

Od autora:

Artykuł nie stanowi opracowania naukowego, a jedynie ma na celu przybliżenie zagadnienia osobom zainteresowanym tematyką łączności, w tym łączności w kosmosie.

Źródłem informacji były głównie strony internetowe NASA, ale również wiele innych, związanych z zagadnieniami występującymi w poniższym tekście.

ŁĄCZNOŚĆ W KOSMOSIE

Opracowanie: Leszek Michura-sp9nsy

Spore trudności sprawia nam niekiedy łączność w obrębie naszej planety a czy możliwe są łączności międzyplanetarne?

Słońce to gwiazda Układu Słonecznego. Wokół każdej gwiazdy krążą planety. Najbardziej odległą od Słońca planetą naszego układu jest Pluton. Jego odległość od Słońca wynosi 39 AU, czyli około 5 mld 850 mln km.

Zaliczany jest do planet karłowatych. Jeden rok na Plutonie = 248 lat, a jeden dzień trwa ponad 6 dni ziemskich.

1 AU (j.a) = 150 mln km. Taka odległość dzieli Ziemię od Słońca.

Do wyrażania dalszych odległości w przestrzeni kosmicznej używa się jednostki „rok świetlny”, (w skrócie -„ly”), jest to odległość, jaką przemierzy światło w ciągu roku ziemskiego, (w przybliżeniu 1ly = 9,5 bln km).

Dla przypomnienia : prędkość światła, czyli prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej to około 300000 km na sekundę (dokładna wartość = 299792458m/s).

Amerykańska agencja kosmiczna NASA wysłała w przestrzeń pozaziemską wiele sond bezzałogowych, (ok. 200), z którymi konieczne jest utrzymywanie obustronnej łączności.

Najlepiej do tego celu nadają się fale radiowe (elektromagnetyczne) w zakresie mikrofal, powyżej 300 MHz, (niektóre źródła podają częstotliwość od 1 GHz), aż do zakresu podczerwieni. Mikrofałe rozchodzą się prostoliniowo, w sposób zbliżony do promieni świetlnych i mają właściwość przenikania na bardzo duże odległości w wolnej przestrzeni, szczególnie w próżni kosmicznej.

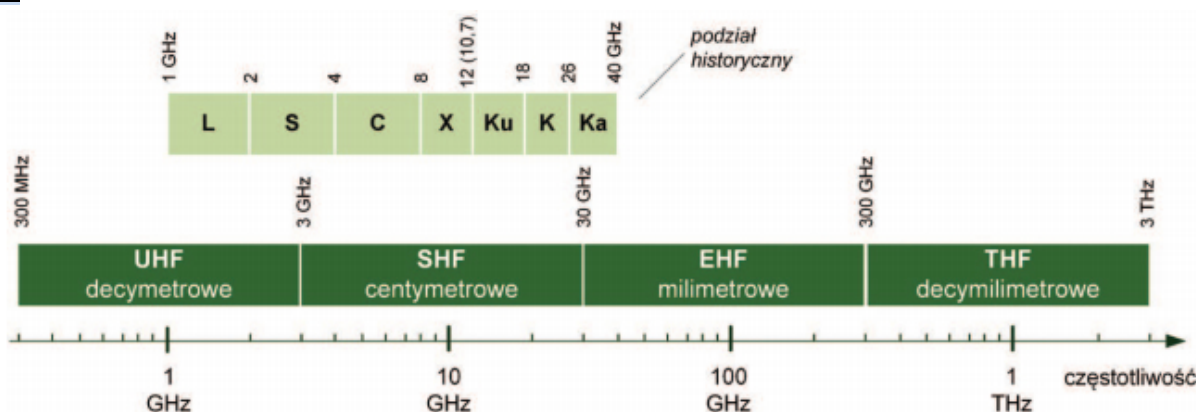
Oczywiście łączność w kosmosie odbywa się tylko na niektórych zakresach mikrofalowych, zwanych oknami. Są to częstotliwości, na których fala elektromagnetyczna, jest w stanie bez przeszkód opuścić naszą planetę -nie ulegając tłumieniu i rozproszeniu w górnych warstwach atmosfery, a także w środowisku, jakim jest powietrze.

