



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Sterowanie ruchem w sieciach szkieletowych

Transmisja wielościeżkowa

Dr hab. inż. Robert Wójcik

**Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji
Instytut Telekomunikacji
Kraków, dn. 5 marca 2024 r.**



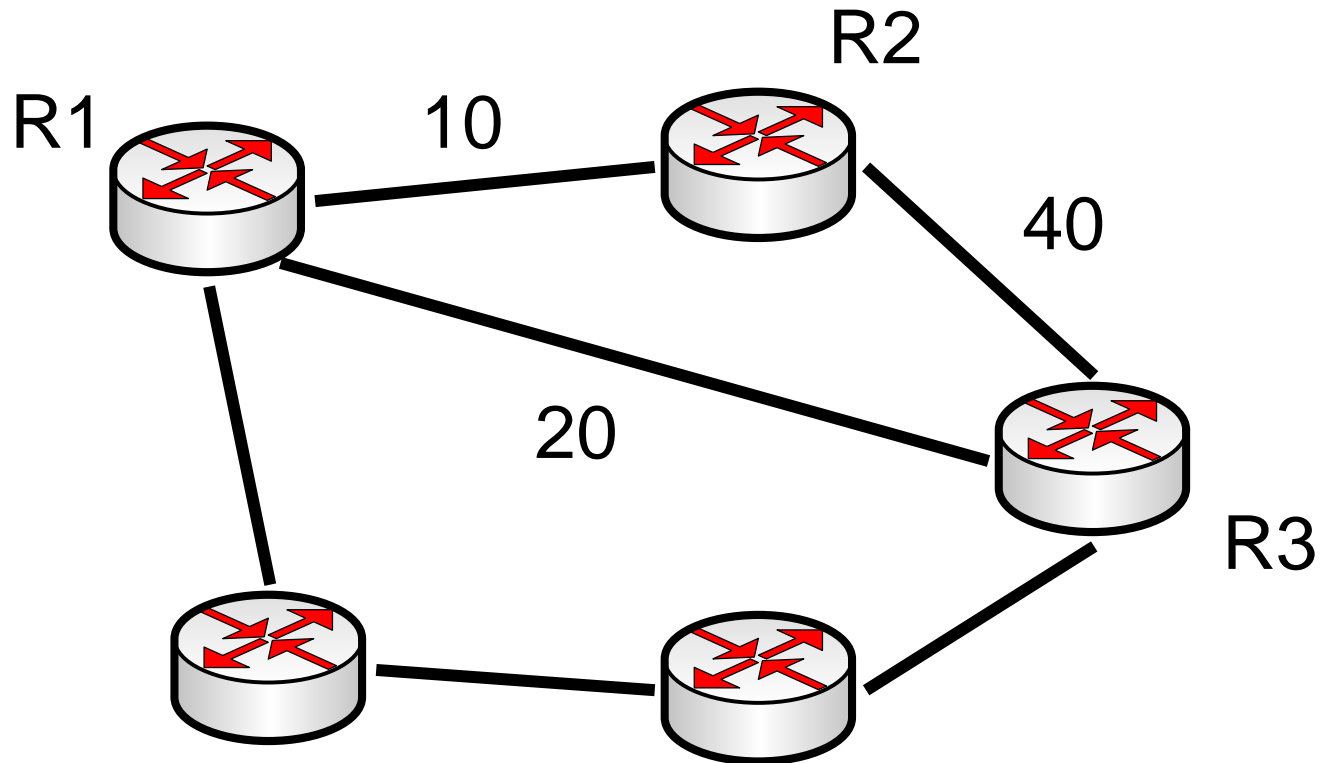
Plan wykładu

- Równoważenie obciążenia (przypomnienie)
- Sieci sterowane programowo (SDN)
- Flow-Aware Multi-Topology Adaptive Routing (FAMTAR)
- Multipath TCP (MPTCP)

Równoważenie obciążenia

- **Równoważenie obciążenia** (ang. *load balancing*) to technika rozpraszania obciążenia pomiędzy wiele procesorów, komputerów, dysków, **połączeń sieciowych** lub innych zasobów.
- Równoważenie obciążenia nie jest cechą protokołu routingu. W każdym protokole można to zastosować.
- Rutery CISCO pozwalają na równoważenie obciążenia jednak **tylko** pomiędzy ścieżkami o równym koszcie (ang. equal-cost load balancing).

Dlaczego równoważenie działa tylko na ścieżkach o równym koszcie?



