اليوم الخامس: التبديل في الإيثرنت - الجزء الأول (Ethernet Switching Part 1)

مقدمة عن السويتشات

السويتش (Switch) هو جهاز يعمل في الطبقة الثانية من نموذج OSI (طبقة ربط البيانات). دور السويتش الأساسي هو استقبال الإطارات (Frames) من الأجهزة المتصلة به وإعادة توجيهها إلى الوجهة الصحيحة فقط، بناءً على عناوين MAC. على عكس الـ Hub الذي يرسل البيانات إلى جميع المنافذ دون تمييز، السويتش ذكي ويستطيع معرفة أي جهاز متصل بأي منفذ. آلية عمل السويتش تعتمد على ثلاثة عمليات رئيسية: التعلم (Learning)، التوجيه (Forwarding)، ومنع الحلقات (Loop Prevention) عبر بروتوكول STP.

كيف تتعلم السويتشات عناوين MAC

عند توصيل سويتش جديد بالشبكة لأول مرة، يكون جدول عناوين MAC لديه فارغاً تماماً. السويتش لا يعرف أي جهاز متصل بأي منفذ. لكنه يبدأ بتعلم العناوين من خلال عملية بسيطة وفعالة:

عندما يرسل جهاز (مثلاً الكمبيوتر A) إطاراً إلى جهاز آخر، يدخل الإطار إلى السويتش عبر أحد المنافذ. يقوم السويتش بفحص عنوان MAC المصدر (Source MAC) الموجود في الإطار. ثم يقوم بإضافة هذا العنوان إلى جدول عناوين MAC (MAC Address Table) ويربطه برقم المنفذ الذي استقبل الإطار منه. بهذه الطريقة، عرف السويتش أن الكمبيوتر A موجود على المنفذ 1. بعد ذلك، ينظر السويتش إلى عنوان MAC الوجهة (Destination MAC). إذا كان هذا العنوان موجوداً في الجدول، يقوم السويتش بإرسال الإطار إلى المنفذ الصحيح فقط (Unicast Forwarding). أما إذا كان العنوان غير معروف، فيقوم السويتش بإغراق الإطار عبر جميع المنافذ (ما عدا المنفذ الذي استقبل الإطار منه)، وتسمى هذه العملية Flooding. عندما يجيب الجهاز الهدف، يتعلم السويتش عنوانه ويضيفه إلى الجدول.

جدول عناوين MAC (MAC Address Table / CAM Table)

جدول عناوين MAC يُعرف أيضاً باسم CAM Table (Content Addressable Memory). هذا الجدول يخزن في ذاكرة خاصة عالية السرعة في السويتش. يحتوي الجدول على ثلاثة أعمدة أساسية: عنوان MAC، رقم المنفذ (Port)، و VLAN (إذا كان السويتش مقسماً إلى VLANs متعددة). السويتش يحتفظ بكل عنوان في الجدول لمدة زمنية محددة تسمى Aging Time، وهي عادة 300 ثانية (5 دقائق) بشكل افتراضي. إذا لم يرسل الجهاز أي إطارات خلال هذه المدة، يتم حذف عنوانه من الجدول. هذا يساعد في الحفاظ على الجدول محدثاً ونظيفاً.

لعرض جدول عناوين MAC في سويتش سيسكو، نستخدم الأمر التالي:

```
Switch> enable
Switch# show mac address-table
```

والذي سيعرض شيئاً مشابهاً لـ:

```
Mac Address Table
-------------------------------------------
Vlan    Mac Address       Type        Ports
----    -----------       --------    -----
   1    0050.7966.6800    DYNAMIC     Gi0/1
   1    0050.7966.6801    DYNAMIC     Gi0/2
   1    0050.7966.6802    DYNAMIC     Gi0/3
```

الإرسال الأحادي والعام والجماعي (Unicast, Broadcast, Multicast)

هناك ثلاثة أنواع أساسية من الإطارات في شبكات الإيثرنت، ويفرق السويتش بينها بناءً على عنوان MAC الوجهة:

الإرسال الأحادي (Unicast): عندما يتم إرسال إطار إلى جهاز واحد محدد. عنوان MAC الوجهة هو عنوان فريد لجهاز معين. السويتش يتعامل مع هذا الإطار بالبحث عن العنوان في جدول MAC وإرساله إلى المنفذ المحدد فقط. هذا هو النوع الأكثر كفاءة لأنه لا يستهلك عرض حبز غير ضروري.

