

# SYSTEM PORÓWNYWANIA PAKIETÓW JAKO METODA POPRAWIANIA JAKOŚCI ŁĄCZA SATELITARNEGO W ROZPROSZONEJ STACJI NAZIEMNEJ

Marcin Stolarski

Politechnika Warszawska  
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Instytut Radioelektroniki  
Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, POLAND  
[M.Stolarski@elka.pw.edu.pl](mailto:M.Stolarski@elka.pw.edu.pl)

Streszczenie: Artykuł opisuje innowacyjną metodę transmisji danych pomiędzy satelitą a Ziemią. Autor proponuje zastosowanie rozproszonej sieci stacji naziemnych, które prowadzą jednoczesny odbiór danych z satelity. W artykule wykazano matematycznie, że nowe rozwiązanie pozwala na poprawienie jakości kanału odbiorczego bardziej niż stosowanie szczyków antenowych. W dalszej części jest pokazana proponowana realizacja na przykładzie projektu Rozproszonej Stacji Naziemnej (Distributed Ground Station System). Sieć ta realizowana jest na potrzeby satelity PW-Sat, który budowany jest przez studentów Politechniki Warszawskiej.

## 1. Wstęp

Wiele uniwersytetów zajmuje się zagadnieniami związanymi z budową satelitów. Powstają małe i tanie satelity [1], do których budowane są stacje naziemne, aby można było wymieniać dane z satelitą. Pojedyncze stacje naziemne wykorzystane są w niewielkim stopniu, ze względu na ograniczony czas widoczności radiowej pomiędzy stacją a satelitą. Bardzo rzadko zdarza się, aby taka stacja wykorzystywana była do obsługi satelitów innego uniwersytetu. Sama realizacja linku pomiędzy Ziemią a satelitą nie jest łatwa i wymaga zbudowania odpowiedniego systemu antenowego, aby zapewnić odpowiednią jakość połączenia. Autor proponuje, aby połączyć takie stacje za pomocą sieci komputerowej, aby możliwe było większe wykorzystanie stacji naziemnych. Mechanizm taki pozwala na wielokrotne zwiększenie czasu dostępu do satelitów a zarazem na zwiększenie ilości przesyłanych danych. Aby zwiększyć ilość dostępnych stacji Autor proponuje także, aby do sieci dołączyć stacje radioamatorów, którzy dysponują odpowiednim sprzętem oraz podłączeniem do sieci Internet. Kolejną propozycją autora jest równoległy odbiór danych z satelity przez wiele stacji naziemnych, a następnie przesłanie ich do systemu głosowania pakietów. System ten pozwala na poprawę jakości łącza poprzez obniżenie współczynnika błędów transmisji (BER).

## 2. Budżet mocy dla satelity radioamatorskiego.

Do dalszych obliczeń przeprowadzono symulacje łącza radiowego pomiędzy Ziemią a satelitą.

Na potrzeby obliczeń założono, że satelita nadaje z mocą 5W (7dBw) na częstotliwości  $f=433\text{MHz}$ . Zysk anteny nadawczej  $\text{TXG}=0\text{ dB}$ . Zysk anteny odbiorczej  $\text{RXG}=6\text{ dB}$ . Zastosowano modulację FM FSK o szerokości pasma  $B=7\text{kHz}$  i prędkości transmisji  $\text{BR}=1200\text{ bps}$ . Czułość typowego odbiornika radiowego o impedancji wejściowej  $Z=50\text{ ohm}$  to  $\text{RXU}=0.2\text{ uV}$  dla  $\text{SNIAD}=12\text{ dB}$  dla modulacji FM co pozwala na wyznaczenie jego

temperatury szumowej (2.5) na poziomie 800 K. Obliczenia [2,3,4] (2.1-2.8) przeprowadzono na dystansie 300 – 60'000 km. Na rysunku nr 1 można obejrzeć wynik symulacji.