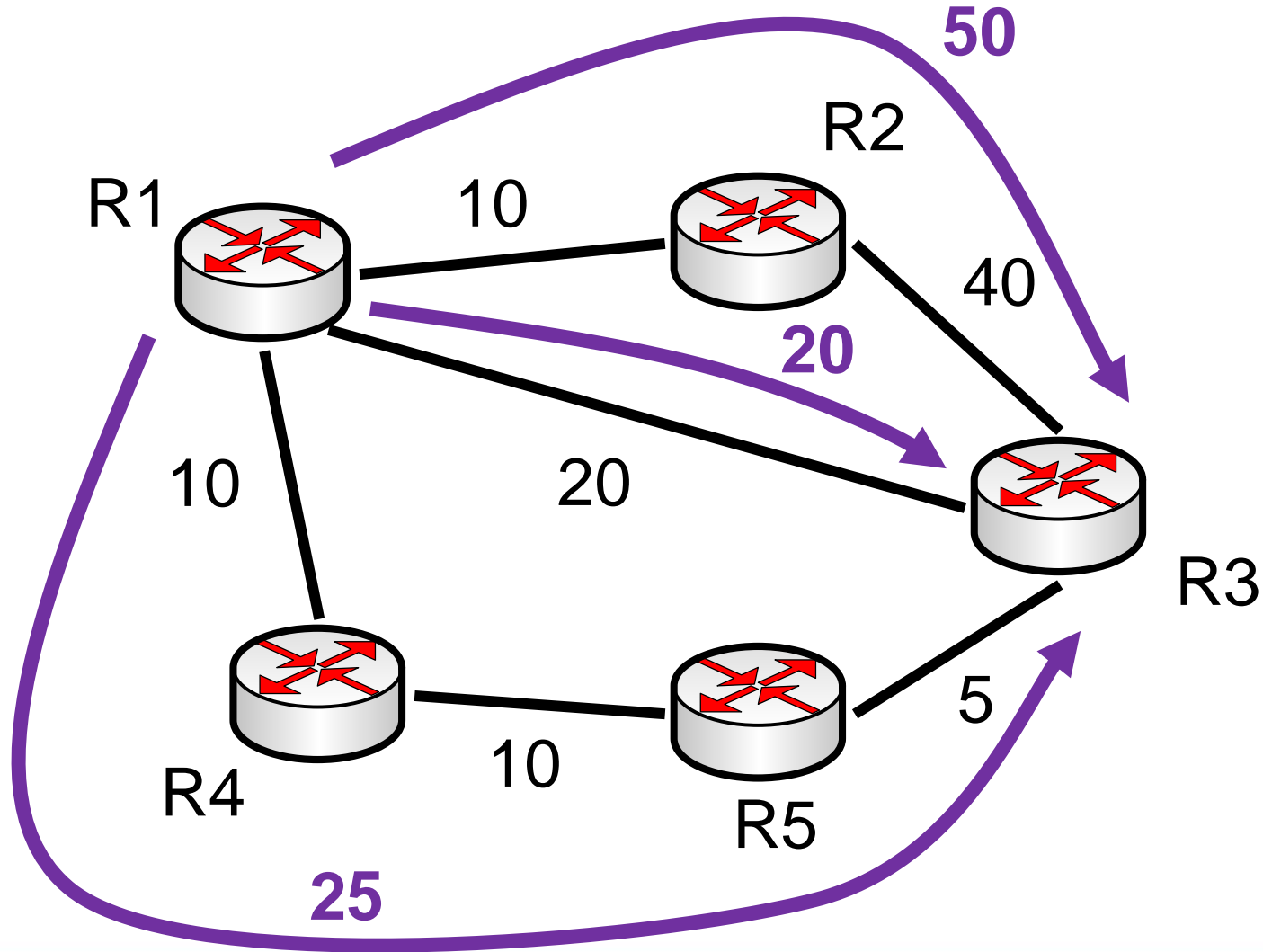
Protokół EIGRP

- **Protokół EIGRP** (ang. *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*) został wprowadzony przez firmę Cisco w 1994 r.
- Jest on często określany mianem protokołu hybrydowego, jako że łączy najlepsze cechy algorytmów routingu typu wektora odległości i stanu łącza.
- Protokół EIGRP to **zaawansowany protokół routingu** wykorzystujący funkcje typowe dla protokołów działających według stanu łącza

