



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Tadas Miniotas

Palydovinio plačiajuosčio tinklo projektas

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Stasys Kašėta

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
TELEKOMUNIKACIJŲ KATEDRA

PALYDOVINIO PLAČIAJUOSČIO TINKLO PROJEKTAS

Baigiamasis magistro projektas
Telekomunikacijų sistemos (621H64002)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Stasys Kašėta
(data)

Recenzentas

(parašas)
(data)

Projektą atliko

(parašas) stud. Tadas Miniotas
(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

(Fakultetas)

(Studento vardas, pavardė)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Palydovinio plačiajuosčio tinklo projektas
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tado Minioto** baigiamasis projektas tema „.....“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Miniotas T. Palydovinio plačiajuosčio tinklo projektas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. S. Kašėta; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir Elektronikos fakultetas, Telekomunikacijų katedra.

Kaunas, 2016. 51 psl.

SANTRAUKA

Darbo tikslas - parengti plačiajuosčio palydovinio tinklo, naudojančio žemos orbitos palydovus, projektą.

Analitinėje dalyje aptariami tinklo realizavimo struktūriniai variantai, ryšio palydovų erdvinės charakteristikos bei tinklui tinkama signalo perdavimo technologija. Apžvelgiamos tinklu teikiamos paslaugos ir antžeminių stočių sudėtinės dalys.

Projektinėje darbo dalyje parinkta tinklui tinkanti struktūra. Aptariamos pasirinkto ryšių palydovo erdvinės charakteristikos. Įvertinti vartotojų sukuriami srautai, atlikti palydovinio ryšio energetinių charakteristikų ir signalo vėlinimo per žemos orbitos palydovus skaičiavimai. Parinkta tinklo įranga ir atliktas ekonominis projekto įvertinimas.

Miniotas T. Satellite broadband network project. Master work in telecommunication / supervisor doc. dr. S. Kašėta; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Telecommunications

Kaunas, 2016. 51 psl.

SUMMARY

The goal of the thesis is to design satellite broadband network using low earth orbit.

The analytical section of the thesis contains an overview of networks structure realization, satellites dimensional characteristics and the best signal transmission technique. In addition to that, ground stations and network services are discussed.

Applicative part of the thesis covers a choice of a suitable network structure. Also chosen satellite dimensional characteristics are discussed. Finally, consumer generated data flows, satellite energetic characteristic and signal delay on low earth orbit are estimated. Based on that appropriate network equipment is chosen and valued economical project.

Turinys

Turinys.....	6
Sutrumpinimų sąrašas.....	7
Įvadas.....	8
1. Užduoties analizė.....	10
1.1. Objekto charakterizavimas	10
1.2. Tikslas ir uždaviniai.....	13
2. Palydovinio tinklo technologijų analizė	13
2.1. Palydovinio tinklo struktūrinių variantų analizė.....	13
2.2. Ryšio palydovų erdvinių charakteristikų analizė.....	16
2.3. Teikiamų paslaugų analizė.....	20
2.4. Antžeminių stočių sudėtinių dalių analizė	21
2.5. Plačiajuosčiam tinklui tinkamų signalo perdavimo technologijų analizė.....	23
3. Palydovinio tinklo projektavimas	25
3.1. Tinklo struktūros parinkimas	25
3.2. Pasirinkto ryšių palydovo erdvinių charakteristikų analizė	28
3.3. Signalų vėlinimo palydoviniame tinkle skaičiavimas	30
3.4. Palydovinio ryšio energetinių charakteristikų skaičiavimas.....	31
3.4.1. Aukštynkrypčio signalo perdavimas	34
3.4.2. Žemynkrypčio signalo perdavimas	35
3.5. Įvairiomis paslaugomis sukurtam tinklo duomenų srautų skaičiavimas	36
3.6. Tinklo įrangos parinkimas	38
4. Ekonominis įvertinimas.....	40
5. Išvados.....	42
Naudotos literatūros sąrašas	43
Priedai.....	46

Sutrumpinimų sąrašas

LEO	Žemoji Žemės orbita (angl. <i>Low Earth Orbit</i>)
MEO	Vidutinė Žemės orbita (angl. <i>Medium Earth Orbit</i>)
GEO	Geostacionarioji Žemės orbita (angl. <i>Geostationary Earth Orbit</i>)
NCC	Tinklo koordinavimo centras (angl. <i>Network Coordination Center</i>)
NOC	Tinklo eksploatavimo centras (angl. <i>Network Operations Center</i>)
TT&C	Telemetrija, sekimas ir valdymas (angl. <i>Telemetry, Tracking and Command</i>)
PSTN	Viešieji komutujamieji telefoniniai tinklai (angl. <i>Public Switched Telephone Network</i>)
PLMN	Viešieji žemės mobilieji tinklai (angl. <i>Public Land Mobile Network</i>)
PDN	Viešieji duomenų tinklai (angl. <i>Public Data Network</i>)
ISL	Tarpalydovinis ryšys (angl. <i>Inter – Satellite Link</i>)
TDD	Laikinis sutankinimas dupleksu (angl. <i>Time Division Duplex</i>)
GPSRO	Pasaulinė stebėjimo sistema (angl. <i>Global Positioning System Radio Occultation</i>)
IP	Interneto protokolas (angl. <i>Internet Protocol</i>)
MOS	Tikroji numatytoji vertė (angl. <i>Mean Opinion Score</i>)
FDMA	Daugiakartė dažninio tankinimo kreiptis (angl. <i>Frequency Division Multiple Access</i>)
TDMA	Daugiakartė laikinio tankinimo kreiptis (angl. <i>Time Division Multiple Access</i>)
CDMA	Daugiakartė kodinio tankinimo kreiptis (angl. <i>Code Division Multiple Access</i>)
C/N	Nešlio ir triukšmo santykis (angl. <i>Carrier to Noise ratio</i>)
EIRP	Ekvivalentinė izotropinės spinduliuotės galia (angl. <i>Effective Isotropic Radiated Power</i>)

Ivadas

Technologijų plėtra pastaraisiais dešimtmečiais pakeitė žmonijos gyvenimą. XXI amžiuje telekomunikacijų sistemos leidžia komunikuoti bet kurioje žemės vietoje ir bet koku metu. Komunikacijos galimybių neriboja palydovų judėjimas įvairiais greičiais ar perduodamos informacijos tipas – duomenys, balsas, vaizdas. Svarbią ir nuolat augančią telekomunikacijų infrastruktūros dalį sudaro palydovinės telekomunikacijų sistemos.

Palydovinės sistemos paprastai veikia trijų tipų orbitose – LEO, MEO, GEO. GEO palydovai skrieja ~36000 km nuo Žemės paviršiaus, MEO (5000 – 15000 km), LEO (500 – 2000 km). Atitinkamai nuo atstumo priklauso ir signalo vėlinimas, kuris didelę įtaką turi balso perdavimui. Kuo didesnis vėlinimas, tuo prasčiau užtikrinama paslaugos kokybė. GEO palydovai dažniausiai naudojami TV ar radijo laidų transliacijoms, MEO – pasaulinei navigacijos sistemai GPS. LEO orbitoje naudojami mažesni ir žymiai pigesni palydovai nei GEO, todėl LEO orbitos plėtra yra viena iš svarbiausių palydovinio radijo ryšio plėtros tendencijų. Su kiekvienais metais daugėja kompanijų su naujais projektais, kurie planuoja paleisti į LEO orbitą daugybę naujų palydovų, kurie užtikrintų plačiajuosčių ryšį.

Šiuo metu plačiajuosčių paslaugų teikiančių kompanijų pasaulyje nėra, tačiau artimiausiu metu – 2017 metais, Iridium NEXT turės pirmąjį žvaigždyną su 66 palydovais užtikrinančiais plačiajuostes paslaugas.

Plačiajuosčių tinklų paklausa pastaraisiais metais taip pat išaugo, kadangi jie užtikrina didesnes spartas. Nors ir signalui apdoroti skirta įranga yra sudėtingesnė bei brangesnė, dėl didėjančio spartų poreikio, šis perdavimo būdas turėtų pakeisti neplačiajuosčius tinklus. Tokio tipo tinklų nauda palydovinėse sistemose pritraukia vis daugiau vartotojų. Pradedant nuo laisvalaikio iki darbo reikalų. Palydovinės įrangos gamintojai siūlo įvairią įrangą atsižvelgiant į vartotojų poreikius.

Vis plačiau tokios sistemos naudojamos darbo reikalams, tokiems kaip laivininkystei, aviacijoje, krovinių pervežimuose, statybose. Be palydovinio ryšio tiek šiauriniame, tiek pietiniame poliuje būtų neįmanoma susisiekti su išoriniu pasauliu. Pietiniame poliuje, Antarktidoje yra įsikūrę nemažai mokslinių stočių, kurie atlieka įvairius tyrimus, tačiau neturi pastoviai užtikrinamų plačiajuosčių paslaugų. Kad perduotų tyrimų informaciją į duomenų bazes Europoje, Amerikoje ar Azijoje, reikalingas palydovinis plačiajuosčių tinklas.

Darbo eigoje pateikiama pasirinkto objekto charakteristika, parenkama palydovinio tinklo struktūra. Analizuojamos palydovų erdvinės charakteristikos bei atliekami palydovinio ryšio energetinių charakteristikų ir signalo vėlinimo per žemos orbitos palydovus skaičiavimai. Įvertinami vartotojų sukuriama srautai bei parenkama tinklo įranga.

Šio darbo tikslas - parengti plačiajuosčio palydovinio tinklo, naudojančio žemos orbitos palydovus, projektą.

1. Užduoties analizė

Pagrindinė darbo užduotis yra parengti plačiajuosčio palydovinio tinklo projektą naudojant žemos orbitos palydovus. Šiai užduočiai įvykdyti yra aptariama objekto charakteristika, nurodomi pradiniai duomenys darbui bei tinklu teikiamos paslaugos.

Siekiant įgyvendinti šią užduotį, reikia atlikti palydovinio tinklo struktūrinių variantų analizę, ryšio palydovų erdvinę charakteristikų analizę bei parinkti plačiajuosčiam tinklui tinkamas signalo perdavimo technologijas. Atlikus šias užduotis bus galima projektuojamam tinklui parinkti konkrečią tinklo struktūrą, pagal kurią turės veikti tinklas. Vien tik tinklo struktūros nepakanka, kad tinklas veiktų patikimai, todėl reikės atlikti srautų tinkle skaičiavimus bei iširti signalo vėlinimą tinkle per pasirinktos orbitos palydovus. Taip pat bus apskaičiuojamos palydovinio ryšio energetinės charakteristikos. Kad būtų užtikrintas palydovinio tinklo veikimas, bus parinkta atitinkama įranga bei projektas įvertintas ekonominiu požiūriu.

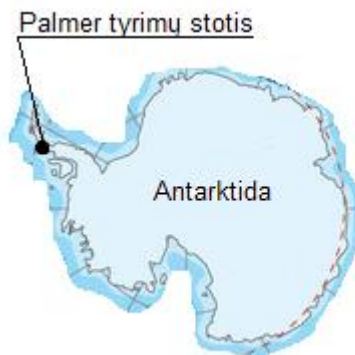
1.1. Objekto charakterizavimas

Pradedant projektuoti palydovinį plačiajuosčių tinklą, pirmiausia reikia išanalizuoti objektą. Paprastai palydovinis ryšys yra teikiamas pasauliniu mastu, užtikrindamas aprėptį didelėms teritorijoms, įskaitant ir vandenynus. Šiuo atveju tinklas bus kuriamas Antarktidoje, Palmer mokslinėje stotyje. Pasirenkama tinkamiausia palydovinė sistema, kurią naudojant bus užtikrintas plačiajuostis ryšys. Tokio tinklo tikslas užtikrinti šimtaprocentinę aprėptį bei plačiajuostes paslaugas.

Kiekviena šalis turinti mokslinę stotį Antarktidoje dažniausiai naudoja savo palydovines sistemas. Šiuo atveju Palmer stotis naudoja GEO orbitoje skriejančius palydovus, kurie užtikrina duomenų perdavimą, tačiau dėl geografinės padėties pietiniame poliuje nėra užtikrinamas nepertraukiamas ryšys. Pati stotis priklauso Amerikai, kuri finansuoja ir remia visus atliekamus mokslinius tyrimus. Mokslinėje stotyje iš viso naudojama 18 kompiuterių, kuriais perduodama informacija į duomenų bazes Amerikoje ar ieškoma reikalinga informacija internete. Pastovus ryšys nėra užtikrinamas, nes apskrita Žemės forma blokuoja pietinį polių nuo palydovų matymo geostacionarioje orbitoje, kadangi jie skrieja pusiaujo plokštumoje. Dėl šios priežasties GEO palydovai pietiniame poliuje ryšį užtikrina nuo 3,5 valandų iki 7 valandų per dieną [1], todėl mokslininkai turi taikytis prie esamų sąlygų.

Kai GEO orbitoje palydovai yra nepasiekiami, naudojami Iridium palydovai. Iridium sistemą sudaro 66 palydovai kurie skrieja LEO orbitoje ir užtikrina šimtaprocentinę aprėptį visoje Žemėje. Deja ši sistema užtikrina tik balso ir trumpųjų žinučių paslaugas. Pagal pateiktus duomenis [1] matyt,

kad Palmer mokslinėje stotyje duomenų perdavimu galima naudotis iki 7 valandų per dieną, o balso paslaugos užtikrinamos visą parą. Pačioje Palmer tyrimų stotyje vasaros sezone būna apie 40 darbuotojų, žiemos sezone sumažėja iki 15 – 20 darbuotojų. Atsižvelgus į mokslinės stoties problematiką, ieškomi tinkamiausi palydovai užtikrinantys pastovias plačiajuostes paslaugas. 1.1 pav. pateikiame Palmer tyrimų stoties buvimo vietą Antarktidoje.



1. 1 pav. Palmer tyrimų stotis Antarktidoje

Pačioje tyrimų stotyje yra 4 pastatai, tačiau tik trijuose iš jų reikalingas palydovinio ryšio užtikrinimas. Tai yra darbui ir poilsiui skirtos patalpos. 1.2 pav. pateiktas Palmer stoties planas, kuriame skaičiais pažymėtos vietos, kuriose reikalingas palydovinio ryšio užtikrinimas. Vienetu (1) pažymėtoje vietoje atliekami saulės, atmosferos, vandenynų ir ledo stebėjimai, dvejetu (2) - atliekami fiziniai, cheminiai, biologiniai tyrimai, trejetu (3) - poilsio patalpos. Remiantis 1.2 pav., 3.1 skyriuje bus pateikta Palmer mokslinės stoties tinklo struktūra.



1. 2 pav. Patalpos, kuriose reikalingas palydovinio ryšio užtikrinimas

Pradiniai duomenys darbui - palydovinio ryšio diapazonas – Ku juosta, LEO apskritiminė orbita, kurios altitudė 950 km, taip pat tinklu teikiamos paslaugos (balsas, duomenys). Tokias paslaugas užtikrinančių kompanijų yra gana nemažai, tačiau dauguma jų GEO orbitoje, kur

pakankamas mažesnis palydovų kiekis, tačiau susiduriama su signalo vėlinimo problemomis. Tas pats yra ir su MEO orbita. Norint, kad vėlinimas būtų minimalus, geriausia naudoti palydovus esančius LEO orbitoje, tačiau šiuo metu plačiajuosčių paslaugos nėra užtikrinamos šioje orbitoje, kadangi reikalingi dideli žvaigždynai, kuriuos valdyti sudėtinga [2,3].

Viena iš kompanijų, kuri teikia plačiajuosčių paslaugas yra Tooway. Deja palydovai skrieja GEO orbitoje, todėl jie yra netinkami. Tokia pati situacija yra ir su SES4, iDirect, BGAN, Thuraya palydovų kompanijomis bei plačiajuosčio ryšio tiekėjais. Ankščiau plačiajuosčių paslaugas LEO orbitoje pasaulyje tiekė SkyBridge ir Teledesic kompanijos, tačiau dėl pinigų trūkumų teko sustabdyti palydovų veikimą.

