



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

WYDZIAŁ INFORMATYKI, ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI

KATEDRA TELEKOMUNIKACJI

Praca dyplomowa
magisterska

Implementacja programowego rutera IP realizującego koncepcję FAMTAR

Implementation of a FAMTAR
software IP router

Imię i nazwisko:

Piotr JURKIEWICZ

Kierunek studiów:

ELEKTRONIKA I TELEKOMUNIKACJA

Opiekun pracy:

dr inż. Jerzy DOMŻAŁ

12 lipca 2015

OŚWIADCZAM, ŚWIADOMY ODPOWIEDZIALNOŚCI
KARNEJ ZA POŚWIADCZENIE NIEPRAWDY, ŻE NINIEJ-
SZĄ PRACĘ DYPLOMOWĄ WYKONAŁEM OSOBIŚCIE
I SAMODZIELNIE I ŻE NIE KORZYSTAŁEM ZE ŹRÓDEŁ
INNYCH NIŻ WYMIENIONE W PRACY.

Streszczenie

FAMTAR (Flow-Aware Multi-Topology Adaptive Routing) to nowo zaproponowany mechanizm routingu wielodrogowego i adaptacyjnego. Stanowi on próbę odpowiedzi na wady istniejących mechanizmów routingu wielodrogowego i adaptacyjnego. W odróżnieniu od większości z nich, może on działać wraz z dowolnym protokołem routingu wewnątrzdomenowego. Jest on w pełni rozproszony i nie jest podatny na tzw. zjawisko oscylacji tras. Jako rozwiązanie nowe, wymaga on jednak szczegółowych badań.

Celem pracy była implementacja rutera programowego pracującego według mechanizmu FAMTAR oraz zbadanie działania sieci zbudowanych z jego użyciem. Ta praca przedstawia szczegóły opracowania i implementacji rutera, jak również wyniki testów sieciowych.

Praca zaczyna się od wprowadzenia do problematyki routingu IP. Szczegółowo wyjaśnione są problemy związane ze stosowaniem routingu wielodrogowego i adaptacyjnego. Zaprezentowane zostały istniejące rozwiązania w tym zakresie. Następnie w pracy przedstawiono szczegółowo mechanizm FAMTAR. Dalej praca wyjaśnia szczegóły implementacji rutera. Uzasadniony zostaje wybór środowiska implementacyjnego (Linux i Click). Opisana jest konfiguracja Clicka rutera i nowe elementy stworzone na potrzeby projektu. Na koniec przedstawione są wyniki testów. Potwierdzają one prawidłową pracę rutera i skuteczność mechanizmu FAMTAR.

Abstract

FAMTAR (Flow-Aware Multi-Topology Adaptive Routing) is a newly proposed multipath and adaptive routing mechanism. It attempts to overcome the limitations of existing multipath and adaptive routing mechanisms. Unlike most of them, it can cooperate with any interior routing protocol. It is fully distributed and it is not vulnerable to path oscillations. However, as a new solution, it still requires a lot of testing.

The goal of this work was to implement a software IP router, which utilizes FAMTAR mechanism, and to test networks built with it. This dissertation presents development and implementation details, as well as results of network tests.

A general IP routing background is provided first. Concepts and problems associated with multipath and adaptive routing are explained in detail. Existing solutions are presented and assessed. Next, the FAMTAR mechanism is presented in detail. After that, the dissertation explains the implementation details. The choice of implementation environment (Linux and Click) is explained. Click's configuration of the router and newly created Click elements are described. Finally, the results of tests are presented. They confirm the correctness of router operation and effectiveness of the FAMTAR mechanism.

Spis treści

Spis treści	7
1 Wprowadzenie	9
2 Stan wiedzy	11
2.1 Ruting w sieciach komputerowych	11
3 Mechanizm FAMTAR	13
3.1 Podstawowy mechanizm FAMTAR	13
4 Implementacja rutera	15
4.1 Architektura ruterów	15
5 Testy	17
6 Podsumowanie	19
A Źródła pakietu Clicka FAMTAR	23

Rozdział 1

Wprowadzenie

Mechanizm FAMTAR (Flow-Aware Multi-Topology Adaptive Routing) to nowe rozwiązanie zapewniające ruting wielodrogowy i adaptacyjny w sieciach IP. Został on zaproponowany w [1] przez opiekunów autora tej pracy. Stanowi on próbę odpowiedzi na wady istniejących mechanizmów routingu wielodrogowego i adaptacyjnego. Może on współpracować z dowolnym protokołem routingu wewnątrzdomenowego. Wśród jego zalet można wymienić także w pełni rozproszoną strukturę oraz brak podatności na tzw. oscylację tras.

