UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA (DEE)

[MOD-NEU07] Redes Neurais de Disparo Fotônicas (SNN) e Plasticidade STDP

Integração e Disparo Óptico (LIF) e Memória Não-Volátil em Materiais PCM

Prof. Marcelo Eduardo Vieira Segatto

LabTel — Laboratório de Telecomunicações | IN-Foton





Sumário do Módulo

1. Redes de Disparo de 3ª Geração

2. Plasticidade STDP com Materiais de Mudança de Fase

Neurônios de Integração e Disparo com Vazamento (LIF)

Dinâmica Sub-Limiar do Neurônio Fotônico LIF

Pulsos de fótons incidentes geram acúmulo de energia térmica ou portadores na cavidade:

$$\tau_m \frac{dv}{dt} = -(v - v_{\text{rest}}) + R_m I_{\text{phot}}(t)$$

- **Esparsidade Temporal:** O circuito dissipa energia exclusivamente quando emite um pico (*event-driven*);
- **Velocidade Ultrarrápida:** Pulsos com largura temporal de 10 a 100 ps, viabilizando frequências de disparo em regime de GHz.

Aprendizado Hebbiano Óptico Não-Volátil (STDP)

Regra de Aprendizado Dependente do Tempo de Disparo

A variação do peso sináptico depende da correlação temporal entre os pulsos:

$$\Delta w(\Delta t) = \begin{cases} A_+ \exp(-\Delta t/\tau_+) & \text{se } \Delta t > 0 \quad \text{(Potenciação)} \\ -A_- \exp(\Delta t/\tau_-) & \text{se } \Delta t < 0 \quad \text{(Depressão)} \end{cases}$$

Implementação Física com Células GST/PCM:

- Células de $Ge_2Sb_2Te_5$ (GST) depositadas sobre o guia de onda;
- Sobreposição óptica de pulsos pré e pós-sinápticos comuta o estado cristalino/amorfo da célula;
- Modifica permanentemente o índice complexo $\tilde{n} = n + jk$ sem consumir energia estática.

Síntese e Referências do Módulo [MOD-NEU07]

Obras Centrais de Consulta

- **Paul R. Prucnal & Bhavin J. Shastri (2017):** *Neuromorphic Photonics*, CRC Press / Taylor & Francis Group, ISBN 9781498725224.
- **Lorenzo Pavesi (2026):** *When Microring Resonators Behave Like Neurons*, Optics & Photonics News (Optica).
- **PNC 2027:** *XIV Winter School on Physical Neuromorphic Computing*, Università di Trento.

Continuidade da Trilha Formativa

Material didático coordenado pelo Prof. Marcelo Segatto para o Portal de Educação do IN-Foton.