

Józef Lubacz
Instytut Telekomunikacji
Politechnika Warszawska

Piotr Pałka
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Politechnika Warszawska

Wojciech Stańczuk
Instytut Telekomunikacji
Politechnika Warszawska

Eugeniusz Toczyłowski
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Politechnika Warszawska

Metodyka oceny modeli rynkowej alokacji przepustowości w sieciach telekomunikacyjnych

Artykuł prezentuje metodykę badań i analizy właściwości rynkowych modeli alokacji przepustowości w sieciach telekomunikacyjnych. Składa się ona z kilku etapów: klasyfikacji modelu rynkowego, generowania wejściowych danych testowych, ich adaptacji dla testowanego modelu, przeprowadzenia obliczeń oraz prezentacji i interpretacji wyników. Opracowany został zbiór ogólnych kryteriów porównawczych pozwalających ocenić różnorodne modele. Testy wykonywane są przy pomocy dedykowanych aplikacjach, zaś dane poszczególnych etapów zapisywane są w otwartych formatach opartych na języku XML oraz modelu M^3 . Dane o topologii sieci pochodzą z biblioteki SNDlib.

1. Wprowadzenie

Dominującą formą zawierania kontraktów na rynku zasobów transportowych sieci telekomunikacyjnych są umowy bilateralne. Czas ich uzgadniania jest długi, zwłaszcza w odniesieniu do dużej dynamiki procesów biznesowych na rynku telekomunikacyjnym. Dodatkowo dwustronny charakter negocjacji handlowych zmniejsza przejrzystość reguł obrotu handlowego. Umożliwia to często podmiotom o znaczącej sile rynkowej na uzyskiwanie korzystniejszych warunków transakcji niż jest to uzasadnione. Dlatego prowadzone są prace nad innowacyjnymi mechanizmami obrotu towarowego na rynku zasobów transportowych sieci telekomunikacyjnych, w szczególności w formie aukcji i giełd zwiększających efektywność wykorzystywania zasobów komunikacyjnych sieci oraz jakość warunków konkurowania o nie. Potencjalne korzyści płynące z wprowadzenia wielostronnych modeli handlu na rynku przepustowości sieci telekomunikacyjnych omówione są w pracy [1], zaś problematyka organizacji giełd przepustowości sieci przedstawiona jest w [16].

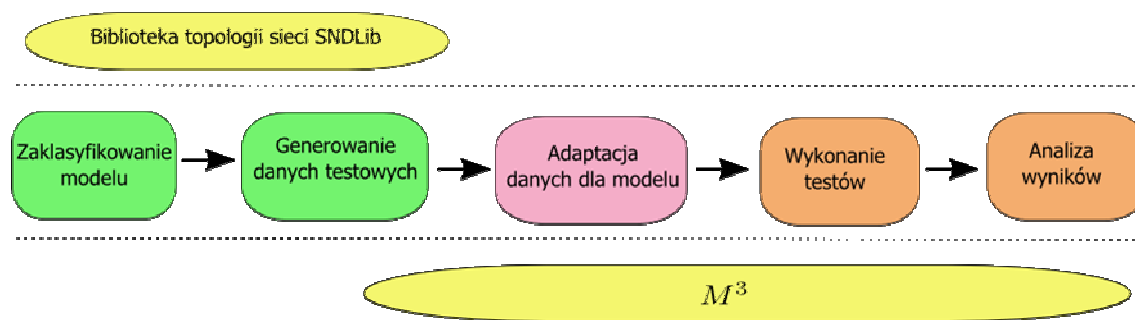
Wielość możliwych modeli handlu przepustowością oraz ich wariantów stwarza problem ich obiektywnej oceny i możliwości wzajemnego porównania. Modele te mogą implementować różnorodne algorytmy alokacji zasobów sieci przy stosowaniu różnorodnych kryteriów

optymalizacyjnych i przy spełnieniu wielu ograniczeń ekonomicznych i technicznych. Utrudnia to możliwość prostej ilościowej oceny danego modelu na tle innych oraz wskazania jego zalet i wad. Niniejszy artykuł stanowi próbę opracowania metodologicznego podejścia do testowania i porównania modeli rynkowej alokacji przepustowości w sieciach telekomunikacyjnych. Metodyka ta może być pomocna przy wyborze modeli handlowych dla konkretnych rynków czy ich segmentów w sektorze telekomunikacyjnym.

Proponowane przez nas podejście do testowania modeli jest wieloetapowe. Poszczególne etapy, przedstawione na rysunku Rys. 1, są następujące:

1. zaklasyfikowanie modelu
2. generowanie wejściowych danych testowych
3. adaptacja danych dla testowanego modelu
4. wykonanie testów
5. zebranie i analiza danych wyjściowych.

Każdy z etapów może być wykonywany niezależnie, przy wykorzystaniu różnych narzędzi. Dane między kolejnymi etapami są przekazywane w postaci otwartych plików tekstowych zapisanych w formacie XML.



