

小エリア環境観測システムの観測ノードの設置条件に関する検討 To study on the Installing Conditions of Observable Node for Environmental Observable System of Narrow Area

盛裕之[†] 吉田将司[†]
Hiroyuki Mori Masashi Yoshida

1. はじめに

無線センサネットワークは、複数地点の情報をリアルタイムに収集できるという特徴があり、様々な分野に応用されている。例えば、農作物の生育環境の監視や都市環境のモニタリング、道路や鉄道の交通情報収集、自然環境の観測などで活用されている[1]。本研究室で実施している海洋環境観測にも無線センサネットワークを用いたシステムを運用している。しかし過去の実験では、データ通信の受信率低下の問題が発生した。問題の要因の一つとして、観測ノード間の通信における受信環境の不安定さに着目した。

本稿では、陸上で無線センサネットワークを構築し、見通し通信での受信電力の測定結果と理論値を複数の伝搬モデルで比較し、観測ノードの適切な設置条件について検討した。

2. 観測システムの概要

無線センサネットワークを用いた海洋観測システムには、電源供給やコストの面で実用性に課題がある。そのため、本研究室の観測システムは、スリープ機能を用いることで省電力化を実現させて長期的な小エリア内の自然環境を立体的かつ実時間的にデータを収集することを可能とした。またシステムを低コストで構築することを目標としており、2009年より富山高専の千葉研究室と共同で開発を行ってきた[2]。本研究室の観測システムの概要を図1に示す。陸上に基地局を設置して、対象エリアにメッシュ型センサネットワークを構築することで、各観測ノードから環境情報を基地局へ送信する。システムの仕様は、観測範囲が基地局のアンテナ高さを8.3mにした際に最長で約700m、観測ノードはスリープ間隔を10秒にすることで約1週間の連続使用を実現している。観測ノードには2種類あり、一つはブイに取り付けて海上で水深ごとの水温と塩分濃度を観測するものと陸上で気温を観測するものがある。今までの富山湾での観測実験では短期的ではあるが、本研究室のシステムと千葉研究室のADCP(Acoustic Doppler Current Profiler: 超音波ドップラー多層流向流速計)を合わせることで沿岸湧昇といった自然現象を観測することが可能となった。

しかし現状のシステムの問題点として、データ通信における基地局での受信率の低下が挙げられる。原因として、スリープ機能の導入や通信モジュールの劣化などが考えられた。各原因を成功時と失敗時で比較して表1に示す。通信モジュールの劣化を検証したところ受信電力が5~10dBほど低下していることが確認できた[3]。しかし表1より、2012年3月、9月はスリープありにも関わらず成功と失敗に分かれたため、原因との関係性は薄いと考えられる。また長期運用を目指すことからスリープ機能をなくすことはできない。そのため、他の改善点として、観測ノード間のフ

レネルゾーンが遮蔽されることによる受信電力の減衰に着目した。

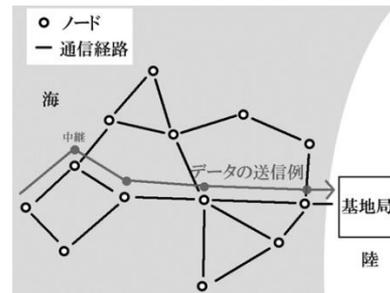


図1 観測システムの概要

表1 データ通信成功時と失敗時の条件

年月	成功	スリープ	備考
2011/9	○	なし	
2012/3	○	あり	
2012/9	×	あり	通信モジュールの劣化を確認
2013/3	×	あり	新品への移行→失敗
2013/9	×	あり	基地局の変更

3. 陸上の通信実験

3.1 実験内容

本実験の目的は、通信経路間のフレネルゾーンにおいて遮蔽物が受信電力に与える影響を定量的に調べることである。

フレネルゾーンとは、送信機から放射された電波が電力損失なく受信機に到達するのに必要な空間のことである。図2のように、最短距離を中心に回転楕円形となっており、この円の半径であるフレネル半径 r は式1で求められる。

$$r = \sqrt{\lambda \frac{d_1 \times d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1)$$

フレネルゾーンの中心点 x における放射断面積 S はフレネル半径 r を用いて求められ、図2に示すように遮蔽物がある面積 S_c だけ受信電力は減衰する。

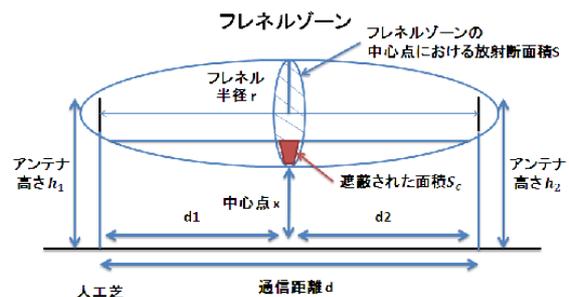


図2 フレネルゾーンの概要

実験条件として、実験場所はサレジオ高専内の人工芝グラウンド上、天候は晴れ、実験に使用した通信モジュールは XBee-Pro Series1、送受信電力 $P_t = -10\text{dBm}$ 、波長 $\lambda = 0.125\text{m}$ 、送信側と受信側のアンテナ利得 G_t 、 G_r はそれぞれ 2.14dBi 、環境損失 $Le = 0\text{dB}$ とした。遮蔽物の影響を確認するために、送信と受信両方のアンテナ高さを等しくした。フレネルゾーンが確保されていないアンテナ高さを $h_A = 0.1\text{m}$ 、確保されているアンテナ高さを $h_B = 1.5\text{m}$ の 2 パターン、通信距離 d を $1\sim 10\text{m}$ で 1m ずつ離して各受信電力(実測値) P を測定した。自由空間での受信電力 $P_{rf}[\text{dBm}]$ を式 2 で、2 波での受信電力 $P_{rt}[\text{dBm}]$ を式 3 で理論値を求めた。

$$P_{rf} = G_t + G_r + P_t - 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (2)$$

$$P_{rt} = 10 \log_{10} \left(\frac{E^2 \times \lambda^2 \times G_r}{480 \times \pi^2} \right) \quad (3)$$