Nors šiuo metu plačiajuosčių paslaugų LEO orbitoje niekas neužtikrina, netolimoje ateityje turėtų atsirasti gana nemažai naujų žvaigždynų. Tiek LeoSat, OneWay, SpaceX, Iridium NEXT planuoja paleisti palydovus į orbitas, kurie užtikrins plačiajuosčių paslaugas [2,6,7,8]. Šiuo metu tik Iridium kompanija turi palydovus LEO orbitoje ir užtikrina balso paslaugas, tačiau 2017 metais Iridium LEO orbitoje paleidžia naują žvaigždyną pavadinimu Iridium NEXT, kuris užtikrins plačiajuosčių paslaugas. Šiuo atveju, Palmer mokslinėje stotyje įrengus reikiamą įrangą būtų užtikrinamas pastovus balso ir duomenų perdavimo ryšys. Kad visa tai būtų užtikrinta, reikalingas tinklo struktūros parinkimas, ryšių palydovo erdviųjų charakteristikų aptarimas. Taip pat būtina atlikti signalo vėlinimo palydoviniame tinkle skaičiavimus, įvairiomis paslaugomis sukuriamų tinklo duomenų srautų skaičiavimus ir palydovinio ryšio energetinių charakteristikų skaičiavimus, pagal kurį sužinosime ryšio linijos kokybę bei įvertinti projektą ekonominiu požiūriu.

Tobulėjant naujausioms technologijoms visi tinklai turėtų tapti plačiajuosčiais, kadangi sparta yra kelis kartus didesnė nei neplačiajuosčio tinklo. Taip pat, jeigu vienu metu keletas vartotojų naudosis internetu per tą patį modemą, sparta yra dalinama priklausomai nuo vartotojų, tačiau plačiajuosčiame tinkle sparta dalinama priklausomai nuo naudojamo duomenų kiekio be to signalas gali nukeliauti didesnę atstumą nesustiprintas. Didžiausias tokio tinklo trūkumas yra kaina, kadangi tik analoginiai signalai gali būti perduoti. Tokiu atveju palydovuose reikalingi regeneruojantys siųstuvai – imtuvai, kuriais priimtas signalas yra sustiprinamas, demoduliuojamas, pakeičiamas dažnis, moduluojamas, sustiprinamas ir nukreipiamas į anteną [5]. Su naujuoju Iridium NEXT žvaigždynu aukščiau minėtieji dalykai bus užtikrinami.

1.2. Tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas: parengti plačiajuosčio palydovinio tinklo, naudojančio žemos orbitos palydovus, projektą.

Darbo uždaviniai:

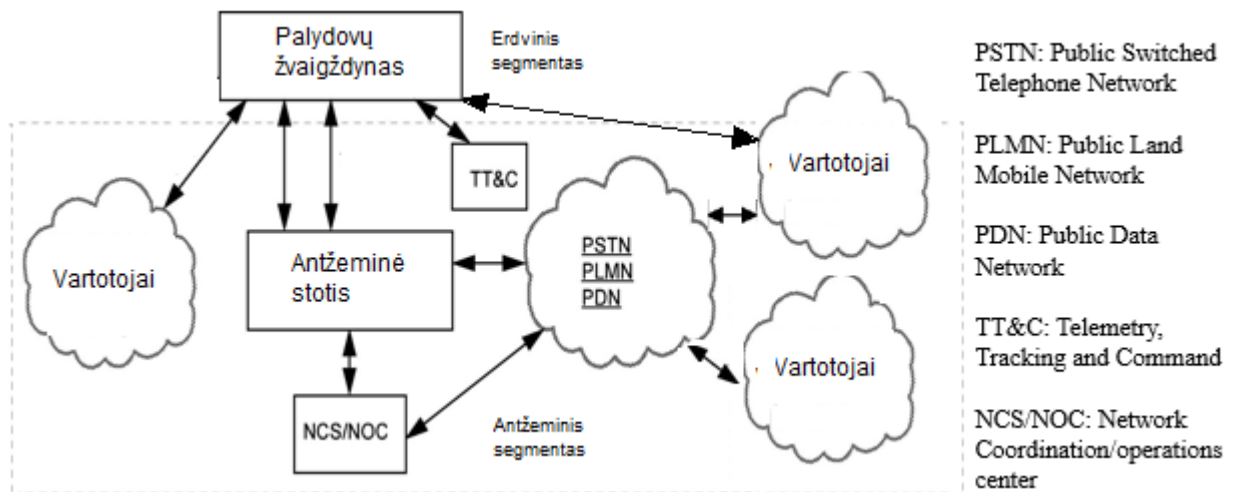
- Atlikti palydovinio tinklo realizavimo struktūrinių variantų analizę
- Atlikti ryšio palydovo erdvinių charakteristikų analizę
- Atlikti plačiajuosčiam tinklui tinkamų signalo perdavimo technologijų analizę
- Atlikti tinklo struktūros parinkimą ir jį pagrįsti
- Atlikti pasirinkto ryšių palydovo erdvinių charakteristikų pasirinkimą ir tai pagrįsti
- Atlikti palydovinio ryšio energetinių charakteristikų apskaičiavimus
- Atlikti įvairiomis paslaugomis sukuriamų tinklo duomenų srautų analizę
- Ištirti signalo vėlinimą palydoviniame tinkle
- Parinkti tinklo įrangą ir ją pagrįsti
- Atlikti ekonominį projekto įvertinimą

2. Palydovinio tinklo technologijų analizė

2.1. Palydovinio tinklo struktūrinių variantų analizė

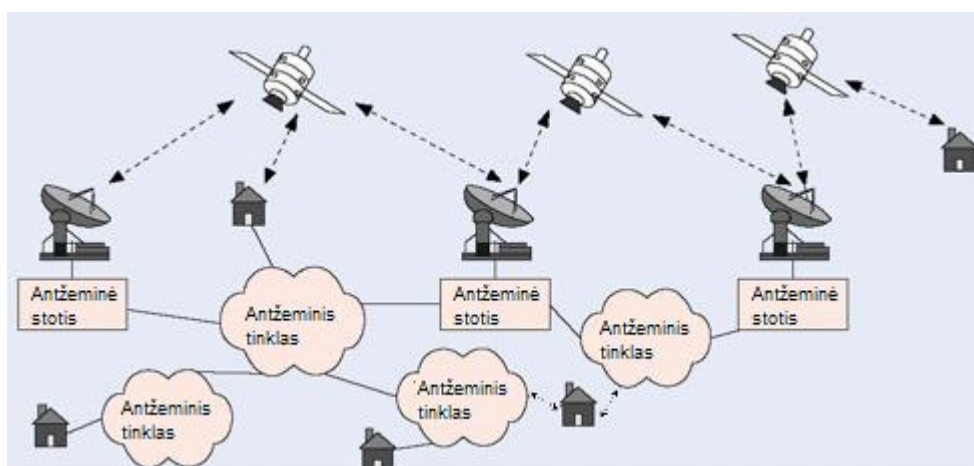
Palydovinis tinklas susideda iš dviejų segmentų – erdvinio ir antžeminio. Erdvinį segmentą sudaro palydovai, kurie gali būti skirti tik transliavimui, balsui ar duomenims, bet taip pat jie gali atlikti ir visas šias funkcijas [41,42]. Antžeminį segmentą sudaro antžeminės stotys, kurios perduoda – priima informaciją iš palydovo, NCC/NOC (tinklo koordinavimo/eksploatavimo centrai), TT&C (telemetrija, sekimas ir valdymas), PSTN (viešieji komutuojamieji telefoniniai tinklai), PLMN (viešieji žemės mobilieji tinklai), PDN (viešieji duomenų tinklai). Detalesnė informacija pateikiama 2.1 pav. Jeigu vartotojai nori apsikeisti duomenimis, informacija keliauja per PDN, antžeminę stotį ir palydovus. Antarktidoje esančiam vartotojui norint persiųsti elektroninį laišką kolegai į Ameriką reikalingas kompiuteris, kuris turi būti prijungtas prie palydovinio modemo. Modemas sujungtas tiesiogiai su palydovine antena, per kurią priima ir perduoda informaciją iš palydovo. Palydovai tarpalydoviniu ryšiu perduoda informaciją gretimoms palydovams tol, kol pasiekama antžeminė stotis ir perduodamas žemynkryptis signalas. Iš antžeminės stoties informacija siunčiama į PDN,

kuriame perduodami duomenys per antžeminį tinklą nukreipiami reikiamam vartotojui. Kad duomenys nepasimestų tinkle tarp daugybės vartotojų, naudojant plačiajuosčių internetą visa informacija yra perduodama paketais, kuriuose nurodomi gavėjo bei siuntėjo adresai. Taip pat perduodama informacija pradedant nuo galinių vartotojų įrenginių yra moduluojama, sustiprinama ir nukreipiama į anteną tolimesniam perdavimui.



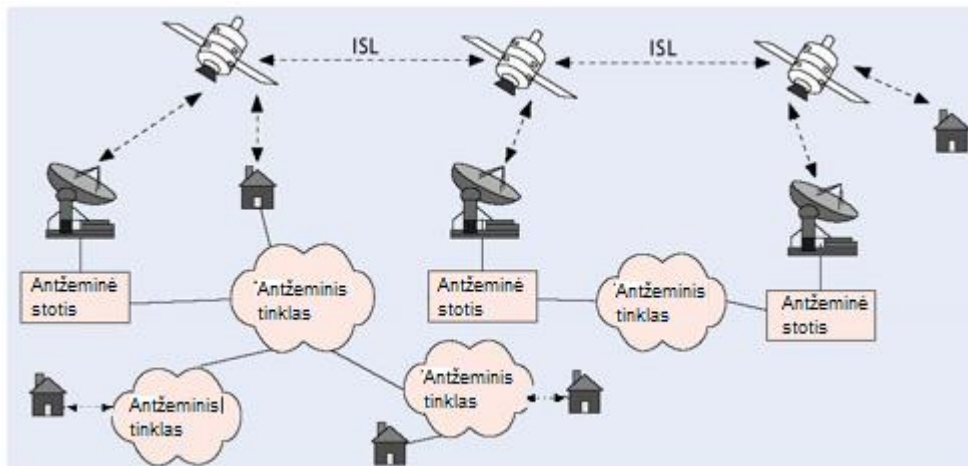
2. 1 pav. Tinklo struktūros elementai

Visi žemės tinklai remiasi 2.1 pav. pateiktais antžeminio segmento elementais, tačiau pačio palydovinio tinklo struktūra gali būti transliavimo, ISL ar „bent pipe“ tipo. „Bent pipe“ metodas pasižymi tuo, kad informacija perduodama į palydovą, o iš jo toliau į antžemines stotis. Tokiu atveju naudojant LEO orbitą, žemėje reikėtų nemažai antžeminių stočių norint perduoti informaciją iš Amerikos į Antarktidą (mokslinę tyrimų stotį), kadangi negalimas tarppalydovinis ryšys. Be to naudojant žemą orbitą tai būtų neekonomiška. Šio tipo palydovinio tinklo struktūrą dažniausiai naudoja MEO ir GEO orbitų palydovai, kurie aprėpia didesnę žemės plotą. 2.2 pav. pateikta „bent pipe“ tinklo struktūra.



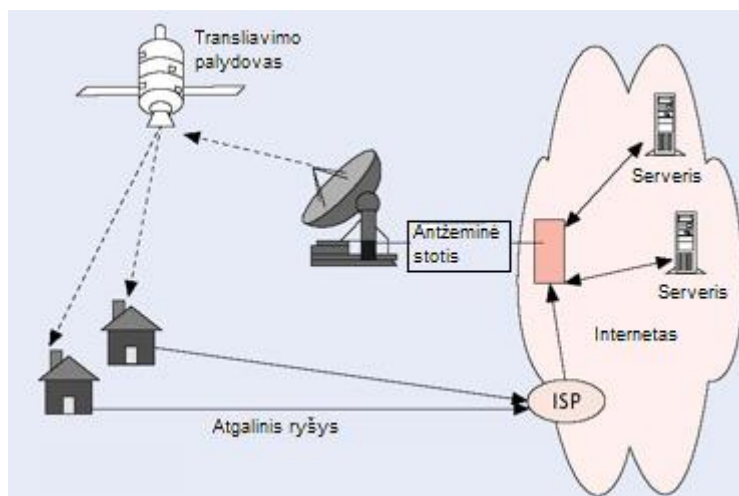
2. 2 pav. „Bent pipe“ tinklo struktūra [41,42]

ISL tinklas pasižymi tarpalydoviniu ryšiu, kuris išsprendžia „bent pipe“ problemą. Šiuo atveju palydovus galima naudoti LEO orbitoje, kurie tarpalydoviniu ryšiu perduos informaciją į antžemines stotis ar tiesiogiai vartotojams priklausomai nuo naudojamų paslaugų. Tokie tinklai užtikrina minimalų signalo vėlinimą, tačiau juos sudėtingiau valdyti. Tinklo struktūra pateikiama 2.3 pav.



2. 3 pav. ISL tinklo struktūra [41,42]

Transliavimo struktūra palyginus su aukščiau minėtomis struktūromis yra paprastesnė, kadangi tokios sistemos dažniausiai naudojamos GEO orbitoje. Geostacionarioje orbitoje norint užtikrinti pilną žemės aprėptį užtenka 3 palydovų, kuriems iš antžeminės stoties perduodamas signalas transliuojamas į žemę. Tokiu atveju vartotojams užtenka turėti nedidelio skersmens antenas, su kuriomis priims signalą. Atgalinis ryšys sudaromas per žemės segmentą. Tokio tipo palydovinio tinklo struktūros teikiamos paslaugos dažniausiai yra televizija, internetas. 2.4 pav. pateikta transliavimo tipo struktūra.



2. 4 pav. Transliavimo tipo struktūra

Visais paminėtais atvejais galima užtikrinti plačiajuosčių ryšį. Kiekviena struktūra turi savo plusų ir minusų. Transliavimo atvejis labiausiai tinkamas tiems vartotojams, kurie nori palydovinės

televizijos, taip pat tokios paslaugos teikiamos naudojant GEO orbitą. Atsižvelgiant į pradinius duomenis darbui, reikalinga LEO orbita, todėl transliavimo struktūra yra netinkama. „Bent pipe“ ir ISL tipo struktūros yra gerokai priimtinesnės, kadangi abi galima naudoti LEO orbitoje. ISL atvejis yra priimtinesnis, nors ir sudėtingesnis jo eksploatavimas. Tarppalydovinis ryšys užtikrina didesnį lankstumą, kuris pasireiškia perduodant duomenis. Vietoj to, kad informacija keliauja iš palydovo į antžeminę stotį „bent pipe“ atveju, tarppalydoviniu ryšiu duomenų nereikia bereikalingai perduoti į žemę.

2.2. Ryšio palydovų erdvinių charakteristikų analizė

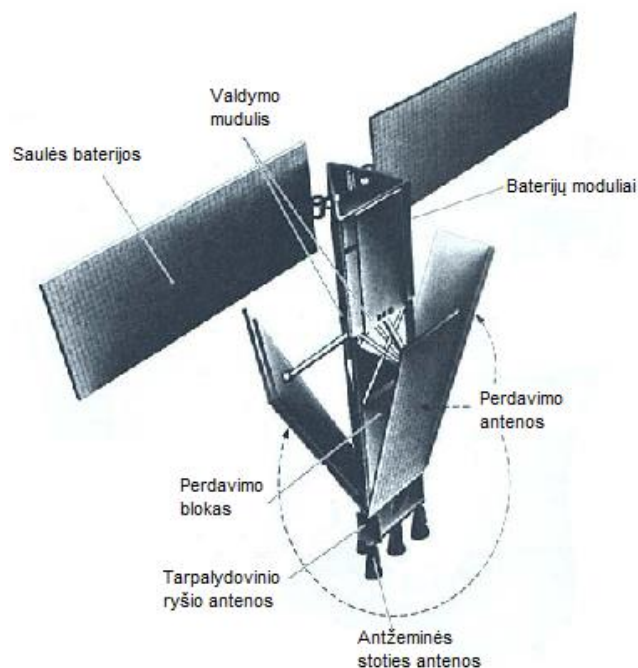
Palydoviniu tinklu norint užtikrinti nenutrūkstamą ryšį, reikia įvertinti palydovo erdvines charakteristikas, pagal kurias galima sužinoti kiek palydovų reikėtų užtikrinti ryšiui. Visi palydovai yra panašūs tiek savo išvaizda, tiek techninėmis charakteristikomis, kadangi atlieka panašias misijas. Šiuo metu plačiajuostes paslaugas LEO orbitoje teikiančių kompanijų nėra, tačiau nemažai jų netolimoje ateityje žada tiekti tokias paslaugas. Pradedant nuo 2015 metų ir baigiant 2020 metais, bent 4 organizacijos iškels savo palydovus į orbitas [19,20].

