

**Radosław Myśliński\*****Radosław Schoeneich\*\***

Politechnika Warszawska

**KIEROWANIE I PRZENOSZENIE WIADOMOŚCI  
PRZEZ STATKI POWIETRZNE  
W NIESPÓJNYCH SIECIACH DTN  
OPIERAJĄC SIĘ NA INFORMACJACH O TRASIE LOTU**

**Streszczenie**

W artykule przedstawiono koncepcję protokołu routingu dla niespójnej, bezprzewodowej sieci DTN. Sieci DTN wykorzystują paradygmat składowania – przenoszenia i przekazywania wiadomości przy wykorzystaniu mobilnych węzłów-nośników. Zaproponowane rozwiązanie przeznaczone jest do działania w środowisku, gdzie rolę węzłów przenoszących wiadomości pełnią statki powietrzne. W rozwiązaniu przewidziano brak standardowych możliwości komunikacji oraz wykorzystanie predefiniowanych informacji o trasie i czasie przemieszczania się statków powietrznych, tzw. planach lotu.

**Słowa kluczowe:** sieci ad-hoc, sieci DTN, protokół routingu, przenoszenie informacji

---

\* Adres e-mail: [rmyslinski@stud.elka.pw.edu.pl](mailto:rmyslinski@stud.elka.pw.edu.pl).

\*\* Adres e-mail: [rschoeneich@tele.pw.edu.pl](mailto:rschoeneich@tele.pw.edu.pl).

## Wprowadzenie

Zastosowanie bezprzewodowych sieci *ad-hoc* staje się w ostatnich latach coraz bardziej popularne. Aplikacje sieci spójnych uzupełniane są przez nową grupę, mobilne sieci DTN (Delay and Disruptive Tolerant Network) (Cerf, Burleigh i in., 2007; Farrell i Cahill, 2006).

Bezprzewodowe niespójne sieci DTN są sieciami, w których może występować czasowy lub stały brak możliwości utworzenia jednej spójnej ścieżki pomiędzy węzłem źródłowym – wysyłającym wiadomość, a węzłem docelowym – odbiorcą wiadomości. Pomiedzy odseparowanymi fizycznie częściami sieci funkcje komunikacyjne mogą być realizowane poprzez fizyczne przeniesienie wiadomości przez mobilne węzły pośredniczące. Cecha ta jest źródłem nazwy sieci, gdyż – w porównaniu z klasycznymi sieciami spójnymi – powoduje również wydłużenie czasu dostarczenia wiadomości. Taka strategia dostarczania wiadomości nazywana jest paradygmatem składowania-przenoszenia-i-przekazywania (*store-carry-and-forward*), a węzły przenoszące nazywane są węzłami-nośnikami (*message carry, message mule*).

Z uwagi na cechy sieci DTN stosuje się je w środowiskach charakteryzujących się brakiem dostępu do infrastruktury telekomunikacyjnej, na terenach słabo zurbanizowanych, o małej dostępności oraz w przestrzeni kosmicznej (Interplanetarny Internet). Klasycznymi zastosowaniami sieci DTN są również zastosowania militarne oraz ratownictwo (Search and Rescue).

Charakterystycznym środowiskiem, w którym można stosować sieci DTN jest lotnictwo. Spełnia ono wszystkie cechy właściwe sieciom DTN, wśród których znajdziemy: wysoką mobilność węzłów-nośników lub czasowy brak możliwości komunikacji z ziemią (a więc niespójność sieci). Zastosowanie sieci DTN jest możliwe zarówno dla nisko lecących załogowych statków powietrznych, jak i pojazdów bezzałogowych.