但し、式 3 の電界強度 $E [\text{V/m}]$ は式 4 で、式 4 の経路差 $l [\text{m}]$ は式 5 で求めた。

$$E = \left(\frac{2 \times \left(\frac{\sqrt{30P_t G_t}}{d} \right) \left| \sin \left(\frac{\pi l}{\lambda} \right) \right|}{Le} \right)^2 \quad (4)$$

$$l = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2} - \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} \quad (5)$$

本実験では、面積 S と S_c の比と受信電力 P と P_{rf} 、 P_{rt} の差(以下、受信電力差)を比較した。

3.2 結果

アンテナ高さ h_B で通信距離 $d=1\sim 10\text{m}$ の中で $d_A=3\text{m}$ と $d_B=6\text{m}$ を任意に選択して測定した。表 2 より、 P_{rt} の減衰量は $d_A\sim d_B$ 間で 6dB 、 h_A の P_{rt} の減衰量は $d_A\sim d_B$ 間で 12dB であった。 h_A の実測値 P の減衰量は 12dB であるため、伝播モデルは 2 波モデルであるといえる。また、 h_B の $d_A\sim d_B$ 間で理論値が 7dB ほど増加、実測値 P で 7dB ほど減衰であった。 h_B の実測値 P は P_{rf} の減衰量 6.6dB に近似しているため自由空間伝搬であるといえる。

表 2 測定実験の受信電力

距離 $d[\text{m}]$	理論値 $[\text{dBm}]$		実測値 $[\text{dBm}]$		
	自由 P_{rf}	2 波 P_{rt}	$h_A:0.1$	$h_B:1.5$	
$d_A:3$	-55.31	-62.53	-60.96	-80.75	-63.73
$d_B:6$	-61.33	-74.53	-54.16	-92.05	-70.38

表 3 h_A の受信電力差と放射断面積の関係

通信距離 $[\text{m}]$	面積比	受信電力差 $[\text{dBm}]$
1	0.160	21.29
2	0.252	20.68
3	0.295	18.22
4	0.322	17.19
5	0.340	17.38
6	0.354	17.51
7	0.364	17.09
8	0.373	18.01
9	0.380	16.46
10	0.386	12.68

表 3 に h_A の受信電力差と放射断面積の対比 S_c/S を示す。表 3 に示すように、面積比が小さいほど受信電力差が大きくなるため、減衰量の関係には面積比以外の要因も考えられる。これらの結果より、フレネルゾーン間の遮蔽物と受信電力の減衰量との関係性が確認できた。

4. 富山湾での実験環境検証

3.2 より、伝搬環境が受信電力に大きく影響することがわかった。そのため、図 3 の 2012 年 3 月と 9 月の観測ノードの位置関係から遮蔽物による測定環境への影響を考察した。

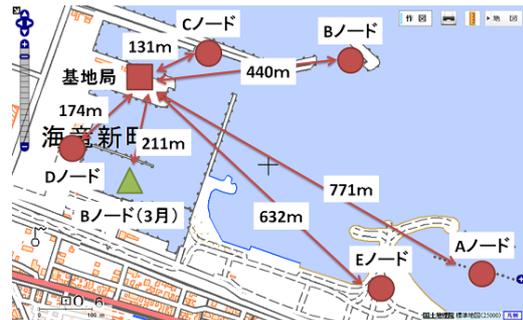


図 3 観測ノードの位置関係

3 月の場合、基地局から各観測ノードが直接視認できており、各観測ノードの受信率は A ノードが 9.2% 、B ノードが 72.8% 、C ノードが 69.2% 、D ノードが 98.1% 、E ノードが 20.3% であった[2]。この際、通信距離が B ノードより C ノードの方が近いが、受信率は C ノードの方が低い。これは C ノードが岸壁により遮蔽と 2 波モデルにおける Null 点であったためと考えられる。また 9 月のとき、D ノード以外からのデータを受信できなかった。これは、通信モジュールの劣化とフレネルゾーン間を遮蔽される影響により、通信モジュールの受信感度を下回ったと考えられる。

5. まとめ

フレネルゾーンを考慮しないことで受信電力は約 18dB の減衰されることから観測ノード配置による影響を確認できた。今後は、観測ノードの配置をフレネル半径 r が確保されていれば自由空間、確保されていなければ 2 波モデルの伝搬として考慮する必要がある。

参考文献

- [1] 豊田 進, 川崎 大輔, 保木本 武宏, 大熊 孝裕, 岡山 高明, 新井 正伸, “無線センサネットワークシステムの開発と環境モニタリングへの応用展開”, NEC 技報, Vol. 57, No. 1 (2004).
- [2] 吉田 将司, 千葉元 “沿岸センサネットワークを利用した水温観測システム”, サレジオ高専研究紀要 41 号 2013.
- [3] 盛 裕之, “沿岸センサネットワークにおける受信率低下の要因に関する一検討”, サレジオ高専卒業研究論文 2013-3