Pirmieji yra OneWeb, kurie užtikrins plačiajuosčio interneto paslaugas užtikrindami šimtaprocentinę aprėptį visoje Žemėje. Šiuos palydovus planuojama iškelti į orbitą ne anksčiau 2017 metų. Žvaigždyną sudarys 650 palydovai, kurie skries tarp dvidešimties orbitų. Altitudė – 1200 km. Palydovai naudos Ku dažnių juostą, užtikrins iki 6 gigabitų per sekundę pralaidumą bei suteiks 50 megabitų per sekundę spartą. Pačio palydovo masė yra apie 200 kg, todėl jis vadinamas mažuoju palydovu. Taip pat jis naudos fazinių gardelių tipo antenas.

Sekantys LeoSat, kurie taip pat užtikrins plačiajuosčio interneto paslaugas. Palydovus į orbitą planuojama iškelti 2019 – 2020 metais, kurių tikslus kiekis dar nėra skelbiamas, tačiau pranešama, kad jis turėtų būti nuo 80 iki 140 palydovų. Naudojama dažnių juosta – Ku. Taip pat tokiais pat metais palydovus paleisti į orbitą planuoja ir SpaceX kompanija, kuri žada iškelti 4000 palydovų.

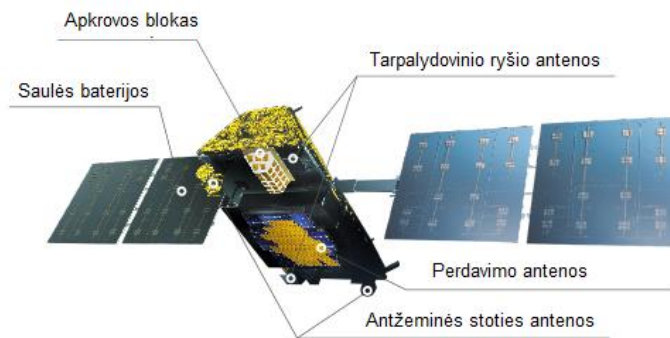
Paskutiniai yra Iridium, kurie užtikrina duomenų ir balso paslaugas nuo 1998 metų. 2015 – 2017 metai – tai terminas, per kurį kompanija paleis naująjį Iridium NEXT žvaigždyną, kuriame palydovai užtikrins senąsias paslaugas bei suteiks plačiajuosčių ryšių vartotojams. Kadangi tai planuojamieji ateities LEO plačiajuosčiai žvaigždynai, kompanijos skelbia tik labai ribotą informaciją, todėl įvertinant tai, kad Iridium palydovai jau yra orbitoje ir užtikrina paslaugas bei pradėti Iridium NEXT palydovų iškelimo į orbitą darbai, projekte naudosime Iridium NEXT žvaigždyną.

Iridium žvaigždynas sudarytas iš 66 palydovų ir 6 orbitų. Kiekvienoje orbitoje skrieja po 11 palydovų 780 km aukštyje virš žemės paviršiaus [10,11,12,13]. Palydovai yra pasvirę 86,4 laipsnių kampu nuo ekvatoriaus ir skrieja beveik apskritimine orbita, kurio ekstrecitetas 0,0002939. Perdavimo antenos yra trys, kurių kiekviena 86 cm pločio, 186 cm ilgio, 4 cm storio. Kiekviena turi po 16 fazinių antenų kitaip dar vadinama faziniai masyvai, kur išviso yra 48. Taip pat yra valdymo modulis, saulės baterijos, baterijų moduliai, kur talpinama surinkta saulės energija. Tarppalydovinis ryšys užtikrinamas su 22,55 – 23,55 GHz dažnio antenomis, palydovas – antžeminė stotis 19,1 – 19,6 GHz antenomis, antžeminė stotis – palydovas 29,1 – 29,3 GHz antenomis. 2.5 pav. pateikiame Iridium palydovą.



2. 5 pav. Iridium palydovas [10]

Iridium NEXT palydovų konstrukcija yra panaši kaip ir Iridium [6,7,8,9,14]. Vietoj trijų perdavimo antenų, kuriose įtaisytos fazinės antenos yra įtaisyta viena centrinė panelė su visomis 48 antenomis [10]. Pats palydovas palinkęs tokiu pat kampu – 86,4°. Įrengtos tarppalydovinio bei antžeminės antenos. Išskleistų saulės baterijų ilgis – 9,4 m., svoris 860 kg, prieš išskleidžiant saulės baterijas palydovo matmenys – 3,1m – 2,4m – 1,5m. Pagrindinis išskirtinumas tarp šių palydovų yra apkrovos blokas, kuris suteikia daugybę naujų galimybių. 2.6 pav. pateiktas Iridium NEXT palydovas bei 2.1 lentelėje detalesnė žvaigždyno charakteristika.



2. 6 pav Iridium NEXT palydovas [6]

2.1 lentelė. Iridium NEXT palydovo charakteristika

Palydovo masė paleidimo metu	860 kg
Palydovo matmenys paleidimo metu	3.1 m x 2.4 m x 1.5 m
Išskleistų sparnų saulės baterijų matmenys	9.4 m
Žvaigždyno gyvavimo trukmė	15 metų
Periodas	101 minutė
Radijo dažniai:	<p>L – juosta (TDD (Time – Division Duplex) architektūra)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viena 48 spindulių perdavimo, priėmimo fazinė antena <p>K-Ka – juosta (TDD (Time – Division Duplex) architektūra)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dvi 20/30 GHz valdomos antenos antžeminėms stotims - Keturios 23 GHz antenos tarpalydoviniui ryšiui (dvi valdomos, dvi fiksuotos antenos) - TT&C per 20/30 GHz antenas
Altitudė	780 km

Nors Iridium NEXT palydovai yra suprojektuoti užtikrinti savo paslaugas, tačiau jie taip pat pritaikyti įgyvendinti apkrovos blokų misijas [6]. Apkrovos blokai suteiks galimybę stebėti žemę ir vykdyti vyriausybės misijas. Padės stebėti žemės spinduliuotę, ozono sluoksnio lygį, saulės spinduliuotės lygį, kosmose esamą padėtį. Šios sistemos pagalba bus padidintas talpumas, duomenų perdavimo greitis, užtikrinamos naujos paslaugos. Nors šią sistemą galės stebėti ir vyriausybė, Iridium pasilieka galimybę nutraukti apkrovos bloko veikimą dėl galimų kritinių atvejų, kurie gali pakenkti palydovui. Visa informacija gali būti perduodama realiu laiku naudojant Ka dažnių juostą

tarppalydoviniu ryšiu, iš palydovo per antžeminę stotį į „debesį“ vadinamu „Teleportiniu tinklu“ (Teleport Network). Informacija bus talpinama būtent „debesyje“. Kiekvienas Iridium NEXT apkrovos blokas sveria 50 kg, 30 cm aukščio, 40 cm pločio, 70 cm ilgio, vidutinė galia 50 W ir 100 kbit/s vidutinis duomenų perdavimo greitis kiekvienam apkrovos blokui. Detalesnė informacija pateikta 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Apkrovos bloko charakteristika

Apkrovos bloko charakteristika	
Tikslai	<ul style="list-style-type: none"> - GPSRO (GPS Radio Occultation) matuoti atmosferos drėgnumą, temperatūrą ir vėjo greitį - Stebėti lygį virš jūros lygio, bangas, ledą - Plačiajuosčiai radiometrai matuoti žemės spinduliuotės biudžetą - Kiti svarbūs tikslai, kaip miškų gaisro aptikimas, poliarinio vėjo, ozono sluoksnio, saulės spinduliuotės lygio stebėjimas
Vieno bloko masė	50 kg
Matmenys	40 cm x 70 cm x 30 cm
Galia	50 W vidutinė (200 W riba)
Duomenų sparta	Iki 100 kb/s

Palyginus Iridium dabartinį žvaigždyną ir naujos kartos Iridium NEXT pagal 2.3 lentelę [14], matyti, kad naujasis žvaigždynas užtikrins didesnę spartą bei suteiks naujų galimybių vartotojams. Kartu su apkrovos bloku palydovas užtikrins ryšį vartotojams, o kartu bus atliekamas įvairiausių kryptių žemės bei kosmoso stebėjimas. Kadangi reikalingas plačiajuostis tinklas, Iridium NEXT užtikrins iki 1,4 Mb/s spartą [14], priklausomai nuo naudojamų paslaugų.

2.3 lentelė. Iridium ir Iridium NEXT žvaigždyno duomenų perdavimo spartos

Iridium žvaigždynas	Iridium NEXT
Balsas: 2,4 kb/s	Balsas: 2,4 kb/s
Grandinių komutavimo sparta: 2,4 kb/s	Grandinių komutavimo sparta: 9,46 - 64 kb/s
Iridium OpenPort: 132 kb/s	Iridium OpenPort: 128 – 512 kb/s
Iridium OpenPort Aero: 132 kb/s	Iridium OpenPort Aero: 128 – 512 kb/s
	L dažnių juosta: 512 kb/s aukštynkrypčiam, 1,4 mb/s žemynkrypčiam perdavimui
	Transliavimas: 64 kb/s

Naujos kartos sistema paremta interneto protokolu IP, kuriuo remiantis bus perduodami duomenys. Perdavimo sparta priklausys nuo naudojamos įrangos. Atitinkamai nuo naudojamų paslaugų užsakomas ir skirtingas planas. Plačiau apie tai pateikta 2.3 skyriuje.

2.3. Teikiamų paslaugų analizė

Iridium sistemos palydovai teikia dviejų tipų paslaugas – balsą ir duomenis. Atitinkamai prie šių paslaugų yra priskiriami planai, pagal vartotojų poreikius. Norint naudoti balso paslaugas, tereikia nešiojamo Iridium terminalo, su kuriuo galima naudotis bet kuriuo paros metu, bet kurioje žemės vietoje. Kaip alternatyva palydoviniams telefonams yra nešiojami terminalai Iridium GO!. Tai lyg nešiojamas prieigos taškas su įkraunama baterija. Norint atlikti skambutį per tokį terminalą, reikalingas išmanusis telefonas (Android arba iOS) su specialia programine įranga. Toliau reikia žinoti tik specialius sujungimo kodus, kurie bus aptarti 3.1 skyriuje. Duomenų perdavime reikalingas papildomas įrenginys, kuris IP technologijos pagalba perduoda duomenis. Informacija perduota gali būti iš mobiliųjų telefonų ar nešiojamų kompiuterių. Kad tai įvyktų, reikalingas nešiojamas Iridium GO! Terminalas arba specialios palydovinės antenos sujungtos su prieigos taškais.

Iridium paslaugas siūlo pagal vartotojų poreikį. Priklauso ar tai skirta kelionėms, laisvalaikiui ar darbo reikalams. Dažniausiai kelionėms, laisvalaikiui yra skirti nešiojami, nedideli duomenų siuntimo – priėmimo terminalai. Aviacijai, laivininkystei ar įvairiose tyrimų stotyse yra įrengiamos stacionarios antenos, kurios užtikrina plačiajuostes paslaugas. Jos yra išskiriamos kaip Iridium OpenPort, Iridium OpenPort Aero ar Iridium Pilot. Taip pat nuo naudojamos įrangos užtikrinama ir sparta.

Palydovinėje Iridium sistemoje yra skirta 2,4 kb/s pralaidumo balso perdavimui. Nors tai ir

atrodo neefektyvu, tačiau naudojamas w MOS3,5 suspaudimo metodas, kuris užtikrina gerą balso kokybę [29].

Norint, kad perduodami duomenys nepasimestų tinkle visa perduodama informacija talpinama į paketus, pridedama antraštė su paskirties adresu ir galiausiai išsiunčiama. Duomenų paketamas perduoti naudojamas TCP protokolas, o balso ir vaizdo paketai perduodami UDP protokolu. Duomenims nėra svarbi vėlavimo problema, reikalinga, kad jie pasiektų vartotoją neiškraipyti, o balsui ir vaizdui ši problema yra didžiulė. Vienas iš pavyzdžių kaip atrodo perduodamas paketas galėtų būti paprasčiausios pašto žinutės. Kai duomenys suskaidomi į paketus, pridedamas gavėjo adresas, siuntėjo adresas bei paketo eilės numeris jeigu jie būtų persiųsti ne paeiliui. 2.4 lentelėje pateikta duomenų paketo struktūra.

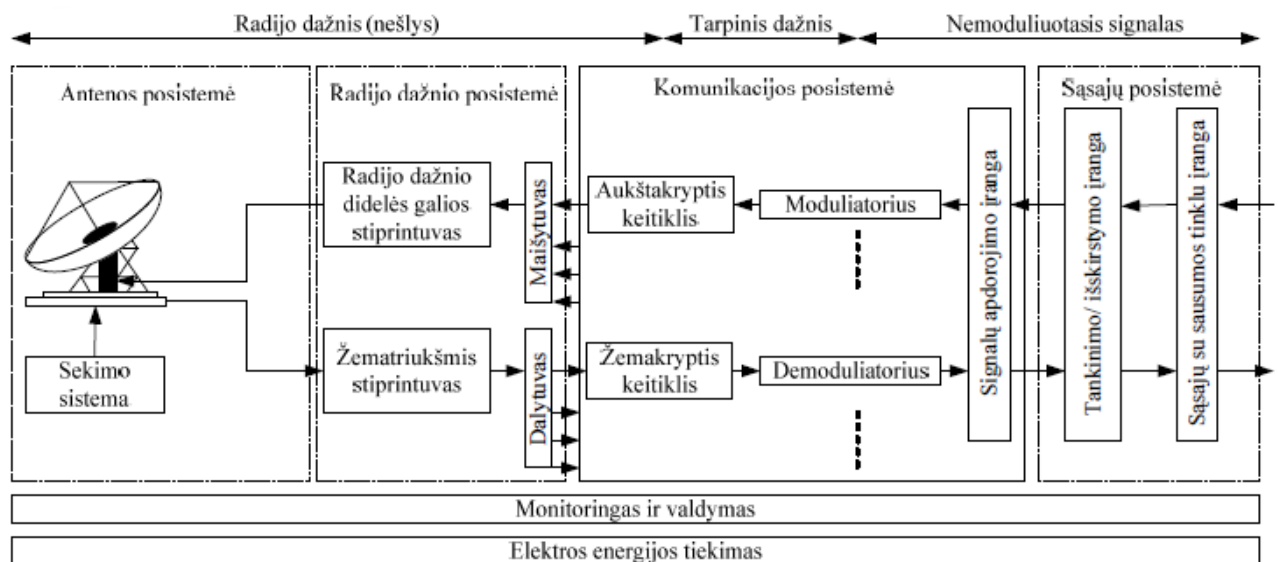
2.4 lentelė. Duomenų paketo struktūra

Antraštė	Siuntėjo IP adresas Gavėjo IP adresas Paketo numeris	96 bitai
Apmokamos paslaugos	Duomenys	896 bitai
Kontrolė	Klaidų taisymas	32 bitai

Projektuojamame tinkle duomenų perdavime bus naudojama IP technologija, kur visa informacija bus talpinama į paketus. Kiekvienam terminalui bus užtikrinama iki 1,4 Mb/s sparta žemynkrypčiam perdavimui ir 512 kb/s aukštynkrypčiam perdavimui. Taip pat bus įvertinamas signalo vėlinimas palydoviniame tinkle 3.3 skyriuje bei norint, kad duomenų perdavimas įvyktų, reikalingos antžeminės stotys, kurios nukreipia signalą į jo maršruto tikslą.

