

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11919

研究課題名（和文）海上における異種ネットワークの連携・併用による多重経路通信制御方式

研究課題名（英文）Heterogeneous network cooperation type multi-path communication control method at sea

研究代表者

大島 浩太（Ohshima, Kohta）

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：60451986

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：船舶の遠隔操船や自動運行等のシステム実現には高度なICT技術の利用が不可欠であり、陸上との安定かつ高速な通信が求められるケースがある。本研究は、陸に比較的近い海上でモバイルデータ通信が利用できる点と、陸上での利用に比べ通信品質が低下する点に着目し、海上で良好な通信品質を達成できる通信制御方式を研究した。研究は、(1)複数の無線通信方式を併用する多重経路通信に対して、海上における実際の通信環境計測(LTEバンド別性能調査)とその成果を踏まえた複数回線を同時利用する多重経路通信制御方式の開発と効果検証、(2)機械学習を用いた遠隔操船を想定した陸上への高精細映像伝送と低容量化方式の開発を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複数の通信回線をその通信特性や通信環境に応じて併用する技術は、現在主流の使われ方である接続が確立された回線から1本を主な通信経路として用いる場合と異なり、1本の回線では実現が難しい性能を環境に適応的に提供できる可能性を備えている。この技術を海洋開発分野における高度なICTシステムの通信基盤とすることで、これまでは無い新しい産業の創出が期待できる。無線通信は数年～10年周期で新しい規格が登場し置き換わっていく変化が急な技術であり、その通信特性も大きく変化する。複数回線の連携・併用技術はその時代で提供される無線通信の特性考慮により様々な技術開発が可能な将来性のある分野であると考えている。

研究成果の概要（英文）：Mobile phone network performance has been improving year-by-year, and attention is now being paid to the utilization of such devices at sea, which has not been extensively explored to date such as remotely vessel controlling and autonomous ship. Wireless communication technology is important for these systems, and it is known that available on the coastal waters, however communication at sea does not achieve sufficient performance compared to use on land.

In this research, we have developed a multi-path communication control method that can achieve good communication quality at sea. (1) Development of a multi-path communication control method that simultaneously uses multiple lines based on actual communication environment measurement at sea (performance survey by LTE band) and the results. (2) Development of high-definition video transmission and data volume reduction method assuming remote control using machine learning.

研究分野：通信制御

キーワード：多重経路通信 LTE IoT 映像伝搬

## 研究開始当初の背景

海洋工学分野では、大量の物資の安価な運搬や、海賊による船員の人命被害対策、水産資源量や生育状況に応じた効率的な漁業といった、高度な ICT 技術との連携により実現可能となる研究開発が世界的に注目されている。特に昨今では、船外からの操船指示により運用される遠隔操船、人の操船無しに自律的に航行する自動運航船、センサ技術を用いたスマート漁業等の研究開発が活発に進められている。これらの技術では、光学センサや環境センサからの情報収集と操船指示の伝搬のために通信は必要不可欠であり、また通信に求められる性能は安定性や大容量性、リアルタイム性など様々である。

従来の海事関連の通信は、人による操船を前提とした航海の安全に関わる情報の伝達が主目的であり、VHF 帯電波を用いたアナログ通信や、衛星通信が用いられている。通信内容と通信可能距離の観点から従来方式は現状の船舶運用には十分だが、低遅延性や通信容量の面で情報技術との連携による次世代技術の開発には不十分である。一方、VHF 帯電波よりも伝搬距離は短い、第 4 世代移動通信システム(4G)や IEEE802.11 規格無線 LAN は、低遅延性と通信容量の面で圧倒的に優れる。しかし海上では、接続可能な周囲の基地局数が地上での利用に比べて極めて少なく、さらに距離による電波減衰に起因する通信品質低下や変動といった、場所により大きく異なる通信品質面での課題を有している。

## 研究の目的

本研究は、前述の背景を受けて、海上で通信品質を確保可能な通信制御方式の開発と、実証実験による有効性の実証を目的とする。特に、接続が確立された回線のうち 1 本の回線を主に利用する従来の通信制御ではなく、複数の回線をそれぞれの通信品質を考慮しながら同時に利用することで従来にはない性能を実現するための多重経路通信制御方式の開発と、4K 映像のような LTE 回線 1 本では伝送が難しい大容量データの機械学習を用いたデータ容量削減技術を開発し、通信網の性能向上と伝搬されるデータの品質を維持しながらデータ容量を削減する方式の 2 つの面から、海上における高度な通信システム実現に寄与する技術について研究を行う。

