

ES IST DIE LÄNGE

Signalverarbeitung und Speicherung
in Neuronalen Netzen

Hans Gysin

OPTIMUS

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Gysin, Hans:

ES IST DIE LÄNGE - Signalverarbeitung und Speicherung in Neuronalen Netzen

ISBN 978-3-86376-080-9

Alle Rechte vorbehalten

1. Auflage 2014

© Optimus Verlag, Göttingen

URL: www.optimus-verlag.de

Printed in Germany

Papier ist FSC zertifiziert (holzfrei, chlorfrei und säurefrei,
sowie alterungsbeständig nach ANSI 3948 und ISO 9706)

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes in Deutschland ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Inhaltsverzeichnis

Einleitende Gedanken	1
Zusammenfassungen der einzelnen Kapitel	15
1 Das GYMY – assoziativ, holographisch, robust	27
2 Sequenzielles Speichern im GYMY	39
3 Digitalisieren als Prinzip, nicht als Trend	53
4 Das Geheimnis des GYMY	65
5 Speichern mit Spike Trains.....	85
6 Die 4. Generation KNN sind GNN, Prinzip und Beispiel	93
7 Mehrlagige GYMYs.....	111
8 Ausgabe aus einem GYMY.....	125
9 Fazit	135
10 Laut gedacht	145

Einleitende Gedanken

Anlass für meine Arbeiten

Die 80er Jahre des letzten Jahrhunderts gingen schon bald in die Endrunde, als der Amerikaner David E. Rumelhart und seine Kollegen durch die Veröffentlichung ihres Backpropagation-Algorithmus den Künstlichen Neuronalen Netzen KNN zu einer Art Durchbruch verhelfen. Oder sollte ich besser sagen, wieder neues Leben einhauchten? Die Theorien und Vorschläge zu diesen KNN gehen nämlich auf die 50er und 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts zurück, als namhafte Forscher auf Grund der Erkenntnisse der damaligen Hirnforschung Modelle entwickelten, die bestimmte Eigenschaften der Gehirne von Lebewesen für die Technik nutzbar machen konnten. Künstliche Neuronale Netze KNN sind somit den biologischen Nervennetzen nachgebaute Netze aus künstlichen Neuronen, die für ihre Aufgabe trainiert werden müssen und eben dieses Training wurde durch die Arbeit von Rumelhart und seinen Kollegen erst brauchbar ermöglicht.

Mit Ihrem Gradientenverfahren werden KNN auf einen minimalen Fehler für ihre gewünschte Funktion trainiert. Leider hat dieses Training seine Tücken und es ist äusserst heikel, vor allem grössere Netze mit komplexeren Aufgaben effizient zu finden und damit ihre Struktur und ihre Synapsengewichte, denn um diese geht es schlussendlich, zu bestimmen. Dieses Training ist bei komplexeren Netzwerken nicht einfach und benötigt für einen minimalen Fehler, wenn man ihn überhaupt findet, unter Umständen hunderttausende oder gar Millionen von Trainingsdurchläufen. Weitere heikle Aspekte sind einerseits das Setzen der Synapsengewichte am Anfang des Trainings, also die Definition der Anfangsbedingungen, und andererseits die Problematik der Ergänzung eines Netzes. Es ist kaum möglich ein Netzwerk in situ, also während seines Arbeitens zu trainieren, ja es ist sogar kaum möglich ein Netzwerk mit neuen Informationen zu trainieren, ohne die bereits bestehende Information in

den Trainingsprozess mit einzubeziehen.

Eine Programmierung dieser Netzwerkfunktion, also das Lernen der Funktion durch das Festlegen der Synapsengewichte in nur einem Schritt, würde die Bedeutung der KNN stark verbessern und käme auch der Natur wesentlich näher. Kann dann auch noch die laufende Erfahrung des Netzwerkes ergänzend integriert werden, wird die Situation beinahe perfekt. Denkbar ist es, denn ein solches Neuronen-Netzwerk ist lediglich ein spezieller Codewandler.