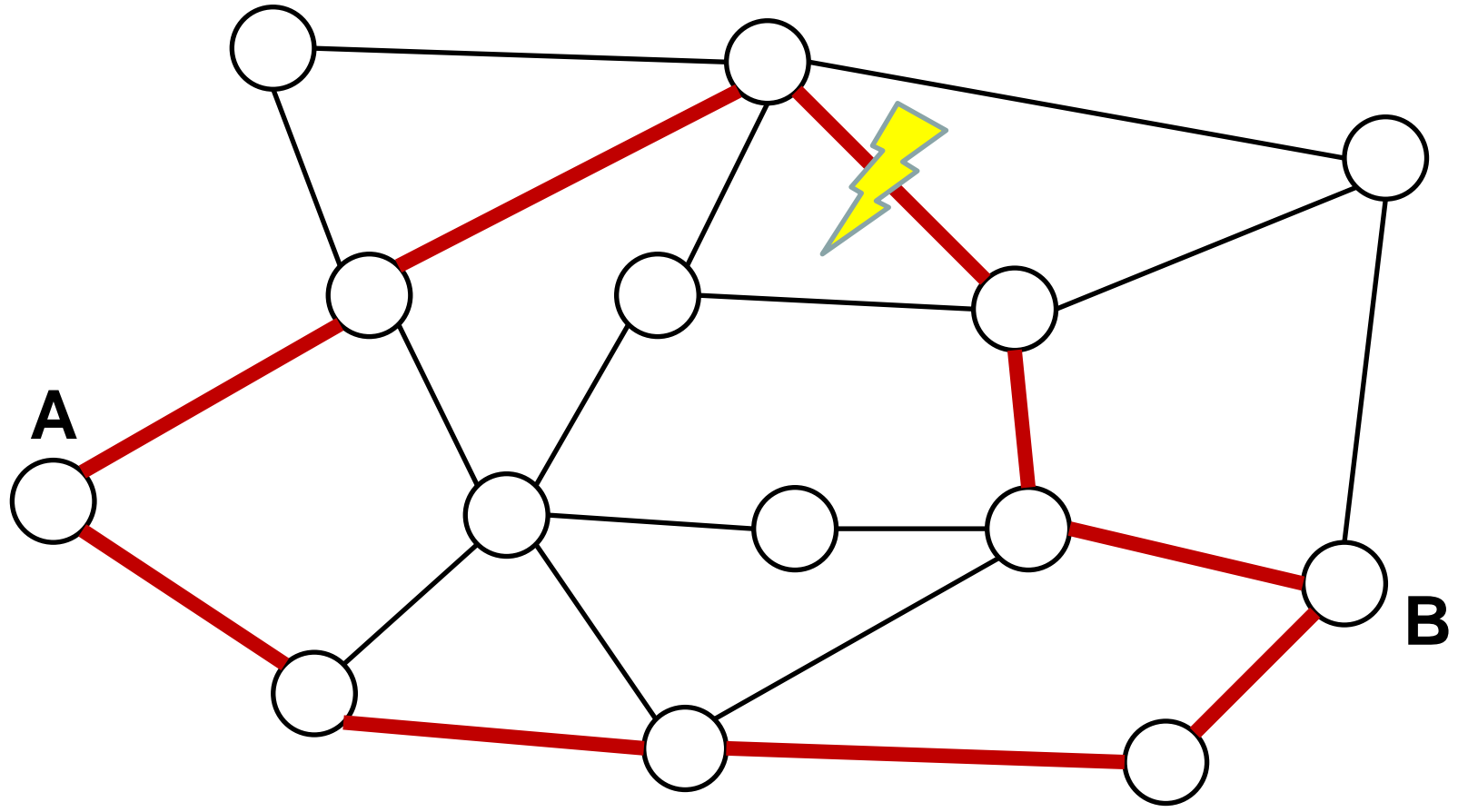
Równoważenie obciążenia w EIGRP

- EIGRP pozwala na równoważenie obciążenia na trasach o różnych kosztach (ang. *unequal-cost load balancing*)
- Parametr ***variance*** wyznacza dopuszczalny rozrzut pomiędzy kosztem optymalnej trasy, a kosztem tras dodatkowych
- Aby trasa mogła być brana pod uwagę przy równoważeniu ruchu muszą być spełnione warunki:
 - jest trasą zastępczą (feasible successor)
 - jej koszt znajduje się w przedziale ($FD; variance \cdot FD$)

Równoważenie obciążenia w EIGRP



Standardowy ruting

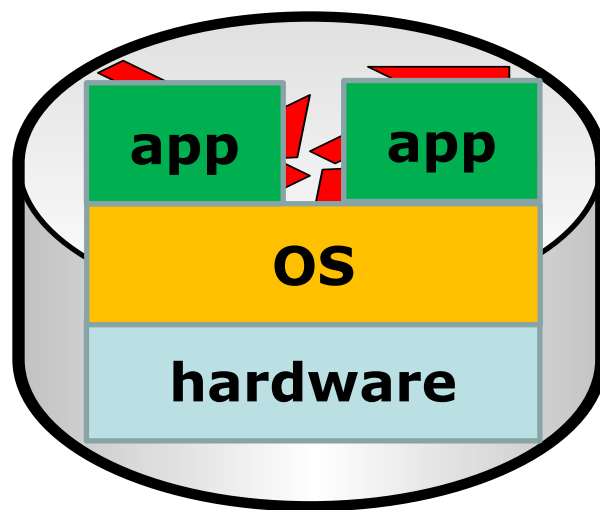


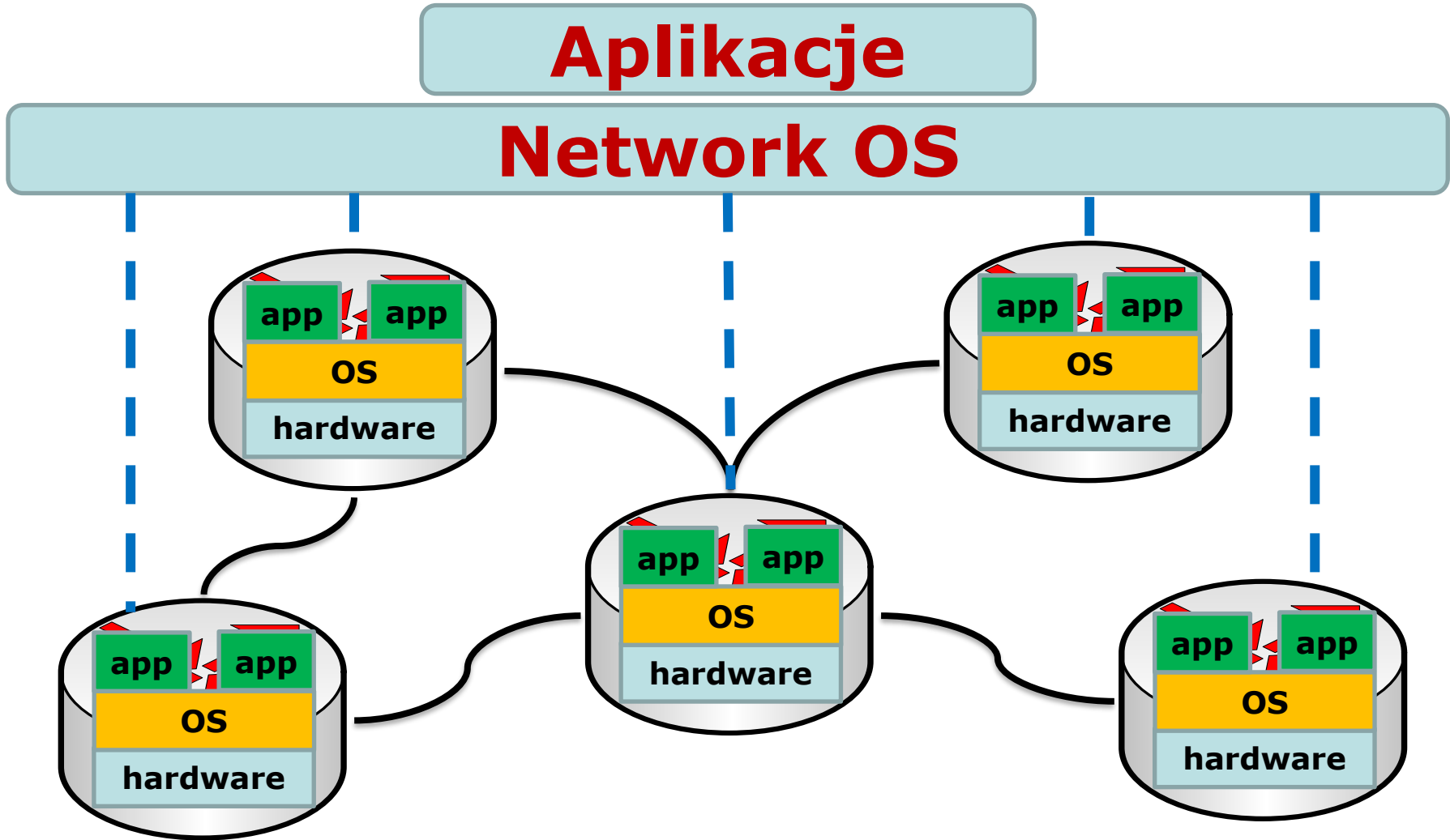
- Ścieżki o równym koszcie
- Ruch jest równoważony zawsze
- Przeciążone łącza są nadal problemem



