

Marek MIKA¹, Bartosz BELTER²

¹ Politechnika Poznańska, ² Poznańskie Centrum Superkomputerowo Sieciowe

PROBLEM SZEREGOWANIA ZADAŃ TRANSMISJI W WIRTUALNYCH CENTRACH DANYCH Z KRYTERIUM ENERGETYCZNYM – MODEL MATEMATYCZNY

Streszczenie. Ekonomiczno-ekologiczne kryterium, jakim jest oszczędność zużywanej energii jest coraz częściej stosowane przez operatorów, którzy udostępniają infrastrukturę sprzętową w rozproszonych środowiskach obliczeniowych. Wiele już prac poświęcono optymalizacji zużycia energii przez zasoby obliczeniowe, ale nadal niewiele podejmuje tę tematykę w kontekście zasobów sieciowych. Niniejsza praca jest próbą wypełnienia tej luki, a poświęcona jest sformułowaniu modelu programowania matematycznego dla tego problemu.

A PROBLEM OF ENERGY-EFFICIENT TRANSMISSION TASK SCHEDULING IN VIRTUAL DATA CENTRES – A MATHEMATICAL MODEL

Summary. Economic and ecological criterion, which is the minimization of the consumed energy is increasingly used by operators, who provide the hardware infrastructure for distributed computing environments. Many papers has been devoted to the optimization of the energy consumed by computing resources, but only a little concern this topic in the context of networking resources. This work is an attempt to fill this gap and includes the formulation of the mixed integer programming model of the problem.

1. Wprowadzenie

Wraz z ewolucją rozproszonych systemów komputerowych, która doprowadziła między innymi do powstania koncepcji chmury obliczeniowej, pojawiły się również nowe możliwości i wyzwania dotyczące wyposażenia i usług. Zazwyczaj w takim środowisku miejscem przechowywania danych użytkownika są duże centra danych, gdzie tysiące maszyn pracują, by zapewnić uprawnionym użytkownikom dostęp do dużych mocy obliczeniowych. Nowoczesne technologie sieciowe umożliwiają łączenie centrów danych, użytkowników i różnorodnych urządzeń na poziomie niedostępnym w nawet najbardziej wydajnej wersji Internetu, dając szansę na tworzenie tzw. wirtualnych centrów danych [2]. Tego typu rozwiązania są naturalnym rozwinięciem koncepcji klasycznego centrum danych, w którym pojedyncze centra

danych łączy się za pomocą bardzo wydajnych sieci komputerowych. Z roku na rok rośnie zapotrzebowanie na usługi oferowane przez centra danych, a co za tym idzie wzrasta również ilość używanego sprzętu, a w efekcie ilość zużytej energii. Nowoczesne rozwiązania informatyczne coraz częściej stosowane przy projektowaniu wydajnych sieci komputerowych, takie jak programowalna sieć komputerowa (SDN - Software Defined Networking) i protokół OpenFlow implementowane w wielu nowych elementach wyposażenia sieciowego, umożliwiają administratorom i/lub właścicielom zasobów sieciowych stosowanie własnych reguł kierowania ruchem sieciowym [1]. W przypadku, gdy istotnym kryterium jest oszczędność energii, jednym z podstawowych sposobów sterowania siecią jest możliwość dynamicznego wyłączenia i włączania poszczególnych elementów infrastruktury sieciowej.