## 研究の方法

本研究は、まず東京海洋大学の練習船の実際の航路上での LTE 通信環境計測を行う。LTE 通信環境計測は、LTE 通信モジュールを複数搭載し各モジュールが接続する LTE バンドを固定できる機能を備えた開発端末を用いて、基地局との信号強度と東京海洋大学のキャンパスネットワークに設置したサーバとの通信速度を計測することで、海上における LTE バンド別の通信特性情報を得る。次に、得られた結果を踏まえて、複数の通信インタフェースを備えた端末を用いて、それぞれの通信インタフェースをトラフィックシェーピングにより通信速度やパケットロス率に差異を与えた回線に接続するネットワーク環境を構築し、回線の役割を変えることでどのような効果が得られるかについて検証した。これらと並行して、実際の船舶の航海中に船橋から録画した高精細映像を用いて、遠隔操船を想定して操船者が必要と考えられる部分とそうでな

い部分を機械学習技術により判断し、重要度が低い部分の解像度を低下させることで、重要な部分の映像の品質は保持したままデータ容量を削減する方式の開発を行った。

## 研究成果

### (1) 東京湾・浦賀水道の LTE バンド別の通信環境調査

図 1 に、東京湾・浦賀水道上の航路で取得した通信速度情報の度数分布と統計情報を、図 2 に海域別の通信速度分布を示す。図から分かるように、同じ LTE バンドを用いている場合でも大幅な差異がみられる。通常の LTE 接続端末は LTE バンドは自動選択されるが、接続する LTE バンド次第では大容量データのリアルタイムな伝送が困難な場合もあることが分かる。

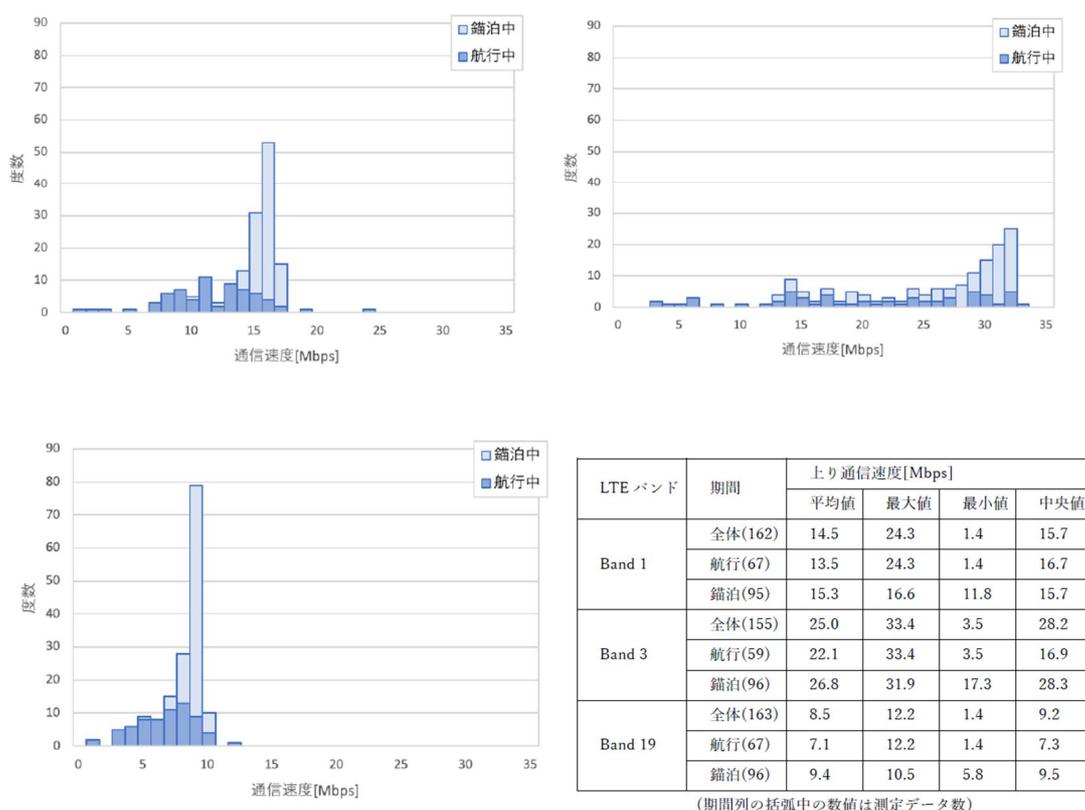


図 1 LTE バンド別の通信速度調査

(左上 : Band1(2.1GHz)、右上 : Band3(1.8GHz)、左下 : Band19(800MHz)、右下 : 統計情報)

