



(10) **DE 10 2022 100 282 A1** 2022.07.14

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 100 282.9**

(22) Anmeldetag: **07.01.2022**

(43) Offenlegungstag: **14.07.2022**

(51) Int Cl.: **H04L 43/10 (2022.01)**

(30) Unionspriorität:
17/148,959 14.01.2021 US

(71) Anmelder:
FISHER-ROSEMOUNT SYSTEMS, INC., Round Rock, TX, US

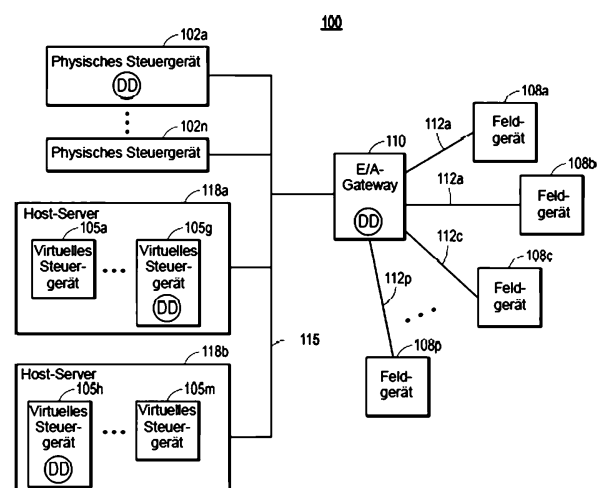
(74) Vertreter:
Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80538 München, DE

(72) Erfinder:
Amaro, Anthony jr., Cedar Park, TX, US; Nixon, Mark J., Round Rock, TX, US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **ERFASSEN VON VERSCHLECHTERUNG VON KOMPONENTEN IN INDUSTRIELLEN PROZESSANLAGEN BASIEREND AUF DER REAKTIONSFÄHIGKEIT VON SCHLEIFENKOMPONENTEN**

(57) Zusammenfassung: Eine erste Komponente eines Prozessregelkreises (z. B. eine Steuerung oder ein E/A-Gateway) überwacht und erfasst eine Leistungsver schlechterung einer zweiten Komponente der Schleife, indem sie Heartbeat-Nachrichten an die zweite Komponente über einen Diagnosekanal sendet, der sich von einem Steuerungskommunikationskanal unterscheidet, über den die erste und die zweite Komponente Steuerungsnachrichten zum Steuern eines industriellen Prozesses kommunizieren. Die zweite Komponente verwendet ihren Steuerungsnachrichteninterpret, um empfangene Heartbeat-Nachrichten über den Diagnosekanal an die erste Komponente zurückzugeben. Die erste Komponente erfasst eine Verschlechterung der zweiten Komponente, wenn die Umlaufzeit (RTT) einer Heartbeat-Nachricht außerhalb eines akzeptablen Bereichs von RTTs für die zweite Komponente liegt, und sie kann Abschwächungsmaßnahmen vorschlagen oder automatisch einleiten. Die erste Komponente kann die durchschnittliche RTT oder die erwartete Antwortzeit der zweiten Komponente und einen akzeptablen Variationsbereich basierend auf einer Stichprobenanzahl gemessener RTTs bestimmen.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Anmeldung betrifft allgemein industrielle Prozesssteuerungssysteme von industriellen Prozessanlagen und insbesondere industrielle Prozesssteuerungssysteme, die zum Erfassen von Verschlechterungen von Regelkreiskomponenten in der Lage sind.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Dezentrale industrielle Prozesssteuerungssysteme, wie diejenigen, die in Chemie-, Erdöl-, Industrie- oder sonstigen Prozessanlagen zur Herstellung, Veredelung, Umformung, Erzeugung oder Produktion von physischen Materialien oder Produkten verwendet werden, beinhalten üblicherweise eine oder mehrere Prozesssteuerungen, die über physikalische Schichten, die analoge, digitale oder kombinierte Analog-/Digital-Busse sein können oder die eine oder mehrere drahtlose Kommunikationsverbindungen oder -netzwerke beinhalten können, mit einem oder mehreren Feldgeräten gekoppelt sind. Die Feldgeräte, bei denen es sich zum Beispiel um Ventile, Ventilstellungsregler, Schalter und Geber (z. B. Temperatur-, Druck-, Füllstands- und Durchflusssensoren) handeln kann, sind innerhalb der Prozessumgebung der industriellen Prozessanlage (die hier austauschbar als „Feldumgebung“ oder „Anlagenumgebung“ der industriellen Prozessanlage bezeichnet wird) angeordnet und führen üblicherweise physische Prozesssteuerungsfunktionen durch, wie beispielsweise das Öffnen oder Schließen von Ventilen, das Messen von Prozess- und/oder Umweltparametern, wie beispielsweise Durchfluss, Temperatur oder Druck usw., zur Steuerung eines oder mehrerer Prozesse innerhalb der Prozessanlage oder des Systems. Intelligente Feldgeräte, wie beispielsweise die Feldgeräte, die dem bekannten FOUNDATION®-Feldbus-Protokoll entsprechen, können auch Kontrollberechnungen, Alarmierungsfunktionen und andere Steuerungsfunktionen durchführen, die üblicherweise in einer Prozesssteuerung implementiert sind.

[0003] Die Prozesssteuerungen, die sich ebenfalls physisch in der Anlagenumgebung befinden können oder nicht, empfangen Signale, die für die durch die Feldgeräte durchgeführten Prozessmessungen und/oder andere die Feldgeräte betreffenden Informationen kennzeichnend sind, und führen eine Steueroutine, Anwendung oder Logik aus, in der zum Beispiel verschiedene Steuermodule laufen, die verschiedene Steuerungsalgorithmen verwenden, Entscheidungen zur Prozesssteuerung treffen, auf der Grundlage der empfangenen Informationen Prozesssteuersignale generieren und sich mit den Steuermodulen oder Blöcken koordinieren, die in

den Feldgeräten durchgeführt werden, wie beispielsweise HART®, WirelessHART®- und FOUNDATION®-Feldbus-Feldgeräten. Zum Durchführen dieser Kommunikation senden die Steuerungsmodule in der Prozesssteuerung die Steuersignale an verschiedene unterschiedliche Eingabe-/Ausgabegeräte (E/A-Geräte), die sodann diese Steuersignale über spezialisierte Kommunikationsleitungen oder -verbindungen (physikalische Kommunikationsschichten) zu den eigentlichen Feldgeräten senden, um dadurch den Betrieb mindestens eines Abschnitts der Prozessanlage oder des Systems zu steuern, um z. B. mindestens einen Abschnitt eines oder mehrerer industrieller Prozesse, die innerhalb der Anlage oder des Systems laufen oder ausgeführt werden, zu steuern. Somit bezieht sich ein Prozessregelkreis auf eine Prozesssteuerung, ein oder mehrere E/A-Geräte und ein oder mehrere Feldgeräte, die durch die Prozesssteuerung über Signale und/oder Daten gesteuert werden, die an die und von den Feldgeräten über die E/A-Geräte übermittelt werden. Der Begriff „Prozessregelkreis“, wie hier verwendet, wird austauschbar als „Regelkreis“ oder „Schleife“ bezeichnet und der Begriff „Prozesssteuerung“, wie hier verwendet, wird austauschbar als „Steuerung“ oder „Steuergerät“ bezeichnet. Prozesssteuerungen oder Steuergeräte können physische Geräte oder virtuelle Geräte sein. Zum Beispiel können ein oder mehrere logische oder virtuelle Prozesssteuerungen zugewiesen werden, um auf einem physischen Host-Server oder einer Rechenplattform ausgeführt oder betrieben zu werden. Ein Prozesssteuerungssystem kann sowohl physische als auch virtuelle Prozesssteuerungen einschließen.

[0004] Die E/A-Geräte, die ebenfalls üblicherweise innerhalb der Anlagenumgebung untergebracht sind, sind im Allgemeinen zwischen einer Prozesssteuerung und einem oder mehreren Feldgeräten angeordnet und ermöglichen dort die Kommunikation untereinander, z. B. durch Umwandeln elektrischer Signale in digitale Werte und umgekehrt. Zur Unterstützung von Feldgeräten, die unterschiedliche spezialisierte Kommunikationsprotokolle verwenden, werden unterschiedliche E/A-Geräte bereitgestellt. Insbesondere ist in einigen Konfigurationen ein anderes physisches E/A-Gerät zwischen einer Prozesssteuerung und den einzelnen Feldgeräten bereitgestellt, das jeweils ein anderes Kommunikationsprotokoll verwendet, so dass ein erstes E/A-Gerät zur Unterstützung von HART-Feldgeräten verwendet wird, ein zweites E/A-Gerät zur Unterstützung von Feldbus-Feldgeräten verwendet wird, ein drittes E/A-Gerät zur Unterstützung von Profibus-Feldgeräten verwendet wird usw.

[0005] In einigen Konfigurationen kann ein E/A-Gateway zwischen mehreren Prozesssteuerungen und deren entsprechenden Feldgeräten angeordnet sein, anstatt einzelne physische E/A-Geräte zu ver-

wenden, um Daten zwischen Prozesssteuerungen und deren jeweiligen Feldgeräten zu übermitteln, wobei das E/A-Gateway E/A-Daten zwischen den einzelnen Prozesssteuerungen und deren entsprechenden Feldgeräten umschaltet oder weiterleitet. Somit kann in diesen Konfigurationen ein Regelkreis eine Prozesssteuerung oder ein Steuergerät, das E/A-Gateway und ein oder mehrere Feldgeräte einschließen. Das E/A-Gateway kann sich mit den Feldgeräten über verschiedene physische Anschlüsse und Verbindungen, die die jeweiligen von den Feldgeräten verwendeten industriellen Kommunikationsprotokolle unterstützen (z. B. HART, Feldbus, Profibus usw.), kommunikativ verbinden, und das E/A-Gateway kann sich mit den Prozesssteuerungen über ein oder mehrere Kommunikationsnetzwerke oder Datenautobahnen (die z. B. drahtgebundenes und/oder drahtloses Ethernet, das Internetprotokoll (oder IP) und/oder andere Arten von Paketprotokollen usw. unterstützen) kommunikativ verbinden. Das E/A-Gateway kann mindestens teilweise auf einer oder mehreren Rechenplattformen implementiert sein und es kann dazu konfiguriert sein, E/A-Daten zwischen den mehreren Prozesssteuerungen und ihren jeweiligen Feldgeräten zu übermitteln, weiterzuleiten oder umzuschalten, um dadurch E/A-Datenübermittlung zur Prozesssteuerung durchzuführen. Das heißt, das E/A-Gateway kann es Steuergeräten ermöglichen, die Kontrolle über ein oder mehrere entsprechende Feldgeräte auszuüben, indem die durch das E/A-Gateway bereitgestellten Netzwerkfunktionalitäten verwendet werden. Zum Beispiel können innerhalb des E/A-Gateways verschiedene E/A-Datenübermittlungsfunktionen, -routinen und/oder -mechanismen auf einem oder mehreren Servern gehostet und dazu verwendet werden, E/A-Daten zwischen Anschlüssen, die die Steuergeräte kommunikativ mit dem E/A-Gateway verbinden, und Anschlüssen, die die Feldgeräte kommunikativ mit dem E/A-Gateway verbinden, umzuschalten.

[0006] Wie hierin verwendet, werden Feldgeräte, Steuerungen und E/A-Geräte allgemein als „Prozesssteuergeräte“ bezeichnet. Feldgeräte und E/A-Geräte sind im Allgemeinen in einer Feldumgebung einer Prozessanlage untergebracht, angeordnet oder installiert. Steuergeräte oder Steuerungen können in der Feldumgebung und/oder in einer Back-End-Umgebung einer Prozessanlage untergebracht, angeordnet oder installiert sein. Ein E/A-Gateway ist mindestens teilweise in der Feldumgebung installiert und kann mindestens teilweise in der Back-End-Umgebung der Prozessanlage installiert sein.

[0007] Informationen von den Feldgeräten und der Prozesssteuerung werden normalerweise von den Prozesssteuerungen über die Datenautobahn(en) oder das/die Kommunikationsnetzwerk(e) einem oder mehreren anderen Hardwaregeräten zur Verfü-

gung gestellt, wie z. B. Bedienerarbeitsplätzen, Personalcomputern oder Rechengernäten, Datenhistorikern, Berichtsgeneratoren, zentralisierten Datenbanken oder anderen zentralisierten administrativen Rechengernäten, die in der Regel in Leitstellen oder an anderen Orten außerhalb der rauen Anlagenumgebung, z. B. in der Back-End-Umgebung der Prozessanlage, platziert werden. Jedes dieser Hardwaregeräte ist in der Regel über die gesamte Prozessanlage oder einen Abschnitt der Prozessanlage hinweg zentralisiert. Diese Hardwaregeräte führen Anwendungen aus, die es zum Beispiel einem Bediener ermöglichen können, Funktionen in Bezug auf die Steuerung eines Prozesses und/oder den Betrieb der Prozessanlage durchzuführen, wie z. B. Ändern von Einstellungen der Prozesssteuerroutine, Modifizieren des Betriebs der Steuerungsmodule innerhalb der Steuerungen oder der Feldgeräte, Visualisieren des aktuellen Prozessstatus, Visualisieren von Alarmen, die von Feldgeräten und Steuerungen generiert werden, Simulieren des Betriebs des Prozesses zum Zweck der Personal Schulung oder des Testens der Prozesssteuerungssoftware, Pflegen und Aktualisieren einer Konfigurationsdatenbank usw. Die durch die Hardwaregeräte und Prozesssteuerungen verwendete Datenautobahn kann einen drahtgebundenen Kommunikationsweg, einen drahtlosen Kommunikationsweg oder eine Kombination aus drahtgebundenen und drahtlosen Kommunikationswegen beinhalten und verwendet in der Regel ein paketbasiertes Kommunikationsprotokoll, wie z. B. ein Ethernet- oder IP-Protokoll.

[0008] Das von Emerson Process Management verkaufte Delta V™-Steuerungssystem beispielsweise beinhaltet mehrere Anwendungen, die in verschiedenen Geräten gespeichert sind und von verschiedenen Geräten an verschiedenen Stellen innerhalb einer Prozessanlage ausgeführt werden. Eine Konfigurationsanwendung, die an einem oder mehreren Arbeitsplätzen oder Rechengernäten hinterlegt ist, ermöglicht Benutzern das Erstellen oder Ändern von Prozesssteuermodulen und das Herunterladen dieser Prozesssteuermodule über eine Datenautobahn auf dedizierte dezentrale Steuerungen. Üblicherweise bestehen diese Steuermodule aus kommunikativ miteinander verbundenen Funktionsblöcken, die Objekte in einem objektorientierten Programmierprotokoll sein können, das Funktionen innerhalb des Steuerschemas auf der Basis von in dieses erfolgten Eingängen durchführt und die Ausgänge zu anderen Funktionsblöcken innerhalb des Steuerungsschemas bereitstellt. Die Konfigurationsanwendung kann es einem Konfigurationsingenieur auch ermöglichen, Bedienoberflächen zu erstellen oder zu ändern, die von einer Visualisierungsanwendung verwendet werden, um einem Bediener Daten anzuzeigen und es dem Bediener zu ermöglichen, Einstellungen, wie beispielsweise Sollwerte, innerhalb der Prozesssteuerroutinen zu

ändern. Jede dedizierte Steuerung und in einigen Fällen ein oder mehrere Feldgeräte speichern eine entsprechende Steuerungsanwendung und führen sie aus, die die ihr zugewiesenen und heruntergeladenen (oder durch die Steuerung anderweitig enthaltenen) Steuermodule ausführt, um die eigentliche Prozesssteuerungsfunktionalität zu implementieren. Die Visualisierungsanwendungen, die auf einer oder mehreren Bedienerarbeitsstationen (oder auf einem oder mehreren Remote-Rechengeräten in kommunikativer Verbindung mit den Bedienerarbeitsstationen und der Datenautobahn) ausgeführt werden können, empfangen Daten von der Steuerungsanwendung über die Datenautobahn und zeigen diese Daten den Prozesssteuerungssystementwicklern, Bedienern oder Benutzern an, die die Benutzerschnittstellen verwenden, und sie können eine Reihe von verschiedenen Ansichten wie etwa eine Bedieneransicht, eine Ingenieursansicht, eine Technikeransicht usw. bereitstellen. Eine Datenhistorikeranwendung wird normalerweise in einem Datenhistorikergerät gespeichert und ausgeführt, das einige oder alle über die Datenautobahn bereitgestellten Daten sammelt und speichert, während eine Konfigurationsdatenbankanwendung in noch einem weiteren, an die Datenautobahn angeschlossenen Computer laufen kann, um die aktuelle Konfiguration der Prozesssteueroutine und die ihr zugeordneten Daten zu speichern. Alternativ kann sich die Konfigurationsdatenbank auf der gleichen Arbeitsstation wie die Konfigurationsanwendung befinden.

