Warsztaty nr 5 z Sieci komputerowych

Konfiguracja początkowa

Utwórz i uruchom maszyny *Virbian1* i *Virbian2*. Każda z nich powinna mieć jedną kartę sieciową połączoną z siecią `local0`. W obu maszynach zmień nazwę interfejsu sieciowego na `en0` i aktywuj te interfejsy.

Tutorial 1

W tej części przyjrzymy się dokładniej warstwie łącza danych i współpracy pomiędzy nią a warstwą sieciową.

- Na maszynach *Virbian1* i *Virbian2* przypisz interfejsom `en0` adresy IP równe odpowiednio `192.168.0.1/24` i `192.168.0.2/24`. Na każdej maszynie uruchom Wiresharka.

  Uwaga: w Wiresharku włącz obserwację *wyłącznie* interfejsu `en0`; w przeciwnym przypadku podgląd warstwy łącza danych nie będzie możliwy.

- Poleceniem `ip link` wyświetl adresy MAC interfejsów sieciowych na obu maszynach. Z maszyny *Virbian1* pingnij maszynę *Virbian2* i obejrzyj przesyłane ramki w Wiresharku. Jakie są pola nadawcy i odbiorcy ramki ethernetowej? A jakie są pola nadawcy i odbiorcy zawartego w niej pakietu IP?

- Odpowiedz na pytania z poprzedniego punktu, ale tym razem pingając z maszyny *Virbian1* adres rozgłoszeniowy `192.168.0.255`.

- Na maszynie *Virbian1* obejrzyj tablicę ARP poleceniem

  ```
  V1$> ip neigh
  ```

  i usuń z niej wszystkie wpisy poleceniem

  ```
  V1#> ip neigh flush all
  ```

  Wykonaj to samo polecenie na maszynie *Virbian2*.

- Z maszyny *Virbian1* pingnij maszynę *Virbian2*. W Wiresharku zaobserwuj, że maszyna najpierw wysyła zapytanie ARP, otrzymuje na nie odpowiedź, a następnie wysyła komunikaty *ICMP Echo Request* i otrzymuje na nie odpowiedzi. Jak zmienił się stan tablicy ARP obu maszyn?

- Przyjrzyj się dokładniej zapytaniu i odpowiedzi ARP, które zostały przesłane w poprzednim punkcie. Odpowiedz na następujące pytania:

  - Co jest danymi ramki w przypadku zapytań ARP?
  - Czy zapytania ARP są wysyłane do konkretnego komputera czy na adres rozgłoszeniowy?
  - Czy odpowiedzi ARP są wysyłane do konkretnego komputera czy na adres rozgłoszeniowy?

- Zauważ, że po zakończeniu pingania (albo też podczas niego) maszyna *Virbian1* wysyła również zapytania ARP. Czy te dodatkowe zapytania są wysyłane do konkretnego komputera czy na adres rozgłoszeniowy? A odpowiedzi na nie?

Tutorial 2

Poniższe zadanie ilustruje bezstanowość protokołów i przekazywanie danych pomiędzy warstwami protokołów.

- Na maszynie *Virbian1* uruchom polecenie

  ```
  V1$> ping 192.168.0.2
  ```

  i pozostaw je działające. W Wiresharku zaobserwuj komunikaty *ICMP Echo Request* wysłane przez maszynę *Virbian1* i odpowiedzi *ICMP Echo Reply* generowane przez maszynę *Virbian2*.

- Na maszynie *Virbian2* zmień adres IP na `192.168.0.123` poleceniem

  ```
  V2#> ip addr del 192.168.0.2/24 dev en0 && sleep 0.1 && \
          ip addr add 192.168.0.123/24 dev en0
  ```

  Uwaga: wykonaj powyższe polecenie tak, jak jest napisane, tj. nie powinno być za dużego odstępu czasowego pomiędzy powyższymi dwoma wywołaniami polecenia `ip addr`.