Rys. 1. Schemat testowania modelu handlu przepustowością sieci

Proponowane metodyka integruje dane i wyniki innych prac naukowych: zasoby biblioteki SNDLib oraz model procesu handlowego M^3 .

Struktura artykułu jest następująca: dalsze podpunkty tego rozdziału krótko opisują bibliotekę SNDLib oraz model M^3 , rozdział 2 opisuje kolejne etapy testów, rozdział 3 przedstawia przykład przeprowadzenia testów dla wybranego modelu handlu przepustowością, rozdział 4 podsumowuje przedstawione wyniki badań.

1.1. Biblioteka SNDLib

Przykładem bazy wiedzy udostępniającej dane testowe dla modeli projektowania/wymiarowania telekomunikacyjnych sieci transportowych jest biblioteka SNDLib [14] (*Survivable fixed telecommunication Network Design Library*).

Przykłady przechowywane w tej bibliotece odzwierciedlają strukturę rzeczywistych sieci. Wszystkie zgromadzone przykładowe sieci są zapisane w ustandaryzowanym dialekcie XML. Głównym przeznaczeniem biblioteki jest zbieranie rzeczywistych danych o sieciach oraz stworzenie platformy wymiany informacji między naukowcami i inżynierami zajmującymi się projektowaniem sieci.

Oprócz samych danych o topologii sieci, strukturze łączy i zapotrzebowań na przepustowość biblioteka zawiera najlepsze uzyskane wyniki projektowania oraz ich ograniczenia dualne (*dual bounds*), bibliografię i listę konferencji poświęconych projektowaniu sieci. Zakres stosowanych metod rozwiązań jest szeroki i obejmuje modele programowania liniowego/całkowitoliczbowego, algorytmy *branch-and-bound*, generacji kolumn, relaksacji Lagrange'a oraz meta-heurystyki takie jak algorytmy ewolucyjne, symulowane wyżarzanie czy *tabu search*.

1.2. Model M³

Do opisu bardzo dużej potencjalnej różnorodności procesów handlowych na rynku przepustowości kluczowe jest zastosowanie elastycznego modelu informacyjnego. Osiągnięcie dużego stopnia otwartości w zakresie modelu danych jest możliwe poprzez oparcie modelu informacyjnego na modelu M³ (*Multicommodity Market Model*) [13]. Standard M³ jest zbiorem formalnych modeli opisujących dane i komunikaty wymiany handlowej na potrzeby wielotowarowych rynków infrastrukturalnych. W prowadzonych badaniach stosowana jest adaptacja modelu M³ dla rynku zasobów telekomunikacyjnych organizowanych w formie aukcji/giełd.

Model M³ pozwala na generyczny opis wymiany informacji handlowych pomiędzy uczestnikami rynku dotyczących składanych ofert oraz ich bilansowania. Dane zapisywane są w specjalnie opracowanym dialekcie M3-XML umożliwiającym opis: istniejącej infrastruktury sieciowej, odcinków czasowych, w jakich dokonywany jest obrót handlowy, struktury podmiotowej (sprzedawcy, nabywcy, brokerzy, dzierżawcy itd.), struktury przedmiotowej (opis towarów, jakimi dokonywany jest obrót) oraz ofert składanych przez poszczególnych uczestników rynku. W praktycznych zastosowaniach można korzystać z całości lub tylko z wybranych elementów modelu danych M³.

Model danych M³ opisuje uogólniony rynek wielotowarowy. Zawiera w szczególności opisy ofert elementarnych – jednotowarowych, zintegrowanych – wielotowarowych, a także grupujących, które opisują bardziej złożone relacje pomiędzy ofertami elementarnymi lub zintegrowanymi, ze wspólnymi warunkami lub ograniczeniami zasobowymi. Związanie wielu ofert jednego podmiotu za pomocą oferty grupującej umożliwia bezpieczny wybór realizowanych ofert przy spełnieniu ograniczeń. Co więcej, wprowadzenie mechanizmu oferty grupującej ułatwia formułowanie nietrywialnych ograniczeń indywidualnych dla poszczególnych podmiotów rynkowych oraz często ich wycenę.

Warto podkreślić, że model M³ oraz jego format zapis danych M3-XML nie specyfikują, w jaki sposób będzie dokonywana sama wymiana handlowa i alokacja zasobów.

2. Etapy przygotowania i wykonania testów

W rozdziale przedstawione są poszczególne etapy przygotowania i przeprowadzenia testów modeli rynkowej alokacji przepustowości w sieciach telekomunikacyjnych.