$$SNR_{RX} [dB] = SNIAD - 1 \quad (2.1)$$

$$RXS = 10 * \log\left(\frac{RXU^2}{Z}\right) \quad (2.2)$$

Zastępcza temperatura szumowa systemu

$$T_u = TR + TA \quad (2.3)$$

Temperatura szumowa anteny

$$TA = 100K \quad (2.4)$$

Temperatura szumowa odbiornika

$$TR[dB] = RXS - B - SNR_{RX} + 228.6 \quad (2.5)$$

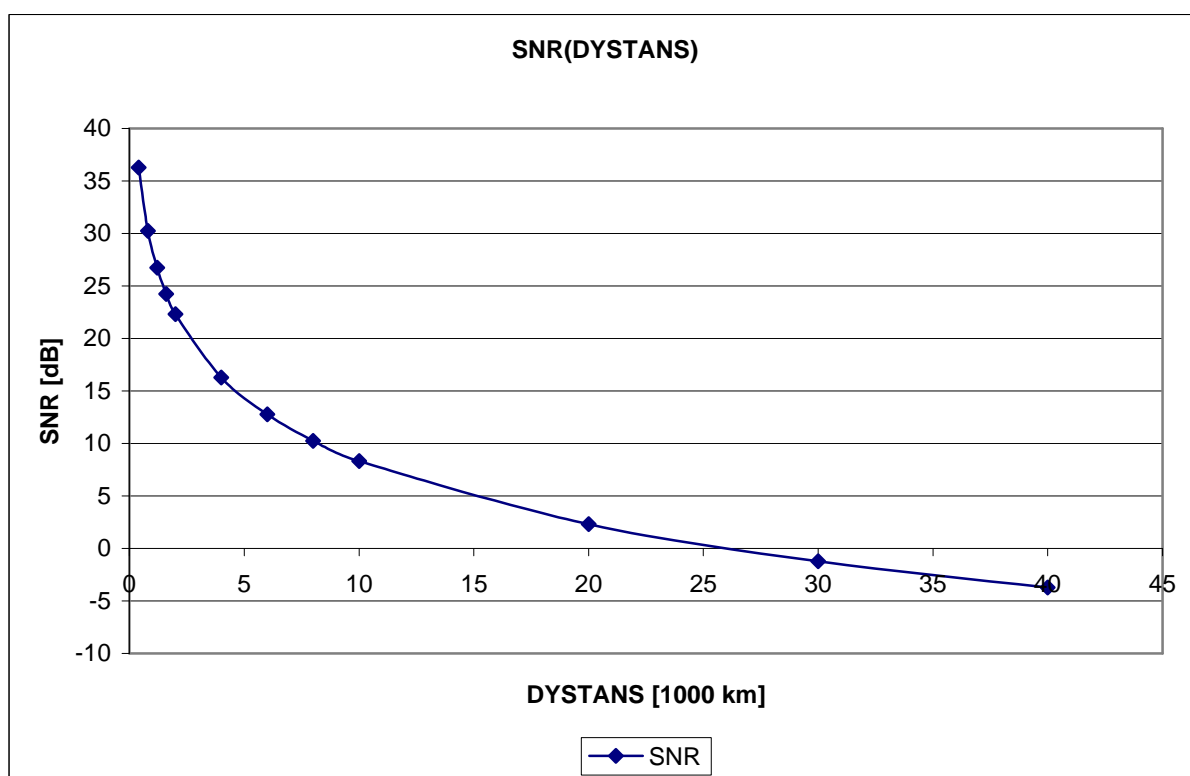
R – odległość stacja odbiorcza - satelita

$$FSL[dB] = -10\log\left(\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2\right) \quad (2.6)$$

c – prędkość światła

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.7)$$

$$SNR[dB] = TXP + FSL + TXG + RXG - B - T_u + 228.6 \quad (2.8)$$



Rys 1. SNR w łączu Ziemia satelita.

### 3. System rozproszonego odbioru

System rozproszonego odbioru polega na równoległym odbieraniu informacji przez kilka stacji na raz. Wydaje się, że taki równoległy odbiór powinien poprawić jakość łącza. Do dalszej części symulacji wykorzystano kilka scenariuszy, a następnie dla każdego z nich obliczono współczynnik błędów BER.

Scenariusze:

- Odbiór przez pojedynczą stację (BER<sub>ss</sub>).
- Odbiór przez pojedynczą stację wyposażoną w szereg antenowy składający się z pięciu anten, każdej o zysku 6 dB (BER<sub>n</sub>). Sumaryczny zysk systemu antenowego wyniósł 13 dB.
- Odbiór przez pięć oddzielnych systemów odbiorczych identycznych z pojedynczą stacją. Obliczono współczynnik błędów dla przypadku, kiedy żadna ze stacji nie odebrała prawidłowo danych (rozwiązanie optymalne, BER<sub>o</sub>). Jeśli jedna ze stacji odebrała prawidłowo daną uznaje się, że dana zostanie poprawnie zinterpretowana.
- Odbiór przez pięć oddzielnych systemów odbiorczych identycznych z pojedynczą stacją. Obliczono współczynnik błędów dla przypadku, kiedy większość stacji nie odebrała prawidłowo danych (rozwiązanie porównaniowe, BER<sub>v</sub>). Jeśli większość stacji odebrała prawidłowo daną uznaje się, że dana zostanie poprawnie zinterpretowana w systemie porównywania pakietów.

