

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Kwantowe technologie w zarządzaniu przestrzenią powietrzną

Mariusz Zieja¹, Paweł Golda¹, Justyna Tomaszewska¹, Szymon Świergolik¹, Paweł Dygnatowski¹

¹Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
email: mariusz.zieja@itwl.pl

STRESZCZENIE: Celem badań jest sprawdzenie, w jakim stopniu udoskonalenie istniejących systemów ATM za pomocą algorytmów kwantowych mogłoby umożliwić opracowanie wariantowo- optymalnych planów/harmonogramów w czasie rzeczywistym, w odpowiedzi na dynamiczne zmiany w przestrzeni powietrznej przy uwzględnieniu określonych zadanych parametrów, ograniczeń i potencjalnie wielu kryteriów oceny rozwiązania. Dodatkowo, ze względu na przeznaczenie systemu w tym charakter gromadzonych i przetwarzanych danych drugim głównym celem badań jest zabezpieczenie opracowywanych w ramach projektu rozwiązań poprzez wykorzystanie technologii komunikacji kwantowej a w szczególności kwantowej dystrybucji klucza (ang. Quantum Key Distribution) do bezpiecznej transmisji wymienianych danych. W ramach badań opracowane i zweryfikowane zostaną kluczowe założenia do budowy systemów ATM nowej generacji z wykorzystaniem technologii kwantowych.

SŁOWA KLUCZOWE: technologie kwantowe, zarządzanie ruchem lotniczym, optymalizacja

1. Przedmiot badań

Aktualne podejścia mające na celu minimalizację kluczowych czynników planu (np. czasu, kosztów) lub maksymalizację innych środków (np. przepustowości) w przestrzeni powietrznej posiadają znaczące wady i ograniczenia. W miarę zwiększania się złożoności problemu tradycyjna moc obliczeniowa staje się nie tylko nadmiernie kosztowna, ale i zbyt długo trwa obliczanie rozwiązań, nawet w przypadku zastosowania superkomputerów. Większość (komercyjnych) podejść do rozwiązywania dużych problemów związanych z systemami ATM bazuje na:

- poszukiwaniu "wykonalnych" rozwiązań i ręczny wybór preferowanych rozwiązań (podatność na błędy ludzkie),
- opracowaniu heurystyki w celu znalezienia rozwiązań niekoniecznie optymalnych (często brakuje dobrych rozwiązań).

2. Metodyka badań

Opracowanie wymagań funkcjonalnych i architektury systemu wykorzystującego klasyczne metody przetwarzania danych i systemu wykorzystującego technologie kwantowe do wspomaganie zarządzania ruchem lotniczym.

Formuła badań zakłada weryfikację, czy określone wstępnie użycie technologii kwantowych oraz optymalizacje w zakresie reguł kontroli ruchu lotniczego pozwolą na uzyskanie przewagi względem obecnych rozwiązań ATM.

Wymagania, na podstawie których zostanie przygotowany Symulator QATM, można podzielić na pięć podstawowych grup:

1. wymagania formalne dla symulatora QATM zdefiniowane we wniosku badawczym,

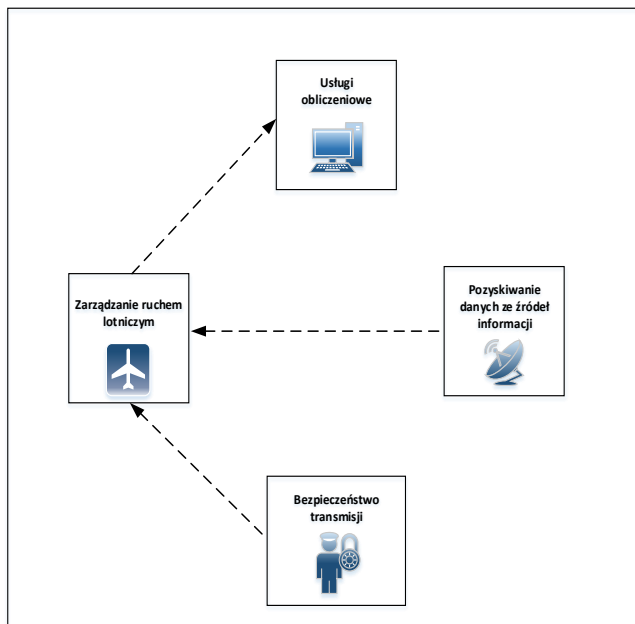
2. wymagania funkcjonalne dla symulatora QATM, które definiują oczekiwaną standardową funkcjonalność symulatora stanowiska kontroli ruchu lotniczego ATM,
3. wymagania proceduralne dla symulatora QATM, które określają zakres oraz charakter wymaganych zmian oraz optymalizacji w obecnych procedurach kontroli ruchu lotniczego, w wyniku których możliwe zostanie wykorzystanie technologii kwantowych,
4. wymagania technologiczne dla symulatora QATM, które na zbiór wymagań dla symulatora ATM nakładają elementy związane z zastosowaniem technologii kwantowych,
5. wymagania metodologiczne dla symulatora QATM, na podstawie których możliwe będzie wypracowanie metody porównania rezultatów zastosowania technologii klasycznych oraz kwantowych.

Po zakończeniu projektu badawczego, w przypadku udowodnienia przewagi rozwiązania kwantowego nad klasycznym, zbiór powyższych wymagań będzie stanowił podstawę do opracowania zbioru docelowych wymagań dla Symulatora QATM.

