

輻輳海域における多船航路探索

～エージェントシステムおよび進化計算の応用研究①～

広島市立大学 情報科学研究科 システム工学専攻 神尾 武司

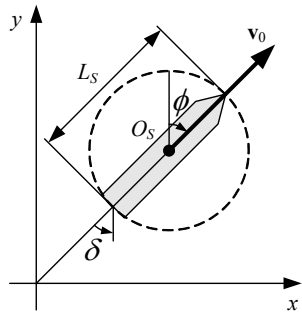
研究概要

船舶は大量の物資を運搬できる重要な輸送機関である。ところが、事故は多大な損害を生むため、多船舶が行き交う輻輳海域では、実際の操船に先立って適切な航路を決定するための知識を得ることが重要となる。本研究では、単に効率的な航路を探索するだけにとどまらず、航海士を育成するための「海上交通アセスメントツール」として利用可能な**マルチエージェント強化学習システム(MARLS)**の実現を目指す。

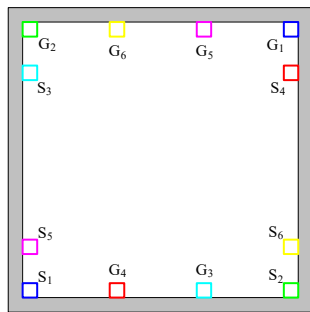


多船航路決定問題

問題設定: 他船や障害物との衝突を**航法**を遵守しつつ安全に回避し、可能な限り短時間で目的地に到着する航路を決定する。

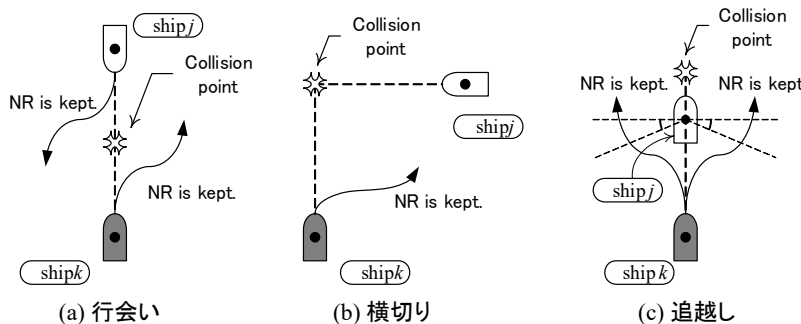


操船モデル



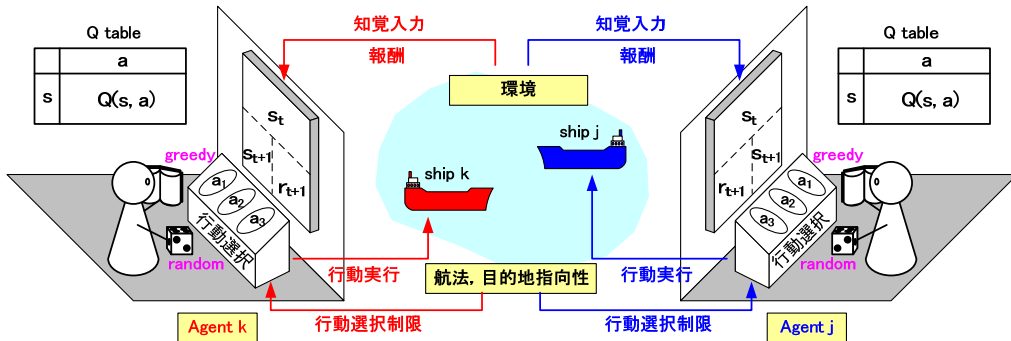
海域モデルの例

航法: 操船者達が長い歴史の中で獲得した経験的知識を基に、海上衝突予防のための国際規則としてまとめたもの。回避方法は指定されているが、回避のタイミングは明確化されていない。

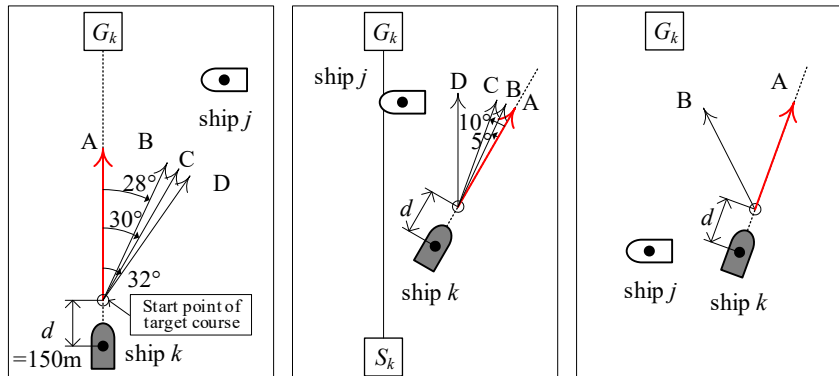


多船航路探索用MARLS(TC-MARLS)