Mechanizm FAMTAR wydaje się w tej chwili obiecującym rozwiązaniem problemu routingu wielodrogowego i adaptacyjnego. Wprowadzenie go do powszechnego użytku pozwoliłoby na znaczne zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów sieciowych. Jako rozwiązanie nowe, wymaga on jednak szczegółowych badań.

Celem tej pracy było, wobec tego, stworzenie rutera programowego realizującego koncepcję FAMTAR. Został on zaimplementowany w środowisku Click i pracuje pod kontrolą systemu operacyjnego Linux. Oprócz samej implementacji rutera, w ramach pracy przeprowadzone zostały testy sieci zbudowanych z jego użyciem.

Ta praca podzielona jest na sześć rozdziałów. Jej zakres, motywacja i struktura przedstawione zostały w rozdziale pierwszym.

Rozdział 2 prezentuje tło na jakim powstał mechanizm FAMTAR. Zawarto w nim wprowadzenie do podstaw routingu IP, po którym przedstawiono problematykę routingu wielodrogowego i adaptacyjnego. Następnie zawiera on przegląd istniejących rozwiązań w tym zakresie.

Rozdział 3 przedstawia koncepcję FAMTAR. Opisane są w nim zarówno jej podstawy, jak i rozszerzenia. Część zaprezentowanych tam mechanizmów powstała w wyniku badań autora tej pracy.

Rozdział 4 opisuje szczegóły implementacji rutera. Zaprezentowano w nim środowisko implementacyjne i uzasadniono jego wybór. Następnie opisano w nim szczegółowo kolejne komponenty rutera.

Rozdział 5 prezentuje wyniki testów zaimplementowanego rutera, przeprowadzonych w laboratorium sieciowym.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie pracy. Przedstawione są osiągnięte cele i rezultaty.

Rozdział 2

Stan wiedzy

Celem tego rozdziału jest przedstawienie tła na jakim powstał mechanizm FAMTAR i alternatywnych dla niego rozwiązań zapewniających ruting wielodrogowy lub adaptacyjny. W sekcji pierwszej zostały opisane podstawy rutingu w sieciach komputerowych. Zamieszczony jest w niej także krótki przegląd protokołów rutingu dynamicznego. W dwóch kolejnych sekcjach przedstawiono w sposób ogólny koncepcje rutingu wielodrogowego i rutingu adaptacyjnego. W dalszej części rozdział zawiera przegląd rozwiązań zapewniających ruting wielodrogowy lub adaptacyjny, najpierw w środowisku wewnątrzdomenowym, a następnie w środowisku międzydomenowym.

2.1 Ruting w sieciach komputerowych

W sieciach pakietowych przesyłanie danych pomiędzy sieciami odbywa się poprzez węzły pośredniczące, nazywane ruterami. Zadaniem rutera jest odczytanie adresu sieci docelowej z nagłówka pakietu i określenie na jego podstawie oraz na podstawie informacji o topologii całej sieci, do której z sieci przyłączonych do rutera należy przesłać dalej pakiet, aby dotarł on do sieci docelowej. Samo przekazanie pakietu odbywa się w przełączniku, który może być osobnym urządzeniem albo stanowić część rutera. Rutingiem określa się zaś sam proces wyboru trasy, jaką należy przesłać pakiet w sieci. Wybierana zazwyczaj jest trasa najlepsza z jakiegoś punktu widzenia, na przykład najkrótsza lub najtańsza. Metryką mogłoby być także opóźnienie osiągnięte na danej trasie (przegląd stosowanych metryk dostępny jest w [2]). Wybrane najlepsze trasy do poszczególnych sieci docelowych zapamiętywane są w tzw. tablicach rutingu. Dzięki temu nie jest konieczne każdorazowe wyznaczanie najlepszej trasy podczas przetwarzania kolejnych pakietów – odbywa się to tylko raz w momencie zmiany topologii sieci. Zazwyczaj w tablicach rutingu nie jest przechowywana cała trasa, lecz tylko adres kolejnego rutera leżącego na tej trasie, tzw. *next hop*.