2.4. Antžeminių stočių sudėtinių dalių analizė

Žemės segmentą sudaro visos antžeminės stotys, kur panaudojant sausumos tinklus, sujungtos su galinių vartotojų terminalais [15,16,17,18]. Antžeminių stočių architektūra priklauso nuo to, kokios stoties paslaugos teikiamos, ar tai fiksuoto, judriojo ryšio telefonija, skaitmeninės televizijos siųstuvai-imtuvai ar duomenų perdavimas. Antžeminis segmentas užtikrina prieigą prie erdvės segmento, sujungia vartotojus tarpusavyje bei su kitais sausumos tinklais, kaip pateikta 2.1 pav.. Antžeminės stotys skiriasi savo dydžiu priklausomai nuo palydoviniu kanalu perduodamo duomenų srauto dydžio. Taip pat vienos stotys tik priima, kitos tik siunčia signalus, tačiau Iridium atveju stotys gali ir priimti ir siųsti. Antžeminės stoties architektūra pateikta 2.7 pav.



2. 7 pav. Antžeminės stoties architektūra [5]

Dažniausiai antžeminės stotys susideda iš antenos, radijo dažnio, komunikacijos, sąsajų, monitoringo ir valdymo bei elektros energijos teikimo posistemių. Kiekvienas iš jų atlieka tam tikras priskirtas funkcijas be kurių nutrūktų žemės segmento veikimas. Dalis posistemių parametru naudojamos palydovinio ryšio energetinių charakteristikų skaičiavimams, norint nustatyti ryšio linijos kokybę.

Antenos posistemę sudaro antena – pagrindinis elementas, kuria perduoda bei priima informaciją iš palydovo. Nuo jos veikimo charakteristikų nemažai priklauso bendra palydovinio ryšio kokybė. Kadangi palydovas informaciją persiunčia į antžeminę stotį, signalas yra nuslopinamas įvairių faktorių ir jam sustiprinti naudojama parabolinė antena. Ji sufokusuoja atsklidusias bangas į vieną tašką, kur montuojama priėmimo galvutė. Čia surenkami aukšto dažnio signalai.

Radijo dažnio posistemę sudaro siuntimo kryptimi naudojama įranga sujungianti stiprintuvus ir siunčiamuosius nešlius bei priėmimo kryptimi žematriukšmio stiprintuvo ir priimtųjų nešlių maršrutizavimo įranga. Vienas iš svarbiausių reikalavimų, keliamų priėmimo įrangoje montuojamiems stiprintuvams yra mažas triukšmų lygis, kurį pasiekti galima naudojant dirbtinį šaldymą.

Komunikacijos posistemės funkcija siuntimo kryptimi keisti nemoduluotąjį signalą į aukštojo radijo dažnio nešlį, o priėmimo pusėje, priimtą aukštojo radijo dažnio nešlį į nemoduluotą signalą. Aukšto dažnio nešlys keičiamas į tarpinį dažnį, todėl kad žemesniame dažnyje paprasčiau atlikti signalo apdorojimo ir filtravimo operacijas.

Sąsajų posistemė užtikrina suderinamumą su sausumos tinklo sąsajomis. Norint efektyviau išnaudoti palydovinius kanalus yra tankinimo, paskirstymo įranga.

Stebėsenos ir valdymo posistemė operatoriui tiekia informaciją apie antžeminę stotį bei atlieka apkrovos valdymą, užtikrina antžeminės stoties įrangos valdymą, ryšio ir parametrų derinimą, rezervinių elementų perjungimą bei informuoja pablogėjus ryšio kokybiniais parametrams.

Elektros energijos tiekimas yra labai svarbus antžeminėms stotims. Norint užtikrinti aukštą elektros tiekimo patikimumą daugelis stočių jungiamos prie dviejų elektros energijos šaltinių. Tokie šaltiniai paprastai turi priklausyti skirtingoms energetinėms sistemoms. Dar svarbu tinkama elektros įvado apsauga nuo įtampos šuolių bei žaibo iškrovų, kurie gali pažeisti stotyje esančią įrangą. Stotyje gali būti įrengti išoriniai generatoriai, kurie pagrindinio įvado gedimo atveju, būtų naudojami kaip rezerviniai energijos šaltiniai. Taip pat antžeminėje stotyje svarbu palaikyti tinkamą oro temperatūrą ir atlikti patalpų vėdinimą, kad būtų užtikrintos tinkamos įrengimų eksploataavimo ir laikymo sąlygos. Tam naudojami ventiliatoriai bei oro kondicionieriai.

Visos antžeminės stotys yra paremtos paminėtomis sudėtinėmis dalimis, kurios užtikrina duomenų perdavimą per palydovus. Tiek siunčiant, tiek priimant antžeminėse stotyse yra įvertinamos energetinės charakteristikos, pagal kurias nustatoma, koks bus siunčiamo signalo stiprinimas, galia, antenos stiprinimas. Kad rezultatai būtų tikslesni, taip pat įvertinami įvairūs nuostoliai bei triukšmo temperatūra. Kai šie parametrai yra žinomi, atliekami aukštynkrypčio ir žemynkrypčio signalo nešlio ir triukšmo santykio skaičiavimai, kurie atliekami 3.4 skyriuje.

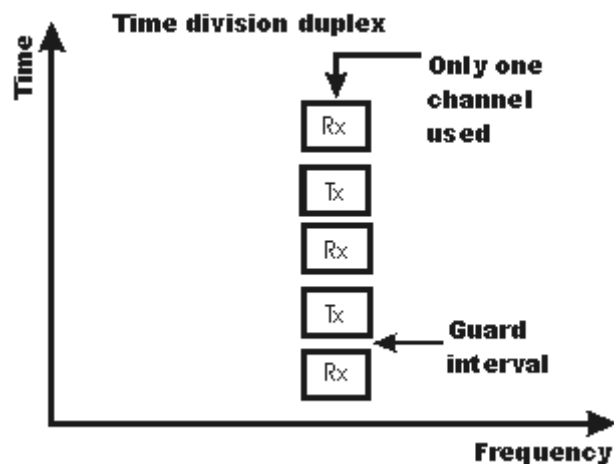
2.5. Plačiajuosčiam tinklui tinkamų signalo perdavimo technologijų analizė

Vienu metu palydoviniu ryšiu naudojasi daugybė vartotojų, todėl turi būti optimaliai paskirstyta pralaidumo juosta. Pralaidumo juosta – tai palydovo resursai, kurie vartotojams paskirstomi naudojant daugiakartę kreiptį. Pati daugiakartė kreiptis užtikrina signalų atskyrimą, kad tuo pačiu radijo dažnių spektru galėtų naudotis daug vartotojų vienas kitam netrukdydami. Pagrindiniai daugiakartės kreipties resursai yra dažnis, laikas ir erdvė iš kurių kiekvienas turi savo privalumų ir trūkumų [5,21,22,23,39]. Tai yra FDMA (Time Division Multiple Access) - daugiakartė laikinio tankinimo kreiptis, TDMA (Time Division Multiple Access) - daugiakartė laikinio tankinimo kreiptis, CDMA (Code Division Multiple Access) - daugiakartė kodinio tankinimo kreiptis, tačiau Iridium palydovai naudoja TDMA principu paremtą TDD techniką.

Daugiakartė laikinio tankinimo kreiptis TDMA naudojama kai kiekvienam vartotojui palydove priskiriamas unikalus laikinis intervalas. Duomenys tarp palydovų, antžeminių stočių ar vartotojų yra perduodami per siųstuvus – imtuvus, eilės tvarka, priskirtu laiko momentu. Kad TDMA sistema galėtų aptarnauti daug vartotojų, laikiniai intervalai turi būti trumpi, o dėl to reikalingas plūpsninis perdavimas, kurio metu per trumpą laiką perduodama daug informacijos. Taip pat reikalinga sinchronizacijos kontrolė, kad vartotojų laikiniai intervalai būtų tinkamai susinchronizuoti.

Į Iridium palydovus skirtingų antžeminės stočių informacijos pliūpsniai atkeliauja nuosekliai, todėl siųstuvai-įmtuvai perduoda nepertraukiamą signalą, sudarytą iš nuoseklių ir trumpų antžeminių stočių ateinančių pliūpsnių. Informaciją antžeminė stotis turi siųsti tiksliai nustatytu laiku, kad jie palydovą pasiektų tinkamoje intervalo vietoje, kadangi antžeminė stotis mikrosekundžių tikslumu turi žinoti, kada ką perduoti, kad į palydovą ateinantys signalai nepersidengtų.

Kadangi Iridium Next paremti TDMA principu, TDD naudojamas atskirti ateinančius ir išeinančius signalus. Jis sukuria pilnojo duplexo duomenų apsikeitimą per pusiau duplexo kanalus. Priimant ir siunčiant informaciją naudojamas tas pats dažnis, tačiau laike viskas yra sinchronizuota. Dėl šios priežasties yra padidinamas Iridium sistemos talpumas, tačiau sudaromas šiek tiek didesnis signalo vėlinimas, kadangi reikalingi apsauginiai laiko intervalai tarp priimamo ir siunčiamo dažnio. 2.8 pav. pateikiame TDD signalo perdavimo techniką.



2. 8 pav. TDD signalo perdavimo technika [23]

Palyginimui, FDD signalo apdorojimo technika naudoja vieną kanalą signalo išsiuntimui ir vieną priėmimui, o TDD naudoja vieną kanalą abiem kryptimis. Taip pat naudojant FDD, nesusiduriama su signalo vėlinimo problemomis, tačiau dėl ribotos dažnių juostos nukenčia sistemos talpumas. Šiuo atveju sistema yra brangesnė, kadangi galinėje įrangoje reikalingi filtrai, o TDD šių problemų yra išvengiama. Kadangi Iridium su dabartiniu žvaigždynu gali aptarnauti iki 172000 vartotojų, jų tikslas šį skaičių padidinti. Įvertinus dabartinį sistemos signalo vėlinimą ir būsimą vėlinimą su TDD sistema vis tiek yra užtikrinamų paslaugos kokybė, todėl perėjus prie šios sistemos Iridium galės aptarnauti daugiau vartotojų [23,39]. 2.5 lentelėje pateikiame pagrindinius TDD signalo apdorojimo technikos plusus ir minusus.

2.5 lentelė. TDD pagrindiniai plusai ir minusai

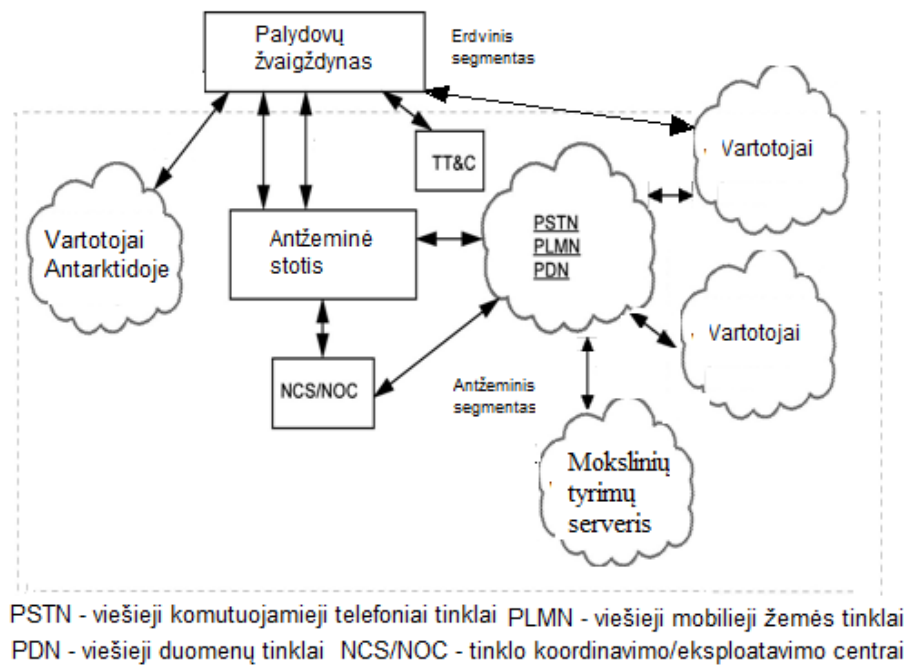
TDD pagrindiniai parametrai
Naudojamas vienas dažnis kanale, kuriame priimamas ir siunčiamas signalas
Apsauginiai laiko intervalai tarp priimamo ir siunčiamo dažnio sukelia didesnę vėlinimą
Nereikalinga papildoma įranga signalo priėmimui, siuntimui
Padidinamas sistemos talpumas
Nepasireiškia interferencija tarp gretimų kanalų

Kadangi naujoji palydovinė Iridium sistema naudos TDD signalo apdorojimo techniką, plačiau apie daugiakartę dažnio tankinimo kreiptį FDMA bei daugiakartę kodinio tankinimo kreiptį CDMA rašoma nebus. Kiekviena sistema turi savo teigiamų ir neigiamų bruožų, tačiau palydoviniame tinkle Iridium naudos TDD metodą.

3. Palydovinio tinklo projektavimas

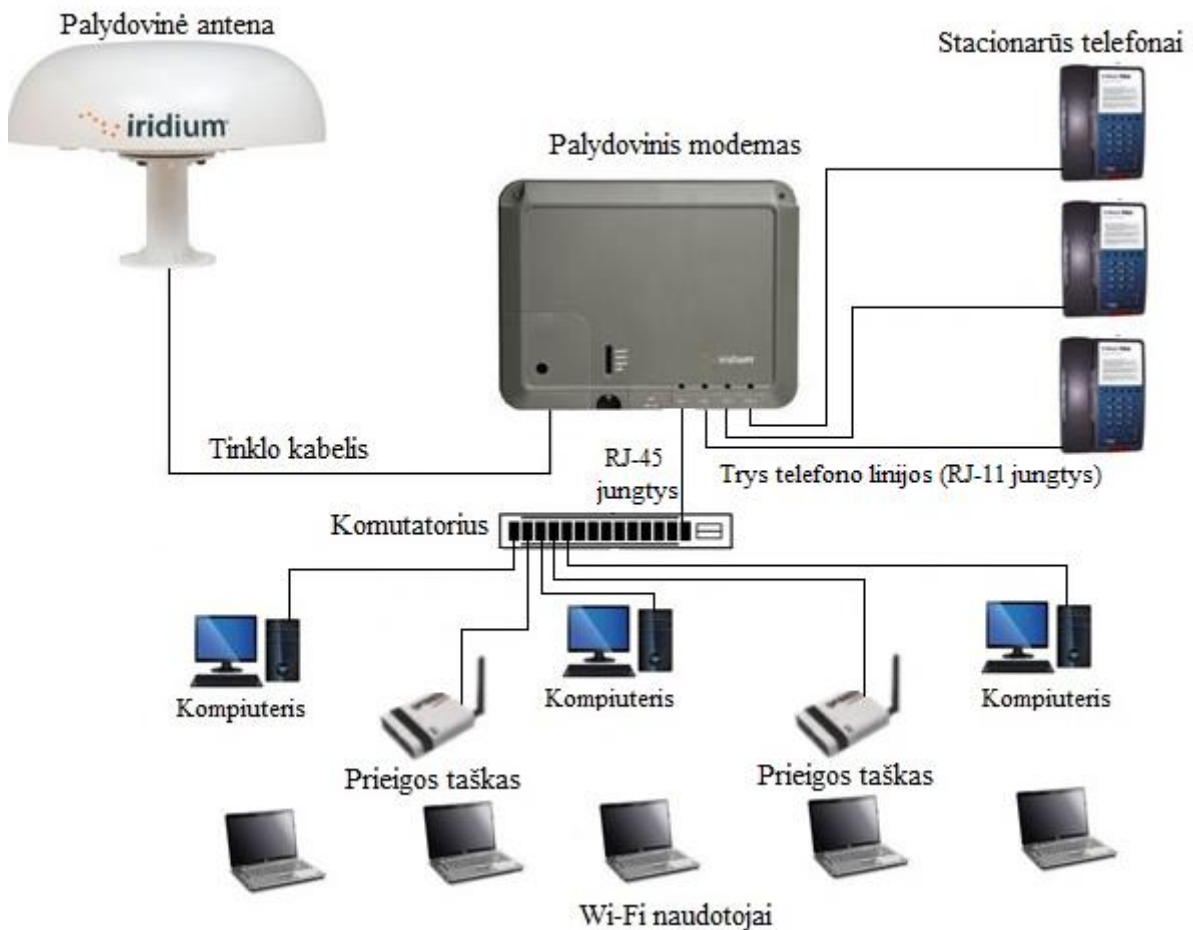
3.1. Tinklo struktūros parinkimas

Renkantis tinklo struktūrą 2.1 skyriuje, buvo išnagrinėta keletas atvejų iš kurių pasirinkta tinkamiausia. Tai būtų 2.1 pav. ir 2.3 pav. principu paremta, tarppalydoviniu ryšiu pasižyminti sistema. Iridium sistemoje duomenų perdavime informacija turi būti perduodama per antžemines stotis, kur iš jų siunčiama paslaugų tiekėjams, kurie nukreipia duomenis reikiama linkme. Jeigu Antarktidoje, Palmer mokslinėje tyrimų stotyje darbuotojas nori susisiekti su savo artimaisiais, perduoti informaciją į duomenų bazes Amerikoje ar tiesiog susirasti kokią nors informaciją internete, naudojant kompiuterius, IP technologijos pagalba, kad duomenys nepasimestų, visa informacija yra perduodama paketais, kuriuose nurodoma gavėjo bei siuntėjo adresai. Perdavimo metu informacija iš kompiuterio keliauja į prieigos taškus, o iš jo į palydovinę anteną, kuri išsiunčia reikiamą informaciją į palydovą. Pagrindinė Iridium antžeminė stotis Amerikoje yra Arizonoje, todėl signalas tarppalydoviniu ryšiu yra perduodamas per 4 – 5 palydovus ir nuleidžiamas į antžeminę stotį. Iš čia gauta informacija yra siunčiama paslaugų tiekėjams, bei antžeminiu tinklu pagal gavėjo IP adresą pasiekiamas tikslas. 3.1 pav. pateikiame Iridium NEXT palydovinio ryšio tinklo struktūrą.