Do obustronnej łączności z sondami kosmicznymi wykorzystywane jest pasmo S oraz pasmo X.

Pasmo S (ang. S band): — fragment widma fal elektromagnetycznych w zakresie promieniowania mikrofalowego o częstotliwościach od 2 do 4 GHz położone po obu stronach umownej granicy 3 GHz pomiędzy UHF i SHF.

Pasmo X (ang. X band) — fragment widma fal elektromagnetycznych w zakresie promieniowania mikrofalowego o częstotliwościach od 8 do 12,5 GHz.

dz



pasmo mikrofalowe

Fragment pasma X w zakresie częstotliwości od 7 GHz do 9,5 GHz jest szczególnie korzystny do komunikacji w kosmosie (tzw. okno). Fale radiowe w tym zakresie ulegają w najmniejszym stopniu wpływowi zakłóceń i tłumieniu, rozchodzą się prostoliniowo na bardzo duże odległości.

Wykorzystywane jest również „okno” w dolnym zakresie częstotliwości pasma S, na częstotliwościach ok. 2,2 GHz.

Należy nadmienić, że „okna” pojawiają się na różnych częstotliwościach zbliżonych do w.w. Dotyczy to jedynie atmosfery ziemskiej, w której środowisko to ulega ciągłym zmianom. W zależności od natężenia wiatru słonecznego zmienia się tłumienie w górnych warstwach atmosfery (jonosfera, troposfera). Natomiast w dolnych warstwach atmosfery (najbliżej Ziemi), występują zmienne warunki atmosferyczne. Śnieg, deszcz, mgła, a nawet wiatr, wpływają na tłumienie fal radiowych, także, a może szczególnie w zakresie mikrofal, co przy odbiorze bardzo słabych sygnałów z sond kosmicznych ma niebagatelne znaczenie.

W atmosferze ziemskiej fale radiowe są dodatkowo tłumione z powodu absorpcji energii przez cząsteczki gazów znajdujących się w powietrzu. O ile absorpcja ta jest nieznaczna w zakresie małych częstotliwości, o tyle dla częstotliwości mikrofalowych jest już zjawiskiem bardzo istotnym. Ogólnie rzecz biorąc, pochłanianie energii wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości, przy czym dla niektórych częstotliwości obserwuje się gwałtowny wzrost tłumienia, co jest spowodowane oddziaływaniem fali EM(elektromagnetycznej) na molekuły poszczególnych rodzajów gazów zawartych w atmosferze.

Również w próżni kosmicznej występuje tłumienie fali elektromagnetycznej, związane z występowaniem wiatru słonecznego, promieniowania galaktycznego, różnego rodzaju gazów np. wodoru oraz plazmy.

Tłumienie zwiększa się wraz ze wzrostem odległości, ulega wówczas rozproszeniu.

Fale mikrofalowe ulegają odbiciu od obiektów o gęstej strukturze stałej, co wykorzystywane jest w pomiarach radarowych, oraz rozproszeniu i absorpcji w środowisku dielektrycznym, zawierającym dipole proste (np. woda, kwas octowy itp.), co ma zastosowanie np. w kuchenkach mikrofalowych.

Dalszy etap łączności w kosmosie opiszę na przykładzie sond kosmicznych New Horizons i Voyager 1.

New Horizons (skrót techniczny NHPC) – sonda kosmiczna amerykańskiej agencji NASA.

Wystartowała z ziemi 19 stycznia 2006 roku. Jej celem głównym było zbadanie Plutona (planety karłowatej na krańcach Układu Słonecznego. Odległość od ziemi ok. 39 AU)

Sonda pędziła w kierunku Plutona z prędkością prawie 58 tys. km/h, przez ponad 9 lat. Cel osiągnęła w lipcu 2015 r.

Do boku sondy przymocowany jest generator radioizotopowy (RTG.) zawierający 11 kg ditlenku plutonu 238. Na początku misji generator dostarczał energii o mocy około 240 W i napięciu 30 V. Podczas przelotu koło Jowisza dostarczana moc spadła do 234 W, a podczas przelotu koło Plutona wynosiła około 200 W. Spadek mocy generatora, związany jest z rozpadem pierwiastków.