[0009] Prozesssteuergeräte und Prozessregelkreise erfordern hohen Planungs- und Konfigurationaufwand, um die Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Geräte sowie die Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Gesamtanlage zu gewährleisten. Eine derartige Planung und Konfiguration enthält berücksichtigt das Ansprechverhalten oder die Reaktionsfähigkeit von Prozesssteuerungen oder Steuergeräten. Betrachten wir ein Beispiel für eine Prozessanlage, die eine flüchtige Chemikalie (z. B. Rohöl oder Benzin) auf eine bestimmte Temperatur erwärmt. Ein Steuergerät (z. B. eine Prozesssteuerung, eine Sicherheitssystemsteuerung usw.) kann dazu konfiguriert sein, die Temperatur mit einer Rate von einmal pro 50 Millisekunden zu überwachen, um sicherzustellen, dass das Erwärmen des Benzins nicht eine Selbstentzündungstemperatur erreicht. Wenn das Steuergerät zu irgendeinem Zeitpunkt erfasst, dass die Selbstentzündungstemperatur erreicht ist, muss das Steuergerät sehr schnell (z. B. innerhalb von 50 Millisekunden) reagieren, um die Intensität des Heizelements zu verringern (oder es abzuschalten), um zu verhindern, dass das Benzin explodiert, während es versucht, das Erwärmen des Benzins auf einer sicheren Temperatur zu halten. Das durch das Steuergerät gesteuerte Heizelement ist ein Beispiel für ein „Stellelement“. Ein Stellele-

ment ist in der Regel ein Gerät oder eine Komponente, die ihr Verhalten als Reaktion auf einen Steuerbefehl oder eine Anweisung ändert, um dadurch einen Wert einer Regelgröße in Richtung eines gewünschten Sollwerts zu bewegen und dadurch mindestens einen Abschnitt eines industriellen Prozesses zu steuern. Ein Stellelement kann zum Beispiel ein Feldgerät sein, das über ein E/A-Gerät oder E/A-Gateway mit dem Steuergerät kommunikativ verbunden ist.

[0010] Die Fähigkeit eines Steuergeräts, innerhalb der erforderlichen Parameter zu reagieren, kann während seiner erstmaligen Installation überprüft werden. Im Lauf der Zeit kann das Steuergerät jedoch eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens oder der Reaktionsfähigkeit erfahren, zum Beispiel aufgrund von Softwaredesign, Mangel an Rechenressourcen, Hardwareveralterung und/oder -schädigung, Kommunikationsunterbrechungen (z. B. unterhalb der Nachweisbarkeitsschwelle durch diagnostische Verfahren), Umgebungsbedingungen und dergleichen. Andere Komponenten eines Regelkreises können in ähnlicher Weise eine Verschlechterung erleiden. Die Folgen derartiger Verschlechterungen von Regelkreiskomponenten können fatal sein. Wenn zum Beispiel in dem vorstehend erörterten Beispiel der Benzinerwärmung eine Verschlechterung der Reaktionsfähigkeit des Steuergeräts eintritt und/oder das E/A-Gateway überlastet ist, kann es vorkommen, dass der Regelkreis, der das Steuergerät, das E/A-Gateway und das Heizelement einschließt, das Heizelement nicht innerhalb der erforderlichen Zeitspanne (z. B. innerhalb von 50 Millisekunden) abschaltet, und das Heizelement würde das Benzin weiter erwärmen, bis die Temperaturschwelle für die Selbstentzündung überschritten ist.

[0011] In computergestützten Prozesssteuerungssystemen (z. B. Prozesssteuerungssystemen, in denen mindestens einige Steuergeräte, E/A-Geräte oder -Gateways und/oder andere Regelkreiskomponenten auf einer oder mehreren Rechenplattformen implementiert sind und gemeinsam Ressourcen nutzen, die durch die eine oder die mehreren Rechenplattformen bereitgestellt werden) kann eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens der Steuergeräte, E/A-Geräte oder Gateways und/oder anderer Regelkreiskomponenten insbesondere durch einen Mangel an oder die Auslastung von Hardware- und/oder Softwarerechenressourcen der unterstützenden Plattform(en) beeinflusst werden. Zum Beispiel können ein Mangel an Ressourcen der CPU (Central Processing Unit, Zentraleinheit), Mangel an Speicher, Mangel an persistentem Speicherplatz, Konkurrenz um Netzwerkressourcen, Konkurrenz um Logikressourcen und/oder Knappheit anderer Rechenressourcen auf verschiedenen Rechenplattformen die Leistung des Regelkreises

und/oder verschiedener Komponenten des Regelkreises verschlechtern.

[0012] Zum Beispiel kann ein virtualisiertes oder containerisiertes Steuergerät zugewiesen werden, um auf einem Host-Server oder einer Rechenplattform zusammen mit anderen virtualisierten/containerisierten Steuergeräten zu laufen oder ausgeführt zu werden. Wenn zu viele virtualisierte Steuergeräte auf einem einzigen Host laufen, müssen die gehosteten virtualisierten Steuergeräte um die durch den Host bereitgestellten CPU-, Speicher- und Festplattenressourcen konkurrieren. Selbst in Situationen, in denen die Gesamtverfügbarkeit der Host-CPU ausreichend zu sein scheint (z. B. 30 % Verfügbarkeit), kann die Konkurrenz zwischen den virtualisierten Steuergeräten um andere Arten von Host-Ressourcen (zum Beispiel Planung von Steuergeräteinstanzen, Algorithmuslogik des Steuergeräts usw.) zu einer Verschlechterung der Steuerleistung eines oder mehrerer der virtualisierten Steuergeräte führen. Ferner können in Konfigurationen, in denen die virtualisierten Steuergeräte unter Verwendung virtueller Maschinen implementiert sind, Probleme wie Belastung des Hypervisors und/oder die CPU-Auslastung auch das Ansprechverhalten der virtuellen Steuergeräte beeinflussen.

[0013] Da ein E/A-Gateway zwischen einem Steuergerät und einem entsprechenden Stellelement angeordnet sein kann, kann in ähnlicher Weise die Reaktionsfähigkeit des Regelkreises durch Belastung des E/A-Gateways und/oder die Konkurrenz um Netzwerkressourcen (z. B. Software- und/oder Hardwarenetzwerkressourcen), die durch das E/A-Gateway für die E/A-Datenübermittlung bereitgestellt werden, beeinflusst werden. Zum Beispiel können Belastung des E/A-Gateways und/oder Ressourcenkonflikte (z. B. Planung, E/A-Datenübermittlungslogik, Rechenressourcen usw.) zu erhöhter Latenz und/oder erhöhtem Jitter des Regelkreises führen. Darüber hinaus können Belastung des E/A-Gateways und/oder Ressourcenkonflikte nicht nur die Regelkreisleistung negativ beeinflussen, sondern auch die Gesamtsystemleistung negativ beeinflussen. Zum Beispiel kann eine durch das E/A-Gateway eingeführte erhöhte Latenz eine Verschlechterung des Gesamtbetriebs des Prozesssteuerungssystems bewirken, und durch das E/A-Gateway eingeführter erhöhter Jitter kann die Leistung der Gesamtsteuerungsstrategie verschlechtern.

[0014] Da bekannte Diagnoseverfahren in der Regel so konfiguriert sind, dass sie mit einer viel geringeren Geschwindigkeit als die Prozesssteuerung durchgeführt werden, und da Diagnoseverfahren für bestimmte Situationen konfiguriert werden müssen, können einige Arten von Leistungsverschlechterung von Regelkreiskomponenten für einige Zeit unerkannt bleiben. Tatsächlich werden einige Arten von

Verschlechterungen von Regelkreiskomponenten unter Umständen erst erfasst, nachdem das Steuerungssystem oder die Prozessanlage von einem katastrophalen Ereignis betroffen ist und/oder eine Geschäftsanforderung nicht erfüllen kann. Dementsprechend können Benutzer des Steuerungssystems aufgrund der verzögerten und/oder unerkannten Leistungsverschlechterung von Regelkreiskomponenten einen Verlust an Produktivität, Gewinn, Ausrüstung, Kapital und/oder sogar Menschenleben erfahren.

KURZDARSTELLUNG

[0015] Es werden Techniken, Systeme und/oder Verfahren zum Erfassen einer Verschlechterung von Komponenten industrieller Prozessanlagen basierend auf der Reaktionsfähigkeit der Schleifenkomponenten offenbart. Im Allgemeinen kann die Reaktionsfähigkeit von Schleifenkomponenten (z. B. von Prozesssteuerungen, Sicherheitssystemsteuerungen, E/A-Gateways, E/A-Geräten usw.) auf Verschlechterung überwacht werden, da die Schleifenkomponenten während der Laufzeit arbeiten, um mindestens einen Teil eines industriellen Prozesses zu steuern. Folglich kann eine Verschlechterung einer Schleifenkomponente erfasst werden, wenn die Verschlechterung einsetzt, statt nach einem harten Ausfall einer Komponente oder bei Eintritt eines katastrophalen Ereignisses. Die hierin offenbarten Techniken, Systeme und Verfahren können Bedienungspersonal warnen, wenn Verschlechterungen von Schleifenkomponenten erfasst werden. In einigen Ausführungsformen stellen die Techniken, Systeme und Verfahren eine automatische Abschwächung der Verschlechterung bereit, so dass die Auswirkung der erfassten Verschlechterung auf die Systemleistung und -sicherheit automatisch eingegrenzt, minimiert oder sogar eliminiert werden kann.

[0016] In einer Ausführungsform umfasst ein System zum Erfassen einer Verschlechterung von Komponenten in einer industriellen Prozessanlage eine erste Komponente und eine zweite Komponente eines Prozesssteuerungssystems der industriellen Prozessanlage, wobei die erste Komponente und die zweite Komponente über einen Diagnosekanal und über einen Kommunikationskanal kommunikativ verbunden sind. Die erste Komponente und die zweite Komponente können in einen Prozessregelkreis enthalten sein. Zum Beispiel kann die erste Komponente ein E/A-Gateway oder eine in mehreren Prozesssteuerungen enthaltene Prozesssteuerung sein, die über jeweilige Kommunikationskanäle mit dem E/A-Gateway kommunikativ verbunden ist, und die zweite Komponente kann das andere vom E/A-Gateway oder der Prozesssteuerung sein. Das E/A-Gateway verbindet die mehreren Prozesssteuerungen kommunikativ mit einem oder mehreren Feldge-

räten, um dadurch einen industriellen Prozess in einer Prozessanlage zu steuern, und

[0017] die erste Komponente des Systems ist dazu konfiguriert, über den Diagnosekanal mehrere Heartbeat-Nachrichten sequenziell an die zweite Komponente zu übertragen und über den Diagnosekanal mindestens eine Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten zu empfangen, die durch die zweite Komponente bei entsprechendem Empfang an der zweiten Komponente an die erste Komponente zurückgegeben werden. Die erste Komponente des Systems ist ferner dazu konfiguriert, eine durchschnittliche Antwortzeit der zweiten Komponente basierend auf jeweiligen Umlaufzeiten (Round Trip Times, RTTs) mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten zu bestimmen, wobei die jeweiligen RTTs basierend auf jeweiligen Zeiten von Senden und Empfangen von mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten an der ersten Komponente bestimmt werden. Die erste Komponente ist ferner dazu konfiguriert, eine Verschlechterung der zweiten Komponente zu erfassen, wenn eine RTT einer nachfolgenden Heartbeat-Nachricht, die durch die erste Komponente über den Diagnosekanal an die zweite Komponente übertragen wird, einen Schwellenwert überschreitet, der der durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente entspricht. In einigen Konfigurationen ist die erste Komponente zusätzlich oder alternativ dazu konfiguriert, eine Verschlechterung der zweiten Komponente zu erfassen, wenn die RTT einer nachfolgenden Heartbeat-Nachricht, die durch die erste Komponente an die zweite Komponente über den Diagnosekanal übertragen wird, einen Schwellenwert überschreitet, der einer Periodizität einer Modul-Scheduler-Ausführung an der zweiten Komponente entspricht.

[0018] In einer Ausführungsform schließt ein Verfahren zum Erfassen einer Verschlechterung von Komponenten in einem Prozesssteuerungssystem das sequenzielle Übertragen von mehreren Heartbeat-Nachrichten von einer ersten Komponente des Prozesssteuerungssystems an eine zweite Komponente des Prozesssteuerungssystems über einen Diagnosekanal ein. Die erste Komponente und die zweite Komponente sind über den Diagnosekanal und einen Kommunikationskanal kommunikativ verbunden, und die erste Komponente und die zweite Komponente können in einem gleichen Prozessregelkreis enthalten sein. Zum Beispiel ist die erste Komponente ein E/A-Gateway oder eine Prozesssteuerung, die in mehreren Prozesssteuerungen enthalten ist, die über jeweilige Kommunikationskanäle mit dem E/A-Gateway kommunikativ verbunden sind, und die zweite Komponente ist die andere vom E/A-Gateway oder der Prozesssteuerung. Das E/A-Gateway verbindet die mehreren Prozesssteuerungen kommunikativ mit einem oder mehreren Feld-

geräten, um dadurch einen industriellen Prozess in einer Prozessanlage zu steuern.

[0019] Das Verfahren beinhaltet außerdem das Empfangen von mindestens einer Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten von der zweiten Komponente über den Diagnosekanal an der ersten Komponente, wobei jede Heartbeat-Nachricht mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten durch die zweite Komponente bei entsprechendem Empfang an der zweiten Komponente an die erste Komponente zurückgegeben wird. Ferner beinhaltet das Verfahren das Bestimmen, durch die erste Komponente, einer durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente basierend auf jeweiligen Umlaufzeiten (RTTs) mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten. Die jeweiligen RTTs können basierend auf jeweiligen Sende- und Empfangszeiten mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten an der ersten Komponente bestimmt werden. Darüber hinaus beinhaltet das Verfahren das Erfassen einer Verschlechterung der zweiten Komponente, wenn eine RTT einer nachfolgenden Heartbeat-Nachricht, die durch die erste an die zweite Komponente übertragen wird, einen Schwellenwert überschreitet, der der durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente entspricht. In einigen Konfigurationen beinhaltet das Verfahren zusätzlich oder alternativ das Erfassen einer Verschlechterung der zweiten Komponente, wenn die RTT einer nachfolgenden Heartbeat-Nachricht, die durch die erste Komponente an die zweite Komponente über den Diagnosekanal übertragen wird, einen Schwellenwert überschreitet, der einer Periodizität einer Modul-Scheduler-Ausführung an der zweiten Komponente entspricht.

Figurenliste

Fig. 1 beinhaltet ein vereinfachtes Blockdiagramm eines beispielhaften Abschnitts eines Prozesssteuerungssystems einer industriellen Prozessanlage, das dazu konfiguriert ist, eine Verschlechterung der Regelkreiskomponenten zu erfassen.