モデル概要: MARLSは強化学習に先験的知識である航法を行動選択制限として導入することで、効率的な航路探索を可能とする。



目標航路: エージェントは目標航路から行動を選択することで航路探索を実行する。また、目標航路は航法に基づいて定義される。



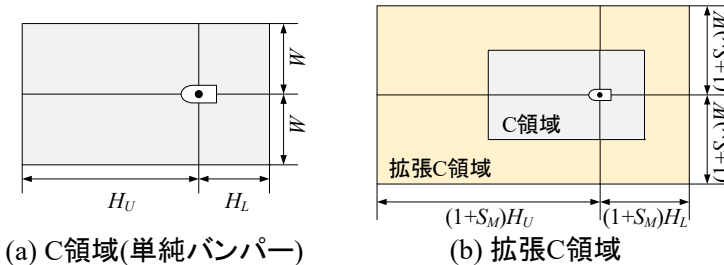
(a) 回避

(b) 回避量の抑制

(c) 進路回復

横切りにける目標航路

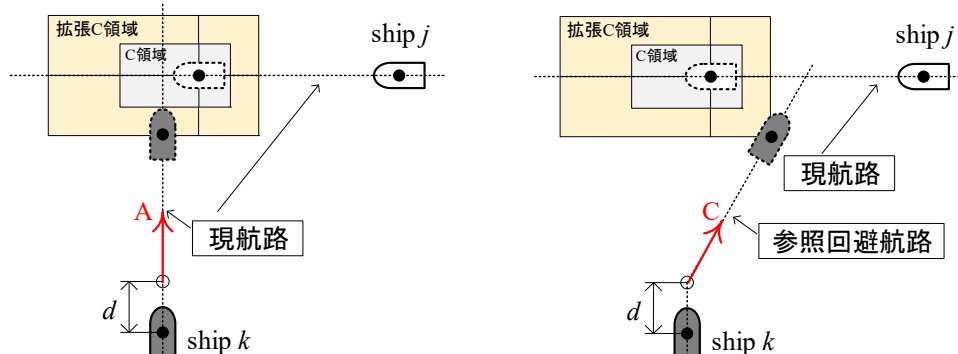
衝突判定領域(C領域): C領域は他船との衝突判定に用いる。一方、拡張C領域は回避開始判定に使用され、その大きさは変動安全マージン S_M によって制御される。



(a) C領域(単純バンパー)

(b) 拡張C領域

回避航路探索の開始: 航法によって他船回避を要求された船舶 k が、「現航路」および「参照回避航路」の両方で拡張C領域への進入を予測した場合、回避航路の探索を開始する。

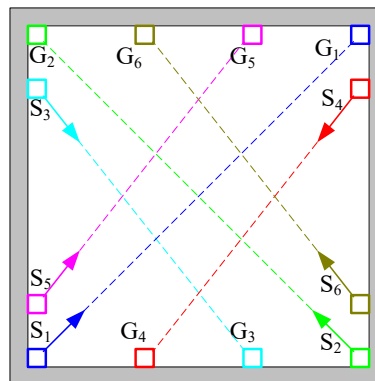


(a) 予測1

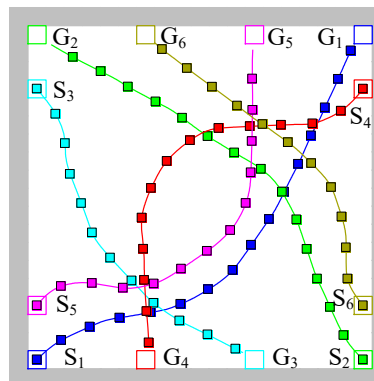
(b) 予測2

実験結果とまとめ

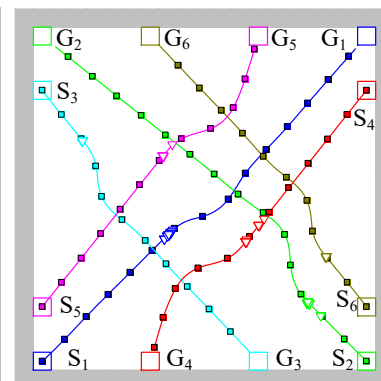
- Basic MARLS[1]は舵角を行動とするモデルであり、航法の強制力が強く、大回避が発生しやすい。
- TC-MARLS[2]は目標航路を行動とするモデルであり、拡張C領域への進入予測によって安全性を保ちながら航法を無視することも可能である。
- TC-MARLSは目標航路の切り替えを記録することで回避開始タイミングを把握できる。



(a) テスト問題



(b) Basic MARLS
($L_{total}=29113m$)



(c) TC-MARLS
($L_{total}=26965m$)

[1] T.Kamio et. al., AJIIPS, vol.12, no.2, pp.18-23, 2010.