Łączność z ziemią zapewniają: antena główna HGA (High Gain Antenna), o średnicy 2,1 m, i zysku 42 Db. Co przekłada się na moc ERP (Effective Radiated Power) ok. 199526 wat. Mniejsza antena o średnicy 0,3 m oraz dwie anteny pomocnicze, które używane były tylko do odległości 5 AU (1 AU = 150 mln km.) od Ziemi.

System antenowy jest skonstruowany tak, aby wszystkie anteny współpracowały podczas przesyłania i odbioru danych. Może się to odbywać równocześnie, dzięki diplekserom zamontowanym w systemie łączności, aby nie oczekiwać na zakończenie jednostronnej transmisji.

Sygnał emitowany jest jednocześnie w dwóch polaryzacjach kołowych (prawo i lewoskrętnej), aby poprawić osiągi i skuteczność sygnału. Odpowiednie czujniki analizują sygnały z Ziemi oraz współrzędne sondy i ustawiają anteny oraz częstotliwość nadajnika tak, aby sygnał na Ziemi był, jak najlepiej odbierany, uwzględniając efekt Dopplera.

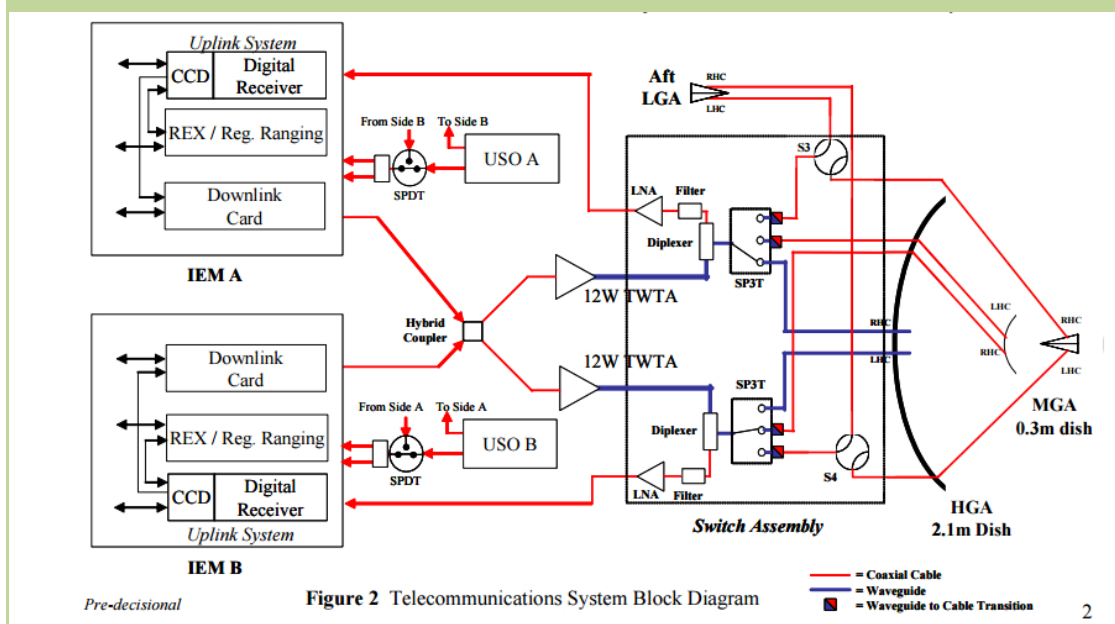
Szerokość wiązki fali radiowej z anten równa jest 0,3 stopnia, co przekłada się na szerokość wiązki w okolicach Ziemi na ok. 100 mln km. Prędkość przesyłania danych na Ziemię z okolic Plutona może wynieść od 600 do 1200 bitów na sekundę. Potrzeba na to minimum 16 miesięcy, aby wysłać komplet danych na Ziemię. Są to głównie zdjęcia w HD, filmy, ale również mnóstwo danych uzyskanych z aparatury pomiarowej na pokładzie sondy oraz dane telemetryczne.

