

Wprowadzenie

Technologia satelitarna stała się w dzisiejszym podstawą dla funkcjonowania wielu pochodnych narzędzi wykorzystywanych w szerokim spektrum dziedzin współczesnego życia. Ich praca w natychmiastowy sposób znalazła zastosowanie przy w sektorze militarnym i naukowym. W późniejszym czasie umożliwiły prognozowanie zjawisk naturalnych, a przesyłanie sygnału telewizyjnego spowodowało wniknięcie tej technologii do życia codziennego ludzi i rozwój telewizji satelitarnej. Bardzo ważną rolą było zapewnienie łączności poprzez rozwój telekomunikacji oraz stworzenie systemów nawigacji satelitarnej, z której korzystają dzisiaj miliony ludzi na całym świecie. W życiu codziennym ludzie używają słowa „satelita” w znaczeniu potocznym, czyli w odniesieniu do satelity sztucznego stworzonego przez człowieka, który służy do przesyłania sygnału telewizyjnego lub nawigacyjnego GPS, robi zdjęcia Ziemi i umożliwia komunikację telefoniczną. W sensie ścisłym jest to dowolny obiekt poruszający się wokół innego obiektu w przestrzeni kosmicznej [2].

Temat ogólnie związany z technologią satelitarną jest bardzo szeroki. Dokonując przeglądu dostępnej literatury i materiałów z tego zakresu można szybko dostrzec, że dotyczy on szerokiego spektrum przeplatających się dziedzin nauki i techniki takich jak astrologia, różne płaszczyzny informatyki, elektronika, fizyka, wojskowość, wiele rodzajów nauk przyrodniczych, geodezja, chemia i wiele innych. Literatura wojskowa ujmując przy tym temat z bardzo ciekawej perspektywy, ponadto jest pisana prostym i przystępnym językiem, choć w dość szczegółowy sposób. Studiując temat dotyczący technologii satelitarnych można bardzo często trafić na wiedzę, która dotyczy czynności i urządzeń z których korzysta się na co dzień, często jednak nie rozumiejąc na jakiej zasadzie one działają. Obecność satelitów (lub ogólnie obecność człowieka) w kosmosie stanowi bardzo krótki okres. Zagadnienie to, wraz z eksploracją kosmosu jest i z pewnością w najbliższej przyszłości będzie jednym z najbardziej eksploatowanych dziedzin nauki i odkryć.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie problemu harmonogramowania obserwacji satelitarnych wraz z informacjami potrzebnymi do kompleksowego zrozumienia tego zagadnienia, a także zaprezentowanie modelu DPL pozwalającego na rozwiązywanie tego problemu za pomocą narzędzi informatycznych. Ponadto intencją jest dokonanie analizy zaproponowanego rozwiązania i badań polegających na porównaniu uzyskanych wyników i wniosków.

Struktura pracy

<#>tutaj w punktach</#>

1. Informacje ogólne

W tym rozdziale umieszczono ogólne ramy teoretyczne potrzebne do conceptualnego zrozumienia problemu harmonogramowania obserwacji satelitarnych. Zawarto w nim wybrane elementy historii obecności sztucznych satelitów w przestrzeni kosmicznej i podstawowe informacje dotyczące operujących na różnych orbitach Ziemi satelitów. Opisano także najważniejsze przykłady technologii bazujących na danych i komunikacji z satelitami oraz przykłady praktycznego wykorzystania danych z obserwacji satelitarnych Ziemi. Przedstawiono także informacje ściśle związane z technologiami i narzędziami informatycznymi wykorzystanymi na potrzeby badań wykonanych w zakresie harmonogramowania obserwacji satelitarnych będących celem niniejszej pracy.

W pracy przyjęto następujące definicje kluczowych pojęć:

- harmonogramowanie – [1] planowanie prac poprzez przydzielanie zasobów pracy do zadań oraz ustalenie rozkładu tych zadań w czasie
- satelita obserwacyjny [3] – urządzenie umieszczone na orbicie Ziemi, którego zadaniem jest detekcja i pozyskanie danych dotyczących określonych obszarów na powierzchni planety zgodnie z potrzebami, a także dostarczenie tych danych do stacji naziemnej.
- nadir - punkt przecięcia powierzchni Ziemi z odcinkiem łączącym środek planety i satelity [13].
- zadanie obserwacyjne (i priorytet zadania) – czynność wykonywana przez satelitę obserwacyjnego znajdującego się na orbicie polegająca na zgromadzeniu wymaganych danych dotyczących obszaru na powierzchni planety. Każde zadanie ma określony koszt czasowy i pamięciowy (zajmuje określoną ilość jednostek pamięci komputera satelity)
- awaryjne zadanie obserwacyjne – szczególny typ zadania obserwacyjnego, który wymaga jego jak najszybszego wykonania. <#>**Priorytet takiego zadania**</#>
- okno czasowe – przedział czasu (koszt czasowy) potrzebny na wykonanie danego zadania obserwacyjnego lub komunikację z daną stacją
- stacja TTC&M (ang. tracking, telemetry, command and monitoring) – [4] umożliwia wszelką komunikację z satelitą w celu wymiany danych, jej zarządzania, kontroli i sterowania
- stacja kontrolna - rodzaj stacji TTC&M, którego zadaniem jest przesyłanie danych dotyczących zarządzania satelitami
- stacja naziemna - rodzaj stacji TTC&M, którego zadaniem jest odbiór danych zgromadzonych w pamięci komputera satelit
- model DPL – (reprezentacja rozwiązania problemu) – uogólniony, deklaratywny opis rozwiązania danego problemu, zapisany w formie faktów i reguł, niezależna od konkretnej postaci (instancji) problemu. #TODO rozpisać w innym rozdziale na temat ASP
- instancja problemu – konkretna, rzeczywista postać danego problemu pozwalająca na analizę w celu znalezienia rozwiązania

1.1. Historia obserwacji satelitarnych

Historia obserwacji satelitarnych, a w zasadzie obecności stworzonych przez człowieka satelitów na orbicie Ziemi zaczęła się w roku 1957 w Związku Radzieckim, gdzie dokonano udanego wystrzału satelity noszącego nazwę SPUTNIK 1 na orbitę Ziemi. Były to czasy tzw. wyścigu o kosmos, - rywalizacji USA i ZSRR na płaszczyźnie militarno-gospodarczo-naukowej w podboju przestrzeni kosmicznej będącą elementem zimnej wojny, którego elementem był pierwszy sztuczny satelita [13]. Kolejnym ważnym punktem w historii było utworzenie rok później w USA agencji kosmicznej NASA (National Aeronautics and Space Administration), dysponującej zasobami umożliwiającymi prowadzenie działań w obszarze lotów kosmicznych [13]. W tym samym roku wystrzelono w Stanach Zjednoczonych pierwszego na świecie satelitę mającego służyć celom badawczym EXPLORER 1. Seria explorer liczyła kilkadziesiąt satelitów, a popularnym osiągnięciem właśnie pierwszego z tej serii było odkrycie pasów promieniowania Van Allena [13]. Późniejsze próby uruchamiania coraz bardziej zaawansowanych satelitów sztucznych na orbicie planety odzwierciedlają potrzeby ludzkości, na zaspokojenie których odpowiedziała inżynieria i technologia kosmiczna, gdzie coraz większą rolę odgrywały komputery o coraz większej mocy obliczeniowej i efektywności. Przez lata