$$BER_{SS} = \frac{1}{2} e^{\left(\frac{SNR[dB]*B}{-2*BR}\right)} \quad (3.1)$$

$$BER_N = \frac{1}{2} e^{\left(\frac{10*LOG\left(n*10^{\frac{SNR[dB]}{10}}\right)*B}{-2*BR}\right)} \quad (3.2)$$

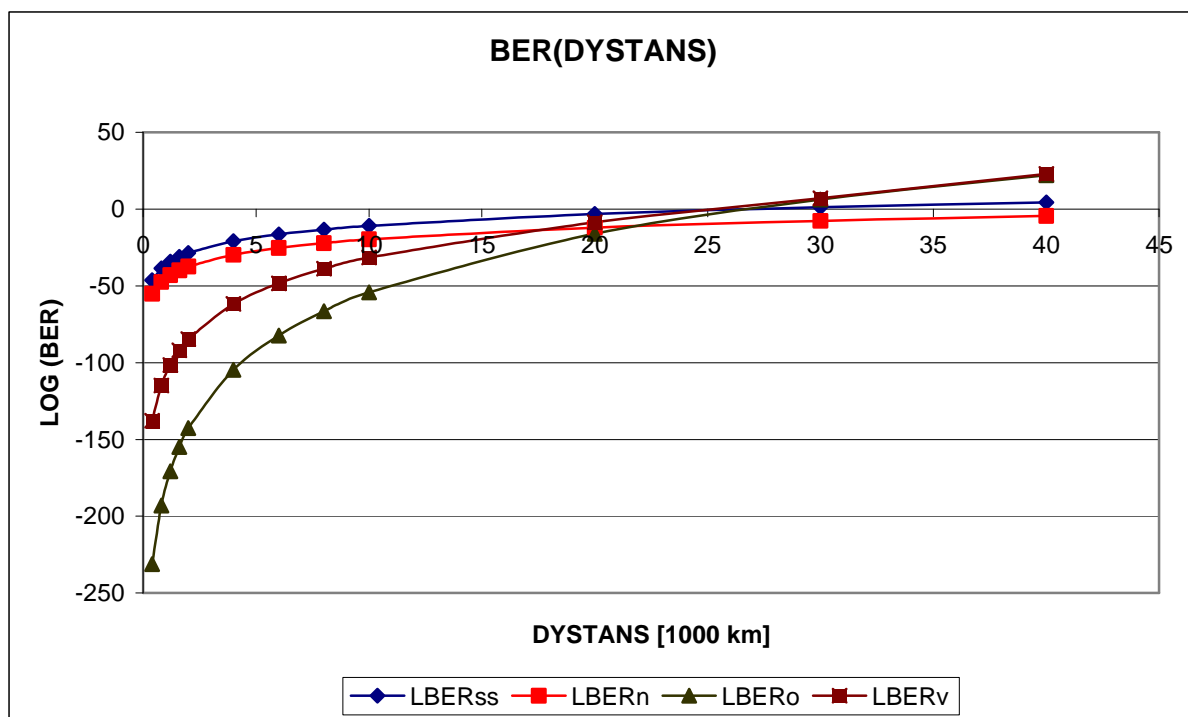
$$BER_o = \prod_{i=1}^n BER_i \quad (3.3)$$

$$BER_v = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} (BER_{SS})^i (1 - BER_{SS})^{n-i} \quad (3.4)$$

$$n - \text{liczba stacji odbiorczych, liczba anten w szereg} \quad (3.5)$$

$$n < 2*k \quad (3.6)$$

Na rysunku nr 2 przedstawione są wyniki obliczeń współczynnika BER w zależności od odległości. Linia BER<sub>ss</sub> (3.1) przedstawia wynik dla pojedynczej stacji. Jest to linia odniesienia. BER<sub>n</sub> (3.2) przedstawia o ile polepsza się kanał, jeśli zastosujemy pięć razy większą antenę. BER<sub>o</sub> (3.3) to teoretyczna górna granica możliwości systemu. Jest to przypadek, kiedy otrzymamy przynajmniej jeden poprawny wynik i w jakiś sposób będziemy wiedzieć, która stacja ma ten wynik. BER<sub>v</sub> (3.4) to linia pokazująca współczynnik błędów przy wykorzystaniu systemu porównywania pakietów. System zakłada, że większość stacji odbierze poprawnie dane, co pozwoli metodą głosowania większościowego odrzucić błędnie odebrane dane.



