



(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/197298**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)

(51) Int Cl.: **G06K 9/46 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 002 468.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2017/032464**

(86) PCT-Anmeldetag: **12.05.2017**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **16.11.2017**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **24.01.2019**

(30) Unionspriorität:
62/335,995 **13.05.2016** **US**

(71) Anmelder:
Numenta, Inc., Redwood City, Calif., US

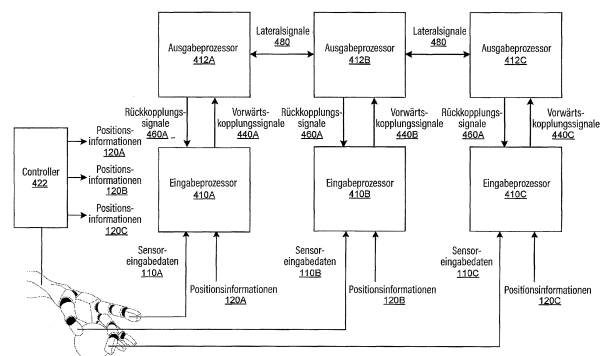
(72) Erfinder:
Hawkins, Jeffrey, C., Redwood City,, CA, US;
Ahmad, Subutai, Redwood City, CA, US; Cui,
Yuwei, Redwood City, CA, US; Lewis, Marcus
Anthony, Redwood City, CA, US

(74) Vertreter:
TER MEER STEINMEISTER & PARTNER
PATENTANWÄLTE mbB, 80335 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Schlussfolgern und Lernen basierend auf sensomotorischen Eingabedaten**

(57) Zusammenfassung: Ausführungsformen beziehen sich auf ein Ziehen von Schlussfolgerungen wie etwa eine Objekterkennung basierend auf Sensoreingaben, die von Sensoren empfangen werden, und Positionsinformationen, die den Sensoreingaben zugeordnet sind. Die Sensoreingaben beschreiben ein oder mehrere Merkmale der Objekte. Die Positionsinformationen beschreiben bekannte oder potenzielle Positionen der Sensoren, die die Sensoreingaben erzeugen. Ein Schlussfolgerungssystem lernt Repräsentationen von Objekten durch Charakterisieren mehrerer Merkmal-Positions-Repräsentationen der Objekte und zieht dann Schlussfolgerungen durch Identifizieren oder Aktualisieren von Kandidatenobjekten, die mit den Merkmal-Positions-Repräsentationen, die aus den Sensoreingabedaten und Positionsinformationen beobachtet werden, konsistent sind. In einem Fall lernt das Schlussfolgerungssystem Repräsentationen von Objekten für jeden Sensor. Die Menge von Kandidatenobjekten für jeden Sensor wird auf diejenigen aktualisiert, die mit den Kandidatenobjekten für andere Sensoren sowie den beobachteten Merkmal-Positions-Repräsentationen für den Sensor konsistent sind.



Beschreibung

Querverweis auf verwandte Anwendung

[0001] Die Anmeldung beansprucht die Priorität gemäß 35 USC §119(3) der US-Patentanmeldung Nr. 62/335995, die am 13.Mai 2016 eingereicht wurde und deren Inhalt hier durch Bezugnahme vollständig mit aufgenommen ist.

Hintergrund

Gebiet der Offenbarung

[0002] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf ein Ziehen von Schlussfolgerungen zu empfangenen Eingabedaten und bezieht sich insbesondere auf ein Ziehen von Schlussfolgerungen basierend auf sensorischen Eingabedaten.

Beschreibung des Stands der Technik

[0003] Objektdetektionssysteme zielen darauf ab, verschiedene Typen von Objekten, die in Eingabedaten vorhanden sind, zu finden oder zu erkennen. Die Eingabedaten zur Objektdetektion können in Form von Bilddaten, Videodaten, Tastdaten oder anderen Typen von Sensordaten vorliegen. Zum Beispiel kann ein Objektdetektionssystem verschiedene Objekte wie eine Kaffeetasse, eine Tür oder dergleichen erkennen, die in visuellen Bildern, die durch eine Kamera aufgenommen wurden, enthalten sind oder von Tastsensoren erfasst wurden.

[0004] Herkömmliche Objektdetektionssysteme stehen vor vielen Herausforderungen. Eine solche Herausforderung besteht darin, dass dasselbe Objekt in verschiedenen Positionen und/oder Ausrichtungen angeordnet sein kann. Die Abweichung der Positionen und/oder Ausrichtungen der Objekte von den ursprünglich gelernten Positionen und/oder Ausrichtungen kann dazu führen, dass herkömmliche Objektdetektionssysteme dasselbe Objekt als verschiedene Objekte erkennen. Ein solches Problem kann schwerwiegender sein, wenn Tastsensoren, beispielsweise an einer Roboterhand, dazu verwendet werden, ein Objekt zu erkennen. Bestehende Objektdetektionsmodelle wie Modelle mit faltenden neuronalen Netzen (CNN-Modelle) sind nicht immer ausreichend, um mit den Änderungen in der Position und/oder den Positionen umzugehen und benötigen oft selbst dann erhebliche Mengen von Trainingsdaten, wenn sie solche Änderungen handhaben.

[0005] Darüber hinaus weisen die Eingabedaten, die eine Repräsentation eines Objekts umfassen, unabhängig vom Typ der Sensoren räumliche Merkmale auf, die sich von einer Repräsentation eines weiteren Objekts unterscheiden würden. Die Abwesenheit räumlich unterscheidbarer Merkmale kann eine

Mehrdeutigkeit in Bezug auf das zu erkennende Objekt hervorrufen. Herkömmliche Objektdetektionssysteme gehen mit einer solchen Mehrdeutigkeit bei den zu erkennenden Objekten nicht angemessen um.

Zusammenfassung

[0006] Ausführungsformen beziehen sich auf ein Ziehen von Schlussfolgerungen durch Erzeugen von Eingaberepräsentationen von Positions-/Merkmals-Paaren und auf ein Erzeugen von Ausgaberepräsentationen, die Kandidaten angeben, die wahrscheinlich den Positions-/Merkmals-Paaren zugeordnet sind. Ein erster Eingabeprozessor erzeugt eine erste Eingaberepräsentation, die ein Potenzial, dass ein erstes Paar aus einer ersten Position und einem ersten Merkmal an der ersten Position detektiert wird, angibt. Ein erster Ausgabeprozessor bestimmt eine erste Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation entspricht. Die erste Ausgaberepräsentation gibt eine oder mehrere Kandidaten, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind, an. Der erste Eingabeprozessor erzeugt eine zweite Eingaberepräsentation, die ein Potenzial eines zweiten Paares aus einer zweiten Position und einem zweiten Merkmal an der zweiten Position nach dem Erzeugen der ersten Eingaberepräsentation angibt. Die zweite Ausgaberepräsentation gibt einen oder mehrere Kandidaten an, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

[0007] In einer Ausführungsform wird ein Rückkopplungssignal, das eine Vorhersage zu der zweiten Eingaberepräsentation darstellt, in dem ersten Ausgabeprozessor basierend auf der ersten Ausgaberepräsentation erzeugt. Die zweite Eingaberepräsentation wird in dem ersten Eingabeprozessor ferner basierend auf dem Rückkopplungssignal erzeugt.

[0008] In einer Ausführungsform wird eine Ausgaberepräsentation, die einer Ursache entspricht, in dem ersten Ausgabeprozessor während des Trainierens aktiv gehalten. Trainingseingaberepräsentationen für Paare aus Positionen und entsprechenden Merkmale, die der Ursache für das Training zugeordnet sind, werden in dem ersten Eingabeprozessor erzeugt. Die Trainingseingaberepräsentationen werden der Ausgaberepräsentation, die der Ursache entspricht, zugeordnet.

[0009] In einer Ausführungsform ist die erste Eingaberepräsentation ein Aktivierungszustand einer ersten Untermenge von Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor und die zweite Eingaberepräsentation ein Aktivierungszustand einer zweiten Untermenge der Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor.

[0010] In einer Ausführungsform ist die erste Position eine von mehreren potenziellen Positionen unter

dem einen oder den mehreren Kandidaten, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind.

[0011] In einer Ausführungsform gibt die erste Eingaberepräsentation Aktivierung eines Verbundes von Paaren des ersten Merkmals und jeder der potenziellen Positionen an.

[0012] In einer Ausführungsform gibt die erste Ausgaberepräsentation ferner einen oder mehrere Kandidaten an, die wahrscheinlich des Verbundes von Paaren des ersten Merkmals und jeder potenziellen Position zugeordnet sind.

[0013] In einer Ausführungsform ist die zweite Position eine von mehreren weiteren potenziellen Positionen, die durch Verschieben jeder potenziellen Position unter den mehreren potenziellen Positionen um einen vorbestimmten Abstand erzeugt werden.

[0014] In einer Ausführungsform gibt die zweite Eingaberepräsentation eine Aktivierung eines Verbundes von Paaren des zweiten Merkmals und einer oder mehreren potenziellen Positionen unter den mehreren anderen potenziellen Positionen an, die einer oder mehreren Kandidaten zugeordnet sind, die durch die erste Ausgaberepräsentation angegeben werden.

[0015] In einer Ausführungsform werden die zweiten Untermengen der Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor als Antwort darauf aktiviert, dass die zweiten Untermengen von Eingabezellen Positionssignale, die die zweite Position repräsentieren, und Aktivierungssignale die dem zweiten Merkmal zugeordnet sind, empfangen.

[0016] In einer Ausführungsform wird die zweite Untermenge von Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor ferner basierend auf einem Rückkopplungssignal, das der ersten Ausgaberepräsentation zugeordnet ist, aktiviert.

[0017] In einer Ausführungsform wird jeder des einen oder der mehreren Kandidaten durch einen entsprechenden Aktivierungszustand einer Untermenge von Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor repräsentiert und das Rückkopplungssignal gibt den Aktivierungszustand der Untermenge der Ausgabezellen an.

[0018] In einer Ausführungsform ist die zweite Ausgaberepräsentation ein Aktivierungszustand einer Untermenge von Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor.

[0019] In einer Ausführungsform wird eine Untermenge der Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor als Antwort darauf aktiviert, dass die Untermenge der Ausgabezellen die Vorwärtskopplungs-

signale, die der zweiten Eingaberepräsentation entsprechen, empfängt.

[0020] In einer Ausführungsform werden die Vorwärtskopplungssignale aus der aktivierten Untermenge der Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor, die der zweiten Eingaberepräsentation zugeordnet sind, an die Untermenge der Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor, die mit der aktivierten Untermenge der Eingabezellen verbunden sind, gesendet.

[0021] In einer Ausführungsform werden erste Positionsinformationen empfangen, die die erste Position in einer spärlich verteilten Repräsentation angeben. Die erste Eingaberepräsentation wird basierend auf den ersten Positionsinformationen erzeugt. Die zweiten Positionsinformationen, die die zweite Position in einer spärlich verteilten Repräsentation angeben, werden empfangen. Die zweite Eingaberepräsentation wird basierend auf den zweiten Positionsinformationen erzeugt.

[0022] In einer Ausführungsform wird aus einem Sensor eine erste Sensoreingabe, die das erste Merkmal angibt, in dem ersten Eingabeprozessor empfangen. Die erste Eingaberepräsentation wird basierend auf der ersten Sensoreingabe erzeugt. Eine zweite Sensoreingabe, die das zweite Merkmal angibt, wird in dem ersten Eingabeprozessor aus dem Sensor nach dem Empfangen der ersten Sensoreingabe empfangen. Die zweite Eingaberepräsentation wird basierend auf der zweiten Sensoreingabe erzeugt.

[0023] In einer Ausführungsform wird eine dritte Sensoreingabe, die ein drittes Merkmal angibt, in einem zweiten Eingabeprozessor aus einem weiteren Sensor empfangen. Eine dritte Eingaberepräsentation eines dritten Paares aus dem dritten Merkmal und einer dritten Position, die dem dritten Merkmal entspricht, wird in einem zweiten Ausgabeprozessor erzeugt. Aktivierungszustände einer Untermenge anderer Ausgabezellen in dem zweiten Ausgabeprozessor, die der dritten Eingaberepräsentation entsprechen, werden bestimmt. Die Aktivierungszustände der Untermenge der anderen Ausgabezellen geben einen oder mehrere Kandidaten an, die wahrscheinlich dem dritten Paar zugeordnet sind. Die Aktivierungszustände der Untermenge der anderen Ausgabezellen in dem zweiten Ausgabeprozessor werden an eine oder mehrere der Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor, die mit den anderen Ausgabezellen verbunden sind, gesendet. Die Aktivierung der einen oder der mehreren Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor basiert ferner auf den Aktivierungszuständen der Untermenge der anderen Ausgabezellen in dem zweiten Ausgabeprozessor.

[0024] In einer Ausführungsform wird eine dritte Eingaberepräsentation eines dritten Paares einer dritten Position und eines dritten Merkmals an der dritten Position durch einen zweiten Eingabeprozessor erzeugt. Eine dritte Ausgaberepräsentation, die der dritten Eingaberepräsentation entspricht, wird in einem zweiten Ausgabeprozessor bestimmt. Die dritte Ausgaberepräsentation gibt einen oder mehrere Kandidaten an, die wahrscheinlich dem dritten Paar zugeordnet sind. Die dritte Ausgaberepräsentation wird zum Bestimmen der zweiten Ausgaberepräsentation aus dem zweiten Ausgabeprozessor an den ersten Ausgabeprozessor gesendet.

[0025] In einer Ausführungsform sind der eine oder die mehreren Kandidaten Objekte und die erste und zweite Position sind allozentrische Positionen der möglichen Objekte.

[0026] Die Ausführungsformen beziehen sich auch auf ein Ziehen von Schlussfolgerungen durch paralleles Verarbeiten von Positions-/Merkmals-Paaren in zwei oder mehr Eingabeprozessoren und entsprechenden Ausgabeprozessoren. Eine erste Eingaberepräsentation, die ein Potenzial eines ersten Paares aus einer ersten Position und einem ersten Merkmal an der ersten Position detektiert wird, angibt, wird in einem ersten Eingabeprozessor erzeugt. Ein zweiter Eingabeprozessor erzeugt eine zweite Eingaberepräsentation, die ein Potenzial, dass ein zweites Paar aus einer zweiten Position und einem zweiten Merkmal an der zweiten Position detektiert wird, angibt. Ein erster Ausgabeprozessor bestimmt eine erste Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation entspricht. Die erste Ausgaberepräsentation gibt einen oder mehrere Kandidaten an, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind. Ein zweiter Eingabeprozessor erzeugt eine zweite Eingaberepräsentation, die ein Potenzial, dass ein zweites Paar aus einer zweiten Position und einem zweiten Merkmal an der zweiten Position detektiert wird, angibt. Ein zweiter Ausgabeprozessor bestimmt eine zweite Ausgaberepräsentation, die der ersten Ausgaberepräsentation und der zweiten Eingaberepräsentation entspricht. Die zweite Ausgaberepräsentation gibt einen oder mehrere Kandidaten an, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

[0027] In einer Ausführungsform erzeugt der erste Ausgabeprozessor basierend auf der ersten Ausgaberepräsentation und der zweiten Ausgaberepräsentation eine aktualisierte erste Ausgaberepräsentation, um einen oder mehrere Kandidaten anzugeben, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

[0028] Die Lehren der Ausführungsformen können unter Betrachtung der folgenden genauen Beschreibung in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen leicht verstanden werden.

Figur (Fig.) **Fig. 1** ist eine konzeptuelle Darstellung eines Schlussfolgerungssystems gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 2 ist eine konzeptuelle Darstellung von Schlussfolgerungssystemen, die auf eine hierarchische Weise organisiert sind, gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 3 ist eine beispielhafte Ansicht eines Würfelobjekts und eines Keilobjekts, die durch ein Schlussfolgerungssystem charakterisiert werden, gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 4 ist ein Architekturschema, das ein Schlussfolgerungssystem gemäß einer Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 5A ist ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren zum Ziehen von Schlussfolgerungen in dem Schlussfolgerungssystem gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 5B ist ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren des Lernens von Verbindungen zum Schlussfolgern gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 6 ist ein detailliertes Blockdiagramm, das einen Eingabeprozessor gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 7 ist eine konzeptuelle Darstellung, die Signale, die einer Zelle in dem Eingabeprozessor zugeordnet sind, gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 8A bis **Fig. 8C** sind Darstellungen, die beispielhafte Aktivierungszustände von Zellen in dem Eingabeprozessor gemäß einer Ausführungsform zeigen.

Fig. 9 ist ein funktionelles Blockdiagramm, das eine Zelle in dem Eingabeprozessor von **Fig. 7** gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 10 ist eine Darstellung, die ein Aktivieren von Zellen oder ein Hemmen einer Aktivierung von Zellen in dem Eingabeprozessor basierend auf verschiedenen Regeln gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 11 ist ein detailliertes Blockdiagramm, das einen Ausgabeprozessor gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 12 ist eine konzeptuelle Darstellung, die Signale, die einer Zelle in dem Ausgabeprozessor zugeordnet sind, gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 13A bis Fig. 13C sind Darstellungen, die beispielhafte Aktivierungszustände von Zellen in den Ausgabeprozessoren gemäß einer Ausführungsform zeigen.

Fig. 14 ist ein funktionelles Blockdiagramm, das eine Zelle des Ausgabeprozessors gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 15 ist eine Darstellung, die ein Aktivieren von Zellen oder Hemmen einer Aktivierung von Zellen in dem Ausgabeprozessor basierend auf Regeln gemäß Ausführungsformen zeigt.

Fig. 16 ist ein Blockdiagramm einer Rechenvorrichtung zum Implementieren von Schlussfolgerungssystemen gemäß Ausführungsformen.

Genauere Beschreibung der Ausführungsformen

[0029] In der folgenden Beschreibung der Ausführungsformen sind zahlreiche spezifische Einzelheiten beschrieben, um ein tiefergehendes Verständnis zu schaffen. Es ist allerdings anzumerken, dass die vorliegende Erfindung ohne eine oder mehrere dieser spezifischen Einzelheiten ausgeführt werden kann. In anderen Beispielen sind bekannte Merkmale nicht im Einzelnen beschrieben, um unnötiges Verkomplizieren der Beschreibung zu vermeiden.

[0030] Eine bevorzugte Ausführungsform wird nun unter Bezugnahme auf die Figuren beschrieben, wobei gleiche Bezugszeichen identische oder funktional ähnliche Elemente angeben. Ebenso entsprechen in den Figuren die linken Ziffern jedes Bezugszeichens der Figur, in der das Bezugszeichen zuerst verwendet wurde.

[0031] Bestimmte Aspekte der Ausführungsformen umfassen Prozessschritte und Befehle, die hierin in Form eines Algorithmus beschrieben sind. Es sollte angemerkt werden, dass die Prozessschritte und Befehle der Ausführungsformen in Software, Firmware oder Hardware ausgeführt werden können und dann, wenn sie in Software ausgeführt sind, könnten sie heruntergeladen werden, um auf verschiedenen Plattformen, die von einer Bandbreite von Betriebssystemen verwendet werden, beheimatet zu werden und von ihnen betrieben zu werden.

[0032] Die Ausführungsformen beziehen sich auch auf eine Einrichtung zum Durchführen der Operationen hierin. Diese Einrichtung kann speziell für die benötigten Zwecke konstruiert sein oder es kann einen Allzweckcomputer umfassen, der selektiv aktiviert oder durch ein Computerprogramm, das in dem Computer gespeichert ist, rekonfiguriert wird. Ein solches Computerprogramm kann in einem computerlesbaren Speichermedium wie beispielsweise ohne Einschränkung darauf jedem Diskettentyp einschließlich Floppy-Disketten, optischen Platten, CD-ROMs, magnetisch-optischen Platten, Nur-Lese-Speichern

(ROMs), Direktzugriffsspeichern (RAMs), EPROMs, EEPROMs, magnetischen oder optischen Karten, anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs) oder jedem anderen Medientyp, der zum Speichern elektronischer Befehle geeignet ist und jeweils mit einem Computersystembus gekoppelt ist, gespeichert sein. Ferner können die in der Beschreibung genannten Computer einen einzelnen Prozessor umfassen oder können Architekturen aufweisen, die für eine erhöhte Rechenleistung mehrere Prozessordesigns einsetzen.

[0033] Die in der Beschreibung verwendete Sprache wurde prinzipiell zwecks Lesbarkeit und für Lehrzwecke ausgewählt und wurde nicht unbedingt dafür ausgewählt, den Erfindungsgegenstand abzugrenzen oder umschreiben. Dementsprechend ist die hierin beschriebene Offenbarung dazu gedacht, veranschaulichend zu sein, aber nicht den Geltungsbereich, der in den Ansprüchen dargelegt ist, zu beschränken.

[0034] Die Ausführungsformen beziehen sich auf ein Ziehen von Schlussfolgerungen wie beispielsweise eine Objekterkennung basierend auf Sensoreingaben, die aus Sensoren empfangen werden, und Positionsinformationen, die den Sensoreingaben zugeordnet sind. Die Sensoreingaben beschreiben ein oder mehrere Merkmale der Objekte. Die Positionsinformationen beschreiben bekannte oder potenzielle Positionen der Sensoren, die die Sensoreingaben erzeugen. Ein Schlussfolgerungssystem lernt Repräsentationen von Objekten durch Charakterisieren mehrerer Merkmal-Positions-Repräsentationen der Objekte und zieht dann Schlussfolgerungen durch Identifizieren oder Aktualisieren von Kandidatenobjekten, die mit den Merkmal-Positions-Repräsentationen konsistent sind, die aus den Sensoreingabedaten und Positionsinformationen beobachtet werden. In einem Fall lernt das Schlussfolgerungssystem Repräsentationen von Objekten für jeden Sensor. Die Menge an Kandidatenobjekten für jeden Sensor wird aktualisiert auf diejenigen, die mit Kandidatenobjekten für andere Sensoren sowie den beobachteten Merkmal-Positions-Repräsentationen für den Sensor konsistent sind.

Übergeordneter Überblick über das Schlussfolgerungssystem

[0035] **Fig. 1** ist eine konzeptuelle Darstellung eines Schlussfolgerungssystems **104** gemäß einer Ausführungsform. Das Schlussfolgerungssystem **104** zieht Schlussfolgerungen basierend auf Sensoreingabedaten **110**, die aus einer Menge von Sensoren empfangen werden, die sich relativ zu der Welt bewegen, und Positionsinformationen **120**, die den Sensoreingabedaten **110** zugeordnet sind. In einer bestimmten Ausführungsform, auf die sich durch die verbleibende Beschreibung hindurch bezogen wird, zieht

das Schlussfolgerungssystem **104** Schlussfolgerungen in Bezug auf Objekte und erzeugt Schlussfolgerungsausgabedaten **130**. Zum Beispiel kann das Schlussfolgerungssystem **104** Sensoreingabedaten **110**, die Sensoren an verschiedenen Positionen entsprechen, zu einem unbekanntem Objekt empfangen und eine Objekterkennung basierend auf den empfangenen Eingaben durchführen. Als weiteres Beispiel kann das Schlussfolgerungssystem **104** Sensoreingabedaten **110** an einer bestimmten Position zu einem gegebenen Objekt vorhersagen. Allerdings sollte beachtet werden, dass das Schlussfolgerungssystem **104** in anderen Ausführungsformen auf jede Situation angewendet werden kann, in der eine Menge von Sensoren unterschiedliche Positionen eines Systems sondiert. Zum Beispiel kann das Schlussfolgerungssystem **104** auf Eingaben aus einer Online-Sondierung angewendet werden, die verschiedene Teile eines Netzes in der Cloud durchläuft und misst.

[0036] Die Sensoreingabedaten **110** können unter anderem Bilder, Videos, Audiosignale, Sensorsignale (z. B. Tastsensoren), auf Netzverkehr bezogene Daten, Finanztransaktionsdaten, Kommunikationssignale (z. B. Emails, Textnachrichten und Sofortnachrichten), Dokumente, Versicherungsaufzeichnungen, biometrische Informationen, Parameter für einen Herstellungsprozess (z. B. Halbleiterherstellungsparameter), Erfindungsmuster, Energie- oder Leistungsnutzungsmuster, Daten, die Gene repräsentieren, Ergebnisse wissenschaftlicher Experimente oder Parameter, die dem Betrieb einer Maschine (z. B. Fahrzeugbetrieb) zugeordnet sind, und medizinische Behandlungsdaten umfassen. Die zugrundeliegende Repräsentation (z. B. ein Foto, eine Audiodatei und dergleichen) kann in einem nichtflüchtigen Speichermedium gespeichert sein. Im Folgenden sind die Ausführungsformen primär unter Bezugnahme auf eine Menge von Tastsensoren an einer Roboterhand beschrieben, nur um eine Erläuterung und ein Verständnis des Schlussfolgerungssystems **104** zu erleichtern. In einer Ausführungsform sind die Sensoreingabedaten **110** in einem Vektorsignal codiert und werden dem Schlussfolgerungssystem **104** zugeführt.