zastosowanie łączności satelitarnej było jedynym sposobem zapewnienia komunikacji między kontynentami Ziemi. Operujące satelity zapewniające komunikacje to na przykład: Telstar, Syncom, Molniya, czy seria INTELSAT. Umieszczenie kabli podmorskich o dużej przepustowości przejęło jednak to zadanie w ostatnich latach [9]. Początki telewizji satelitarnej w drugiej połowie XX w. były związane z uruchomieniem kolejnych urządzeń: satelity Westal i satelitów serii Eutelsat Hot Bird, które operują do dziś. Następnym ważnym momentem w historii technologii kosmicznej był start satelity **TIROS 1** (Television Infrared Observational Satellite), był to satelita meteorologiczny rozpoczynający serię urządzeń gromadzących dane i wykonujących fotografie naturalnych zjawisk atmosferycznych występujących na powierzchni Ziemi, które można było odtąd zobaczyć z zewnątrz planety (z kosmosu) [13]. W późniejszym czasie doszło do startu ulepszonych satelitów pogodowych dysponujących coraz nowszymi technologiami i sensorami (np. program Nimbus).

<%>ilustracja TIROS1</%>

Oczywistą możliwością wykorzystania satelitów obserwacyjnych stało się wtedy poszukiwanie złóż surowców zarówno na lądzie, jak i pod powierzchnią mórz i oceanów. Kluczowymi satelitami służącymi przy wykonywaniu zadań obserwacyjnych Ziemi min. w tym zakresie do dziś są satelity serii „Landsat”, która to rozpoczęła się w roku 1972 uruchomieniem pierwszego satelity, pierwotnie pod nazwą „Earth Resources Technology Satellite 1” (w 1975 r. zmieniono na Landsat 1, która wymownie podkreśla ogólne wykorzystanie w zakresie zdalnego obserwowania powierzchni Ziemi, niekoniecznie związane z poszukiwaniem i badaniem zasobów naturalnych) [10]. Landsat dysponował nowoczesnym skanerem multispektralnym zapewniającym bardzo dobrą jakość zdjęć z obserwacji [13]. Seria Landsat trwa do dziś, a dane i fotografie wykonane przez te satelity są ogólnodostępne. W związku z sukcesem serii Landsat uruchomiono roku 1978 serię Seasat urządzeniem SEASAT 1 dysponującym aparaturą wykorzystującą mikrofałę do stosunkowo dokładnego pomiaru temperatury, kierunku i prędkości wiatru oraz obrazowania układu ziemskiej pokrywy lodowej, prądów morskich i chmur [13].

W późniejszym czasie zaczęto konstruować inne urządzenia umożliwiające różne metody eksploracji przestrzeni kosmicznej z orbit naszej planety. W tym obszarze wielkim sukcesem okazał się teleskop kosmiczny Hubble, będącego efektem współpracy NASA i ESA. Wyniesiony przez prom kosmiczny rozpoczął pracę w roku 1990. Również kolejne teleskopy kosmiczne zaczęły funkcjonować w późniejszych latach 90-tych i na początku XXI wieku. Teleskopy kosmiczne umożliwiły wielokrotnie lepszą jakość zdjęć przestrzeni kosmicznej i zjawisk w niej panujących niż byłoby to możliwe z powierzchni Ziemi, z której obserwacje odległych o miliardy lat świetlnych obiektów byłoby po prostu nieosiągalne [13].

Jednym z ważniejszych osiągnięć ogólnie w obszarze eksploracji kosmosu było także skonstruowanie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej ISS (International Space Station) przy wspólnym udziale 17 krajów (Stanów Zjednoczonych, Kanady, Rosji, Japonii, Brazylii i 11 państw budujących i wspierających Europejską Agencję Kosmiczną). Wyniesiona na orbitę o wysokości ponad 400 km i inklinacji 51,6 stopni pozwala na efektywne badania różnego rodzaju zjawisk naturalnych w warunkach bardzo niskiej grawitacji, ma duży potencjał obserwacyjny i umożliwia stosunkowo łatwe utrzymanie we współpracy naukowców z różnych miejsc na Ziemi [13]. Obecnie szeroko rozumiane misje kosmiczne obejmują coraz większy zakres działań badawczych i sięgają w coraz bardziej oddalone od Ziemi miejsca w przestrzeni kosmicznej.

1.2. Elementy i rodzaje orbit

Orbita wg [2] to „droga obiektu krążącego wokół przyciągającej go masy w przestrzeni, na przykład planety krążącej wokół Słońca lub satelity wokół planety”. Orbity wykorzystywane przez satelity stworzone przez człowieka są także zwane orbitami keplerowskimi (odniesienie do Jana Keplera), a określenie to dotyczy oddziaływania na siebie dwóch mas punktowych, do których dochodzi w efekcie przyciągania grawitacyjnego [9].

Inklinacja orbity to nachylenie jej płaszczyzny w stosunku do badanej płaszczyzny masy wokół której orbituje. W przypadku satelity Ziemi kąt ten mierzony jest do płaszczyzny równika. Satelita o przykładowej inklinacji wynoszącej 63 stopnie, będzie przemieszczał się (relatywnie do Ziemi) w kierunku północnym, ostatecznie przemieszczając się nad punktem o szerokości geograficznej 63 stopni N. Następnie ten relatywny ruch będzie odbywał się w kierunku południowym przemieszczając się nad punktem 63 stopni S. Inklinalcja orbity operującego satelity w połączeniu z ruchem obrotowym Ziemi wokół własnej osi ma więc bezpośredni wpływ na rozkład punktów na Ziemi nad którymi przemieszcza się satelita [13].

Orbity można sklasyfikować na wiele sposobów. W zależności od przeznaczenia i wymagań dotyczących danego satelity jest on umieszczany na orbicie pozwalającej na wykonywanie przez niego oczekiwanych zadań (np. obserwacyjnych). Im mniejsza wysokość orbity i przemieszczającego się po niej satelity, tym lepszą rozdzielczość obrazu można uzyskać, co wprost wiąże się z jakością dostarczanych danych. Niska orbita będzie oznaczać także krótszy czas obiegu wokół planety, a więc większą częstotliwość jeśli chodzi o widoczność tego samego obszaru na powierzchni planety. Ponadto wiąże się to również z czasem potrzebnym na transfer danych pomiędzy satelitą a stacją na powierzchni planety. Im niżej znajduje się satelita, tym bliżej jest on powierzchni planety, a więc mniejsza jest droga, którą musi przebyć impuls elektromagnetyczny pomiędzy satelitą, a komunikującą się z nim stacją. Kolejną rzeczą jest pole obserwowalnej powierzchni planety. Obserwowalny obszar jest tym wyższy, im bardziej urządzenie oddalone jest od powierzchni Ziemi [13]. Bazując na powyższych zasadach, przyjmując za kryterium wysokość orbity na której operuje satelita można wyróżnić 4 podstawowe typy orbit:

- orbita niska (LEO – Low Earth Orbit)

Satelita krążący na orbicie niskiej znajduje się na wysokości 160 km – 1600 km. Taka odległość zapewnia wysoką rozdzielczość i łatwą komunikację ze stacją. Warto odnotować, iż wprowadzenie satelity na orbitę niską jest także technicznie łatwiejsze (np. rakieta wymaga mniej paliwa), jednak trzeba mieć na uwadze, że atmosfera znajdująca się na tych wysokościach może mieć negatywny wpływ na pracę operującego satelity. Okres obiegu satelity wprowadzonego na taką orbitę to około 100 minut [13]. Szczególnym, ważnym przypadkiem niskiej orbity jest orbita heliosynchroniczna o odpowiedniej wysokości, której zasadniczą zaletą, jest możliwość obserwacji dokładnie tego samego punktu na powierzchni planety o dokładnie tej samej porze dnia (ten sam czas słoneczny). Identyczne naświetlenie obszaru przez światło słoneczne pozwala na efektywne obserwacje terenu i zjawisk meteorologicznych. Poza tym satelity funkcjonujące na orbitach niskich służą głównie monitorowaniu zjawisk pogodowych, czy ogólnym obserwacjom dla celów naukowych[13].

- orbita średnia (MEO – Medium Earth Orbit)

Orbity średnie charakteryzują się wysokością w zakresie 1600 km – 19300 km, a okres obiegu satelity wprowadzonego na taką orbitę zmienia się w zależności od wysokości w zakresie od 100 minut do 12 godzin [13]. Większa odległość satelity na orbicie średniej od obserwowanego obszaru zapewnia dłuższe okno czasowe widoczności tego obszaru. Korzyścią jest tutaj również pomijalny

wpływ atmosfery. Satelity operujące na orbitach średnich dostarczają danych głównie dla systemów nawigacyjnych i telekomunikacyjnych.

- orbita geosynchroniczna (GEO – Geosynchronous Earth Orbit)

Przypadek orbity geosynchronicznej dla urządzenia satelitarnego zachodzi, gdy zostanie ono umieszczone na wysokości $\sim 35\,786$ km. Orbitujący satelita porusza się wtedy synchronicznie względem obrotu kuli ziemskiej (okres obiegu satelity jest wtedy równy 1 dobie ziemskiej), czego efektem jest to, że pozostaje on praktycznie stale nakierowany na jeden punkt na powierzchni planety, poruszając się kątowno równo z nią. Obserwowalny obszar dla satelity umieszczonego na orbicie geosynchronicznej obejmuje dużą część powierzchni całej planety, co umożliwia jego efektywne wykorzystanie w komunikacji, obserwowaniu zjawisk pogodowych i szybkim informowaniu o nadchodzących zagrożeniach [13]. Szczególnym przykładem orbity geosynchronicznej jest orbita geostacjonarna. Ten przypadek zachodzi, kiedy satelita orbituje dokładnie po linii równika (orbita o inklinacji 0). Orbita geostacjonarna zawsze jest orbitą geosynchroniczną, jednak orbita geosynchroniczna o innej inklinacji (szerokości geograficznej) niż 0 nie będzie geostacjonarną [13]. Warto odnotować, że trudnością dotyczącą stosowania orbity geosynchronicznej, z perspektywy niektórych państw jest samo umieszczenie na niej satelity, gdyż najlepsze warunki do startu panują na równiku.

- orbita silnie eliptyczna (HEO - Highly Elliptical Orbit)

Ten typ orbity różni się od poprzednich sposobem poruszania się wokół planety. Poprzednie orbity były kołowe (droga krążącego orbity tworzy okrąg), w tym przypadku jest to elipsa. Mimośrodowy ruch powoduje, że wysokość satelity zmienia się, cyklicznie zbliżając się i oddalając od powierzchni planety (jest to około 1000 km – 38 000 km). Zmianie ulega również prędkość poruszania się satelity w przestrzeni kosmicznej – im dalej planety, tym mniejsza. W związku z tym przedział czasu w którym dany obszar jest obserwowalny może być bardzo długi, właśnie ze względu na długi czas przebywania satelity w apogeum orbity (punkcie najbardziej oddalonym). Satelity operujące na orbitach silnie eliptycznych mają zastosowanie na przykład w telekomunikacji lub celach militarnych i wywiadowczych.

Naziemny tor ruchu satelity

Relatywny ślad ruchu satelity nad powierzchnią Ziemi zależy od rodzaju obranej orbity – wysokości, inklinacji itd. Parametry te wyznaczają punkty na powierzchni planety, bezpośrednio nad którymi przemieszcza się satelita (nadir). Linia, którą tworzą te punkty tworzy naziemny tor satelity, który można zaznaczyć na globusie. Przebieg linii toru naziemnego satelity jest bardzo ważny w planowaniu i zarządzaniu operującymi satelitami, bowiem stacjonujące na powierzchni Ziemi stacje zarządzające muszą być w zasięgu satelitów, aby sprawnie się z nimi komunikować.

<%ilustracja ground tracks%>

<#>Krótko o konstelacjach satelitów, czy mogę przytoczyć [9]</#>

Koszty startu satelity

Start satelity to bardzo kosztowne przedsięwzięcie. Średni koszt związany z samym umieszczeniem satelity na orbicie zależy głównie od masy urządzenia i wysokości orbity, na której docelowo ma operować satelita. Jest to związane z ilością paliwa potrzebną przy starcie rakiety, a przykładowy

koszt startu to \$180 mln. (pojazd Ariane 5, orbita geostacjonarna - Europejska Agencja Kosmiczna) [13].

1.3. Obserwacje satelitarne we współczesnym świecie

Określenie sumy działających współcześnie urządzeń satelitarnych służących do celów obserwacyjnych lub ogólnie orbitujących Ziemię może okazać się trudne. Według organizacji Union of Concerned Scientists w kwietniu roku 2020 na orbitach naszej planety znajdowało się w sumie 2667 satelitów, część może być nieaktywna lub pozostawiona do aktywowania w razie nagłego wypadku. Szczegółowe informacje w tym zakresie być może są niedostępne lub nieaktualne. Według tej samej bazy danych w grupie wszystkich orbitujących satelitów łącznie 885 to urządzenia obserwacyjne, w których są min. charakterystyczne serie urządzeń takie jak Landsat, Dove, Lemur itd. [a]. Z dostępnych danych wynika również, że zdecydowana większość satelitów umieszczana jest na orbitach niskich, być może ze względu na mniejsze koszty startu w stosunku do innych orbit oraz możliwości, które sama w sobie stwarza pozycja satelity na tej orbicie. Wybór orbity LEO stwarza również możliwość orbitowania heliosynchronicznego (pojęcie to zostało wyjaśnione wcześniej), które jest szczególnie korzystne w przypadku wykonywania zdjęć powierzchni planety [a]. Ponadto, przyjmując jako kryterium dotychczasowy dorobek poszczególnych państw na płaszczyźnie technologii satelitarnej, w ilości udanych startów pozwalających na uruchomienie satelity dominują Stany Zjednoczone, Chiny i Rosja [a].

