



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2005 005 155 T2** 2009.03.12

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 684 461 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H04L 12/24** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2005 005 155.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **05 028 078.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **21.12.2005**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **26.07.2006**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **05.03.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.03.2009**

(30) Unionspriorität:

23083 27.12.2004 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IS, IT, LI, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO,
SE, SI, SK, TR**

(73) Patentinhaber:

SAP AG, 69190 Walldorf, DE

(72) Erfinder:

**Mo, Brian, Palo Alto, CA 94303, US; Odenwald,
Thomas, Redwood City, CA 94061, US; Suenbuel,
Asuman, San Jose, CA 95127, US**

(74) Vertreter:

**Hössle Kudlek & Partner, Patentanwälte, 70173
Stuttgart**

(54) Bezeichnung: **Modellierung und Einrichtung eines Sensornetzes**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Diese Beschreibung betrifft die Modellierung und Einrichtung eines Sensornetzes.

[0002] Ein Sensornetz besteht aus einer Ansammlung von Sensorknoten, die durch ein drahtloses Medium verbunden sind, um verteilte Messaufgaben auszuführen. Sensornetze werden in einer Vielzahl von Umgebungen eingerichtet, um Aufgaben, wie Überwachungsaufgaben, weit ausgedehnte Probenentnahmen aus der Umwelt, Sicherheitsaufgaben und Gesundheitsüberwachungsaufgaben, auszuführen.

[0003] Dhillon S. S. u. a. beschreiben in dem Artikel "Sensor Placement for Grid Coverage under Imprecise Detections" ein Verfahren, das darauf abzielt, eine Anzahl von Sensoren zu optimieren und ihre Platzierung innerhalb eines Sensorfelds festzulegen, um minimalistische Sensornetze zu unterstützen. Der vorgeschlagene Algorithmus richtet sich auf die Abdeckungsoptimierung unter Randbedingungen ungenauer Erfassungs- und Geländeeigenschaften.

[0004] US 2004/0049698A1 offenbart ein Computernetz-Sicherheitssystem, das mobile Sensoragenten verwendet, welche Aktivitäten auf Host-Ebene erfassen und das Auftreten von Ereignissen einem Sicherheitsserver mitteilen, der mit einem geschützten Netz verbunden ist. Der Sicherheitsserver verwendet intelligente Datenfusionstechniken zum Erhalten kontextrelevanter Situations-/Risikodaten auf der Grundlage der verhältnismäßig abstrakten Daten der Aktivität auf der Host-Ebene.

Zusammenfassung der Erfindung

[0005] Im Allgemeinen weist die Erfindung gemäß einem Aspekt ein Verfahren mit folgenden Schritten auf: Empfangen von Randbedingungen kennzeichnenden Daten, die auf ein Sensornetz anwendbar sind, Empfangen einer logischen Darstellung einer Anforderungsspezifikation für das Sensornetz und Verarbeiten der Randbedingungen kennzeichnenden Daten und der logischen Darstellung der Anforderungsspezifikation, um eine modulare Darstellung des Sensornetzes zu erzeugen. Die Randbedingungen kennzeichnenden Daten umfassen physikalische Umgebungsdaten, Sensorrandbedingungsdaten und Anwendungsbereichsdaten. Die modulare Darstellung des Sensornetzes definiert die Sensorknotenplatzierung und die Sensorverteilung innerhalb des Sensornetzes.

[0006] Implementationen können eine oder mehrere der folgenden aufweisen. In dem Verfahren werden Codeelemente entsprechend der modularen

Darstellung des Sensornetzes erzeugt. Jedes Codeelement ist für die Ausführung auf einem Sensorknoten geeignet. In dem Verfahren wird jedes Codeelement zu einem entsprechenden Sensorknoten gesendet. In dem Verfahren werden Sensorknoten in einer physikalischen Umgebung eingerichtet, die durch die physikalischen Umgebungsdaten gekennzeichnet ist. Jeder Sensorknoten hat eine Sensorknotenplatzierung und einen oder mehrere Sensoren, wie durch die modulare Darstellung des Sensornetzes definiert ist.

[0007] Das Verfahren umfaßt ein Empfangen einer Benutzereingabe, welche einen oder mehrere Sensornetzfaktoren spezifiziert, und ein Erzeugen der modularen Darstellung des Sensornetzes unter Verwendung der benutzerspezifizierten Sensornetzfaktoren. Die modulare Darstellung des Sensornetzes kann entsprechend den benutzerspezifizierten Sensornetzfaktoren optimiert werden. Die physikalischen Umgebungsdaten können Daten, welche eine physikalische Umgebung kennzeichnen, in der das Sensornetz einzurichten ist, und Daten, welche Beschränkungen der physikalischen Umgebung kennzeichnen, aufweisen. Die Sensorrandbedingungsdaten können Daten, welche Parameter eines Sensortyps kennzeichnen, und Daten, welche Parameter eines Sensorknotens kennzeichnen, aufweisen. Die Anwendungsbereichsdaten können Daten, welche einen Anwendungsbereich bezeichnen, in dem das Sensornetz einzurichten ist, aufweisen. Die logische Darstellung der Anforderungsspezifikation kann eine oder mehrere logische Aussagen aufweisen, wobei jede logische Aussage durch mehrere Variablen gebildet ist, die durch logische Operatoren einander zugeordnet sind.

[0008] Im Allgemeinen betrifft die Erfindung gemäß einem anderen Aspekt ein Computerprogrammprodukt, das zugänglich in einem Informationsträger aufgenommen ist, wobei das Computerprogrammprodukt in der Lage ist, eine Maschine zu folgendem zu veranlassen: Empfangen von Randbedingungen kennzeichnenden Daten, die auf ein Sensornetz anwendbar sind, Empfangen einer logischen Darstellung einer Anforderungsspezifikation für das Sensornetz und Verarbeiten der Randbedingungen kennzeichnenden Daten und der logischen Darstellung der Anforderungsspezifikation, um eine modulare Darstellung des Sensornetzes zu erzeugen. Die Randbedingungen kennzeichnenden Daten umfassen physikalische Umgebungsdaten, Sensorrandbedingungsdaten und Anwendungsbereichsdaten. Die modulare Darstellung definiert die Sensorknotenplatzierung und die Sensorverteilung innerhalb des Sensornetzes.

[0009] Implementationen können eine oder mehrere der folgenden aufweisen. Das Computerprogrammprodukt ist ferner in der Lage, eine Maschine

zu veranlassen, Codeelemente entsprechend der modularen Darstellung des Sensornetzes zu erzeugen. Jedes Codeelement ist für die Ausführung auf einem Sensorknoten geeignet. Das Computerprogrammprodukt ist ferner in der Lage, eine Maschine zu veranlassen, jedes Codeelement zu einem entsprechenden Sensorknoten zu senden. Das Computerprogrammprodukt ist ferner in der Lage, eine Maschine zu veranlassen, Sensorknoten in einer physikalischen Umgebung, die durch die physikalischen Umgebungsdaten gekennzeichnet ist, einzurichten. Jeder Sensorknoten hat eine Sensorknotenplatzierung und einen oder mehrere Sensoren, wie durch die modulare Darstellung des Sensornetzes definiert ist.

[0010] Das Computerprogrammprodukt ist ferner in der Lage, eine Maschine zu veranlassen, Benutzereingaben zu empfangen, welche einen oder mehrere Sensornetzfaktoren spezifizieren, und die modulare Darstellung des Sensornetzes unter Verwendung der benutzerspezifisierten Sensornetzfaktoren zu erzeugen. Das Computerprogrammprodukt ist ferner in der Lage, eine Maschine zu veranlassen, die modulare Darstellung des Sensornetzes entsprechend den benutzerspezifisierten Sensornetzfaktoren zu optimieren. Das Computerprogrammprodukt ist ferner in der Lage, eine Maschine zu veranlassen, eine graphische Benutzerschnittstelle bereitzustellen, durch welche eine Benutzereingabe empfangen wird.