Nie wnikając za głęboko w szczegóły techniczne można powiedzieć, że wirtualne centrum danych składa się z wirtualnych zasobów obliczeniowych połączonych ze sobą za pośrednictwem łączy wirtualnych. Te wirtualne zasoby (sieciowe i obliczeniowe) są efektem zastosowania odpowiednich technik wirtualizacji. Każdy węzeł sieciowy, na ogół związany z lokalizacją jakiegoś centrum danych, od strony wyposażenia sieciowego składa się z tzw. bazowego elementu węzła, w skład którego wchodzi karta wyposażona w interfejsy, które za pośrednictwem łączy optycznych łączą się ze swoimi odpowiednikami w innych węzłach sieciowych. Zużycie energii w kartach składa się z dwóch wartości: i) ilości stałej i niezależnej od wielkości ruchu, ii) ilości zmiennej proporcjonalnej do wielkości ruchu sieciowego występującego na odpowiednich interfejsach karty. Jeżeli co najmniej jeden interfejs karty bierze udział w transmisji danych, to karta musi być w trybie aktywnym. Przejście w tryb nieaktywny, czyli wyłączenie karty, jest możliwe dopiero po wyłączeniu wszystkich interfejsów karty, a interfejs jest wyłączany wtedy, gdy za jego pośrednictwem nie odbywa się żadna transmisja danych. Podobnie rzecz się ma, jeśli chodzi o bazowy element węzła. Ten może być wyłączony dopiero wtedy, gdy wszystkie karty znajdują się już w stanie nieaktywnym. W przeciwnym przypadku jest on włączony, a jego zużycie energii jest stałe i niezależne od wielkości ruchu sieciowego. Z pewnym uproszczeniem można przyjąć, że łącza światłowodowe zużywają tyle energii, ile konsumują wzmacniacze optyczne rozmieszczone na takich łączach co 80 km. Szacuje się, że w całej infrastrukturze centrum danych na wyposażenie sieciowe przypada 20÷30 % całej energii konsumowanej przez to centrum. A że na problem szeregowania zadań sieciowych można spojrzeć z kilku różnych punktów widzenia, to w niniejszej pracy przyjąłmy, że jest to punkt widzenia właściciela zasobów sieciowych. Fakt, że większość energii w centrum danych jest zużywana przez zasoby obliczeniowe, które z założenia należą do innego właściciela (a ten może stosować własną politykę szeregowania zadań), sprawił, że w prezentowanym podejściu szeregowanie zadań transmisji danych odbywa się dopiero po wcześniejszym uszeregowaniu zadań obliczeniowych przy założeniu, że zadania transmisje danych wykonywane są z pewną minimalną szybkością gwarantowaną przez właściciela zasobów sieciowych. Znając wynik szeregowania zadań obliczeniowych, określający między innymi węzły, w których wykonują się kolejne zadania obliczeniowe, a które w efekcie będą stanowiły punkty źródłowy i docelowy transmisji danych oraz terminy rozpoczęcia i zakończenia tych zadań, definiujących dzięki temu okna czasowe dla wykonania

poszczególnych zadań transmisji, można przystąpić do sformułowania, a następnie rozwiązania odpowiednich zadań programowania matematycznego dla problemu szeregowania zadań transmisji danych. Takie podejście wydaje się być szczególnie istotne wtedy, gdy właściciel zasobów sieciowych nie ma żadnego wpływu na szeregowanie zadań obliczeniowych. W takim wypadku musi on dostosować własne procedury szeregowania do typu informacji, jakie otrzymuje od właściciela zasobów obliczeniowych. W rezultacie powstanie uszeregowanie zadań transmisji, które będzie uwzględniało łącza wchodzące w skład ścieżki pomiędzy węzłami źródłowym i docelowym każdego z zadań transmisji, szybkość transmisji oraz terminy rozpoczęcia i/lub zakończenia poszczególnych zadań. Można to uzyskać formułując i następnie rozwiązując odpowiedni problem programowania matematycznego. Sformułowanie modelu tego problemu jest głównym celem niniejszej pracy.