Fig. 2A stellt einen beispielhaften Nachrichtenfluss zum Erfassen einer Verschlechterung einer Regelkreiskomponente dar.

Fig. 2B stellt einen beispielhaften Nachrichtenfluss zum Erfassen einer Verschlechterung einer Regelkreiskomponente dar.

Fig. 3 enthält ein vereinfachtes Blockdiagramm einer beispielhaften Regelkreiskomponente, die dazu konfiguriert ist, eine Verschlechterung einer anderen Regelkreiskomponente zu erfassen.

Fig. 4 stellt ein Flussdiagramm eines Verfahrensbeispiels zum Erfassen einer Verschlechterung einer Regelkreiskomponente dar.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0020] **Fig. 1** ist ein vereinfachtes Blockdiagramm eines Beispielabschnitts 100 eines Prozesssteuerungssystems einer industriellen Prozessanlage. Der in **Fig. 1** des Prozesssteuerungssystems dargestellte Abschnitt 100 enthält mehrere Steuerungen 102a-102n, 105a-105m, die mit mehreren Feldgeräten 108a-108p über ein E/A-Gateway 110 (das hierin auch austauschbar als „E/A-Server 110“ bezeichnet wird) kommunikativ verbunden sind. Die Steuerungen 102a-102n, 105a-105m, das E/A-Gateway 110 und die Feldgeräte 108a-108p arbeiten während der Laufzeit der industriellen Prozessanlage zusammen, um einen industriellen Prozess der industriellen Prozessanlage zu steuern. Andere Komponenten des Prozesssteuerungssystems, wie beispielsweise die Konfigurationsdatenbank und andere zentralisierte Datenbanken, Komponenten der Kommunikationsnetzwerkarchitektur, Diagnose- und andere Werkzeuge, Bediener- und Ingenieurbenutzerschnittstellen, administrative Rechengерäte usw. sind in **Fig. 1** zur einfacheren Veranschaulichung (und nicht zum Zweck der Einschränkung) nicht dargestellt.

[0021] Mindestens einige der Feldgeräte 108a-108p können ein Stellelement sein, wie beispielsweise eine Heizung, eine Pumpe, ein Stellantrieb, ein Sensor, ein Sender, ein Schalter usw., und jedes Feldgerät ist mit dem E/A-Gateway 110 über eine oder mehrere entsprechende drahtgebundene und/oder drahtlose Verbindungen 112a-112p kommunikativ verbunden. Die Verbindungen 112a-112p sind für den sicheren Betrieb in der rauen Feldumgebung der Prozessanlage konfiguriert. Das E/A-Gateway 110 ist mit jeder der Steuerungen 102a-102n, 105a-105m über eine Datenautobahn 115 kommunikativ verbunden, die durch Verwenden einer oder mehrerer geeigneter Verbindungen mit hoher Kapazität, wie beispielsweise Ethernet, Hochgeschwindigkeits-Ethernet (z. B. 100 M Gigabit Ethernet), optische Verbindungen und dergleichen, implementiert sein können. Die Datenautobahn 115 kann zum Beispiel eine oder mehrere drahtgebundene und/oder drahtlose Verbindungen einschließen. In einigen Konfigurationen unterstützt mindestens eine der Verbindungen 112a-112p zu den Feldgeräten 108a-108p und/oder der Datenautobahn 115 die Transporttechnologie Advanced Physical Layer (APL), die wiederum ein oder mehrere Protokolle unterstützt, um dadurch den eigensicheren Anschluss von Feldgeräten, anderen Geräten, verschiedenen anderen Instrumenten und/oder anderen Ausrüstungen, die sich an entfernten und gefährli-

chen Orten befinden, wie beispielsweise in der Feldumgebung der Prozessanlage, zu ermöglichen.

[0022] Die mehreren Steuerungen 102a-102n, 105a-105m (hier auch austauschbar als „Steuergeräte“ oder „Steuerungen“ bezeichnet) können eine oder mehrere physische Steuerungen 102a-102n einschließen und/oder sie können eine oder mehrere logische oder virtuelle Steuerungen 105a-105m einschließen, wobei jede Steuerung 102a-102n, 105a-105m eine oder mehrere jeweilige Steuerroutrinen, Steuermodule oder Steuerlogik ausführt, um dadurch einen jeweiligen Abschnitt des industriellen Prozesses während Laufzeitoperationen der Anlage zu steuern. Zum Beispiel können einige der Steuerungen 102a-102n, 105a-105m Prozesssteuerungen sein, die jeweilige Abschnitte der Laufzeit-Steuerungsstrategie der industriellen Prozessanlage ausführen. Einige der Steuerungen 102a-102n, 105a-105m können Sicherheitssteuerungen sein, die als Teil eines sicherheitsinstrumentierten Systems (safety instrumented system - SIS) arbeiten, das die Prozessanlage unterstützt.

[0023] Jede logische oder virtuelle Steuerung 105a-105m kann eine jeweilige virtualisierte, containerisierte oder andere Art eines logischen Steuergeräts sein, das auf einem jeweiligen Host-Server oder einer Rechenplattform 118a, 118b ausgeführt wird oder darauf läuft. Der Satz von Host-Servern 118a, 118b kann unter Verwendung einer beliebigen geeigneten Host-Server-Plattform implementiert werden, wie beispielsweise mehrerer vernetzter Rechengерäte, einer Serverbank, eines Cloud-Computersystems usw. Jeder Server 118a, 118b kann jeweils ein oder mehrere logische Steuergeräte 105a-105m hosten. Zum Beispiel kann ein logisches Steuergerät 105a-105m über einen Container implementiert werden, und der Container kann zur Ausführung auf einem bestimmten Host-Server zugewiesen werden, und/oder ein logisches Steuergerät 105a-105m kann durch eine virtuelle Maschine implementiert werden, die innerhalb eines Hypervisors auf einem bestimmten Host-Server läuft.

[0024] Wie bereits erwähnt, ist das E/A-Gateway 110 mit den Feldgeräten über verschiedene physische Anschlüsse und Verbindungen 112a-112p kommunikativ verbunden, die die jeweiligen industriellen Kommunikationsprotokolle unterstützen, die von den Feldgeräten verwendet werden (z. B. HART, Feldbus, Profibus usw.), und das E/A-Gateway 110 verbindet sich kommunikativ mit den Prozesssteuerungen 102a-102n, 105a-105m über ein oder mehrere Kommunikationsnetzwerke oder Datenautobahnen 115, die drahtgebundenes und/oder drahtloses Ethernet, das Internetprotokoll (oder IP) und/oder andere Arten von Paketprotokollen usw. unterstützen können. Das E/A-Gateway 110 kann mindestens teilweise auf einer oder mehreren

Rechenplattformen implementiert sein und es kann dazu konfiguriert sein, E/A-Daten zwischen den mehreren Prozesssteuerungen 102a-102n, 105a-105m und deren jeweiligen Feldgeräten 108a-108p zu übermitteln, weiterzuleiten oder umzuschalten, um dadurch die jeweilige Steuerlogik auszuführen, um die Prozesssteuerung durchzuführen. Zum Beispiel können innerhalb des E/A-Gateways 110 verschiedene E/A-Datenübermittlungsfunktionen, Routinen, Logik und/oder Mechanismen auf einem oder mehreren Servern gehostet und dazu verwendet werden, E/A-Daten zwischen Anschlüssen, die die Steuergeräte 102a-102n, 105a-105m mit dem E/A-Gateway 110 kommunikativ verbinden, und zwischen Anschlüssen, die das E/A-Gateway 110 mit den Feldgeräten 108a-108p kommunikativ verbinden, zu übertragen. In einer Ausführungsform kann jedes Steuergerät 102a-102n, 105a-105m ein jeweiliger Client des E/A-Gateways 110 sein, für den das E/A-Gateway 110 jeweilige E/A-Datenübermittlungsanforderungen bedient. Verschiedene Hardware- und/oder Softwareressourcen des E/A-Gateways 110 (z. B. CPU-Ressourcen, Speicherressourcen, persistenter Speicherplatz, Festplattenplatz, Netzwerkressourcen, Logikressourcen, Rechenressourcen usw. der Rechenplattformen, die das E/A-Gateway 110 unterstützen) können gemeinsam genutzt werden, um Dienstanforderungen von mehreren Clients zu bedienen.

[0025] Der in **Fig. 1** dargestellte Abschnitt 100 des Prozesssteuerungssystems beinhaltet ein oder mehrere Prozessregelkreise (hier auch austauschbar als „Regelkreise“ oder „Schleifen“ bezeichnet), von denen jeder eine physische 102x oder eine virtuelle 105y-Steuerung, das E/A-Gateway 110 und mindestens ein Feldgerät 108z, die hier allgemein als die „Komponenten“ des Regelkreises bezeichnet werden, enthält. Komponenten eines ersten Regelkreises können zum Beispiel das physische Steuergerät 102a, das E/A-Gateway 110 und das Feldgerät 108a einschließen; Komponenten eines zweiten Regelkreises können das physische Steuergerät 102b, das E/A-Gateway 110 und das Feldgerät 108b einschließen; Komponenten eines dritten Regelkreises können das virtuelle Steuergerät 105g, den E/A-Server 110 und das Feldgerät 108c einschließen; und Komponenten eines vierten Regelkreises können das virtuelle Steuergerät 105m, das E/A-Gateway 110 und das Feldgerät 108p einschließen. Die Komponenten und die Steuerlogik jedes Regelkreises können innerhalb des Prozesssteuerungssystems definiert oder konfiguriert werden, und das Steuergerät jeder Schleife ist mit entsprechenden Steuerrouninen oder Steuerlogik konfiguriert, die das Steuergerät während Laufzeitoperationen ausführt. In der Regel kann ein bestimmtes Stellelement oder Feldgerät 108a-108p dazu konfiguriert oder zugewiesen sein, ausschließlich von nur einem Steuergerät 102a-102n, 105a-105m gesteuert zu werden. Auch

kann in der Regel, aber nicht notwendigerweise, ein bestimmtes Steuergerät 102a-102n, 105a-105m dazu konfiguriert oder zugewiesen sein, mehrere Stellelemente oder Feldgeräte 108a-108p zu steuern. Im Allgemeinen empfängt die Steuerung 102a-102n, 105a-105m innerhalb eines Regelkreises ein oder mehrere Eingangssignale von dem einen oder den mehreren Feldgeräten 108a-108p, einer oder mehreren anderen Steuerungen 102-102n, 105a-105m und/oder einem oder mehreren anderen Geräten innerhalb der Prozessanlage (z. B. über die Datenautobahn 115 und das E/A-Gateway 110), wendet eine oder mehrere Steuerrouninen oder Steuerlogik auf die Eingangssignale an, um ein oder mehrere Ausgangssignale zu erzeugen, und überträgt das/die Ausgangssignal(e) an ein oder mehrere Feldgeräte 108 des Regelkreises (z. B. über die Datenautobahn 115 und das E/A-Gateway 110), um dadurch das Verhalten der Feldgeräte 108 zu ändern und dadurch mindestens einen Abschnitt des industriellen Prozesses zu steuern. In einigen Konfigurationen überträgt die Steuerung 102a-102n, 105a-105m auch ein oder mehrere Ausgangssignale an eine oder mehrere andere Steuerungen 102a-102n, 105a-105m auch zum Zweck der Steuerung des industriellen Prozesses.

[0026] Einige der in **Fig. 1** veranschaulichten Regelkreiskomponenten sind insbesondere dazu konfiguriert, eine Verschlechterung einer oder mehrerer anderer Komponenten zu erfassen, die in ihrer Schleife enthalten sind, und sie sind als solche in **Fig. 1** durch ein eingekreistes „DD“ gekennzeichnet. Wie zum Beispiel in **Fig. 1** gezeigt, sind die Steuergeräte 102a, 105g und 105h insbesondere dazu konfiguriert, eine Verschlechterung des E/A-Gateways 110 zu erfassen, und das E/A-Gateway 110 ist insbesondere dazu konfiguriert, eine Verschlechterung einer beliebigen Anzahl der Steuergeräte 102a-102n, 105a-105m zu erfassen.

[0027] Zur Veranschaulichung stellt **Fig. 2A** einen beispielhaften Nachrichtenfluss 200 zum Erfassen einer Verschlechterung einer Regelkreiskomponente dar. Zur einfacheren Veranschaulichung und nicht zum Zweck der Einschränkung wird **Fig. 2A** hier unter gleichzeitiger Bezugnahme auf **Fig. 1** erörtert. In **Fig. 2A** sind eine erste Schleifenkomponente 202 und eine zweite Schleifenkomponente 205 dazu konfiguriert, in demselben Regelkreis enthalten zu sein, und sie sind über einen Kommunikationskanal, wie etwa einen Kommunikationskanal der Datenautobahn 115, kommunikativ verbunden. Zum Beispiel kann die erste Komponente 202 eine der physischen oder logischen Steuerungen 102a-102n, 105a-105m sein und die zweite Komponente 205 kann das E/A-Gateway oder der Server 110 sein, oder die erste Komponente 202 kann das E/A-Gateway oder der Server 110 sein und die zweite Komponente 205

kann eine der physischen oder logischen Steuerungen 102a-102n, 105a-105m sein.

[0028] Die erste Komponente 202 und die zweite Komponente 205 sind auch über einen Diagnosekanal kommunikativ verbunden, der ein anderer Kanal der Datenautobahn 115 sein kann, der sich von dem Kommunikationskanal unterscheidet. Im Allgemeinen senden und empfangen die erste und die zweite Komponente 202, 205 gegenseitig Steuer- und Kommunikationsnachrichten oder -signale, um die Steuerungsstrategie des Regelkreises über den Kommunikationskanal und nicht über den Diagnosekanal auszuführen, und die erste und zweite Komponente 202, 205 senden und empfangen gegenseitig Diagnosenachrichten oder -signale (einschließlich Nachrichten/Signale in Bezug auf das Erfassen einer Verschlechterung von Komponenten) über den Diagnosekanal und nicht über den Kommunikationskanal. In einer Ausführungsform wird der Diagnosekanal, der die erste und die zweite Komponenten 202, 205 kommunikativ verbindet, nur von der ersten und der zweiten Komponente 202, 205 des im Prozesssteuerungssystem enthaltenen Regelkreises verwendet und er wird während von keinen anderen Komponenten oder Geräten des Prozesssteuerungssystems verwendet. Das heißt, in dieser Ausführungsform ist der Diagnosekanal ein Kanal, der zur Verwendung nur durch die erste und die zweite Komponente 202, 205 bestimmt ist und nicht von anderen Komponenten oder Geräten gemeinsam genutzt wird. Der Kommunikationskanal, der die erste und die zweite Regelkreiskomponente 202, 205 kommunikativ verbindet, kann ein dedizierter Kanal oder ein gemeinsam genutzter Kanal sein.

