

予測データを用いたチューナブルアンテナの適応制御

綿谷 章*†, 高橋 健一††, 川村 尚生††, 菅原 一孔††
 † 鳥取大学 工学部 知能情報工学科
 †† 鳥取大学大学院 工学研究科 情報エレクトロニクス専攻

1. はじめに

新たな通信規格(LTE:Long Term Evolution)への対応やスマートフォンを代表とする多機能化により、幅広い周波数帯に対応可能なアンテナが必要とされている。そこで、広帯域、高感度化することが可能なチューナブルアンテナが開発された。チューナブルアンテナは、電気的にアンテナの長さを切り替えることで、感度良く通信可能な周波数に調整できる。これにより、幅広い周波数帯域で高感度に通信することを可能としている。そこで、本稿ではチューナブルアンテナで常に効率的な通信を行うための感度調整制御手法を提案する。

2. チューナブルアンテナ

チューナブルアンテナは、可変容量素子の容量値(ロジック)を変化させることで、アンテナの長さを電気的に変化させることができる。すなわち、ロジックを制御することで高感度に受信できる周波数に調整することができる。これにより、通信エラーの改善や信号の増幅に必要な消費電力削減効果が期待できる。

一般的にアンテナの効率 は VSWR(定在波比:Voltage Standing Wave Ratio)により表すことができる。一般的なアンテナの VSWR は周波数を横軸にとった場合に単峰性のグラフとなる。しかし、一般的にアンテナの感度は外乱の影響によって左右される(図1)。

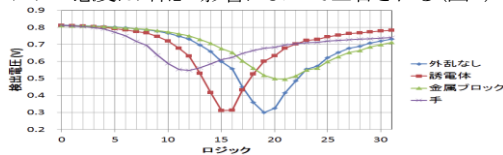


図1 外乱による最適なロジックの変化

外乱によって同じ周波数でも最適なロジックが異なる。このため、ロジックと周波数を一意に対応付けすることはできない。アンテナのロジック切り替えや反射電力の測定といったハードウェア制御を含む処理は単純な処理に比べて電力を消費する。このため、少ないロジック切り替えでピークを探索する手法が求められている。

3. ピーク探索手法

本提案手法のフローチャートを図2に示す。

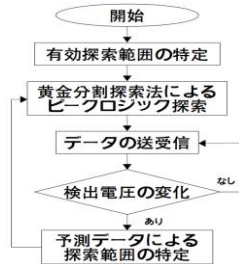


図2 提案手法のフローチャート

チューナブルアンテナの特性は単峰性のグラフとなる。そのため、最適なロジックの探索には、黄金分割探索法を用いる。黄金分割探索法では、2点の大小関係を比較し、探索範囲を狭めていくことで極値を探索する。しかし、チューナブルアンテナの検出電圧は、ピークから離れるほど平衡状態に近くなり、測定誤差により大小関係が逆転してしまうことがある。その結果、極値探索が失敗する。そこで、

極値探索の前に、測定誤差が発生したとしても黄金分割探索法による極値探索が成功する範囲を特定する。

また、外乱の影響などによりピークが変動した場合、ピークの再探索を行う必要がある。ピークが存在する範囲は、検出電圧の値である程度予想することができる。そこで、検出電圧の値とピークの変動範囲について解析を行い、予測データを作成する。この予測データをもとに、ピークが存在する範囲を限定し、ロジック切り替え回数を削減する。

3.1 有効探索範囲の特定

有効探索範囲の特定には、事前にチューナブルアンテナの特性を測定し、外乱の影響などにより測定誤差が発生しても検出電圧の大小関係が逆転しない範囲幅を求める必要がある。そこで、様々な周波数や外乱発生時に求められた範囲幅の中から最小となるものを a_0 と置く。 a_0 ことのロジックに対する反射電力を測定することで、すべての周波数や外乱に対してグラフの平衡部分ではなく、凸部に含まれるロジックを必ず測定することができる。凸部に含まれるロジックの周辺を極値探索の対象範囲とすることで、測定誤差による極値探索の失敗を防ぐことができる。