[0011] Im Allgemeinen sieht die Erfindung gemäß einem anderen Aspekt ein System vor, welches aufweist: einen Speicher, in dem (1) eine Mehrzahl von Modellen gespeichert ist, wobei die Mehrzahl von Modellen mindestens ein physikalisches Umgebungsmodell, mindestens ein Sensorrandbedingungsmodell und mindestens ein domänenspezifisches Modell umfasst, und in dem (2) eine logische Darstellung einer Anforderungsspezifikation für ein Sensornetz gespeichert ist, und einen Prozessor zum Ausführen eines Programms, das konfiguriert ist, um folgendes zu bewirken: Abrufen eines physikalischen Umgebungsmodells, eines Sensorrandbedingungsmodells, eines domänenspezifischen Modells und der logischen Darstellung der Anforderungsspezifikation aus dem Speicher und Verarbeiten der Modelle und der logischen Darstellung der Anforderungsspezifikation, um eine modulare Darstellung des Sensornetzes zu erzeugen, wobei die modulare Darstellung die Sensorknotenplatzierung und die Sensorverteilung innerhalb des Sensornetzes definiert.

[0012] Implementationen können eine oder mehrere der folgenden aufweisen. Das Programm ist ferner konfiguriert, um Codeelemente entsprechend der modularen Darstellung des Sensornetzes zu erzeugen, wobei jedes Codeelement für die Ausführung auf einem Sensorknoten geeignet ist, und jedes Co-

deelement zu einem entsprechenden Sensorknoten zu senden. Das Programm ist ferner konfiguriert, um eine Benutzereingabe zu empfangen, die einen oder mehrere Sensornetzfaktoren spezifiziert, und die modulare Darstellung des Sensornetzes unter Verwendung der benutzerspezifisierten Sensornetzfaktoren zu erzeugen.

[0013] Vorteile, die bei bestimmten Implementationen der Erfindung ersichtlich sind, umfassen einen oder mehrere der folgenden. Das Modellierungswerkzeug ermöglicht das Erzeugen eines Sensornetzmodells über einen automatisierten Prozess. Das Sensornetzmodell kann ausgelegt werden, um einer Anzahl von Variablen Rechnung zu tragen, einschließlich aber nicht beschränkt auf Einrichtungskosten, maximale Anzahl der Sensorknoten, maximale Anzahl der Sensoren eines bestimmten Typs, Leistungsverbrauch je Knoten, Gesamtleistungsverbrauch über das Sensornetz und Bandbreiteneffizienz. Das Sensornetzmodell kann auf der Grundlage des Anwendungsbereichs und der physikalischen Umgebung und/oder unter Verwendung einer Anforderungsspezifikation für das einzurichtende Sensornetz eigens ausgelegt werden. Das Sensornetzmodell kann, beispielsweise durch einen automatischen Codegenerator, in Elemente ausführbaren Codes übersetzt werden. Jedes Element ausführbaren Codes kann vor der Einrichtung in der physikalischen Umgebung oder nach der Einrichtung in den Speicher eines entsprechenden Sensorknotens geladen werden. Jeder Sensorknoten ist sehr schnell reprogrammierbar (d. h. der ausführbare Code in dem Speicher kann bei Bedarf geändert werden), wodurch es ermöglicht wird, dass Änderungen vorgenommen werden, nachdem das Sensornetz eingerichtet wurde. Diese Änderungen können auf interne Faktoren, die dem Sensornetz zugeordnet sind (beispielsweise Sensorknotenausfälle), oder externe Faktoren, die der physikalischen Umgebung zugeordnet sind (beispielsweise ein Ausfall der Klimaanlage), oder den Anwendungsbereich (beispielsweise Gesetze, die geändert wurden, so dass sie strengere Normen fordern) zurückzuführen sein.

[0014] Die Einzelheiten von einem oder mehreren Beispielen sind in der anliegenden Zeichnung und der nachstehenden Beschreibung dargelegt. Weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der Erfindung werden anhand der Beschreibung, der Zeichnung und der Ansprüche verständlich werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0015] Es zeigen:

[0016] [Fig. 1a](#) ein Blockdiagramm eines Systems zum Überwachen einer Umgebung unter Verwendung eines Sensornetzes,

[0017] [Fig. 1b](#) ein Blockdiagramm eines Sensorknotens,

[0018] [Fig. 1c](#) ein Blockdiagramm eines Unternehmensservers,

[0019] [Fig. 1d](#) ein Blockdiagramm eines Clients und

[0020] [Fig. 2](#) einen Prozess zur Modellierung und Einrichtung eines Sensorknotens.

Detaillierte Beschreibung

[0021] Mit Bezug auf die [Fig. 1a–Fig. 1d](#) sei bemerkt, dass eine verteilte Ansammlung von Sensorknoten **102** ein Sensornetz **104** bildet, das durch Drahtloskommunikationsverbindungen (durch doppelt gestrichelte Linien dargestellt) verbunden ist. Jeder Sensorknoten **102** erfasst und sammelt Datenproben aus seiner physikalischen Umgebung. Die Sensorknoten **102** führen Leitfunktionen aus, um ein Mehrsprung-Drahtlosnetzgewebe zu erzeugen, das Datenproben zu einem Unternehmensserver **106** weiterleitet. Der Unternehmensserver **106** empfängt die vom Sensornetz **104** gesammelten Informationen, führt eine zusätzliche Verarbeitung aus (falls erforderlich) und überträgt die Informationen über ein externes Netz **112** zu einem oder mehreren Clients **110**. Durch eine am Client **110** bereitgestellte Benutzerschnittstelle kann sich ein Benutzer **114** beispielsweise durch Betrachten der Aktivität der Sensorknoten **102** auf einem Knotenniveau oder einem Netzniveau, Bestimmen des Gesundheitszustands (beispielsweise des Batterieniveaus) individueller Sensorknoten **102**, Ausgeben von Befehlen zum Festlegen von Sensorempfindlichkeitsschwellen der Sensorknoten **102** oder Reprogrammieren individueller Sensorknoten **102**, um einige zu nennen, mit dem Sensornetz **104** austauschen.

[0022] Jeder Sensorknoten **102** ist eine elektronische Vorrichtung mit Verarbeitungs-, Mess- und Kommunikationsfähigkeiten. Jeder Sensorknoten **102** weist eine Leistungsquelle **120** (beispielsweise eine Batterie), einen oder mehrere Prozessoren (hier als "Prozessor **122**" bezeichnet), einen Speicher **124** zum Speichern von Software **126**, eine Kommunikationsschnittstelle **128** und einen oder mehrere Sensoren **130** auf. Die Kommunikationsschnittstellen **128** von Sensorknoten, die nicht direkt mit dem Unternehmensserver **106** verbunden sind, weisen typischerweise nur eine drahtlose Komponente (beispielsweise eine Antenne) auf. Für Sensorknoten **102**, die als Gateways zwischen dem Sensornetz **104** und dem Unternehmensserver **106** dienen, weist die Kommunikationsschnittstelle **128** sowohl eine drahtlose Komponente als auch eine festverdrahtete Komponente (beispielsweise eine Ethernet-Buchse) auf.

[0023] Der Prozessor **122** eines Sensorknotens **102**

führt die Software **126**, welche Betriebssoftware **132** und Anwendungssoftware **134** aufweist, aus. Die Betriebssoftware **132** weist ein Betriebssystem **132a** in der Art von TinyOS (an der University of California, Berkeley entwickelt) auf. Die Anwendungssoftware **134** weist ein oder mehrere Programmmodule **134a**, **134b** auf. Jedes Programmmodul **134a**, **134b** weist ausführbaren Code auf, der entweder vor dem Einrichten des Sensorknotens in den Speicher **124** geladen wird oder nach der Einrichtung über die Drahtloskommunikationsverbindungen empfangen wird. Diese Programmierung nach der Einrichtung ermöglicht es, dass ein in die Umgebung eingebetteter Sensorknoten **102** sehr schnell programmiert (oder reprogrammiert) wird, wodurch Anwendungsaufrüstungen oder -änderungen und in manchen Fällen eine Erholung von programminduzierten Abstürzen oder Fehlern, beispielsweise durch fernes Neubooten, ermöglicht werden.

