

Streszczenie

W niniejszej dysertacji doktorskiej badam dwie strategie losowego dostępu do kanału komunikacyjnego podzielonego na sloty (ang. *slotted random-access channel*). Strategie te dotyczą problemu ograniczonej czasowo synchronizacji sieci ad hoc. Synchronizacja ta jest rozumiana jako odebranie wiadomości kontrolnych od każdego z agentów w sieci. Agenci działają niezależnie; nie wiedząc o sobie nic z wyprzedzeniem tworzą dynamicznie sieć ad hoc poprzez dostęp do wspólnego kanału komunikacyjnego.

Wyzwanie stanowi fakt, że synchronizacja agentów wyzwolona jest jednocześnie dla całej sieci oraz musi nastąpić w ograniczonym czasie. Standardowe techniki rozwiązywania kolizji, takie jak wycofanie (ang. *backoff*), nie są w tym przypadku użyteczne. Przeciwnie, każdy agent powinien podejmować wielokrotną próbę transmisji swojej wiadomości w różnych dostępnych slotach z nadzieją na co najmniej jedną bezkolizyjną transmisję. Najważniejsze zastosowania jakim odpowiada omawiany schemat komunikacji dotyczą koordynacji ruchu (adaptacyjne światła drogowe), roju dronów oraz rozproszonej sieci sensorów (zwłaszcza sensorów o przerywanym trybie pracy). Powodzenie zadań realizowanych przez powyższe systemy ściśle zależy od sukcesu synchronizacji sieci, następującego w zadanym czasie.

Badania bazują przede wszystkim na analizie charakterystyki dwóch proponowanych strategii losowego dostępu do kanału komunikacyjnego. W pracy definiuję abstrakcyjny model komunikacji, w którym ograniczenie czasowe zrealizowane jest poprzez rundę komunikacji złożoną z ustalonej, skończonej liczby n slotów. Zakładam przy tym, że jeżeli dwóch agentów transmituje w tym samym slotcie, następuje kolizja i żadna z wysłanych wiadomości nie może być odczytana. Nadrzędnym celem komunikacji jest to aby każdy agent sieci co najmniej raz nadał swoją wiadomość bezkolizyjnie.

Pierwszą zaproponowaną strategią są Próby Bernoullego (BT). To domyślne podejście w którym każdy z agentów transmituje w każdym z dostępnych slotów rundy komunikacji ze zdefiniowanym wcześniej prawdopodobieństwem $p \in [0, 1]$. Drugą zaproponowaną strategią jest t -SLOTS, w której każdy z agentów wybiera losowo t spośród n dostępnych slotów rundy komunikacji i to w nich podejmuje transmisję swojej wiadomości. Przy tym $t \in \{1, 2, \dots, n\}$ jest parametrem ustalonym z wyprzedzeniem.

Postawiłem następującą hipotezę badawczą: strategia t -SLOTS ma lepsze właściwości niż strategia BT. Hipoteza ta jest dowiedziona w dwóch fazach.



W pierwszej fazie analizuję rygorystyczne zagadnienie w którym każdy agent musi mieć co najmniej jedną bezkolizyjną transmisję w rundzie komunikacji. W drugiej fazie badam uogólniony przypadek w którym nie więcej niż f agentom nie udaje się nadać wiadomości ze względu na kolizje z innymi nadającymi agentami. Wykazuję przewagę t -SLOTS nad BT objawiającą się wyższym prawdopodobieństwem poprawnej synchronizacji oraz mniejszą oczekiwaną liczbą podejmowanych transmisji w optymalnym przypadku. Dla obu faz prezentuję optymalne ustawienia parametrów obu strategii, maksymalizujące prawdopodobieństwo poprawnej synchronizacji. Wartości te mogłem wywnioskować bazując na analitycznych formułach na prawdopodobieństwo synchronizacji wprowadzonych dla obu strategii. W złożonym przypadku, dopuszczającym występowanie ograniczonej liczby agentów którym nie udało się nadać wiadomości, konieczne było zastosowanie przeze mnie narzędzi kombinatoryki analitycznej.

Formuły wyprowadzone dla strategii BT oraz t -SLOTS pozwoliły mi na kompleksowe porównanie obu analizowanych strategii. Przypadki które analizowałem łączyły rezultaty matematyczne oraz wyniki przeprowadzonych przeze mnie testów statystycznych. Przy tym wyniki obliczeniowe dla prawdopodobieństwa udanej synchronizacji są całkowicie zgodne z wynikami testów statystycznych.

Osobno dla rygorystycznego przypadku całkowitej synchronizacji oraz dla uogólnionego przypadku częściowej synchronizacji porównuję obie strategie pod kątem prawdopodobieństwa osiągnięcia synchronizacji, odporności na nieoptymalną konfigurację p oraz t , właściwości ich algorytmów, zużycia energii oraz skalowalności. Zebrane wyniki potwierdzają hipotezę badawczą.

Implementacje wyprowadzonych formuł prawdopodobieństwa synchronizacji strategii BT oraz t -SLOTS opublikowane są jako biblioteka języka Python, wraz z danymi przeprowadzonych eksperymentów oraz narzędziem do symulacji i automatyzacji testów statystycznych dla wybranego zagadnienia.

Keywords — mobilne sieci ad hoc, inicjalizacja sieci ad hoc, synchronizacja sieci, systemy koordynacji, kontrola ruchu, roje dronów, współdzielony dostęp do kanału, kanały dostępu losowego, kanały komunikacyjne z podziałem na sloty, systemy czasu rzeczywistego

