水産業における情報技術の活用について－IV. －マリンブロードバンドの構築と評価－

和田 雅昭*・畑中 勝守**

Applying an Information Technology in Fishing Industry-IV. -Construction and Evaluation of Marine Broadband Framework-

Masaaki WADA and Katsumori HATANAKA

Abstract

In the series of our research works, the authors have been working on the support of fishing industry by using information and communication technologies. In this paper, we report on a wireless network namely “Marine Broadband Framework” constructed aiming at the improvement of an intelligent productivity and safety in the coastal region. Marine broadband framework is a wireless network of which the transmission rate is considerably as much as ADSL and it can be successfully applied to small fishing vessels operating in the coastal regions.

The construction of marine broadband framework by using wireless LAN system of the IEEE802.11j standard, and the experiment of coverage in the Wakkanai coast had been carried out. In this experiment, we confirmed the marine broadband framework can be used within the range of about 14km from the base station that had installed on the coastline. Moreover, the operation of marine broadband framework intended for a small fishing vessel has begun in the Rumoi coast since July, 2008. In the range of about 3km, the actual throughput of 10Mbps and more is recorded. Experimental results show that a wireless network is applicable in the coastal region effectively as much as ADSL.

Keywords : *Wireless LAN, Small Fishing Vessels, Coastal Region, IEEE802.11j, Broadband*

キーワード: 無線 LAN, 小型漁船, 沿岸海域, IEEE802.11j, 広帯域通信回線

1. はじめに

本研究では情報通信技術を活用した水産業支援に取り組んでいる。本報では水産業における生産性の向上と安全性の向上を目的として構築した沿岸海域の無線ネットワーク“マリンブロードバンド”について報告する。提案するマリンブロードバンドとは、小型漁船が操業を行う沿岸海域において利用可能な ADSL 相当の通信速度を持つ無線ネットワークであり、インターネットへの常時接続を安価に実現することによって小型漁船における情報の利活用の推進を試みる。

マリンブロードバンドの構築は IEEE802.11j 規格のメッシュ型無線 LAN システムを用いて実現しており、これまでに北海道北部の稚内沿岸においてサービスエリアの検証実験を行った。その結果、海岸線に設置した基地局から半径約 14km の範囲内でマリンブロードバンドは利用可能であることを確認した。また、2008 年 7 月からは北海道西部の留萌沿岸において操業中の小型漁船を対象としたマリンブロードバンドの運用を開始しており、基地局から半径約 3km の範囲内では 10Mbps 以上の実効スループットが得られることを確認している。

* 正会員 公立はこだて未来大学 (〒041-8655 函館市亀田中野町 116-2) wada@fun.ac.jp

** 正会員 東京農業大学 k3hatana@nodai.ac.jp

このことから、マリンプロードバンドを活用することによって、洋上において最新の海底地形図のダウンロードや天気図の閲覧が可能となり、小型漁船における情報の利活用が促進するものと期待される。

2. マリンプロードバンド

2.1 マリンプロードバンドの概要

これまでの研究⁽¹⁾の結果、IEEE802.11b 規格の無線 LAN システムを用いた場合には、基地局から半径約 5km の範囲内で無線ネットワークが利用可能であることを確認している。また、大島商船高等専門学校で取り組みを行っている同規格の無線 LAN システムを用いた研究⁽²⁾においても、最大通信距離は約 5km であると報告されている。一方、提案するマリンプロードバンドでは小型漁船の主な操業海域となる海岸線から約 20km の範囲をサービスエリアとすることを目標としている。また、テキストなどの小容量情報だけではなく、例えば、天気図や海図などの大容量情報を転送することを想定していることから、1Mbps 以上の実効スループットが必要となる。そこで、高速大容量かつ長距離通信が可能な IEEE802.11j 規格の無線 LAN システムを選定した。