[0024] Jeder Sensorknoten **102** weist einen oder mehrere Sensoren **130** zum Erfassen verschiedener Umgebungsbedingungen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Beschleunigung, Vibration, Temperatur, Schall und Licht, Bewegung und Nähe zu anderen Sensorknoten **102**, auf. Die gemessenen Rohdaten, die sich aus der Erfassung ergeben, können autonom oder zusammen mit benachbarten Sensorknoten **102** verarbeitet und analysiert werden, um gefilterte Sensormesswerte zu erzeugen. Die gefilterten Sensormesswerte werden dann von Sensorknoten zu Sensorknoten auf einem Mehrsprungweg zum Unternehmensserver **106** übertragen. Die Kommunikation gefilterter Sensormesswerte an Stelle eines kontinuierlichen Stroms von Rohdaten zwischen den Sensorknoten **102** verringert die Leistung, die benötigt wird, um Informationen innerhalb des Sensornetzes **104** zu übertragen.

[0025] Der Unternehmensserver **106** kann ein beliebiger Typ einer Rechenvorrichtung sein, der einen Prozessor **140** und einen Speicher **142**, der Software **144** speichert, aufweist. Der Prozessor **140** führt die Software **144** aus, die eine oder mehrere Geschäftsanwendungen **146** und Betriebssoftware **148** aufweist. Die Betriebssoftware **148** weist beispielsweise ein Betriebssystem **148a** und eine oder mehrere Routinen zum Ausführen einer Kommunikation über das externe Netz **112** auf, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Bei einem Beispiel ist der Unternehmensserver **106** ein SAP Web Application Server **106**, auf dem die Geschäftsanwendungssoftware mySAP Produkt Lifecycle Management ("PLM") **146** läuft, die beide von SAP AG aus Walldorf (Baden), Deutschland, erhältlich sind. Die mySAP-PLM-Geschäftsanwendung **146** kann zum Lebenszyklus-Datenmanagement, zum Programm- und Produktmanagement, zur Lebenszyklus-Kollaboration, zum Qualitätsmanagement, zum Vermögens-Lebenszyklusmanagement und zum Umwelt-, Gesundheits- und Si-

cherheitsmanagement verwendet werden.

[0026] Daten, die der Geschäftsanwendung **146** zugeordnet sind, sind in einer Anwendungsdatenbank **116** gespeichert, die vom Unternehmensserver **106** zugänglich ist. Wenngleich in [Fig. 1a](#) nur eine Anwendungsdatenbank **116** dargestellt ist, stellt die dargestellte einzelne Anwendungsdatenbank **116** eine physikalische oder virtuelle, zentralisierte oder verteilte Datenbank dar, die für den Empfang und das Speichern von Dateien geeignet ist. Jede Datei ist eine Dateneinheit, d. h. eine Kette von Bytes, die in einer Einheit manipuliert werden kann. Die Dateien können eine beliebige Informationsart, wie Text, Bilder, ausführbare Programme oder einfach binäre Daten, darstellen.

[0027] Das externe Netz **112** kann aus einem oder mehreren Netzen, wie Weitbereichsnetzen ("WANs"), LANs, Drahtlosnetzen und dergleichen, bestehen, welche mit dem Internet verbunden sein können oder nicht. Das externe Netz **112** führt ein Übertragungssteuerungsprotokoll/Internetprotokoll ("TCP/IP") oder ein anderes geeignetes Protokoll aus. Netzverbindungen können über ein Ethernet, eine Telefonleitung, drahtlose Medien oder andere Übertragungsmedien eingerichtet werden.

[0028] Jeder Client **110** kann ein beliebiger Typ einer Web-fähigen Vorrichtung oder eines Web-fähigen Systems sein. Beispiele solcher Vorrichtungen oder Systeme umfassen einen Desktop-Computer, einen Laptop-Computer, einen Mainframe-Computer, ein Mobiltelefon, einen persönlichen digitalen Assistenten ("PDA") und eine Steuereinrichtung, die in eine Vorrichtung eingebettet ist, die ansonsten keine Rechenvorrichtung ist, sind jedoch nicht darauf beschränkt. Der Client **110** enthält einen oder mehrere Prozessoren **160** (einfach als "Prozessor **160**" bezeichnet) und einen Speicher **162** zum Speichern von Software **164**. Der Prozessor **160** führt Software **164** aus, welche eine Web-Client-Anwendung **166** und Betriebssoftware **168** einschließt. Die Web-Client-Anwendung **166** weist eine oder mehrere Routinen auf, welche beim Implementieren des TCP/IP-Protokolls verwendet werden, wodurch ermöglicht wird, dass der Client **110** über das externe Netz **112** kommuniziert. Die Betriebssoftware **168** kann ein Betriebssystem **168a**, wie Windows XP®, einen Web-Browser **168b** in der Art des Internet Explorers® und verschiedene Anwendungsprogramme aufweisen.

[0029] Wenngleich Sensornetze **104** in einer großen Vielzahl von Anwendungsbereichen, einschließlich der geophysikalischen Überwachung, der Präzisionslandwirtschaft, der Lebensraumüberwachung, der zustandsbasierten Gerätwartung, des Versorgungskettenmanagements, der Vermögensverfolgung und der Gesundheitsfürsorgeüberwachung,

verwendet werden können, zielt ein eingerichtetes Sensornetz **104** typischerweise auf einen einzigen Anwendungsbereich ab und ist eigens für die Anforderungen des Bereichs ausgelegt.

[0030] In einem Beispielszenario behandelt eine chemische Fertigungsfirma hunderte verschiedene Rohmaterialien und stellt tausende von Endprodukten her. Die Firma verwendet die Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheits-("EH&S")-Managementfähigkeit der mySAP-PLM-Anwendung **146**, um eine Unternehmenslösung bereitzustellen, welche die Firma in die Lage versetzt, ihre EH&S-Prozesse global zu verwalten, während gewährleistet ist, dass die Anforderungen der EH&S-Gesetze und -Vorschriften kontinuierlich aktualisiert und von Firmenprozeduren erfüllt werden.

[0031] Die Firma unterhält eine Anwendungsdatenbank **116**, die Informationen für jedes Rohmaterial und/oder Endprodukt, wie Zusammensetzung, physikalische Daten (Schmelzpunkt, Siedepunkt, Flammpunkt usw.), Giftigkeit, Gesundheitswirkungen, erste Hilfe, Reaktivität, Lagerung, Entsorgung, Schutzgeräte und Auslauf-/Leckprozeduren, enthält. Die Informationen in der Anwendungsdatenbank **116** können aktualisiert werden, um Gesetzesänderungen widerzuspiegeln, und die mySAP-PLM-Anwendung **146** unterhält ein Protokoll solcher Änderungen, um Aufzeichnungen festzuhalten. Umweltschutz- und Arbeitssicherheitsdaten können firmenweit verfügbar gemacht werden, und umfangreiche Such- und Ausgabefunktionen helfen Angestellten dabei, Informationen schnell und leicht zu finden. Ferner können Materialdatenblätter leicht anhand der in der Anwendungsdatenbank **116** gespeicherten Daten erzeugt werden. Solche Materialdatenblätter stellen sowohl Arbeitern als auch Notpersonal die geeigneten Prozeduren zur Behandlung und zur Arbeit mit einer bestimmten Substanz bereit.