SDN

Klasyczny ruter





Komponenty SDN i korzyści

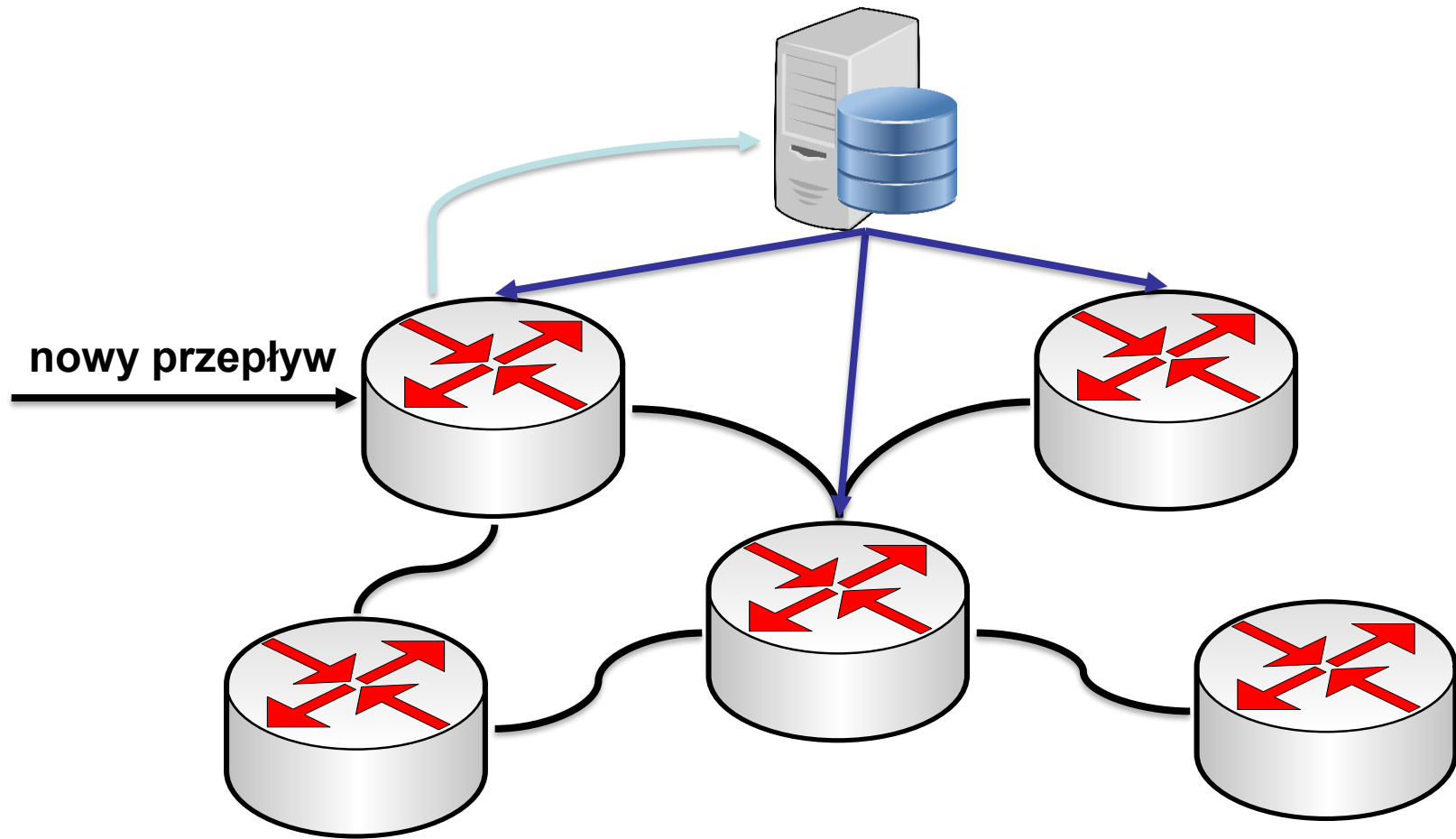
- Sieci SDN składają się z:
 - centralnego kontrolera
 - „głupich” przełączników z **tablicami przepływów**
 - protokołu sygnalizacyjnego
- Korzyści:
 - kontroler wie więcej
 - oprogramowanie kontrolera można zmienić
 - wielościeżkowa transmisja – **naturalnie łatwe**



