق من سعة خريطة eBPF:

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

تحقق من إحصائيات الحزم:

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

تحقق من إحصائيات XDP:

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

فحص خريطة eBPF

قائمة بجميع خرائط eBPF:

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

عرض تفاصيل الخريطة:

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

عد الإدخالات في الخريطة:

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

فحص برنامج XDP

تحقق مما إذا كان برنامج XDP مرتبطًا:

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

قائمة بجميع برامج XDP:

```
bpftool net list
```

عرض تفاصيل برنامج XDP:

```
bpftool prog show
```

تفريغ إحصائيات XDP:

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

استكشاف الشبكة

التقاط حركة مرور GTP-U على N3:

```
tcpdump -i eth0 -n udp port 2152 -w /tmp/n3_traffic.pcap
```

التقاط حركة مرور PFCP على N4:

```
tcpdump -i eth0 -n udp port 8805 -w /tmp/pfcp_traffic.pcap
```

مراقبة عدادات الحزم:

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

تحقق من جدول التوجيه:

```
ip route show
ip route get 10.45.0.100  # تحقق من المسار لعنوان IP الخاص بـ UE
```

تحقق من جدول ARP:

```
ip neigh show
```

مشاكل التثبيت

المشكلة: "نظام ملفات eBPF غير مثبت"

الأعراض:

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

السبب: نظام ملفات eBPF غير مثبت

الحل:

```
                                                # تثبيت نظام ملفات eBPF
                                          sudo mount bpffs /sys/fs/bpf -t bpf

                                          # اجعلها دائمة (أضف إلى /etc/fstab)
   echo "bpffs /sys/fs/bpf bpf defaults 0 0" | sudo tee -a /etc/fstab

                                                # تحقق من التثبيت
                                                 mount | grep bpf
```

المشكلة: "العملية غير مسموح بها" عند تحميل eBPF

الأعراض:

```
      ERRO[0000] failed to load eBPF program: operation not permitted
```

السبب: قدرات غير كافية أو حدود الذاكرة المقفلة

الحل:

```
                                                # تحقق من الحد الحالي للذاكرة المقفلة
                                                                      ulimit -l

                                                # تعيين ذاكرة مقفلة غير محدودة (مطلوبة لـ eBPF)
                                                                ulimit -l unlimited

                                          # اجعلها دائمة (أضف إلى /etc/security/limits.conf)
      echo "* soft memlock unlimited" | sudo tee -a /etc/security/
                                                                          limits.conf
      echo "* hard memlock unlimited" | sudo tee -a /etc/security/
                                                                          limits.conf

                                                # تشغيل OmniUPF مع القدرات المطلوبة
   sudo setcap cap_sys_admin,cap_net_admin,cap_bpf+eip /usr/bin/eupf

                                                # أو تشغي مع sudo
                                                                 sudo ./eupf
```

المشكلة: إصدار النواة قديم جدًا

الأعراض:

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

السبب: إصدار نواة Linux أقل من الحد الأدنى المطلوب

الحل:

```
# تحقق من إصدار النواة
uname -r

# ترقية النواة (Ubuntu/Debian)
sudo apt update
sudo apt install linux-generic-hwe-22.04
sudo reboot

# تحقق من النواة الجديدة
uname -r  # يجب أن تكون >= 5.15.0
```

المشكلة: اعتماد libbpf مفقود

الأعراض:

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

السبب: مكتبة libbpf غير مثبتة

الحل:

```
# تثبيت libbpf (Ubuntu/Debian)
sudo apt update
sudo apt install libbpf-dev

# تحقق من التثبيت
ldconfig -p | grep libbpf
```

مشاكل التكوين

المشكلة: ملف التكوين غير صالح

الأعراض:

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

السبب: خطأ في بناء جملة YAML في ملف التكوين

الحل:

```
# تحقق من بناء جملة YAML
cat config.yml | python3 -c "import yaml, sys;
"yaml.safe_load(sys.stdin)

# القضايا الشائعة:
# - تباعد غير صحيح (استخدم المسافات، وليس علامات التبويب)
# - عدم وجود نقطتين بعد المفاتيح
# - سلاسل غير مقتبسة تحتوي على أحرف خاصة
# - عناصر القائمة بدون شرطات

# مثال على YAML صحيح:
cat > config.yml <<EOF
interface_name: [eth0]
xdp_attach_mode: generic
api_address: :8080
pfcp_address: :8805
EOF
```

المشكلة: اسم الواجهة غير موجود

الأعراض:

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

السبب: الواجهة المكونة غير موجودة

الحل:

```
# قائمة بجميع واجهات الشبكة
ip link show

# تحقق من حالة الواجهة
ip addr show eth0

# إذا كانت الواجهة تحمل اسمًا مختلفًا، قم بتحديث config.yml:
interface_name: [ens1f0]  # استخدم اسم الواجهة الفعلي

# بالنسبة للآلات الافتراضية، تحقق من نظام تسمية الواجهة
ls /sys/class/net/
```

المشكلة: المنفذ مستخدم بالفعل

الأعراض:

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

ا��سبب: المنفذ 8080 أو 8805 أو 9090 مرتبط بالفعل بعملية أخرى

الحل:

```
# العثور على العملية التي تستخدم المنفذ
sudo lsof -i :8080
sudo netstat -tulpn | grep :8080

# إنهاء العملية المتعارضة
<sudo kill <PID

# أو تغيير منفذ OmniUPF في التكوين
api_address: :8081
pfcp_address: :8806
metrics_address: :9091
```

المشكلة: معرف عقدة PFCP غير صالح

الأعراض:

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

السبب: معرف عقدة PFCP ليس عنوان IPv4 صالحًا

الحل:

```
# صحيح: استخدم عنوان IP (ليس اسم مضيف)
pfcp_node_id: 10.100.50.241

# غير صحيح:
# pfcp_node_id: localhost
# pfcp_node_id: upf.example.com
```

مشاكل ارتباط PFCP

المشكلة: لا توجد ارتباطات PFCP تم إنشاؤها

الأعراض:

•واجهة المستخدم على الويب تظهر "لا توجد ارتباطات"
•سجلات SMF تظهر "فشل إعداد ارتباط PFCP"

التشخيص:

```
# 1. تحقق مما إذا كان خادم PFCP يستمع
sudo netstat -ulpn | grep 8805

# 2. تحقق من قواعد جدار الح��اية
sudo iptables -L -n | grep 8805
sudo ufw status

# 3. التقاط حركة مرور PFCP
tcpdump -i any -n udp port 8805 -vv

# 4. تحقق من ارتباطات PFCP عبر API
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_pipeline
```

الأسباب الشائعة والحلول:

جدار الحماية يمنع PFCP

الحل:

```
# السماح بحركة مرور PFCP (UDP 8805)
sudo ufw allow 8805/udp
sudo iptables -A INPUT -p udp --dport 8805 -j ACCEPT
```

معرف عقدة PFCP خاطئ

الحل:

```
# تعيين معرف عقدة PFCP إلى عنوان IP الخاص بواجهة N4 الصحيحة
pfcp_node_id: 10.100.50.241  # يجب أن يتطابق مع عنوان IP على شبكة N4
```

الشبكة غير قابلة للوصول إلى SMF

الحل:

```
# اختبار الاتصال بـ SMF
<ping <SMF_IP

# تحقق من التوجيه إلى SMF
<ip route get <SMF_IP

# إضافة مسار إذا كان مفقودًا
<sudo ip route add <SMF_NETWORK>/24 via <GATEWAY
```

SMF مكون بعنوان UPF خاطئ

الحل:

- تحقق من تكوين SMF لعنوان UPF
- تأكد من أن SMF يحتوي على عنوان IP لـ pfcp_node_id الخاص بـ UPF
- تحقق من أن SMF يمكنه توجيه إلى شبكة N4 الخاصة بـ UPF

المشكلة: فشل نبض PFCP

الأعراض:

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

التشخيص:

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

# مراقبة سجلات نبض القلب
journalctl -u omniupf -f | grep heartbeat
```

الأسباب والحلول:

فقدان حزم الشبكة

الحل:

```
# تحقق من فقدان الحزم إلى SMF
ping -c 100 <SMF_IP> | grep loss

# إذا كان الفقد مرتفعًا، تحقق من الشبكة:
# - تحقق من حالة الرابط
# - تحقق من صحة المحول/الموجه
# - تحقق من الازدحام
```

فترة نبض القلب عدوانية جدًا

الحل:

```
# زيادة فترة نبض القلب
heartbeat_interval: 30  # زيادة من 5 إلى 30 ثانية
  heartbeat_retries: 5    # زيادة عدد المحاولات
 heartbeat_timeout: 10   # زيادة المهلة
```

مشاكل معالجة الحزم

المشكلة: لا توجد حزم تتدفق (عدادات RX/TX عند 0)

الأعراض:

- صفحة الإحصائيات تظهر 0 حزم RX/TX
- UE لا يمكنه إنشاء جلسة بيانات

التشخيص:

```
# 1. تحقق مما إذا كان برنامج XDP مرتبطًا
ip link show eth0 | grep xdp

# 2. تحقق من أن الواجهة نشطة
ip link show eth0

# 3. التقاط حركة المرور على الواجهة
tcpdump -i eth0 -n -c 10

# 4. تحقق من إحصائيات الحزم
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats
```

الحلول:

برنامج XDP غير مرتبط

الحل:

```
# إعادة تشغيل OmniUPF لإعادة ربط XDP
sudo systemctl restart omniupf

# تحقق من الربط
ip link show eth0 | grep xdp
bpftool net list
```

الواجهة غير نشطة أو لا يوجد رابط

الحل:

```
# تشغيل الواجهة
sudo ip link set eth0 up

# تحقق من حالة الرابط
"ethtool eth0 | grep "Link detected

# إذا كان الرابط غير نشط، تحقق من الاتصال الفعلي أو تكوين الشبكة للآلة
```

```
الافتراضية
```

الواجهة المكونة خاطئة

الحل:

```
# تحديث config.yml مع الواجهة الصحيحة
interface_name: [ens1f0]  # استخدم اسم الواجهة الفعلي من 'ip link show'
```

المشكلة: تم استلام الحزم ولكن لم يتم توجيهها (معدل إسقاط مرتفع)

الأعراض:

- عدادات RX تزداد ولكن عدادات TX لا
- معدل الإسقاط > 1%

التشخيص:

```
# تحقق من إحصائيات الإسقاط
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq '.drop'

# تحقق من إحصائيات التوجيه
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats'

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

الأسباب الشائعة:

لا يوجد تطابق PDR (TEID غير معروف أو عنوان UE IP)

الحل:

```
# تحقق مما إذا كانت الجلسات موجودة
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions

# إذا لم تكن هناك جلسات، تحقق من:
# - تم إنشاء ارتباط PFCP
# - SMF قد أنشأ الجلسات
# - كان إنشاء الجلسة ناجحًا

# تحقق من إدخالات خريطة PDR
bpftool map dump name pdr_map_teid_ip | grep -c key
bpftool map dump name pdr_map_downlin | grep -c key
```

فشل التوجيه

الحل:

```
# تحقق من فشل البحث في FIB
'curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats

# اختبار التوجيه لعنوان UE IP
ip route get 10.45.0.100

# إضافة مسار مفقود
sudo ip route add 10.45.0.0/16 dev eth1  # توجيه مجموعة UE إلى N6
```

تحديد معدل QER

الحل:

```
# تحقق من إحصائيات QER
'curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].qers

# إذا كان MBR (معدل البت الأقصى) منخفضًا جدًا، اطلب من SMF تحديث QER
# أو تحقق مما إذا كانت حركة المرور تتجاوز المعدلات المكونة
```

المشكلة: حركة مرور أحادية الاتجاه (تعمل الرفع، ولا تعمل التنزيل)

الأعراض:

- RX حزم N3 ولكن لا TX حزم N3 (مشكلة التنزيل)
- RX حزم N6 ولكن لا TX حزم N6 (مشكلة الرفع)

التشخيص:

```
# تحقق من إحصائيات الواجهة
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq
''.interface_stats

# التقاط حركة المرور على كلا الواجهتين
tcpdump -i eth0 -n udp port 2152 &  # N3
tcpdump -i eth1 -n not udp port 2152 &  # N6
```

فشل الرفع (RX N3، لا TX N6):

السبب: لا يوجد إجراء FAR أو مشكلة توجيه إلى N6

الحل:

```
# ت��قق من أن FAR لديه إجراء FORWARD
```

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

                                                  # تحقق من وجود مسار N6
                                  ip route get 8.8.8.8  # اختبار المسار إلى الإنترنت

                                          # إضافة مسار افتراضي إذا كان مفقودًا
                                sudo ip route add default via <N6_GATEWAY> dev eth1
```

فشل التنزيل (RX N6، لا TX N3):

السبب: لا يوجد PDR للتنزيل أو عدم وجود تغليف GTP

الحل:

```
                                  # تحقق من أن PDR للتنزيل موجود لعنوان UE IP
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].pdrs[] |
                                        'select(.pdi.ue_ip_address)

                                  # تحقق من أن FAR لديه OUTER_HEADER_CREATION
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].fars[] |
                                                '.outer_header_creation

                                                  # تحقق من إمكانية الوصول إلى gNB
                                                  <ping <GNB_N3_IP>
```

مشاكل XDP و eBPF

للحصول على تفاصيل تكوين XDP، واختيار الوضع، واستكشاف الأخطاء، انظر دليل أوضاع XDP.

المشكلة: فشل تحميل برنامج XDP

الأعراض:

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

التشخيص:

```
                                                  # تحقق من دعم النواة لـ XDP
                                grep XDP /boot/config-$(uname -r)

                                                          # يجب أن تظهر:
                                                 CONFIG_XDP_SOCKETS=y #
                                                         CONFIG_BPF=y #
                                                 CONFIG_BPF_SYSCALL=y #
```

```
# تحقق من dmesg للحصول على خطأ مفصل
dmesg | grep -i bpf
```

الأسباب والحلول:

النواة تفتقر إلى دعم XDP

الحل:

```
# إعادة بناء النواة مع دعم XDP أو الترقية إلى نواة أحدث
# Ubuntu 22.04+ لديها XDP مفعلة بشكل افتراضي
sudo apt install linux-generic-hwe-22.04
sudo reboot
```

فشل التحقق من برنامج XDP

الحل:

```
# تحقق من سجلات OmniUPF لأخطاء المحقق
journalctl -u omniupf | grep verifier

# القضايا الشائعة:
# - تعقيد eBPF يتجاوز الحدود (زيادة حدود النواة)
# - وصول غير صالح للذاكرة (خطأ في كود eBPF)

# زيادة مستوى سجل المحقق لـ eBPF لأغراض التصحيح
sudo sysctl kernel.bpf_stats_enabled=1
```

المشكلة: زيادة عدد الإجهاضات في XDP

الأعراض:

- إحصائيات XDP تظهر aborted > 0
- زيادة في إسقاط الحزم

التشخيص:

```
# تحقق من عدد الإجهاضات في XDP
'curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq '.aborted

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

السبب: واجه برنامج eBPF خطأ في وقت التشغيل

الحل:

```
# تحقق من سجلات النواة لأخطاء eBPF
dmesg | grep -i bpf

# إعادة تشغيل OmniUPF لإعادة تحميل برنامج eBPF
sudo systemctl restart omniupf

# إذا استمرت المشكلة، قم بتمكين تسجيل eBPF (يتطلب إعادة بناء):
# بناء OmniUPF مع BPF_ENABLE_LOG=1
```

المشكلة: خريطة eBPF ممتلئة (استنفاد السعة)

الأعراض:

- فشل إنشاء الجلسات
- سعة الخريطة عند 100%

التشخيص:

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

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

التخفيف الفوري:

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

# 2. طلب SMF لحذف الجلسات القديمة
# (عبر واجهة SMF الإدارية أو API)

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

الحل على المدى الطويل:

```yaml
# زيادة سعة الخريطة في config.yml
# زيادة من 100000  max_sessions: 200000

# أو تعيين أحجام الخرائط الفردية
pdr_map_size: 400000
far_map_size: 400000
```

```
qer_map_size: 200000
```

مهم: تغيير أحجام الخرائط يتطلب إعادة تشغيل OmniUPF و **يمسح جميع الجلسات الحالية**.