2.2 IEEE802.11j 規格の無線 LAN システム

IEEE802.11j 規格は 2004 年 11 月に策定された比較的新しい規格であり、国内では 4.9GHz 帯、および、5.0GHz 帯に合計 7ch の周波数が割り当てられている。また、IEEE802.11g などの既存の規格に比べ空中線電力が 125mW と大きいことから屋外での長距離通信が可能である。本報ではマリンプロードバンドを構築する無線 LAN システムとして OWS2400 (Strix Systems Inc.) を選定した。OWS2400 は災害時における無線ネットワーク⁽³⁾や条件不利地域におけるブロードバンド化促進⁽⁴⁾などの用途に利用されており、国内では最も普及している IEEE802.11j 規格の無線 LAN システムである。OWS2400 の仕様を Table 1 に示す。

Table 1 Specifications of OWS2400

Wireless Standards	IEEE802.11j/g
Wireless Medium	OFDM
Frequency Bands	4.9GHz/5.0GHz band
Transmit Power	125mW max. (Half power)
Data Rates	54Mbps
RSSI Threshold	-95dBm
Physical	30cm×25cm×15cm
Weight	6.58kg

Fig. 1 Base station on Hokkaido Wakkanai FES

Fig. 2 Mobile station on Hokuyo-maru

3. 実験

3.1 サービスエリアの検証

3.1.1 実験の概要

2008 年 6 月 30 日、北海道北部の稚内沿岸においてサービスエリアの検証を目的として受信強度と実効スループットの計測実験を行った。

基地局は北海道立稚内水産試験場の屋上に (Fig.1)、移動局は北海道立稚内水産試験場の試験調査船北洋丸 (237ton) の右舷に (Fig.2) 設置した。基地局のアンテナ高さは海水面から約 16m、移動局のアンテナ高さは海水面から約 10m である。

3.1.2 アンテナの選定

OWS2400 は 1 種類のパッチ型平面アンテナ、および、2 種類のコリニア型アンテナの 3 種類のアンテナを選択、または、組み合わせて利用することができる。OWS2400 は最大 3 枚の独立した無線モジュールを内蔵できることから、基地局の OWS2400 には 2 枚の無線モジュールを内蔵させ、利得の高い 2 枚のパッチ型平面アンテナ (AT719) をそれぞれ真北と北西に向けて設置することにより実験海域が半値角範囲内となるよう設定している。

一方、移動局には無指向性のアンテナが必要とな

ることから、2本の準耐振動仕様のコリニア型アンテナ(AT750)を選定し、基地局と同様にOWS2400には2枚の無線モジュールを内蔵することによりダイバシティ構成とした。なお、2007年に北海道西部の留萌沿岸で行った予備実験⁽⁵⁾により、高利得のコリニア型アンテナ(AT724)はE面半値角が小さいことから、船体動揺の影響により安定した通信が行えないことを確認している。Table 2(a)(b)(c)にAT719、AT750、およびAT724の仕様を示す。

3.1.3 実験の方法

予備実験の結果から、最大通信距離は基地局から10kmから20kmの範囲内となることが予想される。そこで、稚内沿岸に南北方向に長さ3,000mから10,000mの測線を1,000m間隔で11本設定し、この測線に沿って北洋丸を航行させることで、連続的に受信強度と実効スループットの計測を行った。受信強度はOWS2400にtelnetでログインすることにより取得することができ、テキストファイルとして保存している。一方、実効スループットはOWS2400では計測できないことから、基地局、および、移動局のOWS2400の有線ネットワークにノートパソコンを接続し、FTP転送を用いた実効スループット計測ツールにより計測した。なお、いずれの計測データにもタイムスタンプが付与されており、移動局に設置したMSAS対応のDGPSのログデータからタイムスタンプを用いて計測データに位置情報を追加している。

Table 2(a) Specifications of AT719

Element Phasing	Flat Panel Array
Bands	4,900 – 5,000MHz
Gain	9.5dBi
-3dBm Angle	E-plane:40°, H-plane:70°