[0032] Die in der Anwendungsdatenbank **116** gespeicherten Informationen können auch verwendet werden, um der Firma dabei zu helfen, ein Sensornetz **104** einzurichten, das EH&S-Fragen, beispielsweise innerhalb einer Lagereinrichtung zum Lagern von Chemikaliensammelbehältern, welche die Rohmaterialien und/oder Endprodukte enthalten, überwacht. Bei einer Implementation weist der Unternehmensserver **106** ein Modellierungswerkzeug **150** zum Erzeugen eines Sensornetzmodells auf, das die Sensorknotenplatzierung für eine zuverlässige und wirksame Sammlung von Sensormesswerten identifiziert, die anschließend von der mySAP-PLM-Anwendung **146** verarbeitet werden können, um beispielsweise zu bestimmen, ob eine gefährliche Situation innerhalb der Lagereinrichtung existiert. Auf diese Weise stellt der Unternehmensserver **106** eine Infrastruktur bereit, die eine nahtlose Integration von Daten (in Form roher oder gefilterter Sensormesswerte) von einem ein-

gerichteten Sensornetz **104** mit Geschäftsanwendungen, wie der mySAP-PLM-Anwendung **146**, unterstützt.

[0033] Sobald das Sensornetzmodell erzeugt und von der Firma genehmigt wurde, kann dem Firmenpersonal eine "Blaupause" des Sensornetzmodells bereitgestellt werden, welche den Sensortyp und den Ort jedes einzurichtenden Sensorknotens **102** in der Lagereinrichtung spezifiziert. Das Firmenpersonal kann dann Sensorknoten **102** entsprechend der Blaupause an physikalischen Objekten in der Lagereinrichtung befestigen. Die physikalischen Objekte können sich an festen Orten (beispielsweise Regaleinheiten, Handschienen) befinden oder tragbar sein (beispielsweise Chemikaliensammelbehälter). Die Programmmodule **134a**, **134b** jedes Sensorknotens **102** weisen ausführbaren Code auf, der vom Unternehmensserver **106** vor der Einrichtung oder nach der Einrichtung bereitgestellt wird, wie zuvor beschrieben wurde.

[0034] Wie in [Fig. 2](#) dargestellt ist, nimmt das Modellierungswerkzeug **150** zum Erzeugen eines Sensornetzmodells **200** als Eingabe ein Anforderungsanalysedokument **202**, ein physikalisches Umgebungsmodell **204**, ein Sensorrandbedingungsmodell **206** und ein domänenspezifisches Modell **208**. Jedes der Modelle (d. h. das physikalische Umgebungsmodell **204**, das Sensorrandbedingungsmodell **206** und das domänenspezifische Modell **208**) kann vorab eingerichtet und in einer Modelldatenbank **118** zum anschließenden Abrufen durch das Modellierungswerkzeug **150** gespeichert werden (typischerweise als Code in einer einzigen Datei). Alternativ können ein oder mehrere der Modelle **204–208** durch das Modellierungswerkzeug **150** unter Verwendung von einem Benutzer **114** bereitgestellter und/oder aus der Anwendungsdatenbank **116** abgerufener Informationen eingerichtet werden. Beispielsweise kann das Modellierungswerkzeug **150** Informationen über die Rohmaterialien und Endprodukte (beispielsweise Zusammensetzung, physikalische Daten, Giftigkeit und Reaktivität) sowie Gesetze und Vorschriften, welche EH&S-Fragen in einem bestimmten Land bestimmen, abrufen, um das domänenspezifische Modell **208** zu erzeugen.

[0035] Typischerweise bereitet Firmenpersonal ein Anforderungsanalysedokument **202** während der Frühstadien eines Sensornetzeinrichtungs-Lebenszyklus vor. Das Anforderungsanalysedokument **202** gibt in geschäftlichen Begriffen die Anforderungen oder Ziele der Firma an, die durch das Einrichten eines Sensornetzes in der Lagereinrichtung zu erfüllen sind. Im Allgemeinen weist das Anforderungsanalysedokument **202** eine Ansammlung von in Form von "Soll"-Aussagen ausgedrückten Anforderungen auf. Jede "Soll"-Aussage stellt eine eindeutige und spezifische Anforderung dar, in Bezug auf die vom einge-

gerichteten Sensornetz gemessen wird, um die Übereinstimmung mit den Anforderungen zu gewährleisten. Ein Beispiel einer "Soll"-Aussage in dem Lagereinrichtungsszenario ist: "Das eingerichtete Sensornetz soll gewährleisten, dass EH&S-Gesetze und -Vorschriften erfüllt sind." Ein anderes Beispiel ist: "Das eingerichtete Sensornetz soll gewährleisten, dass Firmenpersonal gewarnt wird, wenn eine gefährliche Situation festgestellt wird." Die "Soll"-Aussagen wirken im Wesentlichen als eine Aufgabenliste, welche die Ergebnisgrößen spezifiziert, die das eingerichtete Sensornetz aus der Perspektive der Firma betrachtet so erfolgreich machen würden. Ein Benutzer **114**, der sich mit dem Modellierungswerkzeug **150** austauscht, kann die in dem Anforderungsanalysedokument **202** bereitgestellten "Soll"-Aussagen in ein logisches Format übersetzen, das zu Programmcode geparkt werden kann. In einem Beispiel übersetzt der Benutzer die "Soll"-Aussagen in logische Aussagen, die jeweils durch eine Mehrzahl von Variablen gebildet sind, welche durch logische Operatoren einander zugeordnet sind. Auf diese Weise wird eine logische Darstellung des Anforderungsanalysedokuments **202** erzeugt, und sie kann anschließend vom Modellierungswerkzeug **150** verwendet werden.

[0036] Ein physikalisches Umgebungsmodell **204** definiert einen physikalischen Raum, in dem das Sensornetz **104** einzurichten ist. Das physikalische Umgebungsmodell **204** wird vom Modellierungswerkzeug **150** verwendet, um die physikalischen Randbedingungen der Lagereinrichtung zu identifizieren, die zu berücksichtigen sind, um ein wirksames Sensornetz **104** zu erzeugen. In dem Beispielszenario stellt das physikalische Umgebungsmodell **204** eine Beschreibung (beispielsweise Text und/oder Graphik) einer Lagereinrichtung in Bezug auf die Gebäudekonstruktion (beispielsweise Beton und Marmor, die für Außenwände verwendet werden, Trockenmauer für Innenwände, Betonplatten für Fußböden, offene Betondecken mit freiliegenden Rohren und Betonsäulen), Lagerplatz (beispielsweise vier getrennte Bodenräume, die jeweils etwa 10000 Quadratfuß groß sind), innere Konfiguration (beispielsweise Ort von Säulen oder Innenwänden, Stufen, Rampen und eingebauten Regaleinheiten), Bodenladekapazitätsbeschränkungen und Klimaanlage/Ventilations-/Elektrik/Sprinkler-System(e), um einige zu nennen, bereit.

[0037] Ein Sensorrandbedingungsmodell **206** definiert Randbedingungen, die für ein individuelles Sensorknotenniveau oder ein Sensornetzniveau gelten. Das Sensorrandbedingungsmodell **206** wird vom Modellierungswerkzeug **150** verwendet, um physikalische, funktionelle und/oder operationelle Randbedingungen in Bezug auf die Sensoren zu identifizieren, denen Rechnung zu tragen ist, um ein wirksames Sensornetz **104** zu erzeugen. In dem Beispiels-

zenario trägt das Sensorrandbedingungsmodell **206** Randbedingungen, die gleichmäßig für alle Sensorknoten **102** gelten (beispielsweise Batterieleistung, Verarbeitungskapazität, Speichergröße, Signalreichweite und Netzbandbreite), Randbedingungen, die für den Sensortyp spezifisch sind (beispielsweise Messabdeckung eines Temperatursensors, verglichen mit der Messabdeckung eines Feuchtigkeitssensors, die Richtungsparameter eines Kamerasensors), sowie Randbedingungen, die netzspezifisch sind (beispielsweise die Anordnung von Sensorknoten, um eine zuverlässige Kommunikation im Fall von Knotenausfällen bereitzustellen), Rechnung.