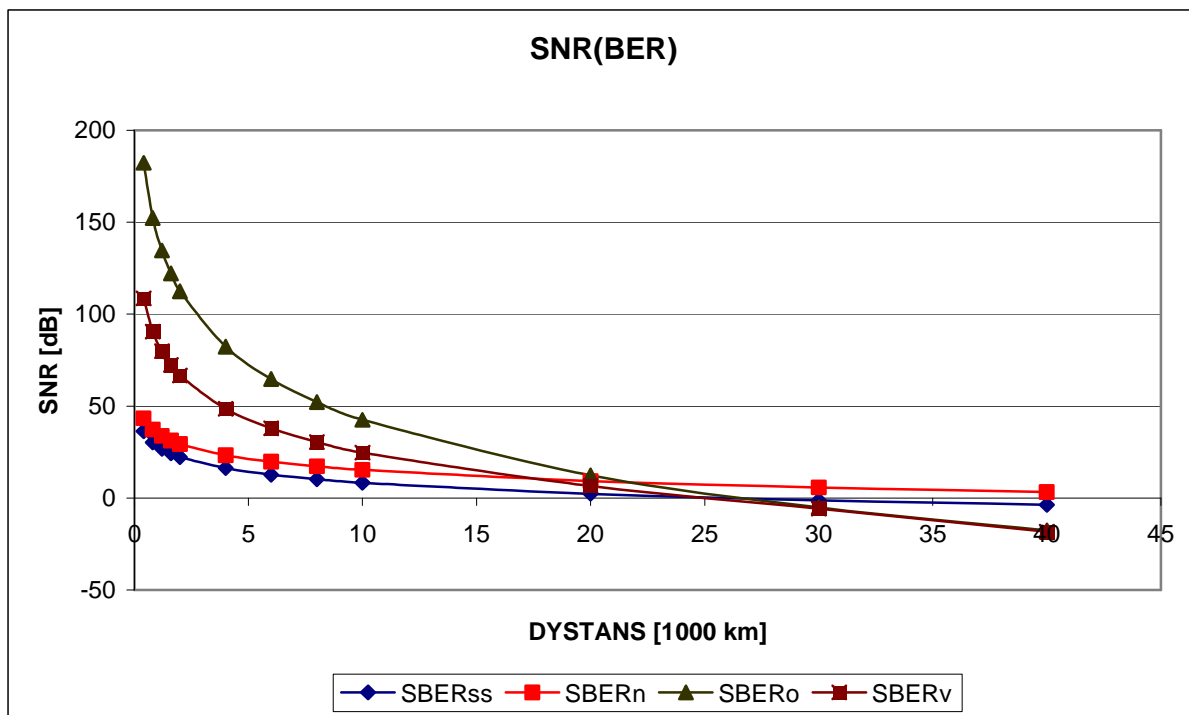
Rys 2. BER dla różnych realizacji stacji naziemnej.

Jak widać na odległościach mniejszych niż 15000 km system głosowania pakietów składający się z pięciu stacji odbiorczych zapewnia lepszą jakość kanału niż zastosowanie jednej stacji z pięciokrotnie lepszą anteną. Warto zauważyć, że odległość 3500 km jest zwykle granicznym zasięgiem dla niskoorbitujących satelitów ze względu na horyzont radiowy. Wraz z malejącą odległością rośnie przewaga systemów porównujących. Kiedy przekształcimy wzór (3.1) do postaci (3.7), to możemy zobaczyć jak duży musiał by być system antenowy aby dorównać systemowi porównywania pakietów.