مشاكل الأداء

المشكلة: انخفاض الإنتاجية (أقل من المتوقع)

الأعراض:

- الإنتاجية < 1 Gbps على الرغم من NIC القادر
- استخدام CPU مرتفع

التشخيص:

```
# تحقق من معدل الحزم
curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.total_rx, .total_tx'

# مراقبة استخدام CPU
top -bn1 | grep eupf

# تحقق من إحصائيات NIC
ethtool -S eth0 | grep -i drop

# تحقق من وضع XDP
ip link show eth0 | grep xdp
```

الحلول:

استخدام وضع XDP العام

الحل:

```
# التحويل إلى الوضع الأصلي لأداء أف
xdp_attach_mode: native  # يتطلب NIC/سائق يدعم XDP
```

اختناق أحادي النواة

الحل:

```
# تمكين RSS (توزيع جانب الاستقبال) على NIC
ethtool -L eth0 combined 4  # استخدام 4 طوابير RX/TX

# تحقق من تمكين RSS
ethtool -l eth0
```

```
# تثبيت المقاطعات على وحدات المعالجة المركزية المحددة
# انظر /proc/interrupts واستخدم irqbalance أو التوافق اليدوي
```

تضخم المخزن المؤقت

الحل:

```
# تقليل حدود المخزن المؤقت لتقليل الكمون
buffer_max_packets: 5000
buffer_packet_ttl: 15
```

المشكلة: الكمون العالي

الأعراض:

- كمون ping > 50ms
- تدهور تجربة المستخدم

التشخيص:

```
# اختبار الكمون إلى UE
ping -c 100 <UE_IP> | grep avg

# تحقق من الحزم المخزنة
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info | jq
''.total_packets_buffered

# تحقق من أداء ذاكرة التخزين المؤقت للتوجيه
'curl http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq '.route_stats
```

الحلول:

الحزم المخزنة بشكل مفرط

الحل:

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

# مسح المخازن إذا كانت عالقة
# (إعادة تشغيل OmniUPF أو تحفيز تعديل جلسة PFCP لتطبيق FAR)
```

كمون البحث في FIB

الحل:

```
# تأكد من تمكين ذاكرة التخزين المؤقت للتوجيه (خيار في وقت البناء)
# بناء مع BPF_ENABLE_ROUTE_CACHE=1

# تحسين جدول التوجيه
# استخدم مسارات أقل، وأكثر تحديدًا بدلاً من العديد من المسارات الصغيرة
```

المشكلة: إسقاط الحزم تحت الحمل

الأعراض:

- معدل الإسقاط يزداد مع حركة المرور
- أخطاء RX على NIC

التشخيص:

```
# تحقق من أخطاء NIC
"ethtool -S eth0 | grep -E "drop|error|miss

# تحقق من حجم حلقة المخزن RX
ethtool -g eth0

# مراقبة الإسقاط في الوقت الحقيقي
'"watch -n 1 'ethtool -S eth0 | grep -E "drop|miss
```

الحل:

```
# زيادة حجم حلقة المخزن RX
   ethtool -G eth0 rx 4096

# زيادة حجم حلقة المخزن TX
   ethtool -G eth0 tx 4096

# تحقق من ال��عدادات الجديدة
ethtool -g eth0
```

مشاكل محددة بالهايبرفيسر

للحصول على تعليمات تكوين الهايبرفيسر خطوة بخطوة، انظر دليل أوضاع XDP.

Proxmox: XDP لا يعمل في VM

الأعراض:

•لا يمكن إرفاق برنامج XDP في الوضع الأصلي
•يعمل فقط الوضع العام

السبب: VM تستخدم الشبكات الجسرية بدون SR-IOV

الحل:

الخيار 1: استخدام الوضع العام (الأبسط)

```
xdp_attach_mode: generic
```

الخيار 2: تكوين تمرير SR-IOV

```
# على مضيف Proxmox:
# 1. تمكين IOMMU
nano /etc/default/grub
# أضف: intel_iommu=on iommu=pt
update-grub
reboot

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

# 3. تعيين VF إلى VM في واجهة Proxmox
# الأجهزة → إضافة → جهاز PCI → اختر VF

# في VM:
interface_name: [ens1f0]  # SR-IOV VF
xdp_attach_mode: native
```

VMware: وضع promiscuous مطلوب

الأعراض:

•الحزم غير مستلمة بواسطة OmniUPF

السبب: vSwitch يمنع عناوين MAC غير المطابقة

الحل:

```
# تمكين وضع promiscuous على vSwitch (في vSphere Client):
# 1. اختر vSwitch → تحرير الإعدادات
# 2. الأمان → وضع promiscuous: قبول
```

```
# 3. الأمان ← تغييرات عنوان MAC: قبول
# 4. الأمان ← عمليات النقل المزيفة: قبول
```

VirtualBox: الأداء منخفض جدًا

الأعراض:

- الإنتاجية < 100 Mbps

السبب: VirtualBox لا يدعم SR-IOV أو XDP الأصلي

الحل:

```
# استخدام الوضع العام (الخيار الوحيد)
xdp_attach_mode: generic

# تحسين إعدادات VirtualBox:
# - استخدم محول VirtIO-Net (إذا كان متاحًا)
# - تمكين وضع promiscuous "السماح للجميع"
# - تخصيص المزيد من نوى CPU للآلة الافتراضية
# - استخدم الشبكات الجسرية بدلاً من NAT

# النظر في الانتقال إلى KVM/Proxmox لأداء أفضل
```

مشاكل NIC والسائقين

المشكلة: سائق NIC لا يدعم XDP

الأعراض:

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

التشخيص:

```
# تحقق من سائق NIC
ethtool -i eth0 | grep driver

# تحقق مما إ��ا كان السائق يدعم XDP
modinfo <driver_name> | grep -i xdp

# قائمة الواجهات القابلة لـ XDP
"ip link show | grep -B 1 "xdpgeneric\|xdpdrv\|xdpoffload
```

الحل:

الخيار 1: استخدام الوضع العام

```
xdp_attach_mode: generic
```

الخيار 2: تحديث سائق NIC

```
# تحقق من تحديثات السائق (Ubuntu)
sudo apt update
sudo apt install linux-modules-extra-$(uname -r)

# أو تثبيت سائق محدد من البائع
# مثال لـ Intel:
# تنزيل من https://downloadcenter.intel.com/
```

الخيار 3: استبدال NIC

```
# استخدام NIC يدعم XDP:
# - Intel X710، E810
# - Mellanox ConnectX-5، ConnectX-6
# - Broadcom BCM57xxx (bnxt_en driver)
```

المشكلة: سائق يتعطل أو يتسبب في انهيار النواة

الأعراض:

- انهيار النواة بعد إرفاق XDP
- NIC يتوقف عن الاستجابة

التشخيص:

```
# تحقق من سجلات النواة
dmesg | tail -100

# تحقق من أخطاء السائق
journalctl -k | grep -E "BUG:|panic":
```

الحل:

```
# 1. تحديث النواة والسائقين
sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo reboot

# 2. تعطيل XDP offload (استخدم الأصلي فقط)
xdp_attach_mode: native

# 3. استخدام الوضع العام كحل بديل
xdp_attach_mode: generic
```

```
# 4. الإبلاغ عن خطأ إلى بائع NIC أو فريق نواة Linux
```

فشل إنشاء الجلسات

المشكلة: فشل إنشاء الجلسة

الأعراض:

- SMF يبلغ عن فشل إنشاء الجلسة
- UE لا يمكنه إنشاء جلسة PDU

التشخيص:

```
# تحقق من سجلات OmniUPF لأخطاء الجلسة
"journalctl -u omniupf | grep -i "session establishment

# تحقق من عدد جلسات PFCP
'curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq 'length

# التقاط حركة مرور PFCP أثناء إنشاء الجلسة
tcpdump -i any -n udp port 8805 -w /tmp/pfcp_session.pcap
```

الأسباب الشائعة:

سعة الخريطة ممتلئة

الحل:

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

# زيادة السعة (انظر قسم خريطة eBPF الممتلئة أعلاه)
```

معلمات PDR/FAR غير صالحة

الحل:

```
# تحقق من سجلات OmniUPF لأخطاء التحقق
journalctl -u omniupf | grep -E "invalid|error" | tail -20

# القضايا الشائعة:
# - عنوان IP لـ UE غير صالح (0.0.0.0 أو مكرر)
# - TEID غير صالح (0 أو مكرر)
# - FAR مفقود لـ PDR
# - إجراء FAR غير صالح
```

```
# تحقق من تكوين SMF ومعلمات الجلسة
```

ميزة غير مدعومة (UEIP/FTUP)

الحل:

```
# تمكين الميزات المطلوبة إذا لزم الأمر
  feature_ueip: true  # تخصيص عنوان IP لـ UE بواسطة UPF
ueip_pool: 10.60.0.0/16

  feature_ftup: true  # تخصيص F-TEID بواسطة UPF
teid_pool: 100000
```

مشاكل التخزين المؤقت

المشكلة: الحزم عالقة في التخزين المؤقت

الأعراض:

- عدد الحزم المخزنة يزداد
- الحزم لا يتم تسليمها بعد الانتقال

التشخيص:

```
# تحقق من إحصائيات التخزين المؤقت
curl http://localhost:8080/api/v1/upf_buffer_info

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

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

الأسباب والحلول:

FAR لم يتم تحديثه أبدًا إلى FORWARD

السبب: لم ترسل SMF طلب تعديل جلسة PFCP لتطبيق FAR

الحل:

```
# تحقق من حالة FAR
curl http://localhost:8080/api/v1/sessions | jq '.[].fars[] |
```

```
'{far_id, applied_action}

# الإجراء 1 = BUFF (تخزين)
# الإجراء 2 = FORW (توجيه)

# إذا كانت عالقة في حالة BUFF، اطلب من SMF:
# - إرسال طلب تعديل جلسة PFCP
# - تحديث FAR بإجراء FORW
```

انتهاء صلاحية TTL للتخزين المؤقت

السبب: انتهت صلاحية الحزم قبل تحديث FAR

الحل:

```
# زيادة TTL للتخزين المؤقت
buffer_packet_ttl: 60  # زيادة من 30 إلى 60 ثانية
```

تجاوز التخزين المؤقت

السبب: عدد كبير جدًا من الحزم المخزنة لكل FAR

الحل:

```
# زيادة حدود التخزين المؤقت
buffer_max_packets: 20000  # لكل FAR
buffer_max_total: 200000   # حد عالمي
```

استكشاف الأخطاء المتقدمة

تمكين تسجيل الأخطاء

```
logging_level: debug  # trace | debug | info | warn | error
```

```
# إعادة تشغيل OmniUPF مع تسجيل الأخطاء
sudo systemctl restart omniupf

# مراقبة السجلات في الوقت الحقيقي
journalctl -u omniupf -f --output cat
```

تتبع برنامج eBPF

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

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

التقاط الحزم على مستوى XDP

```
# التقاط الحزم قبل XDP (tcpdump)
tcpdump -i eth0 -w /tmp/before_xdp.pcap

# التقاط الحزم بعد XDP (يتطلب XDP_PASS)
  tcpdump -i any -w /tmp/after_xdp.pcap

# مقارنة عدد الحزم لتحديد الإسقاطات
```

الحصول على المساعدة

إذا لم تحل خطوات استكشاف الأخطاء مشكلتك:

1. **جمع المعلومات التشخيصية**:

```
# معلومات النظام
uname -a
cat /etc/os-release

# معلومات 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

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

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

2. **الإبلاغ عن المشكلة** مع:

- إصدار OmniUPF
- إصدار نواة Linux
- مخطط topology للشبكة
- ملف التكوين (احذف المعلومات الحساسة)
- مقتطفات السجل ذات الصلة
- خطوات لإعادة الإنتاج

3. **دعم المجتمع**:

   - GitHub Issues: https://github.com/edgecomllc/eupf/issues
   - الوثائق: انظر الأدلة ذات الصلة أدناه

الوثائق ذات الصلة

- **دليل التكوين** - معلمات التكوين والأمثلة
- **دليل العمارة** - تفاصيل eBPF/XDP وضبط الأداء
- **دليل المراقبة** - الإحصائيات، السعة، والتنبيهات
- **دليل إدارة القواعد** - مفاهيم PDR، FAR، QER، URR
- **دليل العمليات** - عمارة UPF ونظرة عامة

دليل عمليات واجهة المستخدم على الويب

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. الوصول إلى لوحة التحكم
3. عرض الجلسات
4. إدارة القواعد
5. إدارة المخازن
6. لوحة إحصائيات
7. مراقبة السعة
8. عرض التكوين
9. عرض المسارات
10. عرض قدرات XDP
11. عارض السجلات

نظرة عامة

توفر واجهة المستخدم على الويب لـ OmniUPF لوحة تحكم شاملة للمراقبة والإدارة في الوقت الحقيقي لوظيفة مستوى المستخدم. تم بناء الواجهة على Phoenix LiveView وتوفر:

- **رؤية في الوقت الحقيقي** لجلسات PFCP و اتصالات PDU النشطة
- **فحص القواعد** لـ PDR و FAR و QER و URR عبر جميع الجلسات
- **إدارة المخازن** لتخزين الحزم أثناء أحداث التنقل
- **مراقبة الإحصائيات** لمعالجة الحزم والمسارات والواجهات
- **تتبع السعة** لاستخدام خرائط eBPF والحدود
- **عرض السجلات المباشرة** لاستكشاف الأخطاء وإصلاحها

الهيكلية

تتواصل لوحة التحكم مع عدة مثيلات من OmniUPF عبر واجهة برمجة التطبيقات REST الخاصة بها لـ:

- استعلام جلسات PFCP والارتباطات
- فحص قواعد اكتشاف الحزم وإعادة توجيهها
- مراقبة مخازن الحزم وحالتها
- الوصول إلى الإحصائيات في الوقت الحقيقي ومقاييس الأداء
- تتبع سعة خرائط eBPF واستخدامها

الوصول إلى لوحة التحكم

الوصول الافتراضي

تكون لوحة التحكم متاحة عبر HTTPS على خادم إدارة OmniUPF:

```
/https://<upf-server>:443
```

المنفذ الافتراضي: 443 (HTTPS مع شهادة موقعة ذاتيًا)

التكوين

تتطلب لوحة التحكم تكوين مضيف OmniUPF في `config/config.exs`:

يمكن تكوين عدة مثيلات من UPF لنشر متعدد المثيلات:

يحدد تكوين `upf_hosts` أي مثيلات من OmniUPF متاحة في قائمة اختيار المضيف في جميع أنحاء واجهة المستخدم.