[0038] Ein domänenspezifisches Modell **208** beschreibt Regeln, die es ermöglichen, dass ein Sensornetz **104** für einen spezifischen Anwendungsbereich ausgelegt wird (beispielsweise eine Überwachung einer Lagereinrichtung zum Lagern von Chemikalien, verglichen mit einer Überwachung einer Lagereinrichtung zum Lagern von Dokumenten). In dem Beispielszenario weist das domänenspezifische Modell **208** einen Satz von Lagerregeln in Bezug auf Lagerkapazität, Lagerbedingungen und unverträgliche Waren auf. Eine als Beispiel dienende Lagerkapazitätsregel fordert, dass nicht mehr als fünfzig Chemikalien, je hundert Quadratmeter Fläche des Lagerbereichs gelagert werden. Eine als Beispiel dienende Lagerbedingungsregel fordert, dass bestimmte Chemikalien entsprechend bestimmten Temperatur- und Feuchtigkeitsanforderungen gelagert werden. Die Regeln für unverträgliche Waren schreiben vor, dass bestimmte Chemikalien, die miteinander besonders reaktiv sind, nicht nahe beieinander gelagert werden sollten. Das domänenspezifische Modell **208** kann andere Typen und Sätze von Regeln bereitstellen.

[0039] Bei einer Implementation stellt das Modellierungswerkzeug **150** vor dem Erzeugen des Sensornetzmodells eine graphische Benutzerschnittstelle bereit, durch die ein Benutzer **114** einen oder mehrere Sensornetzfaktoren **210**, beispielsweise Kosten, maximale Anzahl von Sensorknoten, maximale Anzahl von Sensoren eines bestimmten Typs, Leistungsverbrauch je Knoten, Gesamtleistungsverbrauch über das Sensornetz und Bandbreiteneffizienz, auswählt. Das Modellierungswerkzeug **150** nimmt dann das Anforderungsanalyседokument **202**, das physikalische Umgebungsmodell **204**, das Sensorrandbedingungsmodell **206** und das domänenspezifische Modell **208** als Eingabe und erzeugt ein Sensornetzmodell **200**, das auf der Grundlage des benutzerspezifisierten Faktors (von benutzerspezifisierten Faktoren) **210** optimiert wird. In einem als Beispiel dienenden Sensornetzmodell **200** ist jeder in der Lagereinrichtung einzurichtende Sensorknoten **102** im Sensornetzmodell **200** durch Informationen, einschließlich Ortskoordinaten und Sensortypen, jedoch ohne Einschränkung auf diese, dargestellt.

[0040] Sobald das Sensornetzmodell **200** erzeugt und von der Firma genehmigt wurde, werden die Sensorknoten **102** auf der Grundlage des Sensornetzmodells **200** in der Lagereinrichtung eingerichtet. Bei einer Implementation weist der Unternehmensserver **106** einen automatischen Codegenerator **152** auf, der das Sensornetzmodell **200** in Elemente ausführbaren Codes **250** übersetzt. Jedes Element des ausführbaren Codes **250** ist einem bestimmten Sensorknoten **102** in dem Sensornetzmodell **200** zugeordnet und kann in den Speicher **124** dieses Sensorknotens **102** vor der Einrichtung oder nach der Einrichtung geladen werden.

[0041] Das Modellierungswerkzeug **150** empfängt periodisch Aktualisierungen vom Sensornetz **104**, wodurch angegeben wird, dass möglicherweise eine Änderung innerhalb des eingerichteten Sensornetzes **104** vorgenommen werden muss. Beispielsweise kann das Modellierungswerkzeug **150** eine Warnung vom Sensornetz **104** empfangen, welche einen oder mehrere Sensorknotenausfälle angibt. In einem solchen Fall stellt das Modellierungswerkzeug **150** fest, ob die restlichen Sensorknoten **102** in der Lage sind, die Messaufgaben der ausgefallenen Sensorknoten auszuführen, während beispielsweise die EH&S-Gesetze und -Vorschriften erfüllt werden. Falls dies der Fall ist, wird keine weitere Tätigkeit vorgenommen. Falls andererseits das Modellierungswerkzeug **150** feststellt, dass ein oder mehrere der EH&S-Gesetze und -Vorschriften infolge der Sensorknotenausfälle nicht erfüllt werden, wird eine Benachrichtigungsmeldung erzeugt und zu Firmenpersonal gesendet, um sie über die Situation zu benachrichtigen. Es können dann Schritte unternommen werden, um einen Ersatzsensorknoten **102** einzurichten.

[0042] Das Modellierungswerkzeug **150** kann auch Aktualisierungen von der mySAP-PLM-Geschäftsanwendung **146** empfangen, wodurch angegeben wird, dass an der Anwendungsdatenbank **116** vorgenommene Änderungen das eingerichtete Sensornetz **104** beeinflussen können. Beispielsweise kann das Modellierungswerkzeug **150** eine Warnung von der mySAP-Geschäftsanwendung **146** empfangen, welche angibt, dass bestimmte EH&S-Gesetze und -Vorschriften strenger gemacht worden sind. In einem solchen Fall stellt das Modellierungswerkzeug **150** fest, ob zusätzliche Sensorknoten in dem Sensornetz eingerichtet werden müssen, um zu gewährleisten, dass die EH&S-Gesetze und -Vorschriften erfüllt werden, und stellt, falls dies der Fall ist, die Ortskoordinaten und den Sensortyp bzw. die Sensortypen fest. Firmenpersonal kann dann Schritte unternehmen, um die zusätzlichen Sensorknoten **102** einzurichten.

[0043] Die Techniken und alle funktionellen Operationen, die in der anliegenden Dokumentation beschrieben sind, können in digitalen elektronischen Schaltungen oder in Computersoftware, -firmware

oder -hardware, einschließlich der in dieser Beschreibung offenbarten Strukturmittel und Entsprechungen davon, oder in Kombinationen von ihnen implementiert werden. Die Techniken können als ein oder mehrere Computerprogrammprodukte, d. h. ein oder mehrere Computerprogramme, die zugänglich in einem Informationsträger verwirklicht sind, beispielsweise in einer maschinenlesbaren Speichervorrichtung oder in einem sich ausbreitenden Signal zur Ausführung durch eine Datenverarbeitungsvorrichtung, beispielsweise einen programmierbaren Prozessor, einen Computer oder mehrere Computer, oder zur Steuerung des Betriebs davon implementiert werden. Ein Computerprogramm (auch als ein Programm, eine Software, eine Softwareanwendung oder Code bekannt) kann in einer beliebigen Form einer Programmiersprache, einschließlich kompilierter oder interpretierter Sprachen, geschrieben werden, und es kann in einer beliebigen Form, einschließlich eines autonomen Programms oder eines Moduls, einer Komponente, einer Unteroutine oder einer anderen Einheit, die für eine Verwendung in einer Rechenumgebung geeignet ist, eingerichtet werden. Ein Computerprogramm entspricht nicht notwendigerweise einer Datei. Ein Programm kann in einem Teil einer Datei gespeichert sein, welche andere Programme oder Daten enthält, in einer einzigen Datei, die dem betreffenden Programm eigens zugeordnet ist, oder in mehreren koordinierten Dateien (beispielsweise Dateien, die ein oder mehrere Module, Unterprogramme oder Codeteile speichern) gespeichert sein. Ein Computerprogramm kann eingerichtet werden, um auf einem Computer oder auf mehreren Computern an einer Stelle ausgeführt zu werden, oder es kann über mehrere Stellen, die durch ein Kommunikationsnetz miteinander verbunden sind, verteilt sein.