[2] T. Kamio et. al., Proc. of NOLTA, pp.625-628, 2024.

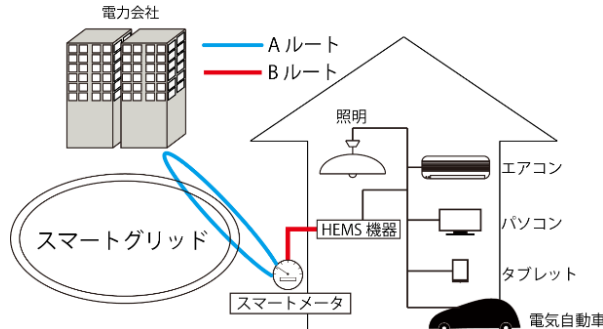
電力線通信における通信方式の最適化

～エージェントシステムおよび進化計算の応用研究②～

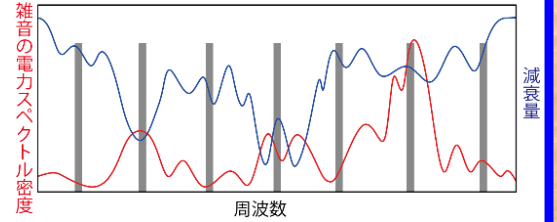
広島市立大学 情報科学研究科 システム工学専攻 神尾 武司

研究概要

スマートグリッドは情報通信技術(ICT)を活用した送電線網であり、電力線通信(PLC)はこれを支える通信方式の1つである。PLCでは既存の電力線を通信路として使用するため、導入コストが極めて低いという利点をもつ。しかし、電化製品の稼働状況により伝送路特性が変動するため、高効率な通信は困難となる。本研究では、粒子群最適化(PSO)と呼ばれる進化計算によって通信方式の最適化を図ることで、安定かつ高効率なPLCの実現を目指す。



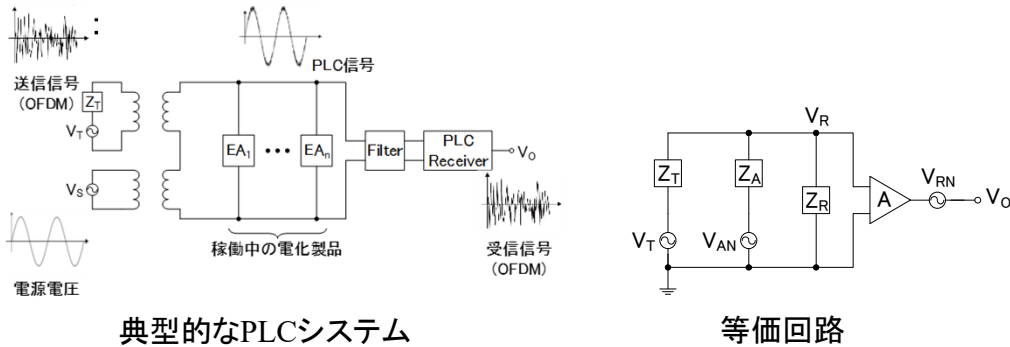
スマートグリッドとスマートメータの関係



OFDMスペクトルと伝送路特性

伝送容量を最大化するための評価関数

■ 典型的なPLCと等価回



典型的なPLCシステム

等価回路

■ PLC受信機出力電圧とキャリアkのC/N

$$V_O = \underbrace{A \frac{Z_A // Z_R}{Z_T + Z_A // Z_R} V_T}_{\alpha} + \underbrace{\left(A \frac{Z_T // Z_R}{Z_A + Z_T // Z_R} V_{AN} + V_{RN} \right)}_{\beta} \Rightarrow C/N_k = \alpha^2 / \beta^2$$

■ 評価関数: $f = \gamma f_1 + (1-\gamma)\delta f_2 + (1-\gamma)(1-\delta)f_3$

① 伝送容量Rと目的関数 f_1

$$R = \sum_{k=1}^{N_c} \frac{B_k}{T_s} \cdot \frac{n}{m} \cdot \varphi_k, \quad f_1 = \ln \left(\frac{R}{R_{\text{ref}}} \right) \quad \varphi_k = {}_m C_1 (1-p_k)^{m-1} p_k + (1-p_k)^m$$

※ p_k は C/N_k から算出可能

② 誤り訂正能力(p_{ref})を考慮した制約条件 f_2

$$p_k < p_{\text{ref}}, \quad f_2 = \sum_{k=1}^{N_c} \left\{ U(p_k - p_{\text{ref}}) \cdot \ln \left(\frac{p_{\text{ref}}}{p_k} \right) \right\}$$

