

## **POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU (W JĘZYKU POLSKIM)**

Sieci telekomunikacyjne podlegają ciągłym przeobrażeniom, które spowodowane są rozwojem oraz integracją różnych technik sieciowych i aplikacji. Obserwowane trendy skutkują wykładniczym wzrostem ruchu w sieci generowanym przez użytkowników, na poziomie pomiędzy 30% – 90% rocznie (dla różnych aplikacji i rodzajów ruchu), przy nieadekwatnym wzroście pojemności dotychczas stosowanych systemów transmisyjnych DWDM (rzędu 20% na rok). Różnica w przewidywanym wzroście zapotrzebowania ruchowego i pojemności sieci transportowych stwarza potrzebę poszukiwania nowych rozwiązań umożliwiających realizowanie połączeń o bardzo dużych przepływnościach (do 10 Tbit/s) i zwiększenie pojemności światłowodów do poziomu 1 Pbit/s (w 2010 było to  $\sim 100$  kanałów  $\times$  100 Gbit/s  $\approx$  10 Tbit/s) w perspektywie najbliższych kilku-kilkunastu lat. Zgodnie z programem “H2020 5G Infrastructure PPP”, realizowanym w ramach działań Komisji Europejskiej, sieci optyczne uznano za technologię kluczową dla budowy infrastruktury transportowej przyszłych sieci internetowych opartych na dostępie bezprzewodowym piątej generacji (5G). Zwiększenie pojemności tych sieci, stukrotnie w porównaniu do obecnych sieci szkieletowych, wymaga nowych, bardziej skalowalnych rozwiązań. Technologie zwielokrotniania przestrzennego (SDM) realizowane w elastycznych sieciach optycznych (EON) są postrzegane jako przełomowe i jedyne długoterminowe rozwiązanie zdolne sprostać tym wymaganiom. Dla sprawnego projektowania i eksploatacji elastycznych sieci optycznych SDM niezbędne są dedykowane modele i metody optymalizacyjne.

Główny temat Projektu to modelowanie i optymalizacja optycznych sieci telekomunikacyjnych. Modelowanie i optymalizacja sieci stanowi dobrze znany i ważny obszar badań. Metody programowania matematycznego, takie jak mieszane programowanie całkowitoliczbowe (MIP), są podstawowym narzędziem do modelowania i rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Problemy optymalizacyjne spotykane przy projektowaniu sieci (np. planowanie, rozmieszczenie zasobów) oraz jej eksploatacji i sterowaniu (np. reoptymalizacja, przydział zasobów) można sformułować jako problemy MIP. Większość z nich to problemy „NP-trudne”, tzn. nie ma znanych algorytmów pozwalających je deterministycznie rozwiązać w czasie wielomianowym. Do ich rozwiązywania stosuje się zarówno algorytmy precyzyjne, oparte na metodzie podziału i ograniczeń, jak i heurystyczne.

SDM wprowadza nowy wymiar w optymalizacji sieci, dzięki umożliwieniu równoległej transmisji w modach, rdzeniach, i/lub włóknach medium światłowodowego. Zastosowanie zwielokrotniania przestrzennego wraz ze zwielokrotnianiem falowym (obecnym też w sieciach WDM i EON) w elastycznej sieci SDM zwiększa jej możliwości, gdyż strumienie składowe „super-kanałów”, które służą realizacji połączeń o dużej pojemności, mogą być przesyłane nie tylko na sąsiednich nośnych w dziedzinie częstotliwości (*elastyczność spektralna*), ale też w różnych modach, rdzeniach i włóknach (*elastyczność przestrzenna*). Rozszerza to zbiór zmiennych decyzyjnych podczas optymalizacji sieci i prowadzi do podstawowego problemu routingu, wyboru medium przestrzennego i alokacji spektrum (RSSA). Problem optymalizacyjny RSSA jest bardziej złożony niż problem routingu i alokacji spectrum (RSA) w sieciach EON, stąd potrzeba opracowania nowych modeli i algorytmów służących generacji rozwiązań. Jeszcze większym wyzwaniem jest optymalizacja sieci wykraczająca poza podstawowy scenariusz RSSA, gdy należy uwzględnić dodatkowe zmienne i ograniczenia problemowe wynikające z przeżywalności sieci, regeneracji sygnału, groomingu ruchu, czy też planowania połączeń w sieciach wielowarstwowych.

W systemach wykorzystujących światłowody wielordzeniowe (MCF) i kilku-/wielomodowe (FMF/MMF) wymagana jest analiza wpływu sprzężeń i przeników sygnałów między rdzeniami/modami na jakość transmisji, w celu opracowania modeli do oszacowania związanych z nimi zakłóceń w sieciach szkieletowych, w których zapewnienie jakości transmisji jest szczególnie krytyczne ze względu na duże zasięgi połączeń optycznych. Modele te są konieczne dla planowania i sterowania siecią świadomą degradacji sygnałów (PLI).

Dotychczasowy obszar badań w temacie Projektu dotyczył głównie aspektów fizycznej realizacji transmisji SDM, w tym opracowania dedykowanych włókien światłowodowych oraz elementów i urządzeń transmisyjnych. Jednocześnie, zgodnie z naszą wiedzą, istnieje tylko kilka prac dotyczących modelowania i optymalizacji tego typu sieci, w tym problematyki RSSA, choć obszar potencjalnych badań można uznać za bardzo szeroki, jeżeli przyjmiemy podobny kontekst jak w sieciach WDM i EON. Z tego między innymi względu proponowane w projekcie badania mają charakter pionierski i przyczynią się do rozwoju dyscypliny naukowej (telekomunikacji).

Ważnym celem Projektu jest stworzenie unikalnej metodyki badawczej i rozszerzenie zakresu odpowiednich kompetencji zespołu badawczego w nowym obszarze elastycznych sieci optycznych SDM. Jest to bowiem aktualny i jeszcze niezagospodarowany kierunek badań w dziedzinie sieci telekomunikacyjnych.