Table 2(b) Specifications of AT750

Element Phasing	3 Element Fiberglass Omni
Bands	4,900 – 5,000MHz
Gain	4.0dBi
-3dBm Angle	E-plane:40°

Table 2(c) Specifications of AT724

Element Phasing	8 Element Fiberglass Omni
Bands	4,900 – 5,000MHz
Gain	7.5dBi
-3dBm Angle	E-plane:7°

3.1.4 実験の結果

Fig.3に測線、ならびに、北洋丸の航跡を示す。破線は基地局を中心とした半径2km毎の同心円であり、座標は平面直角座標系における12系を用いている。実験時における北洋丸の船速は約9knotであり、延べ10本の測線の航行に約6時間を要した。なお、東側の測線には定置網などの漁業施設が重なっていたことから西側の測線のみを用いている。

Fig.4に受信強度の計測結果を示す。ここで、横軸は基地局からの距離を表しておりGPSの座標を用いて算出している。0から5kmの範囲ではグラフはノコギリ状の波形を示しており、5から10kmの範囲では計測値は-80から-90dBmの範囲にバラついている。そして、10kmを超えると-90dBm以下の計測値の頻度が大きくなっている。OWS2400は受信強度が-95dBmを下回ると通信が行えないことから、基地局から半径約14kmの範囲がサービスエリアとなることを確認した。

また、Fig.5に実効スループットの計測結果を示す。FTP転送に用いたファイルサイズは10MByteとした。これは、財団法人日本水路協会が発行する海底地形デジタルデータ⁽⁶⁾の1海域あたりのアスキーファイルを圧縮したファイルサイズに相当し、10Mbpsの実効スループットの場合には転送に約8秒、1Mbpsの実効スループットの場合には約80秒を要する。実験当日の海域は平穏であったにもかかわらず、基地局と移動局の位置関係、変針にともなう見通し条件の変化などの影響により計測結果には大きなバラツキが生じている。全計測値による平均実効スループットは4.3Mbpsであった。

Fig. 3 Trace line and wake of Hokuyo-maru

Fig. 4 Rx signal strength measurement result

Fig. 5 Actual throughput measurement result

Fig. 6 Base station on Uminofurusato-kan

Fig. 7 Mobile station on No.27 Tokuryo-maru

3.2 マリンブロードバンドの運用

3.2.1 実験の概要

2008 年 7 月 16 日、北海道西部の留萌沿岸に基地局を設置し、マリンブロードバンドの運用を開始した。基地局は海岸線の高台に立地する留萌市海のふるさと館に設置し、OWS2400 には 3 枚の無線モジュールを内蔵することにより 3 枚のパッチ型平面アンテナを用いて海域が半値角範囲内となるよう設定している。また、基地局には固定 IP を付した ADSL 回線を敷設し、VPN を用いて公立はこだて未来大学、および、東京農業大学と接続している。Fig.6 に基地局の設置状況を示す。

一方、移動局は新星マリン漁業協同組合所属のナマコ桁曳き網漁船第 27 徳漁丸 (4.9ton) に搭載した。第 27 徳漁丸には 1 枚の無線モジュールを内蔵した OWS2400 と 1 本の準耐振動仕様のコリニア型アンテナを設置している (Fig.7)。新星マリン漁業協同組合では毎年 6 月 15 日から 8 月 31 日までをナマコ桁曳き網漁の漁期としており、操業時における受信強度の計測と実効スループットの計測を実施した。なお、基地局のアンテナ高さは海水面から約 29m、移動局のアンテナ高さは海面から約 3.8m である。