Sonda zapisuje te dane na dwóch 8 G pamięciach flash, później stopniowo przesyła je na Ziemię.

Anteny będą w stanie komunikować się z Ziemią na odległości większe niż 50AU, (7 mld, 500 mln km.), lub aż do wyczerpania energii.

W części końcowej nadajnika New Horizons pracują dwa niezależne wzmacniacze mocy TWTA, po 12 W każdy, z możliwością pracy równoległej w celu osiągnięcia mocy output 21W.

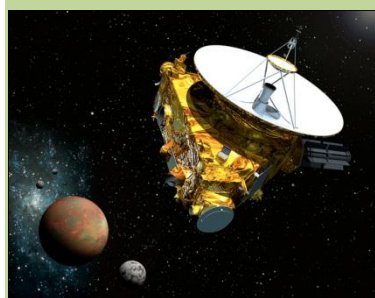
Poniżej schemat blokowy części telekomunikacyjnej sondy New Horizons



Sonda wyposażona jest w zestaw 4 silników o ciągu 4,4 N i 12 silników o ciągu 0,8 N. Służą one do wykonywania korekt kursu i do kontroli położenia sondy, a zatem również ustawienia anten (nie są skrętne). Materiał pędny dla silników stanowi hydrazyna, (rodzaj paliwa raketowego).

Na pokładzie sondy została umieszczona płyta CD z nazwiskami 435 000 osób, które wpisały się na listę chętnych. Na pokładzie znajduje się także amerykańska flaga, niewielki kawałek kadłuba samolotu raketowego SpaceShipOne oraz mały aluminiowy pojemnik z prochami odkrywcy Plutona, Clyde'a Tombaugh.

Wielowarstwowa izolacja New Horizons składa się z 18 warstw włókna poliestrowego (polimer kondensacyjny z glikolu etylenowego i kwasu tereftalowego), umieszczonej w aluminiowanej folii z tworzywa sztucznego. Zadaniem izolacji jest utrzymanie temperatury pomiędzy 10 - 30 stopni C. Generatory zabezpieczają termicznie dodatkowe termostaty, utrzymując stałą temperaturę. (w kosmosie panuje temperatura nawet -270 stopni C).



New Horizons

W 2021 roku byłyby dostępne około 182 watów mocy z zasilania jądrowego sondy, wciąż umożliwiając pełne realizowanie operacji naukowych. Minimalna moc wymagana przez sondę to 160 watów, potrzebnych do funkcjonowania centralnych systemów i nadajnika.

Jako ciekawostkę dodam, że w sondzie zamontowany jest komputer z procesorem Mongoose-V, 12 MHz, z poczwórną architekturą stosowany m.in. w play station, oraz dwa systemy operacyjne.

Całkowity koszt operacji wyniósł 700 mln USD. Szczegółowe dane techniczne sondy wraz ze schematami można znaleźć tutaj:

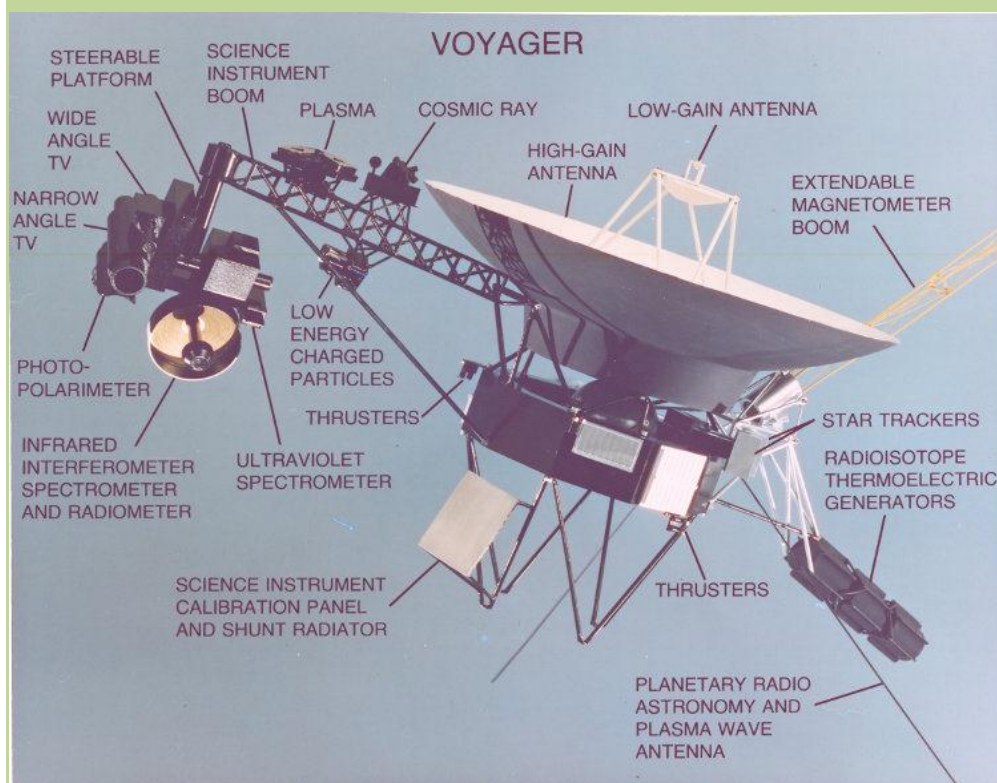
http://www.boulder.swri.edu/~tcase/NH%20RF%20Telecom%20Sys%20ID1369%20FINAL_Deboy.pdf

<http://www.uhf-satcom.com/amateurdsn/Paper-969.pdf>

Voyager 1 – bezałogowa sonda kosmiczna NASA, wystrzelona 5 września 1977 roku z Przylądka Canaveral na Florydzie. Na początku 2016 roku sondę dzieliła od Ziemi odległość około 134 au (20,14 biliona km.), i była ona najdalszym i ciągle działającym obiektem wysłanym w przestrzeń kosmiczną przez człowieka.

W 2012 roku sonda opuściła Układ Słoneczny i znajduje się w przestrzeni międzygwiazdnej. Sygnał wysłany przez sondę w kierunku anten Deep Space Network potrzebuje ponad 18 godzin (1,56 dnia) na przebycie tej drogi.

Tempo spadku mocy generatora wynosi średnio około 4,3 W rocznie, co zmusza do stopniowego wyłączania systemów pokładowych i instrumentów naukowych. We wrześniu 2014 roku generatory sondy Voyager 1 wytwarzały energię o mocy 255,9 W.



Łączność

Łączność z sondy utrzymywana jest głównie za pośrednictwem anteny HGA o wysokim zysku (High-Gain Antenna), o średnicy 3,66 m. Kąt połowy mocy HGA dla pasma X wynosi $0,5^\circ$, a dla pasma S $2,3^\circ$. Na strukturze nośnej HGA zamontowana jest także antena o niskim zysku (LGA), która używana była sporadycznie podczas niektórych manewrów i w razie problemów z utrzymaniem łączności. Sonda posiada dwa transponder (główny i zapasowy). Każdy z transponderów zawiera nadajniki pracujące w paśmie S (na częstotliwości 2295 MHz) i w paśmie X (na częstotliwości 8418 MHz) oraz odbiornik w paśmie S (na częstotliwości 2113 MHz). Voyagery były pierwszymi sondami, które używały pasma X jako głównej częstotliwości nadawczej. Nadajnik w paśmie S mógł pracować z mocą 9,4 W oraz 28,3 W, natomiast nadajnik w paśmie X z mocą 12 W oraz 21,3 W.

Dane naukowe mogły być transmitowane w paśmie X z maksymalną szybkością 115,2 kilobitów na sekundę (przy Jowiszu). Możliwa do uzyskania szybkość przekazu maleje wraz ze wzrostem odległości sond od Ziemi – przy Saturnie wynosiła 44,8 kb/s, przy Uranie i Neptunie (Voyager 2) 21,6 kb/s. Podczas obecnej fazy misji Voyager (Misja Międzygwiazdowa) dane typowo przesyłane są z sond w paśmie X w czasie rzeczywistym, z szybkością 160 bitów na sekundę i odbierane przez anteny DSN o średnicy 34 m i 70m.