[0044] Die Prozesse und Logikabläufe, die in dieser Beschreibung dargelegt sind, einschließlich der Verfahrensschritte der Techniken, können durch einen oder mehrere programmierbare Prozessoren ausgeführt werden, welche ein oder mehrere Computerprogramme zum Ausführen von Funktionen der Techniken durch Bearbeiten eingegebener Daten und Erzeugen einer Ausgabe ausführen. Die Prozesse und Logikabläufe können auch durch Logikschaltungen für spezielle Zwecke ausgeführt werden, und Vorrichtungen der Techniken können als Logikschaltungen für spezielle Zwecke implementiert werden, beispielsweise ein FPGA (feldprogrammierbares Gate-Array) oder ein ASIC (anwendungsspezifischer integrierter Schaltkreis).

[0045] Prozessoren, die für die Ausführung eines Computerprogramms geeignet sind, umfassen beispielsweise sowohl Mikroprozessoren für allgemeine Zwecke als auch Mikroprozessoren für spezielle Zwecke und einen oder mehrere Prozessoren einer beliebigen Art eines Digitalcomputers. Im Allgemei-

nen empfängt ein Prozessor Befehle und Daten von einem Nurlesespeicher oder einem Direktzugriffsspeicher oder von beiden. Die wesentlichen Elemente eines Computers sind ein Prozessor zum Ausführen von Befehlen und eine oder mehrere Speichervorrichtungen zum Speichern von Befehlen und Daten. Im Allgemeinen enthält ein Computer auch eine oder mehrere Massenspeichervorrichtungen zum Speichern von Daten, beispielsweise Magnetplatten, magnetooptische Platten oder optische Platten oder ist wirkungsmäßig damit gekoppelt, um Daten von ihnen zu empfangen oder zu ihnen zu übertragen oder um beides auszuführen. Informationsträger, die für das Verwirklichen von Computerprogrammbeehlen und Daten geeignet sind, umfassen alle Formen nichtflüchtiger Speicher, einschließlich beispielsweise Halbleiterspeichervorrichtungen, beispielsweise EPROM-, EEPROM- und Flash-Speichervorrichtungen; Magnetplatten, beispielsweise interne Festplatten oder entfernbare Platten; magnetooptische Platten; und CDROM- und DVDROM-Platten. Der Prozessor und der Speicher können durch Logikschaltungen für spezielle Zwecke ergänzt werden oder darin aufgenommen werden.

[0046] Die Techniken können in einem Computersystem implementiert werden, das eine Back-End-Komponente (beispielsweise einen Daten-server), eine Middleware-Komponente (beispielsweise einen Anwendungs-server) oder eine Front-End-Komponente (beispielsweise einen Client-computer mit einer graphischen Benutzerschnittstelle oder einem Web-Browser, durch den sich ein Benutzer mit einer Implementation der Techniken austauschen kann) oder irgendeine Kombination dieser Back-End-, Middleware- und Front-End-Komponenten aufweisen. Die Komponenten des Systems können durch eine beliebige Form oder ein beliebiges Medium der digitalen Datenkommunikation, beispielsweise ein Kommunikationsnetz, verbunden sein. Beispiele von Kommunikationsnetzen umfassen ein Lokalbereichsnetz ("LAN") und ein Weitbereichsnetz ("WAN"), beispielsweise das Internet.

[0047] Das Computersystem kann Clients und Server aufweisen. Ein Client und ein Server befinden sich im Allgemeinen fern voneinander und tauschen sich typischerweise durch ein Kommunikationsnetz aus. Die Beziehung des Clients und des Servers ergibt sich durch Computerprogramme, die auf den jeweiligen Computern ausgeführt werden und eine Client-Server-Beziehung zueinander haben.

[0048] Andere Ausführungsformen liegen innerhalb des Schutzzumfangs der folgenden Ansprüche. Die nachstehenden Beispiele dienen nur der Erläuterung und sollen die Alternativen in keiner Weise einschränken. Die hier beschriebenen Techniken können in einer anderen Reihenfolge ausgeführt werden und noch wünschenswerte Ergebnisse erreichen.

Patentansprüche

1. Verfahren mit folgenden Schritten:

Empfangen von Randbedingungen kennzeichnenden Daten, die auf ein Sensornetz (104) anwendbar sind, das durch eine Ansammlung von Sensorknoten (102) gebildet ist, wobei die Randbedingungen kennzeichnenden Daten physikalische Umgebungsdaten, Sensorrandbedingungsdaten, die physikalische, funktionelle und/oder operationelle Randbedingungen in Bezug auf die Sensorknoten (102) identifizieren, und Anwendungsbereichsdaten, die Regeln beschreiben, welche es ermöglichen, dass das Sensornetz (104) für einen spezifischen Anwendungsbereich ausgelegt wird, aufweisen, Empfangen einer logischen Darstellung einer Anforderungsspezifikation für das Sensornetz (104), wobei die Anforderungsspezifikation eine Aufgabenliste darstellt, welche benötigte Ergebnisgrößen des Sensornetzes (104) spezifiziert, wenn es eingerichtet wird, Verarbeiten der Randbedingungen kennzeichnenden Daten und der logischen Darstellung der Anforderungsspezifikation, um über einen automatisierten Prozess eine modulare Darstellung des Sensornetzes (104), die modulare Darstellung, die die Sensorknotenplatzierung definiert, und die Sensorverteilung innerhalb des Sensornetzes (104) zu erzeugen, gekennzeichnet durch automatisches Erzeugen von Elementen ausführbaren Codes entsprechend der modularen Darstellung des Sensornetzes (104), wobei jedes Element des ausführbaren Codes einem bestimmten Sensorknoten in dem Sensornetz zugeordnet wird und für die Ausführung an diesem Sensorknoten (102) geeignet ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1 mit folgendem weiteren Schritt:

Senden jedes Codeelements zu dem entsprechenden Sensorknoten (102).

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 mit folgendem weiteren Schritt:

Einrichten von Sensorknoten (102) in einer physikalischen Umgebung, welche durch die physikalischen Umgebungsdaten gekennzeichnet ist, wobei jeder Sensorknoten (102) eine Sensorknotenplatzierung und einen oder mehrere Sensoren (130) aufweist, wie durch die modulare Darstellung des Sensornetzes (104) definiert ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Verarbeitung weiter aufweist:

Empfangen einer Benutzereingabe, die einen oder mehrere Sensornetzfaktoren (210) spezifiziert, und Erzeugen der modularen Darstellung des Sensornetzes (104) unter Verwendung der benutzerspezifizierten Sensornetzfaktoren (210).

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die modulare Darstellung des Sensornetzes (104) entsprechend den benutzerspezifizierten Sensornetzfaktoren (210) optimiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die physikalischen Umgebungsdaten Daten, die eine physikalische Umgebung, in der das Sensornetz (104) einzurichten ist, und Daten, die Beschränkungen der physikalischen Umgebung kennzeichnen, umfassen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Sensorrandbedingungsdaten Daten, die Parameter eines Sensortyps kennzeichnen, und Daten, die Parameter eines Sensorknotens (102) kennzeichnen, umfassen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Anwendungsbereichsdaten Daten umfassen, die einen Anwendungsbereich kennzeichnen, in dem das Sensornetz (104) einzurichten ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die logische Darstellung der Anforderungsspezifikation eine oder mehrere logische Aussagen aufweist, wobei jede logische Aussage durch eine Vielzahl von Variablen gebildet ist, die durch logische Operatoren einander zugeordnet sind.