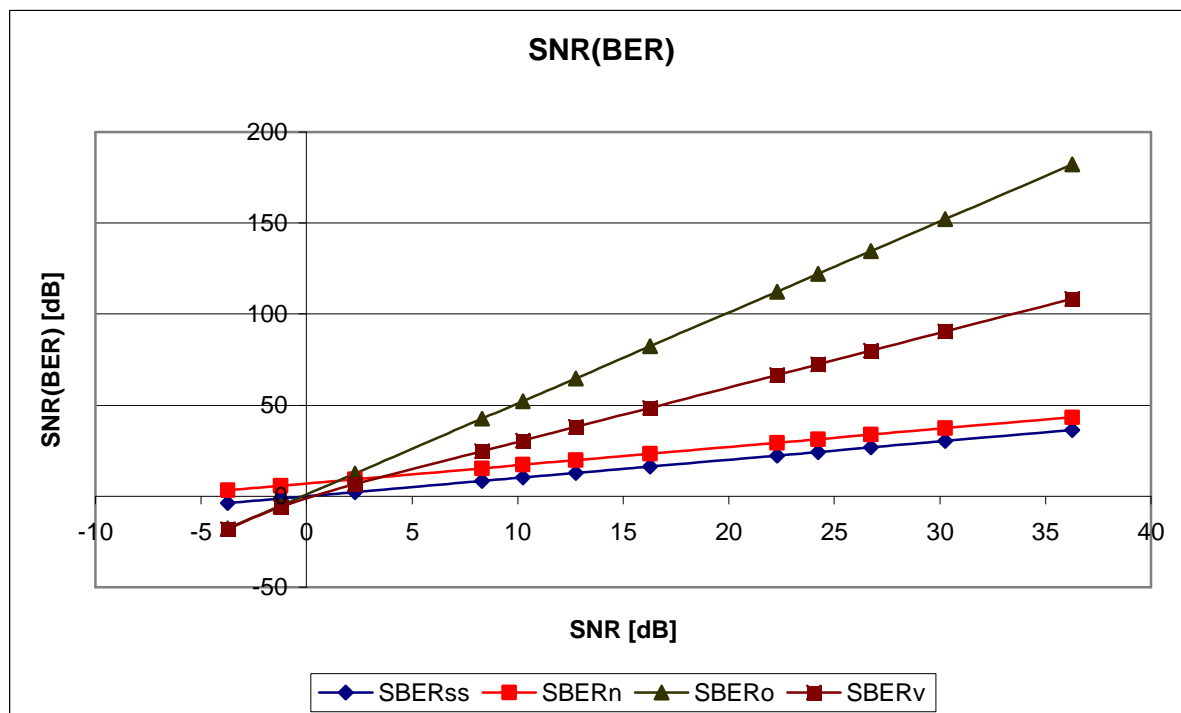
$$SNR_{BER}[dB] = \frac{2BR[bps] * \ln(BER)}{B[Hz]} \quad (3.7)$$

Na rysunku nr 3, zgodnie z przewidywaniem, odległość pomiędzy SBERss a SBERn wynosi 7 dB, a więc tyle ile wynosi różnica w zysku sekcji pięciu anten względem pojedynczej anteny. Różnica pomiędzy BERn a BERv jest zmienna i dla odległości 300km wynosi nawet 60 dB. Oznacza to, że aby uzyskać podobny wynik za pomocą pojedynczej stacji, musieli byśmy zastosować antenę o zysku 66dB.