3. 1 pav. Iridium NEXT palydovinio ryšio tinklo struktūra

Pagal pateiktą tinklo struktūrą matyti, kad Antarktidoje esantys vartotojai susisiekti su Europoje ar Amerikoje esančiais žmonėmis gali tik per palydovinį ryšį. Kad tai įvyktų, reikalinga speciali įranga. Antarktidoje esančioje Palmer tyrimų stotyje reikia naudoti fiksuotą Iridium Pilot anteną, kuri per tinklo kabelį, kurio vienas galas jungiasi su Bulgin Buccaneer PX0728/ jungtimi į anteną, kitas į prieigos tašką per RJ-45 jungtį. Paprastai tokio kabelio ilgis yra 45 metrai pagal standartus. Detalesnė kabelio techninė specifikacija pateikta 1 priede. Toliau reikalingas komutatorius, prie kurio prijungiami prieigos taškai per standartinį Ethernet tipo kabelį. Iš viso reikėtų vienos stacionarios antenos, vieno komutatoriaus ir trijų prieigos taškų. 3.2 pav. pateikta Palmer mokslinės tyrimų stoties tinklo struktūrą, taip pat pagal ją bus parenkama atitinkama įranga, kuri plačiau aprašyta 3.6 skyriuje.



3. 2 pav. Palmer mokslinės stoties tinklo struktūra

1.1 skyriuje buvo minėta, kad tyrimų stotyje yra 4 pastatai, tačiau tik trijuose iš jų reikalingas palydovinio ryšio užtikrinimas. Tai yra darbui ir poilsiui skirtos patalpos. Darbo patalpose atliekami fiziniai, cheminiai, biologiniai tyrimai bei saulės, atmosferos, vandenynų ir ledo stebėjimai. Būtent pastarajam, kuriame atliekami įvairūs stebėjimai ant stogo bus įrengiama palydovinė antena. 1.2 pav. šis pastatas žymimas vienetu (1). Nuo jos į patalpas atvedamas kabelis iki palydovinio modemo, kuris jungiamas į komutatorių. Šiose patalpose 8 darbiniai kompiuteriai prijungiami prie komutatoriaus. Palydovinis modemas turi tris RJ-11 jungtis, kuriomis galima prijungti telefonus. Pastate kuriame atliekami fiziniai, cheminiai, biologiniai tyrimai (1.2 pav. žymima 2) bus naudojamas prieigos taškas, kuris per Ethernet kabelį pajungiamas į komutatorių. Čia naudojami 5 nešiojami kompiuteriai. Kadangi kabelis bus tiesiamas per lauką, pasirinktas specialus, šalčiams atsparus laidas, kurio techninės specifikacijos pateiktos 6 priede. Paskutinis prieigos taškas bus naudojamas poilsio patalpose (1.2 pav. žymima 3), kuris taip pat per Ethernet kabelį prijungiamas prie komutatoriaus. Patalpose taip pat 5 nešiojami kompiuteriai. Prieigos taškai užtikrina Wi-Fi ryšį, per kurį mokslininkai galės prisijungti prie palydovinio tinklo.

Norint įvykdyti balso skambutį iš Antarktidos stacionaraus ar nešiojamo terminalo yra du

galimi tarptautiniai formatai [24]:

- 00 [šalies kodas] [rajono kodas] [telefono numeris],
- + [šalies kodas] [rajono kodas] [telefono numeris]

Pavyzdžiu galėtų būti siunčiamas skambutis į Lietuvą, Kaune esančiam vartotojui. Tokiu atveju renkame 00 370 37 xxxxxxxx arba +370 37 xxxxxxxx. Jeigu norima atlikti skambutį į Iridium terminalą, reikalingas specialus kodas. Iš Iridium terminalo į Iridium terminalą reikia rinkti + arba 00, toliau specialus kodas – 8816 ir aštuonių skaitmenų numeris (+ 8816 xxxxxxxx arba 00 8816 xxxxxxxx).

Vasaros metu Palmer mokslinėje tyrimų stotyje būna iki 40 darbuotojų, trečdalis jų atlieka tyrimus gamtoje, o likusieji pasilieka stotyje. Dėl šios priežasties palydovinis plačiajuostis tinklas negali būti pilnai apkrautas visų darbuotojų vienu metu. Taip pat yra priskirti duomenų perdavimo prioritetai darbo patalpose. Jeigu atsirastų poreikis perkelti mokslinę stotį, palydovinis plačiajuostis ryšys vis tiek būtų užtikrintas įrengus tą pačią įrangą naujojoje vietoje. Kadangi naudojama palydovinė antena nėra didelių gabaritų, ji puikiai tinka naudoti stotyse turinčiose didelį poreikį keisti vietas. Naudojant Iridium NEXT palydovinį tinklą bus užtikrinama šimtaprocentinė aprėptis, todėl ryšys bus užtikrinamas visose Žemės vietose.

3.2. Pasirinkto ryšių palydovo erdvinių charakteristikų analizė

Apžvelgus esamus ryšio palydovus LEO orbitoje pasirinkome Iridium sistemą, kadangi ji labiausiai tinka užduoties keliamoms sąlygoms. Kaip minėta 2.2 skyriuje, Iridium vykdo naujojo žvaigždyno Iridium NEXT paleidimo darbus. 2017 metais planuojama pilnai sutvarkyti sistemą ir pradėti tiekti paslaugas vartotojams per naująjį žvaigždyną. Kadangi nėra skelbiama tikslių Iridium NEXT erdvinių charakteristikų, aptarsime šiuo metu žinomus parametrus.

Naujoji palydovinė sistema tinklo pralaidumą padidins iki 9 kartų, o tinklo talpumą iki 125 kartų [44]. Taip pat bus užtikrinta didesnė balso perdavimo kokybė ir svarbiausia - užtikrinamas plačiajuostis ryšys. Pats palydovas turi 48 fazinės gardelės tipo antenas, kur viena antena užtikrina perdavimą per 80 kanalų. 65 iš jų yra skirti balsui, 15 duomenims [36]. Pats antenų spinduliavimas, zonų padengimas yra vadinamas celėmis, o viena tokia zona Žemę apspinduliuoja apytiksliai 319000 km². Tokio ploto diametras - 736 km Vienas palydovas žemę padengia 15300000 km², o tokio ploto diametras yra 4700 km. Taigi pagal šiuos duomenis matyti, kad vienoje celėje, t.y., 736 km padengiamumo zonoje yra 65 balso ir 15 duomenų perdavimo kanalų.

Visas Iridium žvaigždynas Žemę padengia 3168 celėmis, tačiau dėl didžiulio persidengimo

šiauriniame ir pietiniame poliuje celių kiekis sumažintas iki 2150. Palydovuose naudojamas algoritmas, kuris reguliuoja, kurios fazinės antenos turi būti išjungtos tokiose vietose, kur keli spinduliai persidengia. Taigi, dėl celių persidengimo Iridium sistema gali aptarnauti iki 172000 vartotojų. Tai yra 139750 balso ir 32250 duomenų vartotojai. Naujajame žvaigždyne nėra pranešama kiek vartotojų sistema galės aptarnauti.

Iridium palydovo juostos plotis yra 10,5 MHz, kuris suskirstytas į 240 kanalų, kur kiekvienas kanalas turi 31,5 kHz juostos pralaidumą. Atsižvelgiant, kad naujieji palydovai užtikrins pralaidumą iki 9 kartų daugiau, tai reiškia, kad Iridium NEXT palydovai turės 100 MHz juostos plotį. Taip pat naudos QPSK moduliaciją. Norėdama praplėsti sistemos talpumą, Iridium palydovuose, celėse naudoja tuos pačius dažnius, užtikrindami, kad jie tarpusavyje neinterferuotų. Kadangi užtikrinamas plačiajuostis ryšys, informacijos perdavimas tuo pačiu metu atliekamas per kelis kanalus, užtikrinamas didesnę spartą. Be to visą parą užtikrinama šimtaprocentinė aprėptis visoje Žemėje. 3.1 lentelėje pateikiame Iridium ir Iridium NEXT palydovų parametrus.

3.1 lentelė. Iridium ir Iridium NEXT palydovų parametrai

Iridium	Iridium NEXT
Vienas palydovas žemę padengia 15300000 km ² , o tokio ploto diametras yra 4700 km.	
Viena celė žemę padengia 319000 km ² , o tokio ploto diametras yra 736 km	
Palydovas turi 48 fazinės gardelės tipo antenas, kur viena antena užtikrina perdavimą per 80 kanalų	
Palydovinė sistema Žemę padengia 2150 celėmis	
Palydovo juostos plotis 10,5 MHz	Palydovo juostos plotis 100 MHz

Norint perduoti plačiajuostį signalą, pirmiausiai vartotojai turi turėti tinkamą įrangą, tokią kaip Iridium GO! nešiojamą terminalą arba Iridium Pilot stacionarią anteną su prieigos tašku. Informacijos apdorojimas ir nukreipimas vyksta siųstuve – imtuve. Priimtas silpnas signalas nukreipiamas į stiprintuvą, kur yra sustiprinamas, toliau demoduliuojamas bei pakeičiamas dažnis. Pakeitus dažnį vyksta atvirkštinis procesas ir signalas moduluojamas, sustiprinamas ir per dažnių filtrą nukreipiamas į anteną, kur toliau informacija keliauja į žemę. Žemėje signalas priimamas antžeminėse stotyse, kur pagal 2.7 pav. yra apdorojamas ir perduodamas paslaugų tiekėjams, kurie gautąją informaciją perduoda vartotojams per antžeminį tinklą. Norint sužinoti, kiek laiko informacija keliaus palydoviniu ryšiu, svarbu apskaičiuoti signalo vėlinimą.

3.3. Signalo vėlinimo palydoviniame tinkle skaičiavimas

Paprastai perduodami duomenys tinkle turi tam tikrą vėlinimą, kadangi perdavimo procesas užima kažkokį tai laiko tarpą, todėl yra įvertinamas atstumas ir greitis. Duomenų perdavime vėlinimas didelės įtakos nedaro, kadangi išsiuntus elektroninį laišką nėra svarbu ar jį gausime per 1 sekundę ar per 10 sekundžių. Balso perdavime vėlinimas yra kritinis parametras, kadangi nuo jo priklauso paslaugos kokybė. Kadangi projektuojamame tinkle balso paslaugos yra užtikrinamos Iridium palydovų, vadinasi paslaugos kokybė atitinka keliamus reikalavimus. Kad tai įsitikintume, pirmiausia apskaičiuojame signalo aukštynkryptį vėlinimą T_a siunčiamą iš žemės į palydovą pagal 3.1 formulę [25], kur palydovo altitudė yra 780km, šviesos greitis $3 \cdot 10^8$ m/s. Skaičiavimuose įvertinamas tik signalo perdavimo greitis ir atstumas tarp objektų. Antžeminiame tinkle bei palydovo aparatinėje įrangoje sudaromas signalo vėlinimas nėra įvertinamas.

$$T_a = \frac{\text{palydovo altitudė}}{\text{šviesos greitis}}, \quad (3.1)$$

$$T_a = \frac{780 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/s}} = 0,0026\text{s} = 2,6 \text{ ms.}$$

Apskaičiavome signalo vėlinimą iki palydovo, kuris yra 2,6 ms, todėl iš palydovo į žemę signalas kelias tiek pat, vadinasi žemynkryptis vėlinimas $T_z = T_a = 2,6$ ms. Tai reiškia, kad norint įvykdyti informacijos perdavimą per žemos orbitos palydovą, signalo vėlinimas T bus lygus auštynkrypčio ir žemynkrypčio signalo vėlinimo sumai.

$$T = T_a + T_z = 5,2 \text{ ms.}$$

Jeigu informacija keliautų ne per vieną palydovą, reikia žinoti koks yra vidutinis atstumas tarp palydovų, tada galima įvertinti signalo vėlinimą T_{tarp} sklindantį per kelis palydovus. Skaičiavimus atliekame pagal 3.2 formulę, kurioje atstumas tarp palydovų yra 4000 km.

$$T_{tarp} = \frac{\text{atstumas tarp palydovų}}{\text{šviesos greitis}}, \quad (3.2)$$

$$T_{tarp} = \frac{4000 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/s}} = 0,013\text{s} = 13 \text{ ms.}$$

Atlikus skaičiavimus pagal 3.2 formulę, galime sužinoti pilną signalo vėlinimą T_p sklindantį per du palydovus. Sudedame aukštynkryptį T_a , tarppalydovinį T_{tarp} bei žemynkryptį T_z vėlinimą.

$$T_p = T_a + T_{tarp} + T_z = 2,6 + 13 + 2,6 = 18,2 \text{ ms.}$$

Apskaičiavus pilną signalo vėlinimą sklindantį per du palydovus, galima apskaičiuoti per du,

tris, keturis ir penkis. Taip sužinosime, kokį vėlinimą sudarytų tarppalydoviniu ryšiu perduodamas signalas. Kadangi pilnas signalo vėlinimas tarp dviejų palydovų yra 18,6 ms, prie šios vertės pridėdame tarppalydovinį vėlinimą - 13 ms. Tokiu principu gaunamas pilnas signalo vėlinimas naudojant 3 palydovus. Analogiškai surandamos naudojant daugiau palydovų vertės. 3 lentelėje pateiktos signalo vėlinimo priklausomai nuo palydovų kiekio vertės.

Lentelė 1. Signalo vėlinimo vertės priklausomai nuo palydovų kiekio.