<#>można wyjaśnić analizując bardziej, ale chyba więcej informacji nie jest tak istotne</#>

Współczesne zastosowania technologii satelitarnych

Główne systemy bezpośrednio oparte na satelitach krążących wokół Ziemi to systemy nawigacji satelitarnej, łączności globalnej oraz wszelkie systemy teledetekcji i obrazowania powierzchni planety. Współcześnie bardzo popularne są przede wszystkim systemy nawigacji oraz systemy teledetekcji, których spektrum zastosowania jest ogromne.

Nawigacja satelitarna

Systemy nawigacji satelitarnej (GNSS – Global Navigation Satellite Systems) to satelitarne systemy określania pozycji i prędkości obiektu oraz czasu, powszechnie dostępne w sposób ciągły dla ludzi [8]. Systemy te można podzielić na globalne i regionalne. Systemy globalne umożliwiają nawigację na powierzchni całej planety. Te ostatnie służą jako systemy w mniejszych państwach, które wspomagają systemy globalne oraz umożliwiają większą precyzję i dostępność w kontekście obszarów lokalnych [8]. We współczesnym świecie dostępne są następujące globalne systemy nawigacji satelitarnej

- GPS – system amerykański
- GLONASS – system rosyjski
- Galileusz – system europejski
- Compass – system chiński

Większość z nich jest w dużym stopniu pod kontrolą wojskową, wyjątkiem jest europejski „Galileusz”, który jest całkowicie pod kontrolą organizacji cywilnych [8].

Łączność satelitarna

Współczesne życie w bardzo dużym stopniu opiera się na szybkiej wymianie informacji, telefonia komórkowa może również spełniać to zadanie. Oprócz technologii umożliwiającej komunikację zwyczajną - za pomocą naziemnych stacji bazowych dostępna jest także łączność satelitarna. Do systemów satelitarnych należą min. Iridium i Globalstar [8]. Łączność w tych przypadkach uzyskuje się za pomocą szeregu satelitów umieszczonych na niskich orbitach, co skraca drogę impulsów elektromagnetycznych (mniejsze opóźnienie) i jednocześnie koszt energetyczny sygnału. Do infrastruktury należą dodatkowo bramki naziemne (w przypadku Iridium) lub sieć naziemnych stacji pomocniczych (Globalstar) realizujących połączenie [8]. Odbiorcami tych systemów są głównie strategiczne sektory państw lub branże wykonujące prace w trudnym terenie.

Obserwacje satelitarne

Satelity obserwacyjne dostarczają zdjęć terenu i informacji meteorologicznych, których nie można pozyskać z powierzchni Ziemi. Są to złożone instrumenty badawcze, pozyskujące dane w wielu kanałach spektralnych, stąd są nazywane aparatami hiperspektralnymi. Oznacza to, że dany satelita obserwacyjny dysponuje szeregiem sensorów rejestrujących pewien typ fal elektromagnetycznych (o pewnym przedziale długości fali). Co więcej - zbadano, że każdy z tych typów fal jest skorelowany w pewien sposób z różnymi procesami lub wielkościami fizykochemicznymi takimi jak: wilgotność, temperatura, ilość chlorofilu w roślinach, charakter soli morskiej, czy czystość wód. Wyznaczono tzw. wskaźniki różnicowe wyznaczalne na podstawie danych satelitarnych poszczególnych kanałów spektralnych satelity, które dobrze wizualizują pewne zjawiska - podkreślają je przy jednoczesnym stłumieniu innych (efektem jest uwypuklenie obszarów na których panują badane warunki fizyczne, chemiczne, biologiczne itd.) [12]. Charakterystycznymi systemami obserwacyjnymi są min. System Obserwacji Ziemi EOS (Earth Observing System) z satelitami **Terra** i **Aqua** zarządzany przez NASA oraz europejski METEOSAT. Do zarejestrowania danych satelita używa całego zestawu czujników światła, ciepła i promieniowania. Urządzenia te zwykle umieszczane są na orbitach geostacjonarnych lub orbitach polarnych o inklinacji ok. 90 stopni. Operujący w systemie satelita wykonuje obserwacje pokrywy chmur, pomiary temperatury, nawodnienia terenu (lub różnic w nawodnieniu), charakterystyki atmosfery, promieniowania oraz wzajemnej wymiany energii i pierwiastków naturalnych w przyrodzie np. cykl obiegu wody. Badanie tych zjawisk na płaszczyźnie globalnej ma dostarczać przede wszystkim informacji potrzebnych do zrozumienia funkcjonowania i wpływu elementów obserwowanych zjawisk na klimat planety [13]. Dane gromadzone w trakcie obserwacji satelitarnych w dużej części są dostępne dla przeciętnego człowieka z dostępem do sieci internet. Poprzez strony internetowe Europejskiego Programu Obserwacji Ziemi „Copernicus” umożliwiony jest dostęp do danych z satelitów z serii Sentinel. Ponadto podstawowym źródłem danych (a także innych informacji z różnych dziedzin nauk o Ziemi) są domeny United States Geological Survey (agencji naukowo-badawczej Stanów Zjednoczonych), agregujące dane dotyczące obserwacji satelitarnych wykonanych przez urządzenia serii Landsat. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Na bazie tych danych możliwe było utworzenie komercyjnych aplikacji pobierających, analizujących i obrazujących dane satelitarne, co pozwala na wyciąganie wniosków w biznesie i zarządzaniu, przemyśle, rolnictwie [12].

Monitoring środowiska roślinnego – analiza i obrazowanie zestawu danych satelitarnych z obserwacji upraw roślin i obszarów wegetacji pozwala na wyciąganie wniosków dotyczących optymalnego poziomu nawożenia i nawodnienia, chorób zagrażających uprawom itp. Określono wskaźnik NDVI (znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji), który bazuje na danych zgromadzonych przez sensory o kilku różnych kanałach spektralnych jest w stanie zobrazować stan flory na danym

obszarze. Dzięki temu możliwe jest określenie obszarów o dobrze nawodnionej i gęsto rozwiniętej roślinności w kontraście do obszarów miejskich i zbiorników wód. Wykorzystanie obserwacji satelitarnych z analizą pochodzących z tych obserwacji danych jest bardzo popularne w rolnictwie, ekologii i klimatologii [12]. Inny ze wskaźników różnicowych – NDWI (znormalizowany różnicowy wskaźnik wody) dotyczy analizy stanu zbiorników i cieków wodnych, a w szczególności czystości lub zanieczyszczenia wody. Pozwala to w bezpośredni sposób zidentyfikować wody czyste oraz przeciwnie – źródła z których mogą pochodzić zanieczyszczenia środowiska (np. przemysłowe) [12].