2. Sformułowanie problemu

Jak już wcześniej wspomniano, problem szeregowania zadań transmisji danych przedstawiony w tej pracy rozważany jest z punktu widzenia właściciela zasobów sieciowych. Właścicielem zasobów obliczeniowych jest inny podmiot, ale obydwa podmioty współpracują ze sobą w celu dostarczenia usług o odpowiedniej jakości. Właściciel zasobów obliczeniowych odpowiedzialny jest za wykonanie zadań obliczeniowych, a właściciel zasobów sieciowych za wykonanie zadań transmisji danych. Każdy z nich kieruje się własną polityką szeregowania zadań i przydzielania im zasobów. Jednak żaden z nich nie może robić tego nie uwzględniając drugiej strony i drugiego rodzaju zadań. W rozważanym modelu założono, że w pierwszej kolejności odbywa się szeregowanie zadań obliczeniowych przy założeniu, że zadania transmisji danych są wykonywane z szybkością co najmniej równą wartości wcześniej uzgodnionej pomiędzy właścicielem zadań i właścicielami zasobów, a następnie szeregowanie zadań transmisji danych w oparciu o niektóre dane będące wynikiem szeregowania zadań obliczeniowych. Zauważmy, że takie podejście gwarantuje zarówno właścicielowi zasobów obliczeniowych, jak i właścicielowi zasobów sieciowych możliwość stosowania własnych reguł szeregowania, a także uwzględnia pozycję obydwu kategorii zasobów w całkowitym zużyciu energii potrzebnej do wykonania wszystkich zgłoszonych do systemu zadań. Ponadto, ze względu na przyjęte kryterium nie jest wskazane, by algorytmy szeregujące działały zbyt długo, ponieważ zużycie energii związane z ich wykonaniem mogłoby przewyższyć oszczędności wynikające z ich zastosowania. Zatem nie przewiduje się dalszej interakcji pomiędzy właścicielami zasobów po fazie szeregowania zadań transmisji danych. Warto podkreślić, że z tego samego powodu stosowanie algorytmów szeregowania zadań ma sens jedynie dla zadań polegających na transmisji dużych wolumenów danych, takich jak te spotykane są między innymi w aplikacjach typu workflow [3]. Tego typu aplikacje składają się ze zbioru wzajemnie powiązanych zadań obliczeniowych, które najczęściej polegają na przetwarzaniu zbiorów danych. Zadania te muszą być wykonane w odpowiedniej kolejności wynikającej ze struktury aplikacji a pomiędzy parą zadań obliczeniowych występujących bezpośrednio po sobie najczęściej dochodzi do transmisji danych, które pojawiają się na wyjściu jednego zadania i stanowiących dane wejściowe dla kolejnego zadania.

W proponowanym podejściu szeregowanie zadań transmisji danych odbywa się dopiero po fazie szeregowania zadań obliczeniowych, którą realizuje się przy założeniu, że zadania transmisji wykonują się z wcześniej uzgodnioną minimalną wymaganą szybkością. Wyniki tej fazy, przede wszystkim terminy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych zadań obliczeniowych, jak i przydział zasobów, przekazywane są w postaci parametrów wejściowych do algorytmów działających w drugiej fazie, tj. fazie szeregowania zadań transmisji danych. Terminy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych par zadań obliczeniowych definiują okna czasowe, w których muszą wykonać się zadania transmisji danych występujące pomiędzy tymi zadaniami, a lokalizacja zasobów przydzielonych do tych zadań obliczeniowych określa lokalizację źródłowego i docelowego węzła sieciowego pomiędzy którymi ma nastąpić transmisja odpowiednich danych.

Przyjęto także następujące założenia dotyczące zadań transmisji danych. Zadania te są niepodzielne, co oznacza, że muszą być one wykonane bez jakichkolwiek przerw przy użyciu tych samych zasobów, tj. jeśli pomiędzy węzłem źródłowym i docelowym zostanie zestawiona ścieżka dla tego zadania, to cała transmisja związana z tym zadaniem musi być przeprowadzona tą ścieżką. Zadania te są również nieskalowalne, czyli wykonywane są w całości z tą samą szybkością i nie może ona ulec zmianie.

Szybkość transmisji wyznaczana jest w trakcie szeregowania. Jednak musi się ona mieścić w przedziale, którego granice wyznaczone są przez minimalną szybkość ustaloną pomiędzy stronami oraz jej maksymalną wartość określoną przez najwolniejsze łącze występujące na rozważanej ścieżce pomiędzy węzłem źródłowym a docelowym. Założono również, że opóźnienia transmisji można pominąć, ponieważ są dużo mniejsze niż czas samej transmisji danych.

