

Kvantum Rezervoár Számítás

Készítette: Eszterbauer Márk

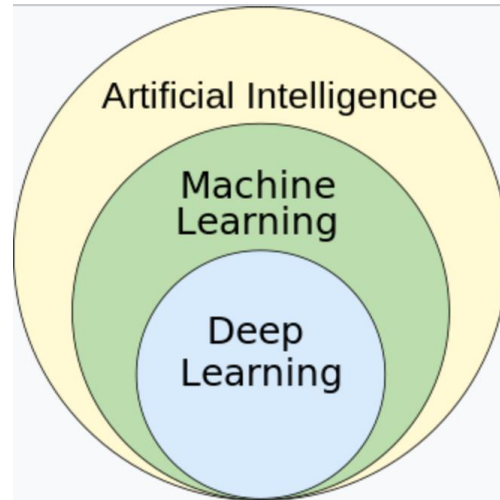
Tartalomjegyzék

- Mesterséges Intelligencia
- Mi az a rezervoár számítás
- Qubit és sűrűségmátrix
- Kvantum rezervoár számítás
- Szimuláció és eredmények

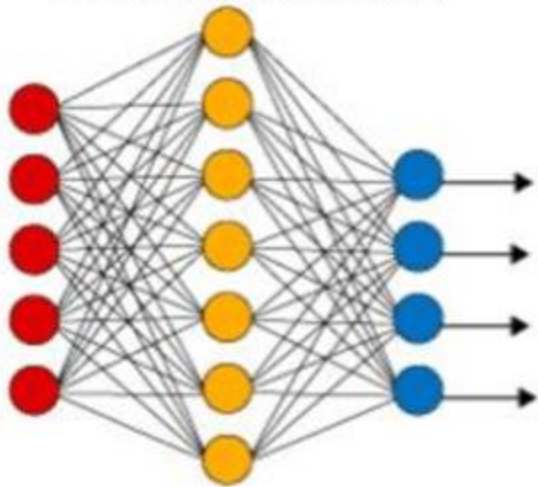
Mesterséges Intelligencia

- 3 hierarchiai szint:
 1. Mesterséges intelligencia
 - Döntéseket hoz
 2. Machine Learning
 - Struktúrált adathalmazra van szükség
 3. Deep Learning