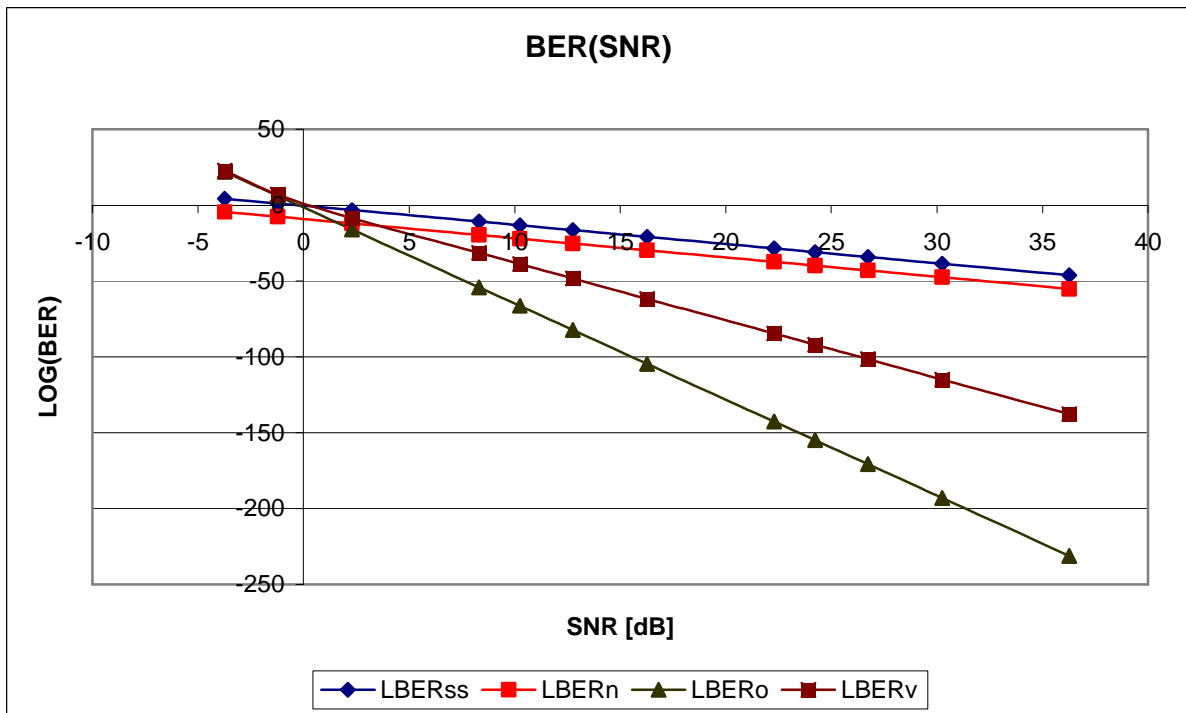
Oczywiście wraz z rosnącą odległością różnica pomiędzy tymi wartościami maleje i dla odległości większej niż 1500 km lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie anteny o większym zysku niż systemu porównywania pakietów. Jest to spowodowane tym, że system odbioru równoległego ma mniejszą czułość, to znaczy, że żeby prawidłowo działał potrzebuje silniejszego sygnału na wejściu pojedynczych stacji (Rysunek 4, 5). Granicą skuteczności zaproponowanej konfiguracji (pięć stacji z antenami 6dB) jest SNR=4dB na wejściu pojedynczej stacji.



Rys 3. SNR obliczony na podstawie współczynnika BER.



Rys 4. Porównanie różnic w teoretycznym bilansie łącza w zależności od SNR bilansie pojedynczej stacji odbiorczej.



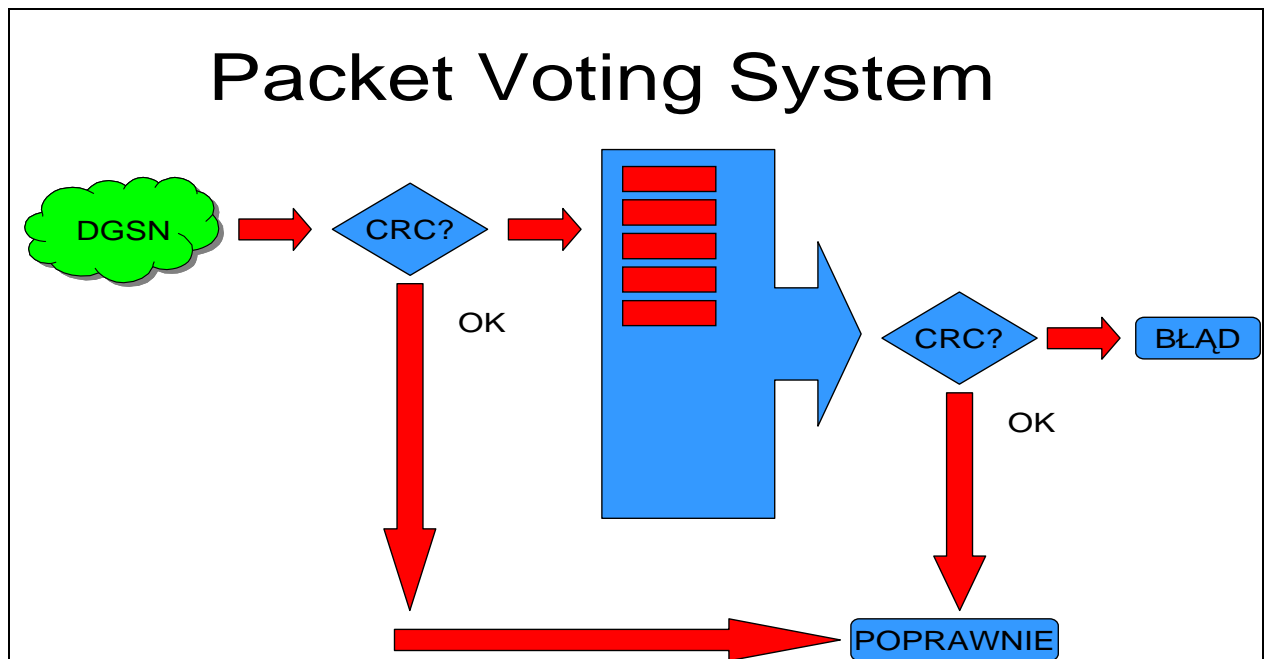
Rys 5. BER w zależności od SNR w bilansie łącza pojedynczej stacji.