3.2.2 自動計測システムの構築

受信強度、および、実効スループットの計測を効率的に実施するため、自動計測システムを構築した。基地局には PC Linux サーバを設置し、PostgreSQL を用いて構築したデータベースに PHP により記述したプログラムを用いて OWS2400 に telnet でログインすることにより受信強度を取得しタイムスタンプを付与して記録している。一方、実効スループットを計測するため、移動局には OWS2400 の有線ネットワークにディスクレスの組込み Linux サーバを設置し FTP サーバを起動している。そして、PC Linux サーバから同様に PHP により記述したプログラムを用いて組込み Linux サーバに FTP で接続し GET コマンドでファイルを取得することによって実効スループットを計測しタイムスタンプを付与して記録する。計測に用いたファイルサイズは稚内実験と同様に 10MByte としており、1Mbps の実効スループットの場合には転送に約 80 秒を要することからデータの計測間隔は約 2 分間としている。

なお、第 27 徳漁丸には GPS の位置情報と魚群探知機の深度情報を記録するデータロガー⁽⁷⁾を設置しており、ログデータからタイムスタンプを用いてデータベースに位置情報を追加している。

Fig. 8 Contour map of Rx signal strength

Fig. 9 Contour map of Actual throughput

3.2.3 実験の結果

平成 20 年 7 月 16 日から平成 20 年 8 月 11 日までの期間にナマコ桁曳き網漁に出漁した 17 日間のデータ、2,809 点を用いて受信強度、ならびに、実効スループットの解析を行った。Fig.8 は受信強度をコンタ図に示したものである。破線は基地局を中心とした半径 1km 毎の同心円であり、座標は平面直角座標系における 12 系を用いている。留萌沿岸におけるナマコ桁曳き網漁場は海岸線から数 km の範囲であり、ナマコ桁曳き網漁場の広い範囲で -80dBm 以上の強い受信強度が計測された。一方、基地局から 2km 付近において受信強度の低下が生じていることが確認された。

Fig.9 は実効スループットをコンタ図で示したものである。ナマコ桁曳き網漁場の広い範囲で 10Mbps 以上の実効スループットが計測された。一方、受信強度と同様の分布傾向を示しており、基地局から 2km 付近ではスループットが 4Mbps 程度にまで低下していることがわかる。

なお、第 27 徳漁丸の作業時における船速は約 2knot、航行時における船速は約 10knot であった。

4. 考察

Fig.8 に示す留萌実験における受信強度のコンタ図からは 2km の同心円の内側に沿って明らかに受信強度が落ち込んでいる現象が確認された。さらに、基地局から 1.2km 付近においても受信強度の落ち込みが生じていることが、また、3.5 から 4km の範囲ではデータが欠損していることが確認できる。

留萌実験における計測条件 (Table 3)を用いて自由空間電波伝搬損失計算式⁽⁸⁾⁽⁹⁾により算出した受信強度の理論値と海面反射を考慮したハイトパターンの理論値を Fig.10 に示す。自由空間電波伝搬損失計算式の理論値では基地局からの距離が大きくなるに従い受信強度が減少する。一方、ハイトパターンの理論値では基地局から 1.2km、1.8km、3.6km 付近において受信強度が低下しており、これは留萌実験の結果と合致している。このことから海面反射波によるフェージングが生じていることが確認できた。

Fig.11 は留萌実験における受信強度の計測値から 50m ステップのデータ区間で平均値を求め、ハイトパターンの理論値と比較したものである。ハイトパターンの理論値では海面は完全導体で反射損失がないものとして扱っていること、また、環境損失を考慮していないことなどの理由により計測値は理論値に比べ小さい値となっている。しかしながら、海面反射波によるフェージングの影響による受信強度の変動は、両者が同じ傾向を示している。

海表面は波やうねりの影響により動的に複雑な形状を示すことから、また、船体動揺の影響などにより計測値から特徴的な傾向を見出すことは難しいと考えられた。しかしながら、ナマコ桁曳き網漁は海況の安定している夏季に行われていること、桁を曳航するという漁法から強風などの荒天時には出漁を見合わせていることから比較的条件の良い計測環境となり、良好な結果が得られた。