W rozważanym problemie zbiór K zawierający n zadań transmisji danych należy wykonać przy użyciu zasobów tworzących sieć komputerową łączącą lokalizacje, w których znajdują się zasoby obliczeniowe pewnego wirtualnego centrum danych tak, aby zminimalizować energię zużyta podczas wykonywania tych zadań. Topologia tej sieci reprezentowana jest przez nieskierowany multigraf $G = (V, E)$. Zbiór V wierzchołków tego grafu składa się z dwóch rozdzielných podzbiorów V_1 oraz V_2 , reprezentujących odpowiednio zbiór bazowych elementów węzła oraz zbiór kart wyposażonych w interfejsy sieciowe. pomiędzy parą wierzchołków $i, j \in V$ może wystąpić więcej niż jedna krawędź $(i, j)_l \in E$, gdzie $l = 1, 2, \dots$, co odpowiada często spotykanej sytuacji, gdy pomiędzy dwoma węzłami występują co najmniej dwa różne łącza fizyczne. Ponadto, zbiór E jest również podzielony na dwa rozłączne podzbiory $E_1 = \{(i, j)_l : i, j \in V_2\}$ oraz $E_2 = \{(i, j)_l : i \in V_1, j \in V_2\}$. Podzbiór E_1 zawiera krawędzie odpowiadające fizycznym łączom pomiędzy węzłami obliczeniowymi. Natomiast podzbiór E_2 reprezentuje połączenia pomiędzy kartami a bazowymi elementami węzła. Każda krawędź $(i, j)_l \in E_2$ oznacza, że karta j należy do bazowego elementu węzła i .

Dla każdego łącza fizycznego reprezentowanego przez krawędź $(i, j)_l \in E_1$ określone są dwa parametry: szybkość F_{ij}^l oznaczająca maksymalny współczynnik transmisji przypadającej na jednostkę czasu oraz jego długość L_{ij}^l .

Każde zadanie transmisji danych $k \in K$ opisane jest następującymi parametrami: a_k – termin gotowości, d_k – linia krytyczna, i_k – węzeł źródłowy ($i_k \in V_2$), j_k – węzeł docelowy ($j_k \in V_2$), D_k – rozmiar pliku danych, który ma być przesłany między

węzłami i_k oraz j_k . Obydwa parametry czasowe a_k i d_k definiują okno czasowe $[a_k, d_k]$ w którym musi być wykonane zadanie $k \in K$.

Celem jest znalezienie optymalnego uszeregowania, które minimalizuje ilość energii zużytej podczas wykonywania całego zbioru zadań transmisji danych. Szeregowanie w tym przypadku polega więc na: i) znalezieniu zasobowo i czasowo dopuszczalnych przydziałów zasobów do zadań, a następnie ii) wyznaczeniu terminów rozpoczęcia tych zadań. Dany przydział zasobów dla zadania $k \in K$ jest dopuszczalny zasobowo, o ile przydzielone łącza sieciowe tworzą ścieżkę pomiędzy węzłami i_k oraz j_k , i dopuszczalny czasowo, jeśli dostępna część szybkości łącz tworzących tę ścieżkę umożliwia wykonanie w całości zadania $k \in K$ w jego oknie czasowym $[a_k, d_k]$.

3. Model matematyczny

Przypomnijmy, że w celu znalezienia optymalnego uszeregowania należy dla każdego zadania $k \in K$ wyznaczyć czas rozpoczęcia, ścieżkę pomiędzy węzłami źródłowym $i_k \in V_1$ i docelowym $j_k \in V_1$, oraz część szybkości łącz tworzących tę ścieżkę, która będzie przydzielona temu zadaniu na czas jego wykonania. W tym celu został sformułowany problem programowania całkowitoliczbowego mieszanego, w którym występują trzy typy zmiennych decyzyjnych:

x_{kt} – nieujemna zmienna określająca termin rozpoczęcia zadania k ;

y_{ij}^{lk} – zmienna binarna przyjmująca wartość 1 wtedy i tylko wtedy, gdy łącze $(i, j)_l$ między węzłami i oraz j jest użyte do transmisji danych zadania k , tj. stanowi część ścieżki (i_k, j_k) przydzielonej do przeprowadzenia transmisji danych między węzłami i_k oraz j_k ;

z_k – nieujemna zmienna określająca szybkość transmisji zadania k .