2.1. Zaklasyfikowanie modelu

Modele handlu przepustowością w sieciach telekomunikacyjnych mogą dotyczyć wielu różnych segmentów rynku, na których stosuje się określone technologie komutacji i multipleksacji. Przez wyróżnienie kluczowych elementów charakteryzujących modele i określenie ich możliwych wartości tworzona jest przestrzeń pozwalająca na zaklasyfikowanie testowanego modelu do grup modeli o specyficznych właściwościach rynkowej alokacji zasobów sieci. W bibliotece SNDlib problemy projektowania sieci są definiowane w przestrzeni ograniczeń dotyczących konfiguracji sieci, zakresu wartości dostępnej/żądaney przepustowości i możliwości alokacji przepustowości. Ograniczenia te dotyczą również problemów rynkowej alokacji przepustowości. Poniżej przedstawiono zbiór parametrów opisujących proponowaną klasyfikację modeli:

- kierunkowość zapotrzebowania na przepustowość: skierowane, nieskierowane;
- kierunkowość łączy (podaż przepustowości): niekierowane, dwukierunkowe, skierowane;
- określenie ilości oferowanej/żądaney przepustowości: ciągłe, dyskretne (modułowość), predefiniowana lista wartości;
- alokacja przepustowości: ciągła (dowolna część łącza do dowolnej ścieżki), dyskretna (dowolna liczba jednostek do dowolnej ścieżki), tylko pojedyncza ścieżka dla danego zapotrzebowania;

- możliwość zestawiania ścieżek dla zapotrzebowań w grafie sieci: dowolne ścieżki, definiowana lista dozwolonych ścieżek;
- zapewnienie jakości przepustowości (*Quality of Service*): np. ograniczenie na maksymalną długość ścieżki.

W bibliotece SNDlib wymieniane są dodatkowo parametry kosztowe możliwe do uwzględnienia przy projektowaniu sieci. Tutaj są one pomijane: zakładane jest, że wszystkie informacje kosztowe zawarte są w cenach podawanych w ofertach kupna i sprzedaży zgłaszanych na rynku. Innym aspektem uwzględnionym w przestrzeni problemów SNDlib jest stosowanie mechanizmów zabezpieczenia sieci przed awariami. Na tym etapie prac nad testowaniem właściwości modeli handlu przepustowością i możliwościami ich porównania kwestie odporności na awarie są również pomijane.

2.2. Generowanie danych testowych

Dane wejściowe dla przypadków testowych powinny odzwierciedlać wielkości popytu i podaży przepustowości sieci możliwe do zaobserwowania na rzeczywistym rynku. Dane testowe wykorzystane w badaniach mechanizmów handlowych mogą pochodzić z różnych źródeł np.:

- z przykładów dla problemów projektowania sieci,
- z ekonomicznych modeli popytu i podaży,
- z danych uzyskanych z rynku telekomunikacyjnego.

Mechanizmy handlowe dotyczące przepustowości sieci transportowych oraz bilansowanie ofert rynkowych są koncepcyjnie zbliżone do problematyki projektowania sieci, relacje między mechanizmami handlowymi a projektowaniem sieci zostały omówione w pracy [15]: zapotrzebowania na przepustowość sieci oraz łącza między węzłami mogą być interpretowane jako oferty kupna/sprzedaży na rynku zasobów sieci. Do wygenerowania testowych sieci oraz ofert handlowych można zatem użyć danych z przypadków testowych dla projektowania/wymiarowania sieci telekomunikacyjnych zgromadzonych w bibliotece SNDlib. Przykładów z tej bazy nie da się jednak wykorzystać bezpośrednio przez istotne ich ograniczenia. Po pierwsze: między parami węzłów sieci występuje zawsze jedno łącze, podczas gdy w modelach rynkowych możliwe istnienie wielu ofert sprzedaży przepustowości między parą węzłów (podobnie jest w przypadku ofert kupna). Po drugie: w przykładach z SNDlib kwestie ekonomiczne wyrażone są jedynie przez określenie kosztów instalacji i rozbudowy łączy, zaś tutaj są potrzebne ceny ofert składanych przez kupujących i sprzedających. Wszystkie brakujące elementy mogą zostać dodane do oryginalnych przykładów projektowania sieci np. przez pseudolosowe wygenerowanie w sposób określony dla danego przypadku testowego.

Drugim źródłem danych o potencjalnych ofertach rynkowych dotyczących przepustowości sieci jest wykorzystanie ekonomicznych modeli popytu i podaży. Ta dziedzina wiedzy w kontekście zasobów sieci telekomunikacyjnych jest rozwijana, zwłaszcza w zakresie modelowania ruchu telekomunikacyjnego i popytu na różne usługi. Pewne analizy popytu i podaży mogą być przenoszone na grunt telekomunikacji z innych rynków infrastrukturalnych, np. energetyki czy transportu.

Dane testowe mogą pochodzić również z analizy rzeczywistych danych o transakcjach zawieranych na rynku telekomunikacyjnym. Pozyskanie tego typu danych jest o tyle trudne, że w praktyce nie ma jeszcze funkcjonujących na większą skalę giełd przepustowości sieci, zaś informacje o kontraktach między przedsiębiorstwami telekomunikacyjnymi są najczęściej objęte tajemnicą handlową i nie są dostępne publicznie. Dostępne są jednak strony internetowe prezentujące przykładowe ceny przepustowości na pewnych rynkach lokalnych, np. USA, czy też raporty dotyczące globalnych trendów w rozwoju rynku telekomunikacyjnego, jak np. praca [21].