Table 3 Conditions of Rumoi experiment

λ	Wave length	$1/(4,940 \times 10^6) = 0.061\text{m}$
P_t	Tx power	125mW=21.0dBm
G_t	Tx gain	4.0dBi
h_t	Tx height	3.8m
G_r	Rx gain	9.5dBi
h_r	Rx height	29.0m

Fig. 10 Theory value of Rx signal strength

Fig. 11 Rx signal strength of Rumoi Experiment

同様に、稚内実験におけるパラメータを用いたハイパターンの理論値では、基地局から 1.9km、2.3km、5.1km 付近において受信強度が低下することから、Fig.4 に示す稚内実験における受信強度のグラフに見られる基地局から 0 から 5km の範囲にあるノコギリ状の波形についても海面反射波によるフェージングの影響であることが確認できた。なお、海面反射波によるフェージングの影響を回避するためには、基地局のアンテナをダイバシティ構成とし、海水面からのアンテナ高さが異なるように設置する方法が効果的であると考えられる。

稚内実験、ならびに、留萌実験の結果、IEEE802.11j 規格の無線 LAN システムを用いることにより沿岸海域に ADSL 相当の通信速度を持つ無線ネットワークが構築できることを示した。

5. おわりに

本報では、IEEE802.11j 規格の無線 LAN システムを用いてマリブロードバンドを構築し、基地局から半径約 14km の範囲内がサービスエリアであり、半径 3km 以内では 10Mbps 以上の実効スループットが、また、半径 10km 以上においても 1Mbps 以上の実効スループットが得られることを示した。なお、

サービスエリアの検証に関しては基地局から約 14.6km 以遠については実施していないことから、より大きな値となる可能性を残している。

マリブロードバンドの活用方法として、小型漁船に搭載されている各種計測機器を対象としたセンサネットワークシステムの構築があげられる。小型漁船は移動体であることから空間的に拡がりをもった情報の取得が可能であり、例えば、収集したデータから水産資源量マップや漁獲マップ、潮流マップ、水温マップ、海底地形マップを作成することができ、作成した各種マップはリアルタイムで小型漁船に配信することによって生産性の向上に役立てることができる。

現在、小型イカ釣り漁船の位置情報、燃料消費量、CO₂ 排出量、NO_x 排出量、気温、水温などをリアルタイムで陸上に転送し、モニタリングする船上統合システムの開発に取り組んでいる。このシステムでは、高速大容量というマリブロードバンドの特徴を活用し、計量魚群探知機の表示画面を陸上においてリアルタイムに再生する機能を実装する。船上統合システムの実験は、基地局を公立はこだて未来大学の屋上に、中継局を北海道大学水産学部の屋上に、移動局を函館市漁業協同組合所属の小型イカ釣り漁船演出丸 (19ton) に設置し、平成 21 年 1 月に函館沿岸において実施する計画である。

また、マリブロードバンドは小型漁船の運航管理や海中転落事故などの海難事故の早期発見、ならびに、海難救助支援など安全性の向上にも役立つものと期待される。

OWS2400 はメッシュ型無線 LAN システムであり、複数の独立した無線モジュールを内蔵できることからマルチホップの際にも帯域が低下しないという特徴を有している。今後は、125mW (Half power) に規制されている送信出力の 250mW (Full power) への引き上げと洋上におけるマルチホップの利用について実験試験局の申請を行い、目標とする海岸線から約 20km の範囲をサービスエリアとするマリブロードバンドの実現を目指す。

一方、海外では IEEE802.11g 規格の無線 LAN システムを用いることにより基地局から半径約 30km の範囲内において 1Mbps 以上の実効スループットが計測されたとの報告⁽¹⁰⁾がされており、技術的課題解決のほか、電波法の規制緩和などにも働きかけを行う必要があると考える。