W artykule przedstawiono pomysł algorytmu routingu dostosowanego do specyfiki lotnictwa. Rozwiązanie posiada cechy tzw. routingu geograficznego, w związku z wykorzystywaniem informacji o przemieszczeniu się w przestrzeni. Algorytm oparty jest na informacjach o locie znanych przed planowanym lotem. Informacje takie są powszechnie stosowaną elementarną procedurą, określaną jako Plan Lotu. Plan Lotu to specyficzny zbiór danych zawierający informacje, które mogą być wykorzystane do określenia lokalizacji w funkcji czasu, w tym

m.in. czas odblokowania planu – rozpoczęcia lotu, prędkość statku powietrznego, trasa lotu wraz z planowaną wysokością.

Na początku zanalizowano stan wiedzy dotyczący protokołów routingu dla sieci DTN, a następnie opisano pomysł oraz ważne szczegóły projektu.

## **Stan wiedzy**

Protokoły routingu dla sieci ad-hoc mogą być podzielone na dwie podstawowe grupy: protokoły przeznaczone do pracy w sieciach spójnych oraz protokoły dla sieci niespójnych.

Dla sieci spójnych najprostszym podejściem jest zalewanie sieci pakietami (flooding) (Paruchuri, Durresi, Dash i Jain). Rozwiązanie to charakteryzuje się dużą skutecznością dostarczania wiadomości do adresatów, natomiast obciążone jest również bardzo dużym kosztem rozwiązania – dużą liczbą takich samych rozesłanych wiadomości, a więc nadmiarowością, co w wielu zastosowaniach stanowi wadę. Aby zredukować nadmiarowość, możliwe jest zaproponowanie różnych złożonych strategii kierowania wiadomości. Pierwszym sposobem jest oparcie rozwiązania na wiedzy o topologii sieci, która jest utrzymywana przez cały czas stosowania rozwiązania – są to rozwiązania proaktywne. Drugim sposobem jest pozyskiwanie ograniczonej wiedzy na potrzeby konkretnego przesłania wiadomości do węzła docelowego, a więc reaktywnego pozyskiwania informacji routingowych. Do protokołów z grupy proaktywnych należą między innymi: FSR (Gerla, Hong i Pei, 2002), DSDV (Perkins, 1996), OLSR (Clausen i Jacquet,). Natomiast klasycznymi protokołami reaktywnymi są DSR (Johnson, Hu i Maltz, 2007), AODV (Perkins, 2003), LAR (Young-Bae i Vaidya, 2000). Protokoły proaktywne z założenia opierają się na znajomości ścieżek do wszystkich dostępnych węzłów. Na podstawie wymiany informacji między węzłami wyznaczane są ścieżki dla pakietów, a w momencie przesyłania pakietu wybierają najkrótszą z nich. Należy zaznaczyć, że parametry wyboru najlepszej ścieżki zależą od konkretnego protokołu.

Szczególną grupą wśród protokołów proaktywnych są protokoły routingu wykorzystujące informacje geograficzne. Rozwiązania takie oparte są na danych na temat lokalizacji urządzeń, na rzecz których działają. Podstawowymi protokołami geograficznymi są: GRID (Liao i Sheu, 2001), Location-Aided Routing (Young-

-Bae i Vaidya, 2000), GPS Ant-likes Routing Algorithm (Camara i Loureiro, 2000), Greedy Perimeter Stateless Routing (Karp i Kung, 2000).