الإرسال العام (Broadcast): عندما يتم إرسال إطار إلى جميع الأجهزة في الشبكة المحلية. عنوان MAC الوجهة هو عنوان خاص يتكون من 48 خانة كلها 1s (FF:FF:FF:FF:FF:FF). عندما يستقبل السويتش إطار بث، يقوم بإرساله إلى جميع المنافذ (ما عدا المنفذ الذي استقبله منه). الإطارات من هذا النوع مهمة لبروتوكولات مثل ARP و DHCP. لكن كثرة البث (Broadcast Storm) تستهلك موارد الشبكة وتقلل الأداء. لذلك، يتم استخدام VLANs لتقسيم الشبكة إلى أجزاء أصغر (Broadcast Domains).

الإرسال الجماعي (Multicast): عندما يتم إرسال إطار إلى مجموعة محددة من الأجهزة. عنوان MAC الوجهة يبدأ بالخانات 01:00:5E (لـ IPv4 Multicast). الأجهزة التي تريد استقبال هذا النوع من الإطارات تشترك في المجموعة Multicast Group. يستخدم هذا النوع في تطبيقات مثل البث المباشر للفيديو والمؤتمرات عن بعد.

بروتوكول ARP (Address Resolution Protocol)

بروتوكول ARP هو أحد أهم البروتوكولات في الشبكات. وظيفته هي ترجمة عناوين IP (الطبقة 3) إلى عناوين MAC (الطبقة 2). عندما يريد جهاز معرفة عنوان MAC لجهاز آخر على نفس الشبكة، وهو يعرف عنوان IP الخاص به فقط، فإنه يرسل رسالة ARP Request وهي عبارة عن Broadcast (عنوان MAC الوجهة هو FF:FF:FF:FF:FF:FF) تحتوي على عنوان IP المطلوب. جميع الأجهزة تستقبل الطلب، لكن الجهاز الذي يمتلك عنوان IP المطلوب فقط هو الذي يرد برسالة ARP Reply تحتوي على عنوان MAC الخاص به. السويتش، كجهاز طبقة ثانية، يقوم بتمرير رسائل ARP مثل أي إطار آخر (البث يغرق به جميع المنافذ).

الجهاز المرسل يحتفظ بنتائج ARP في جدول خاص يسمى ARP Cache، ويمكن مشاهدته بالأمر:

```
C:\> arp -a
```

أو على جهاز سيسكو:

```
Router# show ip arp
```

طرق التبديل (Switching Methods)

لدى السويتشات ثلاث طرق لتبديل الإطارات، وتختلف في سرعة معالجة الإطار ومستوى التحقق من الأخطاء:

Store-and-Forward: هذه الطريقة هي الأكثر استخداماً في السويتشات الحديثة. في هذه الطريقة، يستقبل السويتش الإطار بالكامل ويخزنه في ذاكرة (Buffer) قبل أن يبدأ بمعالجته. يتحقق السويتش من (FCS (Frame Check Sequence في نهاية الإطار للتأكد من خلوه من الأخطاء. إذا كان الإطار سليماً، يتم إرساله إلى الوجهة. أما إذا كان فيه خطأ، فيتم إسقاطه (Dropped). هذه الطريقة تضمن عدم إرسال إطارات تالفة، مما يوفر عرض حزمة. لكنها أبطأ قليلاً بسبب وقت التخزين.

Cut-Through: في هذه الطريقة، يبدأ السويتش بإرسال الإطار فور قراءة عنوان MAC الوجهة (أول 6 بايتات من الإطار) دون انتظار استقبال الإطار بالكامل. هذا يقلل زمن الانتظار (Latency) بشكل كبير. لكن عيب هذه الطريقة هو أنها قد ترسل إطارات تالفة لأنها لا تتحقق من FCS. هناك نوعان من Cut-Through: Fast-Forward (الذي يقرأ أول 6 بايتات ويرسل فوراً) و Fragment-Free (الذي يقرأ أول 64 بايت للتأكد من عدم وجود تصادم، وهو حالة وسطى بين الطريقتين).

Fragment-Free: هذه الطريقة هي تطوير لـ Cut-Through. تقرأ أول 64 بايت من الإطار قبل البدء بالإرسال. لماذا 64 بايت؟ لأن معظم الأخطاء (خاصة التصادمات - Collisions) تحدث في أول 64 بايت من الإطار. إذا مر أول 64 بايت بدون مشاكل، فمن المحتمل أن الإطار سليم. هذه الطريقة توفر توازناً بين السرعة والتحقق من الأخطاء.