[0037] Die Positionsinformationen **120** repräsentieren eine Position, die Sensoren zugeordnet ist, die die Sensoreingabedaten **110** erzeugen. Die Position kann eine physikalische Position, eine logische Position oder eine Kombination von beidem sein. Die empfangenen Positionsinformationen **120** sind in einer spärlich verteilten Repräsentation beispielsweise unter Verwendung eines Verfahrens codiert, wie es in U.S.-Patentveröffentlichung Nr. 2016/0217164 beschrieben ist, die hierin in ihrer Gesamtheit aufgenommen ist.

[0038] In einer Ausführungsform codieren die Positionsinformationen **120** eine Position unter Verwen-

dung eines allozentrischen Bezugssystems oder eines objektzentrischen Bezugssystems. Mit anderen Worten werden die Positionskordinaten relativ zu dem Objekt selbst, statt relativ zu dem System, das die Sensoren beinhaltet, bestimmt. Wie unten genauer beschrieben können die Positionsinformationen **120** bekannte allozentrische Positionen der Sensoren oder eine Menge potenzieller Positionen der Sensoren beinhalten.

[0039] Das Schlussfolgerungssystem **104** kann die Sensoreingabedaten **110** und die Positionsinformationen **120** verarbeiten, um eine Ausgabe zu erzeugen, die unter anderem Folgendes repräsentiert: Identifizierung von Objekten, Identifizierung von erkannten Gesten, Klassifikation digitaler Bilder als pornographisch oder nichtpornographisch, Identifizierung von Email-Nachrichten als unaufgeforderte Massen-Email („Spam“) oder legitime Email („Nicht-Spam“), Identifizierung eines Lautsprechers in einer Audioaufzeichnung, Klassifikation von Kreditstellern als kreditwürdig oder nicht kreditwürdig, Identifizierung von Netzverkehr als bösartig oder gutartig, Identität einer Person, die in dem Bild auftaucht, verarbeitete natürliche Sprachverarbeitung, Wettervorhersageergebnisse, Verhaltensmuster einer Person, Steuersignale für Maschinen (z. B. automatische Fahrzeugnavigation), Genaudruck und Proteininteraktionen, analytische Informationen zum Zugriff auf Betriebsmittel in einem Netz, Parameter zum Optimieren eines Herstellungsprozesses, Identifizierung abweichender Muster in Versicherungsaufzeichnungen, Vorhersage zu Ergebnissen von Experimenten, Angabe einer Krankheit, die eine Person wahrscheinlich erleiden wird, Auswahl von Inhalten, die für einen Anwender interessant sein könnten, Angabe einer Vorhersage des Verhaltens einer Person (z. B. Ticketkauf, Nichtantrittsverhalten), Vorhersage zu Wahlen, Vorhersage/Detektion nachteiliger Ereignisse, ein Textzeichenfolge in dem Bild, eine Angabe, die ein Thema im Text darstellt, und eine Zusammenfassung von Text oder eine Vorhersage zu einer Reaktion auf eine medizinische Behandlung. Im Folgenden sind die Ausführungsformen primär unter Bezugnahme auf das Schlussfolgerungssystem beschrieben, das Objekte erkennt, um die Erklärung und das Verständnis des Schlussfolgerungssystems **104** zu vereinfachen.

[0040] Fig. 2 ist eine konzeptuelle Darstellung mehrerer Schlussfolgerungssysteme, die auf eine hierarchische Weise organisiert sind, gemäß einer Ausführungsform. Ein solches hierarchisch strukturiertes System wird als hierarchisches Schlussfolgerungssystem **200** bezeichnet. In einem hierarchischen Schlussfolgerungssystem **200** lernen mehrere Schlussfolgerungssysteme das Ziehen von Schlussfolgerungen und das Vorhersagen auf verschiedenen Abstraktionsebenen. Das System **200** weist drei Ebenen **L1**, **L2** und **L3** auf, wobei die Ebene **1** die unters-

te Ebene, die Ebene **L3** die höchste Ebene und die Ebene **L2** eine Zwischenebene zwischen den Ebenen **L1** und **L3** ist. Das hierarchische Schlussfolgerungssystem **200** ist so hierarchisch strukturiert, dass die Verarbeitungsknoten desto mehr Eingaberaum abdecken, je höher die Ebene ist. Die Ebene **L1** umfasst Schlussfolgerungssysteme **210A**, **210B**, **210C** und **210D**; die Ebene **L2** umfasst Schlussfolgerungssysteme **220A** und **220B**, und die Ebene **L3** weist das Schlussfolgerungssystem **230** auf. Die Schlussfolgerungssysteme **210A**, **210B**, **210C**, **210D**, **220a**, **220B** und **230** sind in einer baumartigen Struktur so hierarchisch verbunden, dass jedes Schlussfolgerungssystem mehrere Kinderknoten (das heißt, Schlussfolgerungssysteme, die auf einer niedrigeren Ebene angeschlossen sind) und einen Elternknoten (das heißt, ein Schlussfolgerungssystem, das auf einer höheren Ebene angeschlossen ist) aufweist. In einer Ausführungsform kann ein Schlussfolgerungssystem an einem Kinderknoten mit mehreren Elternknoten verbunden sein. Zum Beispiel kann das Schlussfolgerungssystem **210B** mit dem Schlussfolgerungssystem bei **220A** und **220B** verbunden sein.

[0041] Ferner leitet das hierarchische System **200** Schlussfolgerungsausgabedaten in der Hierarchie nach oben und leitet Abwärtssignale nach unten in der Hierarchie. Das heißt, dass jedes Schlussfolgerungssystem **210A**, **210B**, **210C**, **210D**, **220a**, **220B** und **230** zu Folgendem ausgelegt sein kann: (i) Leiten von Informationen in der Hierarchie nach oben zu einem verbundenen Elternknoten, und (ii) Leiten von Informationen in der Hierarchie nach unten zu jedem der verbundenen Kinderknoten.

[0042] Ein solches Schlussfolgerungssystem **200** ist unter anderem dann vorteilhaft, wenn Lernen durch eine erste Menge Sensoren durchgeführt wird, doch das Schlussfolgern durch eine zweite Menge Sensoren, die sich von der ersten unterscheidet, durchgeführt wird. Zum Beispiel kann das Schlussfolgerungssystem **220A**, das einer Menge von Tastsensoren zugeordnet ist, dazu verwendet werden, Objekte zu erlernen, und das Schlussfolgerungssystem **220B**, das einer Menge von Bildsensoren zugeordnet ist, dazu verwendet werden, Schlussfolgerungen zu dem Objekt zu ziehen. Ein weiterer Vorteil ist die erhöhte Lernfähigkeit unter Verwendung mehrerer Schlussfolgerungssysteme. Die Anzahl von Ebenen und die Anordnung von Verarbeitungsmodi in **Fig. 1** und **Fig. 2** sind nur beispielhaft. Viele Varianten hierarchischer Schlussfolgerungssysteme können in Abhängigkeit von der spezifischen Anwendung entwickelt und eingesetzt werden.

Beispielhafte Objekterkennung

[0043] Ein Objekt kann durch eine Menge von Merkmalen an entsprechenden Positionen charakterisiert werden. Verschiedene Objekte können durch eine

Menge verschiedener Paare von Merkmalen und Positionen definiert sein, die an dem Objekt erscheinen. Durch Identifizieren der verschiedenen Merkmal-Positions-Repräsentationen, wie sie während des Schlussfolgerns erscheinen, können verschiedene Objekte erkannt werden. Wenn zwei Objekte einige Merkmal-Positions-Repräsentationen gemeinsam haben, können die zwei Objekte ununterscheidbar sein, bis eine unterscheidbare Positions-Merkmal-Kombination angetroffen wird.

[0044] Aus Veranschaulichungsgründen wird angenommen, dass das Schlussfolgerungssystem **104** Objekte basierend auf empfangenen Sensoreingabedaten **110** (zum Beispiel in Form von Tastsensordaten) und entsprechenden Positionsinformationen **120**, die die Position eines Tastsensors an dem Roboterarm angeben, detektiert. Wenn die Merkmalskombinationen (wie durch die Sensoreingabedaten **110** angegeben) und Positionsinformationen **120** empfangen werden, identifiziert das Schlussfolgerungssystem **104** ein oder mehrere mögliche Objekte, die mit den beobachteten Merkmal-Positions-Repräsentationen konsistent sind. Wenn zusätzliche Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120** empfangen werden, engt das Schlussfolgerungssystem **104** die möglichen Objekte auf die ein, die mit der neuen beobachteten Merkmal-Position-Repräsentation konsistent sind. Das Schlussfolgerungssystem **104** gibt die aktuelle Menge von Kandidatenobjekten als Schlussfolgerungsausgabedaten **130** aus.

[0045] **Fig. 3** ist eine Beispieldarstellung eines Würfelobjekts und eines Keilobjekts, die durch das Schlussfolgerungssystem **104** gemäß einer Ausführungsform charakterisiert werden. Wie in **Fig. 3** gezeigt wird beispielsweise eine Menge allozentrischer Positionen $\{f_1, f_2, f_3, f_4\}$ für Objekte definiert. Ein Würfelobjekt kann durch Paare aus räumlichen Merkmalen und Positionen, d. h. einem räumlichen Merkmal A, das eine 90°-Ecke an der Position f_1 repräsentiert, einem räumlichen Merkmal B, das eine vertikale Kante an der Position f_2 repräsentiert, und einem räumlichen Merkmal A an der Position f_3 , charakterisiert werden. Ähnlich kann ein Keilobjekt durch verschiedene Paare räumlicher Merkmale und Positionen, d. h. einem räumlichen Merkmal C, das eine spitze Ecke an der Position f_1 repräsentiert, einem räumlichen Merkmal A an der Position f_3 und einem räumlichen Merkmal D, das eine angewinkelte Kante an der Position f_4 repräsentiert, charakterisiert werden.

[0046] In dem Beispiel von **Fig. 3** empfängt das Schlussfolgerungssystem **104** Sensoreingabedaten **110**, die das räumliche Merkmal A an der Position f_3 des Objekts repräsentieren. Das Schlussfolgerungssystem **104** erzeugt eine Menge von Kandidatenobjekten {Würfel, Keil}, da beide Objekte ein räumliches Merkmal A an der Position f_3 aufweisen. Das

Schlussfolgerungssystem **104** empfängt zusätzliche Sensoreingabedaten **110** von dem Roboterfinger, die das räumliche Merkmal B an der Position f_2 repräsentieren. Das Schlussfolgerungssystem **104** reduziert die Menge von Kandidatenobjekten auf {Würfel}, da das Würfelobjekt das einzige Objekt ist, das mit den beobachteten Merkmal-Positions-Repräsentationen konsistent ist. Das Schlussfolgerungssystem **104** gibt das Würfelobjekt als Schlussfolgerungsausgabedaten **130** aus.

[0047] In einer weiteren Ausführungsform erzeugt das Schlussfolgerungssystem **104** dann, wenn die Positionen der Sensoren anfänglich unbekannt sind, eine Menge von Kandidatenobjekten und eine Menge von Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen. Das Schlussfolgerungssystem **104** empfängt mit der Zeit Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120**, die dem Objekt zugeordnet sind. Das Schlussfolgerungssystem **104** aktualisiert die Menge von Kandidatenobjekten und die Menge der Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen auf die, die mit den beobachteten Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120** konsistent sind, bis ein einziges Objekt und eine einzige Merkmal-Positions-Repräsentation übrigbleiben. Das Schlussfolgerungssystem **104** gibt das verbleibende Objekt als Schlussfolgerungsausgabedaten **130** aus. Auf diese Weise kann das Schlussfolgerungssystem **104** Objekte auch dann identifizieren, wenn allozentrische Positionen zu dem Objekt anfangs unbekannt sind.

[0048] Insbesondere empfängt das Schlussfolgerungssystem **104** die Sensoreingabedaten **110** von einem Sensor an einer unbekannt Position des Objekts. Das Schlussfolgerungssystem **104** erzeugt eine Menge von Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen, die mit den empfangenen Sensoreingabedaten **110** konsistent sind. Somit repräsentiert die Menge alle potenziellen Positionen, die dem bestimmten Merkmal zugeordnet sind. Folglich erzeugt das Schlussfolgerungssystem **104** eine Menge von Kandidatenobjekten, die mit der Menge möglicher Merkmal-Positions-Repräsentationen konsistent ist. Somit repräsentiert die Menge alle Objekte, die mit den Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen konsistent sind.

[0049] Unter erzeugter Bezugnahme auf das Beispiel in **Fig. 3** empfängt das Schlussfolgerungssystem **104** Sensoreingabedaten **110** aus einem Tastsensor, die das räumliche Merkmal A an einer unbekannt Position eines Objekts repräsentieren. Das Schlussfolgerungssystem **104** erzeugt eine Menge von Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen $\{A-f_3, A-f_1\}$, die Positionen umfassen, die dem räumlichen Merkmal A zugeordnet sind. Dies impliziert, dass der Sensor im aktuellen Zeitschritt bei der Menge potenzieller Positionen $\{f_3, f_1\}$ des Objekts an-

geordnet ist. Das Schlussfolgerungssystem **104** erzeugt folglich eine Menge von Kandidatenobjekten {Würfel, Keil}, da beide Objekte Merkmal-Positions-Repräsentationen des räumlichen Merkmals A an der Position f_3 oder f_1 zugeordnet sind.

[0050] Dann empfängt das Schlussfolgerungssystem **104** von dem Sensor zusätzliche Sensoreingabedaten **110** an einer neuen Position an dem Objekt und Positionsdaten **120**, die eine aktualisierte Menge potenzieller Positionen angeben. Insbesondere wird die aktualisierte Menge potenzieller Positionen basierend auf einer bestimmten Positionsverschiebung zwischen der vorherigen Position des Sensors und der aktuellen Position des Sensors an dem Objekt erzeugt. Die aktualisierte Menge von Positionen repräsentiert neue potenzielle Positionen des Sensors in dem aktuellen Zeitschritt. In einer Ausführungsform wird die Positionsverschiebung basierend auf einer Bewegung der Sensoren von der vorherigen Position zu der aktuellen Position bestimmt, wie sie von einem oder mehreren Controllern bestimmt wird, die die Bewegung der Aktoren zum Bewegen der Sensoren zu neuen Positionen steuern. Zum Beispiel kann ein Controller Gyroskop- oder Beschleunigungsmessensensoren in dem Roboterfinger verwenden, um zu bestimmen, um wie viel sich der Roboterfinger bewegt hat. Die bestimmte Entfernung kann zu einer Positionsverschiebung in dem allozentrischen Raum transformiert werden. Das Schlussfolgerungssystem **104** aktualisiert die Menge von Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen auf die, die mit den neuen Sensoreingabedaten **110** und den Positionsinformationen **120** und der Menge von Kandidatenobjekten konsistent sind. Anschließend aktualisiert das Schlussfolgerungssystem **104** die Menge von Kandidatenobjekten auf die, die mit der aktualisierten Menge der Merkmal-Positions-Repräsentationen konsistent sind. In einer Ausführungsform wird dieser Prozess wiederholt, bis ein einziges Kandidatenobjekt und eine einzige Merkmal-Positions-Repräsentation übrigbleiben.

[0051] In dem Beispiel in **Fig. 3** empfängt das Schlussfolgerungssystem **104** zusätzliche Sensoreingabedaten **110** von den Tastsensoren, die das räumliche Merkmal D an einer neuen Position an dem Objekt repräsentieren. Das Schlussfolgerungssystem **104** empfängt auch Positionsinformationen **120**, die eine Menge potenzieller Positionen $\{f_2, f_4\}$ umfassen, die basierend auf einer Positionsverschiebung um eine Einheit nach rechts bestimmt werden. Insbesondere ist f_2 eine Position eine Einheit rechts von der vorherigen potenziellen Position f_1 und f_4 ist eine Position eine Einheit rechts von der vorherigen potenziellen Position f_3 . Anschließend aktualisiert das Schlussfolgerungssystem **104** die Menge der Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen auf $\{D-f_4\}$, da $D-f_4$ die einzige Kombination ist, die mit den aktualisierten Sensoreingabedaten **110**

und Positionsinformationen **120** sowie der Menge von Kandidatenobjekten konsistent ist. Das Schlussfolgerungssystem **104** aktualisiert die Menge von Kandidatenobjekten auf {Keil}, wenn das Keilobjekt das einzige Objekt ist, das mit der Merkmal-Positions-Repräsentation $D-f_4$ konsistent ist. Das Objektdetektionssystem **104** gibt das Keilobjekt als das letztendlich detektierte Objekt aus, weil nur ein einziges Objekt aus der Menge von Kandidatenobjekten übrig ist. Das Schlussfolgerungssystem **104** gibt das Keilobjekt als Schlussfolgerungsausgabedaten **130** aus.

[0052] In einer weiteren Ausführungsform können Positionen der Sensoren an dem Objekt bekannt sein, wenn das Schlussfolgern durchgeführt wird. Das Schlussfolgerungssystem **104** empfängt über die Zeit die Sensoreingabedaten **110** und die Positionsinformationen **120**, die dem Objekt zugeordnet sind. Das Schlussfolgerungssystem **104** erzeugt und aktualisiert die Menge von Kandidatenobjekten auf die, die mit den beobachteten Merkmal-Positions-Repräsentationen konsistent sind, und gibt die Kandidatenobjekte als Schlussfolgerungsausgabedaten **130** aus.

[0053] In noch einer weiteren Ausführungsform kann das Schlussfolgerungssystem **104** nur Sensoreingabedaten **110** empfangen, ohne die Positionsinformationen **120** zu empfangen. Das Schlussfolgerungssystem **104** kann die Menge von Kandidatenobjekten nur mit den aus den Sensoreingabedaten **110** empfangenen Merkmalsinformationen erzeugen. Unter erneuter Bezugnahme auf das Beispiel von **Fig. 3** empfängt das Schlussfolgerungssystem **104** die Sensoreingabedaten **110**, die dem Merkmal B entsprechen. Das Schlussfolgerungssystem **104** kann auch ohne die Positionsinformationen **120** bestimmen, dass das Objekt ein Würfelobjekt ist, weil das Würfelobjekt das einzige Objekt ist, das das Merkmal B aufweist.

[0054] In weiteren Ausführungsformen kann das Schlussfolgerungssystem **104** Sensoreingabedaten **110** empfangen, wobei entsprechende Positionsinformationen **120** für einige Sensoreingabedaten **110** empfangen werden, nicht aber für andere. In solchen Ausführungsformen erzeugt und aktualisiert das Schlussfolgerungssystem **104** die Menge von Kandidatenobjekten, die mit den Merkmal-Positions-Repräsentationen (wenn die Positionsinformationen bereitgestellt sind) und den Merkmalen ohne entsprechende Positionen konsistent sind.

[0055] In einer Ausführungsform lernt das Schlussfolgerungssystem **104** basierend auf den Sensoreingabedaten **110** und den Positionsinformationen, die von jedem einzelnen Sensor empfangen werden, separate Repräsentationen für jeden Sensor aus der Menge der Sensoren. Somit erzeugt das Schlussfolgerungssystem **104** als Antwort auf das Empfan-

gen von Informationen zu einem unbekanntem Objekt basierend auf mindestens den Merkmal-Positions-Repräsentationen, die für den Sensor empfangen werden, eine Menge von Kandidatenobjekten für jeden Sensor. In einer Ausführungsform bestimmt das Schlussfolgerungssystem **104** nicht nur basierend auf den empfangenen Merkmal-Positions-Repräsentationen für den Sensor, sondern auch auf der Menge von Kandidatenobjekten für andere Sensoren, die Menge von Kandidatenobjekten für einen Sensor. Insbesondere aktualisiert das Schlussfolgerungssystem **104** für einen gegebenen Zeitschritt die Menge von Kandidatenobjekten auf die, die nicht nur mit den beobachteten Merkmal-Positions-Repräsentationen, sondern auch mit Kandidatenobjekten für andere Sensoren konsistent sind. Auf diese Weise kann das Schlussfolgerungssystem **104** unter Vorgabe von Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120** von einer größeren Anzahl von Sensoren schneller schlussfolgern, da sich die Menge von Kandidatenobjekten für jeden Sensor schnell auf eine Objektrepräsentation einpendelt, die über alle Sensoren hinweg konsistent ist.

[0056] Unter erneuter Bezugnahme auf das Beispiel in **Fig. 3** kann ein erster Tastsensor an einem Roboterfinger Merkmal-Positions-Repräsentationen empfangen, die mit der Menge von Objekten {Würfel, Keil} konsistent sind. Ein zweiter Tastsensor an einem anderen Roboterfinger kann Merkmal-Positions-Repräsentationen empfangen, die mit dem Objekt {Würfel} konsistent sind. Basierend auf Kandidatenobjekten anderer Sensoren kann die Menge von Kandidatenobjekten für den ersten Tastsensor auf ein einziges Objekt {Würfel} aktualisiert werden, da das Würfelobjekt das einzige Objekt ist, das über den ersten und zweiten Tastsensor hinweg konsistent ist.

[0057] Zusätzlich zu den oben beschriebenen Vorteilen kann das in **Fig. 1** gezeigte Schlussfolgerungssystem **104** Schlussfolgerungen unabhängig von der Ausrichtung oder Position des Objekts relativ zu der Menge der Sensoren ziehen. Zum Beispiel kann das Schlussfolgerungssystem **104** Schlussfolgerungen in Bezug auf ein Limodosen-Objekt unabhängig davon ziehen, ob das durch die Sensoren Objekt aufrecht oder auf seiner Seite liegend erfasst wird. Das Schlussfolgerungssystem **104** kann auch Schlussfolgerungen ziehen, indem es Sensoreingabedaten **110** aus einer Untermenge von Sensoren verwendet, die sich von denen unterscheiden, die dazu verwendet werden, die Objektrepräsentationen zu erlernen. Zum Beispiel kann das Schlussfolgerungssystem **104** Schlussfolgerungen in Bezug auf eine Kaffeetasse unter Verwendung der Sensoreingabedaten **110** aus Tastsensoren an einem zweiten und dritten Roboterfinger ziehen, die sich von den Tastsensoren an einem ersten und vierten Roboterfinger unterscheiden, die dazu verwendet werden, die Kaffeetasenobjektrepräsentation zu lernen.

Architektur des Schlussfolgerungssystems

[0058] Fig. 4 ist ein detailliertes Blockdiagramm, das ein Schlussfolgerungssystem **104** gemäß einer Ausführungsform zeigt. Das in Fig. 4 gezeigte Schlussfolgerungssystem **104** umfasst neben anderen Komponenten Eingabeprozessoren **410A**, **410B**, **410C**, Ausgabeprozessoren **412A**, **412B**, **412C** und einen Controller **422**. Der Eingabeprozessor **410A** und der Ausgabeprozessor **412A** entsprechen jeweils dem Sensor A in einer Menge von Sensoren. Der Eingabeprozessor **410B** und der Ausgabeprozessor **412B** entsprechen jeweils dem Sensor B in der Menge von Sensoren. Der Eingabeprozessor **410C** und der Ausgabeprozessor **412C** entsprechen jeweils dem Sensor C in der Menge von Sensoren. Obwohl die Eingabe- und Ausgabeprozessoren **410A**, **410B**, **410C**, **412A**, **412B**, **412C**, die einer Menge von drei Sensoren A, B, C entsprechen, in Fig. 4 gezeigt sind, können in der Praxis in Abhängigkeit von der Anzahl der Sensoren mehr oder weniger Eingabe- und Ausgabeprozessoren vorliegen. Die Menge von Sensoren kann den gleichen Sensortyp (z. B. Tastsensor) oder eine Kombination von verschiedenen Sensortypen (z. B. visueller Sensor und Tastsensor) sein.