Rozdział 3

Mechanizm FAMTAR

Ten rozdział poświęcony jest mechanizmowi FAMTAR. W sekcji pierwszej opisane są jego podstawy. Rozpoczyna się ona od przedstawienia zalet mechanizmu FAMTAR nad dotychczasowymi mechanizmami routingu wielodrogowego i adaptacyjnego. Następnie opisany jest sam algorytm routingu pakietów w ruterach FAMTAR oraz procedury postępowania w przypadku wystąpienia awarii w sieci. Sekcja druga zawiera opis dwóch zaproponowanych rozszerzeń mechanizmu. Pozwalają one na zmniejszenie liczby przepływów przechowywanych w tablicy FFT i ograniczenie kosztów implementacji mechanizmu.

3.1 Podstawowy mechanizm FAMTAR

Koncepcja FAMTAR (Flow-Aware Multi-Topology Adaptive Routing) stanowi próbę odpowiedzi na wady istniejących mechanizmów routingu wielodrogowego i adaptacyjnego. Została ona zaproponowana w [1]. Mechanizm FAMTAR pozwala na uzyskanie w sieci IP adaptacyjnego routingu wielodrogowego. Jego zaletą jest prostota działania i implementacji. Mechanizm FAMTAR działa ponad protokołem routingu i może współpracować z dowolnym protokołem routingu wewnątrzdomenowego. W szczególności dotyczy to protokołu OSPF – najpopularniejszego obecnie protokołu routingu wewnątrzdomenowego. Nie są wymagane przy tym żadne modyfikacje w samym protokole czy sposobie działania demona routingu.

Rozdział 4

Implementacja rutera

W tym rozdziale przedstawiono szczegóły implementacji rutera programowego FAMTAR. Celem sekcji pierwszej jest zapoznanie czytelnika z ogólną architekturą ruterów, a w szczególności ruterów programowych. W kolejnej sekcji przedstawiono architekturę stworzonego rutera programowego FAMTAR. Uzasadniony jest w niej wybór platformy implementacyjnej (system Linux i środowisko Click) oraz opisane są poszczególne komponenty rutera. Następnie w rozdziale zawarty jest szczegółowy opis środowiska Click oraz skonfigurowanego w nim standardowego rutera IP. Ostatnia sekcja zawiera opis zmian wprowadzonych do tej konfiguracji w związku z uzupełnieniem jej o mechanizm FAMTAR, w tym szczegółowy opis nowych elementów Clicka, jakie zostały w tym celu stworzone.

4.1 Architektura ruterów

Ze względu na pełnione funkcje, ruter można podzielić na dwie części logiczne: płaszczyznę sterowania (*control plane*) i płaszczyznę danych (*data plane* lub *forwarding plane*). Do zadań płaszczyzny sterowania należy przede wszystkim obsługa protokołów routingu i budowa na ich podstawie tablic routingu. W płaszczyźnie sterowania znajdują się także funkcje zarządzania i administracji urządzeniem. Z kolei do zadań płaszczyzny danych należy klasyfikacja, kolejkovanie i obróbka pakietów przechodzących przez ruter. W szczególności dotyczy to przełączania pakietów na podstawie informacji o trasach znajdujących się w tablicy routingu.

Rozdział 5

Testy

Rozdział 6

Podsumowanie

Bibliografia

- [1] Robert Wójcik, Jerzy Domżał, and Zbigniew Duliński. Flow-Aware Multi-Topology Adaptive Routing. *IEEE Communications Letters*, 18(9):1539–1542, Sep 2014. doi:10.1109/LCOMM.2014.2334314.
- [2] Rainer Baumann, Simon Heimlicher, Mario Strasser, and Andreas Weibel. A survey on routing metrics. *TIK report*, 262, 2007. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.304.7863>.

Dodatek A

Źródła pakietu Clicka FAMTAR