- Po paru sekundach wyłącz działanie polecenia `ping` na maszynie *Virbian1*. Zaobserwuj przesłane pakiety w Wiresharku. Postaraj się samodzielnie zrozumieć, co się wydarzyło, a następnie przeczytaj wyjaśnienie poniżej.

  - Po zmianie adresu interfejsu `en0` maszyny *Virbian2*, *Virbian1* wysłał kolejny pakiet *ICMP Echo Request* do już nieistniejącego adresu IP `192.168.0.2`. Na podstawie swojej lokalnej tablicy ARP w adresie docelowym ramki wpisał adres MAC interfejsu sieciowego maszyny *Virbian2*.
  - Włożony w ramkę pakiet *ICMP Echo Request* dotarł do maszyny *Virbian2*. Maszyna *Virbian2* stwierdziła, że ramka jest zaadresowana do jej adresu MAC i zatem przekazała jej zawartość (komunikat ICMP) do dalszego przetworzenia do warstwy sieciowej.
  - Na poziomie warstwy sieciowej okazało się, że komunikat ICMP nie jest skierowany do maszyny *Virbian2*, bo docelowy adres IP pakietu to `192.168.0.2`, zaś obecnym adresem maszyny *Virbian2* jest już `192.168.0.123`.
  - Taka sytuacja dla routera nie jest niczym niecodziennym i maszyna *Virbian2* postanowiła przekazać pakiet dalej (do adresu IP `192.168.0.2`). Na podstawie tablicy routingu maszyna ustaliła, że powinien on zostać przesłany przez interfejs `en0`.
  - Żeby utworzyć odpowiednią ramkę maszyna *Virbian2* potrzebuje przekształcić `192.168.0.2` na odpowiedni adres MAC. Wszystkie mapowania zostały usunięte z tablicy ARP maszyny *Virbian2* w momencie zmiany adresu IP, wiec musi ona w tym celu wysłać odpowiednie zapytanie ARP o treści „Kto ma adres `192.168.0.2`? Niech odpowie maszynie `192.168.0.123`". Oczywiście nikt na takie zapytanie nie odpowiada.
  - Jednocześnie maszyna *Virbian2* zauważyła nieprawidłowość: musiała właśnie przekazać pakiet do tej samej sieci, z której przyszedł. Maszyna *Virbian2* założyła, że w tablicy routingu *Virbian1* znajduje się nieoptymalny wpis „pakiety skierowane do `192.168.0.2` wysyłaj przez `192.168.0.123`". Dlatego też postanowiła powiadomić maszynę *Virbian1* (komunikatem *ICMP Redirect*) o konieczności poprawy tablicy routingu.

Tutorial 3

W tej części przyjrzymy się podstawom protokołu IPv6. Wykorzystamy maszyny *Virbian1* i *Virbian2* połączone siecią `local0` z poprzednich tutoriali. Usuń adresy IPv4 z interfejsów `en0` i dezaktywuj je poleceniami

```
V#> ip addr flush dev en0
V#> ip link set down dev en0
```

Upewnij się, że działające na tych maszynach Wiresharki obserwują wyłącznie interfejs `en0`. Najlepiej nie wyłączaj ich — zapisane w nich pakiety IPv4 przydadzą się nam do porównania.

- Aktywuj interfejsy `en0` na obu maszynach.
- Poleceniem `ip addr`, sprawdź, że do interfejsu `en0` został automatycznie przypisany adres IPv6 z sieci `fe80::/64` (tzw. adres *link-local*).[1]
  - Jaki jest ten adres?
  - Porównaj go z adresem MAC interfejsu sieciowego. W jaki sposób adres link-local jest z niego wyprowadzony?
- Poleceniem

  ```
  V$> ip -6 route
  ```

  sprawdź, że do tablicy routingu został dodany wpis mówiący, że sieć `fe80::/64` jest osiągalna przez interfejs `en0`.
- Z maszyny *Virbian1* pingnij adres link-local maszyny *Virbian2*. Dla takich adresów docelowych konieczne będzie podanie interfejsu:

  ```
  V1$> ping adres_V2%en0
  ```