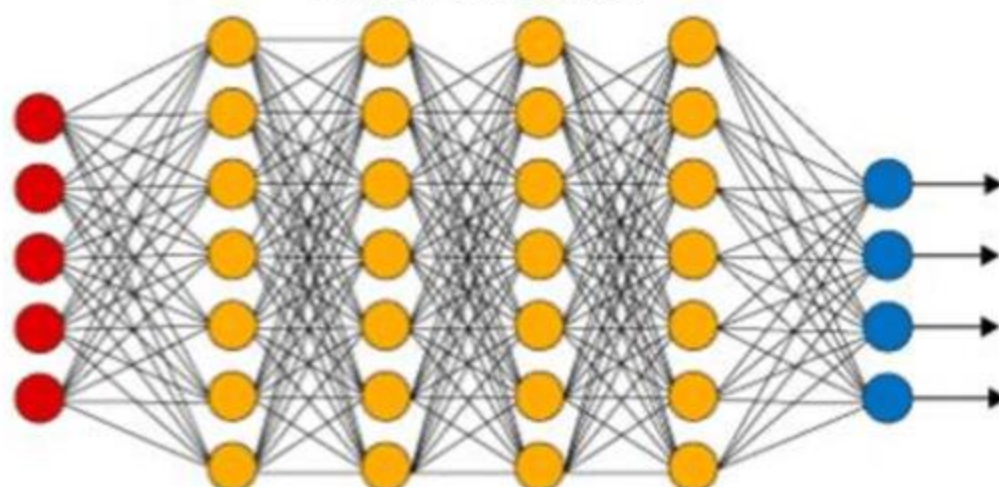
Mesterséges Intelligencia



Artificial Neural Network

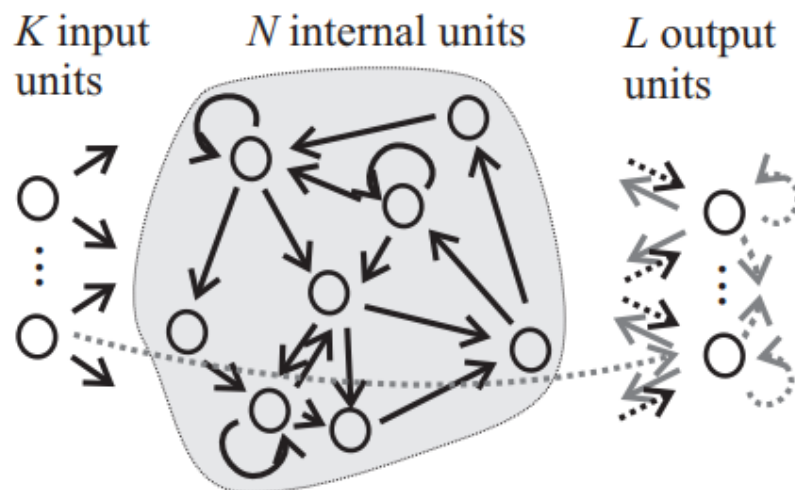


Deep Neural Network



Rezervoár számítás

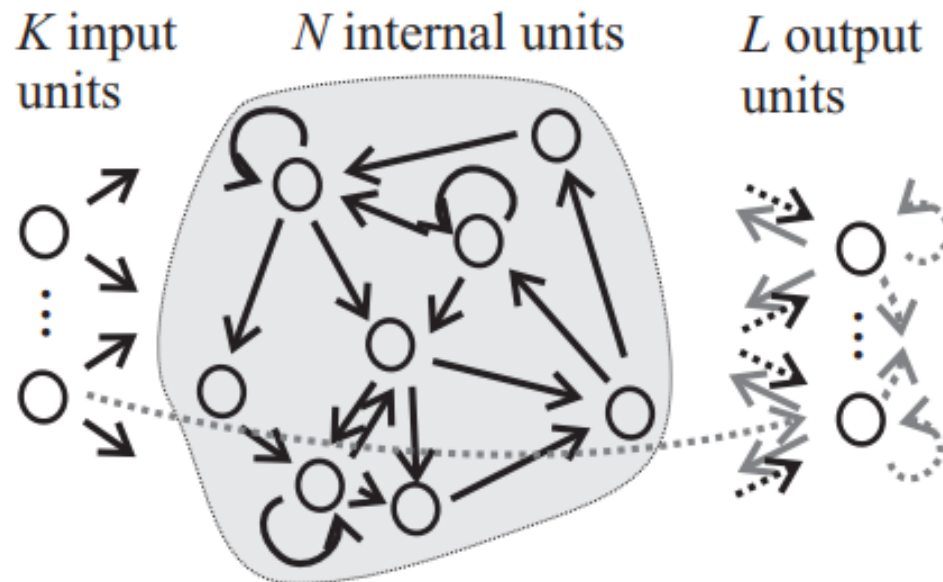
- Mély rétegeket kicseréljük egy nemlineárisan összekötött rendszerre (black box) amit fixálunk
- Csak az utolsó réteg súlyait optimalizáljuk
- Néhány neuronból olvasunk ki, és nem az összesből



Mi kell ahhoz, hogy működjön?

1. Eléggé nemlineáris legyen
2. Van memóriája

$$\mathbf{x}(n) = \mathbf{f}(W^{\text{in}}\mathbf{u}(n) + W\mathbf{x}(n-1))$$



Példa egy rezervoárra



- Nem lineáris (Navier-Stokes)
- Van memóriája

Példa egy rezervoárra



Fig. 1. The Liquid Brain.