[0059] Der Eingabeprozessor **410** erzeugt Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen. Der Eingabeprozessor **410** umfasst neben anderen Komponenten mehrere Zellen, die in Spalten organisiert sind. Das Vorhandensein einer bestimmten Merkmal-Positions-Repräsentation (z. B. das räumliche Merkmal A an der Position f_3) wird von einer Untermenge aktivierter Zellen in dem Eingabeprozessor **410** repräsentiert. Somit wird eine Menge von Kandidatenobjekten Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen durch Aktivieren der Zellen, die einer jeweiligen Repräsentation zugeordnet ist, in dem Eingabeprozessor **410** erzeugt. Insbesondere werden Zellen in dem Eingabeprozessor **410** als Antwort auf ein Empfangen der Sensoreingabedaten **110** und der Positionsinformationen **120** aktiviert, die das Vorhandensein von Merkmal-Positions-Repräsentationen, die den Zellen zugeordnet sind, angeben. Zellen in dem Eingabeprozessor **410** können auch als Antwort auf das Empfangen von Rückkopplungseingaben **460** aus den Ausgabeprozessoren **412** aktiviert werden, die angeben, dass Merkmal-Positions-Repräsentationen, die den Zellen zugeordnet sind, in mindestens einem Kandidatenobjekt in der aktuellen Menge von Kandidatenobjekten vorhanden sind. Der Eingabeprozessor **410** liefert Aktivierungszustände von Zellen (d. h. Vorhandensein von Merkmal-Positions-Repräsentationen) an die Ausgabeprozessoren **412** als Vorwärtskopplungssignale **440**.

[0060] Der Controller **422** ist Hardware oder eine Kombination aus Hardware und Software zum Senden von Betätigungssignalen an Aktoren (z. B. einen Roboterarm), die der Bewegung der Sensoren

zugeordnet sind, die Sensoreingaben **110A**, **110B**, **110C** liefern. Der Controller **422** fungiert auch als eine Quelle der Positionsinformationen, die allozentrische Positionen von Sensoren als die Positionsinformationen **120A**, **120B**, **120C** erzeugt und an die Eingabeprozessoren **410A**, **410B**, **410C** liefert. Zu diesem Zweck kann der Controller **422** neben anderen Komponenten einen Prozessor, einen Speicher und eine Schnittstellenvorrichtung zum Kommunizieren mit den Aktoren und den Sensoren umfassen. Der Speicher kann Softwarekomponenten zum Steuern und Betreiben der Aktoren (z. B. ein Bewegungsplanungsmodul und einen Aktorsteueralgorithmus) umfassen.

[0061] Der Ausgabeprozessor **412** bestimmt eine Menge von Kandidatenobjekten basierend auf Vorwärtskopplungssignalen **440** und wahlweise Lateral-signalen **480**. Der Ausgabeprozessor **412** umfasst neben anderen Komponenten mehrere Zellen. In einer Ausführungsform sind die mehreren Zellen in Spalten organisiert. Eine Untermenge aktivierter Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** repräsentiert das Vorhandensein eines bestimmten Objekts (z. B. einer Kaffeetasse). Somit wird eine Menge von Kandidatenobjekten durch Aktivieren eines Verbundes von Zellen, die jedem Objekt zugeordnet sind, in dem Ausgabeprozessor **412** repräsentiert. Insbesondere werden die Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** als Antwort auf ein Empfangen von Vorwärtskopplungssignalen **440** aus den Eingabeprozessoren **410** aktiviert, die Merkmal-Positions-Repräsentationen angeben, die den Objekten, die von den Zellen repräsentiert werden, zugeordnet sind. Die Vorwärtskopplungssignale **440** werden über Vorwärtskopplungsverbindungen empfangen, die Verbindungen zwischen allen oder einer Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** und einer Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** zum Übermitteln der Vorwärtskopplungssignale **440** sind. Somit repräsentieren die Vorwärtskopplungsverbindungen eine Zuordnung zwischen dem Objekt, das durch die Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** repräsentiert wird, und der Merkmal-Positions-Repräsentation, die durch die Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** repräsentiert wird. In einer Ausführungsform können die Vorwärtskopplungsverbindungen zwischen Zellen während des Lernprozesses getrennt oder erzeugt werden.

[0062] In einer Ausführungsform erzeugt jeder Ausgabeprozessor **412** für einen entsprechenden Sensor basierend auf den Merkmal-Positions-Repräsentationen, die in dem Eingabeprozessor **410** für den entsprechenden Sensor vorhanden sind, seine eigene Menge von Kandidatenobjekten. Zum Beispiel kann der Ausgabeprozessor **412A** eine Menge von Kandidatenobjekten basierend auf der aktivierten Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410A**

erzeugen und der Ausgabeprozessor **412B** kann eine weitere Menge von Kandidatenobjekten basierend auf der aktivierten Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410B** erzeugen.

[0063] Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** können auch als Antwort auf das Empfangen der Lateralsignale **480** aus Zellen in demselben Ausgabeprozessor **412** oder Zellen in anderen Ausgabeprozessoren **412**, die demselben Objekt zugeordnet sind, aktiviert werden. Die Lateralsignale **480** werden über Lateralverbindungen empfangen, die Verbindungen zwischen einer Untermenge von Zellen in einem Ausgabeprozessor **412** und einer weiteren Untermenge von Zellen in demselben Ausgabeprozessor **412** oder einem anderen Ausgabeprozessor **412** zum Übermitteln der Lateralsignale **480** sind. Eine Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**, die miteinander über Lateralverbindungen verbunden sind, können dasselbe Objekt repräsentieren. Somit können Zellen in einem Ausgabeprozessor **412**, die Objekte repräsentieren, die mit denen, die in anderen Ausgabeprozessoren **412** repräsentiert sind, gemein sind, durch Lateralverbindungen verstärkt werden. Die Menge von Lateralverbindungen zwischen Untermengen von Zellen in demselben Ausgabeprozessor **412** können als Intralateralverbindungen bezeichnet werden, die intralaterale Eingaben tragen. Die Menge von Lateralverbindungen zwischen Untermengen von Zellen in unterschiedlichen Ausgabeprozessoren **412** können als Interlateralverbindungen bezeichnet werden, die interlaterale Eingaben tragen. In einer Ausführungsform können die Lateralverbindungen zwischen Zellen während des Lernprozesses getrennt oder erzeugt werden.

[0064] Die in **Fig. 4** gezeigten Lateralsignale **480** sind nur Beispiele und es wird darauf hingewiesen, dass es eine Vielfalt von Abwandlungen zu der in **Fig. 4** gezeigten Anordnung gibt. Jeder Ausgabeprozessor **412** kann Lateralsignale **480** liefern und von einem oder mehreren anderen Ausgabeprozessoren **412** empfangen. Zum Beispiel kann der Ausgabeprozessor **412A** Lateralsignale **480** an den Ausgabeprozessor **412C** sowie den Ausgabeprozessor **412B** liefern und von diesen empfangen.

[0065] Der Ausgabeprozessor **412** liefert die Aktivierungszustände von Zellen als Rückkopplungssignale **460** an Zellen in dem Eingabeprozessor **410**. Die Rückkopplungssignale **460** werden über Rückkopplungsverbindungen geliefert, die Verbindungen zwischen einer Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** und einer Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** zum Übermitteln von Rückkopplungseingaben **460** sind. Somit repräsentieren Rückkopplungsverbindungen ähnlich wie Vorwärtskopplungsverbindungen eine Zuordnung zwischen dem Objekt, das durch die Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** repräsentiert

wird, und der Merkmal-Positions-Repräsentation, die durch die Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** repräsentiert wird. Die Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** und dem Ausgabeprozessor **412**, die Rückkopplungsverbindungen aufweisen, können sich mit der Untermenge von Zellen, die Vorwärtskopplungsverbindungen aufweisen, decken. In einer Ausführungsform können die Vorwärtskopplungsverbindungen zwischen Zellen während des Lernprozesses getrennt oder erzeugt werden.

[0066] In einer Ausführungsform werden Verbindungen zwischen den Zellen durch Auswählen und Aufrechterhalten von Aktivierung für eine Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** für ein Objekt und Ausbilden von Verbindungen zwischen Zellen in dem Eingabeprozessor **410** und dem Ausgabeprozessor **412** basierend auf den Sensoreingabedaten **110** an verschiedenen Positionen des Objekts gelernt. Insbesondere wählt jeder Ausgabeprozessor **412** eine Untermenge von Zellen zur Aktivierung aus, die einem bestimmten Objekt entspricht. Die Aktivierungszustände der Zellen in den Ausgabeprozessoren **412** werden aufrechterhalten. Eine aktivierte Zelle in einem Ausgabeprozessor **412** wählt eine Untermenge von aktivierten Zellen in demselben Ausgabeprozessor **412** aus und bildet Intralateralverbindungen mit der ausgewählten Untermenge von Zellen. Die aktivierte Zelle in dem Ausgabeprozessor **412** wählt auch eine Untermenge von aktivierten Zellen in verschiedenen Ausgabeprozessoren **412** aus und bildet Interlateralverbindungen mit der ausgewählten Untermenge von Zellen.

[0067] In einer Ausführungsform ist jede Lateralverbindung einem Beständigkeitswert, der die Häufigkeit dieser Verbindung angibt, zugeordnet. Mit anderen Worten gibt der Beständigkeitswert für eine Lateralverbindung eine Häufigkeit von Zellenaktivierungen in dem Ausgabeprozessor **412** aufgrund der Aktivierung von Zellen, die mit den aktiven Zellen durch Lateralverbindungen verbunden sind, an. Der Beständigkeitswert kann durch Lernprozesse angepasst werden, um bestehende Lateralverbindungen zu trennen oder neue Lateralverbindungen zu erzeugen.

[0068] Anschließend empfängt der Eingabeprozessor **410** für einen Sensor die Sensoreingabedaten **110** an einer gegebenen Position an dem bestimmten Objekt. Als Antwort auf das Empfangen von Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120**, die die Position des Sensors an dem Objekt enthalten, aktiviert der Eingabeprozessor **410** eine Untermenge von Zellen, die den entsprechenden Merkmal-Positions-Repräsentationen zugeordnet sind. Insbesondere können dann, wenn die erfasste Merkmal-Positions-Repräsentation vorher bekannt ist, die Zellen in dem Eingabeprozessor **410**, die der Merk-

mal-Positions-Repräsentation zugeordnet sind, aktiviert werden. Wenn die erfasste Merkmal-Positions-Repräsentation vorher unbekannt war, wählt das Schlussfolgerungssystem **104** eine zufällige Zelle in jeder Spalte, die dem Merkmal in der Sensoreingabe **110** entspricht, aus und diese Zellen werden der Position zugeordnet, die in den empfangenen Positionsinformationen **120** enthalten ist. Die ausgewählten Zellen werden aktiviert.

[0069] Eine aktivierte Zelle in dem Eingabeprozessor **410** wählt eine Untermenge von Zellen in dem entsprechenden Ausgabeprozessor **412** aus und bildet Vorwärtskopplungsverbindungen mit der ausgewählten Untermenge von Zellen. Eine aktivierte Zelle in dem Ausgabeprozessor **412** wählt eine Untermenge von Zellen in dem entsprechenden Eingabeprozessor **410** aus und bildet Rückkopplungsverbindungen mit der ausgewählten Untermenge von Zellen. Dieser Prozess wird wiederholt, wenn der Sensor eine neue Position an dem Objekt erfasst, was zu neuen Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120** führt.

[0070] In einer Ausführungsform ist jede Vorwärtskopplungs- und Rückkopplungsverbindung einem Beständigkeitswert zugeordnet, der die Häufigkeit der Verbindung angibt. Mit anderen Worten gibt der Beständigkeitswert für eine Vorwärtskopplungsverbindung eine Häufigkeit von Zellenaktivierungen in dem Ausgabeprozessor **412** aufgrund der Aktivierung von Zellen in dem Eingabeprozessor **410**, der mit den aktiven Zellen durch Vorwärtskopplungsverbindungen verbunden sind, an. Der Beständigkeitswert für eine Rückkopplungsverbindung gibt die Häufigkeit von Zellenaktivierungen in dem Ausgabeprozessor **412** aufgrund der Aktivierung von Zellen in dem Eingabeprozessor **410**, der mit den aktiven Zellen durch Rückkopplungsverbindungen verbunden sind, an. Der Beständigkeitswert kann durch Lernprozesse angepasst werden, um existierende Vorwärtskopplungs- und Rückkopplungsverbindungen zu trennen oder neue Verbindungen zu erzeugen.

[0071] Der Lernprozess ist für das bestimmte Objekt vollständig, wenn beispielsweise jeder Sensor Sensormerkmale zu einer Menge von allozentrischen Positionen an dem Objekt erfasst hat. Wenn ein neues Objekt erlernt wird, werden die Zellen in dem Eingabeprozessor **410** und dem Ausgabeprozessor **412** deaktiviert und der oben beschriebene Prozess wird für das neue Objekt wiederholt.

Ziehen von Schlussfolgerungen unter
Verwendung des Schlussfolgerungssystems

[0072] Fig. 5A ist ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren zum Ziehen von Schlussfolgerungen in dem Schlussfolgerungssystem **104** gemäß einer Ausführungsform zeigt.

Der Eingabeprozessor **410** empfängt **510** die Sensoreingabedaten **110** für einen entsprechenden Sensor und aktiviert Zellen, die dem in den Sensoreingabedaten **110** beschriebenen Merkmal zugeordnet sind. Somit repräsentiert die Kombination aktivierter Zellen in dem Eingabeprozessor **410** die Menge von Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen, die dem bestimmten Merkmal zugeordnet sind. Der Eingabeprozessor **410** erzeugt die Aktivierungszustände der Zellen und liefert sie als Vorwärtskopplungssignal **440** an Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**, die Vorwärtskopplungsverbindungen mit den aktivierten Zellen in dem Eingabeprozessor **410** aufweisen.

[0073] Der Ausgabeprozessor **412** aktiviert **514** seine Zellen basierend auf dem Vorwärtskopplungssignal **440**, das Aktivierungszustände der Zellen in dem Eingabeprozessor **410** angibt. Somit repräsentiert die Menge von aktivierten Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** die Menge von Kandidatenobjekten, die mit den Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen konsistent sind. Der Ausgabeprozessor **412** erzeugt die Aktivierungszustände der Zellen und liefert sie als Lateralsignal **480** und Rückkopplungseingabe **460**. Das heißt, dass die Aktivierungszustände von Zellen in einem Ausgabeprozessor **412** an Zellen in demselben Ausgabeprozessor oder einem anderen Ausgabeprozessor **412** in Form einer lateralen Eingabe (einschließlich intralateraler Eingaben und interlateraler Eingaben) geliefert werden und an Zellen in dem Eingabeprozessor **410** in Form von Rückkopplungseingaben geliefert werden.

[0074] Der Eingabeprozessor **410** empfängt **518** beispielsweise aufgrund einer Bewegung eines Sensors die Sensoreingabedaten **110** an einer neuen Position. Der Eingabesensor **410** empfängt zudem die Positionsinformationen **120**, die eine Menge aktualisierter potenzieller Positionen basierend auf einer bestimmten Positionsverschiebung des Sensors von der vorherigen Position angeben. Die Positionsinformationen **120** können beispielsweise aus einem Controller **422** empfangen werden, der die Bewegung der Sensoren (z. B. an der Roboterhand) durch einen oder mehrere Aktoren steuert. In anderen Beispielen können die Positionsinformationen **120** von einem getrennten Codierer empfangen werden, der die aktualisierte Menge potenzieller Positionen basierend auf einem Empfangen von Positionsverschiebungsinformationen der Sensoren bestimmt.

[0075] Der Eingabeprozessor **410** aktualisiert **522** die Aktivierung der Zellen basierend auf den neuen Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120** und auch basierend auf der Rückkopplungseingabe **460**, die Aktivierungszustände der Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** angibt. Somit repräsentiert die Menge aktivierter Zellen in dem Eingabeprozessor **412** Merkmal-Positions-Repräsentationen, die mit

den aktualisierten Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120** sowie der Menge von Kandidatenobjekten konsistent sind. Der Eingabeprozessor **410** liefert wiederum die Aktivierungszustände der Zellen als Vorwärtskopplungssignal **440** an die Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**.

[0076] Der Ausgabeprozessor **412** aktualisiert **526** die Aktivierung von Zellen basierend auf dem neuen Vorwärtskopplungssignal **440**, das Aktivierungszustände der Zellen in dem Eingabeprozessor **410** angibt, und dem Lateralsignal **480**, das Aktivierungszustände von Zellen in demselben oder einem anderen Ausgabeprozessor **412** angibt. Somit repräsentiert die Menge aktivierter Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** Kandidatenobjekte, die mit der Menge von aktualisierten Kandidaten-Merkmal-Positions-Repräsentationen als auch Kandidatenobjekten in anderen Ausgabeprozessoren **412** konsistent sind. Wenn die aktivierten Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** mit einem einzigen Objekt konsistent sind, dann ist die Schlussfolgerung abgeschlossen. Ansonsten wird der Prozess wiederholt, um weitere Sensoreingabedaten **110** an einer neuen Position zu empfangen.

[0077] In einer Ausführungsform bestimmt der Ausgabeprozessor **412**, dass eine Untermenge von aktivierten Zellen zu einem Objekt passt, wenn eine vorbestimmte Schwelle aktivierter Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** einem gegebenen Objekt zugeordnet ist. Zum Beispiel kann der Ausgabeprozessor **412** ein Kaffeetassen-Objekt ausgeben, wenn 90 % der aktivierten Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** dem Kaffeetassen-Objekt zugeordnet sind. In einer Ausführungsform kann der Ausgabeprozessor **412** die aktuelle Liste von Kandidatenobjekten als Ausgabe ausgeben, wenn kein einzelnes Objekt identifiziert werden kann.

[0078] Die in **Fig. 5A** gezeigten Schritte sind nur beispielhaft. Einer oder mehrere dieser Schritte können während der Operation des Schlussfolgerungsprozesses zusammenverwendet, selektiv ausgewählt oder verworfen und/oder variiert werden. Zum Beispiel können ein oder mehrere dieser Schritte in parallelen Operationen und nicht in einer bestimmten Abfolge durchgeführt werden.

Lernen von Verbindungen zum Schlussfolgern

[0079] **Fig. 5B** ist ein Ablaufdiagramm zum Darstellen eines Verfahrens zu Lernen von Verbindungen zum Schlussfolgern gemäß einer Ausführungsform. Eine Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** wird ausgewählt, um ein Objekt zu repräsentieren, wenn die Zellen aktiviert werden **550**. Die Kombination aktivierter Zellen über einen oder mehrere Ausgabeprozessoren **412** hinweg gibt bei Aktivierung an, dass das Objekt detektiert wird.

[0080] Interlateralverbindungen und Intralateralverbindungen werden zwischen einer oder mehreren aktivierten Zellen des Ausgabeprozessors **412** ausgebildet **552**. Insbesondere sind Intralateralverbindungen Verbindungen zwischen Zellen in verschiedenen Spalten desselben Ausgabeprozessors **412**. Interlateralverbindungen sind Verbindungen zwischen Zellen in Ausgabeprozessoren, die unterschiedlichen Sensoren entsprechen.

[0081] Das Schlussfolgerungssystem **104** empfängt **554** Sensoreingabedaten **110**, die einer allozentrischen Position des Objekts zugeordnet sind. Eine Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410**, die mit der Merkmal-Positions-Repräsentation konsistent ist, wird aktiviert **556**. Vorwärtskopplungs- und Rückkopplungsverbindungen werden zwischen den aktivierten Zellen des Ausgabeprozessors **412** und allen oder einer Untermenge der aktivierten Zellen des Eingabeprozessors **410** ausgebildet **558**. Wenn der Lernprozess nicht abgeschlossen ist, wiederholt sich der Prozess derart, dass die Sensoren neue Sensoreingabedaten **110** an einer neuen Position an dem Objekt empfangen.

[0082] Nach dem Abschließen des Lernens für ein Objekt kann ein Lernen für ein neues Objekt durch Aktivieren **550** einer anderen Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**, um das neue Objekt zu repräsentieren, wenn die Zellen aktiviert werden, und Wiederholen anschließender Prozesse wie in **Fig. 5B** gezeigt durchgeführt werden.

[0083] Die in **Fig. 5B** gezeigten Schritte sind nur beispielhaft. Einer oder mehrere dieser Schritte können während der Operation des Schlussfolgerungsprozesses zusammenverwendet, selektiv ausgewählt oder verworfen und/oder variiert werden. Zum Beispiel können ein oder mehrere dieser Schritte in parallelen Operationen und nicht in einer bestimmten Abfolge durchgeführt werden.

Beispielarchitektur eines Eingabeprozessors

[0084] **Fig. 6** ist ein detailliertes Blockdiagramm, das einen Eingabeprozessor **410** gemäß einer Ausführungsform zeigt. Der Eingabeprozessor **410** kann neben anderen Komponenten einen Ausgabeprozessor **612**, Spalten von Zellen **11** bis **Mk** (in gestrichelten Kästen) und einen Spaltenaktivierer **618** umfassen.

[0085] Der Spaltenaktivierer **618** ist eine Software, Hardware oder eine Kombination davon, die die Sensoreingabedaten **110** empfängt und basierend auf den empfangenen Sensoreingabedaten **110** Spaltenaktivierungssignale **634**, die angeben, welche Spalten von Zellen aktiviert werden sollen, erzeugt. Ein oder mehrere Spaltenaktivierungssignale **634** können ein Vorhandensein bestimmter Merkmale in den Sensoreingabedaten **110** repräsentieren.

[0086] Der Eingabeprozessor **410** empfängt zudem Rückkopplungssignale **460** aus dem entsprechenden Ausgabeprozessor. Die Rückkopplungssignale **460** werden in eine Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** mit Rückkopplungsverbindungen zu den Zellen, die die Rückkopplungssignale hervorbringen, eingespeist und geben eine potenzielle Aktivierung von einer oder mehreren Zellen in dem Eingabeprozessor **410** an, die dem mindestens einen Kandidatenobjekt in der Menge von Kandidatenobjekten, die durch die Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** repräsentiert werden, zugeordnet sind. Der Eingabeprozessor **410** empfängt die Positionsinformationen **120**. Die Positionsinformationen **120** werden an die Zellen in dem Eingabeprozessor **410** als Positionssignale geliefert und geben an, dass der entsprechende Sensor an einer bekannten oder potenziellen Position an dem Objekt, die den Zellen zugeordnet ist, sein kann.

[0087] In einer Ausführungsform umfasst jede Spalte dieselbe Anzahl (N) von Zellen. Eine Zelle in dem Eingabeprozessor **410** weist drei Zustände auf: inaktiv, prädiktiv und aktiv. Wie unten unter Bezugnahme auf **Fig. 7** genauer beschrieben kann eine Zelle aktiviert (d. h. in einem aktiven Zustand versetzt) werden, falls die Zelle ein Spaltenaktivierungssignal **634** empfängt, wenn sie sich vorher in einem prädiktiven Zustand befindet. Wenn eine Zelle in einer Spalte aktiviert wird, hemmt die aktive Zelle eine Aktivierung anderer Zellen in derselben Spalte außer unter bestimmten begrenzten Umständen. Der prädiktive Zustand repräsentiert eine Vorhersage, dass die Zelle durch das Spaltenaktivierungssignal **634** in einem nächsten Zeitschritt aktiviert werden wird. Eine Zelle kann als Antwort auf ein Empfangen von Positionssignalen prädiktiv (d. h. in einen prädiktiven Zustand versetzt) werden. Eine Zelle kann auch als Antwort auf das Empfangen von Rückkopplungssignalen aus Zellen in dem Ausgabeprozessor über Rückkopplungsverbindungen prädiktiv werden. Eine Zelle, die weder in einem aktiven Zustand noch in einem prädiktiven Zustand ist, wird als inaktiv (d. h. in einem inaktiven Zustand befindlich) bezeichnet.

[0088] In einer Ausführungsform werden die Zellen dann aktiviert, wenn die Zellen vorher in einem prädiktiven Zustand sind und Spaltenaktivierungssignale **634** in einem folgenden Zeitschritt empfangen. Zum Beispiel kann eine Untermenge von Zellen, die Positionssignale empfangen, als Antwort auf das Empfangen der Positionsinformationen **120** prädiktiv werden. Prädiktive Zellen, die Spaltenaktivierungssignale **634** empfangen, die basierend auf den empfangenen Sensoreingabedaten **110** erzeugt werden, werden aktiviert. Auf diese Weise wird nur die Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410**, die mit den Sensoreingabedaten **110** und den Positionsinformationen **120** konsistent sind, aktiviert. Als weiteres Beispiel können Zellen, die Rückkopplungssigna-

le empfangen, aufgrund der Aktivierung von Zellen in dem entsprechenden Ausgabeprozessor, die Rückkopplungssignale an die Zellen liefern, prädiktiv werden. Prädiktive Zellen, die Spaltenaktivierungssignale **634** empfangen, die basierend auf den Sensoreingabedaten **110** erzeugt werden, werden aktiviert. Auf diese Weise wird nur die Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** aktiviert, die mit den Sensoreingabedaten **110** und der aktuellen Menge von Kandidatenobjekten konsistent ist. Als noch ein weiteres Beispiel können Zellen, die sowohl Positionssignale als auch Rückkopplungssignale empfangen, prädiktiv werden. In diesem Fall wird die Untermenge von Zellen in dem Eingabeprozessor **410**, die mit den Sensoreingabedaten **110**, den Positionsinformationen **120** und der Menge von Kandidatenobjekten konsistent sind, aktiviert.