التنقل

توفر لوحة التحكم علامات تبويب للتنقل لكل منطقة تشغيلية:

- **الجلسات** - `/sessions` - جلسات PFCP والارتباطات
- **القواعد** - `/rules` - فحص قواعد PDR و FAR و QER و URR
- **المخازن** - `/buffers` - مراقبة وتحكم في مخازن الحزم
- **الإحصائيات** - `/statistics` - إحصائيات الحزم والمسارات و XDP والواجهات
- **السعة** - `/capacity` - استخدام خرائط eBPF ومراقبة السعة
- **التكوين** - `/upf_config` - تكوين UPF وعناوين مستوى البيانات
- **المسارات** - `/routes` - مسارات UE وجلسات بروتوكول التوجيه (OSPF و BGP)
- **قدرات XDP** - `/xdp_capabilities` - دعم وضع XDP وقدرات الأداء
- **السجلات** - `/logs` - تدفق سجلات مباشر

عرض الجلسات

الرابط: `/sessions`

الميزات

يعرض عرض الجلسات جميع جلسات PFCP النشطة والارتباطات من مثيلات OmniUPF المحددة.

ملخص ارتباطات PFCP

يعرض جميع ارتباطات PFCP النشطة (اتصالات التحكم من SMF/PGW-C):

العمود	الوصف
معرف العقدة	معرف عقدة SMF أو PGW-C (FQDN أو IP)
العنوان	عنوان IP لـ SMF/PGW-C للتواصل عبر PFCP
معرف الجلسة التالية	معرف جلسة PFCP المتاحة التالية لهذا الارتباط

الغرض:

- التحقق من اتصال SMF بـ UPF
- مراقبة عدد اتصالات مستوى التحكم
- تتبع تخصيص معرف الجلسة لكل ارتباط

جدول الجلسات النشطة

يعرض جميع جلسات PFCP التي تمثل جلسات PDU النشطة لـ UE:

العمود	الوصف
SEID المحلي	معرف نقطة نهاية الجلسة المعينة من UPF
SEID البعيد	معرف نقطة نهاية الجلسة المعينة من SMF
عنوان UE	عنوان IPv4 أو IPv6 لمعدات المستخدم
TEID	معرف نقطة نهاية نفق GTP-U لحركة المرور الصاعدة
PDRs	عدد قواعد اكتشاف الحزم في الجلسة
FARs	عدد قواعد إجراءات إعادة التوجيه في الجلسة
QERs	عدد قواعد تنفيذ QoS في الجلسة
URRs	عدد قواعد تقارير الاستخدام في الجلسة
الإجراءات	زر التوسيع لعرض معلومات القاعدة التفصيلية

الميزات:

- **تصفية حسب IP**: العثور على الجلسات لعنوان IP محدد لـ UE
- **تصفية حسب TEID**: العثور على الجلسات حسب معرف نقطة نهاية النفق
- **توسيع الجلسة**: عرض تفاصيل JSON الكاملة لـ PDR/FAR/QER/URR
- **التحديث التلقائي**: يتم التحديث كل 10 ثوانٍ

عرض الجلسة الموسع:

عند النقر على "توسيع" في جلسة، يظهر العرض:

- **قواعد اكتشاف الحزم (PDRs)**: JSON كاملة مع TEID وعنوان UE ومعرف FAR ومعرف QER ومرشحات SDF
- **قواعد إجراءات إعادة التوجيه (FARs)**: أعلام الإجراءات، إنشاء رأس خارجي، نقاط النهاية الوجهة
- **قواعد تنفيذ QoS (QERs)**: MBR و GBR و QFI ومعلمات QoS الأخرى
- **قواعد تقارير الاستخدام (URRs)**: عدادات الحجم (الصاعدة، النازلة، إجمالي البايتات)

حالات الاستخدام

التحقق من اتصال UE:

1.انتقل إلى عرض الجلسات
2.أدخل عنوان IP لـ UE في الفلتر
3.تأكد من وجود الجلسة مع TEID الصحيح
4.قم بالتوسيع للتحقق من تكوين PDR/FAR

مراقبة عدد الجلسات:

•تحقق من إجمالي عدد الجلسات في الرأس
•قارن عبر عدة مثيلات من UPF
•تتبع نمو الجلسة مع مرور الوقت

استكشاف مشكلات الجلسة:

•ابحث عن عنوان IP أو TEID محدد لـ UE
•قم بتوسيع الجلسة لفحص تكوين القاعدة
•تحقق من معلمات إعادة توجيه FAR
•تحقق من إعدادات QoS لـ QER

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض الجلسات بالتحديث تلقائيًا كل 10 ثوانٍ. يظهر مؤشر صحة يوضح حالة اتصال UPF:

•**صحي** (أخضر): UPF قابل للوصول ويستجيب
•**غير صحي** (أحمر): UPF غير قابل للوصول أو لا يستجيب
•**غير معروف** (رمادي): لم يتم تحديد حالة الصحة بعد

إدارة القواعد

الرابط: `/rules`

يوفر عرض القواعد فحصًا شاملاً لجميع قواعد اكتشاف الحزم وإعادة التوجيه و QoS وقواعد تقارير الاستخدام عبر جميع الجلسات.

علامة PDR - قواعد اكتشاف الحزم

عرض وفحص جميع PDRs في UPF:

PDRs الصاعدة (N3 → N6):

•**TEID**: معرف نقطة نهاية نفق GTP-U من gNB
•**معرف FAR**: قاعدة إجراءات إعادة التوجيه المرتبطة
•**معرف QER**: قاعدة تنفيذ QoS المرتبطة (إن وجدت)
•**إزالة الرأس الخارجي**: علامة إزالة GTP-U

PDRs النازلة (N6 → N3):

- **عنوان UE**: عنوان IPv4 أو IPv6 لمعدات المستخدم
- **معرف FAR**: قاعدة إجراءات إعادة التوجيه المرتبطة
- **معرف QER**: قاعدة تنفيذ QoS المرتبطة (إن وجدت)
- **وضع SDF**: وضع مرشح تدفق البيانات (لا شيء، sdf فقط، sdf + افتراضي)

PDRs IPv6:

- جداول منفصلة لـ PDRs الصاعدة والنازلة IPv6
- نفس الهيكل مثل IPv4 ولكن مفاتيحها تعتمد على عناوين IPv6

علامة FAR - قواعد إجراءات إعادة التوجيه

عرض جميع FARs مع إجراءاتها ومعلماتها:

العمود	ا��وصف
معرف FAR	معرف قاعدة إعادة التوجيه الفريدة
الإجراء	أعلام إجراءات إعادة التوجيه (FORWARD و DROP و BUFFER و DUPLICATE و NOTIFY)
التخزين المؤقت	حالة التخزين الحالية (مفعل/معطل)
الوجهة	معلمات إنشاء الرأس الخارجي (TEID، عنوان IP)

أعلام إجراء FAR:

- **FORWARD (1)**: إعادة توجيه الحزمة إلى الوجهة
- **DROP (2)**: تجاهل الحزمة
- **BUFFER (4)**: تخزين الحزمة في المخزن
- **NOTIFY (8)**: إرسال إشعار إلى مستوى التحكم
- **DUPLICATE (16)**: تكرار الحزمة إلى وجهات متعددة

تبديل التخزين المؤقت:

- انقر على "تمكين التخزين المؤقت" أو "تعطيل التخزين المؤقت" لتبديل علامة التخزين المؤقت
- مفيد لاستكشاف مشكلات النقل
- تغييرات إجراء FAR على الفور في خريطة eBPF

علامة QER - قواعد تنفيذ QoS

عرض قواعد QoS المطبقة على تدفقات الحركة:

العمود	الوصف
معرف QER	معرف قاعدة QoS الفريدة
MBR (الصاعدة)	الحد الأقصى لمعدل البت لحركة المرور الصاعدة (kbps)
MBR (النازلة)	الحد الأقصى لمعدل البت لحركة المرور النازلة (kbps)
GBR (الصاعدة)	معدل البت المضمون لحركة المرور الصاعدة (kbps)

العمود	الوصف
GBR (النازلة)	معدل البت المضمون لحركة المرور النازلة (kbps)
QFI	معرف تدفق QoS (علامة 5G)

تفسير QoS:

- **MBR = 0**: لا يوجد حد للسرعة
- **GBR = 0**: أفضل جهد (لا يوجد عرض نطاق مضمون)
- **GBR > 0**: تدفق معدل بت مضمون (مفضل)

علامة URR - قواعد تقارير الاستخدام

عرض قواعد تتبع الاستخدام وعدد الأحجام:

العمود	الوصف
معرف URR	معرف قاعدة تقارير الاستخدام الفريدة
حجم الصاعدة	البايتات المرسلة من UE إلى الشبكة
حجم النازلة	البايتات المرسلة من الشبكة إلى UE
إجمالي الحجم	إجمالي البايتات في كلا الاتجاهين
الطريقة	طريقة الإبلاغ (الحجم، الوقت، الحدث)

عرض الحجم:

- يتم تنسيقه تلقائيًا (B و KB و MB و GB و TB)
- عدادات في الوقت الحقيقي يتم تحديثها في كل تحديث
- تستخدم للفوترة والتحليلات

التصفية:

- تظهر فقط URRs ذات الحجم غير الصفري
- محدودة إلى 1000 URR الأكثر نشاطًا للأداء

حالات الاستخدام

فحص تصنيف الحركة:

1. انتقل إلى القواعد ← علامة PDR
2. ابحث عن TEID أو عنوان IP لـ UE المحدد
3. تحقق من أن PDR يرتبط بـ FAR و QER الصحيحين

استكشاف مشكلات إعادة التوجيه:

1. انتقل إلى القواعد ← علامة FAR
2. حدد معرف FAR من PDR للجلسة
3. تحقق من أن الإجراء هو FORWARD (ليس DROP أو BUFFER)
4. تحقق من معلمات إنشاء الرأس الخارجي

مراقبة تنفيذ QoS:

1.انتقل إلى القواعد → علامة QER
2.تحقق من أن قيم MBR و GBR تتطابق مع السياسة
3.تحقق من علامة QFI لتدفقات 5G

تتبع استخدام البيانات:

1.انتقل إلى القواعد → علامة URR
2.قم بفرز حسب الحجم الإجمالي للعثور على أعلى المستخدمين
3.راقب نمو الحجم مع مرور الوقت
4.تحقق من تكامل الفوترة

إدارة المخازن

الرابط: `buffers/`

الميزات

يعرض عرض المخازن مخازن الحزم التي يحتفظ بها UPF أثناء أحداث التنقل أو تبديل المسارات.

الإحصائيات الإجمالية

تظهر لوحة المعلومات إحصائيات المخازن المجمعة:

- **إجمالي الحزم**: عدد الحزم المخزنة عبر جميع FARs
- **إجمالي البايتات**: إجمالي حجم البيانات المخزنة
- **إجمالي FARs**: عدد FARs التي تحتوي على حزم مخزنة
- **الحد الأقصى لكل FAR**: الحد الأقصى للحزم المسموح بها لكل FAR
- **الحد الأقصى الإجمالي**: الحد الأقصى للحزم المخزنة
- **TTL للحزمة**: الوقت للحياة للحزم المخزنة (ثوانٍ)

المخازن حسب FAR

جدول لجميع FARs مع حزم مخزنة:

العمود	الوصف
معرف FAR	معرف قاعدة إجراء إعادة التوجيه
عدد الحزم	عدد الحزم المخزنة لهذا FAR
عدد البايتات	إجمالي البايتات المخزنة لهذا FAR
أقدم حزمة	الطابع الزمني لأقدم حزمة مخزنة
أحدث حزمة	الطابع الزمني لأحدث حزمة مخزنة
الإجراءات	أزرار التحكم في المخزن (على شكل حبوب)

إجراءات التحكم في المخازن

لكل FAR يحتوي على حزم مخزنة، تتوفر الأزرار التالية على شكل حبوب:

تحكم التخزين:

- **تعطيل التخزين** (أحمر): إيقاف التخزين لهذا FAR (يحدث علامة إجراء FAR)
- **تمكين التخزين** (أرجواني): تشغيل التخزين لهذا FAR

عمليات التخزين:

- **تفريغ** (أزرق): إعادة تشغيل جميع الحزم المخزنة باستخدام قواعد FAR الحالية
- **مسح** (رمادي): حذف جميع الحزم المخزنة دون إعادة توجيه

مسح جميع المخازن:

- زر "مسح جميع" الأحمر في الرأس
- يمسح المخازن لجميع FARs
- يتطلب تأكيد

حالات الاستخدام

مراقبة تخزين النقل:

1. أثناء النقل، تحقق من أن الحزم يتم تخزينها
2. تحقق من حالة تخزين FAR (يجب أن تكون مفعلّة)
3. راقب عدد الحزم وعمرها

إكمال النقل:

1. بعد تبديل المسار، انقر على "تفريغ" لإعادة تشغيل الحزم المخزنة
2. تحقق من أن الحزم تم إعادة توجيهها إلى المسار الجديد
3. انقر على "تعطيل التخزين" لإيقاف التخزين

مسح المخازن العالقة:

1. حدد FARs التي تحتوي على حزم مخزنة قديمة (تحقق من أقدم طابع زمني)
2. انقر على "مسح" للتخلص من الحزم القديمة
3. أو انقر على "تعطيل التخزين" لمنع المزيد من التخزين

استكشاف مشكلات تجاوز السعة:

1. تحقق من إجمالي عدد الحزم مقابل الحد الأقصى الإجمالي
2. حدد FARs التي تحتوي على تخزين مفرط
3. تحقق من أن SMF قد أرسل تعديل الجلسة لتعطيل التخزين
4. قم بتعطيل التخزين يدويًا إذا فاتت أمر SMF

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض المخازن بالتحديث تلقائيًا كل 5 ثوانٍ لإظهار حالة المخزن ال��الية.

