

主成分分析を用いた高精度なバックスキャッタ位相角推定の実現

～シミュレーションと実機実験～

中村研 TERM 最終発表

岩崎 友哉 *

概要 バックスキャッタ信号の復調や位置推定に用いるキャリア位相角推定では、これまで線形回帰をベースとした推定量が用いられてきた。しかし線形回帰では、ノイズが IQ 平面上で不均衡に処理されてしまうため、SNR が悪い環境では推定精度が劣化する問題がある。本研究では主成分分析をベースとしたキャリア位相角推定法を提案する。この推定法は線形回帰と異なり IQ 方向にノイズの項を含まないため、ノイズが大きい環境でも高精度な推定ができる。本発表では、提案手法をシミュレーションおよび、USRP を用いたソフトウェア質問器と、PCB で作成したバックスキャッタセンサ実機実験によって検証した結果を報告する。

1 背景

バックスキャッタ通信は消費電力が非常に低く、RFID システムなどのバッテリーレスな情報システムで活用される通信方式である。そうした情報システムにおける要素技術の一つにタグの位置推定 [1] が挙げられるが、高精度なタグの位置推定を実現するにはバックスキャッタ信号の位相角を正確に推定する必要がある。さらに、現在 Auto-IDLab で取り組んでいる MSMA[2] においても、高調波除去の際に位相角の正確な推定が求められる。

2 研究目的

一般的に、バックスキャッタ信号の位相角推定には最小二乗推定量を用いた推定方法が利用されてきた。しかし、この推定量はノイズが大きい環境では推定精度が悪化する。本研究の目的はこの推定量に変わりノイズの強い環境でも正確に位相角推定が行えるような推定量を発見することである。

3 関連研究

3.1 問題の定式化

一般的に、バックスキャッタ信号をダウンコンバートして、IQ に分離した信号は以下のように表される。ここで、サブキャリア周波数 f_0 、サンプリング周期 T_s 、キャリア位相角 ψ である。

$$D_i = \begin{Bmatrix} I_i \\ Q_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A \cos(2\pi f_0 T_s i + \theta) \cos(\psi) + \epsilon_i^I \\ A \cos(2\pi f_0 T_s i + \theta) \sin(\psi) + \epsilon_i^Q \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\epsilon_i^I, \epsilon_i^Q \sim N(0, \sigma^2)$$

3.2 最小二乗推定量

この問題に対する一般的な解法として、最小二乗推定量が知られる。ある時点の IQ データは $Q_i = a I_i$ という傾き a の一次関数に従うため、これに正規分布に従うノイズを加えた確率モデルを考える。ノイズの二乗誤差の総和を最小化する a を求め、 \tan^{-1} 関数に入力することで位相角 ψ を得る。この時、推定量 $\hat{\psi}$ は式 (2) で表される。

$$\hat{\psi} = \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=0}^n I_i Q_i}{\sum_{i=0}^n I_i I_i} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \psi \cos \psi}{\cos^2 \psi + \sigma^2} \right) \quad (2)$$

これまでバックスキッタ信号の位相角推定問題には線形回帰が用いるのが一般的だったが、これはSN比が大きい状況では推定誤差が大きくなる。しかし、最小二乗推定量はその分母にノイズの分散を含むため、ノイズが大きい環境では推定精度が悪化する。それに対し、本研究で示したように主成分分析を用いた解法ではノイズの項を一切含まないためSN比が悪い状況でも正確に位相角を推定できる。した

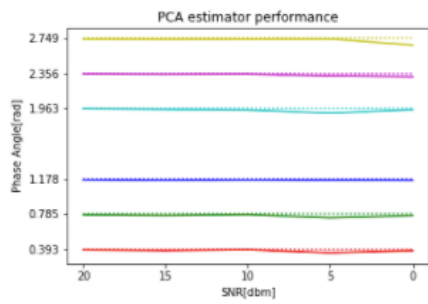


図 4 有線実験の結果

がって、バックスキッタ信号の位相角推定を行う際には本研究の提案する主成分分析に基づいた手法が有効である。

参考文献

- [1] C. Hekimian-Williams, B. Grant, X. Liu, Z.ZHang, and P.Kumer. Accurate localization of rfid tags using phase diference. Doctoral Dissertation draft-osamu-v6ops-ipv4-literal-in-url-02, 2017.
- [2] Nitish Rajoria. Multi-carrier backscatter communication system for concurrent wireless and batteryless sensing. Doctoral Dissertation draft-osamu-v6ops-ipv4-literal-in-url-02, 2017.