[0089] In einer Ausführungsform werden dann, wenn die Zellen in einem prädiktiven Zustand aufgrund von Rückkopplungssignalen, die über die Rückkopplungsverbindungen übermittelt werden, prädiktiv aktiv waren und die Sensoreingabedaten **110** zu einer korrekten Aktivierung der Zelle führten, die Beständigkeitswerte für die Rückkopplungsverbindungen der Zellen mit aktivierten Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** erhöht, wohingegen die Beständigkeitswerte für Verbindungen zu inaktiven Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** verringert werden. Auf der anderen Seite werden dann, wenn für die Zellen in dem prädiktiven Zustand nicht eine Aktivierung der Zellen folgt, die Beständigkeitswerte für Rückkopplungsverbindungen zu aktivierten Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** verringert. Wenn ein Beständigkeitswert für eine Verbindung unter einen Schwellenwert fällt, kann die Verbindung getrennt werden. Auf diese Weise tragen Rückkopplungsverbindungen zwischen Zellen mit niedrigen Beständigkeitswerten nicht mehr zur Aktivierung von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** bei.

[0090] Unter weiterer Bezugnahme auf das Beispiel können dann, wenn keine Zelle in der Spalte aktuell in einem prädiktiven Zustand ist, eine oder mehrere Zellen (z. B. alle Zellen in der Spalte) zufällig ausgewählt und aktiviert werden. Wenn keine Zelle in der Spalte aktuell in einem prädiktiven Zustand ist, können die Zellen in der Spalte basierend auf jüngsten Aktivierungszuständen aktiviert werden. Insbesondere können die Zellen, die zuletzt in der Spalte aktiviert waren, zur Aktivierung ausgewählt werden. Alternativ können alle Zellen in der Spalte aktiviert werden, wenn keine Zelle in der Spalte aktuell in einem prädiktiven Zustand ist.

[0091] In einer weiteren Ausführungsform werden eine oder mehrere Zellen in der Spalte aktiviert, obwohl andere Zellen in derselben Spalte in dem prädiktiven Zustand sind.

[0092] Die Zellen senden individuell eine Zusammenfassungsausgabe **622**, die die Zustände der Zellen **11** bis **Mk** identifiziert, an den Ausgabegenerator **612**. In einer Ausführungsform gibt die Zusammenfassungsausgabe **622** an, welche Zellen aktiviert und/oder welche Zellen vorhergesagt waren und aktiv geworden sind. Zum Beispiel kann die Zusammenfassungsausgabe **622** jeder Zelle als Binärwert wie beispielsweise ein Binärwert mit zwei Bit, wobei ein Bit angibt, ob die Zelle aktiviert ist, und ein Bit angibt, ob die Zelle prädiktiv war und aktiv wurde, dargestellt werden. In einigen Ausführungsformen gibt die Zusammenfassungsausgabe **622** an, welche Zellen aktiviert sind und welche Zellen prädiktiv sind. Zum Beispiel kann die Zusammenfassungsausgabe **622** jeder Zelle als Binärwert wie etwa ein Binärwert mit zwei Bit, wobei ein Bit angibt, ob die Zelle aktiviert ist, und ein Bit angibt, ob die Zelle prädiktiv ist, dargestellt werden. Obwohl die Zusammenfassungsausgabe **622** in den meisten Fällen einen Binärwert annimmt, kann die Zusammenfassungsausgabe **622** auch ein Nicht-Binärwert sein. Zum Beispiel kann die Zusammenfassungsausgabe **622** eine Ganzzahlwert oder einen reellen Zahlenwert umfassen, der die Stärke des aktivierten Zustands der Zelle angibt.

[0093] Der Ausgabegenerator **412** ist Software, Hardware, Firmware oder eine Kombination davon, die das Vorwärtskopplungssignal **440** basierend auf der Aktivierung von Zellen **11** bis **Mk** erzeugt. In einer Ausführungsform sammelt der Ausgabegenerator **412** die Zusammenfassungsausgaben **622** aus den Zellen oder Spalten und verkettet diese Ausgaben zu einem Vektor. Der verkettete Vektor kann als Vorwärtskopplungssignal **440** des Eingabeprozessors **410** an den Ausgabeprozessor **412** gesendet werden.

Beispieldarstellung einer Zelle
in einem Eingabeprozessor

[0094] **Fig. 7** ist eine konzeptuelle Darstellung, die Signale, die einer Zelle **790** in dem Eingabeprozessor **410** zugeordnet sind, gemäß einer Ausführungsform zeigt. Die Zelle **790** kann ein physikalisches oder logisches Konstrukt sein, das basierend auf seinem vorherigen Zustand und verschiedenen Signalen, die es empfängt, entweder inaktiv, prädiktiv oder aktiv wird.

[0095] Wie in Bezug auf **Fig. 6** erörtert empfängt die Zelle **790** ein Positionssignal **732**, das angibt, dass der entsprechende Sensor an einer bekannten Position oder einer potenziellen Position an dem Objekt, das der Zelle **790** zugeordnet ist, sein kann. Die Zelle **790** empfängt zudem ein Rückkopplungssignal **736**, das eine Aktivierung einer oder mehrerer Zellen in dem entsprechenden Ausgabeprozessor mit Rückkopplungsverbindungen zu der Zelle angibt.

[0096] Wie in Bezug zu **Fig. 6** erörtert kann die Zelle **790** prädiktiv werden, wenn sie das Positionssignal **732** und/oder Rückkopplungssignal **736** empfängt. Die Zelle **790** empfängt zudem das Spaltenaktivierungssignal **634**, das die Aktivierung der Zelle **790** verursachen kann.

[0097] In einer Ausführungsform wird die Zelle **790** aktiv, wenn (i) die Zelle **790** sich in einem prädiktiven Zustand befindet und dann als Antwort auf das Spaltenaktivierungssignal **634** in einen aktiven Zustand übergeht und/oder (ii) die Zelle **790** nicht in einem prädiktiven Zustand ist, aber trotzdem als Antwort auf das Spaltenaktivierungssignal **634** aktiviert wird. Zum Beispiel können dann, wenn die Spalte, die die Zelle **790** enthält, ein Spaltenaktivierungssignal **634** empfängt, aber keine Zellen in der Spalte in einem prädiktiven Zustand sind, alle Zellen in der Spalte einschließlich Zelle **790** aktiviert werden.

Beispielbetrieb und -funktion von
Zellen in einem Eingabeprozessor

[0098] **Fig. 8A** bis **Fig. 8C** sind Darstellungen, die beispielhafte Aktivierungszustände von Zellen in dem Eingabeprozessor **410**, die Lernen und Erkennen verschiedener Objekte einschließlich einem Objekt A und einem Objekt B zugeordnet sind, gemäß einer Ausführungsform zeigen. Jeder Kreis stellt eine Zelle in dem Eingabeprozessor **410** dar. Wenn eine jeweilige Zelle aktiv wird, sendet die Zelle die Zusammenfassungsausgabe **622** aus.

[0099] **Fig. 8A** zeigt den Eingabeprozessor **410**, der die Sensoreingabedaten **110** empfängt, in einem Anfangszustand ohne vorheriges Training. Basierend auf den empfangenen Sensoreingabedaten **110** werden die Spaltenaktivierungssignale **634**, die Spalte **1** und Spalte **M** des Eingabeprozessors **410** entsprechen, erzeugt. Da anfänglich keine Zellen in einem prädiktiven Zustand sind, werden alle Zellen in Spalte **1** und Spalte **M** als Ergebnis des Empfangens der Spaltenaktivierungssignale **634** aktiviert. Die Aktivierungssignale der Zellen werden in einer Zusammenfassungsausgabe **622**, die von den Spalten der Zellen erzeugt wird, repräsentiert.

[0100] Die aktivierten Zellen in dem Eingabeprozessor **410** verursachen dann eine Aktivierung der Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**, die den Kandidatenobjekten A und B zugeordnet sind und Vorwärtskopplungsverbindungen zu den aktivierten Zellen in dem Eingabeprozessor **410** aufweisen. Die Aktivierung der Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** stellt dann ein Rückkopplungssignal, das unter Bezugnahme auf **Fig. 8B** beschrieben ist, bereit.

[0101] **Fig. 8B** zeigt den Betrieb von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** im nächsten Zeitschritt gemäß einer Ausführungsform. Wie in **Fig. 8B** gezeigt

sind die Zellen V, Y und Z mit den aktivierten Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** verbunden und empfangen somit die Rückkopplungssignale **736** aus den Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**, die den Kandidatenobjekten A und B zugeordnet sind, die durch Aktivierung der Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** repräsentiert sind. Das Rückkopplungssignal **736** versetzt die Zellen V, Y und Z in einen prädiktiven Zustand. Die Zellen V, Y und W des Eingabeprozessors **410** empfangen auch die Positionsinformationen **120**, die eine Menge potenzieller Positionen f_3 und f_4 angeben. Die potenziellen Positionen f_3 und f_4 werden basierend auf einer geschätzten Positionsverschiebung zwischen der Position des Sensors, wenn die Sensoreingabedaten **110** für **Fig. 8A** erzeugt werden, und der aktuellen Position des Sensors erzeugt. Die Zellen V, Y und Z empfangen die Positionssignale **732**, da sie diesen Positionen zugeordnet sind. Die Zellen V, Y und Z behalten ihren prädiktiven Zustand bei und die Zelle W wird ebenfalls prädiktiv.

[0102] Wie in **Fig. 8C** gezeigt empfängt der Eingabeprozessor **410** die neuen Sensoreingabedaten **110**. Basierend auf den neuen Sensoreingabedaten **110** erzeugt der Spaltenaktivierer **618** die Spaltenaktivierungssignale **634**, die der Spalte **1** und der Spalte M des Eingabeprozessors **410** entsprechen. Da die Zelle V vorher in einem prädiktiven Zustand war, wird die Zelle V zur Aktivierung ausgewählt. Obwohl beide Zellen W und Y in einem prädiktiven Zustand waren, wird aufgrund der Hemmung der Zelle W durch die Zelle Y nur die Zelle Y zur Aktivierung ausgewählt, weil die Zelle Y sowohl Rückkopplungs- als auch Positionssignale empfangen hat, während die Zelle W nur ein Positionssignal empfangen hat. Verschiedene Aktivierungs- und Hemmungsregeln sind nachstehend unter Bezugnahme auf **Fig. 10** genauer beschrieben.

Funktionelles Blockdiagramm einer Zelle im Eingabeprozessor

[0103] **Fig. 9** ist ein funktionelles Blockdiagramm, das die Zelle **790** gemäß einer Ausführungsform zeigt. Die Zelle **790** kann neben anderen Komponenten eine Rückkopplungssignalüberwachung **910**, eine Positionssignalüberwachung **912**, einen Zellenaktivierungsprädiktor **916**, einen Zellenaktivierer **918** und einen Spaltenhemmer **924** umfassen. Eine oder mehrere dieser Komponenten können in Software, Hardware oder einer Kombination davon verkörpert sein. Ferner kann die Zelle **790** andere Komponenten, die nicht in **Fig. 9** gezeigt sind, umfassen.

[0104] Die Rückkopplungssignalüberwachung **910** ist Software, Firmware, Hardware oder eine Kombination davon zum Überwachen der Aktivierungszustände der Zellen in einem entsprechenden Ausgabeprozessor **412**. Zu diesem Zweck empfängt die

Rückkopplungssignalüberwachung **910** das Rückkopplungssignal **736** aus den Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**, die mit der Zelle **790** verbunden sind. Wenn das Rückkopplungssignal **736** angibt, dass eine oder mehrere Zellen mit Rückkopplungsverbindungen zu der Zelle **790** aktiv sind, sendet die Rückkopplungssignalüberwachung **910** ein Rückkopplungstreffersignal **934** an den Zellenaktivierungsprädiktor **916**.

[0105] Die Positionssignalüberwachung **912** ist Software, Firmware, Hardware oder eine Kombination davon zum Empfangen des Positionssignals **732**. Wenn das Positionssignal **732** angibt, dass die Positionen an dem Objekt der Zelle **790** zugeordnet sind, sendet die Positionssignalüberwachung **912** ein Positionstreffersignal **930** an den Zellenaktivierungsprädiktor **913**.

[0106] Der Zellenaktivierungsprädiktor **916** ist Software, Firmware, Hardware oder eine Kombination, die die Zelle basierend auf dem Positionstreffersignal **930** und /oder Rückkopplungstreffersignal **934** in einen prädiktiven Zustand versetzt. In einer Ausführungsform versetzt der Zellenaktivierungsprädiktor **916** dann, wenn das Positionstreffersignal **930** und/oder das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugt wird, die Zelle **790** in einen prädiktiven Zustand und sendet ein Prädiktivsignal **941**, das angibt, dass die Zelle **790** sich in einem prädiktiven Zustand befindet, an den Zellenaktivierer **918**.

[0107] Der Zellenaktivierer **918** ist Software, Firmware, Hardware oder eine Kombination davon, die bestimmt, ob die Zelle **790** gemäß einem Satz von Aktivierungs- und Hemmungsregeln in einen aktivierten Zustand zu versetzen ist. Zu diesem Zweck empfängt der Zellenaktivierer **918** das Spaltenaktivierungssignal **634**, das Prädiktivsignal **941** und ein Hemmungssignal **926**.

[0108] Eine zusätzliche Bedingung für die Zellenaktivierung kann sein, dass es kein Hemmungssignal **926** von anderen Zellen in derselben Spalte oder in einer anderen Spalte gibt. Wenn das Hemmungssignal **926** aus anderen Zellen empfangen wird, wird die Zelle **790** trotz des Spaltenaktivierungssignals **634** nicht aktiviert. Wenn die Zelle **790** in einen aktivierten Zustand versetzt wird, erzeugt der Zellenaktivierer **918** die Zusammenfassungsausgabe **622**, die angibt, ob die Zelle aktiv ist oder prädiktiv war und aktiv wurde. In einer Ausführungsform wird die Zusammenfassungsausgabe **622** unabhängig von den Gründen, aus denen die Zelle **790** aktiviert wird, erzeugt. Verschiedene Aktivierungs- und Hemmungsregeln sind unter Bezugnahme auf **Fig. 10** in weiteren Einzelheiten beschrieben.

[0109] Als Antwort auf eine Aktivierung der Zelle **790** durch den Zellenaktivierer **918** erzeugt der Spalten-

hemmer **924** ein Hemmungssignal **928**. Die Hemmungssignale **928** werden an andere Zellen in derselben Spalte oder in einer anderen Spalte gesendet, um die Aktivierung der anderen Zellen in demselben Eingabeprozessor **410** zu hemmen.

Beispielhafte Aktivierungsregeln einer Zelle in einem Eingabeprozessor

[0110] Fig. 10 ist eine Darstellung, die gemäß Ausführungsformen ein Aktivieren von Zellen oder Hemmen einer Aktivierung von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** basierend auf verschiedenen Regeln zeigt. In dem Beispiel von Fig. 10 erzeugen einige Zellen das Rückkopplungstreffersignal **934** und/oder das Positionstreffersignal **930**. Die Zellen sind in Spalten (Spalte 1 bis 5) angeordnet und einige Spalten empfangen das Spaltenaktivierungssignal CAS, wohingegen einige Spalten es nicht tun. „Rückkopplungs“-Pfeile (gepunktet) geben an, dass die Zelle das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugt hat und „Positions“-Pfeile (durchgängig) geben an, dass die Zelle das Positionstreffersignal **930** erzeugt hat. Wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 6 bis Fig. 8 genau erörtert ist, werden dann, wenn eine Spalte von Zellen das Spaltenaktivierungssignal **634** empfängt, aber keine prädiktiven Zellen enthält, alle Zellen oder eine Untermenge der Zellen in der Spalte aktiv. Die Regeln, die dem Betrieb der Zellen zugeordnet sind und unten in Bezug auf Fig. 10 beschrieben sind, dienen nur veranschaulichenden Zwecken. Eine oder mehrere dieser Regeln können gemeinsam verwendet, selektiv ausgewählt oder verworfen und/oder während des Betriebs der Verarbeitungsknoten variiert werden.

[0111] Eine der Regeln ist es, dass Zellen, die sowohl das Positionstreffersignal **930** als auch das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugen, eine Aktivierung von Zellen in derselben Spalte hemmen, die nur das Positionstreffersignal **930** erzeugen. Wie in Spalte 1 von Fig. 10 gezeigt erzeugt die Zelle **C13** das Positionstreffersignal **930** und die Zelle **C14** erzeugt sowohl das Positionstreffersignal **930** als auch das Rückkopplungstreffersignal **934**. Nach dem Empfangen des Spaltenaktivierungssignals **CAS1** wird nur die Zelle **C14** aktiviert, wogegen die Zelle **C12** nicht aktiviert wird, weil die Zelle **C14** (die sowohl das Positionstreffersignal **930** als auch das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugt) die Aktivierung der Zelle **C13** (die nur das Positionstreffersignal **930** erzeugt) hemmt.

[0112] Eine weitere Regel ist es, dass dann, wenn es Zellen gibt, die nur das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugen, diese Zellen nach dem Empfangen des Spaltenaktivierungssignals **634** aktiviert werden. Wie in Spalte 2 gezeigt erzeugen die Zellen **C22** und **C24** Rückkopplungstreffersignale **934**. Nach dem Empfangen des Spaltenaktivierungssi-

gnals **CAS2** werden beide Zellen **C22** und **C24** aktiviert.

[0113] Alternativ ist eine weitere Regel, alle Zellen in einer Spalte bei einem Empfangen des Spaltenaktivierungssignals **634** zu aktivieren, wenn es keine Zellen gibt, die das Positionstreffersignal **930** erzeugen. Wie in Spalte 3 gezeigt werden, obwohl die Zellen **C32** und **C34** das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugen, alle Zellen in der Spalte nach dem Empfangen des Spaltenaktivierungssignals **CAS3** aktiviert, weil es keine Zelle in der Spalte 3 gibt, die das Positionstreffersignal **930** erzeugt.

[0114] Eine weitere Regel ist, dass dann, wenn es Zellen gibt, die nur das Positionstreffersignal **930** erzeugen, diese Zellen nach dem Empfangen eines Spaltenaktivierungssignals **634** aktiviert werden. Wie in Spalte 4 gezeigt erzeugen die Zellen **C41** und **C43** Positionstreffersignale **930**. Nach dem Empfangen des Spaltenaktivierungssignals **CAS4**, werden die beiden Zellen **C41** und **C43** aktiviert.

[0115] Eine weitere Regel ist es, dass Zellen, die nur das Positionstreffersignal **930** erzeugen, eine Aktivierung von Zellen in derselben Spalte hemmen, die nur das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugen. Wie in Spalte 5 gezeigt erzeugen die Zellen **C51** und **C53** das Rückkopplungstreffersignal **934**. Die Zelle **54** erzeugt das Positionstreffersignal **930**. Nach dem Empfangen des Spaltenaktivierungssignals **CAS5** wird nur die Zelle **54** aktiviert, wohingegen die Zellen **51** und **53** nicht aktiviert werden, weil die Zelle **C54** (die nur das Positionstreffersignal **930** erzeugt) die Aktivierung der Zellen **C51** und **C53** (die nur das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugen) hemmt.

[0116] Eine weitere Regel ist es, dass Zellen, die sowohl das Positionstreffersignal **930** als auch das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugen, aktiviert werden müssen. Mit anderen Worten werden Zellen, die nur das Positionstreffersignal **930** oder das Rückkopplungstreffersignal **934** erzeugen, nicht aktiviert, auch wenn sie in einem prädiktiv aktiven Zustand sind.

[0117] Die in Verbindung mit Fig. 10 gezeigten Regeln sind nur beispielhaft und Fachleute werden andere Aktivierungs- und Hemmungsregeln für das Schlussfolgerungssystem **104** erkennen.

Beispielhafte Architektur eines Ausgabeprozessors

[0118] Fig. 11 ist ein detailliertes Blockdiagramm, das einen Ausgabeprozessor **412** gemäß einer Ausführungsform zeigt. Der Ausgabeprozessor **412** kann neben anderen Komponenten einen Ausgabegenerator **1108**, eine Menge von Zellen **11** bis **Nj** (in gestrichelten Kästen) und einen Signalverteiler **1118** umfassen. Wie vorher in Verbindung mit Fig. 4 beschrie-

ben können in einer Ausführungsform die Zellen des Ausgabeprozessors **412** optional in Spalten angeordnet sein. In einer solchen Ausführungsform kann eine einzige Zelle in jeder Spalte sein. Der Ausgabeprozessor **412** empfängt die Vorwärtskopplungssignale **440**, die Aktivierungszustände der Zellen in dem Eingabeprozessor **410** angeben. Die Vorwärtskopplungssignale **440** können das Vorhandensein bestimmter Merkmal-Positions-Repräsentationen in dem Eingabeprozessor **410** repräsentieren. Die Vorwärtskopplungssignale **440** werden durch Vorwärtskopplungssignale **1146** an geeignete Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** geliefert.

[0119] Der Ausgabeprozessor **412** empfängt auch interlaterale Eingaben **1182** aus Zellen in anderen Ausgabeprozessoren. Die hierin beschriebene interlaterale Eingabe bezieht sich auf ein Signal, das in einer Zelle in einem Ausgabeprozessor aus Zellen in anderen Ausgabeprozessoren, die mit der Zelle verbunden sind, empfangen wird. Die interlaterale Eingaben **1182** werden Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** durch Interlateralverbindungen zugeführt. Ein Interlateralsignal an Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** gibt eine Aktivierung einer oder mehrerer Zellen in anderen Ausgabeprozessoren, die demselben Objekt wie die Zellen zugeordnet sind, an. Eine oder mehrere Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** empfangen ebenfalls intralaterale Eingaben **1184** aus anderen Zellen in demselben Ausgabeprozessor **412**. Die intralateralen Eingaben **1184** werden Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** durch Intralateralverbindungen zugeführt. Die hierin beschriebene intralaterale Eingabe bezieht sich auf ein Signal, das in der empfangenden Zelle in einem Ausgabeprozessor aus einer sendenden Zelle in demselben Ausgabeprozessor empfangen wird. Die interlaterale Eingabe und die intralaterale Eingabe bilden kollektiv laterale Eingaben. In einer Ausführungsform kann eine einzelne Zelle mehrere Lateralsignale aus Zellen in demselben Ausgabeprozessor **412** oder in anderen Ausgabeprozessoren empfangen.

[0120] Der Ausgabeprozessor **412** erzeugt zudem die Rückkopplungssignale **460**, die die Aktivierungszustände der Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** angeben. Wie oben unter Bezugnahme auf **Fig. 6** beschrieben werden die Rückkopplungssignale **460** dem entsprechenden Eingabeprozessor **410** zugeführt.

[0121] Ähnlich zu Zellen in dem Eingabeprozessor **410** weist eine Zelle in dem Ausgabeprozessor drei Zustände auf: inaktiv, prädiktiv und aktiv. Eine Zelle kann aktiviert (d. h. in einen aktiven Zustand versetzt) werden, wenn die Zelle das Vorwärtskopplungssignal **1146** empfängt. Wenn eine Zelle in dem Ausgabeprozessor **412** aktiviert wird, kann die aktive Zelle eine Aktivierung einer Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** hemmen, die innerhalb eines vor-

bestimmten Abstands von der aktivierten Zelle liegen. In einer weiteren Ausführungsform kann die aktive Zelle dann, wenn die Zellen des Ausgabeprozessors **412** in Spalten angeordnet sind, die Aktivierung anderer Zellen in derselben Spalte wie die aktivierte Zelle außer unter bestimmten begrenzten Umständen hemmen. In einer Ausführungsform behält die Zelle, sobald eine Zelle in dem Ausgabeprozessor **412** aktiviert wird, für eine vorbestimmte Zeitdauer ihren aktiven Zustand bei. Der prädiktive Zustand repräsentiert eine Vorhersage, dass die Zelle durch ein Vorwärtskopplungssignal **1146** aktiviert wird. Eine Zelle kann als Antwort auf ein Empfangen von Interlateralsignalen und/oder Intralateralsignale prädiktiv werden (d. h. in einen prädiktiven Zustand versetzt werden). In einer Ausführungsform bleibt die Zelle, sobald eine Zelle einmal in dem Ausgabeprozessor **412** prädiktiv aktiviert wird, für eine vorbestimmte Zeitdauer in ihrem prädiktiven Zustand. Eine Zelle, die weder in einem aktiven Zustand noch in einem prädiktiven Zustand ist, wird als inaktiv (d. h. in einem inaktiven Zustand befindlich) bezeichnet.