[0029] Der Nachrichtenfluss 200 stellt Nachrichten dar, die zwischen der ersten Komponente 202 und der zweiten Komponente 205 des Prozessregelkreises über den Diagnosekanal übermittelt werden, um eine Verschlechterung der zweiten Komponente 205 zu erfassen. Somit kann die erste Komponente 202 als Komponente zur Überwachung oder Erfassung von Verschlechterungen betrachtet werden, und die zweite Komponente 205 kann als überwachte oder Zielkomponente betrachtet werden, die von der ersten Komponente 202 auf Verschlechterung überwacht wird. Wie in **Fig. 2A** überträgt die erste Komponente 202 mehrere Heartbeat-Nachrichten HBn 208 (die hier austauschbar als „Anforderungen 208“ bezeichnet werden) über die Zeit sequenziell an die zweite Komponente 205. Zum Beispiel kann die erste Komponente 202 sequenziell die mehreren Heartbeat-Nachrichten HBn oder -Anforderungen 208 periodisch, nicht periodisch, zufallsbasiert, während Zeiten relativer Verfügbarkeit von Hardware- und/oder Software-Ressourcen der ersten Komponente 202 auf Anfrage oder auf Benutzeranweisung hin und/oder zu anderen geeigneten Zeiten übertragen. Jede Heartbeat-Nachricht HBn 208 kann von ande-

ren Heartbeat-Nachrichten HBn 208 über eine jeweilige Kennung, wie zum Beispiel Anzahl, Zählerstand, alphanumerisches Zeichen usw., unterschieden werden. In Ausführungsform können die Kennungen der Heartbeat-Nachrichten inkrementiert und zyklisch wiederholt werden, z. B. $n = 1, 2, 3, \dots, x, 1, 2, 3, \dots, x \dots$, und so weiter. An der zweiten Komponente 205 leitet die zweite Komponente 205 bei Empfang der Heartbeat-Nachricht HBn 208 die empfangene Heartbeat-Nachricht HBn an die erste Komponente 202 weiter oder sie gibt sie auf andere Weise zurück, wie durch die Referenz 210 (die hierin austauschbar als „Antwort 210“ bezeichnet wird) angegeben. Zum Beispiel kann die zweite Komponente 205 die eingehende Heartbeat-Nachricht HBn oder die Anforderung 208 über den Diagnosekanal empfangen, die Heartbeat-Nachricht HBn oder die Anforderung 208 über das Modul oder die Unterkomponente der zweiten Komponente 205 verarbeiten, die die eingehenden und ausgehenden Prozesssteuerungs- und -kommunikationsnachrichten verarbeitet, und die Heartbeat-Nachricht HBn oder die Antwort 210 über den Diagnosekanal mit der schnellsten Aktualisierungsrate, die durch die zweite Komponente 205 unterstützt wird, an die erste Komponente 202 weiterleiten oder zurückgeben. Wenn zum Beispiel die zweite Komponente 205 ein Steuergerät 102a-102n, 105a-105m ist, gibt beim Empfangen der Anforderung 208 an dem Steuergerät 102a-102n, 105a-105m ein Antwortmodul, das innerhalb des Steuerungsausführungsplaners des Steuergeräts 102a-102n, 105a-105m ausgeführt wird, die Heartbeat-Rücknachricht HBn oder die Antwort 210 an die erste Komponente 202 zurück. In einem anderen Beispiel, wenn die zweite Komponente 205 das E/A-Gateway 110 ist, gibt ein RTT-Testinitiator am E/A-Server 110 beim Empfang der Anforderung 208 am E/A-Gateway 110 die Heartbeat-Rücknachricht HBn oder die Antwort 210 an die erste Komponente 202 zurück. Das heißt, das E/A-Gateway 110 behandelt die eingehende Heartbeat-Nachricht HBn 208 so, als ob das E/A-Gateway 110 einen E/A-Befehl weiterleiten würde, obwohl das „Weiterleiten“ das Zurückschleifen der Heartbeat-Nachricht HBn oder der Anforderung 208 an die erste Komponente 202 als Antwort 210 einschließt.

[0030] Die erste Komponente 202 verfolgt eine jeweilige Zeit, zu der sie jede Heartbeat-Nachricht HBn oder Anforderung 208 übertragen hat, und eine jeweilige Zeit, zu der sie die entsprechende Heartbeat-Rücknachricht HBn oder Antwort 210 empfängt, z. B. über Zeitstempel TS1, TS2, wie in **Fig. 2A** gezeigt, oder über einen anderen geeigneten Mechanismus. Auf der Grundlage der Zeitstempel TS1, TS2 bestimmt die erste Komponente 202 eine jeweilige Umlaufzeit (RTTn) 212 der zwischen der ersten Komponente 202 und der zweiten Komponente 205 übermittelten Heartbeat-Nachricht HBn. Die RTTn 212 kann analog zu dem Zeitintervall

innerhalb eines Prozessregelkreises sein, der ein physisches E/A-Gerät oder eine E/A-Karte anstelle eines E/A-Gateways 110 einschließt, von dem Senden eines Ausgangsbefehls für E/A durch ein Steuergerät an das E/A-Gerät bis zum Empfangen einer entsprechenden Bestätigungsrückmeldung vom E/A-Gerät durch das Steuergerät.

[0031] In einer Ausführungsform, in der die erste Komponente 202 ein physisches Steuergerät 102a-102n oder das E/A-Gateway 110 ist, kann ein Hardwaretaktgeber eines Prozessors der ersten Komponente 202 dazu verwendet werden, die Zeitstempel TS1, TS2 zu bestimmen. In einer Ausführungsform, in der die erste Komponente 202 ein logisches Steuergerät 105a-105m ist und die zweite Komponente 205 das E/A-Gateway 110 ist, kann jedoch die Verwendung des logischen Steuergeräts 105a-105m zum Bestimmen der Zeitstempel TS2, TS2 mindestens aufgrund der Beschaffenheit virtueller Maschinen, die in Hypervisor- und/oder gehosteten Architekturen ausgeführt werden, ungenau und inkonsistent sein. In diesen Ausführungsformen können die Zeitstempel TS1, TS2 auf eine Weise bestimmt werden, wie sie in **Fig. 2B** veranschaulicht ist.

[0032] **Fig. 2B** stellt einen beispielhaften Nachrichtenfluss 220 zum Erfassen einer Verschlechterung einer Regelkreiskomponente dar. In **Fig. 2B** ist die erste Schleifenkomponente 202 ein logisches Steuergerät 105a-105m und die zweite Schleifenkomponente 205 ist das E/A-Gateway oder der Server 110. Ähnlich wie in **Fig. 2A** werden die Nachrichten innerhalb des Nachrichtenflusses 220 zwischen der ersten und der zweiten Komponente 202, 205 über einen Diagnosekanal übermittelt. Ebenfalls ähnlich wie in **Fig. 2A** überträgt das logische Steuergerät 202 mehrere Heartbeat-Nachrichten HBn 208 sequenziell zum E/A-Gateway 110. Da das E/A-Gateway 205 einen Prozessor mit einem Hardwaretaktgeber einschließt, kann das E/A-Gateway 205 als Proxy für das logische Steuergerät 202 dienen, um jeweilige Zeitstempel TS1, TS2 entsprechend jeder empfangenen Heartbeat-Nachricht HBn zu bestimmen. Zum Beispiel kann das E/A-Gateway 205 den Zeitpunkt eines Empfangs der Heartbeat-Nachricht HBn am E/A-Gateway 205 als TS1 bestimmen und das E/A-Gateway 205 kann TS2 als den Zeitpunkt unmittelbar vor dem Zurückgeben der empfangenen Heartbeat-Nachricht HBn 225 an das logische Steuergerät 202 durch das E/A-Gateway 110 bestimmen. Das E/A-Gateway 205 kann TS1 und TS2 in Verbindung mit der Heartbeat-Rückmeldung HBn 225 an das logische Steuergerät 202 senden (z. B. durch Einfügen von TS1 und TS2 in die Heartbeat-Rückmeldung HBn 225 oder durch Zuordnen einer anderen Übertragung einschließlich TS1 und TS2 zu der Heartbeat-Nachricht HBn 225), und das logische Steuergerät 202 kann die empfangenen Zeitstempel

TS1, TS2 verwenden, um die entsprechende Umlaufzeit RTTn 212 der Heartbeat-Nachricht HBn zu bestimmen.

[0033] Unabhängig davon, ob der Nachrichtenfluss 200 oder der Nachrichtenfluss 220 in einer Ausführungsform verwendet wird, nachdem ein Schwellenwert oder eine minimale Anzahl von Stichproben-RTTs erhalten oder durch die erste Komponente 202 während eines Ruhe- oder Normalbetriebs- oder Betriebszustands des Prozesssteuerungssystems 100 bestimmt wurde, bestimmt die erste Komponente 202 eine Durchschnitts- oder Basislinien-RTT für Heartbeat-Nachrichten, die zwischen der ersten und der zweiten Komponente 202, 205 übertragen werden, und sie kann optional eine entsprechende Standardabweichung bestimmen. Der Schwellenwert oder die minimale Anzahl von Stichproben-RTTs, die verwendet werden, um die Durchschnitts- oder Basislinien-RTT zu bestimmen, kann vordefiniert oder vorkonfiguriert sein und kann dynamisch, z. B. automatisch und/oder manuell, einstellbar sein. Die durchschnittliche oder Basislinien-RTT zwischen der ersten und der zweiten Komponente 202, 205 und die Standardabweichung können an der ersten Komponente 202 gespeichert werden. Im Allgemeinen kann die Durchschnitts- oder Basislinien-RTT ein Maß, einen Grad oder eine Angabe einer erwarteten oder stationären Antwort- oder Reaktionszeit der zweiten Komponente 205 während eines Ruhe- oder Normalbetriebs oder Betriebszustands des Steuerungssystems 100 bereitstellen. Die entsprechende Standardabweichung kann einen Bereich von RTTs anzeigen (z. B. die durchschnittliche RTT minus einer Standardabweichung bis zu der durchschnittlichen RTT plus einer Standardabweichung), während dem eine Antwortrate oder Reaktionszeit der zweiten Komponente 205 als deterministisch oder in einem geeigneten Leistungsbereich, z. B. einem Bereich akzeptabler RTTs, arbeitend betrachtet wird. Daher kann ein Vergleich einer nachfolgend gemessenen oder berechneten RTTn 208 mit der durchschnittlichen oder Basislinien-RTT und der entsprechenden Standardabweichung ein Maß für ein Ansprechverhaltensniveau der zweiten Komponente 205 angeben. Beispielsweise können gemessene RTTs, die innerhalb von plus oder minus einer Standardabweichung der durchschnittlichen oder Basislinien-RTT liegen, als akzeptable RTTs betrachtet werden, und gemessene RTTs, die außerhalb von plus oder minus einer Standardabweichung der durchschnittlichen oder Basislinien-RTT liegen, als inakzeptable RTTs betrachtet werden, was auf eine Verschlechterung an der zweiten Komponente 205 hinweisen kann.

[0034] Alternativ kann in einer anderen Ausführungsform, in der die Ziel- oder zweite Komponente 205 ein Steuergerät 102a-102n, 105a-105n ist, eine akzeptable RTT als eine RTT definiert sein, die klei-

ner oder gleich einer Quanta-Zeitspanne (z. B. weniger als oder gleich einer Länge einer Periodizität) der Modul-Scheduler-Ausführung des Steuergeräts ist. Die Schwellenwertgrenze für eine akzeptable RTT (z. B. ein „periodizitätsbasierter Schwellenwert“) kann vordefiniert oder vorkonfiguriert sein und sie kann einstellbar sein. Zum Beispiel kann ein Benutzer den periodizitätsbasierten Schwellenwert auf einen Prozentsatz von 90 % der Periodizitätsdauer der Modul-Scheduler-Ausführung bis einschließlich 100 % der Periodizitätsdauer einstellen. Somit kann in dieser Ausführungsform jede gemessene RTT, die kleiner oder gleich dem periodizitätsbasierten Schwellenwert ist, eine akzeptable RTT für das Zielsteuergerät 205 sein, und jede gemessene RTT, die größer als der periodizitätsbasierte Schwellenwert ist, kann eine inakzeptable RTT für das Zielsteuergerät 205 sein.

[0035] Auf jeden Fall überträgt die erste Komponente 202 nach dem Bestimmen und Speichern der durchschnittlichen oder Basislinien-RTT der Zielkomponente 205 (und der entsprechenden Standardabweichung) und/oder nach dem Speichern des periodizitätsbasierten Schwellenwerts der Zielkomponente 205 weiterhin Heartbeat-Nachrichten HBn oder Anforderungen 208 an die zweite Komponente 205, empfängt entsprechende Heartbeat-Rücknachrichten HBn oder Antworten 210, bestimmt oder berechnet entsprechende Umlaufzeiten RTTn 212 und vergleicht die bestimmten oder berechneten Umlaufzeiten RTTn 212 mit der gespeicherten durchschnittlichen RTT und Standardabweichung und/oder mit dem periodizitätsbasierten Schwellenwert, je nachdem, was zutrifft. Zum Beispiel gibt eine RTTn 212, die außerhalb des Bereichs akzeptabler RTTs um die Basislinien-RTT für die zweite Komponente 205 liegt (z. B. eine inakzeptable RTT), an, dass die zweite Komponente 205 ein nicht deterministisches Verhalten zeigt und es daher zu Leistungsverschlechterung kommen kann. In einem anderen Beispiel gibt für eine zweite Komponente 205, die ein Steuergerät 102a-102n, 105a-105m ist, eine RTTn 212, die den periodizitätsbasierten Schwellenwert für die zweite Komponente 205 überschreitet (z. B. eine inakzeptable RTT), an, dass die zweite Komponente 205 ein nicht deterministisches Verhalten zeigt und es zu Leistungsverschlechterung kommen kann. Wenn die erste Komponente 202 eine statistisch signifikante Anzahl inakzeptabler RTT-Messwerte der zweiten Komponente 205 beobachtet, kann die Beobachtung darauf hinweisen, dass die Ausführungsintegrität der zweiten Komponente sich möglicherweise verschlechtert oder sich verschlechtert hat. Wenn die zweite Komponente zum Beispiel ein Steuergerät 102a-102n, 105a-105m ist, kann die Beobachtung darauf hinweisen, dass der Modul-Scheduler des Steuergeräts 102a-102n, 105a-105m nicht in der Lage ist, den

Steuerdeterminismus der Periodizität seiner entsprechenden Steuermodule zu erfüllen.

[0036] Unter Bezugnahme auf das in **Fig. 1** veranschaulichte Prozesssteuerungssystem 100 kann eine Leistungsverschlechterung in den physischen Steuergeräten 102a-102n durch eine Schädigung von Hardwarekomponenten und/oder Softwarekomponenten verursacht werden. Zum Beispiel kann eine Schädigung von Hardware- und/oder Softwarekomponenten der physischen Steuergeräte 102a-102n verursacht werden durch: falsches automatisches oder manuelles Laden der Steuerlogik in die Steuergeräte 102a-102n, übermäßige Last durch Interrupts, Cache-Speicherfehler (was zu Zugriffen auf den vollständigen Speicher führt, die langsamer als der Zugriff auf den Cache-Speicher sind), Dienstverweigerungsangriffe, extreme Umgebungsbedingungen (z. B. übermäßige Hitze oder Kälte), die die Ausführungsqualität der Steuergeräte 102a-102n verändern können, und übermäßige Strahlenbelastung, die Bits von Anweisungsdaten umdrehen oder ändern kann, was zu falschem Softwarebetrieb führt, um nur einige Beispiele zu nennen.

[0037] Leistungsverschlechterung von stärker computerisierten Komponenten des Regelkreises, wie beispielsweise der logischen Steuergeräte 105a-105m und des E/A-Gateways 110, kann durch einen Mangel an Hardware- und/oder Software-Rechenressourcen von unterstützenden Rechenplattformen beeinträchtigt werden, da derartige Ressourcen gemeinsam genutzte Ressourcen sein können. Zum Beispiel können Hardware- und Software-Ressourcen jedes Host-Servers 118a, 118b von einem jeweiligen Satz von darauf ausgeführten virtuellen Steuergeräten 105a-105g, 105h-105m gemeinsam genutzt werden. Somit muss jedes virtuelle Steuergerät 105a-105g, 105h-105m, das auf dem jeweiligen Host-Server 118a, 118b ausgeführt wird, mit anderen virtuellen Steuergeräten 105a-105g, 105h-105m, die auf dem Host-Server 118a, 118b ausgeführt werden, um Host-Server-Ressourcen konkurrieren. Dementsprechend kann ein Mangel an Hardwareressourcen, wie etwa an CPU-Ressourcen, Speicher und/oder persistentem Speicherplatz, sowie Konkurrenz um Softwareressourcen, wie etwa Netzwerkressourcen, Logikressourcen und/oder andere Rechenressourcen an jedem Host-Server 118a, 118b, die Leistung eines oder mehrerer virtueller Steuergeräte 105a-105g, 105h-105m, die jeweils darauf ausgeführt werden, verschlechtern.