Palydovų skaičius	1	2	3	4	5
Signalų vėlinimas, ms	5,2	18,2	31,2	44,2	57,2

Iš 1 lentelės matyti, kad signalas sklisdamas tarppalydoviniu ryšiu patiria didesnę vėlinimą, kadangi atsiranda didesni atstumai nei perduodant tik aukštynkrypte – žemynkrypte kryptimi. Visgi vėlinimas nėra didelis, todėl tinklu teikiamos paslaugos užtikrinamos geros kokybės. Be to, norint informaciją perduoti iš Antarktidos, Palmer mokslinės tyrimų stoties į Ameriką ar Europą, naudojami atitinkamai 4-5 palydovai. Tiek Amerikoje, tiek Europoje yra antžeminės stotys, kurios priima gautą signalą su 44,2 – 57,2 ms vėlinimu, priklausomai nuo palydovų išsidėstymo orbitoje. Kai signalo vėlinimas užtikrina paslaugos kokybę, svarbu įvertinti palydovinio ryšio energetines charakteristikas.

3.4. Palydovinio ryšio energetinių charakteristikų skaičiavimas

Palydovai paprastai yra kompiuteriais kontroliuojamos sistemos, kurios atlieka nemažai funkcijų, tokių kaip energijos kaupimas saulės baterijomis, šilumos kontrolė, telemetrija, altitudės ar orbitos valdymas. Visa tai yra reikalinga norint užtikrinti kuo ilgesnį palydovų darbą. Pačios svarbiausios palydovinio ryšio energetinės charakteristikos yra signalo stiprumas ir triukšmas. Visose palydovinėse sistemose yra atliekami skaičiavimai, kuriais norima įvertinti su kokio galingumo signalu bus išnaudojama mažiausiai energijos ir signalas patirs mažiausiai nuostolių. Tokių skaičiavimų tikslas išsiaiškinti koks yra efektyviausias signalo stiprumas tam tikrose sistemose, kuris užtikrintų geriausią ryšį.

Skaičiavimai atliekami LEO orbitoje, kurioje Iridium palydovų altitudė 780 km, jų palinkimo kampas 86,4 laipsniai. Naudojamos dažnių juostos tarppalydoviniui ryšiui 22,55 – 23,55 GHz, antžeminė stotis – palydovas 29,1 – 29,3 GHz, palydovas – antžeminė stotis 19,1 – 19,6 GHz, tiesioginiam sujungimui tarp vartotojų 1,55 – 1,65 GHz. Palydovinio ryšio parametrų lentelė pateikta 3.1 lentelėje.

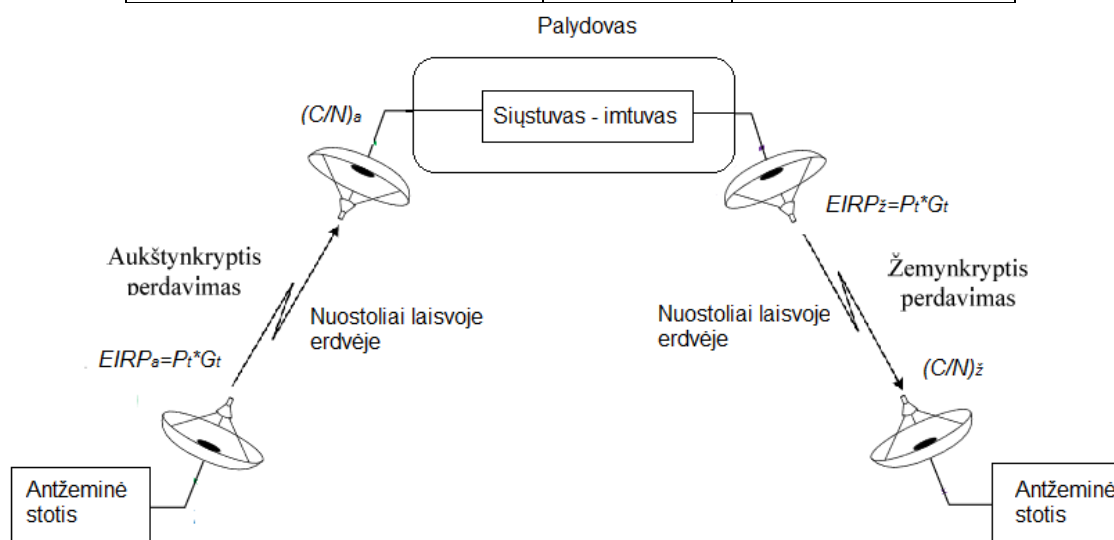
3.1 lentelė. Palydovinio ryšio parametrų lentelė

Parametrai	Specifikacija
Iridium palydovo orbita	LEO
Altitudė	780 km
Teikiamos paslaugos	Balsas ir duomenys
Palydovų skaičius	66
Vartotojas – palydovas – vartotojas dažnių juosta (L juosta)	1,55 – 1,65 GHz
Antžeminė stotis – palydovas (Ku juosta)	29,1 – 29,3 GHz
Palydovas – antžeminė stotis (K juosta)	19,1 – 19,6 GHz
Tarpalydovinis ryšys (K juosta)	22,55 – 23,55 GHz

Šiuo atveju palydovinės radijo ryšio linijos turi dvi ryšio kryptis: aukštynkryptį – iš antžeminės stoties į palydovą ir žemynkryptį – iš palydovo į antžeminę stotį. Tokiu atveju energetiniai parametrai skaičiuojami abiem kryptimis. Aukštynkrypčiame perdavime norima supaprastinti antžeminės stotis ir sumažinti siųstuvo galią, tuo tarpu žemynkrypčiame perdavime stengiamasi sumažinti palydovo gabaritus, masę, siųstuvo galią ir energijos sunaudojimą. Taigi palydovinė ryšio linija apibūdinama minimaliu nešlio ir triukšmo santykiu C/N [26,27,28]. Siekiant nustatyti ryšio linijos kokybę, reikia apskaičiuoti signalo nešlio galios C ir triukšmo galios N santykį palydovo imtuvo įėjime ir antžeminės stoties imtuvo įėjime. Signalo perdavimo per palydovą schema pateikta 3.3 pav. Signalo nešlio galios C ir triukšmo galios N santykio skaičiavimus atliekame pagal 3.2 lentelės duomenis ir 3.3 formulę. Duomenys lentelėje pateikti pagal užduoties reikalavimus, įvertinant esamą orbitą, reikiamus dažnius, nuostolius. Perdavimo galia ir signalo stiprinimas parinktas toks, su kuriais patiriama mažiausiai nuostolių bei suteikiamas optimaliausias signalo stiprinimas.

3.2 lentelė. Aukštynkrypčio ir žemynkrypčio perdavimo parametrai.

Parametrai	Žymėjimas	Vertė
Perdavimo galia	P_t	8 dBW
Signalų stiprinimas	G_t	4 dBW
Aukštynkrypčiame perdavime naudojamas dažnis	f_a	1,65 GHz
Žemynkrypčiame perdavime naudojamas dažnis	f_z	1,55 GHz
Atstumas nuo palydovo iki žemės	r	780 km
Signalų sklidimo greitis	c	$3 \cdot 10^8$ m/s
Atmosferos nuostoliai	-	1 dB
Poliarizacijos nuostoliai	-	3 dB
Antenos palinkimo nuostoliai	-	1 dB
Kritulių nuostoliai	-	2,1 dB
Antžeminės stoties / palydovo antenos stiprinimas	G_r	3 dB
Triukšmo temperatūra	T	290 K



3. 3 pav. Signalų perdavimo per palydovą schema

3.4.1. Aukštnykrypčio signalo perdavimas

Aukštnykrypčiame perdavime naudojamas dažnis $f_a = 1,65$ GHz. Suskaičiuojant nešlio ir triukšmo santykį $(C/N)_a$, naudosisime formulę:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_a[\text{dBHz}] = EIRP_a[\text{dBW}] - L_a[\text{dB}] + \left(\frac{G}{T}\right)_a \left[\frac{\text{dB}}{\text{K}}\right] - \frac{J}{K} \left[\frac{\text{W}}{\frac{\text{Hz}}{\text{K}}}\right] - BW[\text{dBW}], \quad (3.3)$$

čia $EIRP$ – siųstuvo efektyvioji izotropinė spinduliavimo galia, W; L_a – signalo sklidimo įvairiose terpėse nuostoliai; G/T – signalą priimančių įtaisų efektyvumo rodiklis, kitaip imtuvinės dalies signalo ir triukšmo temperatūros santykis; k – Bolcmano konstanta, $k = 1,379 \cdot 10^{-23}$ J/K = -228,6J/K = -228,6 W/Hz/K.

Kad gautume visas reikalingas reikšmes, pirmiausia suskaičiuosime $EIRP_a$, kur $P_t = 8$ dBW, $G_t = 4$ dBW :

$$EIRP_a = P_t * G_t, \quad (3.4)$$

čia P_t – siunčiamo signalo galia, dBW; G_t – siunčiamo signalo stiprinimas, dBW.

$$EIRP_a = 8 * 4 = 32 \text{ dBW}.$$

Randame palydovo pralaidumą BW , kurį sukelia perduodami signalai. Sakykime, kad tai yra 10 MHz, kurį reikia logaritmuoti, kad gautume reikiamą reikšmę:

$$BW = 10 \log(10 * 10^6) = 70 \text{ dBW}.$$

Toliau reikia rasti signalo sklidimo įvairiose terpėse nuostolius, kur svarbu įvertinti ne tik nuostolius laisvoje erdvėje, bet ir atmosferos (1 dB), poliarizacijos (3 dB), antenos palinkimo (1 dB) ir kritulių nuostolius (2,1 dB). Pirmiausia rasime nuostolius laisvoje erdvėje pagal žemiau pateiktą formulę:

$$FSL = 10 \log\left(\frac{4 * \pi * r}{f}\right)^2 = 20 \log\left(\frac{(4 * \pi * f_z * r)}{c}\right), \quad (3.5)$$

čia r – Iridium palydovų atstumas iki žemės, km, $r = 780$ km; f – aukštnykrypčio perdavimo dažnis, MHz, $f = 1650$ MHz; c – signalo sklidimo greitis, m/s, $3 * 10^8$ m/s.

$$FSL = 20 \log\left(\frac{4 * 3,141}{3 * 10^8}\right) + 20 \log(r) + 20 \log(f_z),$$

$$FSL = -147,558 + 20 \log(780 * 10^3) + 20 \log(1650 * 10^6) = 154,63 \text{ dB}.$$

Toliau įvertiname likusius nuostolius, kuriuos susumavus gauname signalo sklidimo nuostolius L_a .

$$L_a = 154,63 + 1 + 1 + 3 + 2,1 = 161,73 \text{ dB.}$$

Galiausiai liko sužinoti signalo ir triukšmo temperatūros santykį G/T , kurį randame pagal formulę:

$$\frac{G}{T} = G_r - 10 \log(T), \quad (3.6)$$

čia G_r – antžeminės stoties antenos stiprinimas, dB, $G_r = 3$ dB; T – triukšmo temperatūra, K.

$$\frac{G}{T} = 3 - 24,62 = -21,62 \text{ dB/K.}$$

Kai jau žinome visas reikšmes, belieka jas įstatyti į 3.3 formulę, pagal kurią sužinosime nešlio ir triukšmo santykį $(C/N)_a$.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_a = 32 + (-21,62) - 161,73 - (-228,6) - 70 = 7,25 \text{ dBHz.}$$

Apskaičiavę aukštynkrypčio signalo reikšmę, toliau skaičiuojame žemynkrypčio signalo reikšmę bei randame bendrą nešlio ir triukšmo santykį.

3.4.2. Žemynkrypčio signalo perdavimas

Žemynkrypčiame perdavime naudojamas dažnis $f_z = 1,55$ GHz. Suskaičiuojant nešlio ir triukšmo santykį $(C/N)_z$, naudosime tokį pat metodą kaip ir aukštynkryptiniame metode pagal 3.3 formulę. Tokiu atveju skaičiuojame $EIRP_z$ pagal 3.4 formulę, kur siunčiamo signalo galia $P_t = 8$ dBW, siunčiamo signalo stiprinimas $G_t = 4$ dBW.

$$EIRP_z = 8 * 4 = 32 \text{ dBW.}$$

Tokiu pačiu principu randame signalo sklidimo įvairiose terpėse nuostolius, kur pirmiausia randame nuostolius laisvoje erdvėje pagal 3.5 formulę:

$$FSL = 20 \log\left(\frac{(4 * 3,141)}{3 * 10^8}\right) + 20 \log(r) + 20 \log(f_z),$$

$$FSL = -147,558 + 20 \log(780 * 10^3) + 20 \log(1550 * 10^6) = 154,09 \text{ dB.}$$

Toliau įvertiname likusius nuostolius, kuriuos susumavus gauname signalo sklidimo nuostolius L_z .

$$L_z = 154,09 + 1 + 1 + 3 + 2,1 = 161,19 \text{ dB.}$$

Surandame signalo ir triukšmo temperatūros santykį G/T , kurį skaičiuojame pagal 3.6 formulę:

$$\frac{G}{T} = 3 - 24,62 = -21,62 \text{ dB/K.}$$

Kai jau žinome visas reikšmes, belieka jas įstatyti į 3.3 formulę, pagal kurią sužinosime nešlio ir triukšmo santykį $(C/N)_z$.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_z = 32 + (-21,62) - 161,19 - (-228,6) - 70 = 7,79 \text{ dBHz.}$$

Galiausiai surandame pilnąjį aukštynkrypčio ir žemynkrypčio nešlio ir triukšmo santykį pagal 3.7 formulę:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T = \left(\frac{C}{N}\right)_a + \left(\frac{C}{N}\right)_z, \quad (3.7)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T = 7,25 + 7,79 = 15,04 \text{ dBHz.}$$

Įvertiname ar pilnas nešlio ir triukšmo sistemos santykis tenkina minimalias sąlygas pagal 3.8 formulę [18]:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T \geq \left(\frac{C}{N}\right)_{min}, \quad (3.8)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T \geq 15 \text{ dBHz.}$$

Iš 3.8 formulės matyti, kad sistemos minimalios sąlygos yra tenkinamos, su kuriomis yra užtikrinamas nenutrūkstamas ryšys bei suteikiamas optimaliausias signalo stiprinimas išnaudojant mažiausiai resursų.

3.5. Įvairiomis paslaugomis sukuriamų tinklo duomenų srautų skaičiavimas

Projektuojamame tinkle turi būti užtikrintos balso ir duomenų paslaugos. Kadangi balso paslaugos jau yra užtikrinamos būtent Iridium sistemos, kiek stotyje yra naudojamų nešiojamų ar fiksuotų terminalų yra nežinoma, todėl pagal 3.2 pav. tinklo struktūrą apskaičiuosime kiek kanalų reikėtų trims stacionariems telefonams, vienu metu norint atlikti balso skambučius. Atitinkamai apskaičiuosime ir sukuriamų tinklo duomenų srautus. Taigi pagal 3.2 pav. pateiktą struktūrą prie palydovinio modemo galima prijungti tris telefonus. Tokiu atveju reikia įvertinti telefonijos paslaugų sukuriamas apkrovas. Didžiausią apkrovos valandą vartotojai vidutiniškai naudojami telefonijos paslaugomis 6 minutes. Vieno vartotojo vidutinė sukuriama apkrova yra[43]:

$$\alpha = \frac{6}{60} = 0,1 \text{ Erl}$$

Bendra telefonijos paslaugų sukuriama apkrova A apskaičiuojama pagal 3.5 formulę:

$$A = N * \alpha \quad (3.9)$$

$$A = 3 * 0,1 = 0,3 \text{ Erl}$$

čia N – telefonijos paslaugų vartotojų skaičius, α – vieno telefonijos vartotojo vidutinė sukuriama apkrova.

Priimame sąlygą, kad įėjimo apkrovos intensyvumas lygus išėjimo apkrovos intensyvumui. Įvertinus šią sąlygą, apkrovos intensyvumas tenkantis palydovinio ryšio traktui yra:

$$A_{\Sigma} = 2 * A = 0,6 \text{ Erl} \quad (3.10)$$

Toliau pasinaudojus internetine Erlango B [38] skaičiuoklę, sužinome telefoninių kanalų kiekį, kur apkrovos intensyvumas yra 0,6 Erl, numestų skambučių kiekis 0,01. Gautas kanalų skaičius yra 4. Taigi norint atlikti skambučius iš 3 fiksuotų telefonų vienu metu reikalingi 4 kanalai.