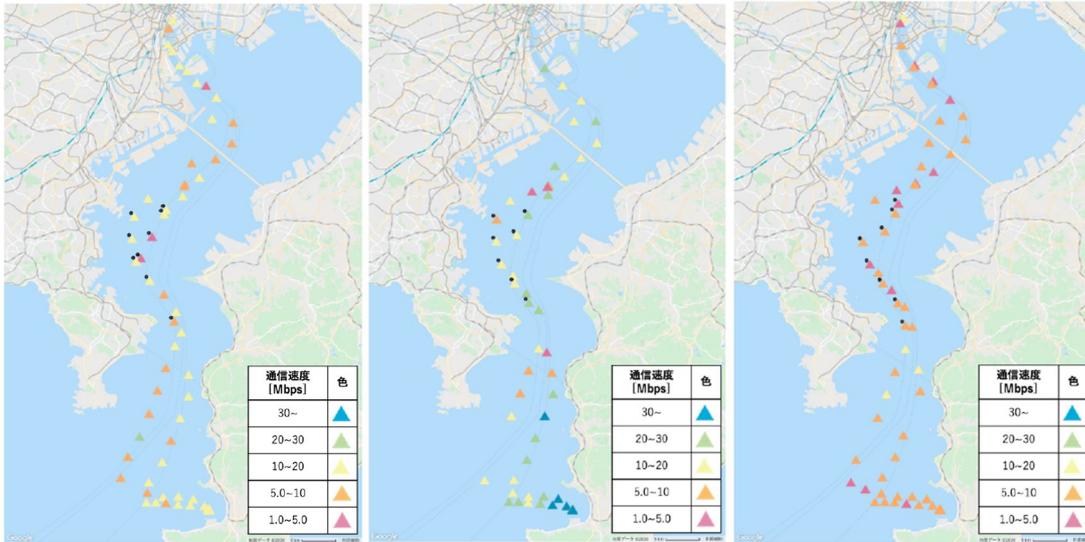


図2 通信速度分布(左 : Band1、中央 : Band3、右 : Band19)

(2) 異なる回線特性の無線接続を用いた多重経路通信の性能検証

通信経路の packet loss rate を変化できるネットワーク環境を構築し、VPN 通信の L3 プロトコルとしてよく用いられる UDP をベースに同時に複数の回線に対してデータ送受信を可能とする機能を実装した通信ソフトウェアを用いて回線品質の違いが多重経路通信に与える影響について検証した。ソフトウェアは、通常の 1 本の回線を用いる単経路の場合、2 つの経路を併用する場合、3 経路を併用する場合の 3 種類で検証した。本稿では、単経路と 3 経路について実験結果を示す(図 3)。実験では Wi-Fi の packet loss rate が平均 35% 程度の回線品質が悪い状況下において、packet loss rate を 0.1、0.5% に設定した他の経路を併用することで packet loss rate を抑制し、通信速度の向上効果が期待できることが分かった。

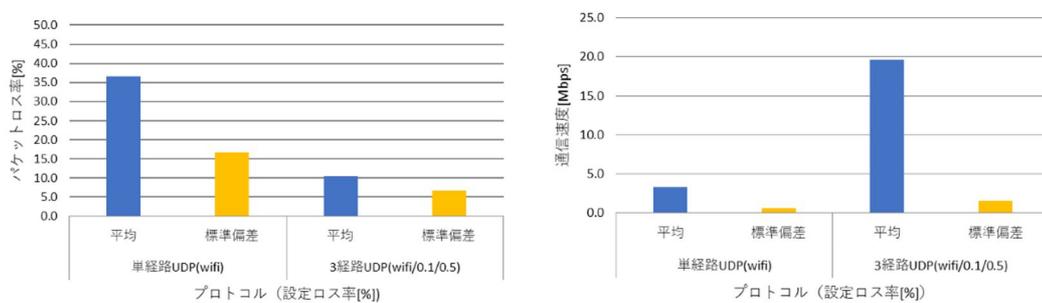


図3 パケットロス率の単経路と 3 経路の比較(左 : パケットロス、右 : 通信速度)