[0122] In einer Ausführungsform werden Zellen in einem prädiktiven Zustand nach dem Empfangen der Vorwärtskopplungssignale aktiv. Zum Beispiel können als Antwort auf ein Empfangen interlaterale Eingaben **1182** und intralaterale Eingaben **1184** Zellen, die ein oder mehrere Lateralsignale empfangen, prädiktiv werden. Prädiktive Zellen, die Vorwärtssignale empfangen, können aktiviert werden. Auf diese Weise wird die Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**, die mit den beobachteten Merkmal-Positions-Repräsentationen in dem Eingabeprozessor **410** und Kandidatenobjekten in anderen Ausgabeprozessoren konsistent sind, aktiviert. Im Allgemeinen werden Zellen in Ausgabeprozessoren, die dem Objekt, das detektiert wird, zugeordnet sind, wahrscheinlicher durch Lateralverbindungen mit anderen Zellen, die dem Objekt zugeordnet sind, prädiktiv aktiviert. Mit der Zeit werden diese Zellen wiederum als Antwort auf das Empfangen von Vorwärtskopplungssignalen **440** aktiviert, die das Vorhandensein von Merkmal-Positions-Repräsentationen, die dem Objekt zugeordnet sind, angeben. Somit wird die Untermenge von Zellen, die dem Objekt zugeordnet ist, aktiv bleiben, nachdem sie iterativ durch den Prozess des Aktualisierens der Aktivierungszustände von Zellen in dem Eingabeprozessor **410** und dem Ausgabeprozessor **412** gegangen ist.

[0123] In einer Ausführungsform werden dann, wenn Zellen in einem prädiktiven Zustand aufgrund von Lateralsignalen, die durch Lateralsignale übermittelt werden, prädiktiv aktiv waren und das Vorwärtskopplungssignal zu der korrekten Aktivierung der Zelle führte, die Beständigkeitswerte für Lateralverbindungen zu aktivierten Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** erhöht, wohingegen die Beständigkeitswerte für Verbindungen mit inaktivierten Zellen in dem Ausga-

beprozessor **412** verringert werden. Auf der anderen Seite werden die Beständigkeitswerte für Lateralverbindungen zu den aktivierten Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** verringert, wenn für Zellen in dem prädiktiven Zustand nicht eine Aktivierung der Zellen folgt. Wenn ein Beständigkeitswert für eine Verbindung unter einen Schwellenwert fällt, kann die Verbindung getrennt werden. Auf diese Weise tragen die Verbindungen zwischen Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** mit niedrigen Beständigkeitswerten nicht länger zur Aktivierung von Zellen bei.

[0124] Um mit dem Beispiel fortzufahren, werden dann, wenn keine Zelle in der Spalte aktuell in einem prädiktiven Zustand ist, die Zellen, die die Vorwärtskopplungssignale **1146** empfangen, aktiviert. Zum Beispiel können dann, wenn sich keine Zelle in der Spalte aktuell in einem prädiktiven Zustand befindet, alle Zellen in der Spalte aktiviert werden.

[0125] Die Zellen senden individuell oder kollektiv als Spalte eine Zusammenfassungsausgabe **1120** an den Ausgabegenerator **1108**. Die Zusammenfassungsausgabe **1120** identifiziert den Zustand der Zellen. In einer Ausführungsform gibt die Zusammenfassungsausgabe **1120** an, welche Zellen aktiviert sind und/oder welche Zellen prädiktiv waren und aktiv wurden. Zum Beispiel kann die Zusammenfassungsausgabe **1120** jeder Zelle als Binärwert wie beispielsweise ein Binärwert mit zwei Bit, bei dem ein Bit angibt, ob die Zelle aktiviert ist, und ein Bit angibt, ob die Zelle prädiktiv war und aktiv wurde, dargestellt werden. In einigen Ausführungsformen gibt die Zusammenfassungsausgabe **1020** an, welche Zellen aktiviert sind und welche Zellen prädiktiv sind. Zum Beispiel kann die Zusammenfassungsausgabe **1020** jeder Zelle als Binärwert wie etwa ein Binärwert mit zwei Bit, bei dem ein Bit angibt, ob die Zelle aktiviert ist, und ein Bit angibt, ob die Zelle prädiktiv ist, dargestellt werden. Obwohl die Zusammenfassungsausgabe **1020** in den meisten Fällen einen Binärwert annimmt, kann die Zusammenfassungsausgabe **1020** auch ein Nicht-Binärwert sein. Zum Beispiel kann die Zusammenfassungsausgabe **1020** einen Ganzzahlwert oder einen reellen Zahlenwert umfassen, die die Stärke des aktivierten Zustands der Zelle oder den aktiven Zustand nach dem prädiktiven Zustand angeben.

[0126] In einer Ausführungsform sammelt der Ausgabegenerator **1108** die Zusammenfassungsausgaben **1120** aus den Zellen und verkettet diese Ausgaben zu einem Vektor. Der Ausgabegenerator **1108** erzeugt den verketteten Vektor als die Objektausgabe **112**. Das Schlussfolgerungssystem **104** bestimmt, ob die Menge aktivierter Zellen, die in der Objektausgabe **1122** angegeben ist, zu bekannten Objektrepräsentationen passt und erzeugt die Menge von Kandidatenobjekten.

Beispieldarstellung einer Zelle in einem Ausgabeprozessor

[0127] Fig. 12 ist eine konzeptuelle Darstellung, die Signale, die einer Zelle **1290** in dem Ausgabeprozessor **412** zugeordnet sind, gemäß einer Ausführungsform zeigt. Wie unter Bezugnahme auf Fig. 11 erörtert empfängt die Zelle **1290** Interlateralsignale **1270**, die die Aktivierung der Zellen in anderen Ausgabeprozessoren **412** angeben. Die Zelle **1290** empfängt auch Intralateralsignale **1268** aus anderen Zellen in demselben Ausgabeprozessor **412**. Die Zelle **1290** kann Lateralsignale aus einer oder mehreren Zellen in demselben Ausgabeprozessor **412** empfangen. Wie unter Bezugnahme auf Fig. 11 erörtert kann die Zelle **1290** prädiktiv werden, wenn sie das Interlateralsignal **1270** und/oder das Intralateralsignal **1268** empfängt. Die Zelle **1290** empfängt auch das Vorwärtskopplungssignal **1146**, das eine Aktivierung der Zellen in dem Eingabeprozessor **410** mit Vorwärtskopplungsverbindungen zu der Zelle **1290** angibt.

[0128] In einer Ausführungsform wird die Zelle **1290** aktiviert, wenn (i) die Zelle **1290** in einem prädiktiven Zustand ist und Vorwärtskopplungssignale **114** empfängt, und/oder (ii) die Zelle **1290** nicht in einem prädiktiven Zustand ist, aber trotzdem als Antwort auf die Vorwärtskopplungssignale **1146** zur Aktivierung ausgewählt wird. Als Antwort auf das Aktivieren kann die Zelle **1290** Rückkopplungssignale **460**, die ihren Aktivierungszustand angeben, an Zellen in dem Eingabeprozessor **410** mit Rückkopplungsverbindungen zu der Zelle **1290** liefern.

[0129] Wie oben unter Bezugnahme auf Fig. 11 beschrieben kann der Aktivierungszustand der Zelle **1290** für eine vorbestimmte Zeitdauer überdauern, wenn die Zelle **1290** aktiv oder prädiktiv aktiv wird.

Beispielbetrieb und -funktion von Zellen in einem Ausgabeprozessor

[0130] Fig. 13A bis Fig. 13C sind Darstellungen, die beispielhafte Aktivierungszustände von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412A** und einem Ausgabeprozessor **412B** gemäß einer Ausführungsform zeigen. Jeder Kreis stellt eine Zelle in dem Ausgabeprozessor dar. Wenn eine jeweilige Zelle aktiv wird, sendet die Zelle die Zusammenfassungsausgabe **1120** aus.

[0131] In Fig. 13A ist keine Zelle in einem aktiven Zustand und die Ausgabeprozessoren **412A**, **412B** empfangen anfänglich das Vorwärtskopplungssignal **440**. Zellen P, Q, R und S empfangen Vorwärtskopplungssignale **1146**, da sie Vorwärtskopplungsverbindungen zu aktivierten Zellen in den entsprechenden Eingabeprozessoren **410A**, **410B** aufweisen. Die Zellen P, Q, R und S werden aktiviert, da keine andere Zelle in einem prädiktiven Zustand ist. Somit repräsentiert die Untermenge von aktivierten Zellen die

Menge von Kandidatenobjekten, die mit den aktivierten Merkmal-Positions-Repräsentationen in den Eingabeprozessoren **410A**, **410B** konsistent sind. Die Aktivierungszustände der Zellen werden als Zusammenfassungsausgabe **1120** erzeugt.

[0132] Wie in **Fig. 13B** gezeigt empfängt im nächsten Zeitschritt die Zelle T des Ausgabeprozessors **412A** das Interlateralsignal **1270** aus der Zelle R des Ausgabeprozessors **412B** und wird prädiktiv. Die Zelle U des Ausgabeprozessors **412A** empfängt das Intralateralsignal **1268** aus der Zelle Q des Ausgabeprozessors **412A** und wird prädiktiv. Ebenso empfängt die Zelle V des Ausgabeprozessors **412B** das Intralateralsignal **1268** aus der Zelle S des Ausgabeprozessors **412B** und wird prädiktiv. Zusätzlich erzeugen die aktivierten Zellen P und R Rückkopplungssignale **460**, die an die Zellen in dem Eingabeprozessor **410** mit Rückkopplungsverbindungen zu diesen Zellen geliefert werden.

[0133] Wie in **Fig. 13C** gezeigt empfängt im nächsten Zeitschritt der Eingabeprozessor **410** neue Sensoreingabedaten **110** und Positionsinformationen **120** und die Ausgabeprozessoren **412** empfangen ein aktualisiertes Vorwärtskopplungssignal **440**, das eine weitere Untermenge aktivierter Zellen in dem Eingabeprozessor **410** angibt. Die vorher aktivierten Zellen P, Q, R und S bleiben in dem aktuellen Zeitschritt noch aktiv. Die Zellen U und V empfangen Vorwärtskopplungssignale **1146** basierend auf den neuen Vorwärtskopplungssignalen **440**. Die Zellen U und V werden beide aktiviert, da sie vorher in einem prädiktiven Zustand waren und die Vorwärtskopplungssignale **1146** empfangen. Obwohl die Zelle T in einem prädiktiven Zustand war, wird aufgrund der Hemmung der Zelle T durch die Zelle U nur die Zelle U zur Aktivierung ausgewählt. Dies liegt daran, dass die Zelle U sowohl das Vorwärtskopplungssignal **1146** als auch das Intralateralsignal **1268** empfängt, während die Zelle T nur das Interlateralsignal **1270** empfängt.

[0134] Über die Zeit wird die Untermenge von Zellen, die dem detektierten Objekt zugeordnet sind, aktiv bleiben, während die Aktivierungszustände der Zellen in dem Eingabeprozessor **410** und dem Ausgabeprozessor **412** iterativ aktualisiert werden.

Funktionelles Blockdiagramm
einer Zelle im Ausgabeprozessor

[0135] **Fig. 14** ist ein funktionelles Blockdiagramm, das eine Zelle **1290** gemäß einer Ausführungsform zeigt. Die Zelle **1290** kann neben anderen Komponenten eine Interlateralsignalüberwachung **1410**, eine Intralateralsignalüberwachung **1412**, einen Zellenaktivierungsprädiktor **1416**, einen Zellenaktivierer **1418** und einen Spaltenhemmer **1424** umfassen. Die Interlateralsignalüberwachung **1410** ist Soft-

ware, Firmware, Hardware oder eine Kombination davon zum Empfangen von Interlateralsignalen **1270** aus anderen Zellen in den Ausgabeprozessoren **412**. Die Intralateralsignalüberwachung **1412** ist Software, Firmware, Hardware oder eine Kombination davon zum Empfangen von Intralateralsignalen **1268** aus anderen Zellen in dem Ausgabeprozessor **412**. Die Vorwärtskopplungssignalüberwachung **1414** ist Software, Firmware, Hardware oder eine Kombination davon zum Empfangen von Vorwärtskopplungssignalen **1146** aus Zellen in dem Eingabeprozessor **410**.

[0136] Wenn das Interlateralsignal **1270** angibt, dass Zellen in anderen Ausgabeprozessoren mit Lateralverbindungen zu der Zelle **1290** aktiv sind, sendet die Interlateralsignalüberwachung **1410** das Interlateraltreffersignal **1434** an den Zellenaktivierungsprädiktor **1416**. Wenn das Intralateralsignal **1268** angibt, dass andere Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** mit Lateralverbindungen zu der Zelle **1290** aktiv sind, sendet die Intralateralsignalüberwachung **1412** das Intralateraltreffersignal **1430** an den Zellenaktivierungsprädiktor **1416**. Das Interlateraltreffersignal **1434** und das Intralateraltreffersignal **1430** geben an, dass die Zelle **1290** in einem prädiktiven Zustand ist. Der Zellenaktivierungsprädiktor **1416** empfängt das Interlateraltreffersignal **1434** und/oder das Intralateraltreffersignal **1430**. Der Zellenaktivierungsprädiktor **1416** sendet Angaben der vorherigen prädiktiven Zustände der Zelle als Prädiktivsignal **1441** an den Zellenaktivierer **1418**. Zum Beispiel teilt der Zellenaktivierungsprädiktor **1416** dem Zellenaktivierer **1418** mit, ob die Zelle **1290** während des letzten Zeitschritts in einem prädiktiven Zustand war und ob der prädiktive Zustand aufgrund von Interlateralsignalen **1270** oder Intralateralsignalen **1268** war.

[0137] Der Zellenaktivierer **1418** empfängt das Vorwärtskopplungssignal **1146**, das Prädiktivsignal **1441** und das Hemmungssignal **926** und versetzt die Zelle **1290** gemäß einem Satz von Aktivierungs- und Hemmungsregeln in einen aktivierten Zustand, wie es unten unter Bezugnahme auf **Fig. 15** in weiteren Einzelheiten beschrieben ist. Die Zusammenfassungsausgabe **1443** kann insbesondere prädiktive Zustände anderer Zellen in derselben Spalte wie Zelle **1290** angeben. Eine zusätzliche Bedingung für Zellenaktivierung ist, dass es keine Hemmungssignale **1426** aus anderen Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** gibt. Wenn das Hemmungssignal **1426** aus anderen Zellen empfangen wird, wird die Zelle trotz Vorwärtskopplungssignal **1146** nicht aktiviert. Zum Beispiel wird die Zelle **1290** dann, wenn die Zelle **1290** das Hemmungssignal **1426** aus anderen Zellen innerhalb eines vorbestimmten Abstands von der Zelle **1290** empfängt, trotz Vorwärtskopplungssignal **1146** nicht aktiviert. Wenn die Zelle in einen aktivierten Zustand versetzt wird, erzeugt der Zellenaktivierer **1418** die Zusammenfassungsausgabe **1120**, die angibt, ob die

Zelle aktiv ist oder prädiktiv war und aktiv wurde. In einer Ausführungsform wird die Zusammenfassungsausgabe **1120** unabhängig von den Gründen für die Aktivierung der Zelle **1290** erzeugt.

[0138] Als Antwort auf die Aktivierung der Zelle **1290** durch den Zellenaktivierer **1418** erzeugt der Zellenhemmer **1424** das Hemmungssignal **1428**. Die Hemmungssignale **1428** werden an andere Zellen in derselben Spalte oder in einer anderen Spalte gesendet, um die Aktivierung der anderen Zellen zu hemmen.

Beispielhafte Aktivierungsregeln
einer Zelle im Ausgabeprozessor

[0139] **Fig. 15** ist eine Darstellung gemäß Ausführungsformen, die ein Aktivieren von Zellen oder Hemmen einer Aktivierung von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** basierend auf verschiedenen Regeln zeigt. In dem Beispiel von **Fig. 15** erzeugen einige der Zellen das Interlateraltreffersignal **1434**, das Intralateraltreffersignal **1430** und/oder ein Vorwärtskopplungstreffersignal **1438**. Die Zellen sind in Gruppen (Gruppe **1** bis **4**) angeordnet, die innerhalb eines vorbestimmten Abstands voneinander in dem Ausgabeprozessor **412** positioniert sind und die die Aktivierung und Hemmung von Zuständen untereinander beeinflussen. Jede Gruppe in **Fig. 15** kann allerdings auch eine Spalte von Zellen darstellen. „Intralaterale“ Pfeile (durchgängig) geben an, dass die Zelle das Intralateraltreffersignal **1430** erzeugt hat, „interlaterale“ Pfeile (gepunktet) geben an, dass die Zelle das Interlateraltreffersignal **1434** erzeugt hat, und „Vorwärtskopplungs“-Pfeile (gestrichelt) geben an, dass die Zelle das Vorwärtskopplungssignal **1146** empfangen hat. Die Regeln, die mit dem Betrieb von Zellen verbunden sind und unten unter Bezugnahme auf **Fig. 15** beschrieben sind, dienen nur der Veranschaulichung. Eine oder mehrere dieser Regeln können in Verbindung verwendet, selektiv ausgewählt oder verworfen und/oder während des Betriebs der Verarbeitungsknoten variiert werden.

[0140] Eine der Regeln besteht darin, dass dann, wenn keine Zelle Lateraltreffersignale **1430**, **1434** erzeugt, die Zellen, die das Vorwärtskopplungssignal **1146** empfangen, aktiviert werden. Wie in Gruppe **1** gezeigt empfangen die Zellen **C11** und **C14** die Vorwärtskopplungssignale **1146**. Da keine andere Zelle die Lateraltreffersignale erzeugt, werden die Zellen **C11** und **C14** nicht aktiviert.

[0141] Eine weitere Regel besteht darin, dass Zellen, die das Vorwärtskopplungssignal **1146** empfangen und mindestens ein Lateraltreffersignal **1434**, **1430** erzeugen, eine Aktivierung von Zellen zu, die nur laterale Treffersignale **1434**, **1430** erzeugen, in derselben Spalte hemmen. Wie in Gruppe **2** gezeigt empfängt die Zelle **C24** das Vorwärtskopplungssignal **1146** und das Intralateraltreffersignal **1430** und Zel-

le **C22** erzeugt das Interlateraltreffersignal **1434**. Nur die Zelle **C24** wird aktiviert, wohingegen die Zelle **C22** nicht aktiviert wird, weil die Zelle **C24** (die das Vorwärtskopplungssignal **1146** empfängt und das Intralateraltreffersignal **1430** erzeugt) die Aktivierung von Zelle **22** (die nur das Interlateraltreffersignal **1434** erzeugt) hemmt.

[0142] Eine weitere Regel besteht darin, dass Zellen, die eine höhere Anzahl von Lateraltreffersignalen **1430**, **1434** erzeugen, die Aktivierung von Zellen, die eine geringere Anzahl von Lateraltreffersignalen **1430**, **1434** erzeugen, als Antwort auf das Empfangen des Vorwärtskopplungssignals **1146** in derselben Spalte oder einer Untermenge von Zellen in dem Ausgabeprozessor **412** hemmen. Wie in Spalte **3** gezeigt erzeugt und empfängt die Zelle **C31** das Vorwärtskopplungssignal **1146** und erzeugt zwei Intralateraltreffersignale **1430** und die Zelle **C34** erzeugt und empfängt das Vorwärtskopplungssignal **1146** und erzeugt ein Intralateraltreffersignal **1430**. Nur die Zelle **C31** wird aktiviert, wohingegen die Zelle **C34** nicht aktiviert wird, weil die Zelle **C31** eine größere Anzahl von Lateraltreffersignalen als die Zelle **C34** erzeugt.

[0143] Eine weitere Regel besteht darin, dass Zellen, die Interlateraltreffersignale **1434** erzeugen, als Antwort auf das Empfangen des Vorwärtskopplungssignals **1146** die Aktivierung von Zellen hemmen, die Intralateraltreffersignale **1430** erzeugen. Wie in Gruppe **4** gezeigt empfängt die Zelle **C44** das Vorwärtskopplungssignal **1146** und erzeugt ein Interlateraltreffersignal **1434** und die Zelle **C41** empfängt das Vorwärtskopplungssignal **1146** und erzeugt ein Intralateraltreffersignal **1430**. Nur die Zelle **C44** wird aktiviert, wohingegen die Zelle **C41** nicht aktiviert wird, weil die Zelle **C44** das Interlateraltreffersignal **1434** erzeugt.

[0144] Eine weitere Regel besteht darin, Zellen für die Aktivierung auszuwählen, die vorher aktiv waren. Zum Beispiel kann eine Zelle, die in dem vorherigen Zeitschritt aktiv war und in dem aktuellen Zeitschritt prädiktiv aktiv ist, vor einer Zelle, die in dem aktuellen Zeitschritt nur prädiktiv aktiv ist, zur Aktivierung ausgewählt werden.

[0145] Eine weitere Regel besteht darin, dass eine bestimmte Anzahl von Zellen innerhalb einer Gruppe aktiv sein muss. In einem solchen Fall können die oben beschriebenen Aktivierungs- und Hemmungsregeln verwendet werden, um Zellen zu aktivieren, bis die erforderliche Anzahl von Zellen aktiviert ist.

[0146] Die in Verbindung mit **Fig. 15** gezeigten Regeln sind nur beispielhaft. Andere Aktivierungs- und Hemmungsregeln können für das Schlussfolgerungssystem **104** implementiert werden.

[0147] **Fig. 16** ist ein Blockdiagramm einer Rechenvorrichtung **1600** zum Implementieren von Schluss-

folgerungssystemen gemäß Ausführungsformen. Die Rechenvorrichtung **1600** kann neben anderen Komponenten einen Prozessor **1602**, einen Speicher **1606**, eine Eingabeschnittstelle **1610**, eine Ausgabeschnittstelle **1614**, eine Netzchnittstelle **1618** und einen Bus **1620**, der diese Komponenten verbindet, umfassen. Der Prozessor **1602** ruft die Befehle, die in dem Speicher **1606** gespeichert sind, ab und führt sie aus. Der Speicher **1606** speichert Softwarekomponenten, die beispielsweise Betriebssysteme und Module zum Umsetzen und Ausführen der hierin beschriebenen Knoten umfassen. Die Eingabeschnittstelle **1610** empfängt Daten aus externen Quellen wie etwa Sensordaten oder Aktionsinformationen. Die Ausgabeschnittstelle **1614** ist eine Komponente zum Liefern des Ergebnisses einer Berechnung in verschiedenen Formen (z. B. Bild- oder Audiosignalen). Die Netzchnittstelle **1618** ermöglicht es der Rechenvorrichtung **1600**, mit anderen Rechenvorrichtungen über ein Netz zu kommunizieren. Wenn mehrere Knoten oder Komponenten eines einzigen Knotens in mehreren Rechenvorrichtungen eingebettet sind, können die Informationen, die mit zeitlicher Sequenzierung, räumlicher Zusammenfassung und der Verwaltung von Knoten verbunden sind, zwischen den Rechenvorrichtungen über die Netzchnittstelle **1618** übermittelt werden.