W dziedzinie zarządzania kryzysowego możliwa jest szybka detekcja pożarów, identyfikowania obszarów zagrożonych występowaniem pożarów, osuwisk lub powodzi. W biznesie stosuje się połączenie wielu rodzajów danych z wielu dziedzin w celu wspomagania podejmowania decyzji o charakterze gospodarczym i finansowym oraz w celu estymowania ryzyka. Dotyczy to rynku ubezpieczeń, transportu, turystyki, górnictwa. Analiza różnych danych w połączeniu z danymi satelitarnymi w celu przewidywania cen różnych produktów na rynku, np. ropy lub produktów spożywczych, których ceny związane są z warunkami pogodowymi w danym roku. Ponadto dostępne są również aplikacje i agregaty danych służące masowemu odbiorcy przedstawiające podstawowe dane i fotografie - Google Maps, aplikacje prognozujące i obrazujące pogodę, aplikacje turystyczne, aplikacje prezentujące różnego rodzaju zanieczyszczenia gleb i wód, a także zanieczyszczenia powietrza w różnej formie (pyły lub toksyny), które obrazują zanieczyszczenie na pewnym większym obszarze, w przypadku stacji pomiarowych, badanie jest mniej dokładne (pomiar wykonywany jest punktowo a wyniki interpolowane na obszar) [13]. Z fotografii satelitarnych i innych danych (wykonanych na przykład przy pomocy wiązki lasera i sensora umieszczonego na satelicie) z powodzeniem korzysta branża budowlana w celu wykonania badań gruntu pod konstrukcję budowli lub dokładne określenie projektu i charakterystycznych punktów konstrukcji.

1.4. Przyszłość technologii satelitarnej

<#>Chciałbym przytoczyć zagadnienia</#>

- miniaturyzacja satelitów obserwacyjnych
- plany NASA, ESA w obszarze około-satelitarnym na przyszłe lata
- CubeSat
- przepełnienie orbit
- kosmiczne śmieci
- krótko o możliwościach uczenia maszynowego przy analizie danych z obserwacji satelitarnych

1.5. Złożoność problemów obliczeniowych

Problem, który można przedstawić do rozwiązania w formie zrozumiałej dla maszyny liczącej (np. komputera) zwany jest problemem obliczeniowym. Problem obliczeniowy charakteryzuje się danymi wejściowymi o mniejszym lub większym rozmiarze oraz zdefiniowanym, przyjmowalnym rozwiązaniem tego problemu. Problemy obliczeniowe występują w różnych rodzajach. Rozwiązanie niektórych z nich jest łatwe i szybkie, inne zaś wymagają dużej ilości zasobów obliczeniowych (mocy obliczeniowej, pamięci). Na przykład: mając listę elementów danego typu (np. liczb), znalezienie elementu o największej (lub najmniejszej) wartości jest problemem łatwym do rozwiązania. Wymaga to bowiem jedynie przeanalizowania kolejnych elementów tej listy porównując jednocześnie z największą znaną dotąd wartością. Innym przykładem problemu obliczeniowego może być

problem wędrownego sprzedawcy, w którym występuje pewna liczba miast i określona odległość między tymi miastami. Problem polega na odnalezieniu najkrótszej drogi przy której sprzedawca rozpoczynając i kończąc wędrówkę w jednym z miast odwiedzi pozostałe z nich w czasie podróży. Problem opisany w ten sposób wymaga przeanalizowania wszystkich kombinacji możliwych do obrania ścieżek, co stanowi dużą trudność, ponieważ już przy niewielkiej liczbie miast liczba tych kombinacji jest bardzo duża. Ostatecznie algorytm podejmujący próbę rozwiązania tego problemu, pracujący przy danych o pewnym, relatywnie niedużym rozmiarze nie znajdzie rozwiązania mając do dyspozycji czas, który byłby akceptowalny w ludzkim postrzeganiu. Mowa tu o tzw. warunku efektywności algorytmu, który – w tym przypadku nie będzie spełniony. W związku z tym, można opisać problem w nieco inny sposób, tj. założyć pewną oczekiwaną długość drogi n i spróbować znaleźć odpowiedź na to, czy istnieje trasa o łącznej długości mniejszej lub równej n . Jest to tzw. wersja decyzyjna tego problemu, która charakteryzuje się inną złożonością. Ten problem jest łatwiejszy do rozwiązania, zatem na tym przykładzie można dostrzec, że zmodyfikowanie danego problemu może umożliwić jego efektywne rozwiązanie, które może okazać się dość dobrym, aby wyciągnąć konkretne wnioski, albo wykorzystać je w praktyce. [6]

W rzeczywistości występują także problemy, przy których rozważana jest nie złożoność, a obliczalność problemu, czyli możliwość znalezienia rozwiązania. Istnieją bowiem problemy, których nie można rozwiązać dotąd na żadnej maszynie liczącej [6]

Na złożoność danego algorytmu składa się czasowa złożoność obliczeniowa i pamięciowa złożoność obliczeniowa.

Klasy złożoności obliczeniowej

- P
- NP

<#>Króciutko złożoność pamięciowa</#>

<#>klasy złożoności obliczeniowej</#>

1.4. Dysjunkcyjne programowanie logiczne

Programowanie logiczne (programowanie w logice) jest sposobem programowania opartym wprost na logice i wnioskowaniu. W przypadku popularnego współcześnie podejścia obiektowego (będącego w istocie paradygmatem imperatywnym) rozwiązanie problemu otrzymuje się przez modelowanie rzeczywistości za pomocą struktur danych zamkniętych w modułach, po czym należy stworzyć formalną listę kroków, które musi wykonać procesor komputera wykorzystując posiadane w pamięci dane w celu wygenerowania rozwiązania problemu. Jeśli chodzi o programowanie w logice modelowanie rzeczywistości odbywa się przez zapisanie problemu w postaci czysto logicznej – jako zbiór twierdzeń, związków między twierdzeniami i sposoby wnioskowania jednych twierdzeń z drugich. Są to fakty i reguły które dotyczą badanego problemu. Kluczowe w programowaniu logicznym jest wnioskowanie (dowodzenie twierdzeń), czyli generowanie nowych faktów opisujących rzeczywistość [14]. „Zaletami programowania w języku logiki jest to, że programy są deklaratywne i jednocześnie proceduralne (strukturalne). Wiemy, co program wylicza, zaś mniej już nas interesuje, jak to jest wyliczane” [cyt. 14]. Answer Set Programming (ASP) jest to sposób

deklaratywnego opisywania problemu umożliwiającą efektywne wnioskowanie i reprezentację wiedzy, pozwalającą przy tym na rozwiązywanie problemów kombinatorycznych polegających na przeszukiwaniu. Systemy programowania logicznego ASP są więc w szczególności przystosowane do rozwiązywania problemów NP-trudnych, przy czym wygenerowane rozwiązanie jest w formie zbioru stabilnych modeli (opisu akceptowalnego rozwiązania problemu) [15].