[0038] Eine Leistungsverschlechterung des E/A-Gateways 110 kann durch Belastung des E/A-Gateways 110 und/oder Konkurrenz um Netzwerkressourcen (z. B. Software- und/oder Hardware-Netzwerkressourcen) beeinflusst werden, die durch das E/A-Gateway 110 zur Übermittlung von E/A-Daten

an und von mehreren Steuergeräten 102a-102n, 105a-105m bereitgestellt werden. Zum Beispiel können Belastung des E/A-Gateways und/oder der Ressourcenkonflikt zum Bedienen von Clients des E/A-Gateways 110 (z. B. für das Planen, die E/A-Datenübermittlungslogik, das Berechnen usw.) zu erhöhter Latenz und/oder erhöhtem Jitter führen. Darüber hinaus können die Belastung des E/A-Gateways und/oder der Ressourcenkonflikt nicht nur die Leistung verschiedener Regelkreise negativ beeinflussen, sondern auch die Gesamtleistung des Prozesssteuerungssystems negativ beeinflussen. Zum Beispiel kann eine durch das E/A-Gateway 110 eingeführte erhöhte Latenz eine Verschlechterung des Gesamtbetriebs des Prozesssteuerungssystems bewirken, und durch das E/A-Gateway 110 eingeführter erhöhter Jitter kann die Leistung der Gesamtsteuerungsstrategie verschlechtern.

[0039] In jedem Fall nachdem durch die erste Komponente 202 bestimmt wird, dass eine bestimmte RTT_n 212 außerhalb des Bereichs akzeptabler RTTs um die Basislinien-RTT für die zweite Komponente 205 liegt und/oder über dem periodizitätsbasierten Schwellenwert akzeptabler RTTs für die zweite Komponente 205 liegt, kann die erste Komponente 202 das Bedienungspersonal benachrichtigen, dass die zweite Komponente 205 ein nicht deterministisches Verhalten erfährt, das auf eine Leistungsververschlechterung hinweist, was zu unvorhersehbaren Ergebnissen innerhalb des Prozesssteuerungssystems führen kann. Zum Beispiel kann die erste Komponente 202 bewirken, dass eine Warnung oder ein Alarm erzeugt und an einer oder mehreren Bedienerschnittstellen des Prozesssteuerungssystems angezeigt wird.

[0040] Zusätzlich oder alternativ kann die erste Komponente 202 eine oder mehrere Abschwächungsmaßnahmen als Reaktion auf die erfasste Verschlechterung der zweiten Komponente 205 bestimmen. Wenn die zweite Komponente 205 zum Beispiel ein Steuergerät 102a-102n, 105a-105m ist, kann die erste Komponente 202 (in diesem Beispiel das E/A-Gateway 110) die eine oder die mehreren Abschwächungsmaßnahmen bestimmen, die das Anpassen der Last des Steuergeräts 102a-102n, 105a-105m, das Verringern der Ausführungsrate der Steuerlogik innerhalb des Steuergeräts 102a-102n, 105a-105m oder das Bestimmen und Einleiten einer Modifikation der Steuerlogik des Steuergeräts 102a-102n, 105a-105m beinhalten. Wenn die zweite Komponente 205 ein logisches Steuergerät 105a-105m ist, können die eine oder die mehreren Abschwächungsmaßnahmen das Migrieren des logischen Steuergeräts 105a-105m auf einen anderen, weniger belasteten Host-Server, das Neu-Ausgleichen einer Last des Host-Servers unter den virtuellen durch den Host-Server unterstützten Steuergeräten, Neu-Ausgleichen einer Last-

verteilung zwischen mehreren Host-Servern usw. einschließen. Zum Beispiel können Maßnahmen zum Abschwächen einer erfassten Verschlechterung der logischen Steuergeräte 105a-105m das Modifizieren einer Last einer oder mehrerer CPUs von einem oder mehreren der Host-Server, Modifizieren einer Speichernutzung von einem oder mehreren der Host-Server und/oder Modifizieren einer Nutzung von Festplattenplatz von einem oder mehreren der Host-Server einschließen.

[0041] In einem anderen Beispiel, wenn die zweite Komponente 205 das E/A-Gateway 110 ist, kann die erste Komponente 202 (in diesem Beispiel ein physisches Steuergerät 102a-102n oder ein logisches Steuergerät 105a-105m) oder ein anderes Gerät des Systems 100 eine oder mehrere Maßnahmen bestimmen, um eine Verschlechterung des E/A-Gateways 110 abzuschwächen, was zum Beispiel das Verringern der Melderate des E/A-Gateways 110, das Verringern der Anzahl der durch das E/A-Gateway 110 bedienten Clients, das Verlangsamen der Aktualisierungsrate des E/A in Bezug auf einen oder mehrere der von dem E/A-Gateway 110 bedienten Clients, andernfalls Modifizieren einer Last des E/A-Gateways 110 usw. einschließt. Zum Beispiel können Maßnahmen zum Abschwächen einer erfassten Verschlechterung des E/A-Gateways 110 das Modifizieren einer Last einer oder mehrerer CPUs des E/A-Gateways 110, Modifizieren einer Speichernutzung des E/A-Gateways 110 und/oder Modifizieren einer Nutzung von Festplattenplatz des E/A-Gateways 110 beinhalten.

[0042] In einer Ausführungsform kann die erste Komponente 202 bewirken, dass die bestimmte(n) Abschwächungsmaßnahme(n) dem Bedienungspersonal an einer oder mehreren Bedienerschnittstellen als empfohlene und/oder auswählbare Optionen präsentiert werden. Bei Auswahl einer oder mehrerer der präsentierten Optionen durch den Bediener kann das Prozesssteuerungssystem die ausgewählten Optionen ausführen. In einer anderen Ausführungsform kann die erste Komponente 202 beim Bestimmen der einen oder der mehreren Abschwächungsmaßnahme(n) veranlassen, dass das Prozesssteuerungssystem mindestens eine der bestimmten Abschwächungsmaßnahmen automatisch einleitet und ausführt, z. B. ohne dass eine Benutzereingabe erforderlich ist, und es kann optional das Bedienungspersonal über die automatisch ausgeführte Abschwächungsmaßnahme informieren. Ob eine bestimmte Abschwächungsmaßnahme automatisch oder manuell ausgeführt werden soll, kann auf Wunsch vorkonfiguriert werden. Als solches kann das Prozesssteuerungssystem bewirken, dass mindestens einige der Probleme, die eine Leistungsververschlechterung der Komponente 205 verursachen, abgeschwächt und (entweder manuell oder automatisch) korrigiert werden, wenn die Leistungsver-

schlechterung erfasst wird, anstatt dass gewartet werden muss, bis ein unerwünschtes oder störendes Ereignis eintritt. Somit sind die in dieser Offenbarung beschriebenen Techniken in der Lage, im Vergleich zu den derzeit bekannten Techniken eine frühere Erfassung, Warnung und sogar automatische Abschwächung der Verschlechterung der Prozessregelkreis-komponenten bereitzustellen.

[0043] In einigen Implementierungen kann das Auftreten einer einzelnen RTT an und für sich weder einen Alarm, noch eine Warnung oder Abschwächungsmaßnahme auslösen. Zum Beispiel kann die erste Komponente 202 beim Empfang einer inakzeptablen RTT auf ein gegebenes Zeitintervall und/oder auf eine gegebene Anzahl von zu sendenden/empfangenden zusätzlichen Heartbeat-Nachrichten HBn warten, um zu bestimmen, ob die inakzeptable RTT eine Anomalie oder ein Trend ist, und erst nachdem der Trend bestätigt wurde (z. B. nach Empfang einer statistisch signifikanten Anzahl von inakzeptablen RTTs), erzeugt die erste Komponente 202 die Warnung, den Alarm und/oder die Abschwächungsmaßnahme(n). Das gegebene Zeitintervall, die gegebene Anzahl zusätzlicher Heartbeat-Nachrichten HBn und/oder andere Informationen, die verwendet werden, um einen statistisch signifikanten Trend zu bestimmen oder zu bestätigen, können vorkonfiguriert sein, und sie können einstellbar sein.

[0044] Wenn die Ziel- oder überwachte Komponente 205 das E/A-Gateway 110 ist, kann eine Gruppe von RTTs, die jeweils von einer Gruppe von Steuergeräten oder ersten Komponenten 202 beobachtet werden (gleich ob physisch 102a-102n, logisch 105a-105m oder sowohl physisch als auch logisch), verwendet werden, um eine Verschlechterung des E/A-Servers 110 zu überwachen und zu erfassen. Zum Beispiel kann eines der Steuergeräte in der Gruppe der ersten Komponenten 202 (oder ein anderer Knoten, der mit der Datenautobahn 115 verbunden ist) eine Aufzeichnung von anormalen RTTs sammeln, die in der Gruppe der ersten Komponenten 202 beobachtet wurden. Beim Überschreiten eines oder mehrerer vorgegebener Schwellenwerte (entsprechend zum Beispiel einer Rate anomaler RTTs, die in der Gruppe von ersten Komponenten 202 über ein gegebenes Zeitintervall beobachtet wurden, einem Prozentsatz der Gruppe von ersten Komponenten 202, die anormale RTTs erfahren, Varianzen in anormalen RTTs, die durch die Gruppe der ersten Komponenten 202 über ein bestimmtes Zeitintervall beobachtet wurden, Häufigkeiten des Auftretens der Abweichungen und/oder andere geeignete Schwellenwerte) kann das Prozesssteuerungssystem eine Warnung oder einen Alarm erzeugen, der auf eine Leistungsverschlechterung des E/A-Servers 110 hinweist, und es kann automatisch eine oder mehrere Abschwächungsmaßnahmen bestimmen, empfehlen und/oder einleiten. Zum Beispiel kann eine hohe

Varianzrate in den RTTs, die durch die Gruppe der ersten Komponenten 202 beobachtet wird, auf durch den E/A-Server 110 eingeführten erhöhten Jitter hinweisen, der durch eine erhöhte Konkurrenz um Rechenressourcen des E/A-Servers 110 verursacht werden kann, und sie kann die Leistung der Steuerungsstrategien, die von den Prozessregelkreisen über den E/A-Server 110 ausgeführt werden, negativ beeinflussen. Eine starke Zunahme der Dauer von RTTs in der Gruppe der ersten Komponenten 202 kann auf eine erhöhte Latenz beim E/A-Server 110 hinweisen, die durch eine erhöhte Belastung des E/A-Servers 110 verursacht werden kann und die Leistung des gesamten Prozesssteuerungssystems negativ beeinflussen kann. Dementsprechend kann das Prozesssteuerungssystem eine oder mehrere geeignete Abschwächungsmaßnahmen bestimmen, empfehlen und/oder einleiten, wie z. B. Reduzieren der Melderate des E/A-Gateways 110, Reduzieren der Anzahl von Clients, die durch das E/A-Gateway 110 bedient werden, Verlangsamen der Aktualisierungsrate des E/A in Bezug auf einen oder mehrere durch das E/A-Gateway 110 bediente Clients, Modifizieren einer Last einer oder mehrerer CPUs des E/A-Gateways 110, Modifizieren einer Speichernutzung des E/A-Gateways 110, Modifizieren einer Nutzung des Festplattenplatzes des E/A-Gateways 110 und/oder anderweitiges Modifizieren von Ressourcenzuweisungen des E/A-Gateways 110.

[0045] In einigen Ausführungsformen kann das Prozesssteuerungssystem RTTs aggregieren, die durch die mehreren Steuerungen 102a-102n, 105a-105m und/oder das E/A-Gateway 110 beobachtet werden, um eine Bewertung zu bestimmen, die auf einen Gesamtzustand des Prozesssteuerungssystems oder Abschnitts davon hinweist. Zum Beispiel können RTTs der physischen Steuergeräte 102a-102n, die durch das E/A-Gateway 110 bestimmt werden, aggregiert und dazu verwendet werden, entsprechende Latenz und entsprechenden Jitter der physischen Steuergeräte 102a-102n als eine Gruppe zu bestimmen, um dadurch eine Bewertung oder Angabe des Gesamtzustands des Satzes von physischen Steuergeräten 102a-102n insgesamt zu bestimmen. RTTs der logischen Steuergeräte 105a-105m, die durch das E/A-Gateway 110 bestimmt werden, können aggregiert und dazu verwendet werden, entsprechende Latenz und entsprechenden Jitter der logischen Steuergeräte 105a-105m als eine Gruppe zu bestimmen, um dadurch eine Bewertung oder Angabe des Gesamtzustands der logischen Steuergeräte 105a-105m insgesamt zu bestimmen. Ferner können, wie vorstehend erörtert, RTTs des E/A-Gateways 110, die durch die mehreren Steuergeräten 102a-102n, 105a-105m bestimmt werden, aggregiert und dazu verwendet werden, entsprechende Latenz und entsprechenden Jitter des E/A-Gateways 110 zu bestimmen, die wiederum verwendet werden kön-

nen, um eine Bewertung oder Angabe des Gesamtzustands des E/A-Gateways 110 zu bestimmen.

[0046] Insbesondere wenn das E/A-Gateway 110 die Ziel- oder überwachte Komponente 205 ist, kann eine durchschnittliche oder Gesamt-RTT auf die Kommunikationsverzögerungszeit hinweisen, die durch den E/A-Server 110 eingeführt wird, während der E/A-Server 110 Nachrichten von den Steuergeräten 102a-102n, 105a-105m und den Stillelementen 108a-108p weiterleitet und umgekehrt. Somit kann die durchschnittliche oder Gesamt-RTT des E/A-Servers 110 (z. B. die durch den E/A-Server 110 als Ganzes eingeführte Steuerungsverzögerung) aus mehreren RTTs bestimmt werden, die von mehreren Steuergeräten 102a-102n, 105a-105m gemessen werden. Eine minimale Gesamtanzahl von Steuergeräten 102a-102n, 105a-105m, die jeweilige RTTs des E/A-Servers 110 messen, anhand derer die durchschnittliche oder Gesamt-RTT des E/A-Servers 110 bestimmt wird, kann vordefiniert und/oder einstellbar sein; für die genaueste Schätzung der Gesamt-RTT des E/A-Servers 110 können jedoch die jeweiligen RTTs, die von einem Großteil oder sogar allen der Steuergeräte 102a-102n, 105a-105m gemessen werden, gemittelt werden, um die Gesamt-RTT des E/A-Servers 110 zu bestimmen. Zum Beispiel kann eines der Steuergeräte 102a-102n, 105a-105m oder ein anderes Gerät des Prozesssteuerungssystems 100 die Gesamt-RTT des E/A-Servers 110 anhand der RTTs bestimmen, die durch die mehreren Steuergeräte 102a-102n 105a-105m gemessen werden.

[0047] Da die Gesamt-RTT des E/A-Servers 110 außerdem von der Konstruktion von Regelkreisen abhängig ist, die den E/A-Server 110 für die E/A-Übermittlung verwenden, kann der durchschnittliche Zustand des E/A-Servers 110 durch Vergleichen eines Laufzeitdurchschnitts oder einer Gesamt-RTT mit einem Basisliniendurchschnitt oder einer Gesamt-RTT bestimmt werden, der/die erhalten wurde, während das Steuerungssystem 100 in einem Ruhe- oder Normalbetriebszustand arbeitete. Ein Schwellenwert, der einer maximal akzeptablen Differenz zwischen einer durchschnittlichen gemessenen Laufzeit-RTT und der durchschnittlichen Basislinien-RTT entspricht (z. B. ein „Differenzschwellenwert“), kann verwendet werden, um akzeptable und inakzeptable durchschnittliche oder Gesamt-RTTs des E/A-Servers 110 zu identifizieren. Somit können Differenzen zwischen den gemessenen durchschnittlichen oder Gesamt-RTTs des E/A-Servers 110 und der Basislinien-Durchschnitts- oder Gesamt-RTT des E/A-Servers 110, die größer als der Differenzschwellenwert sind, auf eine inakzeptable Verschlechterung der Leistung des E/A-Servers 110 hinweisen. Der Differenzschwellenwert kann in Bezug auf Steuermodulausführungszeiträume, zum Beispiel X % der Steuermodulausfüh-

rungsraten, und/oder basierend auf anderen Kriterien definiert werden. Der Differenzschwellenwert kann vordefiniert oder vorkonfiguriert sein, und er kann einstellbar sein.