Wenn man sich überlegt, dass zu einer bestimmten Aufgabe, das heisst zu bestimmten Ein- und Ausgabewerten, eine Übertragungsfunktion im Sinne eines trainierten KNN's gefunden werden kann, dann muss es auch möglich sein, mit einer entsprechenden Vorschrift und mit diesen Daten das gleiche Netz mit den gleichen Funktionen direkt zu definieren, also zu programmieren. Mit einer solchen Programmierung des KNN's kann man sich einerseits die hunderttausenden bis Millionen von Trainingsschritten sparen und andererseits der Unsicherheit aus dem Weg gehen, überhaupt eine Netzstruktur mit einem sehr kleinen Fehler zu finden.

Dieser spezielle Codewandler muss als KNN die Eigenschaft besitzen, neben den vorgesehenen Eingangsinformationen auch fehlerhafte Eingangsinformationen oder Teile davon in die identische, zugehörige und vorgegebene Ausgangsinformation umzuwandeln. Ein solches KNN ist also auch ein Assoziativ-Speicher.

Dieser Gedanke liess mich nicht mehr los und die eigenen Erfahrungen mit harzigen und aufwendigen Trainings bei meinen ersten Arbeiten mit neuronalen Netzen Anfang der 90er Jahre motivierten mich lange Zeit zur Suche nach diesem Programmier-Algorithmus. Immer tiefer geriet ich dabei in die Problematik der Signalverarbeitung in künstlichen wie auch biologischen Neuronen-Netzen hinein.

Die Analyse der Synapsengewichte trainierter Netzwerke brachte absolut keine Erkenntnis. Die Dimensionen und Datenmengen der Synapsengewichte waren zu gross, um vernünftige Korrelationen zu den Ein- und Ausgabedaten zu finden. Bei den Theorien zu KNN's gab es ebenfalls keine Hinweise in dieser Richtung und bei den Hirnforschern existierte lediglich ein umfangreiches Wissen über die Funktion der Neuronen

selbst, also die untere Ebene der Signalverarbeitung und über das Verhalten grösserer Hirnareale, also die obere Ebene der Signalverarbeitung. Dazwischen, und das wäre für mich interessant gewesen, herrschte und herrscht auch heute noch in Bezug auf erklärende Informationen gähnende Leere. Nicht bei den Nervensystemen natürlich, sondern beim Wissen um die Signalverarbeitung in den als mittlere Ebene des Gehirns bezeichneten Neuronen-Netzen.

Führende Neurowissenschaftler haben das Wissen zu dieser mittleren Ebene auch schon so kommentiert: "... wissen wir noch erschreckend wenig ...", oder "... befinden wir uns noch auf dem Niveau von Jägern und Sammlern ..." usw.

Ich habe mich also jahrelang mit immer gleichen Vorstellungen, Überlegungen, Skizzen und Simulationsversuchen zu einem scheinbar unlösbaren Problem beschäftigt, um dann endlich erste Resultate zur Funktion der Speicherung von Signalen in Neuronen-Netzen zu haben. Mit einfachen Simulationen konnte ich vor Jahren einen Speichermechanismus aufzeigen, der Eigenschaften wie in Neuronen-Netzen hat. Mir wurde dabei klar, dass nur das Verständnis der Signalverarbeitung in Neuronen-Netzen zu der gesuchten "Programmierung von KNN" führte. Der gefundene Speicher- und Auslesevorgang war mir noch zu wenig attraktiv und ich habe deshalb diese Vorgänge immer weiterentwickelt und ihre Eigenschaften immer mehr an die Eigenschaften von natürlichen Neuronen-Netzen angelehnt. Mit dem Einbinden von digitalisierten Signalen und sequenzieller Mehrfachspeicherung im gleichen Speicherbereich konnte ich dann endlich hirntypisches Verhalten in einfachen Simulationen zeigen. Anfänglich waren die Simulationen dieser Speicher- und Auslesevorgänge für mich reine Verifizierungen bekannter neuronaler Verhaltensmuster. Dann habe ich begriffen, wie ein solcher Speicher wirklich aufgebaut ist und wie diese Vorgänge funktionieren. Dies hat mir ermöglicht, auch die mehrlagigen Netzwerke zu verstehen und den Grund für die Mehrlagigkeit zu erfahren. Das schwierigste Problem, die Übertragungsfunktion des Netzwerkes, das heisst den Zusammenhang zwischen den Input-Signalen und den zugehörigen Aktionen am Ausgang des Netzwerkes aufzuzeigen, war dann die abschliessende Arbeit oder das abschliessende Verstehen der Vorgänge bei der Signalverarbeitung in Neuronen-Netzen.