#### 4. System porównywanie pakietów (Packet Voiting System)

Przykładem realizacji rozproszonego odbioru jest system porównywania pakietów (Rysunek 7). Do systemu przesyłane są strumienie odbieranych danych z pojedynczych stacji naziemnych. Najpierw sprawdzane jest, czy któryś ze strumieni jest prawidłowy (np. za pomocą przesyłanej w strumieniu sumy kontrolnej). Jeśli nie można znaleźć bezbłędnego strumienia danych, otrzymane wyniki przesyłane są do systemu porównywania bitowego (Rysunek 6). W systemie tym dane w postaci pojedynczych bitów, otrzymane z różnych źródeł, niejako głosują wynik pomiędzy sobą. Jeśli w większości odebrano bit 0 na wyjściu systemu otrzymujemy 0. Jeśli w danych źródłowych większość stanowi bit 1, na wyjściu otrzymujemy 1. W strumieniu wyjściowym ponownie sprawdzana jest suma kontrolna. Jeśli nadal nie jest ona prawidłowa, system przekazuje informacje o błędnym odbiorze. Jeśli jednak suma się zgadza, oznacza to, że system zamaskował błędy w odbiorze i dane przekazywane są do systemu docelowego.

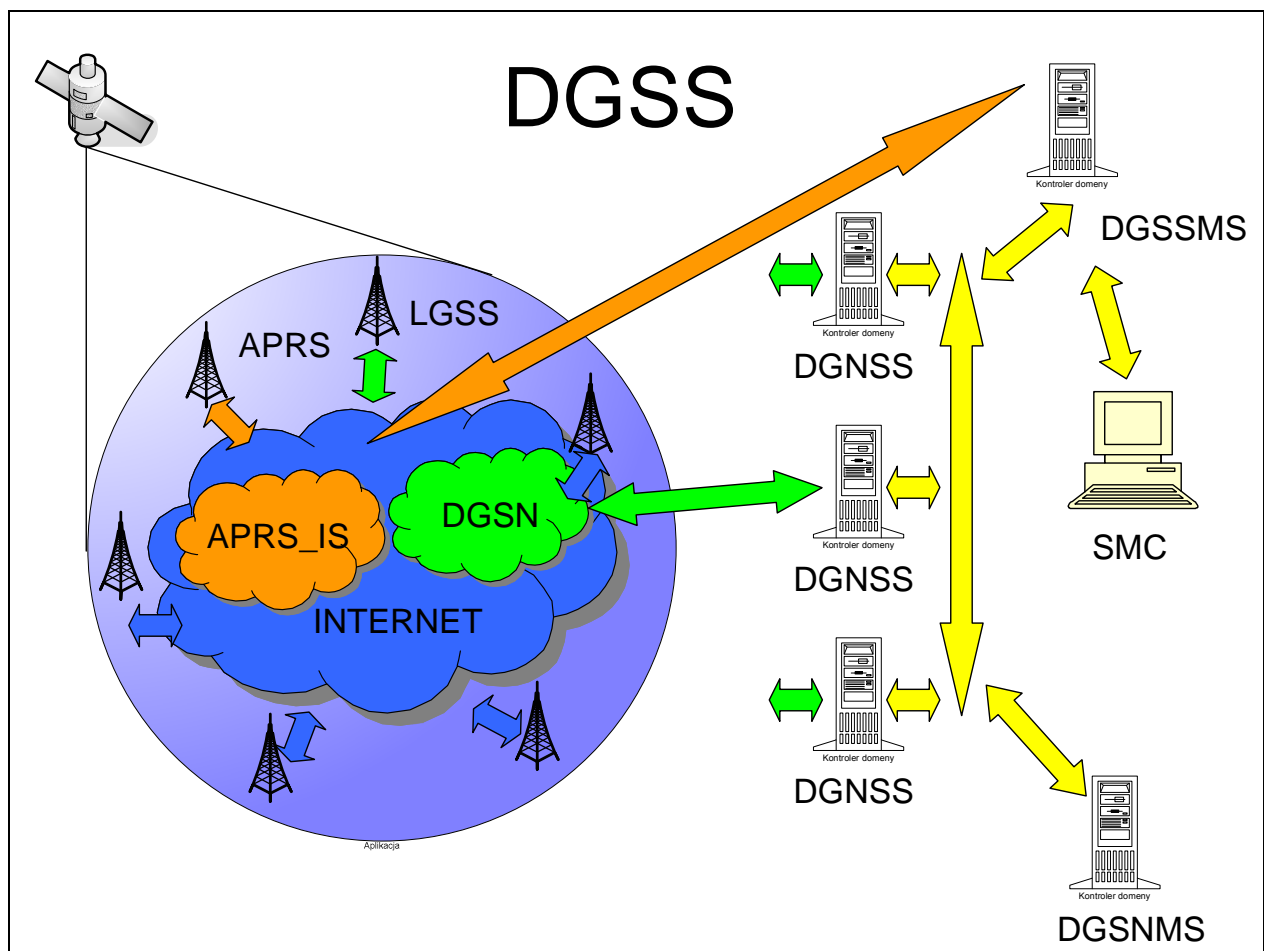
<i>Pakiety źródłowe</i>	011010010 100101010 100100110 100110101 010100010
<i>Pakiet wynikowy</i>	100100010