10. Computerprogrammprodukt, das zugänglich in einen Informationsträger aufgenommen ist, wobei das Computerprogrammprodukt in der Lage ist, eine Maschine zu folgendem zu veranlassen:

Empfangen von Randbedingungen kennzeichnenden Daten, die auf ein Sensornetz (104) anwendbar sind, das durch eine Ansammlung von Netzknoten (102) gebildet ist, wobei die Randbedingungen kennzeichnenden Daten physikalische Umgebungsdaten, Sensorrandbedingungsdaten, die physikalische, funktionelle und/oder operationelle Randbedingungen in Bezug auf die Sensorknoten identifizieren, und Anwendungsbereichsdaten, die Regeln beschreiben, welche es ermöglichen, dass das Sensornetz für einen spezifischen Anwendungsbereich ausgelegt wird, aufweisen, Empfangen einer logischen Darstellung einer Anforderungsspezifikation für das Sensornetz (104), wobei die Anforderungsspezifikation eine Aufgabenliste darstellt, welche benötigte Ergebnisgrößen des Sensornetzes (104) spezifiziert, wenn es eingerichtet wird, Verarbeiten der Randbedingungen kennzeichnenden Daten und der logischen Darstellung der Anforderungsspezifikation, um über einen automatisierten Prozess eine modulare Darstellung des Sensornetzes (104), die modulare Darstellung, die die Sensorknotenplatzierung definiert, und die Sensorverteilung innerhalb des Sensornetzes (104) zu erzeugen, gekennzeichnet durch

automatisches Erzeugen von Elementen ausführbaren Codes entsprechend der modularen Darstellung des Sensornetzes (104), wobei jedes Element des ausführbaren Codes einem bestimmten Sensorknoten in dem Sensornetz zugeordnet wird und für die Ausführung an diesem Sensorknoten (102) geeignet ist.

11. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 10, das ferner in der Lage ist, eine Maschine zu folgendem zu veranlassen:
Senden jedes Codeelements zu dem entsprechenden Sensorknoten (102).

12. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 10 oder 11, das ferner in der Lage ist, eine Maschine zu folgendem zu veranlassen:
Einrichten von Sensorknoten (102) in einer physikalischen Umgebung, welche durch die physikalischen Umgebungsdaten gekennzeichnet ist, wobei jeder Sensorknoten (102) eine Sensorknotenplatzierung und einen oder mehrere Sensoren (130) aufweist, wie durch die modulare Darstellung des Sensornetzes (104) definiert ist.

13. Computerprogrammprodukt nach einem der Ansprüche 10 bis 12, das ferner in der Lage ist, eine Maschine zu folgendem zu veranlassen:
Empfangen einer Benutzereingabe, die einen oder mehrere Sensornetzfaktoren (210) spezifiziert, und Erzeugen der modularen Darstellung des Sensornetzes (104) unter Verwendung der benutzerspezifizierten Sensornetzfaktoren (210).

14. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13, das ferner in der Lage ist, eine Maschine zu folgendem zu veranlassen:
Optimieren der modularen Darstellung des Sensornetzes (104) entsprechend den benutzerspezifizierten Sensornetzfaktoren (210).

15. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13 oder 14, welches ferner in der Lage ist, eine Maschine zu folgendem zu veranlassen:
Bereitstellen einer graphischen Benutzerschnittstelle, durch die eine Benutzereingabe empfangen wird.

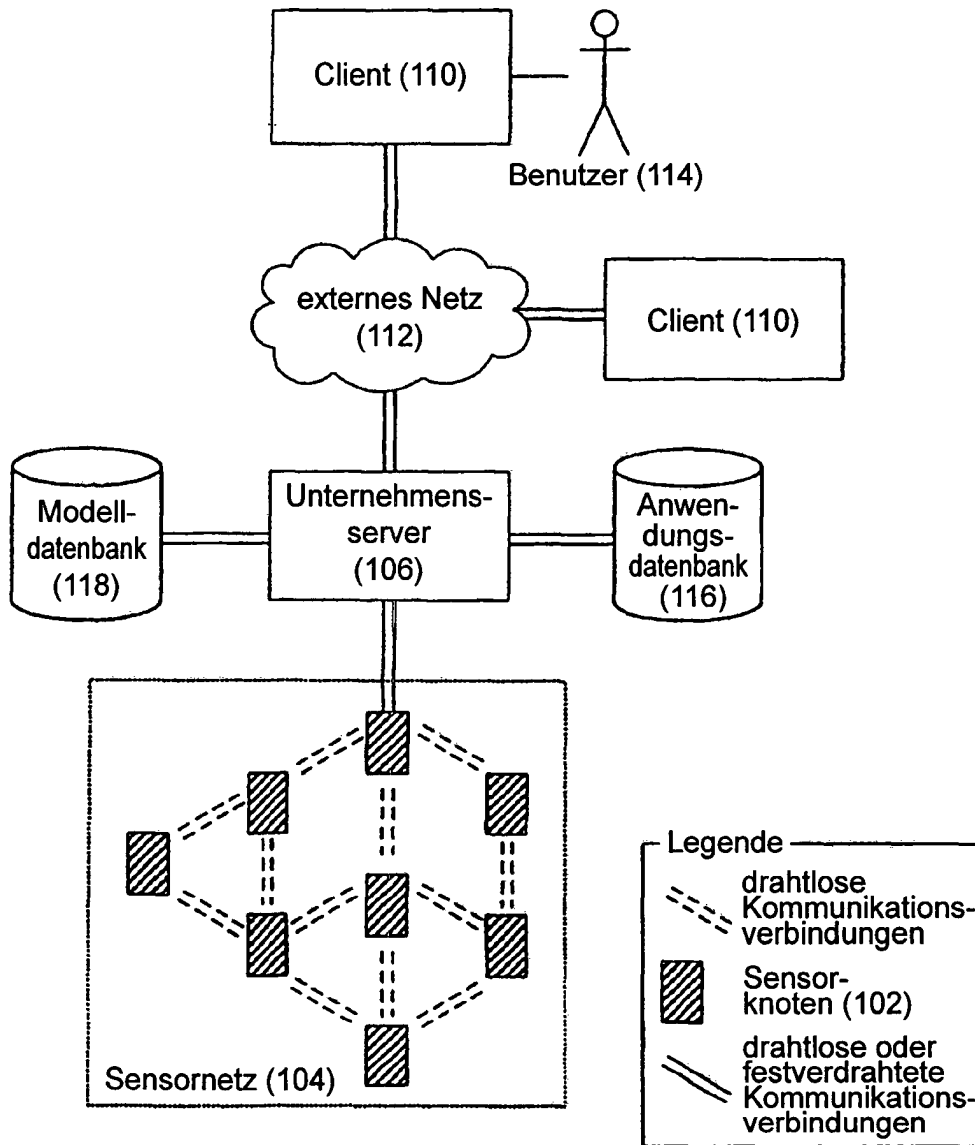
16. System, welches aufweist:
einen Speicher, in dem (1) eine Vielzahl von Modellen gespeichert ist, wobei die Vielzahl von Modellen mindestens ein physikalisches Umgebungsmodell (204), mindestens ein Sensorrandbedingungsmodell (206) und mindestens ein domänenspezifisches Modell (208) umfasst, und in dem (2) eine logische Darstellung einer Anforderungsspezifikation für ein Sensornetz (104) gespeichert ist, und
einen Prozessor zum Ausführen eines Programms, das konfiguriert ist, um folgendes zu bewirken:
Abrufen eines physikalischen Umgebungsmodells (204), eines Sensorrandbedingungsmodells (206),

das physikalische, funktionelle und/oder operationelle Randbedingungen in Bezug auf die Sensorknoten identifiziert, eines domänenspezifischen Modells (208), das Regeln beschreibt, welche es ermöglichen, dass das Sensornetz (104) für einen spezifischen Anwendungsbereich ausgelegt wird, und der logischen Darstellung der Anforderungsspezifikation, wobei die Anforderungsspezifikation eine Aufgabenliste darstellt, die erforderliche Ergebnisgrößen des Sensornetzes (104) spezifiziert, wenn es aus dem Speicher eingerichtet wird,
Verarbeiten der Modelle und der logischen Darstellung der Anforderungsspezifikation, um über einen automatisierten Prozess eine modulare Darstellung des Sensornetzes (104), die modulare Darstellung, die die Sensorknotenplatzierung definiert, und die Sensorverteilung innerhalb des Sensornetzes (104) zu erzeugen,
gekennzeichnet durch
automatisches Erzeugen von Elementen ausführbaren Codes entsprechend der modularen Darstellung des Sensornetzes (104), wobei jedes Element des ausführbaren Codes einem bestimmten Sensorknoten in dem Sensornetz zugeordnet ist und für die Ausführung an diesem Sensorknoten (102) geeignet ist, und
Senden jedes Codeelements zu einem entsprechenden Sensorknoten (102).