Jednym z celów prowadzonych badań przedstawionych w tym artykule jest utworzenie biblioteki przykładów testowych dla środowiska naukowego zajmującego się projektowaniem różnych algorytmów i modeli rynkowych dla transportowych sieci telekomunikacyjnych.

2.3. Adaptacja danych - konwersja do formatu modelu M^3

Modelem informacyjnym procesu handlowego, a co za tym idzie także testowania, jest model M^3 . Każde dane przypadków testowych powinny być zapisane w formacie M3-XML. Może to być zrealizowane na dwa sposoby. Pierwszym jest bezpośrednie generowanie danych wejściowych w formacie modelu M^3 . Wymaga to posiadania odpowiednich narzędzi komputerowych, najlepiej graficznych, pozwalających na edycję i automatyczne generowanie danych testowych, które bezpośrednio stają danymi wejściowymi dla modelu M^3 .

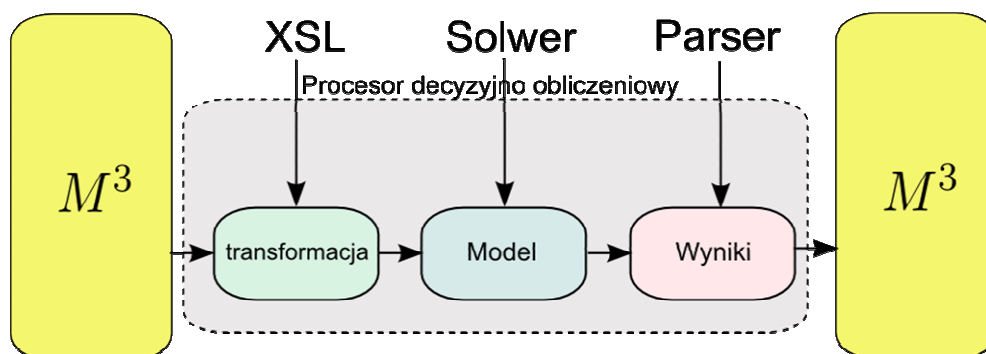
Drugie podejście, zastosowane przez nas w prowadzonych badaniach, zakłada wykorzystanie przykładów zawartych w bibliotece SNDlib wzbogaconych o strukturę podmiotową, przedmiotową oraz oferty handlowe. Przykłady te zapisywane są w formacie opartym o język XML o roboczej nazwie BM-XML (*Bandwidth Market XML*), pozwalających na opis węzłów sieci, ofert sprzedaży i kupna przepustowości. Wybór dialektu XML wynika z szeroko dostępnych programistycznych bibliotek odczytu/zapisu takiego formatu dla wielu języków programowania, co ułatwia opracowywanie nowych narzędzi generowania danych testowych. Dodatkowo można skorzystać z narzędzi służących przekształceniu danych z jednego dialektu XML do drugiego. Naturalną metodą przekształcania danych XML do innego formatu jest transformacja XSLT [19]. Można także użyć języka zapytań XQuery [18]. Obie metody operują na wejściowych plikach XML i zwracają wynik w postaci bądź to XML, bądź też innego formatu tekstowego.

Na potrzeby prowadzonych badań został stworzony program komputerowy z graficznym interfejsem użytkownika do wzbogacania przykładów z SNDlib i ich zapisu w formacie BM-XML. Opracowano również szereg transformacji XSLT, które przekształciły dane z formatu BM-XML do formatu M3-XML. W ten sposób uzyskano wygodny zestaw narzędzi komputerowych służących do importowania i przekształcania przykładowych struktur sieci do tworzonej biblioteki przykładów testowych dla rynkowych modeli alokacji przepustowości.

2.4. Wykonanie testów

Kolejnym krokiem jest przeprowadzenie obliczeń alokacji przepustowości dla danego testowanego modelu rynkowego na podstawie posiadanej struktury sieci, struktury podmiotowej, przedmiotowej oraz informacji na temat złożonych ofert. Na tym etapie testów zakłada się, że wszystkie potrzebne dane wejściowe są zapisane w formacie M3-XML.

Każdy mechanizm rynkowy, który poddawany jest testom, musi być zaimplementowany w taki sposób, by był w stanie wczytać dane z modelu M^3 oraz wygenerować dane wyjściowe również zgodne z przyjętym modelem informacyjnym. Przepływ danych podczas wykonania testów zilustrowany jest na rysunku Rys. 2.