Meine Arbeiten beschränken sich allerdings auf die Grundstruktur dieser Signalverarbeitung und Speicherung in begrenzten, um nicht zu sagen lokalen Netzwerken. Werden einerseits noch die umfangreichen Rückkopplungsmöglichkeiten und Zusammenschaltungen ganzer Netzwerkverbände oder auch die äusseren lokalen oder grossflächigen Beeinflussungen der Netze oder die Veränderung der Netze mit einbezogen, öffnen sich noch einmal fast unvorstellbare Vorgänge und Zusammenhänge, die sich bei den biologischen Neuronen-Netzen zum Beispiel durch Koma, Schlaf und Traum oder Stress und Schock bemerkbar machen. Die Signalverarbeitung wird dort nicht wesentlich anders verlaufen, aber die veränderten Strukturen aktiver Areale und die speziellen Input-Signale werden zusammen mit eventuell verändertem Signalverhalten doch zu völlig anderen Reaktionen führen.

Überlegungen zu holographischen Speichern

Hologramme sind etwas Faszinierendes. Es sind physikalisch-technische Gebilde, die nie wirklich erklärt werden, obwohl ihre Funktion, Bilder dreidimensional zu rekonstruieren, eindeutig sichtbar ist. Trotz der jahrzehntealten Entdeckung werden auch heute noch populärwissenschaftliche und vor allem effekthaschende Beiträge gerne mit Hologrammen in Verbindung gebracht. Sie haben eben etwas Mystisches an sich, diese Hologramme. "Das ganze Universum ist ein Hologramm" habe ich als Titelbeitrag in einer renommierten Wissenschaftszeitschrift gelesen. Das trifft insofern zu, dass man sich unter dem Universum etwa gleich viel vorstellen kann wie unter einem Hologramm: vordergründig alles, im Detail nichts.

Hologramme haben die verblüffende Eigenschaft, mit einem Teil der abgespeicherten Information, üblicherweise die Referenzwelle oder der Referenzstrahl, die gesamte abgespeicherte Information als Bildrekonstruktion wieder auszugeben. Sie sind also assoziativ, indem sie mit einem Teil der gespeicherten Information – denn die Referenzwelle ist auch Information – die gesamte oder weitere Teile der gespeicherten Information rekonstruieren. Hologramme sind zudem auch ein äusserst "robuster" Speicher von Informationen. Eine Teilbeschädigung des Speichers kann die Substanz seiner abgespeicherten Information kaum gefährden. Man kann sogar ein Hologramm in der Mitte brechen und dennoch ist auf bei-

den Teilen jeweils noch das ganze Bild sichtbar.

Kurz gesagt: Hologramme sind robuste Assoziativ-Speicher. Eigenschaften, die unser Gehirn ebenfalls hat und die als wesentliche Eigenschaften eingestuft werden müssen. Hologramme verschmieren die Objektinformation beim Speichern so über die ganze Fläche und damit über den vorgegebenen Speicherbereich, dass alles irgendwie überall gespeichert scheint. Ein Speicherplatz oder eine Speicheradresse sind Begriffe, die deshalb beim Hologramm keinen Sinn machen. Ein Teilverlust des Hologramms durch Beschädigung oder Abgrenzung erlaubt trotzdem noch die Rekonstruktion des gesamten Objektes, wenn auch etwas weniger scharf.

Schon lange weiss man, dass Informationen im Gehirn ebenfalls über grosse Bereiche verteilt abgespeichert sind und der Verlust einzelner Speicherzellen, in diesem Falle Neuronen, keine Beeinträchtigung der Gedächtnisleistung zur Folge hat und auch keine Funktionsstörungen wie etwa ein Fehlverhalten der Motorik oder anderer Funktionen.