[0048] In einigen Konfigurationen kann das Steuerungssystem 100 mehrere verkettete E/A-Server 110 einschließen, die gemeinsam als ein einzelner, logischer E/A-Server arbeiten, um Nachrichten zwischen den Steuergeräten 102a-102n, 105a-105m und den Stillelementen 108a-108p (nicht gezeigt) zu übermitteln. In diesen Konfigurationen kann die Gesamt-RTT oder Steuerungsverzögerung, die durch die Kette von E/A-Servern 110 beigetragen wird, durch Aggregieren oder kumulatives Addieren der jeweiligen RTTs jedes der verketteten E/A-Server 110 bestimmt werden. Differenzen zwischen gemessenen RTTs der Kette von E/A-Servern 110 können mit einer durchschnittlichen oder Basislinien-RTT der Kette von E/A-Servern 110 verglichen werden, um eine Verschlechterung innerhalb der Kette zu erfassen, z. B. auf ähnliche Weise wie bei einem einzelnen der vorstehend erörterten E/A-Server 110.

[0049] Darüber hinaus können die jeweiligen RTTs jedes der verketteten E/A-Server 110 mit den jeweiligen Basis-RTTs jedes der verketteten E/A-Server 110 verglichen werden, um Quellen der Steuerungsverzögerung innerhalb der Kette zu identifizieren oder auf bestimmte E/A-Server 110 einzugrenzen. Wenn zum Beispiel die Differenz zwischen der Laufzeit-RTT und einer Basis-RTT eines ersten E/A-Servers 110 in der Kette einen entsprechenden Differenzschwellenwert überschreitet, während die Differenz zwischen der Laufzeit-RTT und einer Basis-RTT eines zweiten E/A-Servers 110 in der Kette einen jeweiligen Differenzschwellenwert nicht überschreitet, kann der erste E/A-Server 110 als potenzielle Quelle der Steuerungsverzögerung innerhalb der Kette von E/A-Servern 110 identifiziert werden, und es können geeignete Abschwächungsmaßnahmen für den ersten E/A-Server 110 ergriffen werden.

[0050] Wie zuvor erörtert, kann die gemessene RTT eines E/A-Servers 110 (oder einer Kette von E/A-Servern 110) auf eine Kommunikationsverzögerung hinweisen, die durch den E/A-Server 110 in Regelkreise eingeführt wird. Zur Veranschaulichung kann in einem Beispiel das Überwachungsgerät 202 ein Steuergerät 102a sein, das die Aktionen eines Ventils 108a steuert, indem es alle 500 Millisekunden (ms) über den E/A-Server 110 eine Nachricht an das Ventil 108a sendet. Das Steuergerät 102a (z. B. das Überwachungsgerät 202) kann einen RTT-Test auf dem E/A-Server 110 (z. B. dem Ziel- oder überwachten Gerät 205) durchführen, und die gemessene RTT des RTT-Tests kann 100 ms betragen. Somit kann die Kommunikationsverzögerung, die durch den E/A-Server 110 in den Regelkreis (z.

B. den Regelkreis mit dem Steuergerät 102a, dem E/A-Server 110 und dem Ventil 108a) eingeführt wird, 100 ms betragen. Dementsprechend kann die Gesamtzeit, die das Steuergerät 102a zum Empfangen einer Eingabe vom E/A-Server 110, zum Berechnen einer neuen Ventilstellung und zum Ansteuern der neuen Ventilstellung über ein entsprechendes Signal an das Ventil 108a benötigt, aufgrund der durch den E/A-Server 110 eingeführten Kommunikationsverzögerung um zusätzliche 100 ms verzögert werden.

[0051] Der Betrag der durch den E/A-Server 110 eingeführten Kommunikationsverzögerung (z. B. die gesamte oder durchschnittliche gemessene RTT, z. B. wie vorstehend beschrieben) kann in einem Parameter (z. B. einem „Kommunikationsverzögerungsparameter des E/A-Servers“) innerhalb des Steuerungssystems 100 gespeichert und dazu verwendet werden, die Operationen von Regelkreisen abzustimmen oder zu verfeinern, die den E/A-Server verwenden, um die Kommunikationsverzögerung zu berücksichtigen. Zum Beispiel kann in dem beispielhaften Regelkreis, der das Steuergerät 102a, den E/A-Server 110 und das Ventil 108a einschließt, eine Angabe des Werts des Kommunikationsverzögerungsparameters des E/A-Servers im Feld „Zeit bis Anwendung“ enthalten sein, das in dem Steuersignal enthalten ist (z. B. der Ausgang des Steuergeräts 102a), das an das Ventil 108a übermittelt wird, um das Verhalten des Ventils 108a zu steuern. Somit beinhaltet in diesem Beispiel das an das Ventil 108a gesendete Steuer- oder Ausgangssignal sowohl eine Angabe der neuen/aktualisierten Zielventilstellung (wie z. B. durch das Steuerventil 102a bestimmt) als auch das Feld „Zeit bis Anwendung“ einschließlich der Angabe des Wertes des Kommunikationsverzögerungsparameters des E/A-Servers. Dementsprechend gibt der Inhalt des Felds „Zeit bis Anwendung“ die Zeit an, zu der das Ventil 108a auf die angegebene neue/aktualisierte Zielventilstellung einwirken soll, z. B. die Zeit, zu der die neue/aktualisierte Zielventilstellung am Ventil 108a wirksam werden soll. Somit berücksichtigt die Zeitsteuerung von Positionsänderungen des Ventils 108a die Kommunikationsverzögerung, die durch den E/A-Server 110 eingeführt wird.

[0052] In einer beispielhaften Implementierung ist das Ventil 108a ein drahtloses Ventil 108a und das Steuer- oder Ausgangssignal, das durch das Steuergerät 102a zum Ansteuern des Ventils 108a erzeugt wird, kann ein WirelessHART-Befehl (oder eine andere Art von drahtlosem Signal) sein, einschließlich einer Angabe der neuen/aktualisierten Zielventilstellung und einschließlich eines Felds „Zeit bis Anwendung“, das mit einer Angabe des Werts des Parameters für die Kommunikationsverzögerung des E/A-Servers aufgefüllt wird. Somit kann das Ventil 108a beim Empfangen des von dem Steuergerät

102a erzeugten Befehls das Einwirken auf die neue/aktualisierte Zielventilstellung in Übereinstimmung mit dem Feldwert „Zeit bis Anwendung“ verzögern. Außerdem kann das Ventil 108a seinen READBACK-(Rücklese-)Parameter mit der neuen/aktualisierten Zielventilstellung auffüllen, die um den Feldwert „Zeit bis Anwendung“ verzögert ist. Somit spiegelt der Parameterwert READBACK die Zielventilstellung unabhängig von der Kommunikationsverzögerung wider. Wenn der Parameterwert READBACK beginnt, sich im Laufe der Zeit stärker zu verändern, können folglich die größeren Variationen darauf hinweisen, dass sich das Ventil 108a anders verhält, und sie müssen möglicherweise bewertet werden.

[0053] In einigen Situationen kann ein drahtloses Gateway (über das der WirelessHART-Befehl oder ein anderer Typ von drahtlosem Befehl an das drahtlose Ventil 108a übertragen wird) den Feldwert „Zeit bis Anwendung“ dazu verwenden, ein gemeinsames Zeitgefühl zwischen Geräten des drahtlosen Netzwerks aufrechtzuerhalten, z. B. durch Verteilen oder Umverteilen von Zeitschlitzten unter den Geräten des drahtlosen Netzwerks basierend auf dem Feldwert „Zeit bis Anwendung“. Da der Parameterwert für die Kommunikationsverzögerung des E/A-Servers basierend auf einer statistisch signifikanten Anzahl von RTT-Messungen bestimmt wird, ist besonders zu beachten, dass Änderungen des Werts auf Änderungen der Belastung des E/A-Servers 110 und/oder Änderungen beim Ressourcenkonflikt am E/A-Server 110 hinweisen können. Da der Feldwert „Zeit bis Verzögerung“ basierend auf dem Parameterwert für die Kommunikationsverzögerung des E/A-Servers bestimmt wird, kann das Bereitstellen des Feldwerts „Zeit bis Verzögerung“ an die Stellelemente (z. B. das Ventil 108a) ermöglichen, dass die Stellelemente auf die sich ändernden Bedingungen des E/A-Servers 110 ansprechen. Das heißt, das Verhalten der Stellelemente (z. B. des Ventils 108a) kann sich automatisch einstellen oder anpassen, um Änderungen der Belastung und/oder Ressourcennutzung am E/A-Server 110 zu berücksichtigen. Da Änderungen des Werts der Kommunikationsverzögerung des E/A-Servers ferner, und vorteilhafterweise, auf Änderungen in der Leistung des E/A-Servers 110 hinweisen, können der Wert des E/A-Server-Kommunikationsverzögerungswerts und seine Variationen auf einfache Weise überwacht werden, um eine Verschlechterung oder Leistungsprobleme des E/A-Servers 110 zu erfassen.

[0054] Außerdem können in einigen Implementierungen des Nachrichtenflusses 200 und/oder des Nachrichtenflusses 220 RTTs, die von verschiedenen Komponenten 102a-102n, 105a-105m und 110 der Prozessregelkreise beobachtet werden, dazu verwendet werden, die Auslastung von Rechenressourcen zu überwachen und die Auslastung von

Rechenressourcen innerhalb der Prozessregelkreise und/oder innerhalb des Prozesssteuerungssystems zu bestimmen. Die Auslastung von Rechenressourcen kann zum Beispiel durch einen oder mehrere Standard-API-Aufrufe an ein zugrunde liegendes Betriebssystem des Ziel- oder überwachten Geräts 205 gemessen werden, und die über den einen oder die mehreren Standard-API-Aufrufe erhaltenen Informationen über die Auslastung von Rechenressourcen können in einer Heartbeat-Rücknachricht HBn oder Antwort 210 enthalten sein, die durch das Ziel- oder überwachte Gerät 205 an das Überwachungsgerät 202 gesendet wird. Wenn das Ziel- oder überwachte Gerät 205 der E/A-Server 110 oder ein logisches Steuergerät 105a-105m ist, können andere Informationen über die Auslastung von Rechenressourcen des E/A-Servers 110 (z. B. Netzwerkbandbreite, CPU-Verfügbarkeit oder -Nutzung, Speicherverfügbarkeit oder -nutzung, usw.) zusätzlich oder alternativ von dem Ziel- oder überwachten Gerät 205 in der Heartbeat-Rücknachricht HBn 210 an das Überwachungsgerät 202 gesendet werden. Die Auslastung von Rechenressourcen kann auf die Gesamtkapazität der Systemrechenressourcen hinweisen, die aktuell verbraucht werden. Eine Erhöhung der Auslastung kann auf eine Verschlechterung der Gesamtleistung des Systems hinweisen.

[0055] Fig. 3 veranschaulicht ein vereinfachtes Blockdiagramm einer beispielhaften Komponente 300 eines Prozessregelkreises. Zum Beispiel kann die Komponente 300 eines der Steuergeräte 102a-102n, 105a-105m oder das E/A-Gateway oder der Server 110 sein, oder die Komponente 300 kann die Komponente 202 oder die Komponente 205 von Fig. 2A und Fig. 2B sein. Zur Vereinfachung der Veranschaulichung und nicht zum Zweck der Einschränkung wird die Komponente 300 unter gleichzeitiger Bezugnahme auf Fig. 1, Fig. 2A und Fig. 2B beschrieben.

[0056] Wie in Fig. 3 gezeigt, beinhaltet oder verwendet die Komponente 300 einen oder mehrere Prozessoren 302, einen oder mehrere Speicher 305 und eine oder mehrere Netzwerkschnittstellen 308, die die Komponente 300 mit einer Datenautobahn oder Kommunikationsverbindung des Prozesssteuerungssystems, wie beispielsweise der Datenautobahn 115, kommunikativ verbinden. In Ausführungsformen, in denen die Komponente 300 ein logisches Steuergerät 105a-105m ist, können die Prozessoren 302, die Speicher 305 und die Netzwerkschnittstellen 308, die durch die Komponente 300 verwendet werden, Ressourcen sein, die von mehreren logischen Steuergeräten gemeinsam genutzt werden. Zum Beispiel können die Prozessoren 302, Speicher 305 und Netzwerkschnittstellen 308 einer logischen Steuergerätekomponente 300 durch einen Host-Server 118a, 118b bereitgestellt werden, auf dem die

logische Steuergerätekomponente 300 und andere logische Steuergeräte ausgeführt werden.

[0057] Die Netzwerkschnittstellen 308 ermöglichen es der Komponente 300, über zwei separate Kanäle der Datenautobahn mit der Zielkomponente zu kommunizieren. Einer der Kanäle 310 ist ein Kommunikationskanal 310, über den die Komponente 300 Prozesssteuerungs- und Signalisierungsnachrichten an und von anderen Schleifenkomponenten während der Laufzeitausführung des Regelkreises sendet und empfängt, um dadurch mindestens einen Abschnitt eines industriellen Prozesses zu steuern. Der andere Kanal 312 ist ein Diagnosekanal, über den die Komponente 300 Heartbeat-Nachrichten (wie beispielsweise die Heartbeat-Nachrichten HBn 208, 210, 225) zu und von der Zielkomponente des Regelkreises (wie der Komponente 205) zum Zweck des Überwachens der Zielkomponente auf Leistungsver schlechterung und Erfassen einer Leistungsver schlechterung der Zielkomponente sendet. Der Kommunikationskanal 310 kann ein dedizierter Kanal sein oder er kann zum Beispiel von mehreren Komponenten und Geräten gemeinsam genutzt werden. In einer Ausführungsform kann der Diagnosekanal 312 ein dedizierter Kanal sein, der ausschließlich durch die Komponente 300 und durch ihre entsprechende Zielkomponente verwendet wird, um ausschließlich die Heartbeat-Nachrichten HBn 208, 210, 225 und optional andere Arten von Diagnose-nachrichten zwischen ihnen zu übermitteln. Zum Beispiel kann die Komponente 300 verhindern, dass für die Laufzeitprozesssteuerung verwendete Kommunikations- und Steuerungsnachrichten über den Diagnosekanal 312 gesendet/empfangen werden.

[0058] Die Komponente 300 beinhaltet oder verwendet auch einen Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 und ein oder mehrere Prozessregelkreismodule 318. Der Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 und das Prozessregelkreismodul 318 können in Ausführungsformen jeweilige Sätze von computerausführbaren Anweisungen enthalten, die in den Speichern 305 gespeichert sind und durch den einen oder die mehreren Prozessoren 302 ausführbar sind. In einigen Ausführungsformen kann mindestens ein Abschnitt des Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierers 315 unter Verwendung von Firmware und/oder Hardware der Komponente 300 implementiert werden. Im Allgemeinen arbeiten der Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 und das Prozessregelkreismodul 318 zusammen, um eingehende und ausgehende Prozesssteuerungsnachrichten (z. B. sowohl Steuerungs- als auch Signalisierungsnachrichten) zu verarbeiten, die durch die Komponente 300 über den Kommunikationskanal 312 empfangen und gesendet werden. Es wird darauf hingewiesen, dass, obwohl Fig. 3 den Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 und das Prozessregelkreismo-

dul 318 als separate Module oder Einheiten veranschaulicht, in einigen Ausführungsformen der Komponente 300 der Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 und das Prozessregelkreismodul 318 als ein integrales Modul oder eine integrale Einheit implementiert sein können.