Rys. 2. Przepływ danych w formacie M3-XML podczas wykonania pojedynczego testu

Dzięki zastosowaniu formatu M3-XML możliwe jest, np. za pomocą transformacji XSL i/lub XQuery, przekształcenie wejściowych danych testowych do formatu wymaganego przez procesor obliczeniowy, np. standardowe solwery zadań programowania matematycznego lub dedykowaną implementację algorytmu danego mechanizmu rynkowego. Przykłady takich transformacji już powstały [13] i są rozwijane wraz z opracowywaniem nowych modeli handlu przepustowością.

Przekształcając one dane w formacie M3-XML do modelu w formacie GMPL (*GnuMath Programming Language*) [5], który może być używany przez solvery GlpSol oraz AMPL. Modele liniowe można także w łatwy sposób przekształcić do innych postaci formatów LP, np. używanego przez solver CPLEX.

Opracowano również koncepcję oraz wykonano wstępną implementację uniwersalnego procesora decyzyjno-obliczeniowego [11], który rozwiązuje zadania sformułowane za pomocą danych zapisanych w formacie M3-XML i odpowiedniej transformacji XSLT, przekształcającej dane do wewnętrznej reprezentacji właściwej dla modelu. Procesor ten zwraca dane w formacie M3-XML.

2.5. Analiza wyników

Po wykonaniu serii eksperymentów obliczeniowych dla jednego lub wielu modeli rynkowej alokacji przepustowości należy dokonać analizy otrzymanych wyników. Zastosowanie modelu M^3 i formatu M3-XML do opisu danych wyjściowych z testowanych mechanizmów handlowych taką analizę ułatwia. W przypadku dysponowania różnymi formatami danych dla różnych modeli handlowych porównanie wyników byłoby procesem długotrwałym i pracochłonnym. Co więcej, stosowany dialekt XML pozwala na proste przekształcenie danych do innych formatów prezentacji wyników, np. eksport do arkuszy kalkulacyjnych czy do aplikacji graficznych.

2.6. Kryteria porównawcze

Kluczowym aspektem oceny różnych modeli rynkowej alokacji przepustowości jest właściwy dobór kryteriów porównawczych. Jest to o tyle trudne, że poszczególne modele często projektowane są pod kątem rozwiązania specyficznych, bardzo różniących się od siebie, problemów alokacji zasobów. Zaproponowano więc przykładowy zbiór ogólnych kryteriów, które mogą być stosowane dla większości modeli. Kryteria te podzielono na ekonomiczne i techniczne. Zbiór kryteriów porównawczych może być rozbudowywany o kolejne elementy.

2.6.1. Kryteria ekonomiczne

W pracach [8,12,17] zostały zaproponowane pewne pożądane własności mechanizmów rynkowych. Część z nich możemy potraktować jako kryteria porównawcze dla modeli rynkowych. Analiza niektórych z nich (np. zgodność motywacji) wymaga złożonej analizy lub formułowania dowodów matematycznych. Inne wynikają wprost ze sformułowania modelu, np. zbilansowanie budżetu, indywidualna racjonalność czy Pareto-efektywność. Jeszcze inne, takie jak stopień koncentracji rynku, zależą od struktury podmiotowej istniejącej na danym rynku. W tym artykule proponowane są inne, prostsze kryteria, które mogą pokazać pewne własności sieci, struktury podmiotowej oraz sytuacji na rynku:

- Wielkość uzyskiwanej nadwyżki ekonomicznej, będącej miarą sumarycznych korzyści ekonomicznych z wymiany dóbr. Jest to różnica pomiędzy sumaryczną wartością ofertową towarów z kupna i sumaryczną wartością ofertową ze sprzedaży towarów.
- Wielkość uzyskiwanej nadwyżki uzyskanej z obrotu poszczególnymi zasobami sieci. Znając rozkład tych wartości dla poszczególnych zasobów sieci, możemy zbadać, jak wpływają one na wartość globalnej nadwyżki ekonomicznej.
- Ilość ofert składanych na poszczególne zasoby sieci. Na podstawie tych wartości możemy zbadać, jaki jest stopień lokalnej konkurencyjności dla poszczególnych zasobów sieci.

2.6.2. Kryteria techniczne

Modele handlu przepustowością w różny sposób mogą alokować zasoby w sieci. Sposób dokonanej alokacji wpływa na parametry techniczne przesyłu danych i może być wykorzystany jako element oceny danego modelu. Wśród kryteriów technicznych możemy wymienić:

- Długość utworzonych w sieci ścieżek (średnia, minimalna, maksymalna): im większa jest liczba segmentów sieci, przez które przechodzi sygnał danych, tym większe jest

prawdopodobieństwo powstania opóźnień (np. w technice komutacji pakietów) i pogorszenia jakości transmisji.

- Stosunek kontraktowej (sprzedanej/kupionej) ilości przepustowości do ilości przepustowości ofertowej. W przypadku ofert kupna wartość ta pokazuje, jaka część potencjalnego ruchu sieciowego jest obsługiwana przez dany model handlu, zaś w przypadku ofert sprzedaży ilustruje ona, jaka część przepustowości zostaje wykorzystana, a jaka pozostaje wolna.