Sondy zaopatrzone w szerokopasmowe odbiorniki radiowe do wykrywania sygnałów w kosmosie.

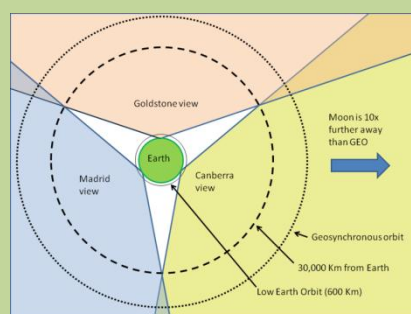
Instrukcje ze stacji naziemnych są przesyłane do sond w paśmie S z szybkością ok. 16 bitów na sekundę w krótkich pakietach.

Oczywiście naukowcy musieli zabezpieczyć łączność z sondami w razie niemożności kontaktu bezpośredniego z Ziemi.

Poszczególne sondy kosmiczne znajdujące się w różnych odległościach od naszej planety są w stanie pracować jako repeatery (przełączniki, przemienniki), przysyłając sygnały od jednej sondy do drugiej, a następnie na Ziemię.

Deep Space Network (DSN)

Ziemia (czytaj: NASA), ma do dyspozycji trzy centra łączności z kosmosem sieci DSN, z antenami o średnicy 34 m i 70m, oraz ultraczułymi odbiornikami. Ośrodki DSN są usytuowane na kuli ziemskiej co 120 stopni, po to, aby kiedy Ziemia z uwagi na swój ruch obrotowy znajdzie się w położeniu uniemożliwiającym łączność z daną sondą, (zasłoni konkretny wycinek nieba), kolejny ośrodek DSN mógł przejąć kontrolę.



Pole widzenia anten DSN

Kompleksy DSN znajdują się w Barstow (Goldstone) w Kalifornii- USA, Madrycie- Hiszpania i Canberra - Australia.

Potężne radioteleskopy ośrodka, z antenami parabolicznymi o średnicach do 70m, wysyłają i odbierają sygnały z kosmosu. Całym systemem sterują najnowocześniejsze komputery, ustawiając anteny nieustannie z olbrzymią dokładnością rzędu setnych stopnia. Przy obliczeniach kierunku bierze się pod uwagę wiele czynników, takich jak:

Ruch obrotowy Ziemi, (1667 km/h przy równiku. Prędkość kątowna = 1 stopień /4 min)

Ruch obiegowy Ziemi wokół Słońca, (107210 km/h ok. 29,76 km/s)

Efekt Dopplera.

Ten ostatni sprawia najwięcej kłopotów przy obliczaniu ustawień anteny. Jest związany z ruchem Ziemi oraz prędkością i kierunkiem poruszania się sondy względem anteny na Ziemi.

Efekt Dopplera sprawia, że sygnał nadany z sondy na częstotliwości np. 2,3 GHz, jest odbierany na Ziemi na częstotliwości niższej o ok. 180 MHz. Jeżeli naukowcy choć odrobinę pomylą się w obliczeniach, np. sonda z nieznanymi przyczyn (grawitacja) nagle przyspieszy lub zwolni, sygnały ze statku nie będą słyszane na oczekiwanej częstotliwości.

Współczesne moce obliczeniowe komputerów są w stanie dokonywać tych obliczeń bardzo szybko.

Na podstawie efektu Dopplera NASA potrafi określić położenie sondy w przestrzeni kosmicznej z dokładnością do ok. 5-10m.

To samo zjawisko służy do określania położenia (odległości) i prędkości ciał kosmicznych (gwiazdy, galaktyki) w kosmosie oraz ich kierunku, na podstawie fali elektromagnetycznej światła widzialnego.

Przy dużych mocach promieniowanych z anten DSN w paśmie mikrofalowym, konieczne jest uwzględnienie szeregu negatywnych czynników występujących w dolnych warstwach atmosfery, związanych z tymże promieniowaniem. Jednym z nich jest zjawisko absorpcji części energii przez cząsteczki wody, lodu i pary wodnej, występujące w atmosferze ziemskiej, które pod wpływem mikrofal potrafią w znacznym stopniu ulec podgrzaniu do bardzo wysokich temperatur, przekazując energię termiczną kolejnym cząsteczkom. W wyniku tej reakcji rośnie relatywna temperatura otoczenia. Oczywiście jest to zjawisko nieuniknione. Podczas transmisji, DSN monitoruje temperaturę otoczenia, dostosowując odpowiednio moc nadajników.