Protokół sygnalizacyjny OpenFlow

- OpenFlow: *OpenFlow is an open standard to deploy innovative protocols in production networks.*
<http://archive.openflow.org/wp/learnmore/>
- OpenFlow umożliwia komunikację pomiędzy kontrolerem a przełącznikami
- Przełącznik OpenFlow posiada tablicę przepływów.
- **Co to jest przepływ?**

Sieci SDN – przykład działania



Wady SDN

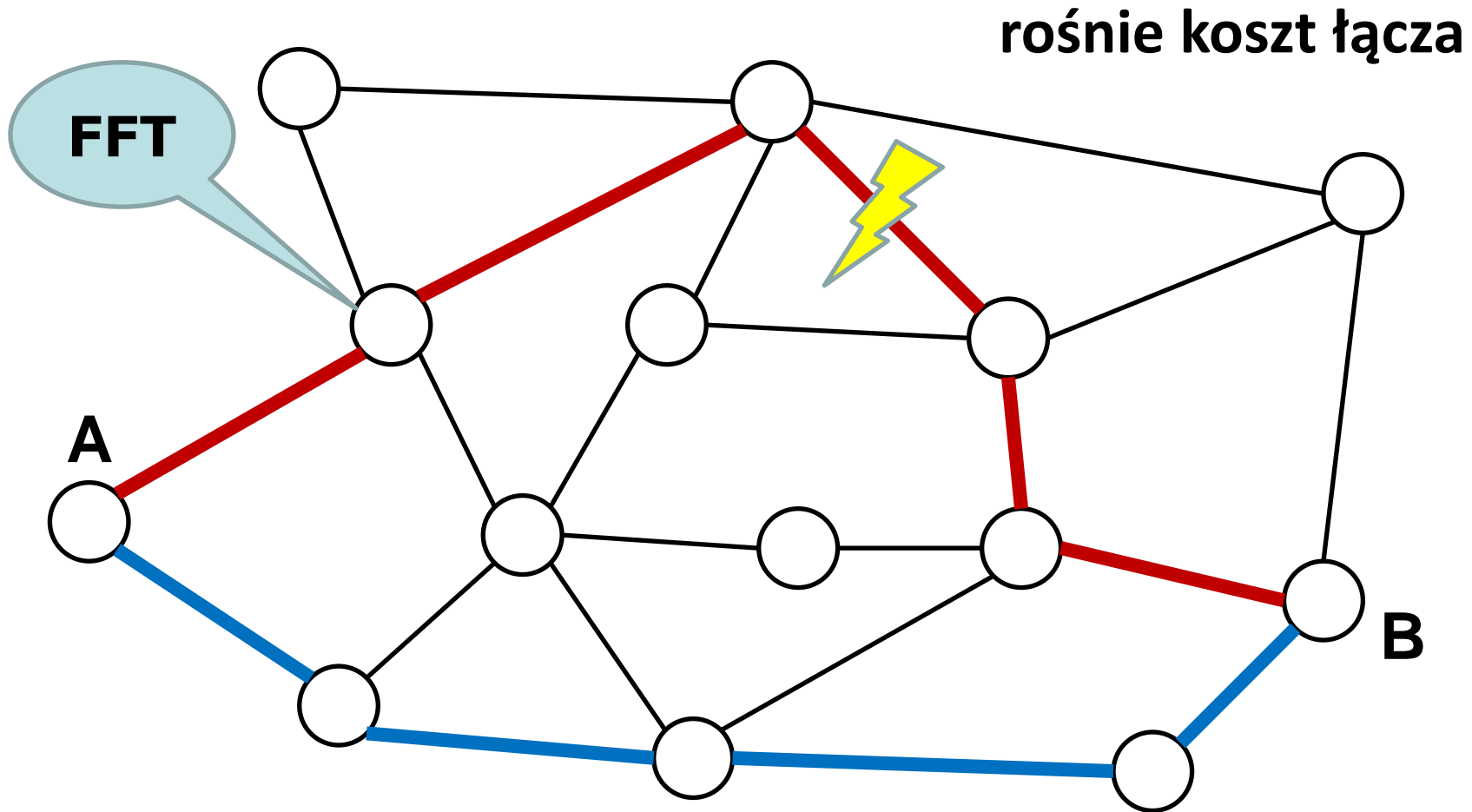
- dodatkowe urządzenie (kontroler)
- jeden punkt awarii
- jeden punkt obsługi (wydajność)
- konieczność protokołu sygnalizacyjnego
- konieczność zastosowanie tablic przepływów



2014 r.