3. Przykład ilustracyjny

Do zilustrowania omówionego procesu oceny modeli handlu przepustowością przedstawiony jest poniżej przykład testu modelu BCBT omówionego w artykule [15]. W pracy tej przedstawiono prosty model wielotowarowej wymiany handlowej między wieloma kupującymi i wieloma sprzedającymi na rynku zasobów transportowych sieci. Model ten zakłada pełną podzielność przepustowości łączy (ofert sprzedaży) i możliwość dowolnej alokacji jej części do dowolnych zapotrzebowań (ofert kupna). Bilansowanie rynku polega na zestawieniu ścieżek realizujących zapotrzebowania przez połączenie ofert kupna z ofertami sprzedaży. Formalny zapis modelu ma charakter zadania programowania liniowego przedstawiającego aukcję dwustronną z maksymalizacją dobrobytu rynkowego będącego funkcją celu.

Test modelu BCBT przeprowadzono według przedstawionych w artykule zasad. Poniżej zamieszczony został ich krótki opis dla jednego przypadku testowego.

3.1. Zaklasyfikowanie modelu

Mechanizm handlowy BCBT zakłada jednokierunkowość zarówno łączy (ofert sprzedaży) jak i ścieżek (ofert kupna). Model oferowanej przepustowości jest ciągły: sprzedający i kupujący mogą podawać w swoich ofertach handlowych dowolną dodatnią wartość wyrażoną liczbą rzeczywistą. Przepustowość ofert kupna i sprzedaży podlega transakcjom handlowym w zakresie od 0 do maksymalnej podanej wartości dla danej oferty. Mechanizm bilansujący może dowolnie alokować przepustowość w sieci, w szczególności pojedyncza oferta sprzedaży może być wykorzystana do obsługi wielu ofert kupna, pojedyncza oferta kupna może być zrealizowana wieloma ścieżkami. Nie ma ograniczeń na możliwość zestawiania ścieżek w sieci: brak jest predefiniowanych ścieżek, są one tworzone w chwili bilansowania rynku na podstawie wszystkich dostępnych ofert rynkowych. W modelu nie są uwzględnione parametry jakościowe transmisji danych (np. brak jest ograniczenia na maksymalną długość ścieżek).

3.2. Dane testowe

Topologia testowej sieci pochodzi z przykładu sieci Nobel-EU z biblioteki SNDlib realizowanej w projekcie IST NOBEL „*Next generation Optical networks for Broadband European Leadership*” [20]. Węzły sieci znajdują się w 28 większych miastach europejskich. Topologia sieci (węzły i potencjalne łącza) została zilustrowana na rysunku Rys. 3.

Oferty kupna przepustowości są niezależnie od danych o zapotrzebowaniach na przepustowość zamieszczonych w SNDlib. Założono, że ceny ofertowe rosną wraz z geograficzną odległością między parą węzłów, a oferowana przepustowość maleje wraz z odległością. Wygenerowano 150 ofert kupna wg następującego algorytmu:

1. Wylosuj węzły początkowy i końcowy oferty (różne od siebie);
2. Ustal losowo cenę ofertową wg wzoru (1) w zależności od odległości między węzłami:

$$Gauss(AvgP \cdot Dist, \frac{AgvP}{3 \cdot Dist}) \quad (1)$$

3. Ustal losowo ofertową ilość przepustowości wg wzoru (2) w zależności od odległości między węzłami:

$$Uniform(0,5 \cdot AvgC, 1,5 \cdot AvgC) \cdot \left(1 - \frac{Dist}{DistMax}\right) \quad (2)$$

przy następujących oznaczeniach:

$Gauss(a,b)$ – rozkład Gaussa o wartości oczekiwanej a i odchyleniu standardowym b ;

$Uniform(a,b)$ – rozkład jednostajny z przedziału $[a,b]$;

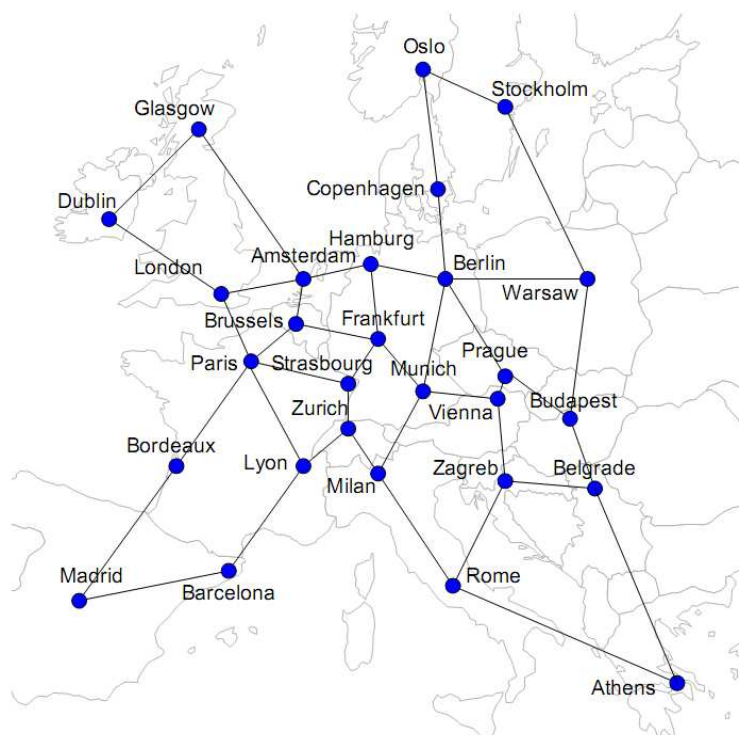
$AvgP$ – cena jednostki przepustowości na jednostkę odległości;