[0148] Beim Lesen dieser Offenbarung werden Fachleute zusätzliche alternative Entwürfe für die Verarbeitungsknoten erkennen. Daher sollte, obwohl bestimmte Ausführungsformen und Anwendungen gezeigt und beschrieben sind, verstanden werden, dass die Erfindung nicht genau auf den Aufbau und die Komponenten, die hierin offenbart sind, beschränkt ist und dass verschiedene Abwandlungen, Änderungen und Variationen, die für Fachleute offensichtlich sind, an der Anordnung, dem Betrieb und den Einzelheiten des Verfahrens und der Einrichtung, die hierin offenbart sind, vorgenommen werden können, ohne vom Gedanken und Geltungsbereich der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 62335995 [0001]
- US 2016/0217164 [0037]

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren zum Ziehen von Schlussfolgerungen, das Folgendes umfasst:

Erzeugen einer ersten Eingaberepräsentation, die ein Potenzial, dass ein erstes Paar einer ersten Position und eines ersten Merkmals an der ersten Position detektiert wird, angibt, durch einen ersten Eingabeprozessor;

Bestimmen einer ersten Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation entspricht, durch einen ersten Ausgabeprozessor, wobei die erste Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind;

Erzeugen einer zweiten Eingaberepräsentation, die das Potenzial, dass ein zweites Paar einer zweiten Position und eines zweiten Merkmals an der zweiten Position detektiert wird, angibt, durch den ersten Eingabeprozessor nach dem Erzeugen der ersten Eingaberepräsentation; und

Bestimmen einer zweiten Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation und der zweiten Eingaberepräsentation entspricht, durch den ersten Ausgabeprozessor, wobei die zweite Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

2. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, das ferner Folgendes umfasst:

Erzeugen eines Rückkopplungssignals, das eine Vorhersage zu der zweiten Eingaberepräsentation darstellt, basierend auf der ersten Ausgaberepräsentation durch den ersten Ausgabeprozessor, wobei die zweite Eingaberepräsentation durch den ersten Eingabeprozessor ferner basierend auf dem Rückkopplungssignal erzeugt wird.

3. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, das ferner Folgendes umfasst:

Aktivhalten einer Ausgaberepräsentation, die einer Ursache entspricht, während eines Trainings durch den ersten Ausgabeprozessor;

Erzeugen von Trainingseingaberepräsentationen für Paare von Positionen und entsprechenden Merkmalen, die der Ursache zugeordnet sind, für das Training durch den ersten Eingabeprozessor; und

Zuordnen der Trainingseingaberepräsentationen zu den Ausgabetrainingsrepräsentationen, die der Ursache entsprechen.

4. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Eingaberepräsentation ein Aktivierungszustand einer ersten Untermenge von Zellen in dem ersten Eingabeprozessor ist und die zweite Eingaberepräsentation ein Aktivierungszustand einer zweiten Untermenge von Zellen in dem ersten Eingabeprozessor ist.

5. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Position eine von mehreren potenziellen Positionen unter dem einen oder den mehreren Kandidaten, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind, ist.

6. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 5, wobei die erste Eingaberepräsentation eine Aktivierung eines Verbundes von Paaren des ersten Merkmals und jeder der potenziellen Positionen angibt.

7. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 6, wobei die erste Ausgaberepräsentation ferner einen oder mehrere Kandidaten, die wahrscheinlich dem Verbund von Paaren des ersten Merkmals und jeder der potenziellen Positionen zugeordnet sind, angibt.

8. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 7, wobei die zweite Position eine von mehreren anderen potenziellen Positionen ist, die durch Verschieben jeder potenziellen Position unter den mehreren potenziellen Positionen um einen vorbestimmten Abstand erzeugt werden.

9. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 8, wobei die zweite Eingaberepräsentation eine Aktivierung eines Verbundes von Paaren des zweiten Merkmals und einer oder mehrerer der potenziellen Positionen unter den mehreren anderen Positionen, die dem einen oder den mehreren Kandidaten zugeordnet sind, die durch die erste Ausgaberepräsentation angegeben werden, angibt.

10. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Erzeugen der zweiten Eingaberepräsentation umfasst: Aktivieren der zweiten Untermengen der Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor als Antwort darauf, dass die zweiten Untermengen von Eingabezellen Positionssignale, die die zweite Position repräsentieren, und Aktivierungssignale, die dem zweiten Merkmal zugeordnet sind, empfangen.

11. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 4, wobei die zweite Untermenge der Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor ferner basierend auf einem Rückkopplungssignal, das der ersten Ausgaberepräsentation zugeordnet ist, aktiviert wird.

12. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 11, wobei jeder des einen oder der mehreren Kandidaten durch einen entsprechenden Aktivierungszustand einer Untermenge von Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor repräsentiert wird und das Rückkopplungssignal den Aktivierungszustand der Untermenge von Ausgabezellen angibt.

13. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zweite Ausgaberepräsentation ein Aktivierungszustand von Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor ist.

14. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Erzeugen der zweiten Ausgaberepräsentation umfasst: Aktivieren der Untermenge der Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor als Antwort darauf, dass die Untermenge von Ausgabezellen Vorwärtskopplungssignale, die der zweiten Eingaberepräsentation entsprechen, empfängt.

15. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Vorwärtskopplungssignale von einer aktivierten Untermenge von Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor, die der zweiten Eingaberepräsentation zugeordnet sind, an die Untermenge der Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor, die mit der aktivierten Untermenge der Eingabezellen verbunden sind, gesendet werden.

16. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 4, das ferner umfasst:
Empfangen von ersten Positionsinformationen, die die erste Position in einer spärlich verteilten Repräsentation angeben, wobei die erste Eingaberepräsentation basierend auf den ersten Positionsinformationen erzeugt wird; und
Empfangen von zweiten Positionsinformationen, die die zweite Position in einer spärlich verteilten Repräsentation angeben, wobei die zweite Eingaberepräsentation basierend auf den zweiten Positionsinformationen erzeugt wird.

17. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 13, das ferner umfasst:
Empfangen einer ersten Sensoreingabe, die das erste Merkmal angibt, aus einem Sensor durch den ersten Eingabeprozessor, wobei die erste Eingaberepräsentation basierend auf der ersten Sensoreingabe erzeugt wird; und
Empfangen einer zweiten Sensoreingabe, die das zweite Merkmal angibt, aus dem Sensor durch den ersten Eingabeprozessor, wobei die zweite Eingaberepräsentation basierend auf der zweiten Sensoreingabe erzeugt wird.

18. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 17, das ferner umfasst:
Empfangen einer dritten Sensoreingabe, die ein drittes Merkmal angibt, aus einem weiteren Sensor durch einen zweiten Eingabeprozessor;
Erzeugen einer dritten Eingaberepräsentation eines dritten Paares aus dem dritten Merkmal und einer dritten Position, die dem dritten Merkmal entspricht, durch den zweiten Eingabeprozessor;
Bestimmen von Aktivierungszuständen einer Untermenge anderer Ausgabezellen in dem zweiten Aus-

gabeprozessor, die der dritten Eingaberepräsentation entsprechen, durch einen zweiten Ausgabeprozessor, wobei die Aktivierungszustände der Untermenge der anderen Ausgabezellen einen oder mehrere Kandidaten angeben, die wahrscheinlich dem dritten Paar zugeordnet sind; und

Senden der Aktivierungszustände der Untermenge der anderen Ausgabezellen in dem zweiten Ausgabeprozessor an eine oder mehrere Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor, die mit den anderen Ausgabezellen verbunden sind, wobei eine Aktivierung der einen oder der mehreren Ausgabezellen in dem ersten Ausgabeprozessor ferner auf den Aktivierungszuständen der Untermenge der anderen Ausgabezellen in dem zweiten Ausgabeprozessor basiert.

19. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst:

Erzeugen einer dritten Eingaberepräsentation eines dritten Paares aus einer dritten Position und einem dritten Merkmal an der dritten Position durch einen zweiten Eingabeprozessor;

Bestimmen einer dritten Ausgaberepräsentation, die der dritten Eingaberepräsentation entspricht, durch einen zweiten Ausgabeprozessor, wobei die dritte Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem dritten Paar zugeordnet sind; und

Senden der dritten Ausgaberepräsentation zum Bestimmen der zweiten Ausgaberepräsentation von dem zweiten Ausgabeprozessor an den ersten Ausgabeprozessor.

20. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 1, wobei die eine oder die mehreren Kandidaten Objekte sind und die erste und zweite Position allozentrische Positionen von Kandidatenobjekten sind.

21. Computerimplementiertes Verfahren zum Ziehen von Schlussfolgerungen, das umfasst:

Erzeugen einer ersten Eingaberepräsentation durch einen ersten Eingabeprozessor, die ein Potenzial angibt, dass ein erstes Paar einer ersten Position und eines ersten Merkmals an der ersten Position detektiert wird;

Bestimmen einer ersten Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation entspricht, durch einen ersten Ausgabeprozessor, wobei die erste Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind;

Erzeugen einer zweiten Eingaberepräsentation durch einen zweiten Eingabeprozessor, die ein Potenzial angibt, dass ein zweites Paar einer zweiten Position und eines zweiten Merkmals an der zweiten Position detektiert wird; und

Bestimmen einer zweiten Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation und der zwei-

ten Eingaberepräsentation entspricht, durch einen zweiten Ausgabeprozessor, wobei die zweite Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

22. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 21, das ferner umfasst: Bestimmen einer aktualisierten ersten Ausgaberepräsentation basierend auf der ersten Ausgaberepräsentation und der zweiten Ausgaberepräsentation durch den ersten Ausgabeprozessor, wobei die zweite Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

23. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 21, das ferner umfasst: Erzeugen eines Rückkopplungssignals durch den ersten Ausgabeprozessor, das eine Vorhersage zu einer in dem ersten Eingabeprozessor zu detektierenden anschließenden Eingaberepräsentation repräsentiert, wobei die anschließende Eingaberepräsentation von dem ersten Eingabeprozessor ferner basierend auf dem Rückkopplungssignal erzeugt wird.

24. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 21, wobei die erste Eingaberepräsentation ein Aktivierungszustand einer ersten Untermenge von Eingabezellen in dem ersten Eingabeprozessor ist und die zweite Eingaberepräsentation ein Aktivierungszustand einer zweiten Untermenge von Eingabezellen in dem zweiten Eingabeprozessor ist.

25. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 21, wobei die erste Position eine von mehreren potenziellen Positionen unter dem einen oder den mehreren Kandidaten, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind, ist.

26. Computerimplementiertes Verfahren nach Anspruch 21, wobei der eine oder die mehreren Kandidaten Objekte sind und die erste und zweite Position allozentrische Positionen der Kandidatenobjekte sind.

27. Nichtflüchtiges computerlesbares Speichermedium, das Befehle enthält, die, wenn sie von einem Prozessor ausgeführt werden, den Prozessor dazu veranlassen, ein Verfahren zum Ziehen von Schlussfolgerungen zu instanzieren, das umfasst:
Erzeugen einer ersten Eingaberepräsentation, die ein Potenzial, dass ein erstes Paar einer ersten Position und eines ersten Merkmals an der ersten Position detektiert wird, angibt, durch einen ersten Eingabeprozessor;
Bestimmen einer ersten Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation entspricht, durch einen ersten Ausgabeprozessor, wobei die erste Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten

angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind;

Erzeugen einer zweiten Eingaberepräsentation, die ein Potenzial, dass ein zweites Paar einer zweiten Position und eines zweiten Merkmals an der zweiten Position detektiert wird, angibt, durch den ersten Eingabeprozessor nach dem Erzeugen der ersten Eingaberepräsentation; und

Bestimmen einer zweiten Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation und der zweiten Eingaberepräsentation entspricht, durch den ersten Ausgabeprozessor, wobei die zweite Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

28. Rechenvorrichtung, die umfasst:
eine erste Eingabeschaltung, die zu Folgendem ausgelegt ist:

Erzeugen einer ersten Eingaberepräsentation eines ersten Paares aus einer ersten Position und einem ersten Merkmal an der ersten Position, und

Erzeugen einer zweiten Eingaberepräsentation eines zweiten Paares aus einer zweiten Position und einem zweiten Merkmal an der zweiten Position; und
eine erste Ausgabeschaltung, die mit der ersten Eingabeschaltung gekoppelt ist und zu Folgendem ausgelegt ist:

Bestimmen einer ersten Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation entspricht, wobei die erste Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind, und

Bestimmen einer zweiten Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation und der zweiten Eingaberepräsentation entspricht, wobei die zweite Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

29. Rechenvorrichtung nach Anspruch 28, die ferner umfasst:

eine zweite Eingabeschaltung, die dazu ausgelegt ist, eine dritte Eingaberepräsentation eines dritten Paares aus einer dritten Position und einem dritten Merkmal an der dritten Position zu erzeugen; und
eine zweite Ausgabeschaltung, die mit der zweiten Eingabeschaltung und der ersten Ausgabeschaltung gekoppelt ist, wobei die zweite Ausgabeschaltung zu Folgendem ausgelegt ist:

Bestimmen einer dritten Ausgaberepräsentation, die der dritten Eingaberepräsentation entspricht, wobei die dritte Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem dritten Paar zugeordnet sind, und

Senden der dritten Ausgaberepräsentation an die erste Ausgabeschaltung zum Bestimmen der zweiten Repräsentation.

30. Rechenvorrichtung, die umfasst:

eine erste Eingabeschaltung, die dazu ausgelegt ist, eine erste Eingaberepräsentation eines ersten Paares aus einer ersten Position und einem ersten Merkmal an der ersten Position zu erzeugen;
eine erste Ausgabeschaltung, die mit der ersten Eingabeschaltung gekoppelt ist und dazu ausgelegt ist, eine erste Ausgaberepräsentation, die der ersten Eingaberepräsentation entspricht, zu bestimmen, wobei die erste Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar zugeordnet sind;
eine zweite Eingabeschaltung, die dazu ausgelegt ist, eine zweite Eingaberepräsentation des zweiten Paares zu erzeugen; und
eine zweite Ausgabeschaltung, die mit der zweiten Eingabeschaltung und der ersten Ausgabeschaltung gekoppelt ist, wobei die zweite Ausgabeschaltung dazu ausgelegt ist, eine zweite Ausgaberepräsentation, die der ersten Ausgaberepräsentation und der zweiten Eingaberepräsentation entspricht, zu bestimmen, wobei die zweite Ausgaberepräsentation einen oder mehrere Kandidaten angibt, die wahrscheinlich dem ersten Paar und dem zweiten Paar zugeordnet sind.

Es folgen 20 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

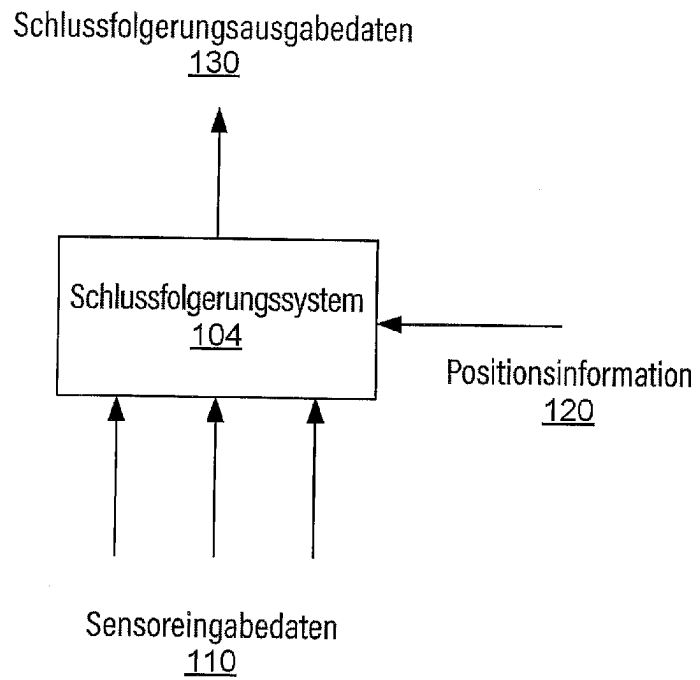


FIG. 1

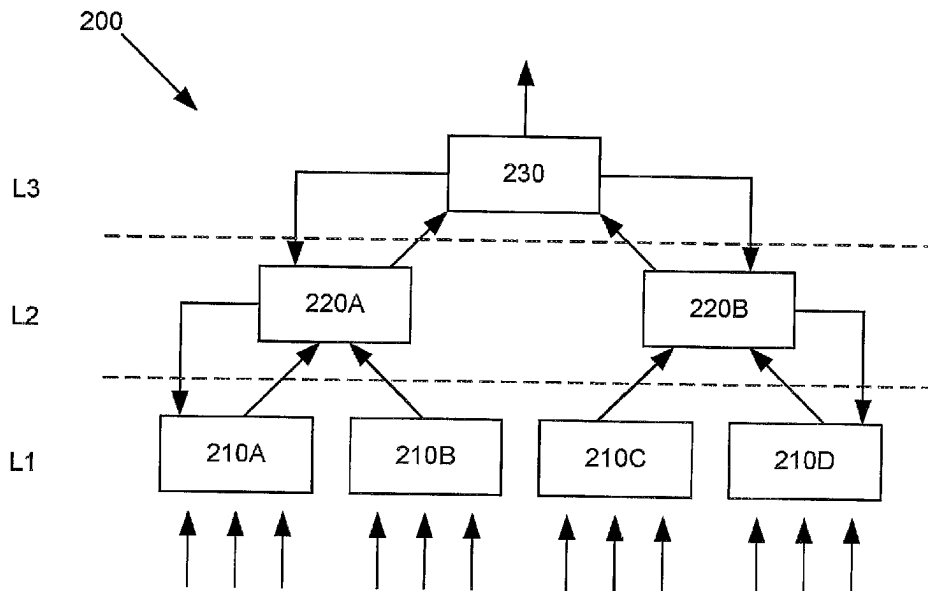
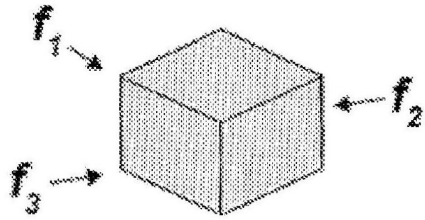
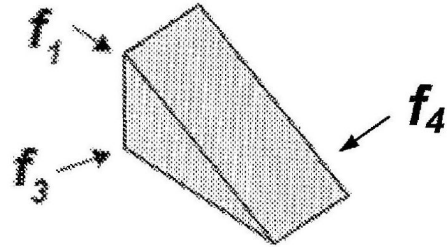


FIG. 2



Würfelobjekt



Keilobjekt

Position Objekt		Position			
		f_1	f_2	f_3	f_4
Würfelobjekt					
	Merkmal A 90°-Ecke	Merkmal B Vertikale Kante	Merkmal A 90°-Ecke		
Keilobjekt					
	Merkmal C Spitze Ecke		Merkmal A 90°-Ecke	Merkmal D Angewinkelte Kante	

