

Chartrer Samuel

Kemmoun Victor

Rapport de Neurosciences Computationnelles:

Predictive coding in the visual cortex: a
functional interpretation of some extra-classical
receptive-field effects

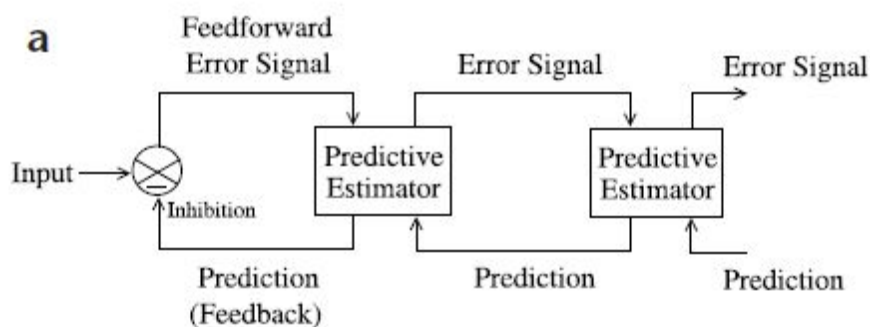
Article de Rajesh P. N. Rao and Dana H. Ballard

Introduction

Dans le cortex visuel, la réponse de neurones qui sont activés par la détection de lignes diminue fortement, voir disparaît lorsque ces lignes débordent de leurs champs récepteurs, on parle de comportement de terminaison (“endstopping”). D’après certaines hypothèses cela pourrait vouloir dire qu’ils détectent les fins de lignes, les coins ou les discontinuités, mais l’existence de tels comportement dans d’autres régions du cerveau est plus compliqué à expliquer.

Rao et Ballard ont supposé que ce comportement pourrait s’expliquer par un codage prédictif des images naturelles, les neurones seraient entraînés par les images naturelles à reconnaître les régularités dans les images qu’ils perçoivent, et ne s’activent que pour signaler les irrégularités aux neurones de plus haut niveau. Ce comportement permet au réseau de gagner en efficacité car l’information superflue est réduite, en effet, seul ce qui est imprévisible est transmis.

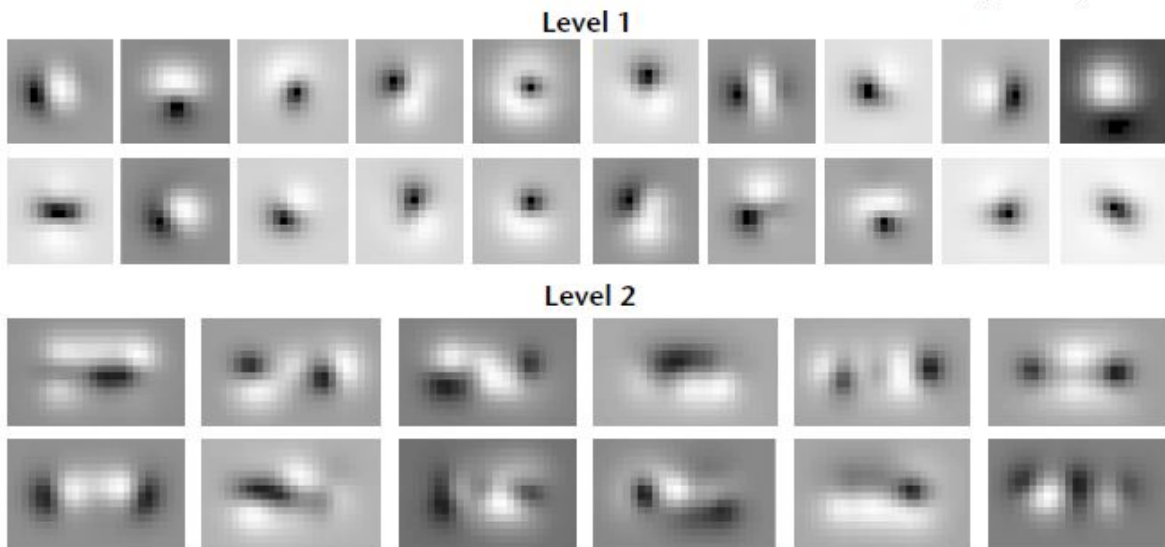
A partir de ces hypothèses, on peut construire un réseau de neurones, où chaque neurone agit comme un détecteur d’erreur entre ce qui a été prédit et ce qu’il a observé. En pratique, chaque neurone reçoit une prédiction de son observation effectuée par les couches supérieures et ne renvoie que la différence entre l’observation réelle et la prédiction. Ce résultat est alors utilisé pour modifier la prédiction des couches supérieures. Par itérations de prédictions - corrections, on construit ainsi un réseau neuronal où chaque niveau prédit la structure de l’image à une échelle spatiale de plus en plus élevée.



