

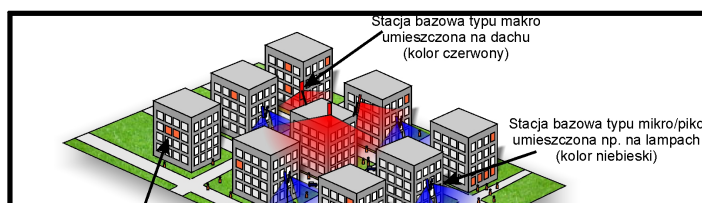
Adaptacja sygnału i małe komórki w białych przestrzeniach, czyli rzecz o telekomunikacji następnego pokolenia

Kiedy musi przyznać, że niesamowicie dynamiczny rozwój informatyki i telekomunikacji, jaki nastąpił w ostatnich kilku dziesięcioleciach, zrewolucjonizował prawie wszystkie aspekty naszego życia. Bo czy można na sobie wyobrazić jakkolwiek gałąź gospodarki, która funkcjonowałaby efektywnie bez szybkiego i pewnego dostępu do różnego rodzaju danych? Tak samo ma się sprawa w zakresie szkolnictwa, usług czy też służby zdrowia. I wreszcie – serwisy i sieci społeczno-ciowe, które odmieniły funkcjonowanie całych społeczeństw, stając się źródłem zarówno informacji, miejscem promocji, jak i prowadzenia polemik. Wszystkie z wyżej wymienionych możliwości są już właściwie normą w wielu krajach świata.

Zapewnienie efektywnego funkcjonowania ludzi i firm w społeczeństwie cyfrowo-informacyjnym jest możliwe tylko dzięki wielkim zdobyciom szeroko pojętej informatyki. Jednocześnie nie jednak warto zauważyć, że tworzenie zaawansowanych systemów obejmujących swoim zasięgiem coraz to większe obszary geograficzne bazuje na równoległym i równie dynamicznym rozwoju technik teletransmisyjnych i sieci telekomunikacyjnych. W dobie powszechnego wykorzystania terminali mobilnych (np. urządzenia typu smartphone czy smartwatch, tablety) szczególnego znaczenia nabiera również czysto telekomunikacji zajmująca się bezprzewodowym przekazywaniem danych. I w istocie, kiedy z nas może wybierać w zależności od potrzeb z szerokiej oferty systemów bezprzewodowych: systemy Bluetooth, WiFi, WiMAX, UMTS, LTE/LTE-A, ZigBee, NFC, RFID to tylko wybrane najbardziej znane przykłady. A przecież nie wolno zapominać o rozwiązaniach przeznaczonych dla przemysłu, transportu czy innych gałęzi gospodarki (np. TETRA, GSM-R).

Choć tak, skoro jednak jest taki wybór systemów, to można zadać pytanie o dalszy rozwój telekomunikacji bezprzewodowej; i dalej – skoro dostępne „prędkości” transmisji danych są na tyle duże, że surfowanie po Internecie nie sprawia już problemów, to dlaczego jest potrzebna kolejna, piąta już generacja systemów komórkowych? Odpowiedź na to pytanie jest złożona. Z jednej strony zaobserwować można zmiany charakteru ruchu dominującego w sieciach telekomunikacyjnych. Coraz więcej użytkowników wysyła lub pobiera z terminali mobilnych treści multimedialne, a oczekiwania odnośnie tego nie jakoś sukcesywnie rosną, to za pomocą gwałtowny wzrost zapotrzebowania na wspomnianą „prędkość”. Z drugiej strony można zauważyć, że coraz większy wpływ na codzienne funkcjonowanie społeczeństw ma natychmiastowy dostęp do różnego rodzaju danych, a realizacja takiego dostępu odbywa się właśnie z wykorzystaniem sieci telekomunikacyjnych. Wreszcie coraz intensywniej mówi się o tzw. Internecie Rzeczy, gdzie obserwować będziemy wymianę informacji pomiędzy milionami urządzeń (nie ludzi) chcących z sobą „porozmawiać”. Uwzględniając te, jak i inne niewspomniane aspekty, przewiduje się, że za dwadzieścia lat wprowadzana obecnie technologia LTE czy LTE-A stanie się niewydolna. Stąd konieczność wprowadzenia nowych pomysłów i rozwiązań.

