

수정 사항

```
eqs = ''
dv/dt = (k * 1 * pF/ms/mV * (v - vr) * (v - vt) - u * pF + I - Isyn) / C : volt (unless refractory)
du/dt = int(v <= vb) * (a * (b * (v - vb)**3 - u)) + int(v > vb) * (-a * u) : volt/second
I : amp
Isyn = I_AMPA + I_NMDA + I_GABA : amp
I_AMPA : amp
I_NMDA : amp
I_GABA : amp
a : 1/second
b : volt**-2/second
k : 1
E_L    : volt
vt     : volt
vr     : volt
vb     : volt
tau_w  : second
th     : volt
C      : farad
c      : volt
d      : volt/second
'''
```

- 논문에서 FSN은 u 에 대한 조건이 별도로 있기 때문에 QIF_FSN.py를 만들어 별도로 작동되도록 함
- 또한, I 에 대한 수식을 모두 통일해 모든 셀이 공통된 파라미터를 공유할 수 있도록 함
- Tutorial 코드를 참고해 $I-I_{syn}$ 로 QIF, AdEx의 eqs를 수정함

수정 사항

```
Processing connection: Cortex_to_FSN  
Processing connection: Cortex_to_MSND1  
Processing connection: Cortex_to_MSND2  
Processing connection: Cortex_to_STN  
Processing connection: FSN_to_FSN  
Pro synapses_14_stateupdater      45.37 s  21.30 %  
    synapses_13_stateupdater      45.37 s  21.30 %  
Pro synapses_11_stateupdater      45.28 s  21.26 %  
    synapses_11_pre              15.38 s  7.22 %  
Pro synapses_13_pre              15.19 s  7.13 %  
    synapses_14_pre              15.15 s  7.11 %  
Pro synapses_12_stateupdater     7.60 s   3.57 %  
Pro synapses_8_stateupdater      3.48 s   1.63 %  
    synapses_12_pre              2.70 s   1.27 %  
Pro synapses_9_stateupdater     2.34 s   1.10 %  
    synapses_2_stateupdater      2.03 s   0.95 %  
Pro synapses_1_stateupdater     2.03 s   0.95 %  
    synapses_4_stateupdater      1.91 s   0.90 %  
Pro synapses_3_stateupdater     1.90 s   0.89 %  
    synapses_15_stateupdater     1.53 s   0.72 %  
Processing connection: STN_to_GPeTA  
Processing connection: STN_to_GPeTA
```

- 뉴런 간 연결 관계를 파악하기 위해 시뮬레이션 시작 시 연결된 뉴런을 확인할 수 있도록 설정하였고, 모든 연결관계가 형성된 것을 확인함

수정 사항

synapses_14_stateupdater	45.37 s	21.30 %
synapses_13_stateupdater	45.37 s	21.30 %
synapses_11_stateupdater	45.28 s	21.26 %
synapses_11_pre	15.38 s	7.22 %
synapses_13_pre	15.19 s	7.13 %
synapses_14_pre	15.15 s	7.11 %
synapses_12_stateupdater	7.60 s	3.57 %
synapses_8_stateupdater	3.48 s	1.63 %
synapses_12_pre	2.70 s	1.27 %
synapses_9_stateupdater	2.34 s	1.10 %
synapses_2_stateupdater	2.03 s	0.95 %
synapses_1_stateupdater	2.03 s	0.95 %
synapses_4_stateupdater	1.91 s	0.90 %
synapses_3_stateupdater	1.90 s	0.89 %
synapses_15_stateupdater	1.53 s	0.72 %