la structure du réseau neuronal modèle.

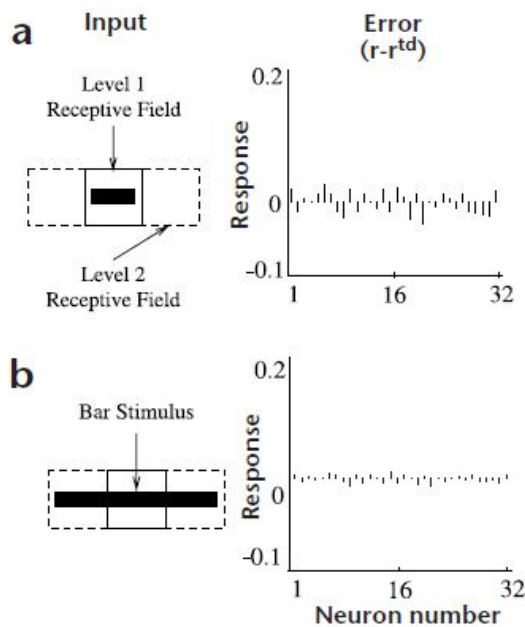
Résultats

Pour tester cette hypothèse, un réseau de neurones constitué de trois couches a été entraîné sur des images naturelles et les images que les différents neurones ont prédit ont été enregistrées. Dans ce cas, le champ récepteur de chaque neurone a été simulé grâce à un système de fenêtres gaussiennes, mais il est également possible de ne pas effectuer cette étape comme Rao et Ballard l’ont fait dans une expérience suivante, le réseau apprend alors des champs récepteurs localisés.



Composantes reconnues (prédites) par les niveaux par les niveaux 1 et 2 (2 et 3)

Les neurones de la deuxième couche prédisent ce qui ressemble à des lignes orientées (c'est donc ce que détectent les neurones de la première couche), et les neurones de la troisième couche prédisent une combinaison de ces lignes orientées. Certains de ces neurones ont présenté des comportements de terminaison ou du même type.

