

# Le “Random Neural Network” (RNN): Réseau Neuronal Aléatoire

Erol Gelenbe

Intelligent Systems & Networks Group,  
Dept. of Electrical Engineering & Electronic Engineering,  
Imperial College, London SW7 2AZ, UK  
email: e.gelenbe@imperial.ac.uk

## PLAN DU COURS

- En montrant des exemples de mesures sur des neurones du cerveau où les suites de signaux observés présentent à la fois un comportement ponctuel et fortement discontinu mais d’amplitude quasi-constante, et un comportement aléatoire dans le temps, ce cours débutera par une brève présentation des attendus biologiques du RNN, le modèle de réseau neuronal aléatoire.
- C’est la justification biologique pour le modèle que nous avons proposé qui comprend des signaux ponctuels d’amplitude constante mais se produisant à des suites d’instantants aléatoires.
- Nous en développerons ensuite un modèle Markovien de l’état du système, représenté par le potentiel interne de chacune des cellules du réseau [1], [2].
- L’interconnexion entre les cellules sera représenté par leurs probabilités d’interconnexion par des signaux excitatoires (impulsions positives) et inhibitoires (impulsions négatives).
- Nous présenterons ensuite la mise en équation du modèle de réseau contenant  $n$  cellules, par ses “équations maîtresses” ou les équations de Chapman-Kolmogorov [3].
- Ceci débouchera alors sur le théorème fondamental qui établit que – même pour un système récurrent – la solution stationnaire du modèle est en forme produit: nous montrons que la distribution stationnaire exacte est le produit des distributions marginales des états de de chaque cellule.
- Par contre les solutions marginales s’obtiennent par un système équation non-linéaires de champs moyen que nous développerons en souignant l’existence et l’unicité de la solution et son calcul par une itération de point-fixe non-linéaire [4].
- Des généralisations seront soulignées pour des modèles ayant des classes multiples de signaux [5].
- On abordera alors la question d’apprentissage et, pour un RNN récurrent, nous exhibons un algorithme d’apprentissage de type “gradient” dont la complexité ne dépasse pas  $O(n^3)$ , où  $n$  est le nombre de cellules ou de neurones [4].
- Dans la cas particulier d’un réseau RNN non-récurrent, c’est-à-dire “feedforward”, nous montrerons que l’algorithme d’apprentissage de type “gradient” est de complexité  $O(n^2)$ .
- Plusieurs exemples pratiques de ces techniques seront ensuite développés: apprentissage de textures [6], reconnaissance d’anomalies de nature tumorale dans des images de résonance magnétique [7], autres applications de la détection d’anomalies [8], compression d’images [9], routage dans les réseaux à commutation par paquets [10], [11], [12], [13], optimisation combinatoire [14], simulation [15], [16], etc..
- La question de la puissance du modèle RNN sera aussi abordée et nous montrerons comment il agit en tant qu’outil d’approximation de fonctions continues et bornées [17].
- Ces résultats seront ensuite étendus à des techniques de “Deep Learning”, avec des exemples d’application.
- Nous soulignerons aussi quelques généralisations mathématiques qui ont mené à la théorie des “G-Networks” [18], [19], [20], [21], [22] et leurs applications aux réseaux de régulation génétique [23], aux énergies renouvelables [?].

## REFERENCES

- [1] E. Gelenbe, “Random neural networks with negative and positive signals and product form solution,” *Neural computation*, vol. 1, no. 4, pp. 502–510, 1989.
- [2] —, “Stability of the random neural network model,” *Neural computation*, vol. 2, no. 2, pp. 239–247, 1990.
- [3] E. Gelenbe and I. Mitrani, *Analysis and synthesis of computer systems*. World Scientific, 2010, vol. 4.
- [4] E. Gelenbe, “Learning in the recurrent random neural network,” *Neural Computation*, vol. 5, no. 1, pp. 154–164, 1993.
- [5] E. Gelenbe and J.-M. Fourneau, “Random neural networks with multiple classes of signals,” *Neural computation*, vol. 11, no. 4, pp. 953–963, 1999.
- [6] E. Gelenbe and K. F. Hussain, “Learning in the multiple class random neural network,” *Neural Networks, IEEE Transactions on*, vol. 13, no. 6, pp. 1257–1267, 2002.
- [7] E. Gelenbe, Y. Feng, and K. R. R. Krishnan, “Neural network methods for volumetric magnetic resonance imaging of the human brain,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 84, no. 10, pp. 1488–1496, 1996.
- [8] E. Gelenbe and T. Koçak, “Area-based results for mine detection,” *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 38, no. 1, pp. 12–24, 2000.

- [9] C. Cramer, E. Gelenbe, and H. Bakircioglu, "Low bit-rate video compression with neural networks and temporal subsampling," *Proceedings of the IEEE*, vol. 84, no. 10, pp. 1529–1543, 1996.
- [10] E. Gelenbe, R. Lent, and A. Nunez, "Self-aware networks and qos," *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 9, pp. 1478–1489, 2004.
- [11] E. Gelenbe, "Steps toward self-aware networks," *Communications of the ACM*, vol. 52, no. 7, pp. 66–75, 2009.
- [12] O. Brun, L. Wang, and E. Gelenbe, "Big data for autonomic intercontinental overlays," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 34, no. 3, pp. 575–583, 2016.
- [13] F. Francois and E. Gelenbe, "Towards a cognitive routing engine for software defined networks," *arXiv preprint arXiv:1602.00487*, 2016.
- [14] E. Gelenbe, V. Koubi, and F. Pekergin, "Dynamical random neural network approach to the traveling salesman problem," in *Systems, Man and Cybernetics, 1993.'Systems Engineering in the Service of Humans', Conference Proceedings., International Conference on.* IEEE, 1993, pp. 630–635.
- [15] E. Gelenbe, E. Şeref, and Z. Xu, "Simulation with learning agents," *Proceedings of the IEEE*, vol. 89, no. 2, pp. 148–157, 2001.
- [16] E. Gelenbe, K. Hussain, and V. Kaptan, "Simulating autonomous agents in augmented reality," *Journal of Systems and Software*, vol. 74, no. 3, pp. 255–268, 2005.
- [17] E. Gelenbe, Z.-H. Mao, and Y.-D. Li, "Function approximation with spiked random networks," *Neural Networks, IEEE Transactions on*, vol. 10, no. 1, pp. 3–9, 1999.
- [18] E. Gelenbe, P. Glynn, and K. Sigman, "Queues with negative arrivals," *Journal of applied probability*, pp. 245–250, 1991.
- [19] E. Gelenbe, "G-networks with triggered customer movement," *Journal of Applied Probability*, pp. 742–748, 1993.
- [20] J.-M. Fourneau, E. Gelenbe, and R. Suros, "G-networks with multiple classes of negative and positive customers," *Theoretical Computer Science*, vol. 155, no. 1, pp. 141–156, 1996.
- [21] E. Gelenbe, "G-networks: a unifying model for neural and queueing networks," *Annals of Operations Research*, vol. 48, no. 5, pp. 433–461, 1994.
- [22] —, "Search in unknown random environments," *Physical Review E*, vol. 82, no. 6, p. 061112, 2010.
- [23] —, "Steady-state solution of probabilistic gene regulatory networks," *Physical Review E*, vol. 76, no. 3, p. 031903, 2007.
- [24] E. Gelenbe and E. T. Ceran, "Energy packet networks with energy harvesting," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1321–1331, 2016.