$AvgC$ – średnia ilość przepustowości dla węzłów przylegających (odległość równa 0);

$Dist$ – odległość między węzłami;

$DistMax$ – maksymalna odległość między węzłami.

Do generacji ofert kupna przyjęto następujące wartości parametrów: $AvgP=1$, $AvgC=15$.



Rys. 3. Europejska sieć Pan-UE z projektu Nobel IST (źródło: [20])

Oferty sprzedaży wygenerowano również losowo w taki sposób, by zastąpiły łącza z oryginalnej topologii Nobel-EU: pierwotne łącza zostały zinterpretowane jako segmenty sieci, na które składane są oferty sprzedaży przepustowości. Założono podobnie jak dla ofert kupna, że ceny ofertowe rosną wraz z geograficzną odległością między parą węzłów, a oferowana przepustowość maleje wraz z odległością. Na każdym segmencie sieci wygenerowano 5 ofert sprzedaży wg algorytmu przy wykorzystaniu tych samych reguł na wyznaczenie cen i przepustowości ofertowych jak w przypadku ofert kupna (następujące wartości parametrów: $AvgP=0,5$, $AvgC=10$):

1. Ustal losowo kierunek oferty (prawdopodobieństwo każdego z kierunków to 0,5);
2. Ustal losowo cenę ofertową wg wzoru (1) w zależności od odległości między węzłami;
3. Ustal losowo ofertową ilość przepustowości wg wzoru (2) w zależności od odległości między węzłami.

Wygenerowane dla sieci Nobel-EU dane testowe, zawierające 150 ofert kupna i 205 ofert sprzedaży zostały zapisane w pliku tekstowym formacie BM-XML. Dane znajdują się w opracowywanej bibliotece przykładów testowych i mogą być wykorzystane do testów innych modeli niż badany model BCBT.

3.3. Adaptacja danych i wykonanie testów

Procedura testowania pojedynczego problemu składa się z trzech faz. Pierwsza z nich to adaptacja danych zapisanych w formacie BM-XML do formatu M3-XML. Druga faza to rozwiązanie zadania zgodnie z zadanym modelem matematycznym. Trzecią fazą jest zebranie wyników i ich analiza. Szczegółowy opis poszczególnych kroków jest następujący:

- Przekształcenie danych z formatu BM-XML do postaci M^3 – procedura ta polegała na zastosowaniu do danych o sieci kilku transformacji XSLT. W wyniku otrzymano zestaw plików w formacie M3-XML zgodnym z modelem informacyjnym M^3 .
- Otrzymany zestaw danych w formacie M3-XML został następnie przekazany do specjalnie przygotowanego solvera, rozwiązującego zadania zapisane w formacie M3-XML zgodnie z zadanym modelem matematycznym. Solver ten zwraca dane wynikowe w postaci M3-XML. Aplikacja ta wykonuje następujące kroki:
 - na podstawie zadanego modelu matematycznego przygotowanego jako transformata XSLT dane M^3 są przekształcane do modelu GMPL implementującego model BCBT;
 - model GMPL z danymi przekazywany jest do solvera rozwiązującego zadanie GMPL (np. AMPL, GlpSol), aplikacja zwraca wyniki;
- wyniki parsowane są do formatu M3-XML.

Obliczenia zostały przeprowadzone na komputerze klasy PC (Intel Core 2 Duo 2,60 GHz, 2 GB RAM).

3.4. Wyniki

Dla utworzonego w opisany wyżej sposób przypadku testowego dla modelu BCBT otrzymano następujące wyniki alokacji przepustowości:

- sumaryczna ekonomiczna nadwyżka dokonanych transakcji: 13861;
- minimalna długość utworzonych ścieżek: 1;
- maksymalna długość utworzonych ścieżek: 7;
- średnia długość ścieżki: 1,87.

Ze względu na ograniczoną objętość artykułu, szczegółowe wyniki obliczeniowe uzyskanej alokacji przepustowości nie są tutaj przedstawiane.