Model matematyczny problemu wygląda następująco:

Zminimalizować:

$$E = E_N + E_{BF} + E_{BV} + E_L \quad (1)$$

przy ograniczeniach:

$$\sum_{(i,j)_l \in E} y_{ij}^{lk} \geq 1 \quad k \in K \quad (2)$$

$$x_k \geq a_k \quad k \in K \quad (3)$$

$$x_k + \frac{D_k}{z_k} \leq d_k \quad k \in K \quad (4)$$

$$\sum_j \sum_l y_{ij}^{lk} - \sum_j \sum_l y_{ji}^{lk} = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } i = i_k \\ -1 & \text{jeśli } i = j_k \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^n \sum_{q=\max\{t, a_k\}}^{\min\{t+\frac{D_k}{z_k}, d_k\}} x_{kq} \cdot z_k \leq F_{ij}^l \quad \begin{matrix} (i, j)_l \in E_l \\ t = \left[0, \max_{k \in K}\{d_k\}\right] \end{matrix} \quad (6)$$

$$z_k \geq 0 \quad k \in K \quad (7)$$

$$y_{ij}^{lk} \in \{0,1\} \quad k \in K, (i,j)_l \in E_l \quad (8)$$

Ograniczenia (2) zapewniają, że każde zadanie zostanie uszeregowane. Nierówności (3) i (4) dotyczą okien czasowych zdefiniowanych dla każdego z zadań. Ograniczenia (3) gwarantują, że żadne z zadań nie rozpocznie się przed swoim terminem gotowości, a (4), że zakończy się przed linią krytyczną. Kolejna grupa ograniczeń (5) zapewnia, że dla każdego zadania zostanie zestawiona dokładnie jedna ścieżka pomiędzy węzłami źródłowym i docelowym. Nierówności (6) gwarantują, że dla każdego pojedynczego łącza przydzielonego do wykonania zadań ze zbioru K nie zostanie przekroczony jego limit szybkości. Ograniczenia (7) zapewniają nieujemne wartości dla zmiennych z_k . Natomiast ograniczenia (8) definiują binarny charakter zmiennych y_{ij}^{lk} .

Funkcja celu (1) minimalizująca całkowitą energię zużytą przez zasoby sieciowe w trakcie wykonywania zadań transmisji składa się z czterech części: E_N – energii zużytej przez bazowy element węzła w trybie aktywnym, E_L – energii zużytej przez wzmacniacze optyczne na łączach o długości powyżej 80 km podczas przesyłania przez te łącza plików danych związanych z odpowiednimi zadaniami transmisji, E_{BF} oraz E_{BV} – stała i zmienna część energii zużywanej przez karty i ich interfejsy sieciowe.

Oznaczmy przez P_N^m moc bazowego elementu węzła $m \in V_1$ znajdującego się w stanie aktywnym. Wówczas energia E_N^m zużywana przez ten element jest wyrażona iloczynem mocy i czasu τ_N^m , jaki rozważany element spędza w stanie aktywnym, tj. $E_N^m = P_N^m \cdot \tau_N^m$. Przypomnijmy, że x_k oznacza termin rozpoczęcia zadania $k \in K$. Jeśli przez c_k oznaczymy termin zakończenia zadania $k \in K$, ($a_k \leq x_k < c_k \leq d_k$), to możemy go wyznaczyć ze wzoru $c_k = x_k + D_k/z_k$, a w konsekwencji czas wykonania p_k tego zadania będzie obliczany jako $p_k = c_k - x_k = D_k/z_k$. Zatem, czas τ_N^m spędzony w stanie aktywnym przez bazowy element węzła może być wyznaczony jako różnica pomiędzy sumą czasów wykonania wszystkich zadań transmisji do/z tego węzła a sumą tych fragmentów czasu wykonania poszczególnych zadań, w których wykonują się one razem z innymi zadaniami, tj. części wspólnych przedziałów czasu, w których wykonywane są na tym węźle równocześnie co najmniej dwa zadania, co można wyrazić następującym wzorem:

$$\begin{aligned} \tau_N^m = & \sum_{k=1}^n \sum_j \sum_l y_{mj}^{lk} \cdot \frac{D_k}{z_k} \\ & - \sum_{q=1}^n \sum_{r=q+1}^n \sum_j \sum_i y_{mj}^{lk} \cdot \max\{0; \min\{c_q, c_r\} - \max\{x_q, x_r\}\} \end{aligned} \quad (9)$$

gdzie $(m,j) \in E_1$. Całkowita ilość energii zużyta przez wszystkie bazowe elementy węzła występujące w rozważanej sieci podczas wykonywania zadań ze zbioru K może być wyznaczona ze wzoru:

$$E_N = \sum_{m=1}^{|V_1|} P_N^m \cdot \tau_N^m \quad (10)$$

gdzie τ_N^m jest obliczane wg wzoru (9).

Wartość stałej składowej energii zużywanej przez karty znajdujące się w trybie aktywnym można obliczyć w podobny sposób. Niech P_{BF}^m będzie mocą karty $m \in V_2$ w stanie aktywnym. Wówczas czas τ_B^m , w którym karta znajduje się w tym stanie może być wyznaczony w sposób podobny do wcześniej przedstawionego w oparciu o wzór (9), gdzie $(m, j)_l \in E_2$. Wartość stałej składowej dla całej energii zużytej przez wszystkie karty może być obliczona wg następującego wzoru:

$$E_{BF} = \sum_{m=1}^{|V_2|} P_{BF}^m \cdot \tau_B^m \quad (11)$$

Jednym z praktycznych założeń tego modelu jest to, że wszystkie wzmacniacze optyczne rozmieszczone na łączach o długości powyżej 80 km są identyczne. Jeśli przez P_R oznaczymy moc pojedynczego wzmacniacza w stanie aktywnym, to sumaryczna moc łącza $(i, j)_l \in E_2$ jest równa $P_R \cdot \left\lfloor \frac{L_{ij}^l}{80} \right\rfloor$ a energia zużyta przez to łącze w trakcie wykonywania zadania $k \in K$ jest obliczana jako:

$$E_{Lk}^{ijl} = y_{ij}^{lk} \cdot P_R \cdot \left\lfloor \frac{L_{ij}^l}{80} \right\rfloor \cdot \frac{D_k}{z_k} \quad (12)$$

a zużyta podczas wykonywania wszystkich zadań ze zbioru K , do których to łącze zostało przydzielone jako:

$$E_L^{ijl} = \sum_{k=1}^n y_{ij}^{lk} \cdot P_R \cdot \left\lfloor \frac{L_{ij}^l}{80} \right\rfloor \cdot \tau_L^{ijl} \quad (13)$$

gdzie τ_L^{ijl} oznacza czas stanu aktywnego łącza $(i, j)_l \in E_1$ i jest wyznaczany w sposób podobny do tego wyrażonego wzorem (9). Sumaryczna ilość energii zużyta przez wszystkie wzmacniacze optyczne podczas wykonywania rozważanego zbioru zadań transmisji będzie zatem równa:

$$E_L = \sum_{(i,j)_l \in E} \sum_{k=1}^n y_{ij}^{lk} \cdot P_R \cdot \left\lfloor \frac{L_{ij}^l}{80} \right\rfloor \cdot \tau_L^{ijl} \quad (14)$$