3.2 黄金分割探索を考慮した有効探索範囲の特定

極値探索手法には、黄金分割探索法を用いる。そこで、有効探索範囲の特定で計測するロジックを、黄金分割探索法で再利用することを考える。範囲 $[0, b_3]$ を黄金分割探索法で探索する場合、計測ロジックは $1: \phi$, $\phi: 1$ ($\phi=1+\sqrt{5}/2$) に分割する点 $b_1(=0.382 \times b_3)$, $b_2(=0.618 \times b_3)$ となる。このとき、対象範囲の特定で測定したロジックを、 b_1 または b_2 に対応するロジックとする。このときの有効探索範囲の特定を、図2を例に説明する。ロジックの範囲が $[x_0, x_6]$ として、まずピークがグラフの端に存在することを考慮して、 x_0 から b_1 点先のロジック x_1 を計測する。次に、 b_2 点先のロジック x_2 を計測する。 x_1 が x_2 より小さい場合、有効探索範囲は $[x_0, x_2]$ となる。それ以外の場合、以降は b_2 の間隔で、直前のロジックより計測誤差以上に小さくなるまで、計測を繰り返す。ここで、 x_3 の値が低くなった場合を例とする。この場合、図3のような特性が予測できる。このとき、次に b_1 点先となる x_4 を計測する。 x_4 が x_3 より大きい場合、有効探索範囲は $[x_2, x_4]$ であり、小さい場合は $[x_3, x_5]$ となる。それぞれの有効探索範囲を $[0, 1]$ とすると、それぞれ $x_1=0.382$, $x_3=0.618$, $x_4=0.382$ となっている。このように、黄金分割探索法の分割ロジックを考慮して計測することで、計測したロジックを再利用することができる。

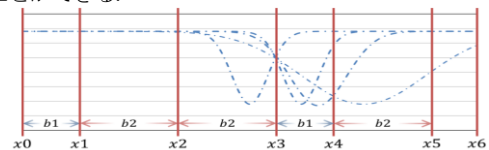


図3 有効探索範囲の特定

3.3.2 回目以降のピーク探索の効率化

外乱の影響などによりピークは変化する。このとき、ロジックを再調整しなければならない。ピークが変動すると、それに伴い検出電圧も変化する。そこで、検出電圧の値により、新たなピークの存在する範囲を予測する事ができる。予測データは、検出電圧の値に対す

る閾値とピークの変動幅の関係をまとめたものを準備する。各閾値ごとのピークの変動範囲は、1つの場合と2つの場合がある。その一例を図4に示す。

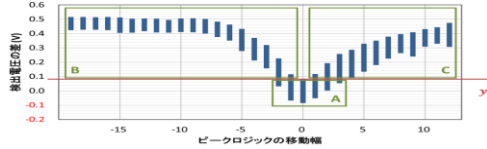


図4 予測データの設定

予測データから、検出電圧の値が y 未満の場合、ピークは範囲A, y 以上の場合、ピークは範囲Bか範囲Cにあることが分かる。

範囲Aのように予測範囲が1つの場合、現在のロジック探索範囲内の中央付近であれば、探索を行う前に隣のロジックと比較する。また、隣り合ったロジックの検出電圧の値が等しい場合は、そこをピークとする。それ意外は、そのまま予想範囲を探索範囲とする。

範囲Bや範囲Cのように、予測範囲が2つある場合、2つの予測範囲内のロジックに対応する反射電力を交互に計測し比較する。そこで、範囲の特定のために計測するロジックとして、範囲が大きければ有効探索範囲の特定、小さければ極値探索で再利用できるロジックを選択する。図5で、範囲が小さい場合を説明する。

例えば、現在のロジックを a_0 、範囲B内の極値探索で計測するロジックを b_1, b_2 、範囲C内の極値探索で計測するロジックを c_1, c_2 として、まず、 b_1 を計測する。 b_1 が a_0 より計測誤差以上に小さければ、範囲Bにピークが存在すると予測できる。それ以外の場合は、 b_1 よりも右側にピークが存在すると予測できるので、次に c_2 を計測する。 c_2 が a_0 より計測誤差以上に小さければ、範囲Cにピークが存在すると予測できる。 c_2 が a_0 より計測誤差以上に大きければ、 c_2 よりも左側にピークが存在すると予測できる。このとき、どちらの範囲にピークが存在するか予測が困難なので、 a_0 の1つ隣のロジック a_1 を計測し、 a_0 と大小関係を比較する。 a_0 が小さければ範囲B, a_1 が小さければ範囲Cにピークが存在すると予測できる。 c_2 が a_0 より計測誤差程度の差しかない場合は、さらに b_2 を計測する。 b_2 が他と比べて計測誤差以上に小さければ、範囲Bにピークが存在すると予測できる。計測誤差以上に大きければ、範囲Cにピークが存在すると予測できる。

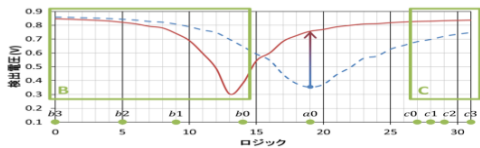


図5 予測データが2つの場合

4. 性能評価

本提案手法を評価するために、32段階のロジック切り替え可能なチューナブルアンテナを用いて、初回探索時と再調整時のピーク発見までのロジック切り替え回数を測定した。予測データは、閾値とロジックの関係が表1のものを用いた。ピークを再調整するときの原因としては、周波数変化時と外乱発生時が考えられる。そこで、初回探索時とそれぞれの場合における再調整時のピーク発見までのロジック切り替え回数を評価した。また、周波数変化と外乱発生によるピークロジックの再調整が発生する割合を変化させ、ピークロジック発見までのロジック切り替え回数を評価した。

