興奮場における持続的集団ノイズ生成のメカニズム：外部雑音源を使わない確率共鳴

石村 憲意[1] 小室 勝郎[1] Alexandre Schmid[2] 浅井 哲也[1] 本村 真人[1]
（北海道大学[1] EPFL[2]）

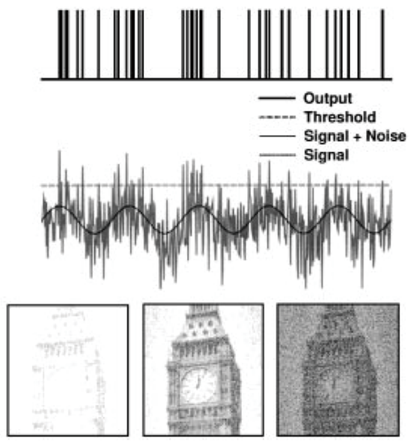
分子アーキテクトニクス領域会議

1. 研究背景

雑音(ゆらぎ)を利用した情報処理システム

画像検出(確率共鳴)

雑音の力で微弱画像信号検出

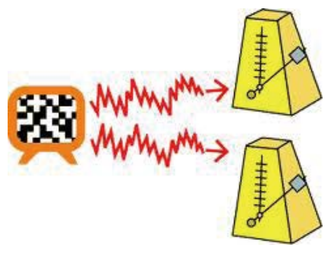


ノイズ強度

弱 ←→ 強

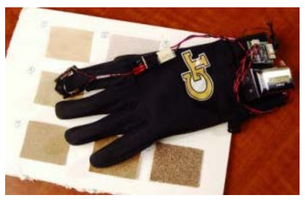
雑音誘起位相同期

雑音の力で独立した回路を同期



微弱信号センサ(確率共鳴)

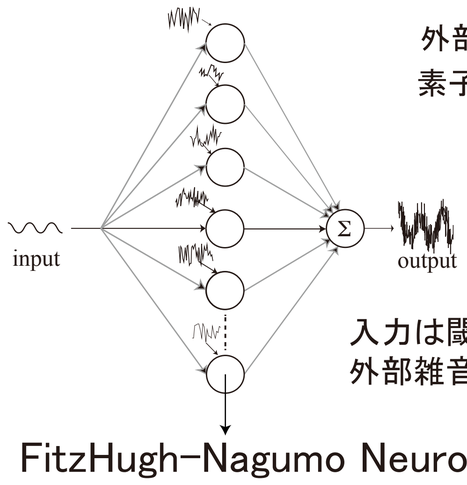
雑音を利用して感度を増幅させる



- 確率共鳴には外部雑音源が必要
- 素子自らが生成する雑音を利用できないか（素子ゆらぎ、熱雑音、システムから発生する雑音など）
- 確率共鳴は脳のいたるところで起きている
- 脳のある領野で発生した活動パターン(脳波)が別領野で雑音源として使われる
- 脳は雑音を利用して特性がばらついているニューロンを使いこなしている