clingo - zintegrowany system ASP służący do rozwiązywania problemów łącząc rolę generowania możliwych modeli rozwiązań za pomocą wnioskowania z rozwiązywaniem przedstawionego problemu przy użyciu tzw. answer set solvera [5]. Jego nazwa pochodzi od połączenia nazw dwóch narzędzi, z których się składa – solvera „clasp” oraz groundera „gringo”. System ten dysponuje bowiem narzędziem zwanym grounder, którego zadaniem jest analiza programu logicznego i jego translacja na semantycznie identyczny program logiczny, nie zawierający już zmiennych. W następnym kroku może on być łatwo przetwarzany przez solver clasp w celu uzyskania wyniku. W związku z tym system clingo zarządza dwoma czynnościami, tj. groundingiem (gringo) oraz zwracaniem wyniku w postaci zbioru stabilnych modeli (clasp) [5]. Dysjunkcja w przypadku programowania logicznego to konstrukcja polegająca na jednoczesnym niewspółzachodzeniu (różne źródła wyjaśniają ten termin w różny sposób. Źródła obcojęzyczne bardzo często odnoszą słowo „disjunction” do alternatywy – „a OR b”, a dla niewspółzachodzenia NAND stosują nazewnictwo „sheffer stroke”. Ostatecznie w ASP (pomijając pewne dodatkowe działania odbywające się w sposób niewidoczny dla użytkownika) efektem przy dwóch wyrazach logicznych a i b zastosowanie dysjunkcji zwróci zbiór dwóch modeli

M1. a (a jest prawdą, b nie jest)

M2. b (b jest prawdą, a nie jest)

Należy zauważyć brak wyniku 3, przy którym oba wyrazy są prawdziwe - nie jest to w tym przypadku akceptowane rozwiązanie.

System ASP w rozwiązywaniu problemów o złożoności wykładniczej

2. Charakterystyka problemu

Pomimo dużej ilości satelitów obserwacyjnych, które współcześnie orbitują Ziemię, ilość zadań i wymagań stawianych w zakresie obserwacji zjawisk pogodowych, wód i lądów stwarza konieczność zaplanowania obserwacji w formie szeregu zadań obserwacyjnych do wykonania przez satelitę, który w efekcie ma skutecznie wypełniać swoje praktyczne przeznaczenie dostarczając dane w dobrej jakości, w sposób efektywny, jednocześnie operując pod presją czasu, prawdopodobieństwa wystąpienia nagłych lub nieprzewidywalnych zdarzeń i ograniczeń różnego pochodzenia (wynikających z warunków naturalnych, czasu, będącej efektem zastosowanej technologii itd.).

Problem harmonogramowania

Problem harmonogramowania w sensie ogólnym polega na odnalezieniu takiego, optymalnego układu zadań do wykonania w czasie, który zapewnia spełnienie konkretnych, ściśle zdefiniowanych założeń lub ograniczeń.

Potrzeba stworzenia harmonogramu, który pozwala na wykonanie pewnej pracy w minimalnym czasie przy optymalnym wykorzystaniu zasobów pojawia się wszędzie tam gdzie jest potrzeba wykonania zestawu zadań i dochodzi do planowania przebiegu ich wykonywania przy limitowanych zasobach różnego rodzaju (pieniędzy, pracowników, urządzeń itd.) i istnieje potrzeba optymalizacji np. minimalizacja czasu wykonania lub zużycia zasobów. Ponadto zwykle dodatkową trudnością są pewne odgórne ograniczenia, których nie można wyeliminować. W związku z tym, przeprowadzenie harmonogramowania wymaga kombinatorycznego przeanalizowania wszystkich możliwości (dokonanie przeszukiwania, podobnie do problemu wędrownego sprzedawcy), co powoduje, że problem charakteryzuje się złożonością $n!$ (w najprostszej wersji). Algorytm o czasie wykładniczym trudno stosować w praktyce, ze względu na długi czas wykonowania już przy niewielkim rozmiarze danych – zwykle jest to rozwiązanie nieprzydatne w użyciu, ponieważ zdadne do użycia rozwiązanie można uzyskać przy bardzo niewielkim rozmiarze danych, warunek taki zwykle nie jest spełniony, a w przypadku przeciętnym rozwiązanie nie jest efektywne, czyli czas potrzebny na uzyskanie rozwiązania wyklucza możliwość praktycznego zastosowania. Harmonogramowanie to problem NP-trudny. „Gdy problem optymalizacyjny jest NP-trudny (...), nie istnieje algorytm o wielomianowym czasie działania znajdujący najlepsze rozwiązanie, chyba że $P = NP$ [6] **CYTAT**. Jest to jeden z problemów milenijnych. Natomiast nie tylko nie rozstrzygnięto, że $P \neq NP$, ale istnieją również dowody na to, że nie można dowieść $P \neq NP$ ”. Ponadto, harmonogramowanie jest czynnością polegającą na uporządkowaniu obiektów w pewnej kolejności, co powoduje, że jest to problem redukowalny do cyklu Hamiltona (problemu TSP) lub problemu CSP. Z uwagi na to, że są to zagadnienia NP-trudne, analizowany problem harmonogramowania również musi być problemem NP-trudnym. Sedno problemu w różnych przypadkach harmonogramowania jest takie samo, inne są natomiast ograniczenia, które należy uwzględnić, sposób optymalizacji lub dostępne zasoby posiadają inny charakter. Przykłady kontrętnych przypadków, przy których podejmowano już szczegółowe analizy to harmonogramowanie warsztatu (tzw. „job shop scheduling”), czy tzw. problem pielęgniarek (nurse scheduling problem). Badania w zakresie tych przypadków podejmowano we wczesnych latach 50-tych XX w. [16]. W związku z tym, że problem należy do grupy problemów NP-trudnych i pojawia się w codzienności bardzo często (także w przedsiębiorstwach i zarządzaniu dużymi projektami) stanowi bardzo dobrą podstawę do testowania i badania algorytmów w różnych wersjach, podejmujących próbę rozwiązywania harmonogramowania.

<#>**Disjunctive graph, czy wspominać**</#>

<#>**Można też opisać problem jako Constraint Satisfaction Problem**</#>

2.1. Przegląd dotychczasowych badań

Harmonogramowanie w podstawowej wersji

Problem harmonogramowania w klasycznych odsłonach (harmonogramowanie pracy warsztatu lub problem pielęgniarek) był wielokrotnie analizowany. Samo harmonogramowanie jest dosyć powszechnym problemem stąd zaproponowane zostały różne metody - algorytmy zachłanne oraz heurystyki umożliwiające uzyskanie praktycznego rozwiązania. W dużej części są to heurystyki i strategie ewolucyjne z których interesujące są między innymi: [18]:

- zoptymalizowane heurystyczne przeszukiwanie w połączeniu ze strategią branch and bound

Stworzono zoptymalizowaną heurystykę przeszukującą wewnętrznie łączącą GRASP (Greedy Randomised Adaptive Search Procedure) ze strategią branch & bound [20] dla harmonogramowania pracy maszyn. Jest to hybryda heurystyki działającej na bazie lokalnego przeszukiwania z algorytmem dokładnym.