[0059] In einer beispielhaften Konfiguration, in der die Komponente 300 ein Steuergerät 102a-102n, 105a-105m ist, empfängt die Komponente 300 eine Steuerungsnachricht über den Kommunikationskanal 312 und die Netzwerkschnittstelle 308 und der Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 verarbeitet die Steuerungsnachricht, um die Nutzlast oder den Inhalt der Nachricht für das Prozessregelkreismodul 318 zu erhalten. Das Prozessregelkreismodul 318 beinhaltet eine oder mehrere Steuer Routinen oder Steuerlogik, mit denen die Komponente 300 speziell konfiguriert ist. Die Steuer Routinen oder die Steuerlogik verarbeiten den Inhalt der Nachricht als Eingang (und in einigen Fällen in Verbindung mit anderen Eingängen), um ein Steuersignal zu erzeugen, das durch den Nachrichteninterpretierer 315 verpackt und von der Komponente 300 über die Netzwerkschnittstellen 308 und den Kommunikationskanal 310 an eine Empfängerkomponente oder ein Empfängergerät übertragen wird. In Ausführungsformen, in denen die Komponente 300 ein logisches Steuergerät 105a-105m ist, können der Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 und das Prozessregelkreismodul 318, die durch die Komponente 300 verwendet werden, Ressourcen sein, die von mehreren logischen Steuergeräten gemeinsam genutzt werden. Zum Beispiel können der Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 und das Prozessregelkreismodul 318 einer logischen Steuergerätekomponente 300 durch einen Host-Server 118a, 118b bereitgestellt werden, auf dem die logische Steuergerätekomponente 300 ausgeführt wird. Der Host-Server 118a, 118b kann mehr oder weniger Instanzen des Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierers 315 und/oder des Prozessregelkreismoduls 318 aktivieren/deaktivieren, um zum Beispiel seine gehosteten logischen Steuergeräte nach Bedarf zu bedienen.

[0060] In einer anderen beispielhaften Konfiguration, in der die Komponente 300 das E/A-Gateway 110 ist, empfängt die Komponente 300 eine Steuerungsnachricht oder ein Signal, das an eine Prozessregelkreis-komponente oder ein -gerät weitergeleitet werden soll, und der Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 verarbeitet die Nachricht oder das Signal, um ein Empfängergerät der Nachricht/des Signals zu bestimmen. Das Empfängergerät kann zum Beispiel ein Feldgerät 108a-108p oder ein Steuergerät 102a-102b, 105a-105m sein. Das Prozessregelkreismodul 318 beinhaltet Schalt- oder Weiterleitungslogik oder -routinen, die optional die/-das Prozesssteuerungsnachricht/-signal in ein For-

mat umwandeln oder transformieren, das zur Übertragung an das Empfängergerät geeignet ist, und die Nachricht/das Signal an das Empfängergerät übertragen. Wenn zum Beispiel die Komponente 300 eine Steuerungsnachricht der physischen oder logischen Steuerung 102a-102n, 105a-105m über den Kommunikationskanal 310 der Datenautobahn 115 empfängt und die Steuerungsnachricht an die andere der physischen oder logischen Steuerung 102a-102n, 105a-105m übermittelt werden soll, können der Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierer 315 und/oder das Prozessregelkreismodul 318 die Steuerungsnachricht lediglich an seine Empfängersteuerung 102a-102n, 105a-105m weiterleiten, z. B. über den Kommunikationskanal 310. In einem anderen Beispiel, in dem die Komponente 300 eine Steuerungsnachricht von der physischen oder logischen Steuerung 102a-102n, 105a-105m über den Kommunikationskanal 310 empfängt und die Steuerungsnachricht an ein Feldgerät 108a-108p übermittelt werden soll, kann das Prozessregelkreismodul 318 die Nachricht in ein Signal umwandeln, das über eine jeweilige Verbindung 112a-112p an das Empfängerfeldgerät 108a-108p übermittelbar ist, und das Signal über die jeweilige Verbindung 112a-112p an das Empfängerfeldgerät 108a-108p weiterleiten. In noch einem anderen Beispiel, in dem die Komponente 300 ein Signal von einem der Feldgeräte 108a-108p über eine jeweilige Verbindung 112a-112p empfängt und die Signalinhalte an ein Steuergerät 102a-102n, 105a-105m übermittelt werden sollen, kann das Prozessregelkreismodul 318 die Signalinhalte in eine Steuerungsnachricht umwandeln und die Steuerungsnachricht über den Kommunikationskanal 310 an das Empfängersteuergerät 102a-102n, 105a-105m übertragen. Es ist zu beachten, dass, da das E/A-Gateway 110 in der Regel auf einer Rechenplattform implementiert ist, das E/A-Gateway 110 mehrere Instanzen des Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierers 315 und/oder des Prozessregelkreismoduls 318 unterstützen kann. Zum Beispiel kann das E/A-Gateway 110 nach Bedarf mehr oder weniger Instanzen des Prozesssteuerungsnachrichteninterpretierers 315 und/oder des Prozessregelkreismoduls 318 aktivieren/deaktivieren.

[0061] In einigen Ausführungsformen ist die Komponente 300 eine Verschlechterungserfassungskomponente, die eine Zielkomponente des Prozessregelkreises auf eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens überwacht und eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens der Zielkomponente erfasst. Die Verschlechterungserfassungskomponente 300 und die Zielkomponente sind in einem gleichen Prozessregelkreis enthalten und sind als solche beide Komponenten des Prozessregelkreises. Zum Beispiel kann die Verschlechterungserfassungskomponente 300 die Komponente 202 von **Fig. 2A** und **Fig. 2B** sein. In solchen Ausführungsfor-

men beinhaltet die Komponente 300 einen Verschlechterungsdetektor 320 und einen Verschlechterungsspeicher 322, die in dem einen oder den mehreren Speichern 305 gespeichert sind. Der Verschlechterungsdetektor 320 kann computerausführbare Anweisungen einschließen, die durch den einen oder die mehreren Prozessoren 302 ausführbar sind, um die Nachrichtenflüsse 200, 220 und entsprechende Aktionen durchzuführen, wie vorstehend für die Komponente 202 in **Fig. 2A** und **Fig. 2B** beschrieben. Zusätzlich oder alternativ kann der Verschlechterungsdetektor 320 durch den einen oder die mehreren Prozessoren 302 ausführbar sein, um mindestens einen Abschnitt des Verfahrens 400 zum Erfassen einer Verschlechterung von Schleifenkomponenten durchzuführen, was nachstehend ausführlicher erörtert wird. Im Allgemeinen ist der Verschlechterungsdetektor 320 dazu konfiguriert, Heartbeat-Nachrichten zu und von einer Zielkomponente (z. B. der Komponente 205) über den Diagnosekanal 312 zu senden und zu empfangen, um die Zielkomponente zu überwachen und Gründe für ein Nachlassen von deren Ansprechverhalten außerhalb ihrer normalen, akzeptablen Betriebsgrenzen, z. B. Verschlechterung der Zielkomponente, zu erfassen und zu diagnostizieren. In einigen Ausführungsformen ist der Verschlechterungsdetektor 320 dazu konfiguriert, das Bedienungspersonal über eine erfasste Verschlechterung der Zielkomponente zu benachrichtigen, eine oder mehrere Abschwächungsmaßnahmen zu bestimmen und/oder mindestens eine der Abschwächungsmaßnahmen einzuleiten, wie an anderer Stelle in dieser Offenbarung beschrieben.

[0062] Zusätzlich kann in Ausführungsformen, in denen die Komponente 300 eine Verschlechterungserfassungskomponente ist, der Verschlechterungsdetektor 320 dazu konfiguriert sein, die normalen, standardmäßigen oder akzeptablen Betriebsgrenzen der Zielkomponente zu bestimmen, z. B. durch Bestimmen einer durchschnittlichen Umlaufzeit (RTT) für eine vorgegebene Anzahl von Heartbeat-Nachrichten, die an die Zielkomponente gesendet und von dieser empfangen werden, und entsprechender Standardabweichungen, wie beispielsweise auf eine Weise, wie sie vorstehend für **Fig. 2A** und **Fig. 2B** beschrieben wurden. Der Verschlechterungsdetektor 320 speichert die bestimmte durchschnittliche RTT und entsprechende Standardabweichungen zum Beispiel in dem Verschlechterungserfassungsdatenspeicher 322 und verwendet die gespeicherten Daten, um die Verschlechterung von Zielkomponenten zu überwachen und zu erfassen. Das Berechnen oder Bestimmen der durchschnittlichen RTT und der entsprechenden Standardabweichung kann durch die Komponente 300 automatisch (z. B. periodisch beim Auftreten bestimmter Ereignisse wie Neukonfiguration, Softwareaktualisierung usw. der Zielkomponente und so

weiter) und/oder bei einem manuellen oder Benutzerbefehl durchgeführt werden. Zum Beispiel kann das Bedienungspersonal die Komponente 300 anweisen, eine durchschnittliche RTT und Standardabweichung in Verbindung mit der Zielkomponente zu verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus der Zielkomponente, bei Abschluss eines Software-Upgrades an der Zielkomponente, bei Abschluss einer Rekonfiguration der Zielkomponente, bei Abschluss der Wartung der Komponente, bei verschiedenen Systemlasten und Systemkonfigurationen usw. zu bestimmen. Der Verschlechterungsdetektor 320 kann mehrere durchschnittliche RTTs und Standardabweichungen für verschiedene Lasten, Konfigurationen und Szenarien, falls gewünscht, bestimmen und speichern (z. B. im Verschlechterungsdatenspeicher 322).

[0063] Natürlich kann die Komponente 300 zusätzlich andere Anweisungen 325 und andere Daten 328 beinhalten, die in ihren Prozesssteuerungs- und/oder Verschlechterungserfassungsoperationen und/oder in ihren anderen Operationen zu verwenden sind.

[0064] Ferner sei darauf hingewiesen, dass die Komponente 300 in einigen Fällen eine Verschlechterung von Komponenten von mehreren Zielkomponenten erfassen kann. Zum Beispiel kann das E/A-Gateway 110 dazu konfiguriert sein, eine Verschlechterung von mehreren Steuerungen 102a-102n, 105a-105m zu überwachen und zu erfassen.

[0065] Darüber hinaus ist anzumerken, dass es nicht notwendig ist, dass alle Komponenten eines Prozessregelkreises dazu konfiguriert sind, eine Verschlechterungserfassung durchzuführen. In **Fig. 1** zum Beispiel sind die Komponenten 102a, 105g, 105h und 110 durch das eingekreiste DD als für die Verschlechterungserfassung konfiguriert gezeigt, und sie sind als solche jeweils dazu konfiguriert, dass sie jeweilige Instanzen des Verschlechterungsdetektors 320 und des Verschlechterungserfassungsspeichers 322 beinhalten. Andererseits sind die Komponenten 102n, 105a und 105h als nicht für die Verschlechterungserfassung konfiguriert gezeigt, und als solche kann jede der Komponenten 102n, 105a und 105h jeweilige Instanzen des Verschlechterungsdetektors 320 und des Verschlechterungserfassungsspeichers 322 weglassen oder deaktivieren.

[0066] In einigen Ausführungsformen kann die Komponente 300 zusätzlich oder alternativ eine Zielkomponente des Prozessregelkreises sein, die von einer anderen Verschlechterungserfassungskomponente des Prozessregelkreises auf Leistungsver schlechterung überwacht wird. Zum Beispiel kann die Komponente 300 die Komponente 205 von **Fig. 2A** und **Fig. 2B** sein. In diesen Ausführungsformen kann

die Komponente 300 zusätzlich eine Verschlechterungserfassungskomponente sein oder nicht, das heißt, die Komponente 300 kann den Verschlechterungsdetektor 320 und die Verschlechterungserfassungsdaten 322 beinhalten oder verwenden, oder nicht. In jedem Fall empfängt die Komponente 300 in Ausführungsformen, in denen die Komponente 300 eine Zielkomponente ist, eine Heartbeat-Nachricht HBn 208 von der Verschlechterungserfassungskomponente über den Diagnosekanal 312. Beim Empfang der Heartbeat-Nachricht HBn 208 verarbeitet die Komponente 300 die empfangene Heartbeat-Nachricht HBn 208 über den Prozesssteuerungsnachrichteninterpreter 315 und leitet die Heartbeat-Nachricht HBn 210, 225 über den Diagnosekanal 312 an die sendende Komponente weiter oder gibt sie anderweitig an diese zurück. Insbesondere gibt die Komponente 300 über den Prozesssteuerungsnachrichteninterpreter 315 die Heartbeat-Nachricht HBn 210, 225 mit einer schnellsten Rate zurück, mit der die Komponente 300 dazu konfiguriert ist, Prozesssteuerungswerte zu melden oder zu übertragen. Wenn die Komponente 300 zum Beispiel das E/A-Gateway 110 ist und das E/A-Gateway dazu konfiguriert ist, Prozesssteuerungswerte mit einer maximalen Rate von 50 ms zu melden oder zu übertragen, gibt die Komponente 300 die Heartbeat-Nachricht HBn 210, 225 an die sendende Komponente mit einer Rate von 50 ms zurück.

[0067] Fig. 4 zeigt ein Blockdiagramm eines Verfahrensbeispiels 400 zum Erfassen einer Verschlechterung in einer Komponente eines Prozessregelkreises, die in einem dezentralen Prozesssteuerungssystem (DCS) einer physischen industriellen Prozessanlage enthalten ist, wie beispielsweise dem in Fig. 1 dargestellten Abschnitt 100 des Prozesssteuerungssystems. In Ausführungsformen können unterschiedliche Instanzen von mindestens einem Abschnitt des Verfahrens 400 jeweils durch eine oder mehrere Steuergeräte 102a-102n, 105a-105m und/oder durch das E/A-Gateway oder den Server 110 durchgeführt werden. Zusätzlich oder alternativ kann mindestens ein Abschnitt des Verfahrens 400 durch die Komponente 202 von Fig. 2A und Fig. 2B oder durch die Komponente 300 von Fig. 3 durchgeführt werden. Zum Beispiel kann mindestens ein Abschnitt des Verfahrens 400 durch den Verschlechterungsdetektor 320 von Fig. 300 durchgeführt werden. In Ausführungsformen kann das Verfahren 400 zusätzliche oder alternative Blöcke einschließen, die sich von den in dieser Offenbarung erörterten unterscheiden.

[0068] Bei einem Block 402 umfasst das Verfahren 400 zum Erfassen einer Verschlechterung von Komponenten in einem Prozessregelkreis an einer ersten Komponente des Prozessregelkreises das sequenzielle Übertragen von mehreren Heartbeat-Nachrichten über einen Diagnosekanal an eine zweite Kom-

ponente des Prozessregelkreises. Die erste Komponente und die zweite Komponente des Prozessregelkreises sind sowohl über den Diagnosekanal als auch über einen Kommunikationskanal, wie beispielsweise den Diagnosekanal 312 und den Kommunikationskanal 310 von Fig. 3, kommunikativ verbunden. Zum Beispiel kann die erste Komponente die Komponente 202 von Fig. 2A und Fig. 2B sein und sie kann als solche das E/A-Gateway 110 oder eine der Prozesssteuerungen 102a-102n, 105a-105m sein. Dementsprechend kann, wenn die erste Komponente das E/A-Gateway oder der Server 110 ist, die zweite Komponente eine der Prozesssteuerungen 102a-102n, 105a-105m sein, und wenn die erste Komponente eine der Prozesssteuerungen 102a-102n, 105a-105m ist, ist die zweite Komponente das E/A-Gateway oder der Server 110. Zum Beispiel kann die zweite Komponente die Komponente 205 von Fig. 2A und Fig. 2B sein.