Rysunek 6. System głosowania bitowego.



Rys 7. System porównywania pakietów.

## 5. System rozproszonej stacji naziemnej



Rys 8. System rozproszonej stacji naziemnej.

Przykładem zastosowanie systemu porównywania pakietów jest Rozproszona Stacja Naziemna [6, 7] (Distributed Ground Station System). System zakłada wykorzystanie wielu stacji rozmieszczonych na całym świecie połączonych za pomocą sieci Internet (Rysunek 8). Pojedyncze stacje przesyłają dane do serwerów z systemem porównującym pakiety, zarządzającym telemetrią oraz telekomendami dla danego satelity. Autor proponuje, aby do takiej sieci podłączać nie tylko typowe stacje przewidziane do łączności satelitarnych, należące np. do różnych uniwersytetów, ale także stacje radioamatorów, którzy dysponują pokaźną ilością stacji odbiorczych liczoną w dziesiątkach tysięcy.

## 6. Podsumowanie

Autor przedstawił nową propozycję realizacji łącza satelitarnego przy wykorzystaniu rozproszonego systemu odbioru. Przedstawił obliczenia pokazujące, kiedy taki system jest lepszy od systemu wykorzystującego taką samą liczbę anten, ale połączonych w szereg antenowy, który jest podłączony do jednej stacji odbiorczej. Wykazał, że system rozproszony pozwala na obniżenie stopy błędów podczas komunikacji z satelitami niskoorbitalnymi (LEO) oraz kiedy to rozwiązanie jest gorsze od standardowej pojedynczej stacji naziemnej. Aktualnie na terenie Politechniki Warszawskiej trwają prace nad praktycznym sprawdzeniem modelu matematycznego systemu. Realizowane są badania laboratoryjne oraz misje balonowe. System Rozproszonej Stacji Naziemnej jest także jednym z eksperymentów na satelicie PW-Sat [5], który budowany jest przez studentów Politechniki Warszawskiej.

## LITERATURA

- [1] <http://www.amsat.org>, Strona WWW AMSAT
- [2] Michale O. Kolawole, Satellite Communication Engineering, Marcel Dekker, Inc., New York 2002
- [3] Daniel Józef Bem, Telewizja satelitarna, Wydawnictwo Czasopism i Książek Technicznych SIGMA NOT, Spółka z o.o., Warszawa 1992
- [4] Zdzisław Bieńkowski, Poradnik Ultrakrótkofalowa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1988
- [5] Grzegorz Niemirowski, Cubesat microsatellite with balloon, 56<sup>th</sup> International Astronautical Congress in Fukuoka, Październik 2005
- [6] M. Stolarski, W. Winiecki, Building Distributed Ground Station With Radio Amateurs, Materiały konferencyjne z Space Technology Workshop STW 2006, Kraków, 23 Maj 2006, Polska, str. 49-54
- [7] M. Stolarski, The Use of Distributed Ground Station System for very low power communication, Materiały konferencyjne CD-ROM z The 1st International Workshop on Ground Station Network Tokyo 2006, 18-19 Lipca 2006, Japonia