<#>Tabu search krótko</#>

Harmonogramowanie obserwacji satelitarnych jest przypadkiem harmonogramowania, gdzie dodatkowe ograniczenia wynikają między innymi z orbitowania satelity nad powierzchnią Ziemi (okna czasowe widoczności). Istnieją metody algorytmy dokładne i metody przybliżone, przy czym te pierwsze są efektywne dla problemów mniejszych rozmiarów [21]. Dla przypadku harmonogramowania obserwacji satelitarnych opisano między innymi [21]:

- algorytmy zachłanne
- algorytmy genetyczne
- dyferencja różnicowa
- optymalizacja mrówkowa
- optymalizacja stadna cząstek
- symulowane wyżarzanie
- programowanie ograniczeniami
- przeszukiwanie „tabu search” itp.
- strategia „branch and bound”

Programowanie ograniczeniami

W tej metodzie zaproponowano podejście GREAS (Generic Resource, Event, and Activity Scheduler) łączącą elastyczne przypisywanie zasobów do zadań w oknach czasowych widoczności oraz zastosowanie solvera „IBM ILOG scheduler” do analizy spełnialności wszystkich założonych ograniczeń. Metoda ta zmniejsza przestrzeń poszukiwań w trakcie przypisywania kolejnych zmiennych przez zastosowanie techniki propagacji ograniczeń (każde ograniczenie ma konkretne konsekwencje przy uporządkowywaniu zadań i przypisywaniu zasobów). W pierwszej kolejności zamodelowano problem przekształcając charakterystyczne wielkości (zadania, okna czasowe widoczności, start zadania i czas jego wykonywania itd.) do struktur zmiennych o pewnych akceptowalnych wartościach. Następnie dochodzi do szczegółowej analizy zadań, zasobów i ograniczeń w poszukiwaniu efektywnego harmonogramu [19]. Ostatecznie przebieg harmonogramowania dla danego przyjętego modelu wygląda w następujący sposób [19]:

1. Wybór zmiennej i jej akceptowalnej wartości. Zwykle wykonywanie jest heurystyczne przeszukiwanie z możliwych dostępnych wartości.
2. Propagacja wpływu wyboru na pozostałe zmienne w modelu - analiza wpływu przypisania tej wartości na całość harmonogramu i korekty innych wielkości
3. Powtórzenie kroków 1 i 2, aż do momentu, aż wszystkie zmienne modelu będą miały przypisane wartości zgodne z ograniczeniami. Jeśli podczas propagacji okaże się, że nie ma możliwości

przypisania poprawnej wartości do zmiennej algorytm cofa się i powtarza czynności wybierając inną wartość z dostępnego zakresu.

Czas startu i zakończenie wykonywania zadania wybierany jest w sposób heurystyczny. Oznacza to, że z całego dostępnego okna czasowego dla danego zadania wybierany jest ten okres jego wykonywania, który jest najbardziej optymalny z perspektywy dalszej analizy (przypisywania kolejnych zadań i zasobów). W przypadku zadań przy których rolę odgrywa kilka zmiennych i ograniczeń, na przykład odsyłanie danych do stacji naziemnej (możliwe okna czasowe widoczności stacji i satelitów, które w danym momencie oczekują na komunikację z nią) metoda ta uwzględnia poszukiwanie optymalnej kolejności łączenia się z danymi satelitami w czasie. Ponadto istnieje także możliwość harmonogramowania z uwzględnianiem dzielenia czasu wykonywania zadań na kilka części. Przerywanie wykonywania zadań i wykonywanie ich przez satelitę w kilku krokach zwiększa do ilość możliwych kombinacji, ale pozwala również na uzyskanie bardziej optymalnego podziału zasobów. W przypadku zadań polegających na odnawianiu zasobów, czyli odsyłaniu danych (odzyskiwanie pamięci) stosowane są heurystyki polegające na minimalizacji tych czynności przy jednoczesnym zachowaniu pełnej możliwości wykonywania zadań obserwacyjnych konsumujących pamięć. Jest to bezpośrednio związane z ostatecznym harmonogramem, jednak metoda pozwala też na odgórne zdefiniowanie ilości zadań odnawiających zasoby i wygenerowanie niekoniecznie optymalnego, ale spójnego harmonogramu przy uwzględnieniu tych odgórnych ustaleń [19].

Adaptacyjne symulowane wyżarzanie z dynamicznym grupowaniem zadań [21]

ASA-DTC (Adaptive Simulated Annealing with Dynamic Task Clustering strategy) jest to kombinacja różnych heurystyk i metod (w tym np. symulowane wyżarzanie, „tabu search”), w której główną rolę odgrywają heurystyczne harmonogramowanie i dodatkowe zwiększanie efektywności poprzez zgrupowanie zadań. Zauważono, że konwencjonalne symulowane wyżarzanie w rozwiązywaniu harmonogramowania może mimo wszystko zwracać rozwiązanie mało optymalne, a uzyskanie wyników dokładniejszych wiąże się z dużym wzrostem ilości czasu potrzebnego na zakończenie procesu harmonogramowania. Grupowanie bazuje na tym, że niektóre zadania obserwacyjne docelowo wykonywane są na niewielkiej powierzchni, zatem okna czasowe widoczności i położenie sensorów dla tych zadań są takie same. W związku z tym bardziej efektywnym staje się wykonanie kilku zadań traktując je jako pojedyncze. Grupowanie zadań znacząco zwiększa zatem efektywność generowania harmonogramu, jednak statyczne grupowanie bezpośrednio przed przeprowadzeniem harmonogramowania uniemożliwia określanie maksymalnie optymalnego porządku wykonywania zadań (podczas harmonogramowania może okazać się, że inne zgrupowanie niektórych zadań jest efektywniejsze). Grupowanie w sposób dynamiczny wbudowane jest w proces przeszukiwania sąsiednich punktów (symulowane wyżarzanie) i znacząco poprawia niedogodność występującą w przypadku grupowania statycznego w efekcie uzyskując lepszą jakość harmonogramowania.

W metodzie tej ważną rolę odgrywają:

- adaptacyjne sterowanie wartością temperatury i zoptymalizowany dobór sąsiedztwa w procedurze symulowanego wyżarzania
- przeszukiwanie „tabu”, którego zadaniem jest spowodowanie pomijania wielokrotnej analizy tych samych kombinacji przy rozwiązywaniu

Docelowo, metoda dąży do maksymalizacji efektu (jakości) harmonogramowania, co przedstawia się formalnie jako:

$\max \sum_N \sum_M x_{ij} \cdot p_i$ gdzie:

$j = 1, 2 \dots M$ – zbiór analizowanych orbit

$i = 1, 2 \dots N$ – zbiór zadań obserwacyjnych

x_{ij} – zadanie obserwacyjne i wykonane z orbity j

p_i – priorytet zadania obserwacyjnego

<#>Dokończyć</#>

Metoda ASA-DTC określa następujące ograniczenia dla harmonogramowania

1. Każde zadanie może być wykonane maksymalnie raz.
2. Pomiędzy wykonywanymi zadaniami obserwacyjnymi wymagany jest pewien przedział czasu wykorzystany na kalibrację sensora i ładowanie energii, która zużyta zostanie przez sensor w trakcie kolejnego zadania – dochodzi do przerwy w wykonywaniu obserwacji.
3. Ładowanie i kalibracja sensora wykonywana jest między każdymi kolejnymi zadaniami.
4. Energia urządzenia satelitarnego nie może się wyczerpać (zużycie nie przekracza akumulowanej pojemności).
5. Dostępna pamięć komputera satelity nie może się zapełnić (zapełnienie nie przekracza dostępnej pojemności).