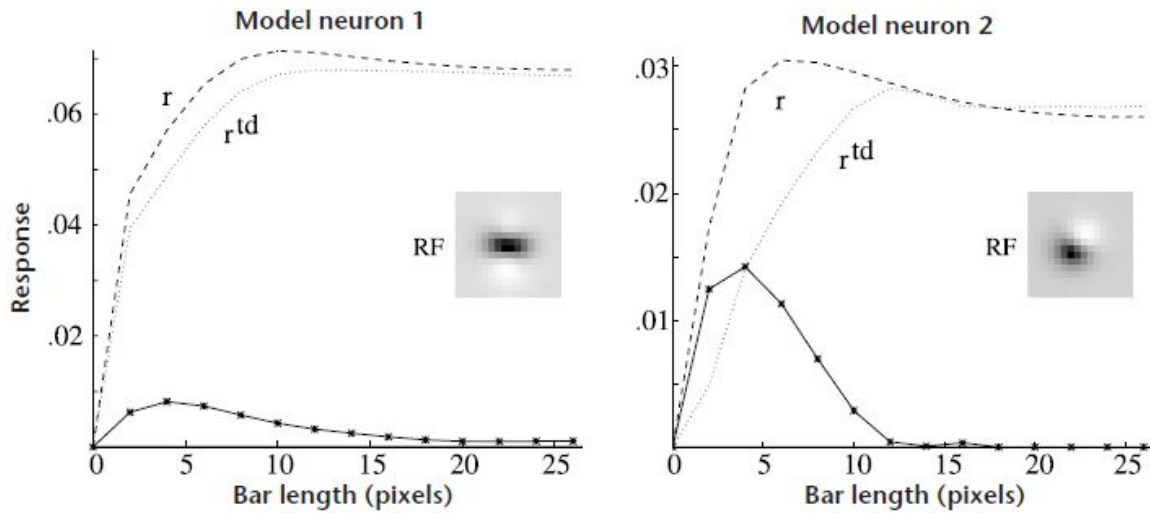


Pour vérifier si le comportement de ces neurones correspond bien à des détecteurs d'erreurs par rapports à une prédiction, leurs réponses à différents stimuli a été enregistré. Lorsqu'ils sont exposés à des barres qui ne sortent pas de leurs champs récepteurs, les neurones montrent une activité non nulle, mais lorsque ces barres dépassent des champs récepteurs l'activité est quasiment nulle. Étant entraîné sur des images naturelles, le réseau de neurone n'est pas capable de prédire les barres courtes qui ne se produisent que très rarement dans les images naturelles, ce qui provoque les fortes réponses observées dans le premier cas, alors qu'un longueur excédant la taille du champ récepteur permet aux neurones des couches supérieures de mieux prédire ces barres.

L'existence de continuité de direction à longue distance dans les images naturelles a été démontrée en calculant la corrélation de l'énergie locale orientée en fonction de la distance.

Lorsque la prédiction des couches supérieures est désactivée, les neurones arrêtent de montrer ce comportement de terminaison lorsqu'ils sont confrontés aux barres qu'ils reconnaissent. C'est donc bien le codage prédictif qui est à l'origine de l'effet de terminaison de ces neurones dans ce modèle. La disparition des comportement de terminaison chez les

animaux quand les aires visuelles supérieures sont médicalement désactivées a été constaté expérimentalement.



Réponse de 2 neurones à des barres de tailles différentes avec (points)/ sans (tirets) prédictions

Un modèle similaire a été testé avec comme stimuli des grilles orientées et le comportement de terminaison y a également été retrouvé, de manière similaire à ce qui a été observé expérimentalement dans le cortex visuel primaire. En effet la réponse des neurones à une grille orientée a été réduite de 85% lorsqu'une grille orientée selon la même direction a été introduite dans le voisinage du champ récepteur du neurone, quand l'introduction d'une grille orientée selon une autre direction a augmenté cette réponse de 19%

Conclusion

Les simulations de Rao et Ballard montrent que ces effets induits par des données en dehors du champ récepteur classique des neurones peuvent être expliqués grâce à une structure hiérarchique et un codage prédictif dans le cortex. Les neurones peuvent alors être interprétés comme des détecteurs d'erreur qui signalent les déviations entre les observations et les prédictions des neurones des couches supérieures, en particulier les couches 2 et 3. Ces prédictions étant effectuées à des échelles spatiales plus grandes au fur et à mesure des couches, les neurones sont alors capables de prédire le centre d'une zone observée à partir de son environnement direct. Ce comportement ressemble au codage prédictif déjà trouvé dans d'autres parties du système visuel comme la rétine ou le corps géniculé latéral.

Les méthodes utilisées pour stimuler le comportement de terminaison de ces neurones visuels artificiels pourraient être des pistes pour découvrir d'autres effets non classiques des champs récepteurs dans les neurones réels en fabriquant sur mesure des stimuli qui tranchent radicalement avec les caractéristiques des images naturelles.

Ce modèle de codage prédictif n'entre pas en contradiction avec les modèles qui expliquent l'effet de terminaison par des interactions neuronales au sein de la même couche, le réseau peut même être modifié pour prendre ces interactions en compte.

Il existe d'autres effets, pour lesquels les neurones voient leurs réponses amplifiées plutôt qu'inhibées. Rao et Ballard suggèrent que ces effets pourraient également s'expliquer par un codage prédictif, et que des populations de neurones de terminaison et d'amplification pourraient cohabiter.