Stefan Leutgeb, Ph.D.

Professor of Neurobiology

University of California San Diego

Born in 1969 in Wels, Austria
Studied Biology at Paris Lodron University Salzburg, Psychology at Bowling Green State University, and Neuroscience at the University of Utah

ARBEITSVORHABEN

Neural Computations in Real Brains and in Artificial Systems

Although neural computations are the cornerstone of both neuroscience and artificial intelligence, the biological foundations of how large populations of neurons perform computations in the brain are only beginning to be revealed. Among the approaches to identify the underpinnings of neural computations, the brain's navigation system provides particularly intriguing access. Although brain regions that support navigation, such as the hippocampus and entorhinal cortex, are removed from sensory inputs and motor outputs by multiple processing stages, neuronal activity patterns emerge in these brain regions that correspond to readily identifiable physical locations in the real world. Collectively, the activity patterns of single neurons therefore form a map-like representation of the natural world. Although moderately complex computational models can readily reproduce this phenomenon, it remains unclear how closely the models capture the key computations in a critical set of connections between neurons that perform these computations in real brains. The work that is proposed here will first review successful case studies – including from invertebrate models – that have identified brain circuits for spatial navigation and underlying computations. We will then take a comprehensive approach to ask whether these studies can be extrapolated to increasingly more complex systems or whether we need to rethink how neural computations can be identified once large populations of neurons are connected across multiple brain regions. Although our thinking will be grounded in biological systems, it will also consider approaches from a broad range of disciplines, such as the visual arts, social sciences (e.g., geography), economics, and computer science.

Recommended Reading

Leutgeb, Stefan, Jill K. Leutgeb, Carol A. Barnes, Edvard I. Moser, Bruce L. McNaughton, and May-Britt Moser (2005). "Independent Codes for Spatial and Episodic Memory in Hippocampal Neuronal Ensembles." Science 309: 619–623. https://doi.org/10.1126/science.1114037.
Koenig, Julie, Ashley N. Linder, Jill K. Leutgeb, and Stefan Leutgeb (2011). "The Spatial Periodicity of Grid Cells Is Not Sustained during Reduced Theta Oscillations." Science 332: 592–595. https://doi.org/10.1126/science.1201685.
Quirk, Clare R., Ipshita Zutshi, Sunandha Srikanth, Maylin L. Fu, Naomie Devico Marciano, Morgan K. Wright, Darian F. Parsey, et al. (2021). "Precisely Timed Theta Oscillations Are Selectively Required during the Encoding Phase of Memory." Nature Neuroscience 24: 1614–1627. https://doi.org/10.1038/s41593-021-00919-0.

DIENSTAGSKOLLOQUIUM, 31.10.2023

Das Navigationssystem des Gehirns und seine Simulation in künstlichen neuronalen Netzen

Um von Punkt A nach Punkt B zu gelangen und sich in komplexen Umgebungen zu orientieren, verwendet man heute oft spezialisierte Software und Geräte, aber dies ist natürlich eine kognitive Fähigkeit, die seit Millionen von Jahren für das Überleben jeder Tierart, einschließlich des Menschen, unerlässlich ist. Es überrascht nicht, dass diese Berechnungen von Organismen mit einem breiten Spektrum an Gehirngröße und -komplexität mit Leichtigkeit durchgeführt werden, aber wie? Hier beginnen wir mit einem Blick auf die Bausteine des Gehirns und auf einfache Schaltpläne, die auch der Grundriss für künstliche neuronale Netze sind. Mit einem Verständnis der grundlegenden Komponenten werfen wir dann einen kurzen Blick auf die Frage nach der Größe des Gehirns und darauf, inwieweit neuronale Netze durch einfaches Hinzufügen von Gehirnzellen nach oben wachsen können. In diesem Zusammenhang ist es interessant, dass die zunehmenden Leistungen der künstlichen Intelligenz nicht auf ein Mehr zusätzlicher Komplexität zurückzuführen sind, sondern vor allem auf die zunehmende Größe der Netzwerke. Dies führt uns zu der Frage, ob zunehmende Komplexität im Gehirn nicht nur in der Anzahl der Elemente, sondern auch in der Netzwerkarchitektur entscheidend für eine höhere Intelligenz ist. Die Schaltkreise des Gehirns, die die Navigation unterstützen, können als Beispiel für diese Überlegungen dienen, weil sie sich an der Spitze von hierarchisch gestapelten Schichten befinden – viele Ebenen entfernt von sensorischem Input und motorischem Output. Dies könnte uns zu der Annahme leiten, dass unser Verständnis des Systems nicht bei der obersten Schicht beginnen sollte, sondern dass wir zuerst herausfinden sollten, wie Informationen in den Zwischenstufen berechnet werden. Aber auch ohne ein Verständnis der Berechnungen in den Zwischenstufen können wir eine Reihe von überraschend einfachen Beobachtungen in den komplexen obersten Schichten machen. Wir können zum Beispiel einzelne Zellen erkennen, die hochaktiv sind, wenn Tiere ihren Kopf in eine bestimmte Richtung wenden, oder andere, die hochaktiv sind, wenn Tiere einen bestimmten Ort im Raum einnehmen. Darüber hinaus gibt es noch abstraktere Aktivitätsmuster, wie z.B. solche, die scheinbar dem Koordinatensystem einer Landkarte entsprechen. Letzteres ist besonders bemerkenswert, weil es uns erlaubt, ein kognitives Konstrukt direkt zu beobachten, für das es keine offensichtliche direkte Entsprechung in der Umwelt gibt – zumindest nicht, bis Kartographen mit der Verwendung von Koordinatensystemen begonnen haben. Trotz dieser Einblicke in das Gehirn gibt es immer noch eine große Lücke in unserem Verständnis der Funktionsweise des Gehirns und ob sie von einer höheren Anzahl von Nervenzellen, von komplexer Anatomie oder von neu entstehenden Aktivitätsmustern abhängt. Wenn wir die Berechnungen des Gehirns besser verstehen würden, könnten wir diese Erkenntnisse vielleicht nutzen, um künstliche Systeme noch intelligenter zu machen. Einige dieser Fragen können an der Schnittstelle von Neurowissenschaften und Informatik beantwortet werden, und Navigationssysteme könnten besonders nützlich sein, um wichtige Einsichten zu schaffen.

PUBLIKATIONEN AUS DER FELLOWBIBLIOTHEK

Leutgeb, Stefan (New York, NY,2021)

Precisely timed theta oscillations are selectively required during the encoding phase of memory

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1853688436

Leutgeb, Stefan (New York, NY Nature America,2018)

Dentate network activity is necessary for spatial working memory by supporting CA3 sharp-wave ripple generation and prospective firing of CA3 neurons

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1853690090

Leutgeb, Stefan (Washington, DC,2012)

Neuronal code for extended time in the hippocampus

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=1853066427

Leutgeb, Stefan (Washington, DC,2007)

Pattern separation in the dentate gyrus and CA3 of the hippocampus

https://kxp.k10plus.de/DB=9.663/PPNSET?PPN=185306548X