

確率共鳴法による微弱心電波形の検出方法の検討

竹本 光希¹ 中司 賢一²
 (九州工業大学 大学院 工学研究府¹ 工学研究院²)

1. はじめに

高齢化が進行するにしたがって高齢者、特に独居老人の健康状態のモニタリングが重要視され、生体情報を 24 時間計測する装置の開発が必要と考えられている。心電に関しては、常時多数の電極やコードを身に付けておく必要があり煩わしい。そのため、心電計を片腕に取り付けられる程度に小型化することが望ましいが、信号が微弱であるため、検出が非常に困難である。一方、確率共鳴法とは、微弱信号に雑音を加えることで、ノイズ強度のある範囲で信号が強まり反応が向上する現象である[1]。そこで、本研究では、確率共鳴法を用いることで微弱な心電信号が検出可能性か検討した。

2. 確率共鳴法

閾値未満の信号にノイズを付加し、ノイズの強度を徐々に大きくしていくと信号に重畳したノイズが信号の山で閾値を超える確率が高くなり、信号の谷の部分ではその確率が低くなる。例えば、双安定ポテンシャル系(図1)を仮定すると、このポテンシャルは例えば、次式で表すことができる。ここで a と b は定数である。

$$U(x) = -\frac{a}{2}x^2 + \frac{b}{4}x^4$$

このポテンシャル中にある粒子がこのポテンシャルから受ける力は、

$$F(x) = -\frac{dU(x)}{dx} = ax - bx^3$$

である。よって 2 次以上の項を無視して方程式を立てて解くと

$$\int \frac{dx}{dt} dt = \int (ax - bx^3 + s(t) + D\xi(t)) dt$$

が得られる。ここでノイズ強度を段々大きくしていくと、ポテンシャルの山を越えて他方のポテンシャルの谷にある安定点に移動することになる。

3. シミュレーション方法と結果

双安定ポテンシャル系確率共鳴をシミュレーションするためのブロック図[2]を図 2 に示す。ノイズ強度を変化させ、定数 a と b をパラメータとして、心電信号の R 波の検出率を MATLAB/Simulink シミュレーションにより求めた。その結果、SNR が 0.7949 から 1.7774 までは R 波をすべて検出できたが、ノイズが強くなると誤差率が上昇した。これは心電信号の R 波だけでなく T 波にも共鳴し、R 波として誤検出してしまったためである。また、パラメータ a と b 双方を変化させてシミュレーションした結果、 a を増加させていくと誤差率が減少することがわかった。しかし、ある程度増加させると誤差率は変化しなくなった。適切な b の値は a の値によって変化し、適切な b の値は図 4 のように二次関数的に減少することがわかった。さらに、通常の確率共鳴では入力信号を状態遷移レベル以下にしなければならないが、心電波形の場合は状態遷移レベル以上にすることで R 波が検出できることがわかった。これは心電の R 波が正方向のパルスのみであり、負方向の信号がないので正の

安定状態から負の安定状態に移行できないためである。

4. まとめ

確率共鳴法を用いた微弱心電信号の R 波の検出可能性を検討した。パラメータ a と b を適切な値にすることで SNR が 0.8 まで心電波形の R 波を検出することができた。

参考文献

- [1] Roberto Benzi et al., J. Phys. A: Math, Gen. 14, L453-L457, 1981.
 [2] 金子久亮 他、信学会技報、VLD2012-93, 2012.



図1 双安定ポテンシャル

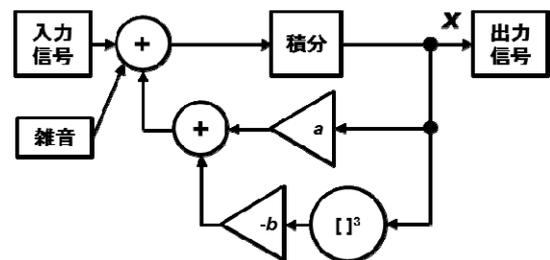


図2 双安定系確率共鳴のシミュレーションブロック図

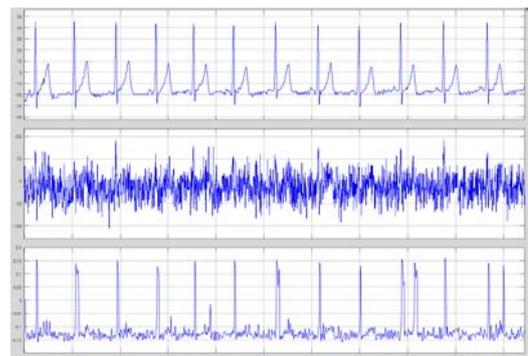


図3 心電/ノイズのシミュレーション波形

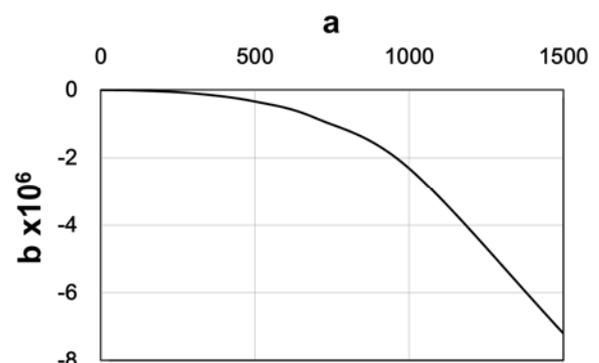


図4 検出率が良好なときの a と b の値