Példa egy rezervoárra

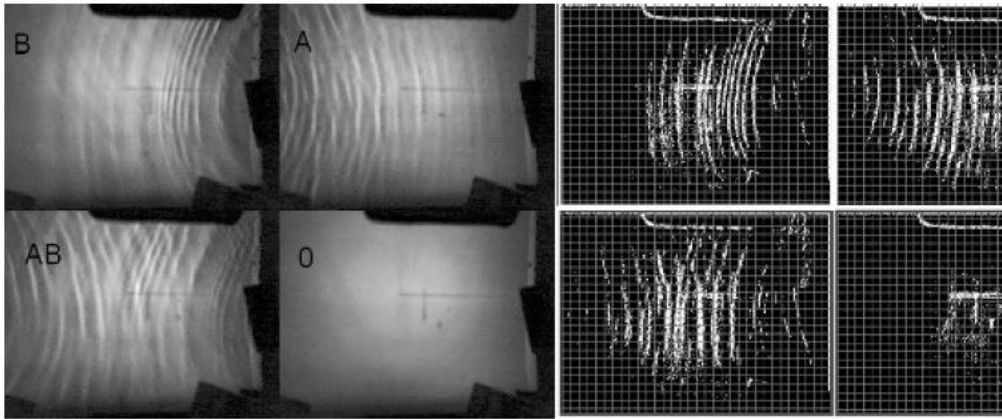


Fig. 3. Typical wave patterns for the XOR task. Top-Left: [0 1] (right motor on), Top-Right: [1 0] (left motor on), Bottom-Left: [1 1] (both motors on), Bottom-Right: [0 0] (still water). Sobel filtered and thresholded images on right.

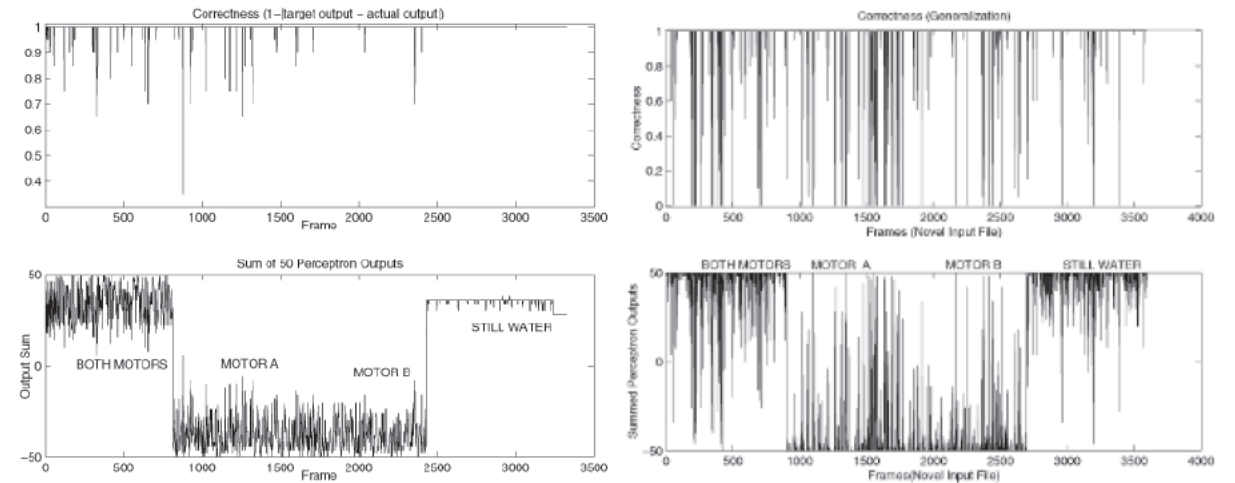
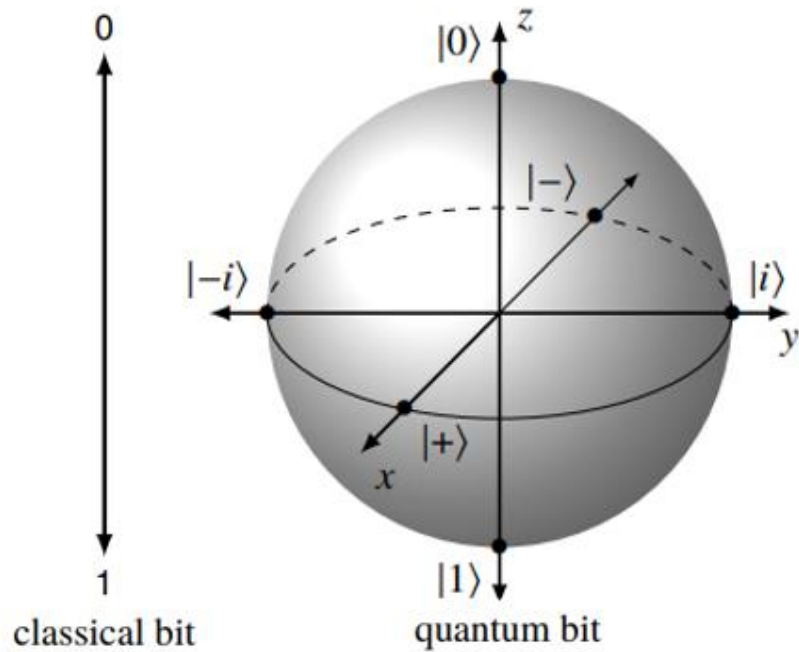