謝辞

実験にご協力をいただきました北海道立稚内水産

試験場、米倉水産株式会社、留萌市役所、NEC ネットエスアイ株式会社北海道支店、Strix Systems Inc.の皆様に厚く御礼申し上げます。本研究は、総務省「戦略的情報通信研究開発推進制度地域情報通信技術振興型研究開発 (SCOPE-C)」、および、公立はこだて未来大学「戦略研究費」の支援により実施しています。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 和田雅昭・畑中勝守・木村暢夫・天下井清：水産業における情報技術の活用について-I. -三次元海底地形の取得と活用-，日本航海学会論文集，No.112，pp.189-198，2005.3
- (2) 浦上美佐子・松野浩嗣・岩崎寛希：海上無線 LAN を利用した小型船舶対象の安心ネットワークの構築，日本航海学会論文集，No.111，pp.173-180，2004.9
- (3) 関東総合通信局：首都圏直下地震発生時の帰宅困難者等の避難誘導に資するアドホック無線ネットワークの構築に関する調査検討会報告書，<http://www.kanto-bt.go.jp/stats/data/chosa/chosa18-2/index.html>，2007.3
- (4) 総務省沖縄総合通信事務所：条件不利地域におけるブロードバンド化促進のための調査研究会報告書～本島北部 3 村のブロードバンド化に向けて～，<http://www.okinawa-bt.soumu.go.jp/musentuuusin/kenkiyu.html>，2007.12
- (5) 和田雅昭・畑中勝守・戸田真志：沿岸漁業のためのマリンプロードバンドの構築，電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集，pp.608-611，2008.8
- (6) 財団法人日本水路協会：海底地形デジタルデータ，http://www.jha.jp/doc/variety/p02_09_kaitei.htm
- (7) 畑中勝守・和田雅昭・戸田真志：水産業における情報技術の活用について-III. -Wavelet 変換による高速ノイズ除去と海底地形図-，日本航海学会論文集，No.118，pp.55-63，2008.3
- (8) 株式会社サーキットデザイン：技術情報，<http://www.circuitdesign.jp/jp/technical/default.asp>
- (9) 高田潤一：電波伝搬の基礎理論，MWE 2005 Workshop Digest，8 pages in CD-ROM，2005.11
- (10) L. C. Bender III, N. L. Guinasso Jr., J. N. Walpert and S. D. Howden: Wave Height from a 3m Discus Buoy During Hurricane Katrina, Proceedings of OCEANS '08 MTS/IEEE Quebec, Buoy Technology, 7 pages in CD-ROM, 2008.9

質疑応答

丹羽康之（海上技術安全研究所）：

FTP 転送を用いた実効スループットの計測を行っていますが、ファイルサイズについて教えてください。

和田雅昭：

予備実験では 1MByte、10MByte、100MByte の 3 種類のファイルサイズを用いました。1MByte のファイルサイズの場合には計測結果が小さくなる傾向があります。反対に 100MByte のファイルサイズの場合には、実効スループットが 1Mbps であると仮定すると、転送に約 800 秒を要してしまいます。ことから計測位置の特定ができなくなってしまいます。そのため、10MByte のファイルサイズを選択しました。

丹羽康之（海上技術安全研究所）：

基地局には複数のパッチ型平面アンテナを設置していますが、複数のアンテナを同時に用いて計測しているのでしょうか。

和田雅昭：

OWS2400 には複数の独立した無線モジュールが内蔵されています。そのため、受信強度は全ての無線モジュールの計測結果を記録しています。一方、実効スループットは受信強度が最も高い無線モジュールが自動的に選択され計測結果を記録しています。

白井英夫（神戸大学大学院海事科学研究科）：

洋上でブロードバンド通信をする必要性を教えてください。

和田雅昭：

本研究で扱う情報はスタティックな情報とダイナミックな情報に分類することができます。前者には、海底地形や海底地質などが挙げられますが、このような情報の活用は漁港をサービスエリアとする無線 LAN システムを構築することにより実現できると考えます。一方、後者には資源量マップや潮流マップなどが挙げられますが、このような情報はリアルタイム性を必要とすることから洋上にブロードバンド環境を構築する必要があります。