Kadangi Iridium duomenų perdavime naudoja IP technologiją, duomenų sukuriamus srautus galime apskaičiuoti pagal formulę [43]:

$$V = k_i * N * V_i \quad (3.11)$$

čia k_i – koeficientas, įvertinantis kokia dalis kompiuterių, terminalų besinaudojančių i – aja paslauga, dirba vienu metu, N – kompiuterių, terminalų skaičius, V_i – i – ajai paslaugai reikalingas pralaidumas.

Kadangi Iridium NEXT palydovai gali užtikrinti spartą iki 1,4 Mb/s, reikia sužinoti kokią spartą gautų kiekvienas vartotojas V_v , kai tinkle yra 18 kompiuterių.

$$V_v = 1400 * 18 = 77,78 \text{ kb/s}$$

Jeigu būtų norima kiekvienam vartotojui užtikrinti 1,4 Mb/s spartą, tada reikalingi skaičiavimai pagal 3.11 formulę:

$$V = 1 * 18 * 1,4 = 25,2 \text{ Mb/s}$$

Pagal gautus skaičiavimo rezultatus, matyti, kad tinkle vienam vartotojui bus užtikrinama iki 77,78 kb/s sparta, kai naudojami visi 18 kompiuterių. Norint visiems užtikrinti spartą iki 1,4 Mb/s reikalingas 25,2 Mb/s pralaidumas. 3.3 lentelėje pateikti skaičiavimo rezultatai.

3.3 lentelė. Tinklu teikiamų paslaugų pralaidumas

Paslauga	Paslaugos pralaidumas vienam vartotojui, kb/s	Kompiuterių skaičius	Pralaidumas, Mb/s
Duomenys	77,78	18	1,4

Matyti, kad palydoviniui tinklui norint užtikrinti 1,4 Mb/s spartą visiems vartotojams, reikalingas 25,2 Mb/s pralaidumas. Kadangi Iridium NEXT palydovai gali užtikrinti tik iki 1,4 Mb/s pralaidumą, vienam vartotojui bus užtikrinama iki 77,78 kb/s sparta, jeigu duomenų perdavimo paslaugomis naudotųsi visi vartotojai vienu metu.

3.6. Tinklo įrangos parinkimas

Renkantis tinklo įrangą palydoviniui plačiajuosčiui tinklui sprendžiama ar naudoti fiksuotas antenas, ar mažus, nešiojamus terminalus su kuriais duomenų perdavimas galimas bet kurioje vietoje. Kadangi Iridium NEXT žvaigždynas pilnai veikti pradės tik 2017 metais [29,20], naujoji tinklo įranga prekyboje atsiras tik 2016 metų pradžioje, todėl įranga parenkama remiantis internete rastais šaltiniais.

Vienas iš pasirinkimų yra fiksuoto ryšio antenos Iridium Pilot [33] ir prieigos taškai RedPort Optimizer [34]. Naudojant šią įrangą užtikrinama sparta iki 134 kb/s, o naujieji įrenginiai Iridium NEXT žvaigždyne užtikrins iki 1,4 Mb/s. Antena komplektuojama kartu su palydoviniu modemu ir trimis telefonais, kurie sujungiami RJ-11 jungtimis. Techninės specifikacijos pateiktos 2 priede. Palydovinė antena priima ir siunčia signalus 1,55 – 1,65 GHz dažnių juosta, antenos stiprinimas 8 dB, tinkama naudoti nuo -70 iki +70 laipsnių temperatūros. Diametras 57 cm, aukštis 20 cm, svoris 12,5 kg. Modemas turi tris RJ-11 jungtis, vieną RJ-45 ir jungtį su antena. Taip pat modeme dedasi SIM kortelė, kurios pagalba užtikrinamos paslaugos. Antena su modemu sujungta tinklo kabeliu, kuris pateiktas 1 priede. Norint prijungti prieigos taškus, reikalingas komutatorius, kurie sujungiami su tinklo kabeliu. Prieigos taškas užtikrina aprėptį iki 30 metrų, palaiko 802.11 a/b/g Wi-Fi standartus. Detalesnė techninė specifikacija pateikta 3 priede. Kaina vienos antenos, tinklo kabelio, modemo ir telefonų yra 4104 EUR, o prieigos taško 136 EUR. 3.4 pav. pateikta Iridium Pilot antena su modemu ir RedPort Optimizer prieigos taškas.



3. 4 pav. Iridium Pilot antena, modemas, telefonas ir RedPort Optimizer prieigos taškas [32,33]

Sujungimui tarp modemo ir prieigos taškų reikalingas komutatorius. Kadangi reikės pajungti 8 stacionarius kompiuterius, 2 prieigos taškus ir vieną modemą, naudosime 16 RJ-45 portų NETGEAR ProSAFE (FS116) komutatorių. Kiekvienu portu užtikrinamas 10/100 Mbps sujungimas. Atsižvelgus, kad tinklu teikiamas pralaidumas yra 1,4 Mb/s, komutatorius su didesne sparta nereikalingas. Įrenginio paleidimui nereikalinga papildoma programinė įranga, pakanka sujungti tinklo kabelius, maitinimą ir komutatorius paruoštas naudojimui. Įrenginio kaina yra 55,25 EUR. 3.5 pav. pateikiame NETGEAR ProSAFE (FS116) komutatorių bei 4 priede pateiktos techninės specifikacijos.



3. 5 pav. NETGEAR ProSAFE (FS116) komutatorius [40]

Sekantis yra nešiojamas Iridium GO! terminalas [36], kuris yra kaip prieigos taškas, tik pats priima ir siunčia duomenis į palydovą. Prie vieno tokio terminalo vienu metu gali pasijungti iki penkių kompiuterių ar mobiliųjų telefonų, o aprėpties zona, kurioje vis dar užtikrinamas duomenų perdavimas yra 30 metrų. Pats Iridium GO! terminalas yra labiau skirtas balso perdavimui užtikrinti, SMS trumposioms žinutėms rašyti ir elektroniniui paštui. Naujajame žvaigždynę planuojama šio įrenginio pamaiana, kuri užtikrins spartą iki 512 kb/s. Naudojant šį terminalą balso perdavimui nebereikalingi specialūs palydoviniai telefonai. Vietoj jų naudojami išmanieji Apple iOS arba Android telefonai su specialia programine įranga. Skambučiai atliekami tokia pat tvarka, kaip pateikta 3.1 skyriuje, tik šiuo atveju turi būti įjungtas Iridium GO! terminalas ir paleista speciali programinė įranga. Tokio įrenginio kaina yra 700 EUR. 3.5 pav. pateiktas Iridium GO! terminalas ir 5 priede techninės specifikacijos.



3. 1 pav. Iridium GO! terminalas [35]

Kiekvienas palydovinis nešiojamas terminalas, modemas privalo turėti SIM kortelę, su kuriuo yra priskiriamas specialus numeris. Be to kortelės pagalba yra fiksuojama kiek kiekvienas vartotojas naudojosi palydovinėmis paslaugomis, o pagal tai sužinoma koks mokestis lauks gale mėnesio. Šiuo atveju tiek palydoviniame modeme tiek Iridium GO terminale dedamos SIM kortelės. Mokestis už paslaugas sudaromas atsižvelgus į sutartis. Tai gali būti fiksuotas minučių bei duomenų kiekis arba mokestis nuo išnaudoto duomenų ir minučių kiekio.

Iridium GO terminalas būtų puikus pasirinkimas nedidelių grupelių mokslininkams, kurie kiekvieną dieną keičia tyrimų vietą. Šiuo atveju Palmer tyrimų stotyje tokie terminalai būtų neefektyvūs, kadangi norint perduoti duomenis būtų privaloma įrenginį išnešti į lauką, kadangi patalpose būtų blokuojamas signalas. Dėl šios priežasties tyrimų stotyje bus naudojama stacionari antena su modemu, komutatoriumi ir prieigos taškais.

4. Ekonominis įvertinimas

Atlikus palydovinės įrangos parinkimą Palmer mokslinėje tyrimų stotyje galimas ir ekonominis įrangos įvertinimas. Pirmiausia suskaičiuojame kiek palydovinės įrangos reikės Palmer tyrimų stotyje ir surandame suminę kainą. Palydovinė antena, modemas, kabelis antenai ir modemui sujungti, trys telefonai kainuoja 4104 EUR, prieigos taškas RedPort Optimizer 136 EUR, komutatorius NETGEAR ProSAFE (FS116) 55,25 EUR, aštuoni tinklo kabeliai po 10 metrų 50 EUR ir du tinklo kabeliai po 50 metrų 60 EUR. 4.1 lentelėje pateikiame suminę projekto vertę.

4.1 lentelė. Suminė projekto vertė

Įranga	Vnt.	Kaina, vnt., EUR	Kaina, EUR
Antena, modemai, trys telefonai, kabelis antenai ir modemui sujungti	1	4104	4104
RedPort Optimizer prieigos taškas	2	136	272
Tinklo kabelis (10 metrų)	8	6,25	50
Tinklo kabelis (50 metrų)	2	50	100
		Iš viso:	4526

Taip pat įvertiname, koks būtų palydovinių paslaugų mėnesinis mokestis. Priklausomai nuo paslaugų paketo balso paslaugoms už minutę nustatyta mokėti yra nuo 0,29 EUR iki 0,83 EUR, duomenų perdavimui už 1 MB nuo 0,97 EUR iki 13,50 EUR. Kainos derinamos priklausomai nuo išnaudojamų paslaugų kiekio. Kuo daugiau išnaudojama MB ir minučių, tuo mažesnė vienos minutės ir MB kaina. Tai reiškia, kad užsisakius pigiausią planą už 69 EUR, už 1 MB mokama 13,50 EUR, o užsisakius planą už 1450 EUR už 1 MB mokama 0,97 EUR.

Nors Iridium teikiamos paslaugos yra ganėtinai brangios, tačiau naudojant žemos orbitos palydovus pietiniame poliuje užtikrinamas pastovus ryšys, ko nesuteikia kiti palydovai. Taip pat Palmer tyrimų stotis priklauso Amerikai, todėl jiems yra užtikrinamas valstybės finansavimas. Taigi, palydovinio tinklo projekto įrangos vertė Palmer tyrimų stotyje yra 4526 EUR.

5. Išvados

1. Atlikus ryšių palydovų erdvinių charakteristikų analizę, pasirinkti Iridium NEXT palydovai, siekiant užtikrinti šimtaprocentinę aprėptį.
2. Atlikus signalo vėlinimo per žemos orbitos palydovus skaičiavimus gauta, kad aukštynkrypčio signalo vėlinimas – 2,6 ms, žemynkrypčio – 2,6 ms, tarppalydovinio signalo vėlinimas – 13 ms.
3. Apskaičiavus palydovinio ryšio energetines charakteristikas, gauta, kad pilnas nešlio ir triukšmo santykis $C/N = 15,04$ dBHz.
4. Iridium NEXT palydovai gali užtikrinti iki 1,4 Mb/s pralaidumą, todėl jeigu vienu metu duomenų perdavimo paslaugomis naudosis visi vartotojai bus užtikrinama iki 77,78 kb/s sparta. Telefoniniams pokalbiams užtikrinti reikalingi 4 kanalai, kai skambučiai atliekami vienu metu.
5. Atlikus palydovinio plačiajuosčio tinklo įrangos parinkimą buvo pasirinktas Iridium Pilot komplektas, du RedPort Optimizer prieigos taškai ir NETGEAR ProSAFE (FS116) komutatorius.
6. Atlikus projekto ekonominį įvertinimą, suskaičiuota, kad palydovinio tinklo projekto įrangos vertė yra 4526 EUR.

Naudotos literatūros sąrašas

1. United States Antarctic Program. [žiūrėta 2015-02-05] Prieiga per internetą:
<http://www.usap.gov/technology/contentHandler.cfm?id=1982>
2. Overview of the broadband LEO players. [žiūrėta 2015-02-09] Prieiga per internetą:
<https://www.itu.int/newsarchive/wtpf96/fact.html>
3. Overview of LEO satellite system [žiūrėta 2015-02-09] Prieiga per internetą:
http://www.its.bldrdoc.gov/media/30335/red_s.pdf
4. Satellite communications system MEO-LEO-GEO. [žiūrėta 2015-02-17] Prieiga per internetą:
<http://www.harriscaprock.com/blog/high-throughput-satellite-communications-systems-meo-vs-leo-vs-geo/>
5. Ragauskas A., Kaseta S., Grimaila V., Palydovinės telekomunikacijų sistemos: vadovėlis. Kaunas: Technologija, 199 p. ESF/2004/2.5.0-03-422/BPD-191
6. Iridium NEXT constellation [žiūrėta 2015-02-13] Prieiga per internetą:
<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/i/iridium-next>
7. Iridium NEXT communication [žiūrėta 2015-02-17] Prieiga per internetą:
<https://www.iridium.com//DownloadAttachment.aspx?attachmentID=493>
8. Iridium NEXT satellites. [žiūrėta 2015-02-22] Prieiga per internetą:
<http://www.parabolicarc.com/2014/03/28/52002/>
9. Iridium satellite technology, theory and frequency. [žiūrėta 2015-02-13] Prieiga per internetą:
<http://www.radio-electronics.com/info/satellite/communications-systems/iridium-theory-history-technology-frequency.php>
10. LEO communication satellites: The Iridium constellation. [žiūrėta 2015-02-22] Prieiga per internetą:
http://ccar.colorado.edu/asen5050/projects/projects_2000/redlin/
11. Iridium satellite constellation. [žiūrėta 2015-02-27] Prieiga per internetą:
<http://www.satobs.org/iridium.html>
12. Iridium satellite design. . [žiūrėta 2015-02-27] Prieiga per internetą:
http://blog.michna.com/node/295/image_gallery?page=3
13. Low earth orbit satellites. [žiūrėta 2015-03-05] Prieiga per internetą:
<http://www.epubbud.com/read.php?g=5HEKFDZU&tcp=22>
14. Iridium NEXT. [žiūrėta 2015-03-05] Prieiga per internetą:
<http://outfittersatellite.com/blog/iridium-satellite-phone/whats-iridium-next-2.html>
15. Ground system elements. [žiūrėta 2015-03-11] Prieiga per internetą:
http://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-851-satellite-engineering-fall-2003/lecture-notes/124_groundsysdes.pdf

16. The satellite ground station architecture. [žiūrėta 2015-03-11] Prieiga per internetą:
http://file.scirp.org/Html/3-9700211_690.htm
17. Schematic diagram of earth station communication. [žiūrėta 2015-03-11] Prieiga per internetą:
<http://www.dileepnanotech.com/communication/sagarmathaeearthstation.html>
18. Satellite communication. [žiūrėta 2015-03-17] Prieiga per internetą:
<http://www.daenotes.com/electronics/communication-system/satellite-communication>
19. Constellation lunch date. [žiūrėta 2015-03-17] Prieiga per internetą:
<https://www.linkedin.com/pulse/leo-hts-constellations-what-happens-prashant-butani>
20. Low Earth orbit satellite broadband. [žiūrėta 2015-03-20] Prieiga per internetą:
<http://www.analysismason.com/About-Us/News/Insight/LEO-satellite-broadband-Apr2015/>
21. Comparison of multiple access schemes. [žiūrėta 2015-04-09] Prieiga per internetą:
<http://ir.nul.nagoya-u.ac.jp/jspui/bitstream/2237/7750/1/ICC01.pdf>
22. Telekomunikacijų teorija. [žiūrėta 2015-04-09] Prieiga per internetą:
<https://www.ebooks.ktu.lt/eb/646/telekomunikaciju-teorija/>
23. TDD schemes. [žiūrėta 2015-02-09] Prieiga per internetą:
http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/cellular_concepts/tdd-fdd-time-frequency-division-duplex.php
24. Iridium call tutorial. [žiūrėta 2015-10-05] Prieiga per internetą:
http://www.sea-tech.com/support_faqs.pdf
25. Satellite latency calculation. [žiūrėta 2015-10-05] Prieiga per internetą:
<http://apps.fcc.gov/ecfs/document/view?id=7520956711>
26. Link budget. [žiūrėta 2015-10-05] Prieiga per internetą:
<http://paginas.fe.up.pt/~ee97054/Link%20Budget.pdf>
27. Link budgets. [žiūrėta 2015-10-05] Prieiga per internetą:
<http://www.satcom.co.uk/print.asp?article=21>
28. Link budget of LEO satellite. [žiūrėta 2015-02-09] Prieiga per internetą:
<http://ijiet.com/wp-content/uploads/2014/06/25.pdf>
29. Compression algorithms. [žiūrėta 2015-10-09] Prieiga per internetą:
http://toncar.cz/Tutorials/VoIP/VoIP_Basics_Overview_of_Audio_Codecs.html
30. Iridium satellite system. [žiūrėta 2015-10-19] Prieiga per internetą:
<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080047442.pdf>
31. Iridium satellite communication service. [žiūrėta 2015-10-19] Prieiga per internetą:

- <http://www.icao.int/safety/acp/acpwgf/acp-wg-m-11/acp-wgm11-wp03-draft%20iridium%20implementation%20manual%20version%201.4%20-%20051906.pdf>
32. Iridium pilot. [žiūrėta 2015-11-05] Prieiga per internetą:
<http://www.globalmarinenet.com/product/iridium-pilot-satellite-phone-broadband-data/>
33. RedPort Optimizer. [žiūrėta 2015-11-05] Prieiga per internetą:
<http://www.globalmarinenet.com/product/satellite-phone-data-optimizer/>
34. Iridium Pilot [žiūrėta 2015-11-05] Prieiga per internetą:
<https://www.iridium.com/products/details/iridium-pilot-landstation>
35. Iridium GO! [žiūrėta 2015-11-09] Prieiga per internetą:
<http://satphones.eu/en/satellite-phones/2004-iridium-go.html>
36. Mohamad Abdul Jabar, Multi Link Iridium Satellite Data Communication System. [žiūrėta 2015-11-09] Prieiga per internetą:
https://www.itc.ku.edu/research/thesis/documents/abdul_mohammad_thesis.pdf
37. Iridium Pilot Installation Guide. [žiūrėta 2015-11-09] Prieiga per internetą:
<http://www.globalmarinenet.com/wp-content/uploads/2014/08/iridium-pilot-installation-guide.pdf>
38. Erlang B internetinė skaičiuoklė. [žiūrėta 2015-11-09] Prieiga per internetą:
<http://www.erlang.com/calculator/erlb/>
39. Time Division Duplex TDD. [žiūrėta 2015-11-09] Prieiga per internetą:
http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101900_101999/101904/01.01.01_60/tr_101904v010101p.pdf
40. NETGEAR ProSAFE 16-Port Fast Ethernet Unmanaged Switch (FS116). [žiūrėta 2015-12-15] Prieiga per internetą:
http://www.staples.com/NETGEAR-ProSAFE-16-Port-Fast-Ethernet-Unmanaged-Switch-FS116-/product_487762
41. An Introduction to direct Broadcast Satellite. [žiūrėta 2015-12-11] Prieiga per internetą:
http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture13/DBS/DBS.html
42. Himanshu Singh, 2011 EET3679. [žiūrėta 2015-12-15] Prieiga per internetą:
<http://www.slideshare.net/HimanshuSingh41/mobile-satellite-communication>
43. Jarutis A. Telekomunikacijų tinklų projektavimo metodiniai nurodymai: vadovėlis. Kaunas: Technologija, 2011. – 75 p. ISBN 978-9955-25-831-5
44. What is Iridium NEXT. [žiūrėta 2015-09-17] Prieiga per internetą:
http://www.argo.ucsd.edu/sat_comm_AST13.pdf

Priedai

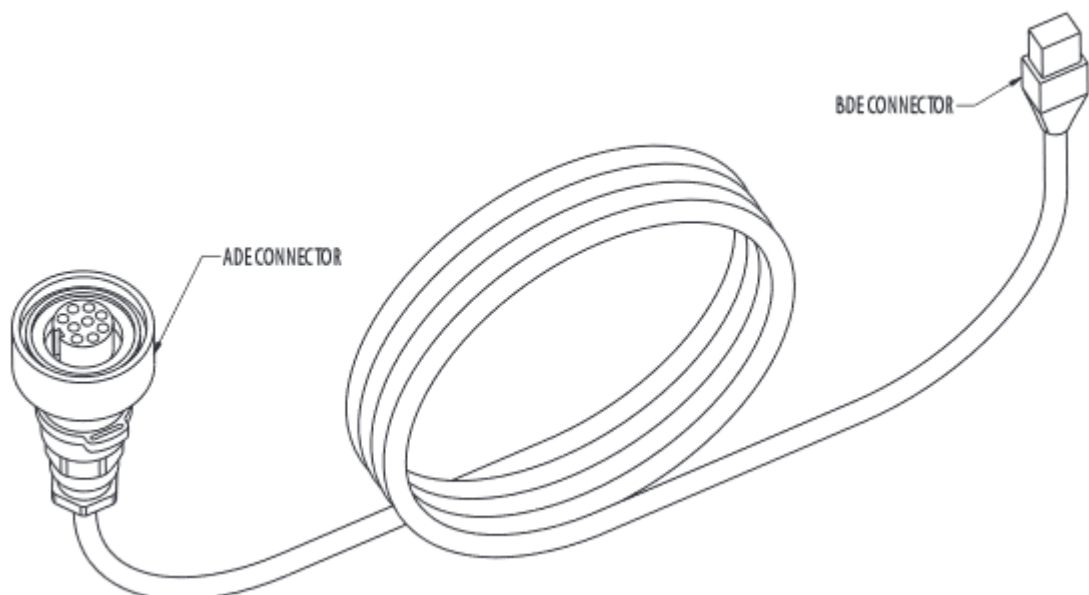
1 priedas. Anteną / prieigos tašką jungiantis kabelis.

ADE/BDE Interface Cable Drawing

Notes:

1. BDE connector to be RJ-45 shielded, connected as per table. Use Stewart Connector Part number 943-SP-370808SM2 or equivalent.
2. The ADE connector is Bulgin Buccaneer PX0728/S connected per the table below. To maintain weather proof seal the connector gland nut must be tightened to 10 lbf-inches of torque.
3. Cable to be exterior grade foil shield Category 5 (or better) to IEC 332-1, such as Beldon part number 7919A or equivalent.
4. Cable length is typically 45 meters long. The combined length of the ADE/BDE interface cable plus the Computer-to-Data port cable shall not exceed 100 meters total length to comply with Ethernet maximum length standards.
5. If installer is not using Iridium provided cables and is creating a cable, please follow the pin out instructions as detailed below.

ADE Connector	Conductor Color Standard (T568A)	BDE Connector
1	White/Orange stripe	3
2	Orange solid	6
3	Brown solid	8
4	(drain wire)	SHIELD
5	White/Brown stripe	7
6	Green solid	2
7	White/Green stripe	1
8	Blue solid	4
9	White/Blue stripe	5



2 priedas. Palydovinės antenos ir modemo techninės specifikacijos.

BDE (Below Deck Equipment) – modemas, ADE (Above Deck Equipment) – antena

RF Performance		
Frequency of Operation	TX	1616 to 1626.5 MHz
	RX	1616 to 1626.5 MHz
EIRP	1 ch (voice)	1.1 watts average power
	64 ch (max data rate)	2 watts average power
Modulation	Voice/Data	QPSK
Antenna	Type	6 dual element azimuthal array and 1 zenith element, electronically switched and phase steered
	Polarization	RHCP
	Gain	+8 dB
	Beam Width	Hemispheric coverage (60° per element)
	Steering	Automatic solid state
	Coverage	Horizon to horizon
	Ship's Motion	provides useful link margin up to roll = 20°

Power Requirements		
Main Power (AC)	Voltage	100 - 240 VAC
	Frequency	50/60 Hz
	Output Power	100 W (24 volts @ 4.2 Amps max)
DC Input (power module)	DC Input Voltage	11 to 32 VDC
	Power In Standby	18 Watts
	Power During Call	22 Watts
	Power During Data	31 Watts

Environmental Specs		
ADE (Above Deck Equipment)	Enclosure Type	RF-transparent dome-shaped cover and metal base
	Temperature Range	-70 to +70 deg. Celsius
	Relative Humidity	0 to 93% RH
	Precipitation	meets IPx6 (high pressure water jets)
	Wind	in excess of 100 mph with proper mounting (see Installation Guide)
BDE (Below Deck Equipment)	Enclosure Type	IP33 compliant (use inside controlled environment)
	Temperature Range	0 to +50 deg. Celsius

Physical Description		
ADE	Diameter	57.0 cm
	Height	20.0 cm
	Weight	12.5 kg
	Mounting	M10 bolts arranged in a 15 cm diameter bolt circle
BDE	Length	25.0 cm
	Width	19.0 cm
	Height	5.5 cm
	Weight	1.35 kg
	Mounting	Indoor, flat, vertical wall (supports BDE weight)
Power Module	Length	14.0 cm
	Width	5.9 cm
	Height	3.5 cm
	Weight	< 0.5 lb
Interconnect Cable	Length (1)	45m
	Length (2)	70m (optional)

User Interfaces		
ADE	BDE Connector	Bulgin Buccaneer IP68 (9-pole fixed plug)
BDE	SIM Card	Furnished by Iridium Service Provider
	Data	10 baseT
	Voice 1	RJ-11 (2 wire) / POTS
	Voice 2	RJ-11 (2 wire) / POTS
	Voice 3	RJ-11 (2 wire) / POTS
	ADE Connector	RJ-45 (proprietary)

The 3 handset interfaces are POTS interfaces, with RJ11 connectors. The Iridium Pilot unit's audio has been optimized to work with the handsets provided by Iridium.

Has to be connected to a line that has been provisioned as standard line.

Normal dialing (no "+" or "00" required)

Message waiting light

The Captain's handset can have a pin enabled in provisioning if the user desires.

Can receive MT calls.

3 priedas. Prieigos taško RedPort Optimizer techninės specifikacijos.

- **Firewall:** Yes
- **GPS Tracking:** Yes with compatible service
- **NMEA Repeater:** Yes
- **OBM (Out of Band Management):** Limited
- **Bandwidth Logging:** Limited
- **Ethernet LAN Ports:** 1
- **Ethernet WAN Ports:** 1
- **RJ-11 Analog Lines:** 0
- **WiFi:** 802.11 a/b/g
- **WiFi Range:** Approx 30m
- **Power Operating Range:** 9-18V DC 1A
- **Certifications:** FCC, CE, RoHS
- **Dimensions:** 3.8" x 2.75" x 1.0" (97 x 70 x 25 mm)
- **Weight:** 0.22 lbs (0.10 kg)

4 priedas. NETGEAR ProSAFE (FS116) komutatoriaus techninės specifikacijos.

Network Ports

- FS105: Five (5) 10/100Mbps auto speed-sensing UTP ports
- FS108: Eight (8) 10/100Mbps auto speed-sensing UTP ports
- FS116: Sixteen (16) 10/100Mbps auto speed-sensing UTP ports

Standards Compliance

- IEEE 802.3 10BASE-T Ethernet
- IEEE 802.3u 100BASE-TX Fast Ethernet
- IEEE 802.3x Full-duplex Flow Control

Performance Specifications

Forwarding modes

- Store-and-forward

Bandwidth

- FS105: 1Gbps,
- FS108: 1.6Gbps
- FS116: 3.2Gbps

Network latency

- Less than 20 μs for 64-byte frames in store-and-forward mode for 100 Mbps to 100 Mbps transmission

Environmental Specifications

Operating temperature

- FS105, FS108: 32 to 104°F (0 to 40°C)
- FS116: 32 to 122°F (0 to 50°C)

Storage temperature

- 14° to 158°F (-10° to 70°C)

Operating humidity

- 90% maximum relative humidity, non-condensing

Storage humidity

- 95% maximum relative humidity, non-condensing

Operating altitude

- 10,000ft (3,000m) maximum

Storage altitude:

- 10,000ft (3,000m) maximum

Safety Agency Approvals

- UL listed (UL 1950)/cUL
- IEC 950/EN 60950
- RU EAC

AC Power

- Auto-sensing 100 to 240V, 50/60Hz
- Localized plug for North America, Japan, UK, Europe, Australia
- FS105: 0.9W maximum
- FS108: 1.0W maximum
- FS116: 5.5W maximum

Physical Specifications

Dimensions (H x W x D):

FS105

- 94 x 101 x 27mm (3.7 x 4.0 x 1.1in)
- Weight: 0.26kg (0.57lb)

FS108

- 158 x 103 x 27mm (6.2 x 4.1 x 1.1in)
- Weight: 0.39kg (0.86lb)

FS116

- 285 x 102 x 27mm (11.2 x 4.0 x 1.1in)
- Weight: 0.80kg (1.8lb)

Buffer memory

- FS105: 64 KB
- FS108: 96 B
- FS116: 512 KB

Address database size

- FS105: 2,000
- FS108: 2,000
- FS116: 4,000

Addressing:

- 48-bit MAC address

Mean time between failures (MTBF)

- FS105: 4.2M hours
- FS108: 4.0M hours
- FS116: 4.0M hours

Acoustic Noise

- 0 dB

Status LEDs

- Power
- Link and activity indicators built into each
- RJ-45 port

Electromagnetic Emissions

- CE mark, commercial
- FS105, FS108: FCC part 15 Class B
- FS116: FCC part 15 Class A
- EN 55022 (CISPR22), Class A
- VCCI Class A (FS116)
- C-Tick
- RU EAC

System Requirements

- Network Cables
- Network card for each PC or server
- Network software (e.g., Windows®, Linux®, Mac OS®)

Warranty

- Switch: NETGEAR Lifetime Warranty*
- Power adapter: NETGEAR 2-year Warranty

5 priedas. Iridium GO! terminalo techninės specifikacijos.

Iridium GO! supports a full range of global communications, including:

- Voice calls
- Photo sharing
- Email access
- SMS two-way
- Applications
- GPS tracking
- Social networking
- SOS alert



Dimensions:

- 4.5"x 3.25" x 1.25"

Durability Specifications:

- Military-grade ruggedness (MIL-STD 810F)
- Ingress Protection (IP65)

Easy to Use:

- Stable, lay-flat design
- Flip up antenna
- Built-in menu/status display

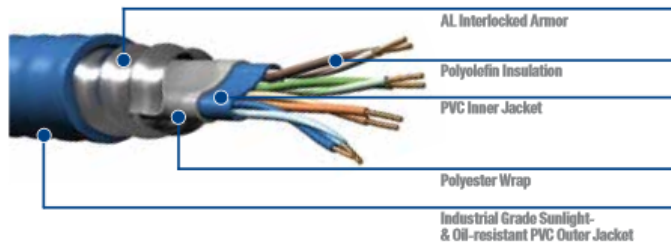
Flexible:

- Wi-Fi device ready
- App API for developers
- Robust accessory platform

6 priedas. Ethernet kabelio techninės specifikacijos.

Enhanced Category 6 Cables, 4-Pair*, Solid Unshielded with Double Jacket and Interlocked Aluminum Armor

Part No.	AWG	Conductors	No. of Pairs	EtherNet/IP Compliant	Standard Lengths		Standard Unit Wt.		Nominal OD		Jacket Thickness		Jacket Colors/Material
					Ft.	m	Lbs.	kg	Inch	mm	Inch	mm	
121872A	23	Solid BC	4		1000	304.8	222.0	100.6	0.68	17.37	0.055	1.397	Black, Gray PVC



- Non-plenum; interlocked aluminum armored
- Bonded-Pair construction
- Operating temperature: -55°C to +75°C
- Installation temperature: -55°C to +75°C
- RJ-45 Compliant
- Jacket sequentially marked at 2 ft. intervals
- Cable passes -55°C Cold Bend per UL1581
- U.S. Patents 5,606,151, 5,734,126 and 5,821,467
- RoHS Compliant