Fig. 5. Left : The summed outputs of the 50 perceptrons for the training data are shown in the bottom graph. Correctness in the top graph is defined as $(1 - \|\text{desired output} - \text{actual output}\|)$ of the perceptrons after being passed through a stepwise squashing function. The readout module classifies the “still” and “both motor” conditions as class 1 and the “motor a” and “motor b” conditions as class -1. Although some perceptrons make mistakes, taking an average allows perfect classification. Right : Generalisation although not perfect, still results in 85% of frames being classified correctly.

Rezervoár előnyei, és hátrányai

- Előnyök:
 - Nem számítás igényes
 - Olcsó
 - Analóg számítógépként is működik
- Hátrányok:
 - Sok adat kell
 - Van jobb alternatívája: Klasszikus neurális hálózat

Qubit



Egyenlítőnél: szuperpozíció

$$|\psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

$$|+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$$

$$|-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$$

$$|i\rangle = \frac{\sqrt{2}}{2}(|0\rangle + i|1\rangle)$$

$$|-i\rangle = \frac{\sqrt{2}}{2}(|0\rangle - i|1\rangle)$$

Két Qubit

$$|01\rangle = |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ 0 & \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \times 0 \\ 1 \times 1 \\ 0 \times 0 \\ 0 \times 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$|00\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad |01\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad |10\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad |11\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Sűrűségmátrix

- A gyakorlatban a sűrűségmátrixszal számolunk $\rho = \sum_j p_j |\psi_j\rangle \langle \psi_j|$
- Exponenciálisan nő az állapottér dimenziója

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi| = [a_0 \ a_1 \ a_2 \ \cdots \ a_{2^n-1}] \otimes \begin{bmatrix} \overline{a_0} \\ \overline{a_1} \\ \overline{a_2} \\ \vdots \\ \overline{a_{2^n-1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |a_0|^2 & a_1\overline{a_0} & a_2\overline{a_0} & \cdots & a_{2^n-1}\overline{a_0} \\ a_0\overline{a_1} & |a_1|^2 & a_2\overline{a_1} & \cdots & a_{2^n-1}\overline{a_1} \\ a_0\overline{a_2} & a_1\overline{a_2} & |a_2|^2 & \cdots & a_{2^n-1}\overline{a_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_0\overline{a_{2^n-1}} & a_1\overline{a_{2^n-1}} & a_2\overline{a_{2^n-1}} & \cdots & |a_{2^n-1}|^2 \end{bmatrix}$$