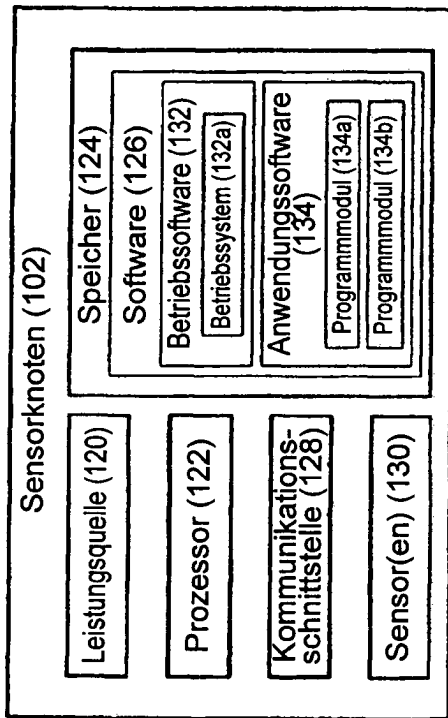
17. System nach Anspruch 16, wobei das Programm weiter konfiguriert ist, um:
Benutzereingaben zu empfangen, die einen oder mehrere Sensornetzfaktoren (210) spezifizieren, und die modulare Darstellung des Sensornetzes (104) unter Verwendung der benutzerspezifizierten Sensornetzfaktoren (210) zu erzeugen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

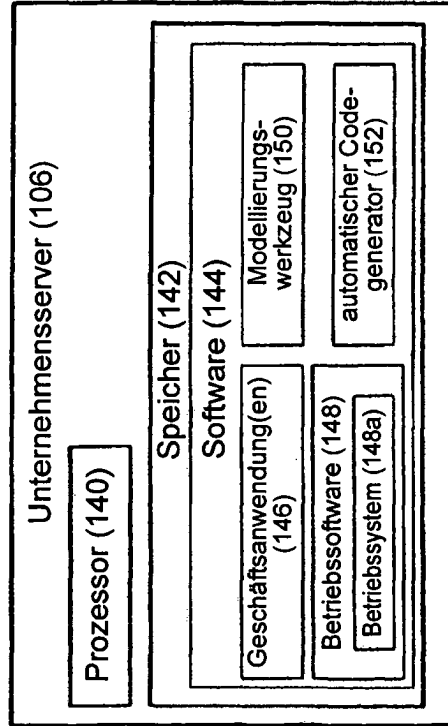
Anhängende Zeichnungen



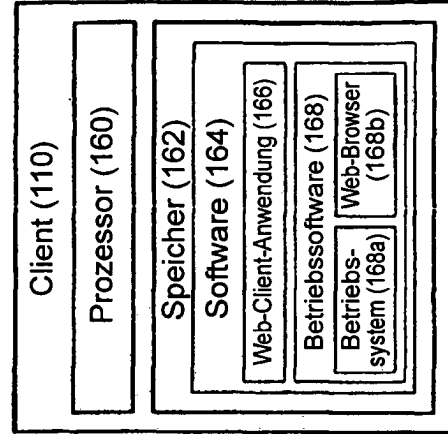
Figur 1a



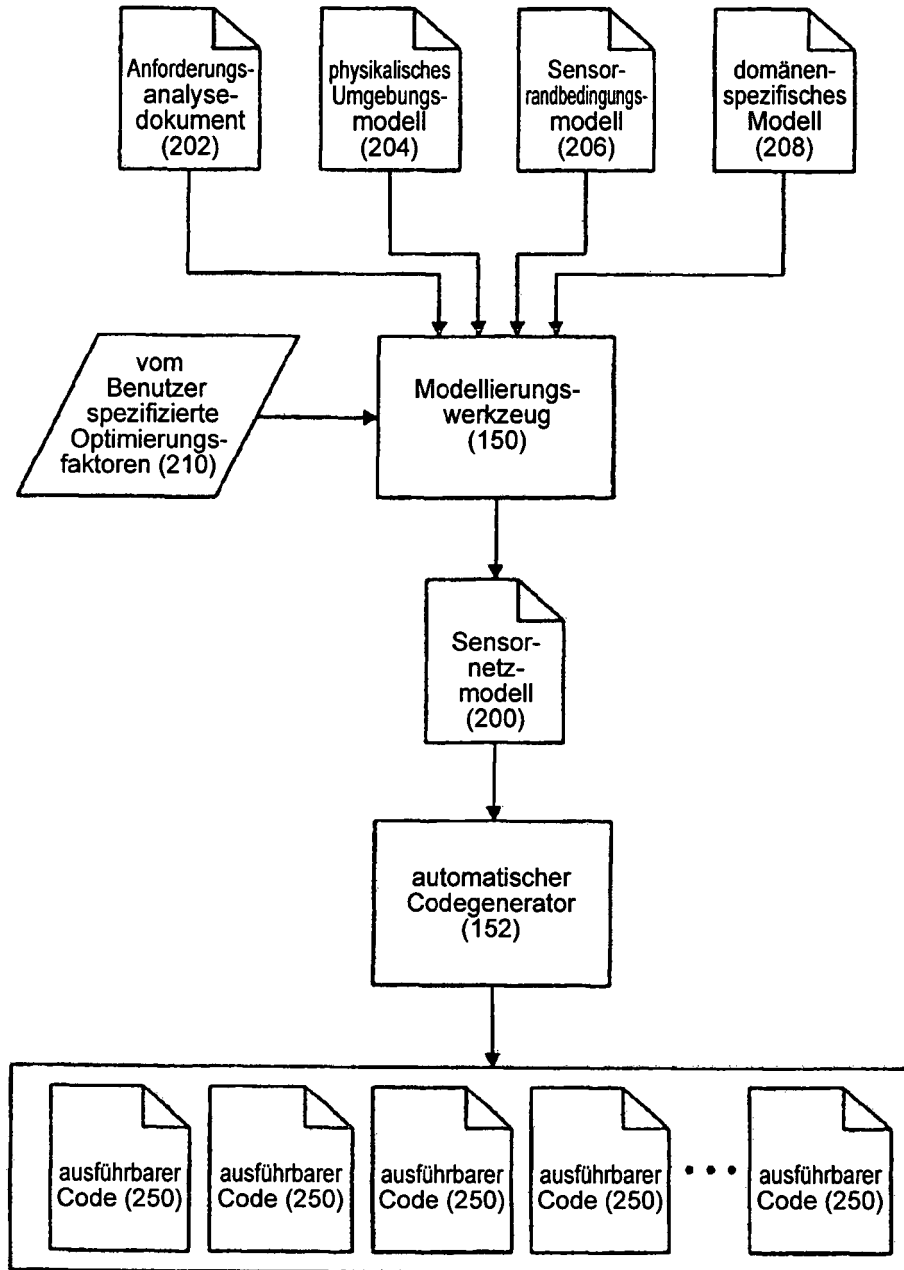
Figur 1b



Figur 1c



Figur 1d



Figur 2