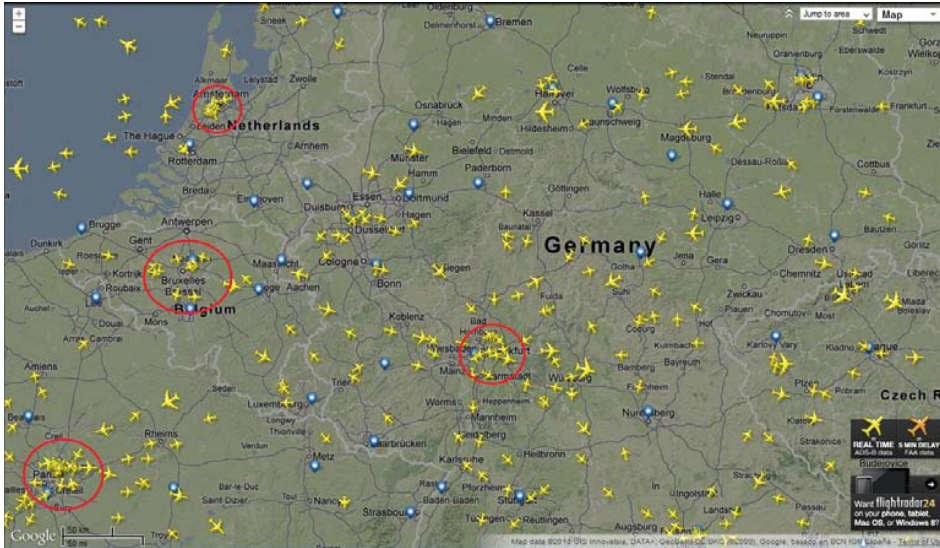
Przedstawione powyżej algorytmy są rozwiązaniami klasycznymi, nie uwzględniają specyfiki niektórych środowisk pracy urządzeń, w tym charakterystycznego środowiska związanego z lotnictwem.

### **Algorytm kierowania wiadomości. Cechy ruchu statków powietrznych**

Właściwe określenie cech charakterystycznych jest istotne dla zaproponowania specjalizowanego rozwiązania. Pierwszym z charakterystycznych elementów jest podział ze względu na rodzaj ruchu urządzeń-węzłów mobilnych. W ruchu lotniczym typowe są dwa rodzaje obiektów – obiekty ruchome (tj. statki powietrzne) oraz obiekty nieruchome (tj. lotniska). W większości przypadków obiekty ruchome (statki powietrzne) wykorzystują lotniska do startów i lądowań, co wyznacza stałe punkty trasy. Dodatkowo, przy założeniu zaplanowanych lotów statków powietrznych, możliwe jest przewidywanie kierunków przemieszczania się węzłów mobilnych (samolotów), a zatem wykorzystanie takiego ruchu do fizycznego przenoszenia informacji. Z uwagi na stałe punkty źródłowe i docelowe na danej trasie (lotniska), pomimo wielu ewentualnych dróg w przestrzeni, możliwe jest dostarczanie wiadomości przez przeniesienie i wieloskokowe przekazanie jej w kierunku węzła docelowego.

Kolejną cechą charakterystyczną jest prawdopodobieństwo napotkania węzła i możliwość przekazania wiadomości. Na rys. 1 przedstawiono rzeczywiste położenie samolotów w konkretnej chwili nad częścią Europy, które zaobserwowano za pomocą narzędzia [flightradar24.com](http://flightradar24.com). Widoczne jest, że największe zagęszczenia statków powietrznych występuje w pobliżu lotnisk. W związku z tym, największe prawdopodobieństwo wymiany wiadomości istnieje w tych okolicach. Stąd też założenie, że w celu usprawnienia wymiany wiadomości między węzłami mobilnymi, można wykorzystać węzły stacjonarne, jakimi są lotniska. Węzły o takiej koncentracji – a więc zwiększonej możliwości przekazywania wiadomości – nazywane są w sieciach DTN węzłami-hubami. Węzły, poza brakiem mobilności, posiadają taką samą funkcjonalność jak inne węzły i umożliwiają przekazanie wiadomości nawet do węzłów-samolotów, po dłuższym czasie zostawienia wiadomości przez węzeł ją przekazujący. W praktyce zastosowanie węzłów stacjonarnych zwiększa możliwość wieloskokowego dostarczania wia-

domości poprzez składowanie wiadomości w celu przekazania ich do kolejnych węzłów mobilnych.



Rys. 1. Mapa położenia samolotów koło godziny 15 w dzień powszedni

Źródło: [www.flightradar24.com](http://www.flightradar24.com).