n db qubit sűrűségmátrixa

Kvantum rezervoár

- Lényegében csak kicseréljük a rezervoárt

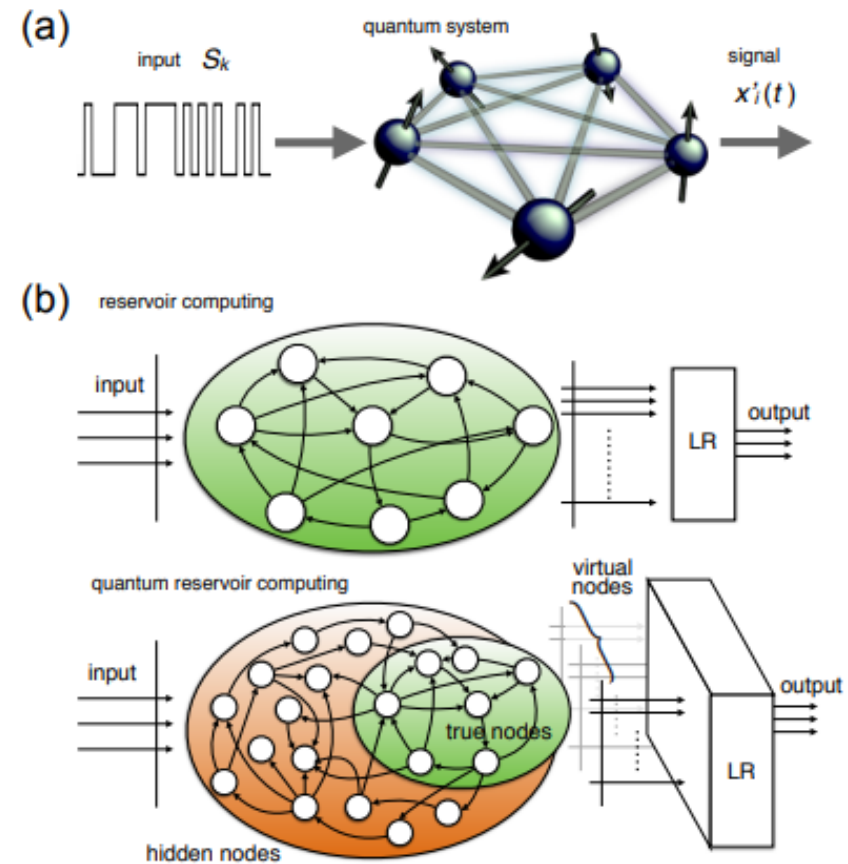


FIG. 1. Information processing scheme in QRC. (a) The input sequence $\{s_k\}$ is injected into the quantum system. The signal $x'_i(t)$ is obtained from each qubit. (b) Comparison between conventional (upper) and quantum (lower) reservoir computing approaches. Note that the circles in the QRC do not represent qubits, but the basis of the Hilbert space like the nodes in quantum walk [40, 48, 49]. The true nodes correspond to a subset of basis of the operator space that are directly monitored by the ensemble measurements. The hidden nodes correspond to the remaining degrees of freedom.

Szimuláció

- Hamilton operátor időfejlődését számoljuk
- Hamilton operátor ebben az esetben véletlen mátrix

$$\rho(t + \tau) = e^{-iH\tau} \rho(t) e^{iH\tau}$$

- Z Pauli operátort haddatjuk mindegyik qubitre
- A várható értékek meghatározásához feltételezzük, hogy van rengeteg ugyan ilyen rendszerünk. pl. NMR spin rdsz.