4. Podsumowanie

Artykuł przedstawia próbę opracowania usystematyzowanego podejścia do problematyki porównania różnych modeli handlu przepustowością w transportowych sieciach telekomunikacyjnych. Wyróżniono i opisano poszczególne etapy przygotowania i przeprowadzenia testów. Bardzo istotne jest zastosowanie ustandaryzowanego formatu danych, dzięki czemu zadanie porównania wyników staje się prostsze a same przypadki testowe mogą być wielokrotnie wykorzystywane dla wielu modeli. Opisana metodyka zostanie wykorzystana do badania właściwości i porównywania różnych modeli rynkowych, np. c-SeBiDA [9], MIDAS [2], BCBT [15], NSP [10], oraz nowych modeli tworzonych przez autorów w ich pracach badawczych. Zaproponowana metodyka i jej narzędzia mogą stać się częścią szerszej platformy badawczej, będącej zaawansowanym środowiskiem komputerowym do testowania modeli rynkowych.

Przedstawiona metodyka testów jest na wczesnym etapie rozwoju i nadal wymaga dopracowania wielu jej elementów. Najważniejsze dostrzegane obszary wymagające poprawy to:

- opracowanie i rozbudowa modeli ekonomicznych do opisu popytu i podaży przepustowości pozwalających na generowanie danych testowych odzwierciedlających możliwe rzeczywiste sytuacje rynkowe;
- dopracowanie zbioru kryteriów porównawczych pozwalających na badanie i porównywanie specyficznych cech badanych modeli rynkowych, np. wynikających z rozwiązania pewnej gry rynkowej między uczestnikami wymiany handlowej.

Te i inne rozszerzenia podstawowej wersji metodyki oceny modelu handlu przepustowości zaproponowanej w referacie będą prezentowane w przyszłych pracach autorów.

Praca została częściowa finansowana w ramach projektu PBZ-MNiSW-02/II/2007.

Literatura

1. S. S. Chiu, J. P. Crametz, *Taking advantage of the emerging bandwidth exchange market*, Oncept, 1999.
2. M. Dramitinos, G. D. Stamoulis, C. Courcoubetis, *An auction mechanism for allocating the bandwidth of networks to their users*, *Computer Networks*, 51:4979–4996, 2007.
3. R. Fourer, D. M. Gay, B. W. Kernighan, *A modeling language for mathematical programming*, *Management Science*, 36:519–554, 1990.
4. A. Iselt, A. Kirstädter, R. Chahine, *The Role of ASON and GMPLS for The Bandwidth Trading Market, 1st International Conference on E-business and Telecommunication Networks, ICETE2004*, Setubal, Portugal, 2004.
5. *Glpk (GNU linear programming toolkit)*, <http://www.gnu.org/software/glpk>, 2009.
6. O. C. Herfindahl, *Concentration in the Steel Industry*, Praca doktorska, Columbia University, 1950.
7. A. O. Hirschman, *The paternity of an index*, *American Economic Review*, 1964.
8. L. Hurwicz, *The design of mechanisms for resource allocation*, *The American Economic Review*, 63(2):1–30, 1973.
9. R. Jain, P. Varaiya, *An efficient incentive-compatible combinatorial market mechanism*, Allerton Conf, 2004.
10. R. Jain, J. Walrand. *An efficient mechanism for network bandwidth auction*, *IEEE Network Operations Management Symposium Workshops 2008*, pages 227–234, 2008.
11. P. Kacprzak, M. Kaleta, P. Pałka, K. Smolira, E. Toczyłowski, T. Traczyk. *Procesor decyzyjno-obliczeniowy dla rynkowego modelu danych M^3* , 1:215–226, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008.
12. V. Krishna, *Auction Theory*, Academic Press, 2002.
13. *M^3 - Multicommodity Market data Model*, <http://www.openm3.org/>, 2009.
14. *SNDlib: Survivable fixed telecommunication network design*, <http://sndlib.zib.de/>, 2009.
15. W. Stańczuk, J. Lubacz, E. Toczyłowski, *Trading links and paths on a communication bandwidth markets*, *Journal of Universal Computer Science*, 14(5):642–652, 2008.
16. W. Stańczuk, J. Lubacz, E. Toczyłowski, *Giełdy przepustowości na rynku zasobów transportowych sieci telekomunikacyjnych*, *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, 8-9:274–277, 2007.
17. E. Toczyłowski, *Optymalizacja procesów rynkowych przy ograniczeniach*, Oficyna Wydawnicza EXIT, wydanie II rozszerzone, 2003.
18. *Xquery 1.0: An xml query language*, <http://www.w3.org/TR/xquery/>, 2009.
19. *Xsl transformations website*, <http://www.w3.org/TR/xslt>, 2009.
20. IST IP NOBEL Phase 2 Next generation Optical networks for Broadband European Leadership Phase 2, *Report on multilayer traffic engineering mechanisms for NOBEL solutions in medium and long term scenarios*, Deliverable – D2.2, 2007.
21. *Bandwidth Pricing Report*, TeleGeography, PriMetrica Inc., 2007.