Charakterystyczną cechą jest to, że w sieci złożonej ze węzłów-statków powietrznych oraz lotnisk, wiadomości transportowane są na duże odległości, przy niewielkiej liczbie retransmisji między węzłami.

Podstawowym problemem, z którym muszą sobie poradzić protokoły routingu w sieciach DTN jest niskie prawdopodobieństwo dostarczenia pakietu. W przypadku tworzonej sieci dodatkowymi trudnościami jest mały zasięg urządzeń radiowych w porównaniu do obszaru, po jakim poruszają się węzły mobilne (statki powietrzne). Powoduje to bardzo małą szansę na wymianę danych w powietrzu, co spowodowane jest wymaganymi separacjami między statkami powietrznymi, które muszą zachować określone minimalne odległości między sobą. Ze względu na procedury separacji szansa na spotkanie się z odpowiednim węzłem mobilnym (samolotem) jest niewielka, dodatkowo ograniczona jest przez możliwości komunikacyjne interfejsu radiowego. Stąd też, wykorzystanie węzłów stacjonarnych (lotnisk), które posiadają możliwość gromadzenia danych

jest pożądane i znacznie rozszerza możliwości wyboru odpowiednich ścieżek, a co za tym idzie zwiększa prawdopodobieństwo dostarczenia pakietu do celu.



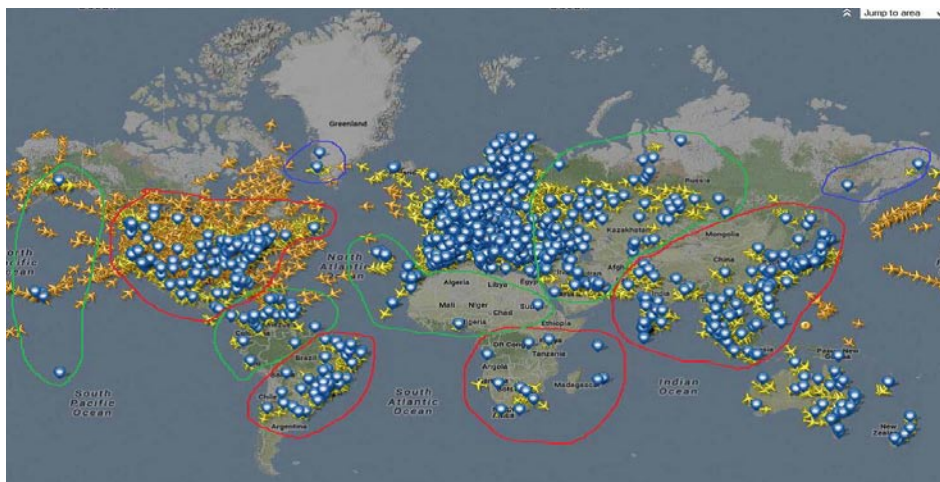
Rys. 2. Droga przenoszonej wiadomości między kontynentami

Źródło: [www.flightradar24.com](http://www.flightradar24.com).

Kolejną cechą jest możliwość wykorzystania dla jednej wiadomości kilku prowadzących do celu ścieżek. W takim przypadku konieczne jest stworzenie wielu kopii wiadomości. Liczba kopii zazwyczaj jest znacznie mniejsza, niż liczba niezbędna przy przekazywaniu wiadomości za pomocą algorytmów opartych na zalewaniu sieci. Niniejsza cecha może być pomocna, gdy wykorzystane zostaną węzły nośniki – statki powietrzne, przemieszczające się w podobnych kierunkach do różnych węzłów statycznych – lotnisk, ale zlokalizowanych na podobnym obszarze. Cecha ta została przedstawiona na rys. 2 oraz 3. Na rys. 2 zobrazowano przemieszczenie wiadomości pomiędzy kontynentami do różnych punktów docelowych (na przykładzie między punktem A – Nowy Jork a różnymi punktami w Europie), natomiast na rys. 3 przedstawiono przemieszczenie wiadomości między różnymi punktami w Europie a odbiorcą wiadomości punktem B – Warszawa.