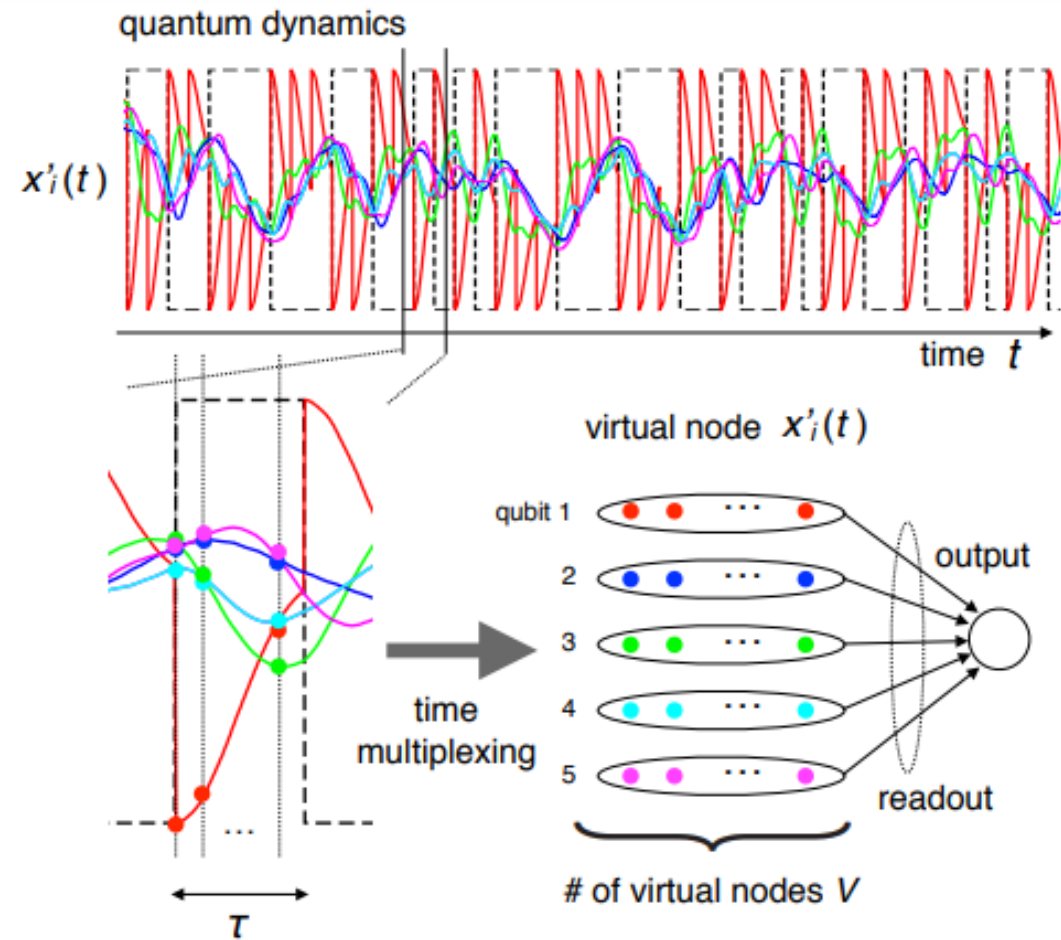
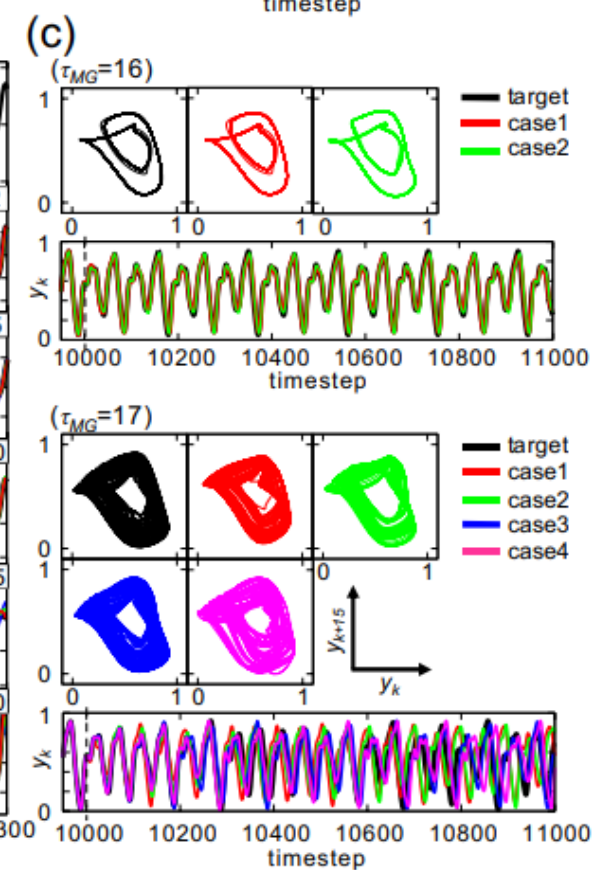
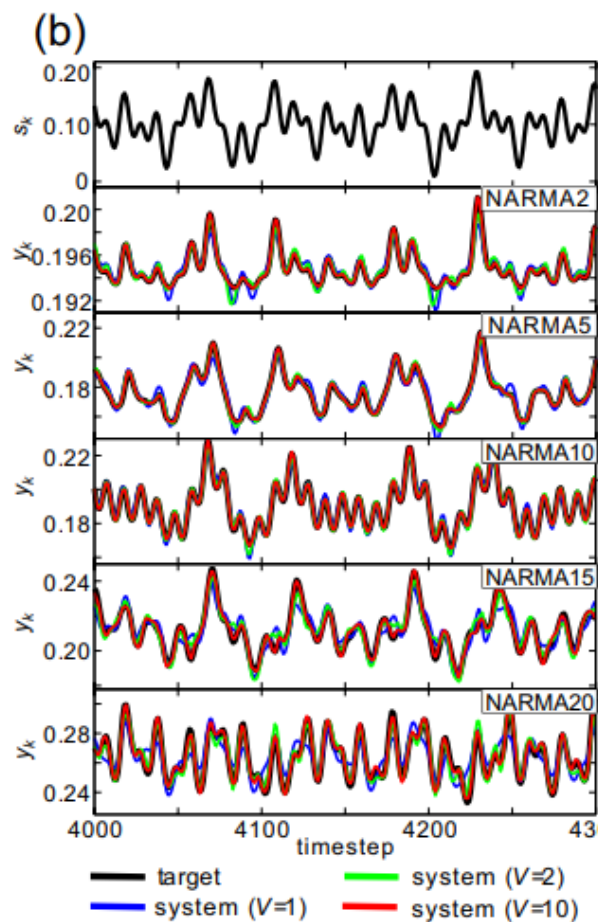
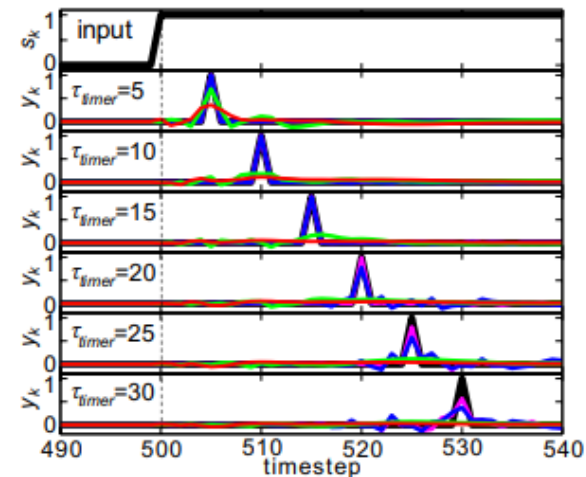
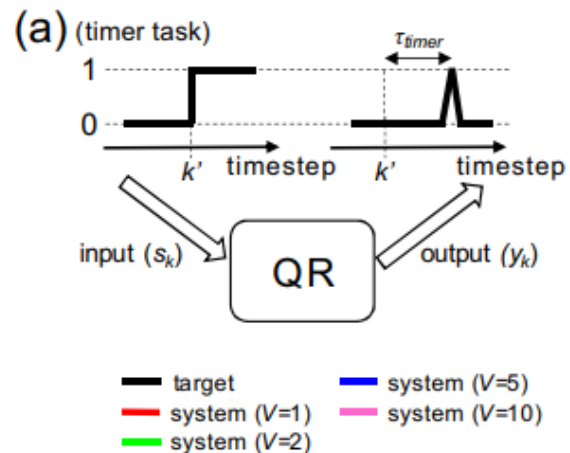
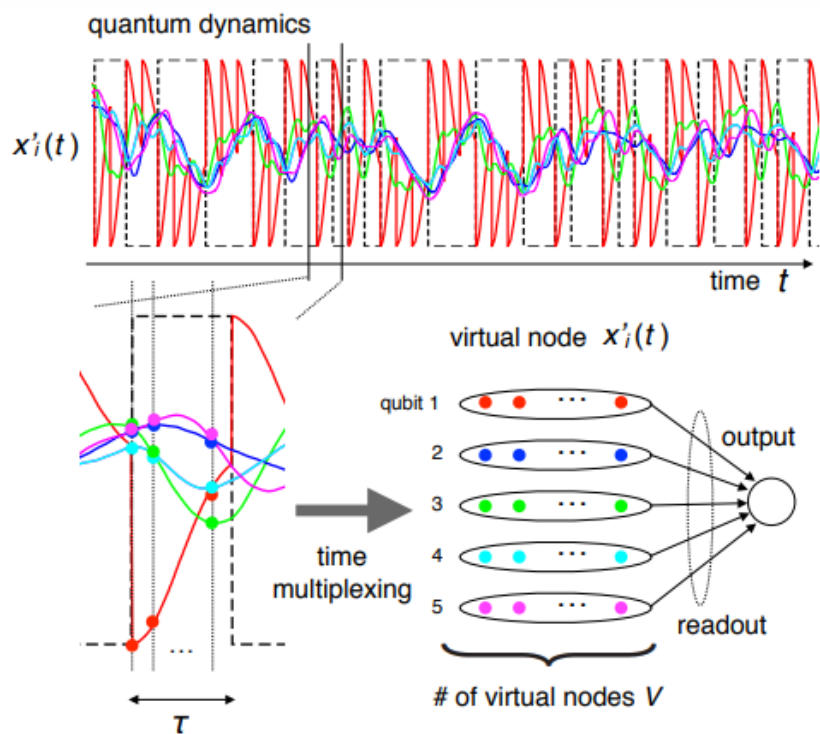


FIG. 3. Quantum reservoir dynamics and virtual nodes. The time interval τ is divided into V subdivided timesteps. At each subdivided timestep the signals are sampled. Using the NV signals as the computational nodes for each timestep k in the learning phase, the linear readout weights $\{w_i^{\text{LR}}\}$ are trained for a task.

Eredmények

V = Virtual Nodes Number



Jövő

- Ez a módszer nagyon nehezen megvalósítható (sok mérés stb.)
- Erre potenciális megoldás, hogy az információt máshogy visszük be, vagy nem mérünk
- Az exponenciális növekedés viszont kedvező

Források

- <https://www.ibm.com/blog/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks/>
- <https://www.nature.com/articles/nature14539>
- https://www.researchgate.net/publication/215385037_The_echo_state_approach_to_analysing_and_training_recurrent_neural_networks_with_an_erratum_note
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608019300784?via%3Dihub>

Források

- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-39432-7_63
- Robert S. Sutor: Dancing with Qubits: How quantum computing works and how it can change the world
- <https://arxiv.org/abs/1602.08159>