FIG. 3

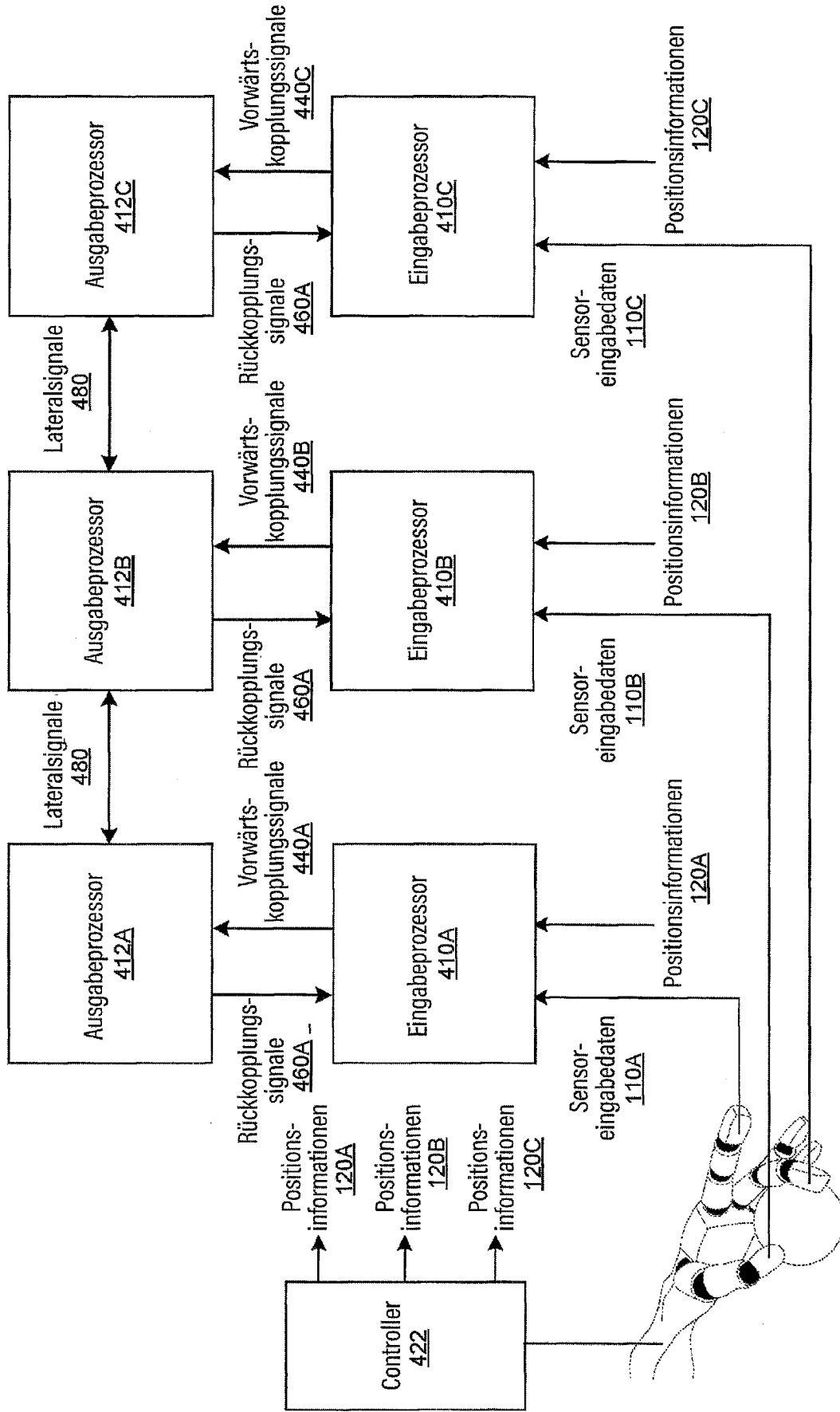


FIG. 4

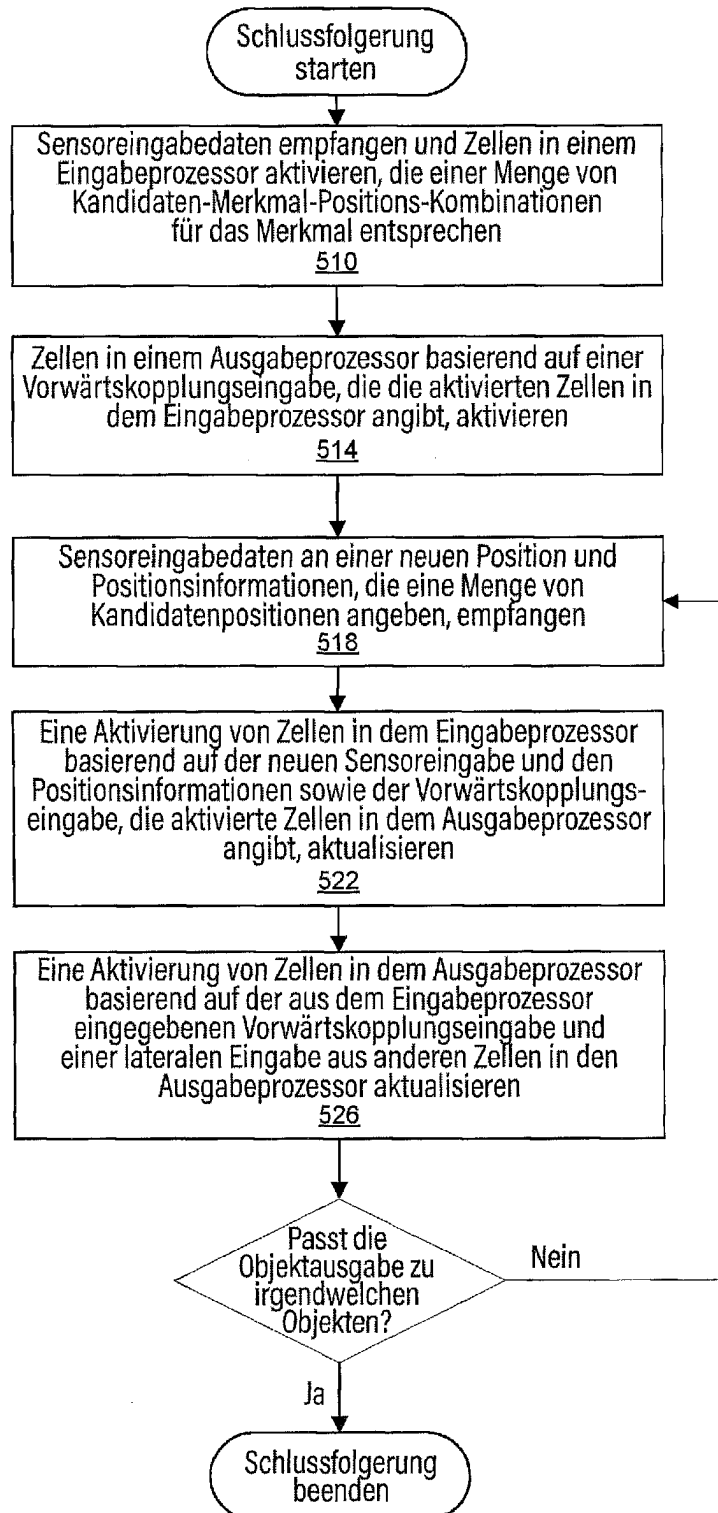


FIG. 5A

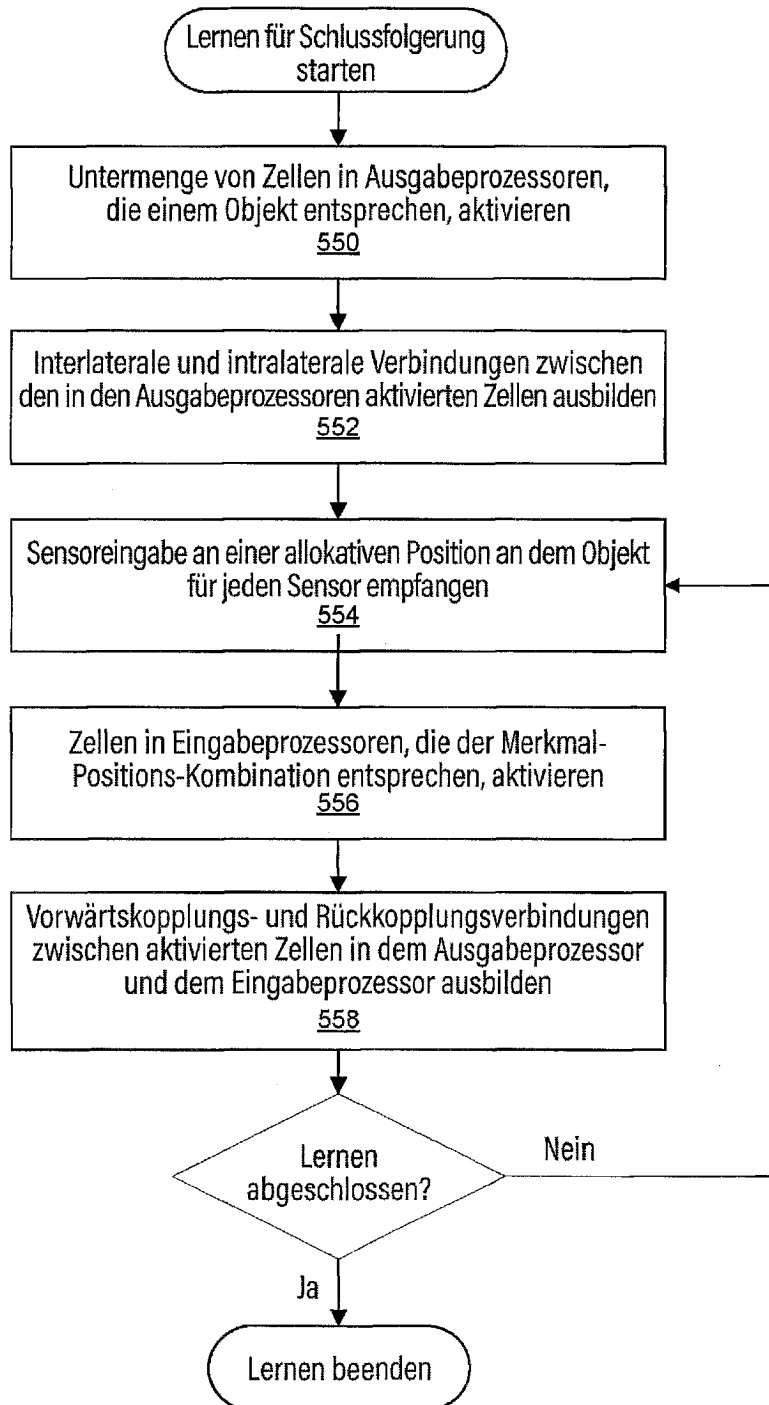


FIG. 5B

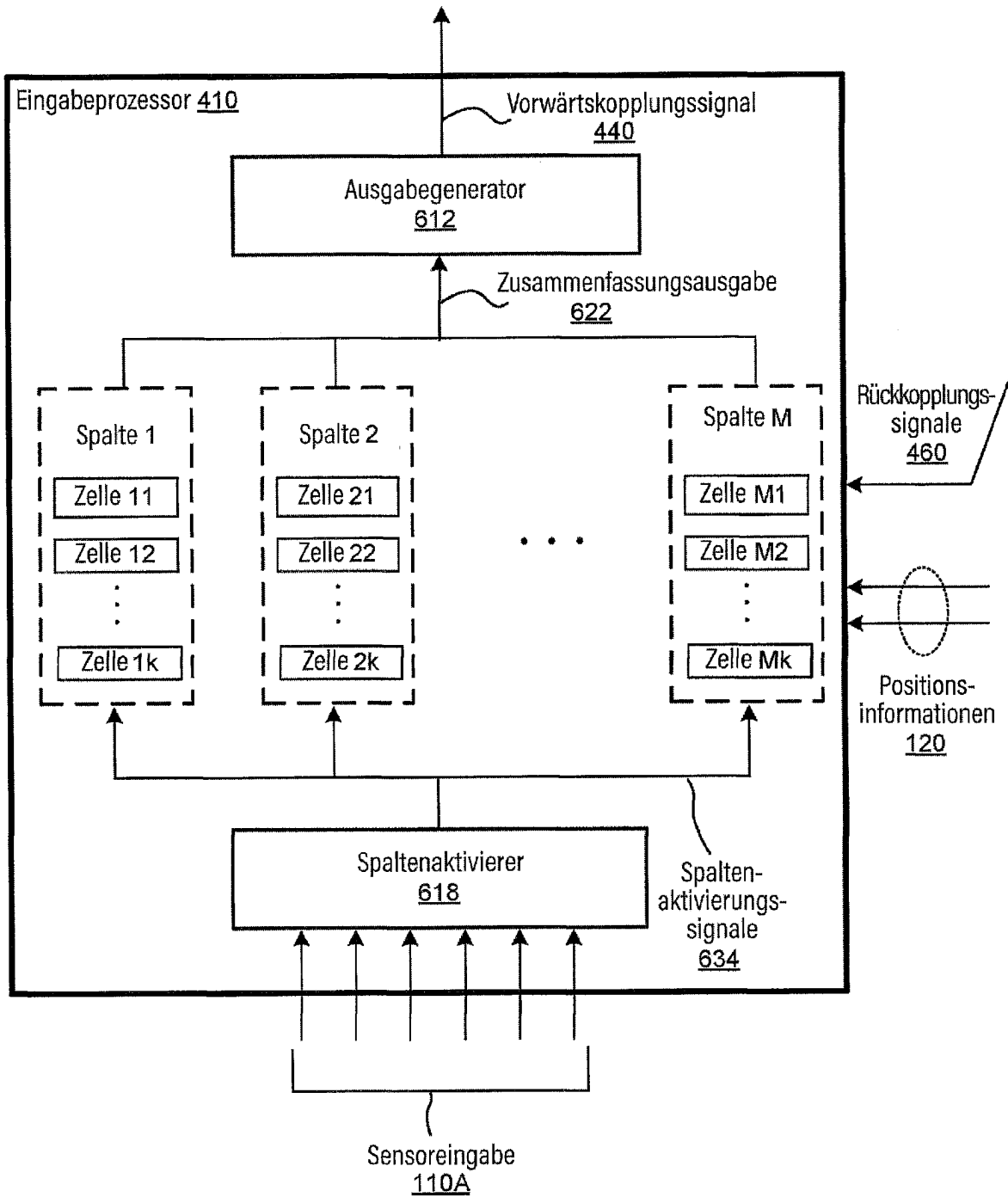


FIG. 6

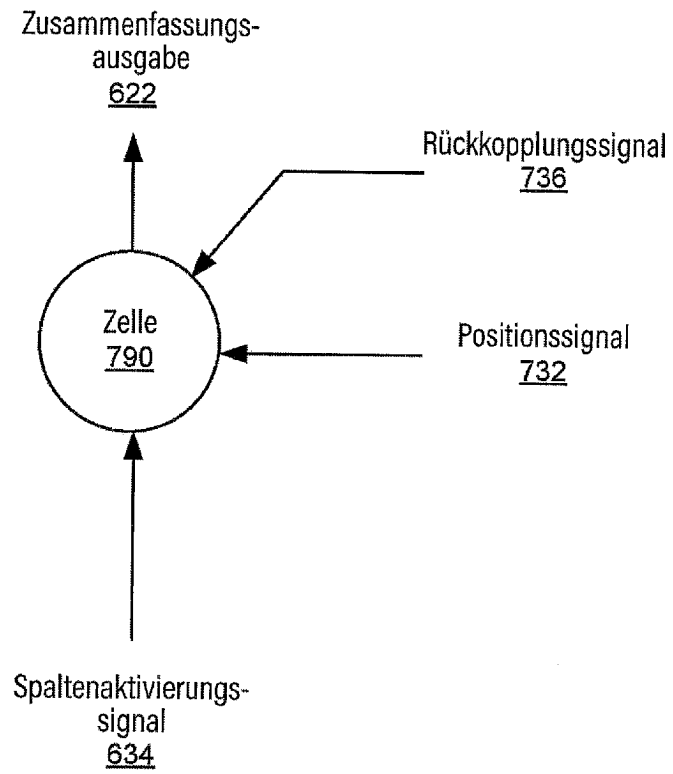


FIG. 7

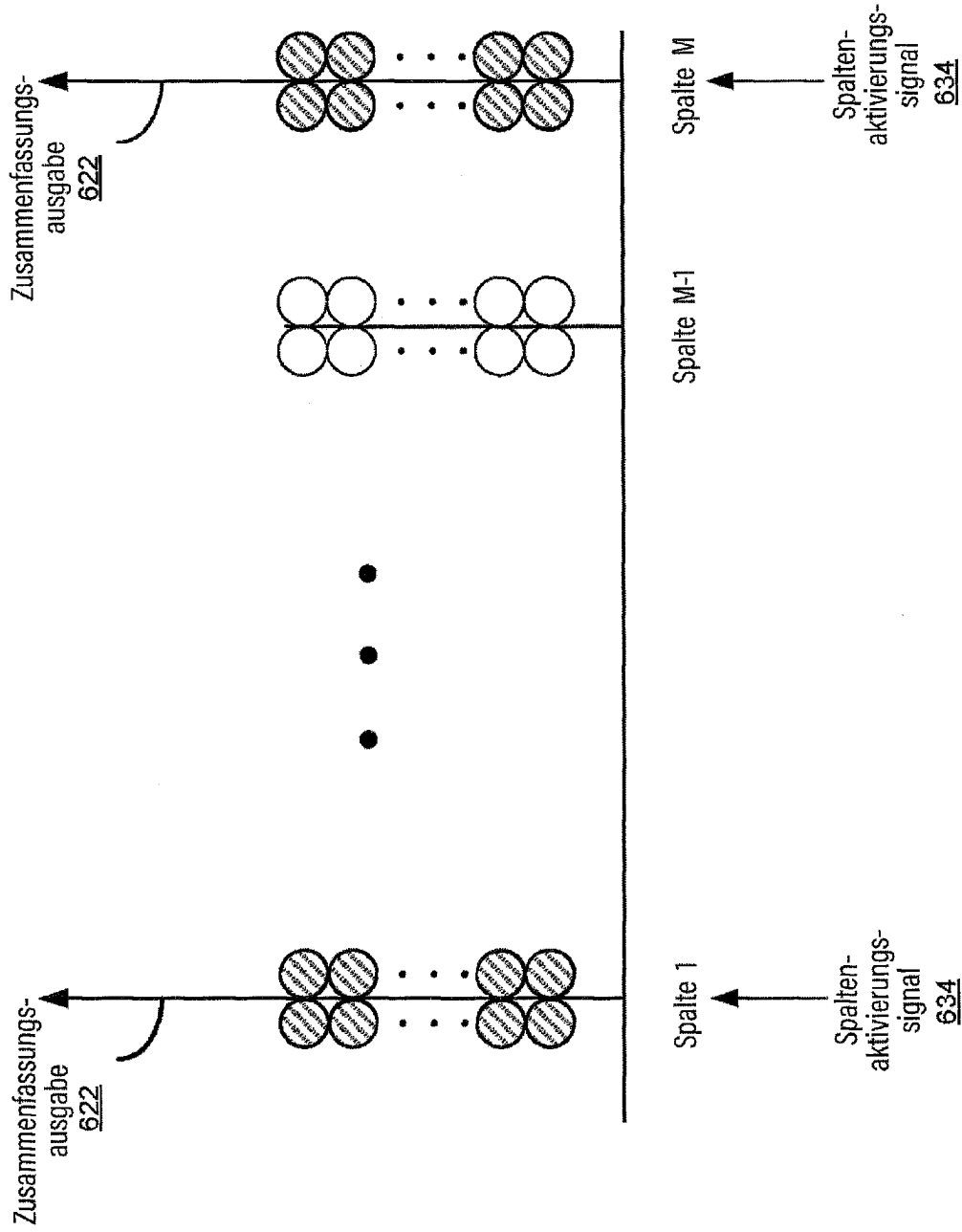


FIG. 8A

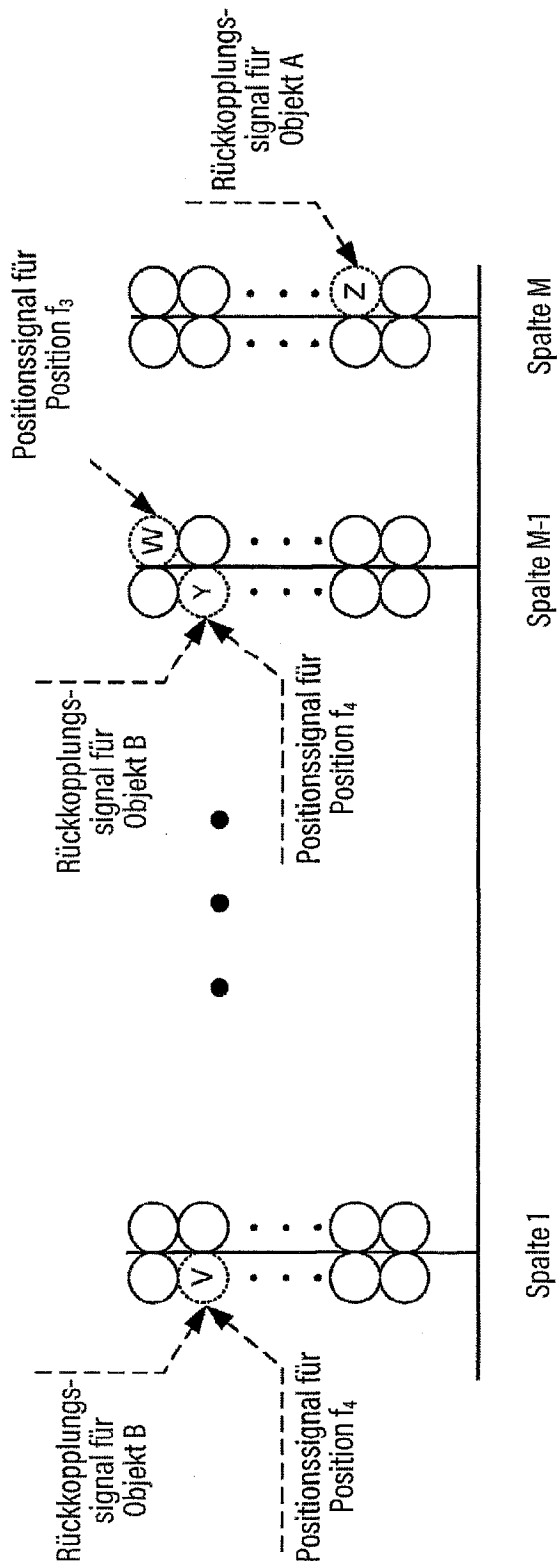


FIG. 8B

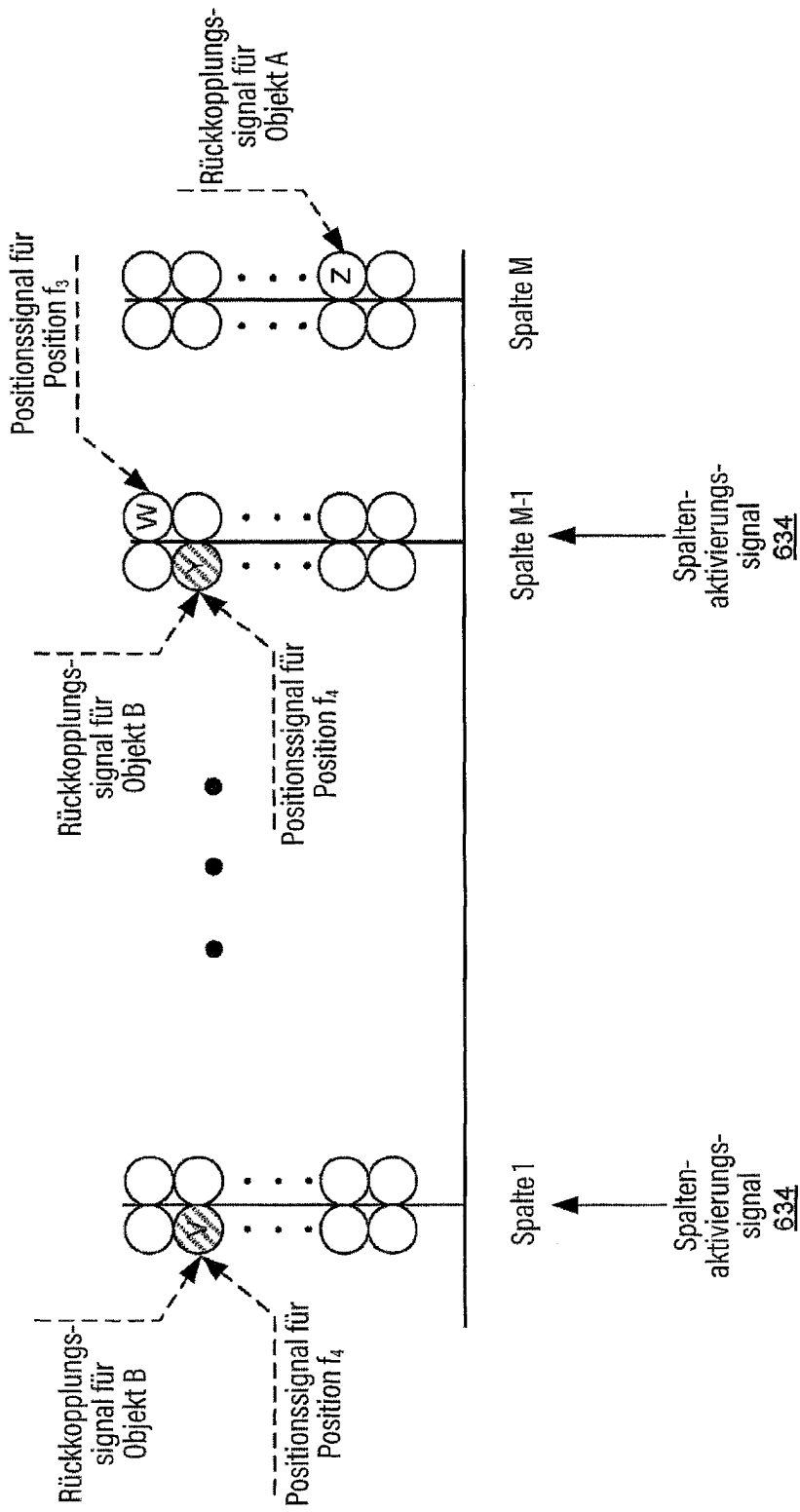


FIG. 8C

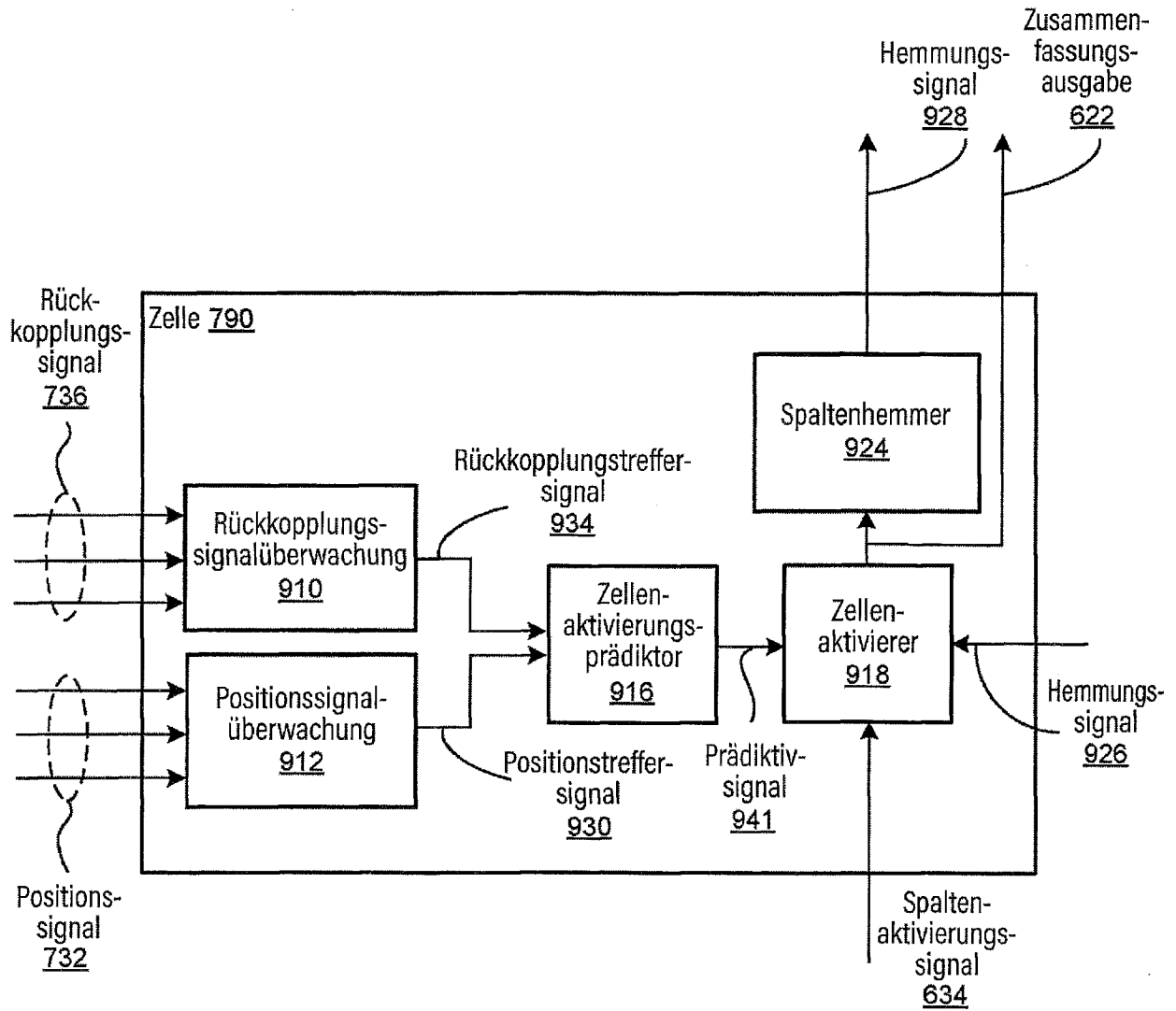


FIG. 9