Einen wichtigen Unterschied zu einem biologischen Neuronen-Netz muss man allerdings noch erwähnen. Für die Rekonstruktion des Bildes braucht es beim Hologramm den Referenzstrahl, den man für die Aufnahme, also für die Speicherung des Hologramms schon gebraucht hat. Natürlich ist dieser Referenzstrahl ebenfalls eine Art Information, die zusammen mit der Objektinformation als Hologramm abgespeichert wird. Unser Gehirn arbeitet aber kaum mit Referenzstrahlen. Auch wenn man sich diese Referenz als elektrische Signale vorstellen könnte, gibt es keine Hinweise auf das Vorhandensein solcher Referenzsignale, die ja unübersehbar auftreten müssten.

Eine andere Überlegung macht eher Sinn. Wird der Referenzstrahl eventuell gar nicht gebraucht? Braucht es diese Referenz lediglich als Hilfsmittel, um ein Hologramm technisch herstellen zu können? Wenn das zutrifft, könnte man an Stelle der Referenzwelle beim Hologramm ein zweites Objekt, also quasi eine weitere Information als Referenz für die erste Information verwenden, dann wäre man den lästigen Referenzstrahl los.

Bildlich gesprochen: Kann man zwei Schachfiguren, einen Bauern und einen Turm, als Hologramm ohne Referenzstrahl so abspeichern, dass man nachher mit dem Bauern und dem Hologramm den Turm wieder

sichtbar machen kann und umgekehrt? Funktioniert das, dann folgt die nächste Überlegung unmittelbar. Kann ein Objekt, also eine Information, nicht gerade sich selber Referenz sein? Kann man also aus einem Turm ohne weitere Referenz ein Hologramm erzeugen und dann mit einem beschädigten, lückenhaften Turm und dem Hologramm den Turm wieder vollständig sichtbar machen? In diesem Falle hätten wir den gewünschten Assoziativ-Speicher, mit dem man tatsächlich mit Teilen der Objektinformation die gesamte zu diesem Objekt gehörende Information aus dem Hologramm zurückbekommt.

Solche Gedanken zu verifizieren oder gar theoretisch zu beweisen, ist alles andere als einfach. Der instrumentelle und experimentelle Aufwand für den Nachweis ist für mich zu gross. Die theoretische Untersuchung und mathematische Beweisführung ist zu kompliziert – wahrscheinlich nicht nur für mich – wenn nicht fast unmöglich mit den heutigen mathematischen Verfahren. Bleibt also lediglich eine geschickte Simulation als Verifizierung solcher Gedanken. Aber auch eine Simulation benötigt einiges an Vereinfachungen und Kniffen, um in brauchbarer Zeit zu einfachen und aussagekräftigen Resultaten zu kommen.

Simulation von holographischen Speichern

Einzelne Wellen für die Erzeugung eines Hologramms lassen sich in einer Simulation relativ einfach erzeugen und ihre Auswirkungen, wie zum Beispiel Interferenzen, Verstärkung und Abschwächung der Amplituden sowie andere Erscheinungen, lassen sich ebenfalls berechnen beziehungsweise simulieren. Müssen dann allerdings aus überlagerten Wellenzügen wieder Objekte rekonstruiert werden, welche diese Wellenzüge verursacht haben, ob echte oder virtuelle, stösst man an die Grenzen des Machbaren. Ich brauchte also einfache Überlegungen und Methoden, um prinzipiell solche Vorgänge zu untersuchen und zu simulieren, ohne das Prinzip der holographischen Speicherung und Rekonstruktion von Information zu verletzen. Diese Vereinfachungen realisierte ich mit den üblichen Methoden durch Reduktion der Dimensionen und der Komplexität der Objekte, sowie durch Vereinfachungen in den Auflösungen und Skalierungen.

Nicht nur Segen, sondern auch eine grosse Gefahr bergen alle diese Vereinfachungen. Einerseits gewinnt man Übersicht über die Resultate