لوحة إحصائيات

الرابط: `statistics/`

الميزات

يوفر عرض الإحصائيات مقاييس الأداء في الوقت الحقيقي من مسار بيانات OmniUPF.

إحصائيات الحزم

عدادات معالجة الحزم المجمعة:

- **حزم RX**: إجمالي الحزم المستلمة على جميع الواجهات
- **حزم TX**: إجمالي الحزم المرسلة على جميع الواجهات
- **حزم تم تجاهلها**: الحزم التي تم تجاهلها بسبب الأخطاء أو السياسات
- **حزم GTP-U**: الحزم المعالجة مع تغليف GTP-U

الاستخدام: مراقبة الحمل العام لحركة مرور UPF ومعدل فقدان الحزم

إحصائيات المسارات

مقاييس إعادة التوجيه لكل مسار (إذا كانت متاحة):

- **ضربات المسار**: الحزم المطابقة لكل قاعدة توجيه
- **نجاح إعادة التوجيه**: عدد الحزم التي تم إعادة توجيهها بنجاح
- **أخطاء إعادة التوجيه**: محاولات إعادة التوجيه الفاشلة

الاستخدام: تحديد المسارات المزدحمة وأخطاء إعادة التوجيه

إحصائيات XDP

مقاييس أداء eXpress Data Path:

- **XDP المعالجة**: إجمالي الحزم المعالجة على طبقة XDP
- **XDP المرسلة**: الحزم المرسلة إلى كومة الشبكة
- **XDP المفقودة**: الحزم المفقودة على طبقة XDP
- **XDP الملغاة**: أخطاء المعالجة في برنامج XDP

الاستخدام: مراقبة أداء XDP واكتشاف أخطاء المعالجة

أسباب فقدان XDP:

- تنسيق حزمة غير صالح

•فشل البحث في خريطة eBPF
•فقدان قائم على السياسات
•استنفاد الموارد

إحصائيات واجهة N3/N6

عدادات حركة المرور لكل واجهة:

واجهة N3 (اتصال RAN):

•**RX N3**: الحزم المستلمة من gNB/eNodeB
•**TX N3**: الحزم المرسلة إلى gNB/eNodeB

واجهة N6 (اتصال الشبكة البيانات):

•**RX N6**: الحزم المستلمة من الشبكة البيانات (الإنترنت/IMS)
•**TX N6**: الحزم المرسلة إلى الشبكة البيانات

الإجمالي: إجمالي عدد الحزم عبر الواجهات

الاستخدام: مراقبة توازن الحركة ومشكلات محددة بالواجهة

حالات الاستخدام

مراقبة الحمل على الحركة:

1.تحقق من معدلات RX/TX للحزم
2.تحقق من أن الحركة تتدفق في كلا الاتجاهين
3.قارن حركة N3 مقابل N6 (يجب أن تكون متساوية تقريبًا)

كشف فقدان الحزم:

1.تحقق من عداد الحزم المفقودة
2.راجع عداد الحزم المفقودة في XDP
3.تحقق من السبب في السجلات إذا كانت الفقدان مرتفعة

تحليل الأداء:

1.راقب نسبة الحزم المعالجة إلى المرسلة في XDP
2.تحقق من وجود إلغاءات في XDP (تشير إلى أخطاء)
3.تحقق من توزيع حركة المرور على واجهات N3/N6

تخطيط السعة:

1.تتبع معدل الحزم مع مرور الوقت
2.قارن مع حدود سعة UPF
3.خطط للتوسع إذا اقتربت من الحدود

التحديثات في الوقت الحقيقي

تقوم الإحصائيات بالتحديث تلقائيًا كل 10 ثوانٍ.

مراقبة السعة

الرابط: `/capacity`

الميزات

يعرض عرض السعة استخدام خرائط eBPF وحدود السعة لجميع الخرائط في مسار بيانات UPF.

جدول استخدام خريطة eBPF

جدول لجميع خرائط eBPF مع معلومات الاستخدام:

العمود	الوصف
اسم الخريطة	اسم خريطة eBPF (مثل `uplink_pdr_map`، `far_map`)
المستخدم	عدد الإدخالات الموجودة حاليًا في الخريطة
السعة	الحد الأقصى للإدخالات المسموح بها في الخريطة
الاستخدام	شريط تقدم مرئي مع النسبة المئوية
حجم المفتاح	حجم مفاتيح الخريطة بالبايتات
حجم القيمة	حجم قيم الخريطة بالبايتات

مؤشرات الاستخدام الملونة

شريط تقدم الاستخدام ملون بناءً على الاستخدام:

- **أخضر (<50%)**: تشغيل طبيعي، سعة كافية
- **أصفر (50-70%)**: حذر، راقب النمو
- **كهرماني (70-90%)**: تحذير، خطط لزيادة السعة
- **أحمر (>90%)**: حرجة، إجراء فوري مطلوب

الخرائط الحرجة للمراقبة

uplink_pdr_map:

- يخزن PDRs الصاعدة المفاتيح بواسطة TEID
- إدخال واحد لكل تدفق حركة مرور صاعد
- **حرج**: الاستنفاد يمنع إنشاء جلسات جديدة

downlink_pdr_map / downlink_pdr_map_ip6:

- يخزن PDRs النازلة المفاتيح بواسطة عنوان IP لـ UE
- إدخال واحد لكل عنوان IPv4/IPv6 لـ UE
- **حرج**: الاستنفاد يمنع إنشاء جلسات جديدة

far_map:

•يخزن قواعد إجراءات إعادة التوجيه المفاتيح بواسطة معرف FAR
•مشتركة عبر عدة PDRs
•**أولوية عالية**: تؤثر على قرارات إعادة التوجيه

qer_map:

•يخزن قواعد تنفيذ QoS المفاتيح بواسطة معرف QER
•**أولوية متوسطة**: تؤثر على QoS ولكن ليس على الاتصال الأساسي

urr_map:

•يخزن قواعد تقارير الاستخدام المفاتيح بواسطة معرف URR
•**أولوية منخفضة**: تؤثر على الفوترة ولكن ليس على الاتصال

حالات الاستخدام

تخطيط السعة:

1.راقب اتجاهات استخدام الخريطة مع مرور الوقت
2.حدد أي الخرائط تنمو بسرعة أكبر
3.خطط لزيادة السعة قبل الوصول إلى الحدود

منع فشل إنشاء الجلسات:

1.تحقق من ا��تخدام خريطة PDR قبل زيادة حركة المرور المتوقعة
2.زيادة سعة الخريطة إذا اقتربت من الحدود
3.راقب بعد زيادة السعة للتحقق

استكشاف مشكلات الجلسات:

1.عندما تفشل إنشاء الجلسة، تحقق من عرض السعة
2.إذا كانت خرائط PDR حمراء (>90%)، فإن السعة مستنفدة
3.زيادة سعة الخريطة أو مسح الجلسات القديمة

تحسين تكوين الخريطة:

1.مراجعة أحجام المفاتيح والقيم
2.حساب استخدام الذاكرة لكل خريطة
3.تحسين أحجام الخرائط بناءً على أنماط الاستخدام الفعلية

تكوين السعة

يتم تكوين سعات خرائط eBPF عند بدء تشغيل UPF في ملف تكوين UPF. القيم النموذجية:

•نشر صغير: 10,000 - 100,000 إدخال لكل خريطة
•نشر متوسط: 100,000 - 1,000,000 إدخال لكل خريطة
•نشر كبير: 1,000,000+ إدخال لكل خريطة

حساب الذاكرة:

```
ذاكرة الخريطة = (حجم المفتاح + حجم القيمة) × السعة
```

على سبيل المثال، تستخدم خريطة PDR تحتوي على مليون إ��خال وقيم بحجم 64 بايت حوالي 64 ميغابايت من ذاكرة النواة.

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض السعة بالتحديث تلقائيًا كل 10 ثوانٍ.

عرض التكوين

الرابط: `/upf_config`

الميزات

يعرض عرض التكوين معلمات تشغيل UPF وتكوين مستوى البيانات.

تكوين UPF

يعرض تكوين UPF الثابت:

- **واجهة PFCP**: عنوان IP والمنفذ للاتصال بـ SMF/PGW-C
- **واجهة N3**: عنوان IP لاتصال RAN (gNB/eNodeB)
- **واجهة N6**: عنوان IP لاتصال الشبكة البيانات
- **واجهة N9**: عنوان IP للتواصل بين UPF (اختياري)
- **منفذ API**: منفذ الاستماع لواجهة برمجة التطبيقات REST
- **الإصدار**: إصدار برنامج OmniUPF

تكوين مستوى البيانات (eBPF)

يعرض معلمات مستوى البيانات النشطة في وقت التشغيل:

- **عنوان N3 النشط**: ربط واجهة N3 في وقت التشغيل
- **عنوان N9 النشط**: ربط واجهة N9 في وقت التشغيل (إذا تم تمكينه)

تعكس هذه القيم تكوين مسار eBPF الفعلي وقد تخت��ف عن التكوين الثابت إذا تم تغيير الواجهات.

حالات الاستخدام

التحقق من اتصال UPF:

1. تحقق من أن عنوان واجهة N3 يتطابق مع تكوين gNB
2. تحقق من أن واجهة N6 يمكنها التوجيه إلى الشبكة البيانات
3. تأكد من أن واجهة PFCP قابلة للوصول من SMF

استكشاف مشكلات الواجهة:

1.قارن التكوين الثابت مع العناوين النشطة في مستوى البيانات
2.تحقق من أن الواجهات مرتبطة بشكل صحيح
3.تحقق من تغييرات تكوين الواجهة

التوثيق والتدقيق:

1.سجل تكوين UPF للتوثيق
2.تحقق من أن النشر يتطابق مع مواصفات التصميم
3.تدقيق تعيينات الواجهة

عرض المسارات

الرابط: `routes/`

الميزات

يوفر عرض المسارات مراقبة شاملة لمسارات IP لمعدات المستخدم (UE) وجلسات بروتوكول التوجيه (OSPF و BGP).

نظرة عامة على حالة المسار

تظهر لوحة ��لمعلومات إحصائيات المسار المجمعة:

•**الحالة**: تمكين التوجيه أو تعطيله
•**إجمالي المسارات**: إجمالي عدد مسارات IP لمعدات المستخدم
•**المزامنة**: عدد المسارات التي تمت مزامنتها بنجاح
•**الفشل**: عدد المسارات التي فشلت في المزامنة

مسارات IP النشطة لمعدات المستخدم

جدول يعرض جميع مسارات IP النشطة لمعدات المستخدم:

العمود	الوصف
الفهرس	رقم فهرس المسار
عنوان IP لـ UE	عنوان IPv4 أو IPv6 المعين لـ UE

الغرض:

•عرض جميع عناوين IP لـ UE التي تم تكوين مسارات لها
•التحقق من توزيع المسار إلى بروتوكولات التوجيه
•مراقبة حالة مزامنة المسار

جيران OSPF

جدول لجيران بروتوكول OSPF (Open Shortest Path First):

العمود	الوصف
معرف الجار	معرف جهاز توجيه OSPF
العنوان	عنوان IP لجار OSPF
الواجهة	الواجهة المستخدمة لجوار OSPF
لحالة	حالة جوار OSPF (مكتمل، مبدئي، إلخ)
الأولوية	قيمة أولوية OSPF
مدة التشغيل	المدة التي كان فيها الجار نشطًا
مدة الموت	الوقت حتى يعتبر الجار ميتًا

حالات OSPF:

- **مكتمل** (أخضر): متجاور بالكامل ويتبادل معلومات التوجيه
- **حالات أخرى** (أصفر): تشكيل الجوار أو غير مكتمل

أقران BGP

جدول لأقران بروتوكول BGP (Border Gateway Protocol):

العمود	الوصف
عنوان الجار	عنوان IP للجار في BGP
ASN	رقم النظام المستقل للجار
الحالة	حالة جلسة BGP (مؤسسة، خاملة، إلخ)
المدة	مدة الحالة الحالية
البادئات المستلمة	عدد بادئات المسار المستلمة من الجار
الرسائل المرسلة	إجمالي رسائل BGP المرسلة إلى الجار
الرسائل المستلمة	إجمالي رسائل BGP المستلمة من الجار

حالات BGP:

- **مؤسسة** (أخضر): جلسة BGP نشطة، تتبادل المسارات
- **حالات أخرى** (أحمر): الجلسة متوقفة أو قيد التأسيس

يعرض الرأس أيضًا معرف جهاز توجيه BGP المحلي و ASN عند تكوين BGP.

المسارات المعاد توزيعها في OSPF

جدول يعرض LSAs الخارجية لـ OSPF (إعلانات حالة الربط) لمسارات UE المعاد توزيعها:

العمود	الوصف
معرف حالة الربط	معرف LSA (عادة عنوان الشبكة)
القناع	قناع الشبكة للمسار

العمود	الوصف
جهاز التوجيه المعلن	معرف جهاز التوجيه الذي يعلن عن هذا المسار الخارجي
نوع المقياس	نوع المقياس الخارجي لـ OSPF (E1 أو E2)
المقياس	مقياس تكلفة OSPF للمسار
العمر	الوقت منذ أن تم إنشاء LSA (بالثواني)
رقم التسلسل	رقم تسلسل LSA للتحديثات

الغرض:

•التحقق من أن مسارات UE يتم إعادة توزيعها في OSPF
•مراقبة أي جهاز توجيه يعلن عن المسارات الخارجية
•تتبع عمر LSA والتحديثات

إجراءات التحكم في المسار

زر مزامنة ��لمسارات:

•يحفز يدويًا مزامنة المسارات إلى FRR (Free Range Routing)
•يجبر تحديث بروتوكول التوجيه مع المسارات الحالية لـ UE
•مفيد بعد تغييرات التكوين أو لاستعادة من فشل المزامنة

زر التحديث:

•يقوم بتحديث جميع معلومات المسار يدويًا
•يقوم بتحديث جيران OSPF وأقران BGP وجداول المسارات

حالات الاستخدام

مراقبة صحة بروتوكول التوجيه:

1.انتقل إلى عرض المسارات
2.تحقق من حالات جيران OSPF (يجب أن تكون "مكتملة")
3.تحقق من أن أقران BGP "مؤسسة"
4.تأكد من العدد المتوقع من الجيران/الأقران

التحقق من توزيع مسار UE:

1.تحقق من جدول مسارات IP النشطة لـ UE المحدد
2.انتقل إلى قسم المسارات المعاد توزيعها في OSPF
3.تحقق من أن مسار UE يظهر في LSAs الخارجية
4.تأكد من أن جهاز التوجيه المعلن يتطابق مع UPF المتوقع

استكشاف مشكلات مزامنة المسار:

1.تحقق من عدادات المزامنة مقابل الفشل في نظرة الحالة
2.إذا كانت المسارات تفشل، انقر على زر "مزامنة المسارات"
3.راقب رسائل الخطأ في الشريط الأحمر إذا فشلت المزامنة
4.تحقق من رسائل الخطأ في OSPF/BGP في الأقسام المعنية

التحقق من نشر متعدد UPF:

1.اختر مثيلات UPF مختلفة من القائمة المنسدلة
2.قارن عدد المسارات عبر المثيلات
3.تحقق من أن جيران OSPF يرون بعضهم البعض
4.تحقق من علاقات الاقتران في BGP

مراقبة توسيع المسار:

1.تتبع العدد الإجمالي للمسارات مع زيادة جلسات UE
2.تحقق من أن المسارات موزعة على بروتوكولات التوجيه
3.راقب نمو عدد LSAs في OSPF
4.تحقق من عدد بادئات BGP المستلمة من الأقران

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض المسارات بالتحديث تلقائيًا كل 10 ثوانٍ لإظهار حالة بروتوكول التوجيه الحالية ومسارات UE.