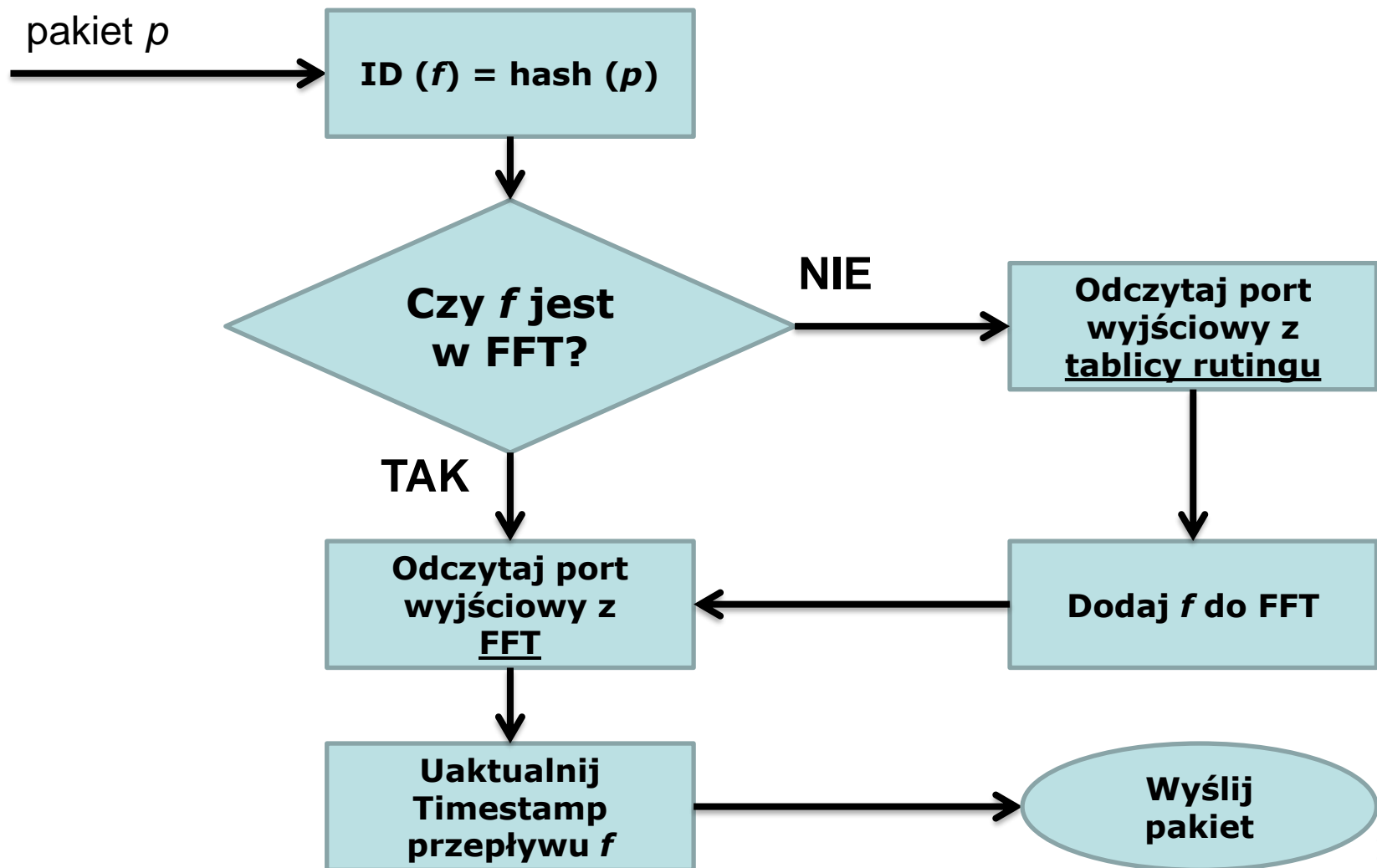
J. Domżał, Z. Duliński, R. Wójcik

FAMTAR



Nowa ścieżka jest znaleziona, ale pierwotna ciągle przenosi ruch!

Obsługa pakietu w FAMTAR



Wydajność FAMTARa

Parametr	Ruting IP	FAMTAR	Zysk
Wysłane dane [GB]	16,5	30,6	86%
Otrzymane dane [GB]	14,7	29,2	97%
Stosunek wysłanych do odebranych	0,89	0,95	6%
Średnie opóźnienie pakietów [ms]	28,1	22,8	19%
Średnia liczba przeskoków	5,0	5,4	7,5%
Średnia liczba zmian kosztów łączy	0	185	---

FAMTAR – problemy

- tablice przepływów
 - ale to zaczyna być standardem
- częste przeliczenia sieci
 - na szczęście nie wpływa to na przesyłanie pakietów
- awarie!
 - mechanizm oparty na porównywaniu TTL
- powstające pętle
 - mechanizm oparty na porównywaniu TTL

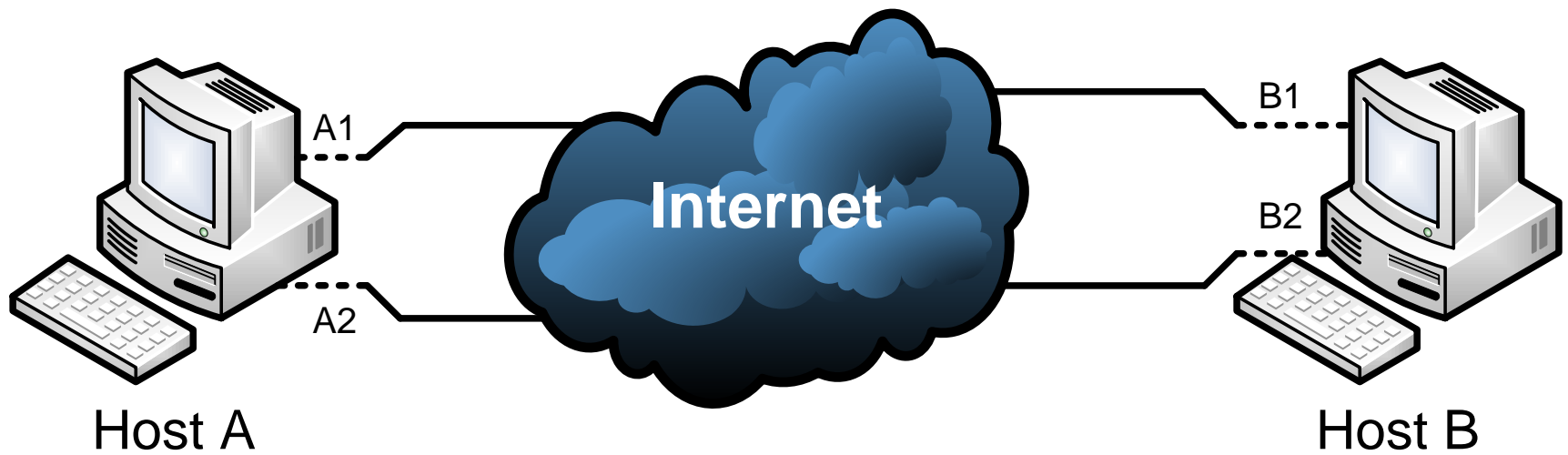
FAMTAR: podsumowanie

- Zawsze używa optymalnych ścieżek
- Współpracuje z każdym protokołem routingu
- Wprowadza minimalne zmiany
- Brak centralnego kontrolera