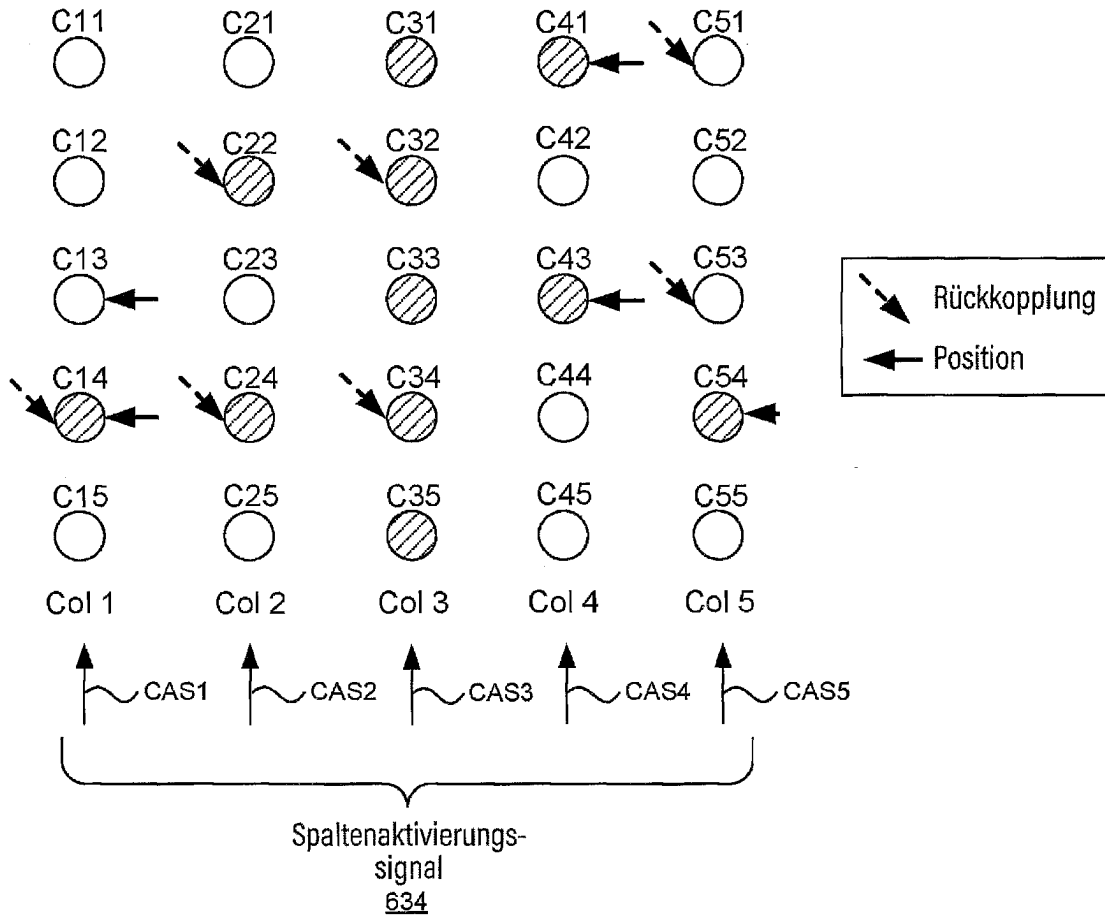


FIG. 10

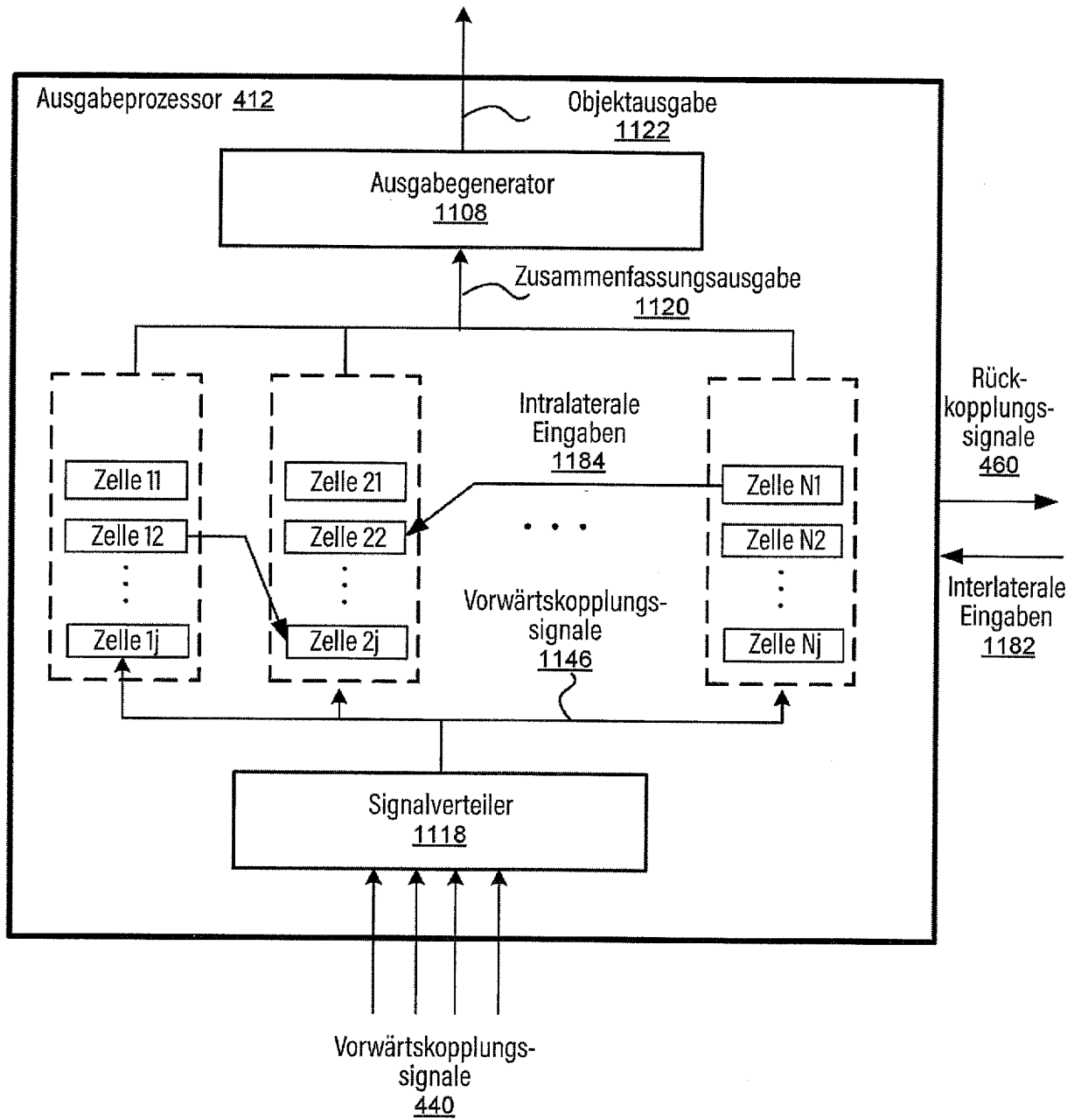


FIG. 11

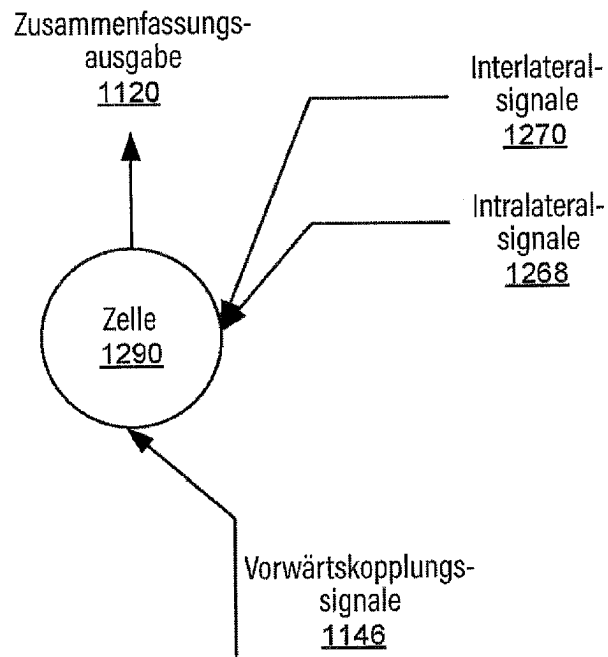


FIG. 12

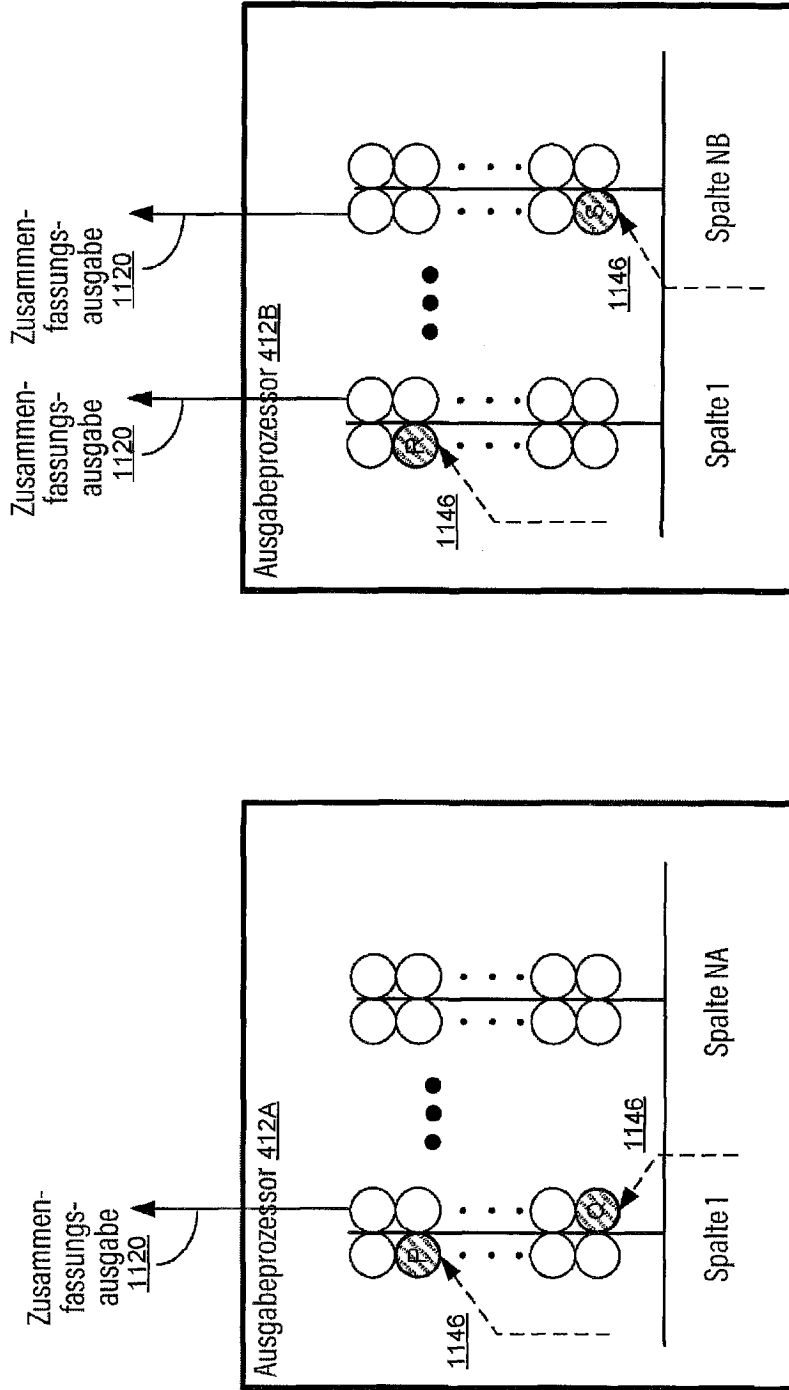


FIG. 13A

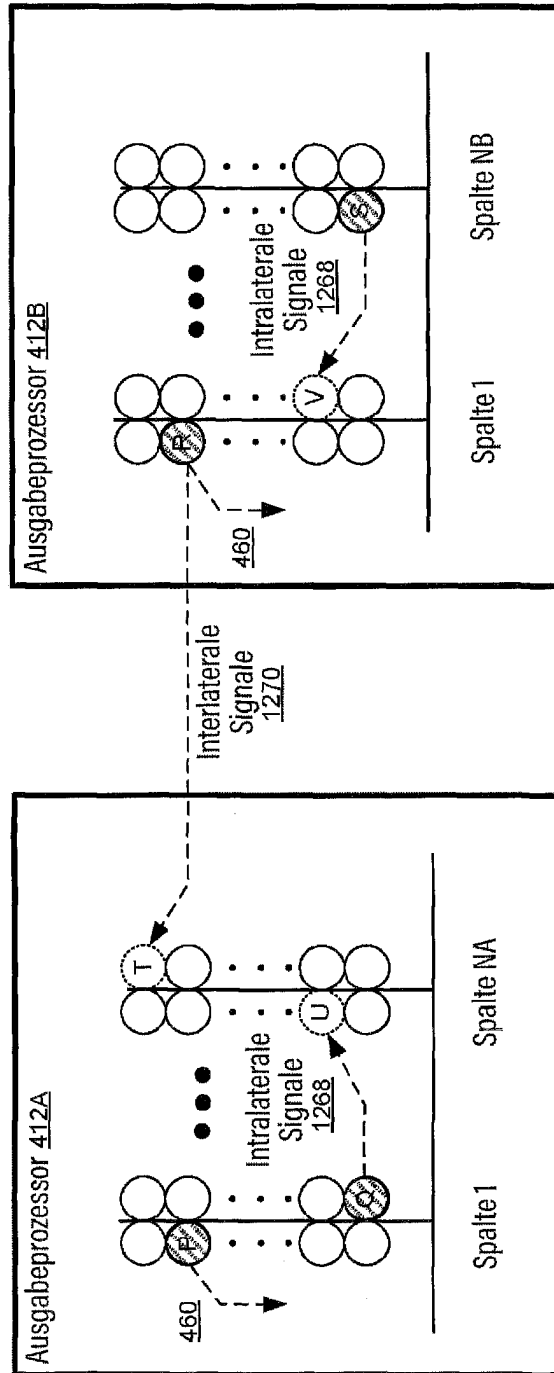


FIG. 13B

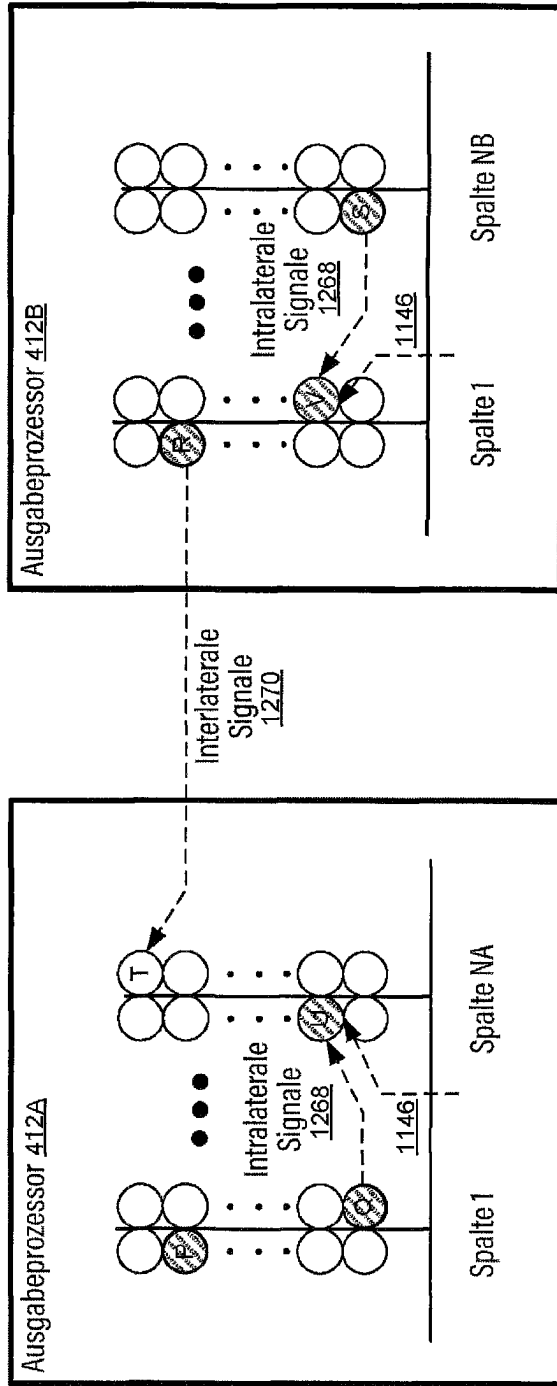


FIG. 13C

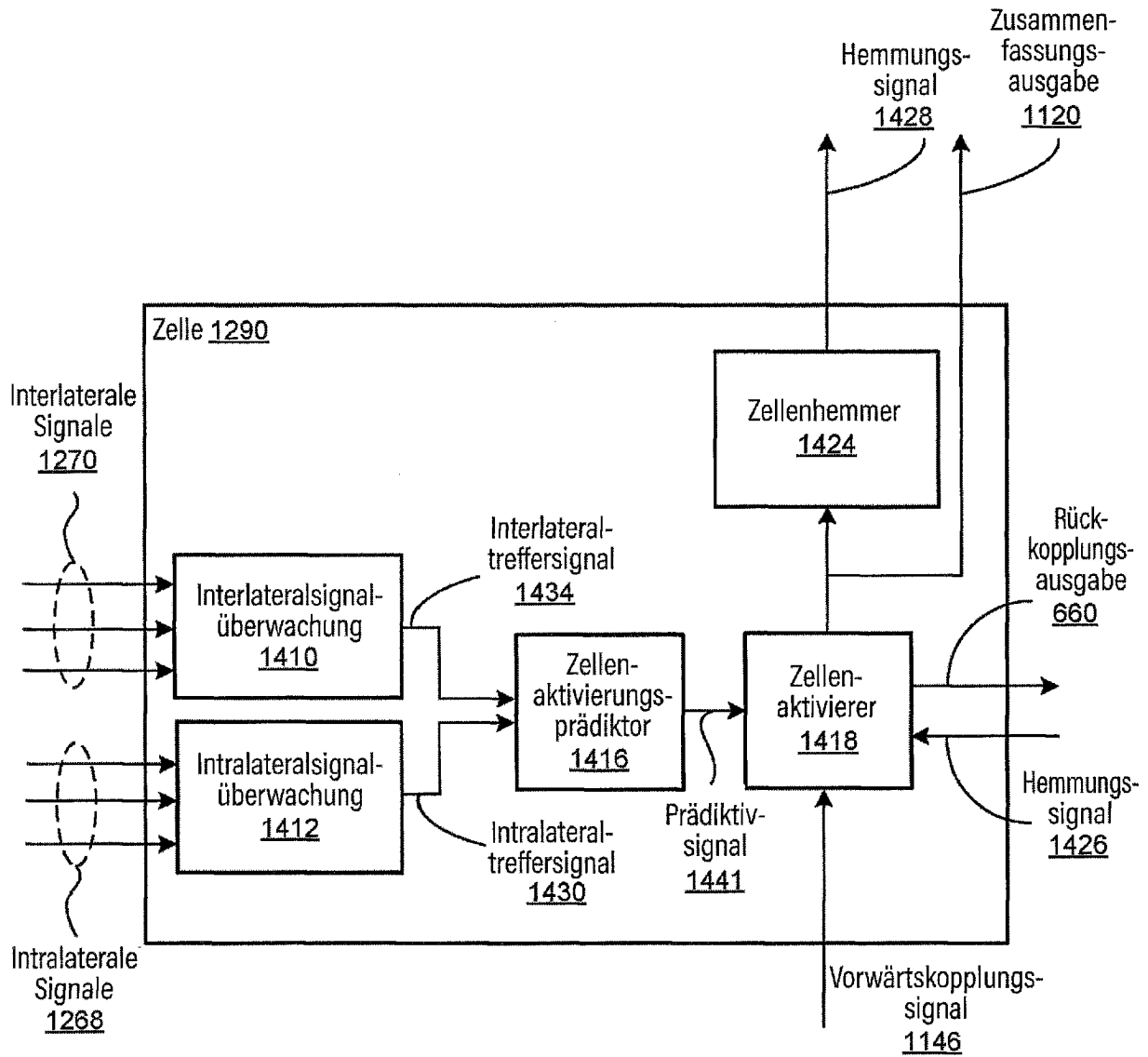


FIG. 14

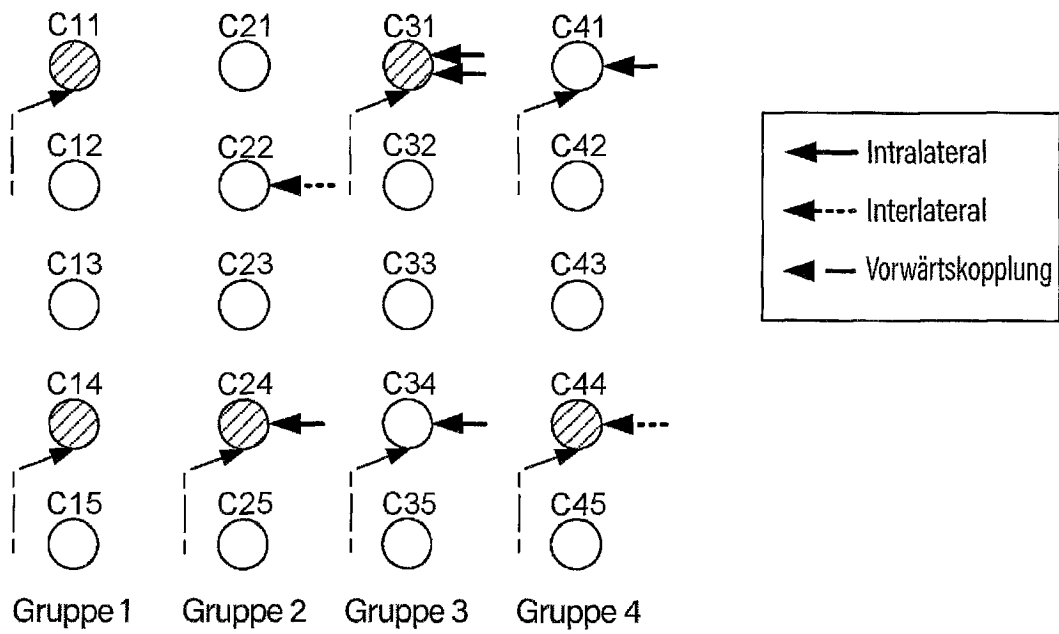


FIG. 15

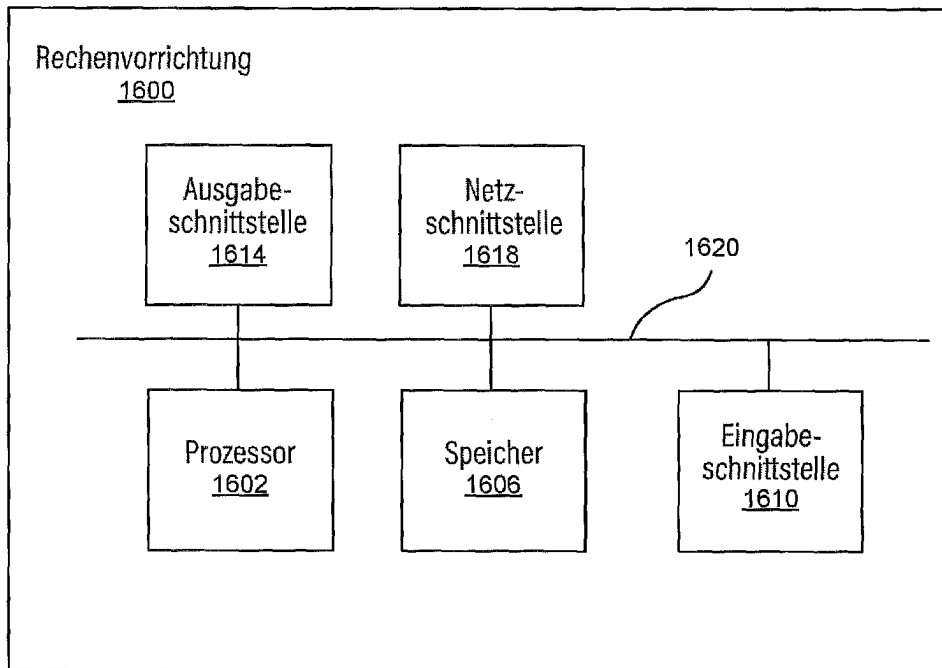


FIG. 16