(초안) 결과 노트 — 집단지성 게이팅(IG)이 LIF 네트워크의 반응성에 미치는 효과  
  
제목  
간단한 LIF 스파이킹 네트워크에서 임계값 게이팅(IG)이 집단 반응성을 유의하게 증폭함: 소규모 재현 실험  
  
초록  
스파이킹 뉴런 네트워크(SNN)에서 집단지성 게이팅(IG)—여기서는 뉴런 임계값을 동적으로 낮추는 단순 게이트—이 입력 구간 동안의 집단 발화량을 얼마나 증폭시키는지 테스트했다. 5뉴런 LIF 네트워크(1 s 시뮬레이션, dt=1 ms)에서 외부 펄스(0.1–0.7 s)를 주고, (i) 베이스라인(α=1.0), (ii) IG on(α=0.7; 임계값 30% 완화)을 비교했다. 결과적으로 총 스파이크 수는 베이스라인 0회 대비 IG on 86회로, 동일 입력에서도 집단 반응성이 크게 증가했다. 이 결과는 임계값 기반의 간단한 게이트만으로도 SNN의 민감도와 네트워크 동조가 질적 전이를 보일 수 있음을 시사한다. 본 노트는 최소 재현 예시이며, 통계적 검증 및 파라미터 스윕은 후속 작업으로 제시한다.  
  
1. 배경  
SNN은 임계 발화라는 비선형성을 갖는다. 따라서 미세한 임계값 조절만으로도 네트워크의 전체 동역학(발화 개시, 재귀 증폭, 동조)이 급격히 바뀔 수 있다. 본 노트의 \*\*IG(collective intelligence gating)\*\*는 생물학적 neuromodulation의 거친 모델로서, 집단 의사결정/감지 민감도를 올리는 최소 메커니즘으로 해석한다.  
  
2. 방법  
모델. 누설 적분 발화(LIF):   
τ dV/dt = -(V - V\_rest) + R·I(t), if V ≥ θ ⇒ spike, V ← V\_reset  
파라미터. dt=1 ms, 총 T=1 s(총 1000 스텝), τ=20 ms, V\_rest=0, R=40, θ\_base=1.0, V\_reset=0.2. 뉴런 수 N=5.  
입력. 모든 뉴런에 0.1–0.7 s 동안 평균 1.0의 펄스(뉴런별 소노이즈 0.05).  
재귀 연결. W\_ij ~ U(0,0.25) (대각 0), 임의 3개 억제 연결 -0.15.  
게이팅(IG). θ=α·θ\_base. 베이스라인 α=1.0; IG on α=0.7.  
코드/재현. QIG/code/lif\_network.py (커밋 fc6ceee). 실행:  
cd ~/Desktop/Qquarts\_Lab/QIG/code  
python3 lif\_network.py  
그림은 figs/에 저장.  
  
3. 결과  
- 총 스파이크 수(1 s, N=5)  
 • 베이스라인(α=1.0): 0  
 • IG on(α=0.7): 86  
- 래스터 플롯  
 • Fig. 1: figs/raster\_baseline.png — 입력이 있어도 네트워크가 발화 임계에 도달하지 못함.  
 • Fig. 2: figs/raster\_ig.png — 동일 입력에서 광범위한 발화가 유도됨(재귀 입력으로 확장).  
  
해석. 동일한 외부 펄스 하에서 임계값 30% 완화만으로 네트워크는 “무발화 → 집단 발화”로 전이했다. 이는 (i) 개별 뉴런의 임계 접근, (ii) 재귀 흥분성의 양의 피드백이 결합되며 나타나는 집단 임계 현상으로 볼 수 있다. IG는 신호-잡음 경계에 있는 입력을 집단 반응으로 끌어올리는 효과를 보인다.  
  
4. 한계 및 위험요인  
1. 단일 시드/소규모(N=5): 파라미터·랜덤성에 민감할 수 있다.  
2. 베이스라인=0 스파이크: 효과 크기를 “비율”로 정의하면 발산한다. 대신 총 스파이크 차이나 반응 여부(binary), 응답 지연(latency) 등을 지표로 병행해야 한다.  
3. 입력/연결 단순화: 실제 태스크 적합도(정확도, 샘플 효율)는 미검증.  
  
5. 결론  
임계값 기반의 \*\*간단한 게이팅(IG)\*\*만으로도 소규모 SNN에서 집단 반응성의 질적 전이가 관찰되었다(0 → 86 spikes). 이는 집단지성적 조절 메커니즘이 SNN의 감지/의사결정 민감도를 크게 바꿀 수 있음을 보여주는 최소 사례다.  
  
6. 다음 단계(논문화 위해 필수)  
- 재현성: 시드 30개, 95% CI.  
- 스윕: α ∈ {0.5, 0.6, …, 1.0}, N ∈ {5, 20, 50}, 입력 강도.  
- 메트릭: 총 스파이크, 반응 지연, 발화 뉴런 비율, Fano factor/동조도.  
- Ablation: 재귀 차단(W=0), 억제 제거/증가, 입력 길이 변경.  
- 태스크 적합성: 간단한 이진 감지 과제에서 IG on/off 성능 비교.  
  
그림 캡션  
Fig. 1. Raster — Baseline (α=1.0). 입력(0.1–0.7 s)에도 발화 없음. (figs/raster\_baseline.png)  
Fig. 2. Raster — IG on (α=0.7). 동일 입력에서 집단 발화가 발생. (figs/raster\_ig.png)