

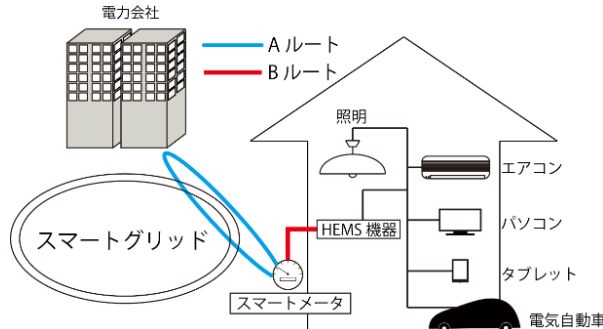
電力線通信における通信方式の最適化

～エージェントシステムおよび進化計算の応用研究②～

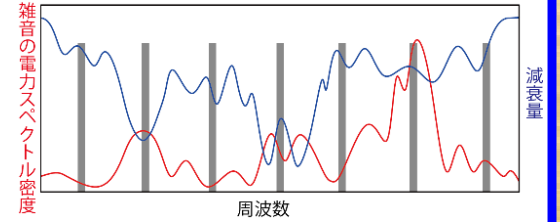
広島市立大学 情報科学研究科 システム工学専攻 神尾 武司

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。



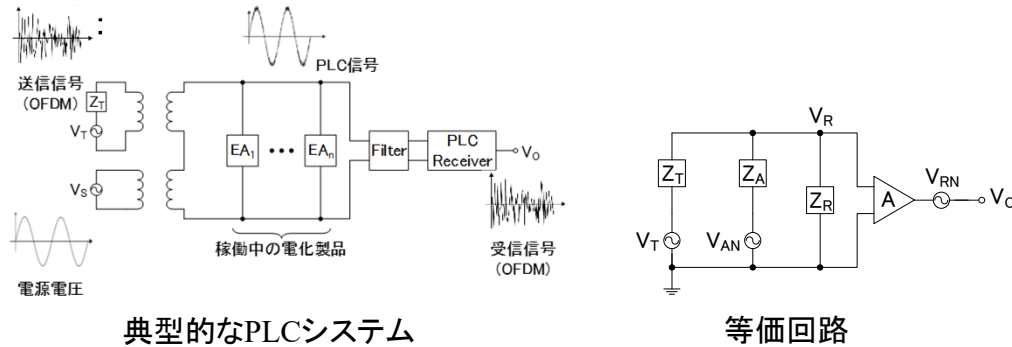
スマートグリッドとスマートメータの関係



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

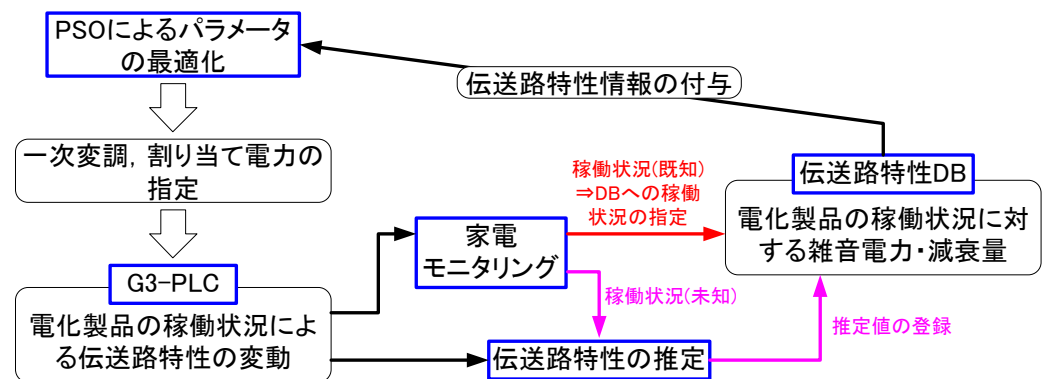
③ 許容消費電力(E_{ref})を考慮した制約条件 f_3

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

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

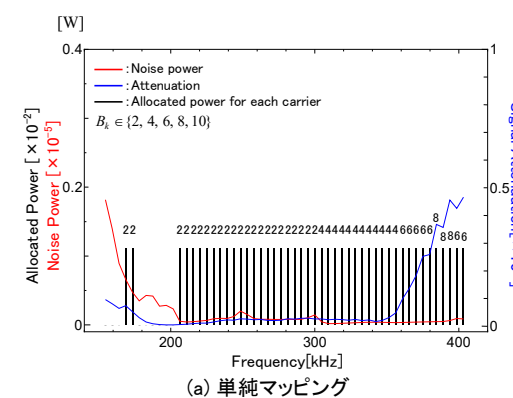
- PLCの条件
 - ✓ 帯域: 10kHz~450kHz
 - ✓ キャリヤ数: 54
 - ✓ 一次変調: M-QAM($M \in \{4, 16, 64, 256, 1024\}$)
 - ✓ 許容消費電力(上限): 5.0×10^{-2} [W]
 - ✓ 雑音電力と減衰量の測定場所: 国際学生寮「さくら」
- 最適化の対象
 - ✓ 一次変調(1シンボルのビット数 B_k で表現)
 - ✓ 割り当て電力(E_k)



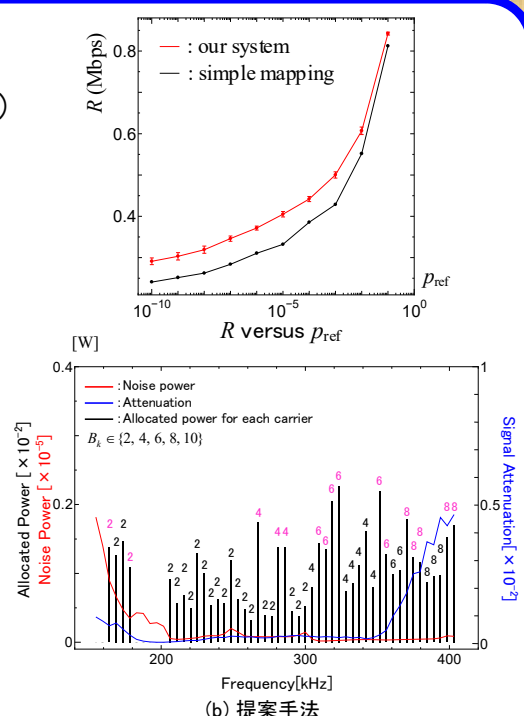
■ 実験結果

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.