Ostatnim składnikiem funkcji celu jest składowa zmienna E_{BV} energii zużywanej przez kartę i jej interfejsy. Dla danego zadania $k \in K$, dla którego jeden interfejs m tej karty został przydzielony do tego zadania wartość zużytej energii można wyznaczyć ze wzoru:

$$E_{BV}^{mk} = \sum_j \sum_i y_{mj}^{lk} \cdot \gamma_m \cdot z_k \cdot p_k = \sum_j \sum_i y_{mj}^{lk} \cdot \gamma_m \cdot D_k \quad (15)$$

gdzie γ_m jest współczynnikiem mocy interfejsu m przypadającej na jednostkę danych i jednostkę czasu. Sumaryczna wartość zmiennej składowej energii konsumowanej przez interfejs m podczas wykonywania całego zbioru zadań K jest równa:

$$E_{BV}^m = \sum_{k=1}^n \sum_j \sum_l y_{mj}^{lk} \cdot \gamma_m \cdot D_k \quad (16)$$

a dla wszystkich interfejsów wynosi:

$$E_{BV}^m = \sum_{m=1}^{|V_1|} \sum_{k=1}^n \sum_j \sum_l y_{mj}^{lk} \cdot \gamma_m \cdot D_k \quad (17)$$

4. Podsumowanie

Współczesny sprzęt sieciowy pozwala na elastyczne konfigurowanie i zarządzanie siecią. Dzięki temu możliwe jest sterowanie ruchem sieciowym w taki sposób, by zoptymalizować wartość kryterium wybranego przez właściciela zasobów. Do kryteriów, które w ostatnich latach nabrały dużego znaczenia, należą niewątpliwie kryteria związane z energetyczną efektywnością użytych zasobów. Zaproponowany model odzwierciedla punkt widzenia właściciela zasobów sieciowych, którego celem jest minimalizacja ilości energii zużytej przez zasoby sieciowe. Mnogość różnorodnych urządzeń sieciowych tworzących strukturę współczesnych sieci komputerowych, z których każde posiada własną charakterystykę energetyczną, sprawia, że sformułowanie problemu programowania matematycznego, nawet przyjmując pewne założenia upraszczające, jest skomplikowanym zadaniem. Przedstawiony w pracy model jest jednym z wyników prowadzonych obecnie badań. Kolejnym etapem jest jego weryfikacja w oparciu o rozbudowany eksperyment obliczeniowy i opracowanie efektywnych podejść heurystycznych, jeśli okaże się, że obliczenia przy użyciu solwera są zbyt czasochłonne. Przeprowadzone wstępnie eksperymenty wykazują, że dla niewielkich rozmiarów sieci, jak i zbioru zadań, znajdowanie rozwiązania optymalnego przy użyciu solwera Gurobi [4] nie zajmuje zbyt wiele czasu. Otrzymane wyniki pokazują, że wygenerowane w ten sposób uszeregowania można praktycznie podzielić na dwie grupy. Do pierwszej, liczniejszej grupy zaliczają się te uszeregowania, w których wszystkie zadania transmisji wykonywane są sekwencyjnie z maksymalną możliwą szybkością transmisji. Wydaje się to być zrozumiałe, jeżeli weźmiemy pod uwagę fakt, że po wykonaniu zadania zasób można wyłączyć. Rzadziej występują uszeregowania z drugiej grupy, gdzie część zadań wykonuje się równoległe, a każde z nich ma przydzieloną tylko część szybkości łącza. Z sytuacją taką mamy do czynienia, gdy co najmniej dwa zadania ubiegają się o to same łącze w pewnym przedziale czasu i nie jest możliwe wykonanie ich w sposób sekwencyjny. W takich przypadkach brak skalowalności zadań sprawia, że czasami równoległe wykonywanie propaguje się na kolejne zadania.

Podziękowania

Niniejsza praca jest częścią projektu sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki, przyznanych na podstawie decyzji nr DEC-2013/08/A/ST6/00296.

LITERATURA

1. Celenlioglu M.R., Goger S.B., Mantar H.A.: An SDN-based energy-aware routing model for intra-domain networks, Proceedings 22nd International Conference on Computer Networks, 2014, p. 61–66.
2. Faizul Bari M., Boutaba R., Esteves R., Granvilley L., Podlesny M., Rabbani M, Zhang Q., Zhani M.: Data Center Network Virtualization: A Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, Vol. 15, p. 909-928.
3. Mika M., Waligóra G., Węglarz J.: Modelling and solving grid resource allocation problem with network resources for workflow applications, Journal of Scheduling, 2011, Vol. 14, p. 291–306.
4. <http://www.gurobi.com/>