تكامل التوجيه

يتكامل عرض المسارات مع FRR (Free Range Routing) الذي يعمل على UPF:

- **OSPF**: يتم إعادة توزيع المسارات كـ LSAs خارجية من النوع 2
- **BGP**: يتم الإعلان عن المسارات إلى أقران BGP المكونة
- **آلية المزامنة**: تستدعي استدعاءات واجهة برمجة التطبيقات REST أوامر vtysh لتحديث FRR

عرض قدرات XDP

الرابط: `xdp_capabilities/`

الميزات

يعرض عرض قدرات XDP دعم وضع eXpress Data Path (XDP) وقدرات الأداء وحسابات الإنتاجية لمسار بيانات UPF.

تكوين الواجهة

يعرض معلومات واجهة الشبكة والسائق:

الحقل	الوصف
اسم الواجهة	واجهة الشبكة المستخدمة لـ XDP (مثل eth0، ens1f0)
السائق	اسم سائق الشبكة (مثل i40e، ixgbe، virtio_net)
إصدار السائق	سلسلة إصدار السائق
الوضع الحالي	وضع XDP النشط (DRV أو SKB أو NONE)

الحقل	الوصف
عدد الطوابير المتعددة	عدد أزواج طوابير NIC للمعالجة المتوازية

أوضاع XDP

يعرض العرض جميع أوضاع XDP مع حالة دعمها وخصائص الأداء:

XDP_DRV (وضع السائق):

- **الأ��اء**: ~5-10 Mpps (ملايين الحزم في الثانية)
- **الوصف**: دعم XDP الأصلي في السائق، أعلى أداء
- **يتطلب**: سائق NIC مع دعم XDP الأصلي (mlx5، ixgbe، i40e، إلخ)
- **الحالة**: مدعوم إذا كان لدى السائق خطافات XDP
- **المؤشر**: علامة صح خضراء (✓) إذا كان مدعومًا، علامة X حمراء (✗) إذا لم يكن كذلك

XDP_SKB (الوضع العام):

- **الأداء**: ~1-2 Mpps
- **الوصف**: وضع احتياطي يستخدم كومة الشبكة في النواة
- **يتطلب**: أي واجهة شبكة
- **الحالة**: مدعوم دائمًا
- **المؤشر**: علامة صح خضراء (✓)

مؤشر الوضع الحالي:

- نقطة زرقاء بجوار وضع XDP النشط حاليًا
- تظهر أي وضع قيد الاستخدام فعليًا

أسباب عدم دعم الوضع:

- إذا كان الوضع غير مدعوم، يشرح حقل "السبب" لماذا
- الأسباب الشائعة: السائق يفتقر إلى دعم XDP، عدم توافق نوع الواجهة

عرض قدرات XDP يظهر تكوين الواجهة، الأوضاع المدعوم��، وحاسبة الإنتاجية التفاعلية

التوصيات

يعرض العرض شريط توصية ملون بناءً على التكوين الحالي:

أخضر (مثالي):

- "✓ مثالي: تم تمكين وضع XDP_DRV مع دعم السائق الأصلي"
- الوضع الأعلى أداءً نشط

أصفر (تحذير):

- "⚠ يُعتبر الترقية إلى وضع XDP_DRV للحصول على أداء أفضل"
- يعمل في الوضع العام عندما يكون وضع السائق متاحًا

•"⚠ تحذير: XDP_DRV غير مدعوم من قبل هذا السائق"
•القيود المادية تمنع الأداء المثالي

أزرق (معلومات):

•معلومات عامة حول تكوين XDP

حاسبة أداء Mpps

حاسبة تفاعلية لتحويل معدل الحزم (Mpps) إلى الإنتاجية (Gbps):

معلمات الإدخال

معدل الحزم (Mpps):

•النطاق: 0.1 - 100 Mpps
•الافتراضي: الحد الأقصى لـ Mpps لوضع XDP الحالي
•يمثل ملايين الحزم المعالجة في الثانية

متوسط حجم الحزمة (بايت):

•النطاق: 64 - 9000 بايت
•الافتراضي: 1200 بايت (حزمة GTP نموذجية)
•تشمل الحزمة الكاملة مع تغليف GTP

أزرار الإعداد السريع:

•**64B (الحد الأدنى)**: الحد الأدنى لحجم إطار Ethernet
•**128B**: حزم صغيرة
•**256B**: مستوى التحكم أو الإشارة
•**512B**: حزم متوسطة الحجم
•**1024B**: حزم كبيرة
•**1518B (الحد الأقصى)**: الحد الأقصى لحجم إطار Ethernet بدون إطارات ضخمة

نتائج الحساب

الإنتاجية الإجمالية (Gbps):

•الإنتاجية بمعدل السلك بما في ذلك جميع الرؤوس
•الصيغة: `Gbps = Mpps × Packet_Size × 8 / 1000`
•تشمل رؤوس GTP و UDP و IP و Ethernet

معدل بيانات المستخدم (Gbps):

•الإنتاجية الفعلية للحمولة
•تستثني ~50 بايت من تكلفة تغليف GTP
•الصيغة: `Gbps = Mpps × (Packet_Size - 50) / 1000`

معدل الحزم:

•يعرض Mpps والحزم/ثانية مع فاصل الآلاف
•مثال: 10 10,000,000 = Mpps حزمة/ثانية

عرض الصيغة:

•يظهر تفاصيل الحساب خطوة بخطوة
•مثال: 10 1200 × Mpps بـا يت × 8 بت/بـا يت ÷ 1000 = 96 Gbps

فهم Mpps

يتضمن العرض قسمًا يشرح:

ما هو Mpps:

•ملايي�ي الحزم في الثانية
•مقياس رئيسي لأداء معالجة الحزم
•مستقل عن حجم الحزمة

العلاقة بالإنتاجية:

•نفس Mpps مع حزم أكبر = Gbps أعلى
•نفس Mpps مع حزم أصغر = Gbps أقل
•تعتمد الإنتاجية على كل من المعدل وحجم الحزمة

تكلفة تغليف GTP:

•رأس Ethernet: 14 بايت
•رأس IP: 20 بايت (IPv4) أو 40 بايت (IPv6)
•رأس UDP: 8 بايت
•رأس GTP: 8 بايت (حد أدنى)
•إجمالي التكلفة النموذجية: ~50 بايت لكل حزمة

حالات الاستخدام

تقييم أداء XDP:

1.انتقل إلى عرض قدرات XDP
2.تحقق من الوضع الحالي لـ XDP (يجب أن يكون DRV للحصول على أفضل أداء)
3.لاحظ نطاق أداء Mpps
4.راجع شريط التوصيات

حساب الإنتاجية المتوقعة:

1.أدخل معدل الحزم المتوقع في Mpps
2.أدخل متوسط حجم الحزمة لملف حركة المرور الخاص بك
3.راجع الإنتاجية المحسوبة في Gbps

4.قارن مع سعة الرابط أو متطلبات الأداء

تحسين تكوين XDP:

1.تحقق مما إذا كان وضع XDP_DRV مدعومًا ��لكن غير نشط
2.راجع إصدار السائق والتوافق
3.اتبع التوصية للترقية إلى وضع السائق إذا كان متاحًا
4.تحقق من أن عدد الطوابير المتعددة يتطابق مع أنوية CPU

تخطيط السعة:

1.استخدم الحاسبة لتحديد Mpps المطلوب للإنتاجية المستهدفة
2.قارن مع قدرات وضع XDP الحالي
3.حدد ما إذا كانت هناك حاجة لترقية الأجهزة
4.خطط لاختيار الواجهة والسائق للنشر الجديد

استكشاف مشكلات الأداء:

1.تحقق من أن وضع XDP هو DRV، وليس SKB
2.تحقق من إصدار السائق لأية مشكلات أداء معروفة
3.تحقق من أن عدد الطوابير المتعددة كافٍ
4.احسب ما إذا كان الوضع الحالي يدعم الإنتاجية المطلوبة

نصائح لتحسين الأداء

وضع السائق (XDP_DRV):

•استخدم NICs مع دعم XDP الأصلي (Intel i40e/ixgbe، Mellanox mlx5)
•قم بتحديث برامج تشغيل NIC إلى أحدث إصدار
•قم بتمكين الطوابير المتعددة (RSS) للمعالجة المتوازية
•ضبط أحجام حافة NIC

الوضع العام (XDP_SKB):

•مقبول للتطوير والاختبار
•غير موصى به للإنتاج عالي الإنتاجية
•فكر في ترقية الأجهزة للنشر في الإنتاج

تكوين الطوابير المتعددة:

•يجب أن يتطابق عدد الطوابير أو يتجاوز عدد أنوية CPU
•يمكّن المعالجة المتوازية للحزم عبر الأنوية
•يوزع الحمل عبر RSS (توزيع الحمل على الجانب المستلم)

التحديثات في الوقت الحقيقي

يقوم عرض قدرات XDP بالتحديث كل 30 ثانية لتحديث حالة الواجهة ومعلومات الوضع.

عارض السجلات

الرابط: `/logs`

الميزات

عرض سجلات تطبيق OmniUPF في الوقت الحقيقي من لوحة التحكم.

الميزات:

- تدفق سجلات مباشر عبر Phoenix LiveView
- تحديثات في الوقت الحقيقي مع توليد السجلات
- تاريخ سجلات قابل للتمرير
- مفيد لاستكشاف الأخطاء أثناء الجلسات النشطة

مستويات السجلات

تستخدم سجلات OmniUPF مستويات Logger القياسية في Elixir:

- **DEBUG**: معلومات تشخيصية مفصلة
- **INFO**: رسائل معلومات عامة (افتراضي)
- **WARNING**: رسائل تحذيرية لمشكلات غير حرجة
- **ERROR**: رسائل خطأ للفشل

حالات الاستخدام

استكشاف مشكلات إنشاء الجلسة:

1. افتح عرض السجلات
2. ابدأ إنشاء الجلسة من SMF
3. راقب سجلات رسائل PFCP وأي أخطاء

مراقبة الاتصال PFCP:

1. عرض رسائل إعداد ارتباط PFCP
2. تتبع إنشاء/تعديل/حذف الجلسات
3. تحقق من رسائل نبض القلب

تصحيح مشكلات إعادة التوجيه:

1. ابحث عن أخطاء معالجة الحزم
2. تحقق من سجلات تشغيل خريطة eBPF
3. حدد مشكلات تكوين FAR/PDR

أفضل الممارسات

إرشادات التشغيل

المراقبة:

- تحقق بانتظام من عرض السعة لمنع استنفاد الخريطة
- راقب الإحصائيات للأنماط غير العادية في الحركة أو الفقد
- تتبع نمو عدد الجلسات مع مرور الوقت
- راقب أخطاء معالجة XDP

إدارة المخازن:

- راقب المخازن أثناء سيناريوهات النقل
- امسح المخازن العالقة إذا تجاوزت الحزم TTL
- تحقق من تعطيل التخزين بعد اكتمال النقل
- استخدم "تفريغ" بدلاً من "مسح" لتجنب فقدان الحزم

إدارة الجلسات:

- استخدم الفلاتر للعثور بسرعة على جلسات UE محددة
- قم بتوسيع الجلسات للتحقق من تكوين القاعدة
- قارن الجلسات عبر عدة مثيلات من UPF
- تحقق من مؤشر الصحة قبل استكشاف الأخطاء

استكشاف الأخطاء:

- استخدم السجلات لاستكشاف الأخطاء في الوقت الحقيقي
- تحقق من عرض الجلسات للتحقق من اتصال UE
- تحقق من تكوين القواعد لتدفقات الحركة
- راقب الإحصائيات لفقدان الحزم أو أخطاء إعادة التوجيه

الأداء

- يتم تحديث لوحة التحكم تلقائيًا كل 5-10 ثوانٍ حسب العرض
- قد تستغرق قوائم الجلسات الكبيرة وقتًا للتحميل
- يقوم عرض القواعد بالتصفية حسب الإدخالات النشطة (أحجام غير صفرية لـ URRs)
- يتم تنفيذ عمليات المخازن على الفور على UPF المحدد

الوثائق ذات الصلة

- **دليل عمليات PFCP** - إدارة جلسات PFCP وتفاصيل البروتوكول
- **دليل إدارة القواعد** - تكوين PDR و FAR و QER و URR
- **دليل المراقبة** - الإحصائيات والمقاييس وتخطيط السعة
- **دليل المسارات** - تفاصيل توجيه UE وتكامل FRR
- **دليل أوضاع XDP** - وثائق مفصلة حول أوضاع XDP ومعلومات eBPF
- **دليل استكشاف الأخطاء** - مشكلات شائعة وتشخيصات

- **دليل عمليات UPF** - عمليات UPF العامة والهيكلية

أوضاع إرفاق XDP لـ OmniUPF

جدول المحتويات

1. نظرة عامة
2. مقارنة أوضاع XDP
3. الوضع العام (افتراضي)
4. الوضع الأصلي (موصى به للإنتاج)
5. وضع التحميل (SmartNIC)
6. تفعيل XDP الأصلي على Proxmox VE
7. تفعيل XDP الأصلي على Hypervisors الأخرى
8. التحقق من وضع XDP
9. استكشاف مشاكل XDP

نظرة عامة

تستخدم OmniUPF **XDP (مسار البيانات السريع)** لمعالجة الحزم عالية الأداء. XDP هي تقنية من نواة لينكس تسمح لبرامج معالجة الحزم (eBPF) بالتشغيل في أقرب نقطة ممكنة في مكدس الشبكة، مما يوفر زمن تأخير بمستوى الميكروثانية ومعدل نقل يصل إلى ملايين الحزم في الثانية.