Rys. 4. Przykładowy podział kontynentów na strefy

Źródło: [www.flightradar24.com](http://www.flightradar24.com).

Dla ruchu statków charakterystyczną cechą jest klastryzacja w obrębie kontynentu (rys. 4). Kontynenty, takie jak Afryka czy Azja mają bardzo duże powierzchnie, na których lotniska występują stosunkowo rzadko. W takim przypadku może dochodzić do wysyłania pakietu na bardzo duże odległości w przeciwnym kierunku, niż jest to przydatne. Rozwiązaniem może być podzielenie kontynentów na strefy, w których lotniska znajdują się w mniejszych odległościach. Strefy nie mogą być zbyt małe, ponieważ znacznie ograniczą ilość możliwych ścieżek dla wiadomości. Maksymalny podział, jaki znacznie zmniejszy odległości między lotniskami w jednej strefie, ale nie będzie miał bardzo dużego wpływu na ilość możliwych dróg – to dwie, bądź trzy strefy na kontynent. Takiego podziału nie wymagają mniejsze kontynenty np. Europa czy Australia, na których zagęszczenie lotnisk jest stosunkowo duże.

### **Dedykowany algorytm kierowania wiadomości**

#### **Wymiana informacji o wiadomościach między zainteresowanymi węzłami**

W celu rozpoznania otoczenia węzła potrzebny jest mechanizm pozyskiwania informacji o sąsiedztwie. W związku z tym tworzone są i przesyłane do sąsiadujących węzłów wiadomości. Aby zapewnić dostarczenie wiadomości do



sąsiadów, gdy w zasięgu jednego urządzenia znajduje się kilka węzłów, wymiana pakietów musi zostać nawiązana z każdym węzłem osobno. Należy przyjąć, że każde z urządzeń będzie przekazywało inne informacje podczas wymiany. Założono, że pakiet „Hello” jest triggerem do wymiany informacji. W czasie pomiędzy kolejnymi nadaniami tego komunikatu, zawartość pamięci danego węzła mogła ulec zmianie.

Dla poprawnego działania protokołu założono, że każdy węzeł rozsyła periodycznie pakiet „Hello”. W pakiecie tym zawarte są informacje na temat zaplanowanego lotu danego węzła. Na podstawie informacji zawartych w wiadomościach „Hello”, możliwe jest podejmowanie decyzji routinguowych. Decyzja zapada w węźle, który odebrał paczkę danych. Zawarte w niej informacje to m.in. kontynent, państwo oraz konkretne lotnisko, w kierunku którego zmierza dany statek powietrzny. W przypadku węzłów statycznych, czyli lotnisk, wszystkie te informacje posiadają wartość, która odpowiada za możliwość dalszego wysłania pakietu w dowolne miejsce na ziemi. Dzięki temu zabiegowi, lotniska mogą odebrać wszystkie pakiety, jakie zostaną do nich dostarczone.

W odpowiedzi na wiadomość „Hello”, wysyłana jest wiadomość żądania „Request”. Zawiera ona listę pakietów, jednoznacznie określonych za pomocą adresu przeznaczenia oraz numeru sekwencyjnego. Na liście znajdują się tylko te pakiety, które zostały wyznaczone przez algorytm decyzyjny, czyli te, dla których urządzenie odbierające listę może być węzłem pośredniczącym w transmisji danych. Taka lista przesyłana jest w celu sprawdzenia, czy docelowy węzeł nie posiada już kopii wiadomości.