表1 予測データ

	閾値	ロジック
予測データ1	すべての検出電圧	ロジックごと
予測データ2	すべての検出電圧	全ロジックで一つ
予測データ3	一つの検出電圧のみ	ロジックごと
予測データ4	一つの検出電圧のみ	全ロジックで一つ

実験の結果、初回探索時ではロジック切り替え回数が平均 6.875 回となった。これに対して、予測データ 1~4 の場合のロジック切り替え回数は平均 2~5 回となった。どの予測データを利用しても初回探索時よりよい結果となった。予測範囲にグラフの平衡部分が含まれると予測範囲が広くなり、ピーク発見までのロジック切り替え回数が多くなる。しかし、外乱発生による変動では、ピークロジックの移動幅が小さく、予測範囲にグラフの平衡部分が含まれることが少ない。この結果、ロジック切り替え回数が減少している。また、予測データ 2 と予測データ 3 で平均ロジック切り替え回数が逆転している。このことから、外乱発生によるピークロジックの再調整が多い場合には、予測データ 2 よりも予測データ 3 を利用した方が効果的であることがわかる。

5. 参考資料

西尾ら⁽¹⁾は MS 可変容量素子を利用して電力消費を抑えチューナブルアンテナを広帯域・高感度化することを提案している。しかし、チューナブルアンテナ自体の構成方法を検討しており、周波数変化や外乱に対応する仕組みについては検討していない。Huang ら⁽²⁾は電話のマルチバンド化に対応することを目的にチューニング回路の構成方法について提案し、2つの周波数帯に適用した場合の結果について報告している。しかし、アンテナの感度は改善するが、感度良く通信可能な周波数に調整するものではない。また、チューナブルアンテナを対象としたものでもない。Mckinzie ら⁽³⁾は周波数とインピーダンスを対応付けたルックアップテーブルを持ち、それを利用することで周波数の変化に対応する仕組みを提案している。文献(4)では、チューナブルアンテナの感度を調整するための方法として、受信信号から計算された信号対干渉雑音比(SINR)や受信信号強度インジケータ(RSSI)などに従ってアンテナの長さを調整することが提案されている。しかし、外乱による影響も考慮しない。文献(5)では外乱の影響による受信感度の変化に対処する手法として、変化する可能性のある範囲を設定し、その範囲のみを探索することで感度調整の高速化が提案されている。しかし、外乱の影響で変化可能性のある範囲をどのように設定するかについては示されていない、また周波数変化時の再調整についても考慮されていない。

6. おわりに

本稿ではチューナブルアンテナのための感度調整制御手法を提案した。本提案手法ではチューナブルアンテナの特性を考慮することで測定誤差による極値探索の失敗を防ぎつつ、効率的なピークロジック探索を実現した。また、探索範囲の予測データを準備することで、極値探索だけを利用した場合に比べ、大幅にロジック切り替え回数を削減することができた。ピークロジック探索までのロジック切り替え回数を削減することで感度調整にかかる時間を短縮し、また、きめ細やかな感度調整により送受信信号の増幅に必要な消費電力を削減する効果が期待できる。

文献

- (1) 西尾真貴, 堤由佳子, 尾林秀一: 高効率な内蔵アンテナを実現するチューナブルアンテナ技術, 東芝レビュー, Vol. 66, No. 4, pp. 16- 19(2011).
- (2) Huang, L., Schroeder, W.L. and Russer, P.: Theoretical and Experimental Investigation of Adaptive Antenna Impedance Matching for Multiband Mobile Phone Applications, Proc. of Wideband and Multi-band Antennas and Arrays pp. 13- 17 (2005).
- (3) Mckinzie, W.E., Mendolia, G. and Manssen, K.: Adaptively Tunable Antennas Incorporating an External Probe to Monitor Radiated Power, US Patent. 8125399 (2012/2/28).
- (4) クゥアルコム・インコーポレイテッド: 無線機器の適応チューナブルアンテナ, 特開 2011-517519 (2011/06/09).
- (5) 日立電線株式会社: 受信装置, 公開 2011-139202 (2011/07/14). 19) 佐藤和夫, 西川訓和, 鈴木徳洋, 小川明: 人体近傍に置かれた携帯無線機用アンテナの特性解析, 電子情報通信学会論文誌, Vol. 79, No. 11, pp. 892- 900 (1996).