تحدد وضعية إرفاق XDP **أين** يتم تنفيذ برنامج eBPF في مسار الحزمة:

اختيار الوضع الصحيح لـ XDP يؤثر بشكل كبير على أداء OmniUPF ويحدد ما إذا كنت تستطيع تحقيق معالجة حزم بمستوى الإنتاج.

مقارنة أوضاع XDP

الجانب	الوضع العام	الوضع الأصلي	وضع التحميل
نقطة الإرفاق	مكدس الشبكة في ينكس	برنامج التشغيل الشبكي	عتاد NIC
الأداء	~1-2 Mpps	~5-10 Mpps	~10-40 Mpps
زمن التأخير	~100 µs	~10 µs	~1 µs
استخدام المعالج	مرتفع	متوسط	منخفض
متطلبات NIC	أي NIC	برنامج تشغيل يدعم XDP	SmartNIC مع دعم XDP
دعم Hypervisor	جميع Hypervisors	معظمها (يتطلب تعدد الطوابير)	نادر (PCI passthrough)
حالة الاستخدام	الاختبار، التطوير	**الإنتاج (موصى به)**	مواقع الحافة ذات الإنتاجية العالية

الجانب	الوضع العام	الوضع الأصلي	وضع التحميل
التكوين	`xdp_attach_mode: generic`	`xdp_attach_mode: native`	`xdp_attach_mode: offload`

التوصية: استخدم **الوضع الأصلي** للتنفيذ في الإنتاج. الوضع العام مناسب فقط للاختبار.

الوضع العام (افتراضي)

الوصف

يعمل XDP العام على تشغيل برنامج eBPF في مكدس الشبكة في لينكس **بعد** أن يعالج برنامج التشغيل الحزمة. هذه هي أبطأ وضعية XDP ولكنها تعمل مع أي واجهة شبكة.

خصائص الأداء

- **معدل النقل**: ~1-2 مليون حز**ة في الثانية (Mpps)
- **زمن التأخير**: ~100 ميكروثانية لكل حزمة
- **عبء المعالج**: مرتفع (الحزمة تُنسخ إلى مكدس النواة قبل XDP)

متى تستخدم

- **التطوير والاختبار** فقط
- **بيئات المختبر** حيث لا تهم الأداء
- **النشر الأولي** للتحقق من الوظائف قبل التحسين

التكوين

```yaml
# config.yaml
interface_name: [eth0]
xdp_attach_mode: generic  # الوضع الافتراضي
```

تحذير: الوضع العام **غير مناسب للإنتاج**. سيصبح عنق زجاجة عند معدلات الحزم العالية ويهدر موارد المعالج.

الوضع الأصلي (موصى به للإنتاج)

الوصف

يعمل XDP الأصلي على تشغيل برنامج eBPF **داخل برنامج التشغيل الشبكي**، قبل أن تصل الحزم إلى مكدس الشبكة في لينكس. يوفر ذلك أداءً قريبًا من العتاد مع الحفاظ على مرونة مستوى النواة.

خصائص الأداء

- **معدل النقل**: ~5-10 مليون حزمة في الثانية (Mpps) لكل نواة
- **زمن التأخير**: ~10 ميكروثانية لكل حزمة
- **عبء المعالج**: منخفض (الحزمة تُعالج على مستوى برنامج التشغيل)
- **التوسع**: توسع خطي مع أنوية المعالج وطوابير NIC

متى تستخدم

- **تنفيذ الإنتاج** (موصى به)
- **شبكات من الدرجة الأولى** تتطلب إنتاجية عالية
- **سيناريوهات الحوسبة الحافة** مع متطلبات الأداء
- **أي نشر** حيث تهم الأداء

متطلبات برنامج تشغيل NIC

يتطلب XDP الأصلي برنامج تشغيل شبكة مع دعم XDP. تدعم معظم NICs الحديثة XDP الأصلي:

NICs الفيزيائية (bare metal):

- Intel: `ixgbe` (10G)، `i40e` (40G)، `ice` (100G)
- Broadcom: `bnxt_en`
- Mellanox: `mlx4_en`، `mlx5_core`
- Netronome: `nfp` (مع دعم التحميل)
- Marvell: `mvneta`، `mvpp2`

NICs الافتراضية (hypervisors):

- ✓ VirtIO: `virtio_net` (KVM، Proxmox، OpenStack)
- ✓ VMware: `vmxnet3`
- ✓ Microsoft: `hv_netvsc` (Hyper-V)
- ✓ Amazon: `ena` (AWS)
- ✓ SR-IOV: `ixgbevf`، `i40evf` (PCI passthrough)

ملاحظة: VirtualBox لا يدعم **XDP الأصلي** (استخدم الوضع العام فقط).

التكوين

```yaml
# config.yaml
interface_name: [eth0]
xdp_attach_mode: native
```

متطلبات تعدد الطوابير: لتحقيق الأداء الأمثل، قم بتمكين تعدد الطوابير على NICs الافتراضية (انظر قسم Proxmox أدناه).

وضع التحميل (SmartNIC)

الوصف

يعمل XDP التحميل على تشغيل برنامج eBPF **مباشرة على عتاد** (SmartNIC) **NIC**، متجاوزًا تمامًا المعالج لمعالجة الحزم. يوفر ذلك أعلى أداء ولكنه يتطلب عتادًا متخصصًا.

خصائص الأداء

- **معدل النقل**: ~10-40 مليون حزمة في الثانية (Mpps)
- **زمن التأخير**: ~1 ميكروثانية لكل حزمة
- **عبء المعالج**: قريب من الصفر (المعالجة على NIC)

متى تستخدم

- **تنفيذات ذات إنتاجية عالية جدًا** (10G+ لكل مثيل UPF)
- **مواقع الحافة** مع تسريع العتاد
- **تنفيذات حساسة للتكلفة** (تقليل متطلبات المعالج)

متطلبات العتاد

تدعم فقط SmartNICs من Netronome Agilio حاليًا XDP التحميل:

- Netronome Agilio CX 10G/25G/40G/100G

ملاحظة: يتطلب وضع التحميل **bare metal** أو **PCI passthrough** - غير متاح في تكوينات VM القياسية.

التكوين

```
config.yaml #
interface_name: [eth0]
xdp_attach_mode: offload
```

تفعيل XDP الأصلي على Proxmox VE

تستخدم Proxmox VE أجهزة الشبكة **VirtIO** للآلات الافتراضية، والتي تدعم XDP الأصلي عبر برنامج التشغيل `virtio_net`. ومع ذلك، يجب عليك تمكين **تعدد الطوابير** لتحقيق الأداء الأمثل.

الخطوة 1: فهم المتطلبات

لماذا تهم تعدد الطوابير:

- **طابور واحد** (افتراضي): تتم معالجة كل حركة المرور الشبكية بواسطة نواة واحدة من المعالج ← عنق زجاجة

•**تعدد الطوابير**: يتم توزيع الحركة عبر عدة أنوية من المعالج → توسع خطي

الخطوة 2: تمكين تعدد الطوابير في Proxmox

الخيار أ: عبر واجهة ويب Proxmox

1.**أوقف تشغيل VM تمامًا** (ليس فقط إعادة التشغيل)

◦اختر VM الخاص بك في واجهة ويب Proxmox
◦انقر على **إيقاف التشغيل**

2.**تحرير جهاز الشبكة**

◦انتقل إلى علامة تبويب **الأجهزة**
◦انقر على جهاز الشبكة الخاص بك (مثل net0)
◦انقر على **تحرير**

3.**تعيين تعدد الطوابير**

◦ابحث عن حقل **"تعدد الطوابير"**
◦اضبطه على **8** (أو مطابق لعدد vCPU الخاص بك، بحد أقصى 16)
◦انقر على **موافق**

4.**ابدأ VM**

◦انقر على **بدء**

الخيار ب: عبر سطر أوامر Proxmox

```
# SSH إلى مضيف Proxmox الخاص بك

# ابحث عن معرف VM الخاص بك
qm list

# تعيين تعدد الطوابير (استبدل XXX بمعرف VM الخاص بك)
qm set XXX -net0 virtio=XX:XX:XX:XX:XX:XX,bridge=vmbr0,queues=8

# مثال لـ VM 191 مع MAC BC:24:11:1D:BA:00
qm set 191 -net0 virtio=BC:24:11:1D:BA:00,bridge=vmbr0,queues=8

# أوقف تشغيل VM
qm shutdown XXX

# انتظر حتى يتم الإيقاف، ثم ابدأ
qm start XXX
```

توصيات عدد الطوابير:

- **4 طوابير**: الحد الأدنى للإنتاج (جيد لـ 2-4 vCPU VMs)
- **8 طوابير**: موصى به لمعظم النشر (4-8 vCPU VMs)
- **16 طابور**: الحد الأقصى للأداء العالي (8+ vCPU VMs)

الخطوة 3: تحقق من تعدد الطوابير داخل VM

بعد إعادة تشغيل VM، قم بتسجيل الدخول عبر SSH إلى VM وتحقق:

```
# تحقق من تكوين الطوابير
ethtool -l eth0

# الناتج المتوقع:
# Channel parameters for eth0:
# Combined:       8 <-- يجب أن يتطابق مع القيمة التي قمت بتكوينها

# عد الطوابير الفعلية
ls -1d /sys/class/net/eth0/queues/rx-* | wc -l
ls -1d /sys/class/net/eth0/queues/tx-* | wc -l

# يجب أن يظهر كلاهما 8 (أو القيمة التي قمت بتكوينها)
```

الخطوة 4: تمكين XDP الأصلي في OmniUPF

حرر تكوين OmniUPF:

```
# تحرير ملف التكوين
sudo nano /etc/eupf/config.yaml
```

قم بتغيير وضع XDP:

```
# قبل
xdp_attach_mode: generic

# بعد
xdp_attach_mode: native
```

أعد تشغيل OmniUPF:

```
sudo systemctl restart eupf
```

الخطوة 5: تحقق من أن XDP الأصلي نشط

تحقق من السجلات:

```
# عرض سجلات بدء التشغيل
"journalctl -u eupf --since "1 minute ago" | grep -i "xdp\|attach
```

```
# الناتج المتوقع:
xdp_attach_mode:native #
  XDPAttachMode:native #
Attached XDP program to iface "eth0" (index 2) #
```

تحقق عبر API:

```
# استعلام التكوين
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | grep xdp_attach_mode

# الناتج المتوقع:
,"xdp_attach_mode": "native" #
```

مشاكل شائعة في Proxmox

المشكلة: "فشل في إرفاق برنامج XDP"

الحل:

•تحقق من تمكين تعدد الطوابير (`ethtool -l eth0`)
•تحقق من إصدار النواة: `uname -r` (يجب أن يكون ≤ 5.15)
•تأكد من تحميل برنامج تشغيل VirtIO: `lsmod | grep virtio_net`

المشكلة: فقط 1 طابور على الرغم من التكوين

الحل:

•يجب أن يكون VM **مغلقًا تمامًا** (ليس معاد تشغيله) لتغييرات الطابور
•استخدم `qm shutdown XXX && sleep 5 && qm start XXX`
•تحقق في تكوين Proxmox: `grep net0 /etc/pve/qemu-server/XXX.conf`

المشكلة: الأداء لا يتحسن مع الوضع الأصلي

الحل:

•تحقق من تثبيت المعالج (تجنب الإفراط في الاشتراك)
•راقب `top` - يجب أن ينتشر استخدام المعالج عبر الأنوية
•تحقق من إحصائيات XDP: `curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats`

تفعيل XDP الأصلي على Hypervisors الأخرى

VMware ESXi / vSphere

تستخدم VMware برنامج التشغيل `vmxnet3` الذي يدعم XDP الأصلي.

المتطلبات:

- ESXi 6.7 أو أحدث
- إصدار برنامج التشغيل vmxnet3 1.4.16+ في VM
- إصدار عتاد VM 14 أو أحدث

تمكين تعدد الطوابير:

1. **قم بإيقاف تشغيل VM**

2. **تحرير إعدادات VM**:

   - انقر بزر الماوس الأيمن على VM ← تحرير الإعدادات
   - محول الشبكة ← متقدم
   - اضبط **توزيع جانب الاستقبال** على **مفعل**

3. **تحرير ملف .vmx** (اختياري، لمزيد من الطوابير):

```
"ethernet0.pnicFeatures = "4
 "ethernet0.multiqueue = "8
```

4. **ابدأ VM وتحقق**:

```
ethtool -l ens192  # تحقق من عدد الطوابير
```

تكوين OmniUPF:

```
interface_name: [ens192]  # تستخدم VMware عادة ens192
xdp_attach_mode: native
```

KVM / libvirt (Raw)

تمكين تعدد الطوابير عبر virsh:

```
# تحرير تكوين VM
virsh edit your-vm-name
```

أضف إلى قسم واجهة الشبكة:

```
<'interface type='network>
  </'source network='default>
    </'model type='virtio>
</'driver name='vhost' queues='8>
                  <interface/>
```

أعد تشغيل VM وتحقق:

```
ethtool -l eth0
```

Microsoft Hyper-V

تستخدم Hyper-V برنامج التشغيل hv_netvsc الذي يدعم XDP الأصلي.

المتطلبات:

- Windows Server 2016 أو أحدث
- خدمات تكامل لينكس 4.3+ في VM
- VM من الجيل 2

تمكين تعدد الطوابير:

PowerShell على مضيف Hyper-V:

```
# تعيين VMQ (طابور الآلة الافتراضية) - تعدد الطوابير في Hyper-V
Set-VMNetworkAdapter -VMName "YourVM" -VrssEnabled $true -VmmqEnabled $true
```

تكوين OmniUPF:

```
interface_name: [eth0]
xdp_attach_mode: native
```

VirtualBox

تحذير: لا يدعم VirtualBox **XDP الأصلي**.

السبب: لا تنفذ برامج تشغيل الشبكة في VirtualBox (e1000، virtio-net) نقاط ربط XDP.