  W Wiresharku zaobserwuj komunikaty *Echo Request* i *Echo Reply* protokołu ICMPv6.
  - Jakie są warstwy tych komunikatów? Czy ICMPv6 jest enkapsulowany w pakietach IPv6, IPv4 czy też bezpośrednio w ramkach?
  - Zwróć uwagę na wszystkie pola ramki ethernetowej. Czy różnią się czymś od ramek wykorzystywanych w przypadku pingowania adresów IPv4?
  - Obejrzyj dokładnie nagłówek IPv6 i porównaj go z nagłówkiem IPv4 z poprzednich tutoriali. Jakie są adresy IP nadawcy i odbiorcy pakietu? Czym zostało zastąpione pole TTL w IPv6? W których wersjach protokołu IP jest pole sumy kontrolnej?
- Zwróć uwagę, że przed komunikatami *Echo Request* i *Echo Reply* pojawiły się komunikaty *Neighbor Solicitation* i *Neighbor Advertisement* protokołu ICMPv6 będące odpowiednikami komunikatów ARP. Odpowiedz na następujące pytania:
  - Na jaki adres docelowy warstwy sieciowej wysyłany jest komunikat *Neighbor Solicitation*? Czy jest to adres unicastowy czy multicastowy? (Pamiętaj, że w przypadku IPv6 nie ma adresów rozgłoszeniowych). Porównaj ten komunikat z zapytaniami ARP z pierwszego tutoriala.
  - Na jaki adres docelowy warstwy łącza danych wysyłany jest ten komunikat?

[1] Adresy link-local są odpowiednikiem adresów `169.254.0.0/16` przypisywanych automatycznie przez protokół DHCP w przypadku braku łączności z serwerem DHCP.

- Na jaki adres (warstwy sieciowej i łącza danych) wysyłana jest odpowiedź *Neighbor Advertisement*?

- Wyświetl tablicę sąsiadów (odpowiednik tablicy ARP) poleceniem

```
V$> ip -6 neigh
```

- Pingnij adres multicastowy `ff02::1` (odpowiednik adresu rozgłoszeniowego dla całej sieci lokalnej) poleceniem

```
V$> ping ff02::1%en0
```

  Kto odpowiada na takie zapytanie? Ponownie obejrzyj te pakiety w Wiresharku zwracając uwagę na adresy warstwy sieciowej i łącza danych.

- Dezaktywuj interfejsy `en0` i wyłącz maszyny *Virbian1* i *Virbian2*.

Tutorial 4

W tej części przyjrzymy się bliżej protokołowi DHCP i części protokołu ICMPv6 wykorzystywanemu do bezstanowej konfiguracji adresów IPv6. W przypadku maszyny wirtualnej taka konfiguracja sieci dostarczana jest przez Virtualboksa.

Utwórz maszynę *Virbian0* z domyślną konfiguracją sieciową (jedna wirtualna karta sieciowa podłączona przez NAT z kartą fizyczną komputera).

- Po uruchomieniu maszyny poleceniem `ip` zmień nazwę interfejsu sieciowego na `en0`. Uruchom Wiresharka i włącz w nim obserwację wszystkich interfejsów sieciowych.

- Aktywuj interfejs `en0` poleceniem `ip link` i sprawdź, że został do niego przypisany adres link-local protokołu IPv6 (z sieci `fe80::/64`) oraz drugi adres IPv6 z zakresu `fd00::/8` (z tzw. puli adresów *unique local*). Zignoruj chwilowo ten drugi adres i komunikaty ICMPv6 wyświetlane w Wiresharku; zajmiemy się nimi za chwilę.