※ 誤り訂正はハミング符号

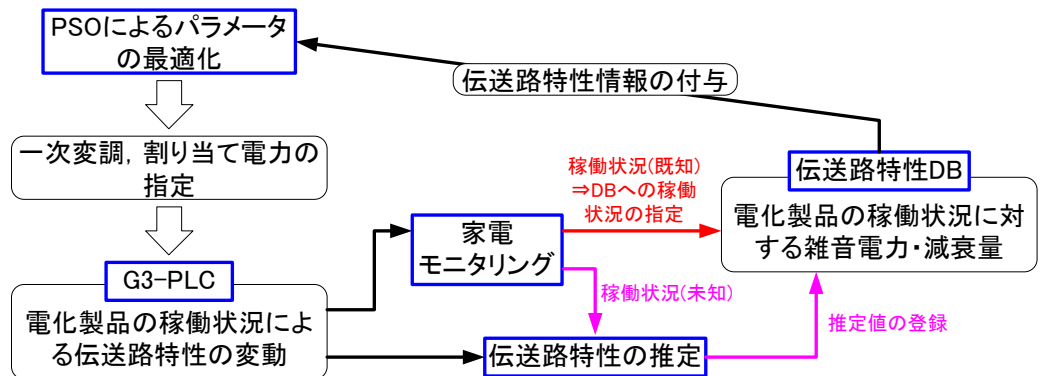
③ 許容消費電力(E_{ref})を考慮した制約条件 f_3

$$E_T < E_{\text{ref}}, \quad f_3 = U(E_T - E_{\text{ref}}) \cdot \ln \frac{E_{\text{ref}}}{E_T}$$

PLCにおける通信方式の最適化 (提案手法)

提案手法の基本的アイデア

- 最適化の対象
 - ✓ 伝送容量を最大化させる各キャリアの一次変調と割り当て電力
- 家電モニタリングによる伝送路特性(雑音電力, 減衰量)の把握
 - ✓ 既知の稼働状況 ⇒ データベース(DB)からの呼出
 - ✓ 未知の稼働状況 ⇒ 伝送路特性の推定とDBへの登録
- 粒子群最適化法(PSO)に基づくパラメータの最適化
 - ✓ 初期解: 機械的マッピング
 - ✓ PSOの運用: 探索停滞の検知と再初期化による解の改善



実験結果とまとめ

■ PLCの条件

- ✓ 帯域: 10kHz~450kHz
- ✓ キャリヤ数: 54
- ✓ 一次変調: M-QAM($M \in \{4, 16, 64, 256, 1024\}$)
- ✓ 許容消費電力(上限): 5.0×10^{-2} [W]
- ✓ 雑音電力と減衰量の測定場所: 国際学生寮「さくら」

■ 最適化の対象

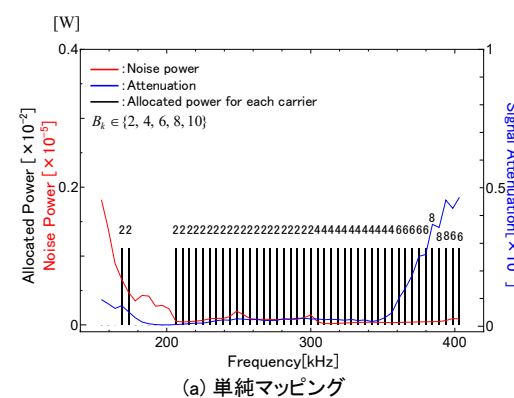
- ✓ 一次変調(1シンボルのビット数 B_k で表現)
- ✓ 割り当て電力(E_k)



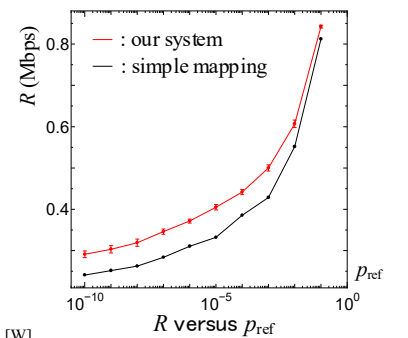
■ 実験結果

比較結果 (許容誤り率: $p_{\text{ref}} = 1.0 \times 10^{-3}$)

	伝送容量 (R[bps])	消費電力 (E_T [W])
単純マッピング	428571	$5.0e-2$
提案手法	514279.44	$4.993e-2$



(a) 単純マッピング



(b) 提案手法

一次変調と割り当て電力の比較($p_{\text{ref}} = 1.0 \times 10^{-3}$)

- [1] T. Kamio et. al., Proc. of NOLTA, pp.530-533, 2016.
- [2] T. Tomihara et. al., Proc. of TJCAS, pp.2C-8, 2019.