الحل: استخدم الوضع العام فقط:

```
xdp_attach_mode: generic  # الخيار الوحيد لـ VirtualBox
```

التحقق من وضع XDP

بعد تكوين XDP الأصلي، تحقق من أنه يعمل بشكل صحيح:

1. تحقق من سجلات OmniUPF

```
# عرض السجلات الأخيرة
journalctl -u eupf --since "5 minutes ago" | grep -i xdp

# ابحث عن:
# ✓ "xdp_attach_mode:native"
# ✓ "Attached XDP program to iface"
# ✗ "Failed to attach" أو "falling back to generic"
```

2. تحقق عبر API

```
# استعلام نقطة النهاية للتكوين
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | jq .xdp_attach_mode

# الناتج المتوقع:
# "native"
```

3. تحقق من إحصائيات XDP

```
# عرض إحصائيات معالجة XDP
curl -s http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq

# الناتج المثال:
{
  "xdp_aborted": 0",      # يجب أن تكون 0 (أخطاء)
  "xdp_drop": 1234",      # حزم تم إسقاطها
  "xdp_pass": 5678",      # حزم تم تمريرها إلى المكدس
  "xdp_redirect": 9012",  # حزم تم إعادة توجيهها
  "xdp_tx": 3456"         # حزم تم إرسالها
{
```

4. تحقق من دعم برنامج التشغيل

```
# تحقق مما إذا كان برنامج التشغيل يدعم XDP
ethtool -i eth0 | grep driver

# بالنسبة لـ Proxmox/KVM: يجب أن يظهر "virtio_net"
# بالنسبة لـ VMware: يجب أن يظهر "vmxnet3"
# بالنسبة لـ Hyper-V: يجب أن يظهر "hv_netvsc"
```

5. اختبار الأداء

قارن معالجة الحزم قبل وبعد:

```
# راقب معدل الحزم
watch -n 1 'curl -s http://localhost:8080/api/v1/packet_stats | jq
'.rx_packets

# الوضع العام: ~1-2 Mpps
# الوضع الأصلي: ~5-10 Mpps (تحسين 5-10x)
```

استكشاف مشاكل XDP

المشكلة: "فشل في إرفاق برنامج XDP" عند بدء التشغيل

الأعراض:

```
خطأ: فشل في إرفاق برنامج XDP إلى واجهة eth0
```

التشخيص:

1. **تحقق من دعم برنامج التشغيل**:

```
ethtool -i eth0 | grep driver

# إذا لم يكن برنامج التشغيل هو virtio_net/vmxnet3/hv_netvsc، فلن يعمل XDP الأصلي
```

2. **تحقق من إصدار النواة**:

```
uname -r

# يجب أن يكون ≥ 5.15 لدعم XDP بشكل موثوق
```

3. **تحقق من وجود برامج XDP موجودة**:

```
ip link show eth0 | grep xdp

# إذا كان هناك برنامج XDP آخر متصل، قم بإلغاء تحميله أولاً
ip link set dev eth0 xdp off
```

الحل:

- قم بتحديث النواة إلى 5.15+ إذا كانت أقدم
- تأكد من تحميل برنامج تشغيل virtio_net: `modprobe virtio_net`
- الرجوع إلى الوضع العام إذا لم يدعم برنامج التشغيل XDP الأصلي

المشكلة: الوضع الأصلي يتراجع إلى الوضع العام

الأعراض:

```
تحذير: التراجع إلى وضع XDP العام
```

التشخيص:

تحقق من dmesg للأخطاء في برنامج التشغيل:

```
dmesg | grep -i xdp | tail -20
```

الأسباب الشائعة:

1. **برنامج التشغيل لا يدعم XDP الأصلي**:

◦ برامج تشغيل VirtualBox (لا دعم لـ XDP الأصلي)
◦ برامج تشغيل NIC الأقدم

2. **لم يتم تمكين تعدد الطوابير**:

◦ تحقق: `ethtool -l eth0`
◦ يجب أن يظهر > 1 طابور مشترك

3. **تم تعطيل دعم XDP في نواة لينكس**:

```
# تحقق مما إذا كان XDP مفعلًا في النواة
grep XDP /boot/config-$(uname -r)

# يجب أن يظهر:
CONFIG_XDP_SOCKETS=y
CONFIG_BPF=y
```

الحل:

- تمكين تعدد الطوابير (انظر قسم Proxmox)
- تحديث إلى برنامج تشغيل مدعوم
- إعادة بناء النواة مع دعم XDP إذا لزم الأمر

المشكلة: الأداء لا يتحسن مع الوضع الأصلي

الأعراض: تم تمكين الوضع الأصلي ولكن معدل الحزم نفسه مثل الوضع العام

التشخيص:

1. **تحقق من توزيع تعدد الطوابير**:

```
# تحقق من إحصائيات الطوابير لكل طابور
ethtool -S eth0 | grep rx_queue

# يجب أن يتم توزيع الحركة عبر عدة طوابير
```

2. **تحقق من استخدام المعالج**:

```
# راقب استخدام المعالج لكل نواة
mpstat -P ALL 1

# يجب أن ترى الحمل موزعًا عبر عدة أنوية
```

3. **تحقق من أن XDP يعمل فعلاً في الوضع الأصلي**:

```
# تحقق من bpftool (إذا كان متاحًا)
sudo bpftool net list

# يجب أن يظهر XDP متصلًا بالواجهة
```

الحل:

•زيادة عدد الطوابير (8-16 طابور)
•تمكين تثبيت المعالج لتجنب انتقال النواة
•تحقق من الإفراط في الاشتراك في المعالج على hypervisor

المشكلة: تم إلغاء برنامج XDP (xdp_aborted > 0)

الأعراض:

```
curl http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats
{
  "xdp_aborted": 1234,  # غير صفر تشير إلى الأخطاء
  ...
}
```

التشخيص:

تشير XDP aborted إلى أن برنامج eBPF واجه خطأ أثناء التنفيذ.

1. **تحقق من سجلات المدقق eBPF**:

```
dmesg | grep -i bpf | tail -20
```

2. **تحقق من حدود حجم الخريطة**:

```
# قد تكون خرائط eBPF ممتلئة
curl http://localhost:8080/api/v1/map_info

# ابحث عن الخرائط عند 100% من السعة
```

الحل:

•زيادة أحجام خرائط eBPF في التكوين
•تحقق من الحزم التالفة التي تسبب أخطاء eBPF
•تحقق من دعم نواة لينكس لـ eBPF بشكل كامل

المشكلة: عدم عمل تعدد الطوابير في Proxmox

الأعراض: `ethtool -l eth0` يظهر فقط 1 طابور على الرغم من التكوين

التشخيص:

1.**تحقق من تكوين VM في Proxmox**:

```
# على مضيف Proxmox
grep net0 /etc/pve/qemu-server/YOUR_VM_ID.conf

# يجب أن يظهر: queues=8
```

2.**تحقق من أن VM كان **مغلقًا تمامًا**:

```
# على مضيف Proxmox
qm status YOUR_VM_ID

# يجب أن يظهر "status: stopped" قبل البدء
```

الحل:

```
# على مضيف Proxmox
# أوقف التشغيل بالقوة وأعد التشغيل
qm shutdown YOUR_VM_ID
sleep 10
qm start YOUR_VM_ID

# ثم تحقق داخل VM
ethtool -l eth0
```

مهم: تتطلب تغييرات عدد الطوابير **إيقاف VM تمامًا**، وليس مجرد إعادة تشغيل من داخل VM.

المشكلة: تم رفض الإذن عند إرفاق XDP

الأعراض:

```
خطأ: تم رفض الإذن عند إرفاق برنامج XDP
```

التشخيص:

تتطلب عمليات XDP قدرات CAP_NET_ADMIN و CAP_SYS_ADMIN.

الحل:

1.**قم بتشغيل OmniUPF كـ root** (أو مع القدرات):

```
sudo systemctl restart eupf
```

2.**إذا كنت تستخدم systemd**، تحق�من أن ملف الخدمة يحتوي على القدرات:

```
# /lib/systemd/system/eupf.service
```

```
[Service]
CapabilityBoundingSet=CAP_NET_ADMIN CAP_SYS_ADMIN CAP_NET_RAW
AmbientCapabilities=CAP_NET_ADMIN CAP_SYS_ADMIN CAP_NET_RAW
```

3. **إذا كنت تستخدم Docker**، قم بالتشغيل مع `--privileged`:

```
... docker run --privileged -v /sys/fs/bpf:/sys/fs/bpf
```

ملخص تأثير الأداء

مقارنة الأداء في العالم الحقيقي لمعالجة الحزم في OmniUPF:

السيناريو	الوضع العام	الوضع الأصلي	التحسين
معدل الحزم	1.5 Mpps	8.2 Mpps	**5.5x أسرع**
زمن التأخير	95 µs	12 µs	**8x أقل**
استخدام المعالج (1 جيجابت في الثانية)	85% (نواة واحدة)	15% (موزعة)	**5x أكثر كفاءة**
الحد الأقصى للإنتاجية	~1.2 جيجابت في الثانية	~10 جيجابت في الثانية	**8x أعلى**

التوصية: استخدم دائمًا **الوضع الأصلي** مع **تمكين تعدد الطوابير** لتنفيذات الإنتاج.

توصيات العتاد لـ XDP

⚠ مهم: قبل شراء أي عتاد، استشر دعم Omnitouch للتأكد من توافقه 100% مع تكوينك ومتطلبات النشر المحددة.

NICs المعروفة الجيدة لـ XDP الأصلي

تم التحقق من أن هذه NICs تدعم وضع XDP الأصلي مع OmniUPF:

NICs من Intel (موصى بها للعتاد الفعلي)

الطراز	السرعة	برنامج التشغيل	دعم XDP	الملاحظات
Intel X520	10GbE	ixgbe	✓ أصلي	مثبت، متوفر على نطاق واسع، سعر/أداء جيد
Intel X710	10/40GbE	i40e	✓ أصلي	دعم ممتاز لتعدد الطوابير
Intel E810	100GbE	ice	✓ أصلي	أحدث جيل، أفضل أداء
Intel i350	1GbE	igb	✓ أصلي (النواة 5.10+)	جيد لاحتياجات النطاق الترددي المنخفض

NICs من Mellanox/NVIDIA (أداء عالي)

الطراز	السرعة	برنامج التشغيل	دعم XDP	الملاحظات
ConnectX-4	25/50/100GbE	mlx5	أصلي ✓	إنتاجية عالية، جيد للحوسبة الحافة
ConnectX-5	25/50/100GbE	mlx5	أصلي ✓	أداء ممتاز، تسريع العتاد
ConnectX-6	50/100/200GbE	mlx5	أصلي ✓	أحدث جيل، الأفضل للإنتاجية العالية جدًا
BlueField-2	100/200GbE	mlx5	أصلي ✓	SmartNIC مع قدرات DPU

NICs من Broadcom

الطراز	السرعة	برنامج التشغيل	دعم XDP	الملاحظات
BCM57xxx series	10/25/50GbE	bnxt_en	أصلي ✓	شائع في خوادم Dell/HP

NICs الافتراضية (نشر VMs)

المنصة	نوع NIC	برنامج التشغيل	دعم XDP	تعدد الطوابير	الملاحظات
Proxmox/KVM	VirtIO	virtio_net	أصلي ✓	نعم (قابل للتكوين)	**الأفضل لـ VMs**
VMware ESXi	vmxnet3	vmxnet3	أصلي ✓	نعم	يتطلب ESXi 6.7+
Hyper-V	NIC صناعي	hv_netvsc	أصلي ✓	نعم	Windows Server 2016+
AWS	ENA	ena	أصلي ✓	نعم	EC2 metal instances
VirtualBox	أي	متنوع	الوضع العام فقط ⚠	لا	غير موصى به للإنتاج

NICs مع دعم التحميل العتادي

التح��يل الحقيقي لـ XDP (eBPF يعمل على NIC):

البائع	الطراز	السرعة	الملاحظات
Netronome	Agilio CX 10G	10GbE	الدعم الوحيد المؤكد لتحميل XDP
Netronome	Agilio CX 25G	25GbE	يتطلب برنامج ثابت خاص
Netronome	Agilio CX 40G	40GbE	مكلف جدًا (~$2,500-5,000)
Netronome	Agilio CX 100G	100GbE	فقط للدرجة المؤسسية

ملاحظة: تعتبر NICs التحميل العتادي نادرة ومكلفة وتتطلب نشرًا فعليًا. يجب أن تستخدم معظم النشر XDP الأصلي بدلاً من ذلك.

التكوينات المختبرة

تم التحقق من هذه التكوينات مع OmniUPF في الإنتاج:

خيار الميزانية (1-10 جيجابت في الثانية)

- **NIC**: Intel X520 (10GbE مزدوج المنفذ)
- **الوضع**: XDP الأصلي
- **الإنتاجية**: ~8-10 جيجابت في الثانية لكل مثيل UPF
- **التكلفة**: ~$100-200 (مستعمل/مجدّد)

النطاق المتوسط (10-50 جيجابت في الثانية)

- **NIC**: Intel X710 (40GbE) أو Mellanox ConnectX-4 (25GbE)
- **الوضع**: XDP الأصلي
- **الإنتاجي��**: ~25-40 جيجابت في الثانية لكل مثيل UPF
- **التكلفة**: ~$300-800

عالي الأداء (50-100+ جيجابت في الثانية)

- **NIC**: Mellanox ConnectX-5/6 (100GbE)
- **الوضع**: XDP الأصلي
- **الإنتاجية**: ~80-100 جيجابت في الثانية لكل مثيل UPF
- **التكلفة**: ~$1,000-2,500

نشرات VMs (Proxmox/KVM)

- **NIC**: VirtIO مع 8-16 طابور
- **الوضع**: XDP الأصلي
- **الإنتاجية**: ~5-10 جيجابت في الثانية لكل مثيل UPF
- **التكلفة**: لا تكلفة إضافية على العتاد

ما يجب تجنبه

تجنب هذه الخيارات لنشر OmniUPF في الإنتاج:

NIC/المنصة	السبب	البديل
NICs من Realtek	لا دعم لـ XDP، برامج تشغيل لينكس ضعيفة	Intel i350 أو أفضل
VirtualBox	لا دعم لـ XDP الأصلي	الانتقال إلى Proxmox/KVM
NICs من الدرجة الاستهلاكية	دعم محدود للطوابير، غير موثوق	NICs من Intel/Mellanox من الدرجة الخدمية
NICs القديمة جدًا (<2014)	لا دعم لبرنامج تشغيل XDP	Intel X520 أو أحدث

قائمة التحقق قبل الشراء

قبل شراء العتاد، تحقق من:

1. ☐ **دعم برنامج التشغيل**: تحقق مما إذا كان برنامج التشغيل في لينكس يدعم XDP

```
# على نظام مشابه
modinfo <driver_name> | grep -i xdp
```

2. ☐ **إصدار النواة**: تأكد من أن النواة ≥ 5.15 لدعم XDP بشكل موثوق

```
uname -r
```

3. ☐ **تعدد الطوابير**: تحقق مما إذا كان NIC يدعم الطوابير المتعددة (RSS/VMDq)

4. ☐ **عرض PCI**: تأكد من أن فتحة PCIe تحتوي على عدد كافٍ من الخطوط

   - 10GbE: PCIe 2.0 x4 الحد الأدنى
   - 40GbE: PCIe 3.0 x8 الحد الأدنى
   - 100GbE: PCIe 3.0 x16 أو PCIe 4.0 x8

5. ☐ **نوع النشر**:

   - العتاد الفعلي: يتطلب NIC فعلي
   - VM: دعم VirtIO أو SR-IOV مطلوب
   - الحاوية: يتم وراثة تكوين NIC المضيف

⚠ لا تشتري العتاد بناءً على هذا الدليل فقط - تأكد دائمًا من ذلك مع دعم Omnitouch أولاً!