- Pobierz konfigurację sieciową IPv4 poleceniem[2]

```
V0#> dhcpcd --noipv6rs en0
```

  Opcja `--noipv6rs` powoduje, że wykorzystany będzie tylko protokół DHCP, a konfiguracja IPv6 zostanie pozostawiona jądru.

- Ponownie wyświetl adresy IP przypisane do interfejsu `en0`. Powinien mieć on teraz dodatkowo prywatny adres IPv4.[3]

- W Wiresharku przyjrzyj się komunikatom wymienione pomiędzy maszyną *Virbian0* a serwerem DHCP.

  - Jakie informacje są w nich zawarte? Zlokalizuj adres IPv4 oferowany przez serwer DHCP. Jakie dodatkowe informacje umożliwiające konfigurację sieci są w tym komunikacie?

  - Jaki protokół warstwy transportowej wykorzystuje DHCP? Jakie są porty źródłowe i docelowe tych komunikatów?

[2] Jeśli masz starszą wersję Virbiana i polecenie `dhcpcd` nie jest dostępne, użyj polecenia `dhclient -v en0`.

[3] W przypadku Virtualboksa adres IPv4 będzie prawdopodobnie z sieci `10.0.2.0/24`, zaś adres IPv6 unique-local będzie z sieci `fd17:625c:f037:2::/64`.

- Jaki jest źródłowy adres IP wysyłanego pakietu, skoro w momencie jego wysyłania *Virbian0* nie ma jeszcze IP? Jaki jest docelowy adres IP?

- Następnie obejrzyj w Wiresharku pakiety protokołu IPv6. Widoczny powinien być komunikat *Router Solicitation* oraz odpowiedź na niego *Router Advertisement* protokołu ICMPv6. Są to odpowiedniki zapytania i odpowiedzi DHCP. Odpowiedz na następujące pytania:
  - Jakie są warstwy protokołów tych komunikatów?
  - Z jakiego adresu źródłowego wysyłany jest komunikat *Router Solicitation*? (Zauważ, że w przypadku IPv6 mamy już do dyspozycji adres link-local dodawany zaraz po aktywacji interfejsu).
  - Do jakiego adresu docelowego wysyłany jest komunikat *Router Solicitation*? Jeśli jest to adres multicastowy, to do jakiej grupy odbiorców jest on kierowany?
  - Z jakiego adresu źródłowego i do jakiego adresu docelowego wysyłany jest komunikat *Router Advertisement*?
  - Obejrzyj dokładnie zawartość komunikatu *Router Advertisement*. Zwróć uwagę, że w odróżnieniu od odpowiedzi protokołu DHCP zwracany jest tylko prefiks sieci. Jaki to prefiks?

- Zwróć uwagę, że w przypadku obu adresów IPv6 prefiks sieci ma 64 bity i jest albo ustalony przez standard (`fe80::/64`) albo przypisany przez komunikat *Router Advertisement*. Z drugiej strony, pozostałe 64 bity adresu są przypisane przez samą maszynę. W przypadku adresów link-local są one zazwyczaj deterministyczną funkcją adresu MAC, ze względu na prywatność w przypadku pozostałych adresów są one współcześnie generowane losowo bądź pseudo-losowo.

- Wyświetl tablice routingu poleceniami

```
V0#> ip -4 route
V0#> ip -6 route
```

  Zwróć uwagę, że w przypadku IPv6 adres bramy domyślnej jest adresem link-local routera (`fe80::2`).

- Pingnij teraz jakiś publiczny adres IPv6, np. wykonując polecenie

```
V0$> ping 2001:4860:4860::8888
```

  Zaobserwuj w terminalu i w Wiresharku, od kogo otrzymujesz odpowiedzi. Czy jest to odpowiedź od routera `fe80::2` czy też bezpośrednio od docelowego adresu IPv6? Co jest prawdopodobną przyczyną niepowodzenia?