(3) 機械学習による物体検出と画像処理を用いた通信データ量の削減

YOLOv4 により検出した物体を高精細に表示し、それ以外を画像処理により低容量化する方式を開発した(図 4)。

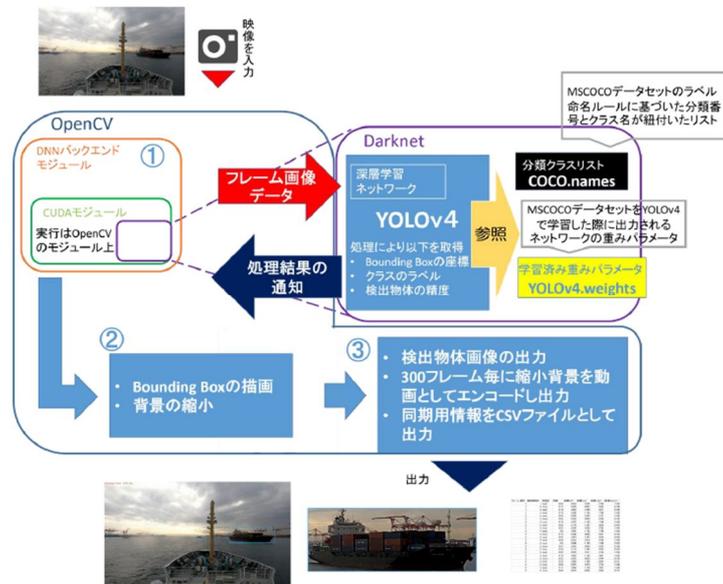


図4 開発した画像処理ソフトウェア構成図

開発手法を実際の船舶を用いて撮影した映像に適用した動画の1シーンを図5に示す。図中の青色の矩形で囲まれた部分がYOLOv4により認識したもので、認識結果や動画のフレームの進行に追従して変化するとともに、認識した複数の物体の領域が重なった場合でも前後のフレームの状況から物体を把握することもできる。

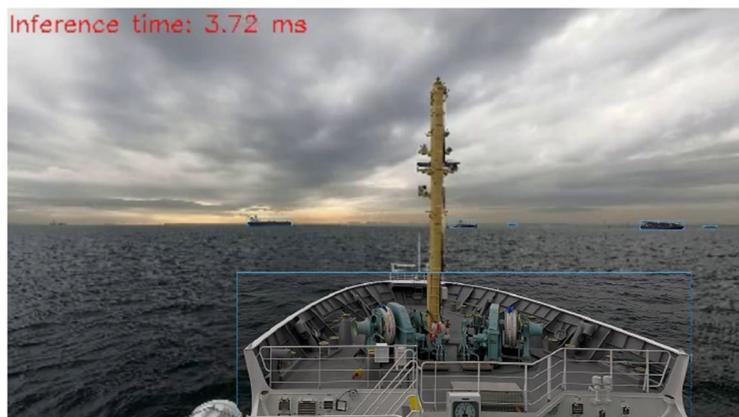


図5 撮影映像を提案方式で処理した結果画像

提案方式を用いたデータ削減量は、機械学習で認識したもの以外の解像度変更(画像のアスペクト比を保持したまま画像を縮小)した場合、縮小率を64分の1にした場合は元のデータ量に比べて91%のデータ量削減が、9分の1で83.7%の削減効果を実現した。元の映像は4K品質の大容量データである。元映像はLTE回線1本での伝送が難しい容量であるが、提案方式により伝送可能な容量まで低減することができた。処理時間の面で課題は残るが、ハードウェアアクセラレーション等を用いることで対応可能であると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 黒田 英明, 柏木 岳彦, 北川 直哉, 大島 浩太	4. 巻 142
2. 論文標題 海上における多重経路通信効率化のためのLTEの通信環境調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Japan Institute of Navigation	6. 最初と最後の頁 67~78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9749/jin.142.67	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N.Kitagawa, K.Ohshima, T.Furuya, T.Kashiwagi, R.Shoji	4. 巻 17
2. 論文標題 Measurement Report of LTE/3G Communication Environment in the Coastal Waters of Tokyo	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Journal of Navigation	6. 最初と最後の頁 24-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Shimizu, N. Kitagawa, K. Ohshima and N. Yamai	4. 巻 7
2. 論文標題 WhiteRabbit: Scalable Software-Defined Network Data-Plane Verification Method Through Time Scheduling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 97296-97306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川口 秀一、大島 浩太
2. 発表標題 階層型トポロジを持つ無線センサネットワークにおける障害ノード検知方式の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天野友貴、清水貴弘、北川直哉、大島浩太
2. 発表標題 End-to-Endの転送量情報を用いたSDNデータプレーン検証手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桐谷公基、余田博紀、大島浩太
2. 発表標題 Wi-Fi RTTを用いた二次元測位方式の提案と精度評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香取樹里、北川直哉、大島浩太
2. 発表標題 機械学習型IDSにおける攻撃傾向に応じた特徴量選択の重要性調査
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島浩太、北川直哉
2. 発表標題 海上におけるLTE通信環境に関する海外事例
3. 学会等名 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会 (NS)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤駿一, 黒田英明, 北川直哉, 大島浩太
2. 発表標題 機械学習を用いた船舶向け映像伝送負荷軽減方式の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (IN)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮太地, 大島浩太, 北口善明, 山岡克式
2. 発表標題 低電力アドホックネットワークにおける通信中継負荷の分析
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (IN)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	古谷 雅理  (Furuya Tadasuke)  (20466923)	東京海洋大学・学術研究院・教授    (12614)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------