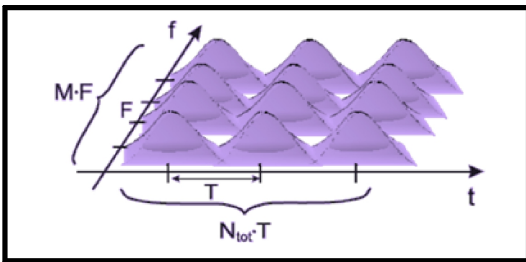
Obserwując rozwój telekomunikacji z punktu widzenia zajmowanego pasma częstotliwościowego można spostrzec, że wraz z wprowadzeniem kolejnych systemów systematycznie poszerza się wykorzystywane pasmo częstotliwościowe. I tak, w GSM jeden kanał użytkownika miał szerokość 200 kHz, w UMTS – 5 MHz, WiFi 802.11n – do 40 MHz, LTE/LTE-A – maksymalne szerokości zajmowanego pasma mogą osiągnąć nawet do 100 MHz, zaś WiFi 802.11ac – nawet to 160 MHz. Oznacza to tyle, że wraz z zapewnieniem większej prędkości transmisji konieczne jest przeznaczenie na działanie danego systemu coraz to szerszego pasma częstotliwościowego. Jednak tego widma w niskich zakresach po prostu nie ma! Znajdowanie tak szerokich zakresów częstotliwości nie przypisanych do innych celów staje się niezwykle trudne. Niestety, liczne badania przeprowadzone w różnych miejscach na całym świecie wskazują, że w przypadku statycznego zarządzania przydziałem częstotliwości (jak to ma miejsce obecnie), nawet do 80% widma częstotliwościowego jest niewykorzystywana. Przykładowo, w centrum Poznania zajęte pasma w zakresie od 75 do 3000 MHz wynosiła właśnie około 20%! Oznacza to, że z jednej strony mamy zapotrzebowanie na szerokie fragmenty pasma, z drugiej obecne wykorzystanie jest nieefektywne. Obserwacja ta przywodzi na myśl pomysł dynamicznego przydziału i korzystania z częstotliwości. Tzn. w sytuacji, gdy w danej lokalizacji, w danym czasie wybrany fragment pasma (tzw. biała przestrzeń) jest niewykorzystany przez system licencjonowany, to można by wykorzystać go do transmisji danych przez inne podmioty, o ile tylko nie wprowadzałoby to zakłóceń. Niestety, białe przestrzenie (w zależności od rozpatrywanego pasma itd.) mogą nie pokrywać terytorialnie dużych obszarów, w związku z czym ich efektywne i praktyczne wykorzystanie na szeroką skalę może okazać się trudne. Dlatego te naturalnym rozwianiem byłoby rozpoczynanie transmisji w białych przestrzeniach w sytuacji, gdy odległość transmisyjna pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem jest relatywnie niewielka. Z kolej to spostrzeżenie przywodzi na myśl wykorzystanie białych przestrzeni do tzw. małych komórek. Czym jednak one są? Otóż transmitowany w powietrzu sygnał ulega bardzo istotnemu tłumieniu, do powiedzenia, że w rzeczywistych warunkach dwukrotny wzrost odległości pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem może spowodować nawet 16-krotny spadek mocy odbieranej, a w warunkach szczególnie trudnych (np. gęsta zabudowa) nawet 30-40-krotny! Powszechnie uważa się więc, że jednym z remediów na przewidywany gwałtowny wzrost ruchu telekomunikacyjnego w przyszłych sieciach telekomunikacyjnych będzie po prostu zmniejszenie rozmiarów (promienia) komórki do kilkudziesięciu czy nawet kilkunastu metrów. Taka stacja bazowa (tzw. piko czy femtokomórka) mogłaby być umieszczona w pokoju (i działałaby analogicznie jak ruter WiFi) lub na lampie ulicznej. Przykładowa ilustracja takiej sytuacji jest przedstawiona na rysunku poniżej, gdzie zaznaczono stacje bazowe typu makro (umieszczone na dachu budynku), typu mikro/piko (umieszczone na lampach ulicznych) oraz typu femto (rozlokowane w pomieszczeniach).





Wracając do białych przestrzeni, czy nie wydaje się Ci naturalne, aby zbadano możliwości wykorzystania do małych komórek? Jednak z drugiej strony można zadać pytanie, czy współczesne techniki transmisji sygnałów pozwalają na efektywne pod wieloma względami współdzielenie pasma? Można więc postawić tezę, że wspomniane efektywne współdzielenie pasma czy stopniowo ciowego w sieciach z małymi komórkami oparte o dostępną informację o środowisku transmisyjnym (np. o obecności użytkowników licencjonowanych) oraz o wysokiej elastyczności w doborze szerokiej gamy parametrów sygnału nadawanego może się okazać dobrym rozwiązaniem problemu ogromnego wzrostu ruchu telekomunikacyjnego w systemach drugiej generacji.