- Usuń konfigurację interfejsu `en0` poleceniem[4]

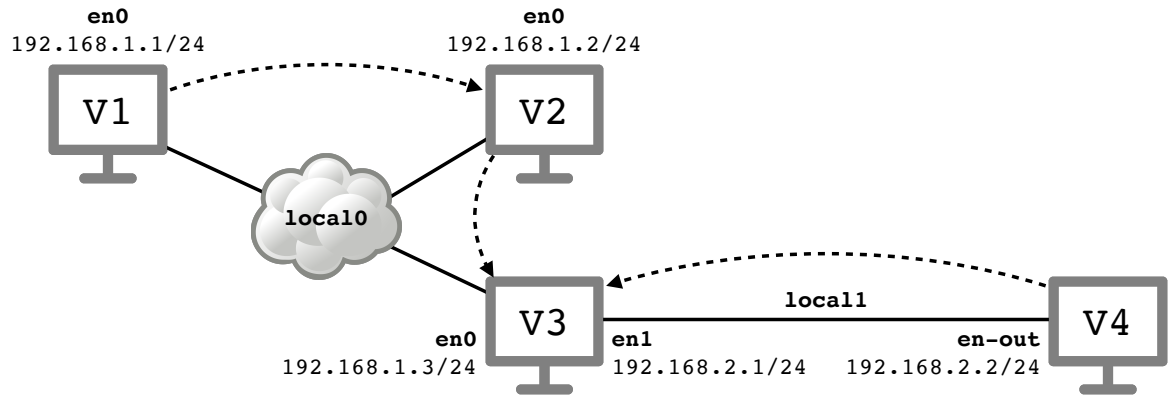
```
V0#> dhcpcd -k en0
```

  i następnie wyłącz maszynę *Virbian0*.

[4] Jeśli masz starszą wersję Virbiana i polecenie `dhcpcd` nie jest dostępne, użyj polecenia `dhclient -r en0`.

Wyzwanie

Twoim celem jest konfiguracja adresów i routingu dla sieci przedstawionej na rysunku poniżej.



- Skonfiguruj 4 maszyny *Virbian1* – *Virbian4*, tak aby korzystały z sieci `local0` i `local1`, tak jak zaznaczono na rysunku powyżej. Nazwij ich interfejsy tak jak na rysunku (`en0`, `en1` i `en-out`).
- Przypisz trzem interfejsom podłączonym do wirtualnej sieci `local0` adresy z sieci `192.168.1.0/24` takie jak na rysunku. Przypisz dwóm interfejsom podłączonym do wirtualnej sieci `local1` adresy z sieci `192.168.2.0/24` takie jak na rysunku.
- Poleceniem `ping` sprawdź wzajemną osiągalność maszyn podłączonych do tej samej sieci `local0` i maszyn podłączonych do tej samej sieci `local1`.
- Na maszynach *Virbian1*, *Virbian2* i *Virbian4* dodaj trasy domyślne, które na rysunku powyżej zaznaczone są przerywanymi strzałkami. Przykładowo trasa domyślna z maszyny *Virbian2* powinna prowadzić przez adres `192.168.1.3`.
- Włącz Wiresharka na wszystkich maszynach. Następnie z maszyny *Virbian1* pingnij maszynę *Virbian4*. Zaobserwuj, że maszyna jest osiągalna, ale oprócz komunikatów *ICMP Echo Reply* maszyna *Virbian1* otrzymuje również komunikaty *ICMP Redirect*. Są one wysyłane przez maszynę *Virbian2* i informują o tym, że routing na maszynie *Virbian1* jest prawdopodobnie źle skonfigurowany. Odpowiedz na następujące pytania:
  - Jaka jest sugerowana przez maszynę *Virbian2* modyfikacja tablicy routingu na maszynie *Virbian1*?
  - Dlaczego taka zmiana ma sens?
  - W jaki sposób maszyna *Virbian2* mogła wykryć powyższy problem?

Materiały do kursu znajdują się w systemie SKOS: `https://skos.ii.uni.wroc.pl/`.

Marcin Bieńkowski