موارد إضافية

- **دليل التكوين**: CONFIGURATION.md - مرجع تكوين كامل
- **دليل استكشاف الأخطاء**: TROUBLESHOOTING.md - تشخيص شامل للمشاكل
- **دليل الهندسة المعمارية**: ARCHITECTURE.md - تفاصيل هندسة eBPF وXDP
- **دليل المراقبة**: MONITORING.md - مراقبة الأداء والإحصائيات

مرجع سريع

إعداد XDP الأصلي على Proxmox (TL;DR)

```
# على مضيف Proxmox:
qm set <VM_ID> -net0 virtio=<MAC>,bridge=vmbr0,queues=8
    <qm shutdown <VM_ID> && sleep 10 && qm start <VM_ID
```

```
# داخل VM:
ethtool -l eth0  # تحقق من 8 طوابير
sudo nano /etc/eupf/config.yaml  # اضبط: xdp_attach_mode: native
sudo systemctl restart eupf
journalctl -u eupf --since "1 min ago" | grep xdp  # تحقق من الوضع الأصلي
```

تحقق من أن وضع XDP نشط

```
# تحقق من التكوين
curl -s http://localhost:8080/api/v1/config | grep xdp_attach_mode

# تحقق من الإحصائيات
curl -s http://localhost:8080/api/v1/xdp_stats | jq

# تحقق من الطوابير
ethtool -l eth0
```

وثائق واجهة برمجة تطبيقات OmniUPF

نظرة عامة

توفر واجهة برمجة تطبيقات OmniUPF واجهة RESTful لإدارة ومراقبة وظيفة الطائرة المستخدمة المستندة إلى eBPF. تتيح واجهة برمجة التطبيقات التحكم والمراقبة في الوقت الفعلي لـ:

- **جلسات PFCP**: إدارة دورة حياة الجلسة والارتباط
- **قواعد اكتشاف الحزم (PDR)**: تصنيف حركة المرور للرفع والهبوط (IPv4 و IPv6)
- **قواعد إجراءات التوجيه (FAR)**: إجراءات توجيه الحزم، والتخزين المؤقت، والإسقاط
- **قواعد تنفيذ جودة الخدمة (QER)**: سياسات جودة الخدمة وتحديد المعدل
- **قواعد تقارير الاستخدام (URR)**: تتبع حجم البيانات والتقارير
- **ذاكرات الحزم**: وظيفة تخزين الحزم وإعادة التشغيل
- **الإحصائيات**: مقاييس الوقت الف��لي للحزم، والمسارات، وXDP، وواجهات N3/N6
- **إدارة المسارات**: مزامنة مسار UE مع خادم توجيه FRR
- **التكوين**: إدارة تكوين UPF والطائرة البيانات

وثائق واجهة برمجة تطبيقات Swagger

تم توثيق واجهة برمجة التطبيقات بالكامل باستخدام **مواصفة OpenAPI 3.0 (Swagger)**. توفر واجهة Swagger التفاعلية:

- توثيق كامل لنقاط النهاية مع مخططات الطلب/الاستجابة
- وظيفة التجربة لاختبار استدعاءات واجهة برمجة التطبيقات مباشرة من المتصفح
- تعريفات المخططات لجميع نماذج البيانات
- رموز حالة HTTP واستجابات الأخطاء

واجهة Swagger التفاعلية تعرض نقاط نهاية واجهة برمجة تطبيقات OmniUPF مع توثيق مفصل.

الوصول إلى واجهة Swagger

تتوفر وثائق Swagger على:

```
http://<upf-host>:8080/swagger/index.html
```

على سبيل المثال: `http://10.98.0.20:8080/swagger/index.html`

مسار قاعدة واجهة برمجة التطبيقات

تبدأ جميع نقاط نهاية واجهة برمجة التطبيقات بـ:

```
api/v1/
```

انظر أيضًا

- [وثائق إدارة مسار UE](routes.md/.) - دليل مفصل حول تكامل FRR ومزامنة المسارات
- [دليل العمليات](OPERATIONS.md/..) - عمليات واجهة الويب والمراقبة
- [واجهة Swagger](http://10.98.0.20:8080/swagger/index.html) - وثائق واجهة برمجة التطبيقات التفاعلية

إدارة مسارات UE

المستندات ذات الصلة:

- وثائق API - مرجع API كامل بما في ذلك نقاط نهاية إدارة المسارات
- دليل العمليات - عمليات واجهة الويب والمراقبة

نظرة عامة

يتكامل UPF (وظيفة مستوى المستخدم) مع **FRR (التوجيه الحر)** لإدارة مسارات IP لمعدات المستخدم (UE) ديناميكيًا. يضمن هذا التكامل أنه مع إنشاء أو إنهاء جلسات UE، يتكيف بنية التوجيه تلقائيًا لتعكس الطوبولوجيا الحالية للشبكة.

ما هو FRR؟

FRR (التوجيه الحر) هو مجموعة بروتوكولات توجيه قوية ومفتوحة المصدر لأنظمة Linux وUnix. يقوم بتنفيذ بروتوكولات توجيه مختلفة بما في ذلك BGP وOSPF وRIP وغيرها. في نشرنا، يعمل FRR كخادم توجيه يحافظ على جدول توجيه النواة ويمكنه إعادة توزيع المسارات إلى عناصر الشبكة الأخرى.

الهيكلية

كيفية عمل مزامنة المسارات

دورة حياة المسار

المزامنة التلقائية

يحافظ UPF على سجل داخلي لجميع عناوين IP النشطة لمعدات المستخدم. عند التمكين، يقوم نظام مزامنة المسارات بـ:

1. **مراقبة جلسات UE**: ��تبع جميع جلسات PFCP النشطة وعناوين IP المرتبطة بها
2. **الحفاظ على قائمة المسارات**: الاحتفاظ بقائمة محدثة من المسارات التي يجب أن تكون في جدول التوجيه
3. **المزامنة مع FRR**: دفع تحديثات المسارات تلقائيًا إلى خادم FRR عبر واجهته البرمجية
4. **التعامل مع الفشل**: تتبع حالة المزامنة (مزامنة/فشل) لكل مسار وإعادة المحاولة حسب الحاجة

إعداد FRR

التكوين

يتم نشر FRR وتكوينه باستخدام **قوالب Ansible** لتحديد معلمات التوجيه الأساسية. تقوم بتعريف تكوين FRR مرة واحدة كقالب **Jinja2** في كتاب لعب Ansible الخاص بك، وتقوم Ansible تلقائيًا بنشره إلى جميع مثيلات UPF الخاصة بك أثناء النشر.

يتضمن قالب تكوين Jinja2 FRR النموذجي:

```
                                                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 kernel
                                                      network {{
hostvars[inventory_hostname]['ansible_default_ipv4']['network'] }}/{{
                                                    mask_cidr }} area 0
                                         area 0 authentication message-digest
                                                                  !
                                                     line vty
                                                                  !
                                                   end
```

نموذج النشر:

1. **حدد مرة واحدة**: أنشئ قالب Jinja2 FRR في دور Ansible الخاص بك (على سبيل المثال، `roles/frr/templates/frr.conf.j2`)
2. **تكوين المعلمات**: قم بتعيين المتغيرات في جرد Ansible الخاص بك لكل مضيف UPF
3. **نشر في كل مكان**: قم بتشغيل كتاب لعب Ansible لنشر تكوين FRR إلى جميع عقد UPF
4. **تخصيص تلقائي**: تستخدم Ansible المتغيرات الخاصة بالمضيف (عناوين IP، معرفات أجهزة التوجيه، إلخ) لتخصيص تكوين FRR لكل UPF

المعلمات القابلة للتخصيص في قالب Jinja2:

- **معلمات OSPF**: معرف جهاز التوجيه، تكوين المنطقة، طرق المصادقة، إعلانات الشبكة
- **تكوين BGP**: ASN، علاقات الجيران، سياسات المسار، المجتمعات
- **إعادة توزيع المسار**: أي مسارات نواة يجب إعادة توزيعها (على سبيل المثال، redistribute kernel)
- **تصفية المسار**: خرائط المسار، قوائم البادئات، قوائم الوصول
- **إعدادات الواجهة**: معلمات واجهة OSPF/BGP

تكامل UPF: بمجرد نشر تكوين FRR الأساسي إلى كل مثيل UPF، يضيف UPF ديناميكيًا عناوين IP لمعدات المستخدم كمسارات **/32** إلى جدول توجيه النواة بناءً على جلسات PFCP النشطة. ثم يتم:

1. **تثبيتها في جدول توجيه النواة** بواسطة محرك مزامنة مسار UPF
2. **التقاطها بواسطة FRR** عبر توجيه redistribute kernel
3. **الإعلان عنها لبروتوكولات التوجيه** (OSPF، BGP) وفقًا لتكوين FRR الخاص بك
4. **نشرها إلى الشبكة** بحيث يمكن توجيه حركة مرور UE إلى هذه المثيل من UPF

النقاط الرئيسية:

- **حدد مرة واحدة، انشر في كل مكان**: قم بتعريف قالب FRR Jinja2 مرة واحدة في Ansible، وسيتم نشره تلقائيًا إلى جميع مثيلات UPF
- **تتعامل Ansible مع التكو��ن الثابت**: يقوم قالب Jinja2 بإعداد جميع معلمات بروتوكول التوجيه (مناطق OSPF، جيران BGP، المصادقة، سياسات المسار، إلخ)
- **يتعامل UPF مع المسارات الديناميكية**: يدير كل مثيل UPF ديناميكيًا فقط مسارات UE /32 IP بناءً على جلسات PFCP النشطة
- **الإعلان التلقائي عن المسار**: يقوم FRR على كل UPF تلقائيًا بإعادة توزيع المسارات المحلية لمعدات المستخدم وفقًا لسياساتك المكونة
- **إدارة مركزية**: قم بتحديث قالب Ansible وأعد تشغيل كتاب اللعب لتغيير تكوين التوجيه عبر جميع UPFs في وقت واحد

الإعلان عن المسار

المراقبة والإدارة

تكامل واجهة الويب

يوفر لوحة التحكم في UPF صفحة **المسارات** التي تعرض:

- **حالة المسار**: ما إذا كانت مزامنة المسار مفعلة أم معطلة
- **إجمالي المسارات**: عدد عناوين IP لمعدات المستخدم التي يتم تتبعها
- **إحصائيات المزامنة**: عدد المسارات التي تمت مزامنتها بنجاح وأي فشل
- **المسارات النشطة**: قائمة في الوقت الحقيقي بجميع عناوين IP لمعدات المستخدم الموجودة حاليًا في جدول التوجيه
- **جيران OSPF**: حالة حية للجوار OSPF مع تفاصيل الجيران
- **نظائر BGP**: حالة جلسة BGP وإحصائيات البادئات (عند التكوين)
- **المسارات المعاد توزيعها OSPF**: عرض كامل لـ LSAs الخارجية يوضح كيف يتم الإعلان عن مسارات UE

توفر صفحة المسارات رؤية شاملة لمزامنة مسارات UE، وجيران بروتوكول التوجيه، وإعلانات

المسارات المعاد توزيعها.

عملية المزامنة اليدوية

يمكن للمسؤولين بدء مزامنة المسار يدويًا من خلال واجهة الويب باستخدام زر **مزامنة المسارات**. هذه العملية:

1.عيد قراءة القائمة الحالية لجلسات UE النشطة من UPF
2.تقارن مع جدول توجيه FRR
3.تضيف أي مسارات مفقودة
4.تزيل أي مسارات قديمة
5.تعيد إحصائيات المزامنة المحدثة

تدفق المسار

الفوائد

- **توفير بدون لمس**: يتم إدارة المسارات تلقائيًا دون تدخل يدوي
- **التكيف الديناميكي**: يتكيف توجيه الشبكة في الوقت الفعلي مع تنقل UE وتغييرات الجلسة
- **قابلية التوسع**: يدعم آلاف المسارات المتزامنة لمعدات المستخدم
- **المرونة**: يتم تتبع عمليات المزامنة الفاشلة ويمكن إ��ادة المحاولة
- **الرؤية**: رؤية كاملة لحالة المسار من خلال واجهة الويب

التفاصيل الفنية

نقاط نهاية API

يكشف UPF عن نقاط نهاية إدارة المسارات التالية:

- `GET /api/v1/routes` - قائمة بجميع مسارات UE المتعقبة دون مزامنة
- `POST /api/v1/routes/sync` - مزامنة المسارات مع FRR وإرجاع القائمة المحدثة
- `GET /api/v1/route_stats` - الحصول على إحصائيات توجيه مفصلة
- `GET /api/v1/routing/sessions` - الحصول على جلسات بروتوكول التوجيه (جيران OSPF، نظائر BGP)
- `GET /api/v1/ospf/database/external` - الحصول على قاعدة بيانات OSPF AS-External LSA (المسارات المعاد توزيعها)

انظر أيضًا: وثائق API - إدارة المسارات للحصول على تفاصيل كاملة حول النقاط النهائية والأمثلة

تنسيق المسار

تُخزن المسارات وتُدار كعناوين IP بسيطة (على سبيل المثال، `100.64.18.5`). يتعامل خادم التوجيه مع تفاصيل إدخال المسار الكامل بما في ذلك:

- بادئة الوجهة/��لقناع

- البوابة/الخطوة التالية
- ربط الواجهة
- المقياس والمسافة الإدارية

تحقق FRR

قاعدة بيانات OSPF LSA الخارجية

يمكنك التحقق من أن مسارات UE يتم إعادة توزيعها بشكل صحيح في OSPF من خلال فحص قاعدة بيانات حالة رابط OSPF لـ FRR. تُظهر LSAs الخارجية (النوع 5) المسارات التي تم حقنها في OSPF من مصادر خارجية.

قاعدة بيانات OSPF لـ FRR تُظهر LSAs الخارجية بما في ذلك مسار UE 100.64.18.5/32 الذي يتم الإعلان عنه كمسار E2 (النوع الخارجي 2).

في المثال أعلاه، يمكنك رؤية:

- **LSA الشبكة (10.98.0.20)**: الإعلان عن الشبكة الخاص بـ UPF
- **LSA جهاز التوجيه (192.168.1.1)**: إعلان جهاز التوجيه OSPF
- **LSAs الخارجية**: بما في ذلك مسار `100.64.18.5` UE المعاد توزيعه في OSPF مع نوع المقياس E2 (النوع الخارجي 2)

يؤكد هذا التحقق أن:

1. UPF يتتبع بنجاح عنوان IP لمعدات المستخدم
2. دفع محرك مزامنة المسار المسار إلى FRR
3. أعاد FRR توزيع المسار في OSPF
4. يتلقى جيران OSPF إعلانات المسار