Zadania awaryjne przy użyciu RHS w połączeniu z ISBDR

3. Model DPL w rozwiązywaniu harmonogramowania

Problem harmonogramowania obserwacji satelitarnych polega ostatecznie na przypisaniu zadań obserwacyjnych w wymaganej kolejności do dostępnych zasobów, czyli satelitów znajdujących się na orbitach biorąc pod uwagę wymagane ograniczenia bezpośrednio wynikające z możliwości tych urządzeń i oczekiwanych rezultatów. Harmonogram musi uwzględniać zatem przyjęte z góry założenia i ograniczenia, które wynikają z praw fizyki, konstrukcji i sposobu działania urządzenia, organizacji pracy i innych, często trudnych do przewidzenia wyzwań. Dopiero wtedy wygenerowany harmonogram nadawał się będzie do praktycznego zastosowania w rzeczywistych warunkach.

<#>tutaj opis mojego modelu</#>

3.1. Opis modelu

Założenia:

1. Istnieją 3 typy zadań:
 - zadanie obserwacyjne
 - downlink (dostarczanie danych na powierzchnię Ziemi)

- uplink (odbieranie danych z powierzchni Ziemi)

2. Wykonywanie zadania musi odbyć się w oknie czasowym jego widoczności.
3. Zadania obserwacyjne mogą być wykonywane przez satelity znajdujące się na orbitach.
4. Zadanie obserwacyjne może być wykonane maksymalnie raz, przez dowolnego satelitę.
5. Downlink może być wykonany przez dowolną ilość satelitów znajdujących się w jego oknie czasowym widoczności.
6. Uplink musi być wykonany przez wszystkie satelity znajdujące się w jego oknie czasowym widoczności.
7. Zadanie obserwacyjne charakteryzuje się jednoznacznie określonym priorytetem. Im wyższy priorytet, tym ważniejsze jest wykonanie zadania.
8. Awaryjne zadanie obserwacyjne musi być obligatoryjnie wykonane.
9. Satelita charakteryzuje się jednoznacznie określoną ilością dostępnej pamięci.
10. Pamięć komputera satelity zajmowana jest przez dane z wykonanych zadań obserwacyjnych.
11. Koszt pamięciowy wykonania każdego zadania jest jednakowy dla tego samego satelity, lecz poszczególne satelity mogą charakteryzować się różnym kosztem pamięciowym wykonywania zadania.
12. Satelita o ilości wolnej pamięci mniejszej niż koszt pamięciowy wykonania zadania nie może wykonywać zadań obserwacyjnych do momentu zwolnienia pamięci.
13. Pamięć komputera satelity jest całkowicie zwalniana podczas odsyłania danych do stacji naziemnej (downlink).
14. Odsyłanie danych (downlink) z wykonanych zadań obserwacyjnych przez satelitę odbywa się w oknie czasowym widoczności stacji, czyli gdy urządzenie znajduje się nad stacją naziemną.
15. Czas odsyłania danych jest jednakowy dla tego samego satelity, lecz poszczególne satelity mogą charakteryzować się różnym czasem wysyłania danych.
16. Satelita charakteryzuje się jednoznacznie określoną ilością dostępnej energii akumulatora.
17. Koszt energetyczny wykonania każdego zadania jest jednakowy dla tego samego satelity, lecz poszczególne satelity mogą charakteryzować się różnym zużyciem energii przy wykonywaniu zadania.
18. Satelita o ilości energii mniejszej niż koszt energetyczny wykonania zadania nie może wykonywać zadań obserwacyjnych.
19. Energia satelity jest odnawiana proporcjonalnie do upływu czasu. Wartość generowanej energii jest stałą, odbywa się to automatycznie podczas operowania satelity (przy pomocy ogniw słonecznych). Poszczególne satelity mogą charakteryzować się różną wartością generowaną w jednostce czasu.
20. Komunikacja kontrolna (uplink) z satelitą odbywa się w oknie czasowym widoczności stacji, czyli gdy urządzenie znajduje się nad stacją kontrolną.
21. Czas komunikacji kontrolnej jest jednakowy dla tego samego satelity, lecz poszczególne satelity mogą charakteryzować się różnym czasem tej komunikacji.
22. Żadne okno czasowe nie może nakładać się na drugie (tylko jedna czynność wykonywana jest w danym czasie)

Model:

3.2. Przykładowa instalacja problemu

<#>Tutaj mój model</#>

4. Wyniki Badań

5. Podsumowanie

BIBLIOGRAFIA

[a] Materiały i zbiory danych dostępna na stronie <https://www.ucsusa.org> (csv)

[1] – Słownik języka polskiego <https://sjp.pl/>

[2] - encyklopedia britannica <https://www.britannica.com/science/orbit-astronomy>

[3] - Autonomiczny wieloczujnikowy system satelitarny na wieloagentowym modelu tablicowym

[4] - Satellite Communications Systems Engineering Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance

[5] Clingo guide – potassco

[6] Introduction to the theory of computation

[8] Legal and Political Aspects of the Use of European Satellite Navigation Systems Galileo and EGNOS

[9] SATELITARNE sieci teleinformatyczne

[10] Bellis, Mary. "The History of Satellites - Sputnik I." ThoughtCo. <https://www.thoughtco.com/history-of-satellites-4070932> (dostęp 28.08.2020).

[11] Keith Schmidt, 2001, Using Tabu Search to Solve the Job Shop Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times

[12] Programista 3/2018 (70) 285358

[13] AU-18 Space Primer, Prepared by Air Command And Staff College Space Research Electives Seminars, Air University Press Maxwell Air Force Base, Alabama

[14] Prolog

[15] Applications of Answer Set Programming Esra Erdem, Michael Gelfond, Nicola Leone, 2016, Association for the Advancement of Artificial Intelligence. ISSN 0738-4602

[16] A SIMPLE OPTIMISED SEARCH HEURISTIC FOR THE JOB-SHOP SCHEDULING PROBLEM

[17] Introduction to logic programming

[18] Goodman, Melissa D.; Dowsland, Kathryn A.; Thompson, Jonathan M. (2007). "A grasp-knapsack hybrid for a nurse-scheduling problem"

[19] A Constraint-Based Approach to Satellite Scheduling Joseph C. Pemberton and Flavius Galiber, Pacific-Sierra Research 1400 Key Boulevard, Suite 700 Arlington, VA 22209

[20] A SIMPLE OPTIMISED SEARCH HEURISTIC FOR THE JOB-SHOP SCHEDULING PROBLEM

[21] Satellite observation scheduling with a novel adaptive simulated annealing algorithm and a dynamic task clustering strategy