2. 提案するネットワーク

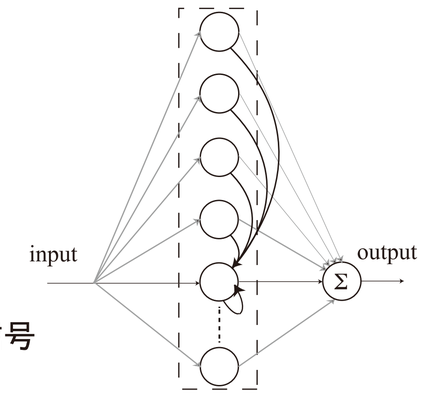
従来のネットワーク
Collins network



外部雑音代わりに
素子の発火を利用

入力は閾値下の微弱信号
外部雑音源は不要

内部雑音を利用する
ネットワーク

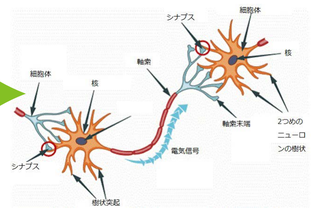


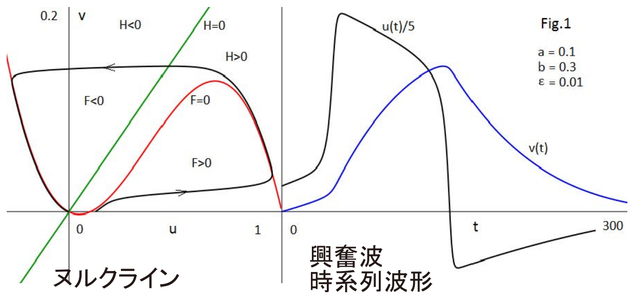
FitzHugh−Nagumo Neuron Model

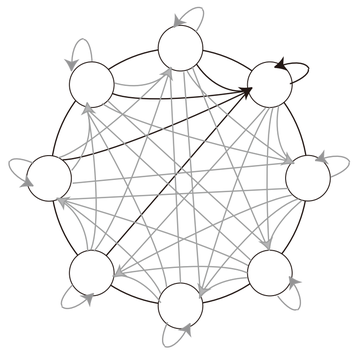
$$\dot{u} = u(1-u)(u-a) - v + I(t) + (\xi(t))$$