Jakie zatem zadania badawcze będą przedmiotem projektu? W pierwszej kolejności należy zauważyć, że zarówno w przypadku białych przestrzeni oraz małych komórek jednym z kluczowych zagadnień jest problem przydziału zasobów czy stopniowo ciowych i występujących zakłóceń (interferencji). Rozpatrywanym w projekcie sposobem na zmniejszenie wpływu tego zjawiska jest adaptacyjne dobieranie szeregu parametrów sygnału nadawanego oraz uwzględnienie zaawansowanych technik odbioru tak przygotowanego sygnału. Można by powiedzieć, że przecież adaptacja sygnału znana była już w przypadku sieci GSM... Gdzie więc jest nowość? Otóż faktycznie, adaptacyjny dobór parametrów takich jak moc nadawana, liczba bitów zapisana w symbolu danych (tzw. wartość ciowa modulacji) czy sprawność kodowania, są znane i powszechnie stosowane. I właśnie ta obserwacja stała się podstawą do postawienia tezy, że zwiększenie możliwości adaptacji parametrów sygnału nadawanego może przynieść dalsze wymierne korzyści. W projekcie rozpatrzona będzie po raz pierwszy na świecie możliwość adaptacyjnego doboru kształtu impulsu przenoszącego informację oraz trybu modulacji w zależności od warunków transmisyjnych i od wymagających wyników ze współdzielenia pasma. Zobaczmy na przykład rysunek poniżej, przedstawiający sygnał nadawany (w zasadzie jego mocy) na płaszczyźnie czasu i częstotliwości. Sygnał ten składa się ze zbioru impulsów przenoszących dane użytkownika (jest ich $M \cdot N_{\text{tot}}$), które mają pewien określony kształt i są umieszczone obok siebie w konkretnych, ustalonych odległościach (oznaczonych jako F i T). Autor projektu proponuje, aby w sposób adaptacyjny dobierał takie parametry sygnału jak szerokość pojedynczego impulsu w czasie i częstotliwość, kształt impulsu, odstępy pomiędzy impulsami czy ich liczbę. W zależności od okoliczności może się bowiem okazać, że lepiej będzie, jak impuls będzie szerszy w dziedzinie czasu, a węższy w dziedzinie częstotliwości, lub odwrotnie, albo że lepszy będzie kształt np. kosinusoidalny zamiast prostokątnego. Dotychczas wartości tych parametrów jest ustalona i podczas pracy systemu telekomunikacyjnego nie można ich zmieniać.



Z tego właśnie powodu zostały zaproponowane optymalizowany kształt impulsu przenoszącego informację, algorytmy doboru parametrów w zależności od warunków otoczenia oraz metody odbioru tak skonstruowanego sygnału. Jednak teoretyczne opracowanie rozwiązań problemów podstawowych musi znaleźć swoje potwierdzenie w testowych transmisjach sygnału czy ogólnie rzecz ujmując w praktycznych badaniach eksperymentalnych. Dlatego te wszelkie rozwiązania teoretyczne oraz badania symulacyjne będą zweryfikowane poprzez realizację transmisji testowej z jednoczesnym pomiarem zakłóceń wprowadzanych do innych użytkowników lub innych systemów pracujących w sąsiednich pasmach czy stopniowo ciowych. Z tego powodu wyniki badań powinny znaleźć się kręgu zainteresowania operatorów sieci telekomunikacyjnych, producentów sprzętu, ciał standardyzacyjnych i regulacyjnych. A gdyby tak chcieć jednym zdaniem odpowiedzieć na kolokwialne pytanie: a co przeciwny człowiek będzie z tego miał? Może zaryzykować następujące stwierdzenie – ta szybszy i ekologiczny (bo wymagane są mniejsze moce transmisyjne w niskich pasmach i w przypadku małych odległości), szybszy (bo nowej generacji) i stabilny (bo wewnątrz pomieszczenia) dostęp do – ogólnie rzecz ujmując – Internetu. Pozytywna weryfikacja hipotezy badawczej dostarczy bowiem nowe narzędzia do efektywnego projektowania systemów telekomunikacyjnych.