Nic też nie może znaleźć się na drodze wiązki wypromieniowanej fali EM, stąd na danym obszarze transmisji, nie mogą odbywać się żadne loty samolotowe i inne.

W dniu 4 lipca 2016 roku trwała bezpośrednia łączność z sondą NHPC z okolic Plutona, za pośrednictwem anteny parabolicznej DSN o średnicy 70m, o nazwie DSS-43, zainstalowanej w Australii w miejscowości Canberra. Dane podane poniżej pochodzą z tej właśnie łączności z sondą:

Transmisja z New Horizons z szybkością 4,21 kb/sec na częstotliwości 8,44 GHz. Siła odbieranych sygnałów ok. -140 dbm, ($2,45 \cdot 10^{-21}$ KW), (czyli miliardowe, a nawet trylionowe części wata). Transmisja do sondy- na częstotliwości 7,18 GHz, moc 18,2 kW.

Odległość sondy od ziemi: 5,21 biliona km. Czas, jaki upłynie od wystania sygnałów z Ziemi do otrzymania potwierdzenia od sondy to 9,65 godziny.



DSS-43 Canberra (...jednak największy radioteleskop budują Chińczycy. 500 metrowa czasza ma służyć tylko do nasłuchu).

Do transmisji danych w obydwu kierunkach stosuje się synfazowy oraz kwadraturowy przesył danych, z cyfrową modulacją BPSK oraz QPSK.

Transmisje z ośrodków DSN w czasie rzeczywistym, a z sond w czasie „rzeczywisto-przeszłym” (przyp. autora), można zobaczyć tutaj: <https://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html>

Łączność EME

Na koniec nie sposób nie wspomnieć o łącznościach EME (Ziemia Księżyc Ziemia).

Dla fali radiowej Księżyc cechuje pewna stała wartość, gdyż nie posiada on atmosfery. Powierzchnia Księżyca pochłania ok.90% kierowanej na niego fali EM i tylko część środkowa o średnicy ponad 300 km odbija kilka procent rozproszonej energii. Powracający na Ziemię sygnał wywołuje zmiany elektryczne w antenach odbiorczych na poziomie niższym niż odbierane szumy termiczne Słońca i Ziemi. Konieczne są więc wyspecjalizowane anteny i bardzo czułe odbiorniki.

Niezbędne minimum do przeprowadzenia łączności EME to: dla pasma 2m, 4 sprzężone Yagi i 500W mocy.

Dla wyższych częstotliwości, anteny paraboliczne min. 3m, z polaryzacją kołową i 200W.

Łączności satelitarne.

Łączność z ISS (International Space Station)

Stacja orbituje na wysokości 400 km.

Na stacji ISS znajduje się sprzęt radiowy na potrzeby krótkofalarstwa (projekt ARISS). Ma ona także przydzielone własne znaki wywoławcze: amerykańskie NN1SS oraz NA1SS, rosyjski RZ3DZR oraz niemiecki DL0ISS.

W paśmie 70 cm, dla ISS, przesunięcie częstotliwości wywołane efektem Dopplera wynosi +/- 10 KHz.

Nad Ziemią znajduje się ok. 500 sztucznych satelitów. Mają orbity na wysokości do 50 000 km.

Część z nich jest satelitami umożliwiającymi łączności amatorskie. W większości pracują jako repeatery crossband.

Choć prędkość światła, z jaką biegnie fala EM, wydaje się nam ogromna, to jednak nie jest możliwe utrzymywanie łączności w czasie rzeczywistym na duże kosmiczne odległości. Z bliską nam planetą Marsem czas opóźnienia w łączności wyniósłby od 3 do 22 min w jedną stronę, w zależności od punktu orbitalnego Marsa. W obie strony to nawet ok. 45 min. Jednak jak się okazuje, łączność jest możliwa na znacznie większe odległości.

©sp9nsy