外部雑音

$$\dot{v} = \varepsilon(bu-v)$$







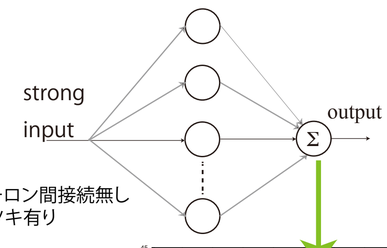
単一方向に 興奮波伝搬

内部雑音として利用可能

確率共鳴

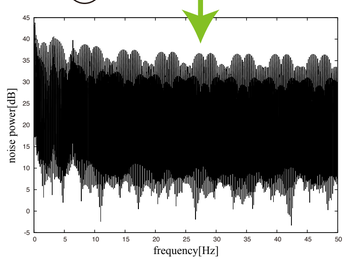
3. ネットワークの動作

ネットワーク内部で生成される雑音

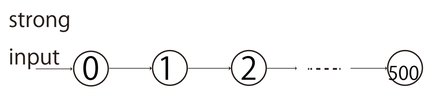


ニューロン間接続無し
バラツキ有り

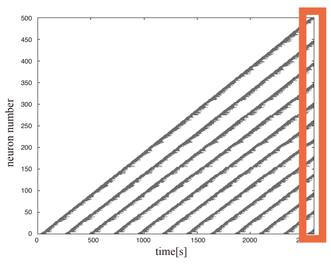
興奮波の
総エネルギー
↓
雑音



ネットワーク内に持続できる興奮波の数

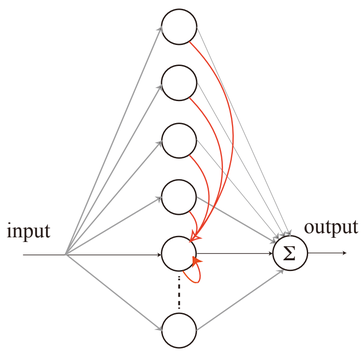


500ニューロンを直線上に配置



t=2500で
12個の興奮波
がネットワーク
内に存在

円環状ネットワークを構築することで雑音の役割を果たす興奮波を維持できる



$$\dot{u} = u(1-u)(u-a) - v + wI(t) + noise$$

$$\dot{v} = \varepsilon(bu-v)$$

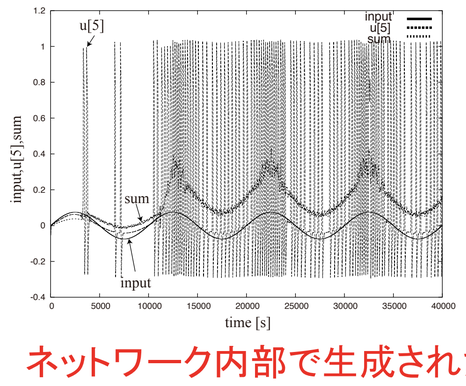
雑音源として4つのニューロンが接続される場合

$$noise = na\,(70*u[i]+56*u[i-1]+28*u[i-2]+8*u[i-3]+u[i-4])/163$$

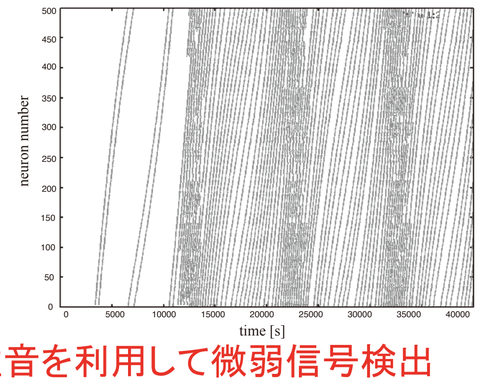
na : 雑音強度

雑音源となるニューロンの結合強度は入力される
ニューロンからの距離に応じてガウシアン分布

時系列波形



ラスタープロット



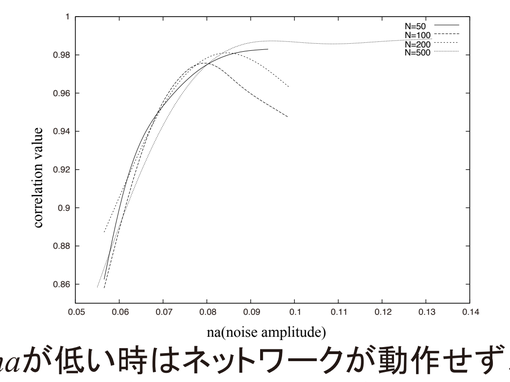
ネットワーク内部で生成された雑音を利用して微弱信号検出

4. シミュレーション結果

ネットワーク内部の雑音と入出力相関の特性(Nはネットワークの素子数)
ネットワークパラメータを下記の通りに設定

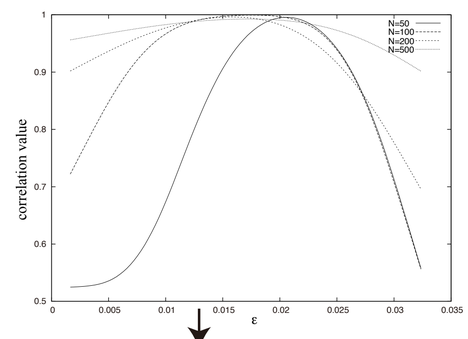
a = 0.1 + 0.05 ∗ (double)rand()/RAND_MAX; b = 0.24 + 0.01 ∗ (double)rand()/RAND_MAX;
ε = 0.012 + 0.03 ∗ (double)rand()/RAND_MAX; w = 0.045 + 0.18 ∗ (double)rand()/RAND_MAX;
na = 0.057; $I(t)$ = 0.075

内部雑音振幅naをスイープ



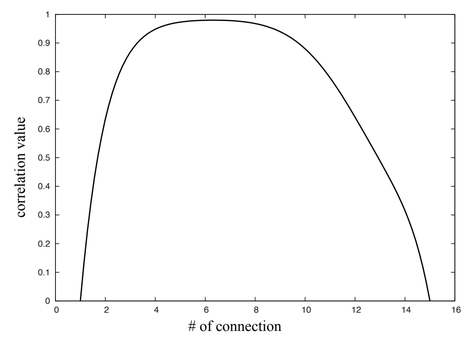
naが低い時はネットワークが動作せず、
適度な雑音強度で相関値が最大化
naが高い時もネットワークが動作せず
↓
naを0.08に固定

時定数εをスイープ

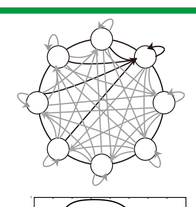
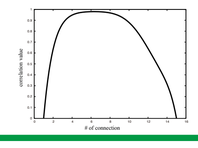


↓
ε を0.02に固定

結合ニューロン数をスイープ



結合ニューロン数はネットワーク内部の
雑音量に対応
↓
適度なニューロンの結合数のとき、相関値最大

5. まとめ

- ネットワーク内部の雑音を利用するネットワークを提案
- 提案したネットワークに閾値下の信号を印可し、雑音強度対入出力相関特性を調べた
- 得られた特性から、ネットワーク内部の雑音を利用して確率共鳴曲線のような相関値のピークが得られた