- Profile_summary를 통해 파라미터 활동 비율을 모니터링할 수 있도록 함

수정 사항

- Params.json에서 receptor type을 지정할 수 있게 함
- 코드의 가독성을 위해 pre, post 뉴런을 지정하고 연결 확률을 지정할 수 있도록 함
- Synapse 파라미터를 설정할 수 있도록 함
 - 기존엔 normal, PD에 대한 synapse class를 다르게 설정했는데, 수정 후 synapse class로 공유할 수 있게 됨

```
"GPeTA_to_MSND1": {  
    "pre": "GPeTA",  
    "post": "MSND1",  
    "receptor_type": "GABA",  
    "p": 0.03,  
    "params": {  
        "g0": {"value": 0.04, "unit": "nS"},  
        "tau_syn": {"value": 87, "unit": "ms"},  
        "E_rev": {"value": -74, "unit": "mV"},  
        "delay": {"value": 7.0, "unit": "ms"},  
        "beta": {"value": 0.756, "unit": "1"}  
    }  
},  
"GPeTA_to_MSND2": {  
    "pre": "GPeTA",  
    "post": "MSND2",  
    "receptor_type": "GABA",  
    "p": 0.03,  
    "params": {  
        "g0": {"value": 0.08, "unit": "nS"},  
        "tau_syn": {"value": 76, "unit": "ms"},  
        "E_rev": {"value": -74, "unit": "mV"},  
        "delay": {"value": 7.0, "unit": "ms"},  
        "beta": {"value": 1, "unit": "1"}  
    }  
}
```

수정 사항

- 기존에 모든 연결 관계를 구체화했던 것과 달리 공통된 함수를 사용해 파라미터에 따른 synapse를 정의할 수 있도록 수정함
- receptor type에 따라 할당되는 값이 다르기 때문에 해당 내용이 반영되도록 수정함

```
for receptor_type in receptor_types:  
    syn = Synapses(  
        pre_group,  
        post_group,  
        model=synapse_instance.equations[receptor_type],  
        on_pre=synapse_instance._get_on_pre(receptor_type)  
    )  
  
    syn.connect(p=conn_config['p'])  
    syn.w = 1  
  
    params = conn_config['params']  
    if isinstance(params, dict):  
        if receptor_type in params:  
            current_params = params[receptor_type]  
        else:  
            current_params = params  
    else:  
        current_params = params  
  
    if receptor_type == 'AMPA':  
        syn.g0_a = current_params['g0']['value'] * nsiemens  
        syn.tau_AMPA = current_params['tau_syn']['value'] * ms  
        syn.E_AMPA = current_params['E_rev']['value'] * mV  
        if 'beta' in current_params:  
            syn.ampa_beta = float(current_params['beta']['value'])  
    elif receptor_type == 'NMDA':  
        syn.g0_n = current_params['g0']['value'] * nsiemens  
        syn.tau_NMDA = current_params['tau_syn']['value'] * ms  
        syn.E_NMDA = current_params['E_rev']['value'] * mV  
        if 'beta' in current_params:  
            syn.nmda_beta = float(current_params['beta']['value'])  
    elif receptor_type == 'GABA':  
        syn.g0_g = current_params['g0']['value'] * nsiemens  
        syn.tau_GABA = current_params['tau_syn']['value'] * ms  
        syn.E_GABA = current_params['E_rev']['value'] * mV  
        if 'beta' in current_params:  
            syn.gaba_beta = float(current_params['beta']['value'])
```

Discussion

```
[code]
if 'v' in group.variables:
    voltage_mon = StateMonitor(group, 'v', record=True)
    voltage_monitors[name] = voltage_mon
    net.add(voltage_mon)
    print("voltage mon:", voltage_mon.v[:])
```

```
voltage_mon: [[ 0.          -65.          -65.21274834 ... -124.09993585  
 855.52203577 -65.          ]]  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... -113.35848091  
 891.20623236 -65.          ]]  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... -112.63618699  
 944.90232233 -65.          ]]  
...  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... -113.04129121  
 841.5428168 -65.          ]]  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... -94.66730048  
 882.82016128 -65.          ]]  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... -117.35233687  
 906.2227345 -65.          ]]] mV
```

- Simulation 과정에서 v 값을 출력해 확인한 결과 시뮬레이션 시간이 500ms 만큼 남았을 때 값이 순간적으로 증가함
 - input을 점점 증가하도록 변경한 경우에도 동일 현상 발생

```
voltage_mon: [[ 0.          -65.          -65.21274834 ... 898.20732771 -65.  
 898.20728786]  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... 930.15502597 -65.  
 930.15490881]  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... 984.05462054 -65.  
 985.05449431]  
...  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... 880.24841221 -65.  
 882.24829927]  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... 910.19853932 -65.  
 912.1983623 ]  
[ 0.          -65.          -65.21274834 ... 948.12089719 -65.  
 948.12078361]] mV
```

Discussion