MPTCP

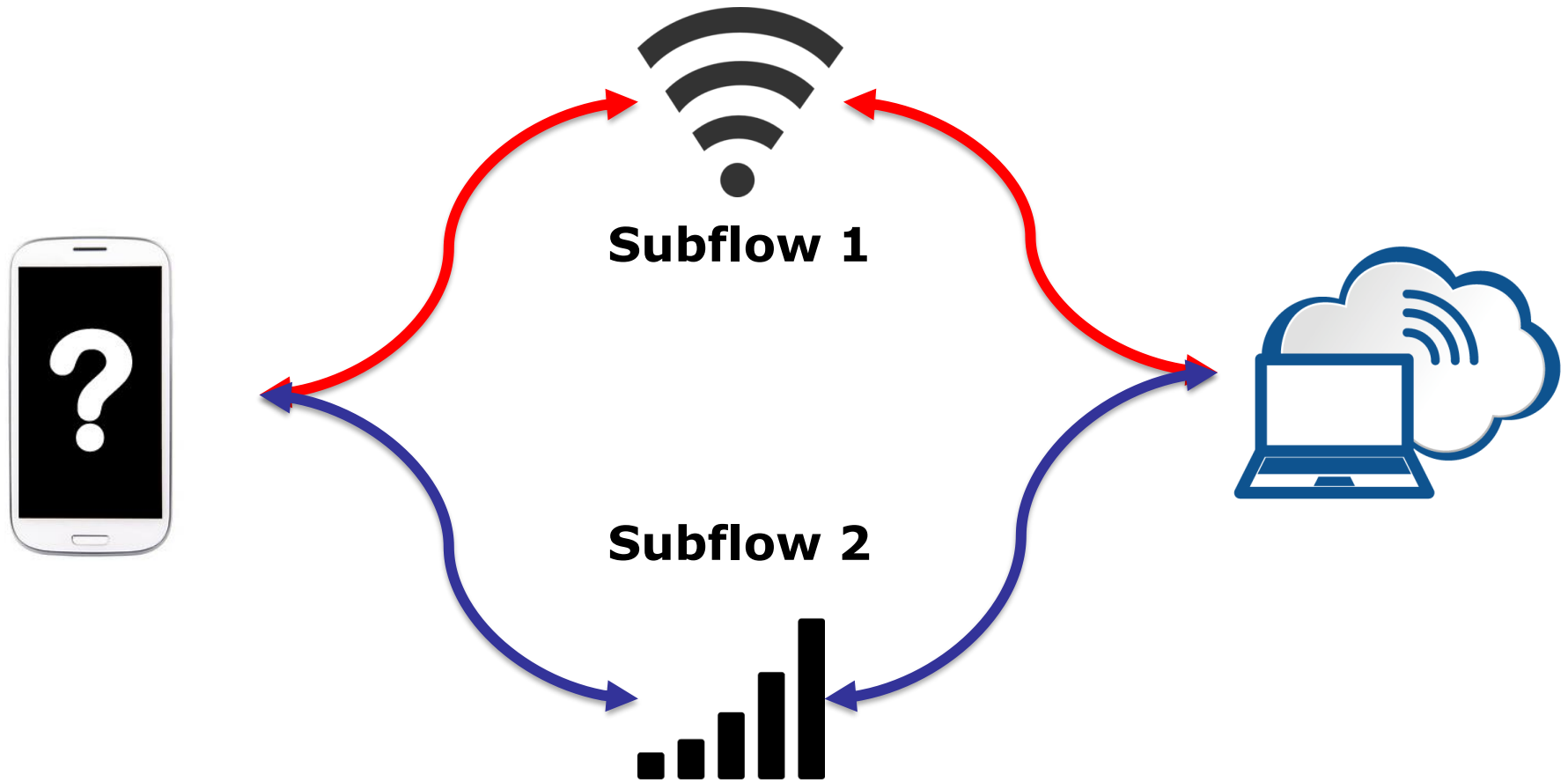
MPTCP Multipath TCP



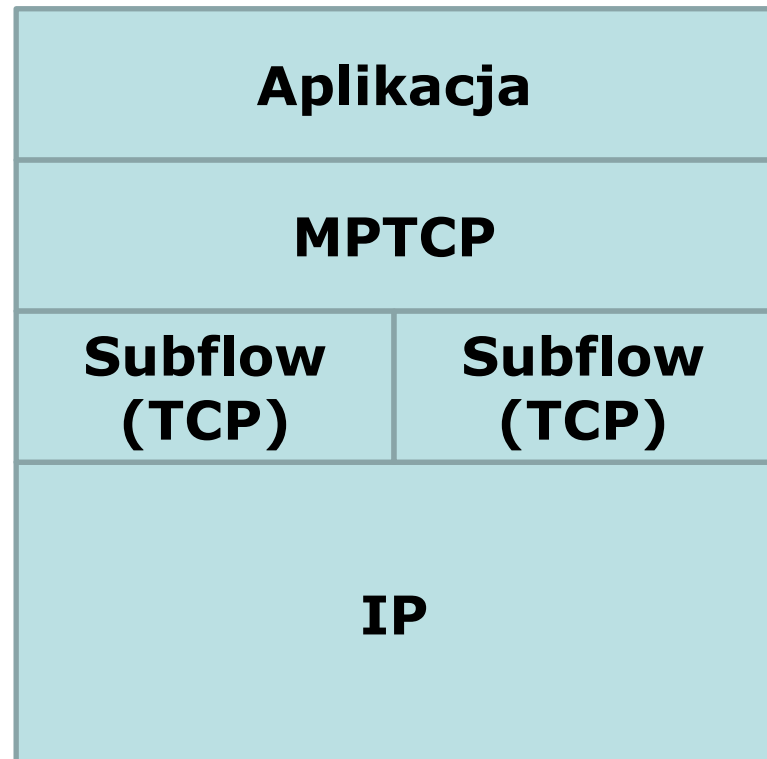
Kto może zastosować:

- Smartphone
 - WiFi i połączenie komórkowe
- Serwery
 - mogą posiadać wiele kart sieciowych
- Centra danych
 - rozbudowana topologia; wiele ścieżek pomiędzy urządzeniami

MPTCP Multipath TCP



MPTCP Multipath TCP

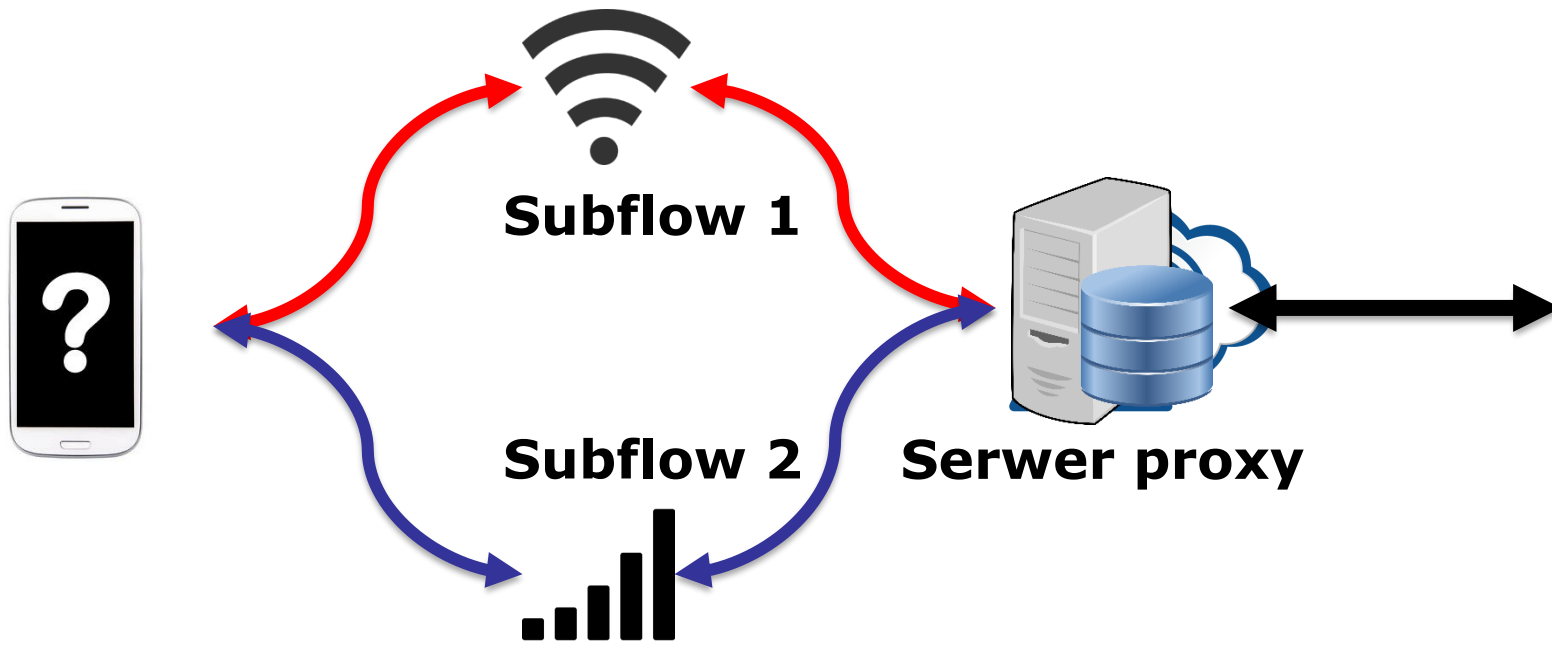


MPTCP – zalety

- Wyższa przepływność
- Utrzymywanie ciągłej łączności
 - brak przerwy transmisji w przypadku uszkodzenia/odłączenia jednej z tras
- Wymaga implementacji w warstwie 4.
- Przezroczyste dla sieci i aplikacji

Implementacje

- Linux Kernel i FreeBSD
- Apple – od iOS 7 (2013 r.) i Mac OS X 10.10 (2014 r.)
- Inni producenci, np. Samsung





Wolny rozwój MPTCP?

- Mała liczba serwerów wspierających MPTCP
- Wyniki badań naukowych jak np.:
„the benefits of MPTCP in smartphone apps in practice are quite limited; in several cases, MPTCP in fact can hurt both performance and energy consumption, especially in the case of interactive apps or under heterogeneous network conditions.” [1]

[1] Swetank Kumar Saha, et al. 2017 „Multipath TCP in Smartphones: Impact on Performance, Energy, and CPU Utilization”, in Proceedings of the 15th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access (MobiWac '17). ACM, New York, NY, USA, 23-31. DOI: <https://doi.org/10.1145/3132062.3132066>



Podsumowanie

- Równoważenie obciążenia (przypomnienie)
- Sieci sterowane programowo (SDN)
- Flow-Aware Multi-Topology Adaptive Routing (FAMTAR)
- Multipath TCP (MPTCP)

Dziękuję za uwagę!