

## POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

Sieci telekomunikacyjne podlegają gruntownym przeobrażeniom, które w dużej mierze wynikają z bliskiego wdrożenia sieci bezprzewodowych piątej generacji (5G). Znaczenie sieci 5G będzie olbrzymie, gdyż obejmą one swym zasięgiem główne obszary działalności ludzkiej mając rewolucyjny wpływ na ekonomiczne i społeczne aspekty naszego życia, w tym umożliwiając m.in. *czwartą rewolucję przemysłową*, *Internet Rzeczy (IoT)*, *autonomiczny transport*, etc. 5G przyniesie wszechobecny dostęp do nowych usług bezprzewodowych, które klasyfikowane są jako: (a) rozszerzony mobilny dostęp szerokopasmowy (eMBB) dający wzrost dostępnej przepływności transmisyjnej urządzeń mobilnych (do 1-20 Gb/s), (b) masową komunikację maszyn (mMTC) umożliwiającą komunikowanie się urządzeń oraz realizację IoT (przewiduje się w sumie ponad bilion urządzeń, w tym ponad milion na kilometr kwadratowy) oraz (c) ultra-niezawodną komunikację o niewielkim opóźnieniu (URLLC), która jest niezbędna np. w aplikacjach wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości czy też w pojazdach autonomicznych. W celu realizacji takich usług, sieci 5G wymagają wdrożenia nowych radiowych technologii dostępowych, wykorzystania wyższych pasm częstotliwości radiowych oraz gęstej instalacji anten / punktów dostępowych (tzw. *zagęszczenie sieci*), z którymi łączą się urządzenia mobilne użytkowników.

Połączenie urządzeń mobilnych (takich jak smartfony, tablety, laptopy) z siecią Internet odbywa się za pośrednictwem punktów dostępowych sieci radiowych. W szczególności aplikacje mobilne (www, YouTube, Facebook, WhatsApp, etc.) korzystające z zasobów Internetowych generują ruch (np. podczas wysyłania wiadomości email lub strumieniowania multimediiów), który przesyłany jest poprzez punkty dostępowe i transportowany w radiowej sieci dostępowej (RAN) łączącej punkty dostępowe z tzw. siecią szkieletową, która sama jest połączona z Internetem. Jednym z głównych wyzwań przy wdrażaniu sieci 5G, w szczególności w przypadku "gęstych" sieci miejskich, jest właśnie budowa sieci realizujących transport ruchu w ramach sieci RAN. Sieci takie powinny wykorzystywać niedrogie technologie transmisyjne i jednocześnie być elastyczne tak by zapewnić łatwe przyłączenie i obsługę dużej liczby różnego typu radiowych punktów dostępowych.

Technologie transportowe stosowane obecnie w sieciach 4G / LTE nie są w stanie sprostać powyższym wymaganiom. Stąd też producenci sprzętu telekomunikacyjnego (jak Nokia, Ciena, Fujitsu, ADVA, TransPacket) zajęli się opracowaniem nowych rozwiązań, wykorzystując dobrze znaną i tanią technologię Ethernet, w której dane przesyłane są w formie ramek / pakietów. Skutkiem tego, rozwiązania transportowe proponowane dla 5G zakładają implementację pakietowych sieci transportowych (5G-PTN), w których pakiety są przelącane w sieci z wykorzystaniem przełączników ethernetowych. Sieci 5G-PTN umożliwiają konwergentną (równoczesną) obsługę różnego rodzaju przepływów danych / ruchu, w tym generowanych w ramach usług bezprzewodowych 5G, pochodzących ze stacjonarnego dostępu szerokopasmowego czy też wynikających z połączeń między centrami danych, w ramach wspólnej, współdzielonej infrastruktury sieciowej. W konwergentnych sieciach 5G-PTN, przełączniki ethernetowe są połączone za pomocą łączy transmisyjnych wykorzystujących zarówno technologie światłowodowe (np. w ramach pasywnej sieci optycznej – PON) jak i bezprzewodowe (łącza radiowe mili- i mikro-falowe).

Podstawowym wyzwaniem istniejącym w sieciach 5G-PTN jest zapewnienie odpowiedniego poziomu jakości usługi (QoS) dla realizowanych przepływów ruchu. Potrzeba takich gwarancji wynika zarówno z wysokich wymagań jakie stawiają opisane powyżej usługi 5G jak i jest konieczna dla funkcji przetwarzania radiowego w sieci RAN. Wspomniane przepływy ruchu charakteryzują się surowymi i zróżnicowanymi wymaganiami dotyczącymi dopuszczalnych *opóźnień* (czyli czasu potrzebnego na dostarczenie danych) i *jittera* (wyrażającego zmienność opóźnień pakietów). Niedeterministyczny charakter pakietowej transmisji w sieciach 5G-PTN powoduje, że pakiety przekierowywane jednocześnie do tego samego łącza w przełączniku wymagają buforowania. Buforowanie pakietów wprowadza opóźnienia, wpływając tym samym na jakość usługi. Stąd też przepływy ruchu w 5G-PTN wymagają odpowiedniej obsługi uwzględniającej ich wymagania QoS. Powinno się to odbywać poprzez alokację zasobów transmisyjnych i właściwe trasowanie ruchu w sieci (tzw. routing), mające na celu ominięcia przeciążonych, wprowadzających zbyt duże opóźnienia łączy, jak i odpowiednią alokację zasobów obliczeniowych w wybranych węzłach sieci, celem ich wykorzystania przez funkcje radiowe oraz dla realizacji usług 5G.

Powyżej opisane zagadnienie prowadzi do szeregu trudnych i otwartych problemów optymalizacyjnych, które są obecne zarówno w procesie planowania jak i podczas działania sieci 5G-PTN. W celu rozwiązania tych problemów potrzebne są dedykowane modele i algorytmy optymalizacyjne. Stąd też, głównym celem Projektu jest opracowanie odpowiednich modeli analitycznych pozwalających na szacowanie poziomów QoS poszczególnych przepływów ruchu oraz opracowanie efektywnych algorytmów, wykorzystujących wspomniane modele analityczne, służących optymalizacji sieci 5G-PTN. Ostatecznie, opracowane metody posłużą ocenie wydajności jaką oferuje sieć 5G-PTN w porównaniu do innych, alternatywnych rozwiązań.