## **Przekazanie paczek danych**

Po opisanej powyżej fazie ustalenia zainteresowania paczkami wiadomości, następuje faza dostarczania paczek danych. We wcześniejszej wymianie wiadomości routinguowych wysyłane były tylko informacje jednoznacznie określające pewne sekwencje bitowe. Zgodnie z otrzymaną listą, znajdującą się w wiadomościach „Request”, węzeł przeszukuje swoją pamięć i wysyła kolejne pakiety do węzła, z którym koresponduje. Odebrane pakiety są odpowiednio modyfikowane. Z nagłówek uzyskiwane są informacje w celu jednoznacznej identyfikacji przy ich przekazywaniu kolejnym węzłom pośredniczącym, bądź do węzła docelowego. Wykonywane jest to przy odbiorze danej paczki, aby zmniejszyć

ilość powtórzeń tej czynności przy każdym poszukiwaniu pakietów, będących kandydatami do przekazania kolejnemu węzłowi.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję algorytmu routingu w sieciach DTN, wykorzystujących specyfikę ruchu statków powietrznych. W założeniach proponowanego rozwiązania omówiono i wykorzystano cechy mobilności węzłowośników, jakimi są statki powietrzne (samoloty) oraz węzły komunikacyjne (lotniska). Zaproponowane rozwiązanie wykorzystuje w szczególności periodyczność przemieszczania się statków powietrznych oraz przewidywalność tras ruchu. W artykule omówiono podstawowe cechy zaproponowanego rozwiązania wraz z konsekwencjami podjętych decyzji projektowych.

## Bibliografia

- Camara D., Loureiro A. (2001), *GPS/Ant-Like Routing in Ad Hoc Networks*, „Telecommunication Systems”, no. 18, s. 85–100.
- Cerf V., Burleigh S., Hooke A., Torgerson L., Durst R., Scott K., Fall K., Weiss H. (2007), *RFC 4838 Delay-Tolerant Networking Architecture*.
- Clausen T., Jacquet P. (2003), *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)*.
- Farrell S., Cahill V. (2006), *Delay-and Disruption-Tolerant Networking*, „Artech House”, no. 9.
- Gerla M., Hong X., Pei G., (2002), *Fisheye State Routing Protocol (FSR) for Ad Hoc Networks*.
- Johnson D., Hu Y., Maltz D. (2007), *RFC 4728, The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile ad-hoc Networks for IPv4*.
- Karp B., Kung H.T. (2000), *GPSR: GreedyPerimeterStateless Routing fo Wireless Networks*, MobiCom.
- Liao W.H., Sheu J. P. (2001), *GRID: A FullyLocation-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks*, „Telecommunication Systems”, vol. 18, no. 1–3, s. 37–60.
- Paruchuri V., Durrresi A., Dash D., Jain R., *Optimal Flooding Protocol for Routing in Ad-hoc Networks*, [www.cse.wustl.edu/~jain/papers/ftp/flooding.pdf](http://www.cse.wustl.edu/~jain/papers/ftp/flooding.pdf) (27.07.2015).
- Perkins C. (2006), *Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Protocol*.

Perkins C., Belding-Royer E., Das S. (2003), *RFC 3561, Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*.

Young-Bae K., Vaidya N. (2000), *Location-Aided Routing (LAR) in mobile ad hoc networks*, „Wireless Networks”, no. 6, s. 307–321.

www.filhtradar24.com (27.07.2015).

## **MESSAGE ROUTING BASED ON INFORMATION ABOUT FLIGHT ROUTES FOR DELAY TOLLERANT NETWORKS**

### **Summary**

The paper presents routing protocol designed for wireless Delay and Disruptive Tollerant Networks (DTN). The DTN network uses the storage-carry-forward paradigm for message delivery to the destination nodes using mobile message ferries. The proposed solution is designed to operate in a specific environment, where aircrafts are playing the role of message carriers. For the algorithm purpose, we assume the use of pre-defined information about the routes and time of airplanes movement, so-called flight plans. Additionally we assume no other communication possibilities.

*Translated by Radosław Schoeneich, Radosław Myśliński*

**Keywords:** ad-hoc networks, DTN networks, routing protocol, message ferrying