3. Przebieg i wyniki badań

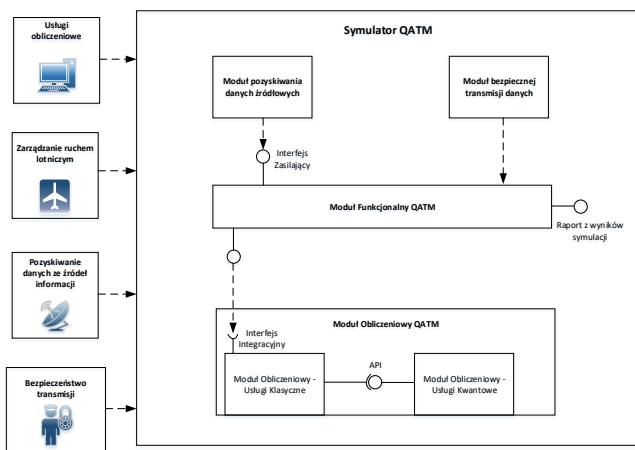
Na etapie pracy nad architekturą logiczną Symulatora QATM zostały podjęte następujące decyzje:

- wyodrębniono logiczne komponenty odpowiedzialne za realizację funkcji podstawowych,



Rys. 1. Podstawowe zdolności Symulatora QATM

- wyodrębniono logiczne komponenty odpowiedzialne za realizację usług obliczeniowych w technologii klasycznej oraz kwantowej,
- zweryfikowano możliwość wykorzystania gotowych produktów na potrzeby realizacji funkcji Zarządzania ruchem lotniczym,
- zidentyfikowano logiczne interfejsy pomiędzy komponentami systemu, szczególnie w przypadku komponentu realizującego funkcję zarządzania ruchem lotniczym.



Rys. 2. Podstawowe komponenty Symulatora QATM

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz, można wysnuć następujące wnioski:

- 1) Zastosowanie technologii kwantowych w zarządzaniu ruchem lotniczym daje realną szansę na jego optymalizację, a co za tym idzie, poprawę poziomu bezpieczeństwa wykonywanych operacji.
- 2) Optymalizację zarządzania ruchem lotniczym z wykorzystaniem technologii kwantowych można przeprowadzić względem różnych funkcji celu, między innymi:

- optymalizacji kosztów,
 - optymalizacji czasu.
- 3) Na chwilę obecną, najbardziej obiecującym koncernem zdolnym do przeprowadzenia symulacji optymalizacji zarządzania ruchem lotniczym z wykorzystaniem technologii kwantowych jest firma D-wave. Powodowane jest to między innymi konkurencyjnie dużą liczbę kubitów w dostępnych maszynach, ale również zaimplementowanym do maszyn, optymalnym algorytmem wyznaczania kwantowego.
 - 4) Kwantowe rozwiązanie problemu związanego z zarządzaniem ruchem lotniczym, pomimo swoich ograniczeń jest obiecującą metodą, która w przyszłości może znacząco przyczynić się do wzrostu poziomu bezpieczeństwa wykonywanych operacji lotniczych.

Praca została wykonana w ramach programu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – Rozwój nowoczesnych, przełomowych technologii służących bezpieczeństwu i obronności państwa” pod kryptonimem „SZAFIR” – Konkurs nr 1/SZAFIR/2020.

Literatura

- [1] Gołda, P., Zawisza, T., Izdebski, M.: Evaluation of efficiency and reliability of airport processes using simulation tools. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 23(4), pp. 659-669 (2021).
- [2] Atkin J.A.D., Burke, E.K., Greenwood, J.S., Reeson, D.: Hybrid metaheuristics to aid runway scheduling at London Heathrow airport. *Transportation Science* 41(1), pp. 90-106 (2007).
- [3] Røling, P.C., Visser, H.G.: Optimal airport surface traffic planning using mixed-integer linear programming. *International Journal of Aerospace Engineering* 1, pp. 1-11 (2008).
- [4] Liu, Y.: Study on optimization for taxiway routing arrangement based on simulation. *Applied Mechanics and Materials* 97-98, pp. 550-553 (2011).
- [5] Braekers, K., Ramaekers, K., Van, Nieuwenhuysse, I.: The vehicle routing problem: state of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering* 99, pp 300-313 (2016).
- [6] Izdebski, M., Jacyna, M.: An Efficient Hybrid Algorithm for Energy Expenditure Estimation for Electric Vehicles in Urban Service Enterprises. *Energies* 14(7), pp. 1-23 (2021).
- [7] Zieja, M. et al. (2021) ‘Analysis of the Anti-Skid Properties of New Airfield Pavements in Aspect of Applicable Requirements’, *Coatings*, 11, p. 778. Available at <https://doi.org/10.3390/coatings11070778>.
- [8] Ziółkowski, J. et al. (2022) ‘Simulation model for analysis and evaluation of selected measures of the helicopter’s readiness’, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part G Journal of Aerospace Engineering*, 0, pp. 1-12. Available at: <https://doi.org/10.1177/09544100211069180>.
- [9] Żak, J., Gołda, P., Cur, K., Zawisza, T.: Assessment of airside aerodrome infrastructure by SAW method with weights from Shannon’s interval entropy. *Archives of Transport* 60(4), pp.171-185 (2021).