[0069] Bei Empfang jeder von der ersten Komponente übertragenen Heartbeat-Nachricht durch die zweite Komponente leitet die zweite Komponente die Heartbeat-Nachricht über den Diagnosekanal an die erste Komponente weiter oder gibt sie auf andere Weise zurück. Dementsprechend beinhaltet das Verfahren 400 bei einem Block 405 das Empfangen mindestens einer Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten an der ersten Komponente von der zweiten Komponente über den Diagnosekanal, wobei mindestens die Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten durch die zweite Komponente bei entsprechendem Empfang an der zweiten Komponente an die erste Komponente zurückgegeben wurde.

[0070] Bei einem Block 408 beinhaltet das Verfahren 400 das Bestimmen einer durchschnittlichen Antwortzeit oder Umlaufzeit (Round Trip Time, RTT) der zweiten Komponente durch die erste Komponente, basierend auf jeweiligen RTTs, von mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten. Die jeweiligen RTTs können basierend auf jeweiligen Sende- und Empfangszeiten (z. B. jeweilige TS 1 s und TS2s, wie zuvor in Bezug auf Fig. 2A, Fig. 2B erörtert) mindestens der Teilmenge der mehreren durch die erste Komponente empfangenen Heartbeat-Nachrichten bestimmt werden. Eine minimale Anzahl von Nachrichten, die mindestens in der empfangenen Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten enthalten sind und verwendet werden, um die durchschnittliche Antwortzeit der zweiten Komponente zu bestimmen, kann vorkonfiguriert und optional einstellbar sein. Zusätzlich kann das Verfahren 400 bei Block 408 das Bestimmen einer Standardabweichung, die der durchschnittlichen RTT der zweiten Komponente entspricht, basierend auf den RTTs mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten beinhalten.

[0071] In Ausführungsformen kann das Verfahren 400 zum Beispiel das Speichern der durchschnittlichen Antwortzeit oder der durchschnittlichen RTT der zweiten Komponente und der Standardabweichung in der ersten Komponente beinhalten. Zusätzlich oder alternativ kann das Verfahren 400 das Bestimmen und Speichern eines akzeptablen Bereichs von RTTs für die zweite Komponente beinhalten. Zum Beispiel kann die untere Grenze des akzeptablen Bereichs von RTTs für die zweite Komponente die durchschnittliche RTT minus der Standardabweichung sein, und die obere Grenze des akzeptablen Bereichs von RTTs kann die durchschnittliche RTT plus der Standardabweichung sein. In einigen Ausführungsformen kann das Verfahren 400 zusätzlich oder alternativ das Speichern eines Schwellenwerts, der einer Periodizität von einer Modul-Scheduler-Ausführung entspricht (z. B. einen periodizitätsbasierten Schwellenwert), an der ersten Komponente beinhalten. Der periodizitätsbasierte Schwellenwert kann zum Beispiel basierend auf einer Konfiguration der zweiten Komponente bestimmt werden, und alle gemessenen RTTs, die den periodizitätsbasierten Schwellenwert überschreiten, können inakzeptable RTTs der zweiten Komponente sein.

[0072] In einem Block 410 zu einem bestimmten Zeitpunkt, nachdem die durchschnittliche RTT und die entsprechende Standardabweichung und/oder der periodizitätsbasierte Schwellenwert bestimmt wurden (Block 408), beinhaltet das Verfahren 400 das Bestimmen einer RTT einer anderen Heartbeat-Nachricht, die nachfolgend, z. B. auf eine in Bezug auf **Fig. 2A**, **Fig. 2B** erörterte Weise, durch die erste Komponente übertragen, durch die zweite Komponente zurückgegeben und durch die erste Komponente empfangen wird. Bei Block 412 bestimmt das Verfahren 400, ob die RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht zwischen der oberen Grenze und der unteren Grenze des Bereichs akzeptabler RTTs für die zweite Komponente liegt oder nicht, z. B. innerhalb von plus oder minus einer Standardabweichung der durchschnittlichen RTT für die zweite Komponente, und/oder ob die RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht den periodizitätsbasierten Schwellenwert der zweiten Komponente überschreitet oder nicht. Wenn die RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht durch eines oder beide der Akzeptabilitätskriterien als akzeptable RTT bestimmt wird (z. B. durch den NEIN-Zweig von Block 412), fährt das Verfahren 400 mit dem Übertragen einer nächsten Heartbeat-Nachricht (Block 415) und dem Bestimmen ihrer jeweiligen RTT (Block 410) fort.

[0073] Wenn das Verfahren 400 andererseits bestimmt, dass die RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht eine inakzeptable RTT für die zweite Komponente ist (z. B. nicht innerhalb von plus oder

minus einer Standardabweichung der durchschnittlichen RTT liegt und/oder den periodizitätsbasierten Schwellenwert überschreitet, wie durch den JA-Zweig von Block 412 dargelegt), beinhaltet das Verfahren 400 das Erfassen einer Verschlechterung der zweiten Schleifenkomponente (Block 418) basierend auf der außerhalb des Wertebereichs befindlichen RTT und entsprechendes Warnen eines Benutzers wegen der Verschlechterung, das Bestimmen einer oder mehrerer Aktionen, um die Verschlechterung abzuschwächen, und/oder das Einleiten mindestens einer der Abschwächungsmaßnahmen (Block 420), wie beispielsweise auf eine vorstehend beschriebene Weise.

[0074] Somit können unter Verwendung der hierin beschriebenen Techniken zum Erfassen von Verschlechterung von Schleifenkomponenten Verschlechterungen in Steuergeräten und im E/A-Gateway aus Änderungen ihrer jeweiligen Leistungsreaktionsfähigkeit und/oder Trends bei derartigen Änderungen bestimmt werden. Somit ist das Prozesssteuerungssystem in der Lage, das Bedienungspersonal über eine Verschlechterung von Komponenten zu benachrichtigen, bevor die Verschlechterung zum Auftreten eines Fehlers oder eines katastrophalen Ereignisses führt. Tatsächlich ist das Prozesssteuerungssystem in der Lage, das Bedienungspersonal über eine Verschlechterung von Komponenten früher zu benachrichtigen, als diese durch bekannte Diagnoseprozesse erfasst werden kann, da bekannte Diagnoseprozesse in der Regel derart geplant werden, dass sie mit Geschwindigkeiten erfolgen, laufen und reagieren, die langsamer und/oder von niedrigerer Priorität als diejenigen von Echtzeit-Prozesssteuerungs- und Kommunikationsnachrichten sind. Ferner kann das Prozesssteuerungssystem in einigen Ausführungsformen dem Bedienungspersonal eine oder mehrere Abschwächungsmaßnahmen zum Angehen der erfassten Verschlechterung empfehlen oder vorschlagen und es kann in einigen Fällen automatisch eine oder mehrere der Abschwächungsmaßnahmen einleiten, um die erfasste Verschlechterung anzugehen. Daher stellen die hierin beschriebenen Techniken vorteilhafterweise ein System zur Früherfassung von Verschlechterungen mit einem optionalen entsprechenden automatischen System zur Abschwächung von Verschlechterungen bereit.

[0075] Weiterhin vorteilhafterweise können die hierin beschriebenen Techniken dazu verwendet werden, den Lastausgleich über verschiedene Regelkreiskomponenten eines computerisierten Prozessregelsystems zu standardisieren. Zum Beispiel können die Belastung der Steuerlogik in Steuergeräten, die Melderate des E/A-Gateways, die Anzahl der von E/A-Gateways bedienten Clients, die Belastung von physischen Rechenplattformen, die logische Steuergeräte unterstützen, und die

Belastung der physischen Rechenplattform(en), die das E/A-Gateway unterstützen, basierend auf dem Vergleich gemessener RTTs mit durchschnittlichen RTTs angepasst (z. B. automatisch angepasst) werden. Weiterhin vorteilhafterweise können die Messungen bezüglich Determinismus-/Nicht-Determinismus von Schleifenkomponenten-RTTs als Leistungs- oder Zustandsmetrik für verschiedene Schleifenkomponenten, Prozessregelkreise und sogar das Prozesssteuerungssystem selbst verwendet werden und sie können als solche vorteilhafterweise Mechanismen zum Überwachen und Bewerten der Gesamtleistung, des Zustands und der Auslastung der für verschiedene Schleifenkomponenten, Prozessregelkreise und sogar des Prozesssteuerungssystems selbst als Ganzes bereitstellen.

[0076] Wenn beliebige der in dieser Patentschrift beschriebenen Anwendungen, Module usw. in Software implementiert sind, können sie in jedem materiellen, nichtflüchtigen, computerlesbaren Speicher, wie z. B. auf einer Magnetplatte, einer Laserplatte, einem Festkörperspeicher, einem Molekularspeichergerät oder einem anderen Speichermedium, in einem RAM oder ROM eines Computers oder Prozessors usw. als Anweisungen gespeichert werden. Obwohl die hierin offenbarten Beispielsysteme neben anderen Komponenten auch als auf Hardware ausgeführte Software und/oder Firmware beinhalten offenbart sind, ist zu beachten, dass solche Systeme lediglich der Veranschaulichung dienen und nicht als einschränkend zu betrachten sind. Zum Beispiel wird in Betracht gezogen, dass beliebige oder alle dieser Hardware-, Software- und Firmware-Komponenten ausschließlich in Hardware, ausschließlich in Software oder in einer beliebigen Kombination von Hardware und Software ausgeführt sein können. Dementsprechend werden die hier beschriebenen beispielhaften Systeme zwar als in Software implementiert beschrieben, die auf einem Prozessor eines oder mehrerer Rechengерäte ausgeführt wird, aber ein Durchschnittsfachmann wird leicht erkennen, dass die angegebenen Beispiele nicht die einzige Möglichkeit sind, derartige Systeme zu implementieren.

[0077] Während also die vorliegende Erfindung anhand konkreter Beispiele beschrieben wurde, die nur zur Veranschaulichung und nicht zur Beschränkung der Erfindung gedacht sind, wird es für einen Durchschnittsfachmann offensichtlich sein, dass Änderungen, Ergänzungen oder Löschungen an den offenbarten Ausführungsformen vorgenommen werden können, ohne vom Geist und Umfang der Erfindung abzuweichen.

[0078] Die besonderen Merkmale, Strukturen und/oder Eigenschaften einer bestimmten Ausführungsform können auf jede geeignete Art und Weise und/oder in jeder geeigneten Kombination mit einer

und/oder mehreren anderen Ausführungsformen kombiniert werden, einschließlich der Verwendung ausgewählter Merkmale mit oder ohne entsprechende Verwendung anderer Merkmale. Zusätzlich können viele Modifikationen vorgenommen werden, um eine bestimmte Anwendung, Situation und/oder ein bestimmtes Material an den wesentlichen Umfang oder das Wesen der vorliegenden Erfindung anzupassen. Es ist leicht ersichtlich, dass andere Variationen und/oder Modifikationen der hier beschriebenen und/oder dargestellten erfindungsgemäßen Ausführungsformen angesichts der hierin eingeschlossenen Lehren möglich sind und als Teil des Wesens oder Umfangs der vorliegenden Erfindung betrachtet werden sollten. Bestimmte Aspekte der Erfindung wurden hier als beispielhafte Aspekte beschrieben.

Patentansprüche

1. System zum Erfassen einer Verschlechterung von Komponenten in einer industriellen Prozessanlage, wobei das System umfasst:
eine erste Komponente eines Prozesssteuerungssystems der industriellen Prozessanlage, wobei die erste Komponente über einen Diagnosekanal und über einen Kommunikationskanal mit einer zweiten Komponente des Prozesssteuerungssystems kommunikativ verbunden ist, wobei die erste Komponente ein E/A-Gateway oder eine Prozesssteuerung ist, die in mehreren Prozesssteuerungen enthalten ist, die über jeweilige Kommunikationskanäle mit dem E/A-Gateway kommunikativ verbunden sind, wobei das E/A-Gateway die mehreren Prozesssteuerungen mit jeweils einem oder mehreren Feldgeräten kommunikativ verbindet, um dadurch einen industriellen Prozess in einer Prozessanlage zu steuern, wobei die zweite Komponente die andere des E/A-Gateways oder der Prozesssteuerung ist und wobei die erste Komponente dazu konfiguriert ist,
über den Diagnosekanal mehrere Heartbeat-Nachrichten sequenziell an die zweite Komponente zu übertragen;
über den Diagnosekanal mindestens eine Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten zu empfangen, die durch die zweite Komponente bei entsprechendem Empfang an der zweiten Komponente an die erste Komponente zurückgegeben werden;
eine durchschnittliche Antwortzeit der zweiten Komponente basierend auf einer Periodizität einer Modul-Scheduler-Ausführung an der zweiten Komponente und/oder jeweiligen Umlaufzeiten (RTTs) mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten zu bestimmen, wobei die jeweiligen RTTs basierend auf jeweiligen Sende- und Empfangszeiten mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten an der ersten Komponente bestimmt werden; und

eine Verschlechterung der zweiten Komponente zu erfassen, wenn eine RTT einer nachfolgenden Heartbeat-Nachricht, die durch die erste Komponente an die zweite Komponente über den Diagnosekanal übertragen wird, einen Schwellenwert überschreitet, der der durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente entspricht.

2. System nach Anspruch 1, wobei ein Regelkreis des Prozesssteuerungssystems die erste Komponente und die zweite Komponente einschließt und zwischen der ersten Komponente und der zweiten Komponente übermittelte Kommunikations- und Steuerungsnachrichten zum Steuern des industriellen Prozesses über den Regelkreis zwischen der ersten und der zweiten Komponente über den Kommunikationskanal übermittelt werden und nicht zwischen der ersten und der zweiten Komponente über den Diagnosekanal übermittelt werden, und/oder wobei das System ferner eine Routine beinhaltet, die an der zweiten Komponente ausgeführt wird und konfiguriert ist, um: Kommunikations- und Steuerungsnachrichten zu verarbeiten, die an der zweiten Komponente zum Steuern des industriellen Prozesses über den Kommunikationskanal empfangen werden; und jede an der zweiten Komponente über den Diagnosekanal empfangene Heartbeat-Nachricht über den Diagnosekanal an die erste Komponente zurückgeben.

3. System nach Anspruch 1 oder 2, insbesondere nach Anspruch 1, wobei der Diagnosekanal ein dedizierter Diagnosekanal ist, der zur ausschließlichen Verwendung durch die erste Komponente und die zweite Komponente eingerichtet ist.

4. System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, insbesondere nach Anspruch 1, wobei die Verschlechterung der zweiten Komponente erfasst wird, wenn die RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht außerhalb einer gegebenen Anzahl von Standardabweichungen von der durchschnittlichen Antwortzeit liegt, und/oder wobei die gegebene Anzahl von Standardabweichungen eine Standardabweichung ist.

5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, insbesondere nach Anspruch 1, wobei die zweite Komponente dazu konfiguriert ist, empfangene Heartbeat-Nachrichten über den Diagnosekanal mit einer schnellsten Aktualisierungsrate, die durch die zweite Komponente unterstützt wird, zurückzugeben.

6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, insbesondere nach Anspruch 1, wobei die erste Komponente ferner dazu konfiguriert ist, bei Erfassung der Verschlechterung mindestens eines der Folgenden durchzuführen:

Veranlassen, dass eine Warnung oder ein Alarm erzeugt wird, die/der auf die erfasste Verschlechterung hinweist;

Veranlassen, dass eine Last, die der zweiten Komponente entspricht, automatisch neu ausgeglichen wird;

Bestimmen einer Abschwächungsmaßnahme;

Veranlassen, dass die Abschwächungsmaßnahme innerhalb des Prozesssteuerungssystems automatisch durchgeführt wird; oder

Veranlassen, dass an einer Benutzerschnittstelle eine Warnung oder ein Alarm, die/der auf die Abschwächungsmaßnahme hinweist, angezeigt wird.

7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 6, insbesondere nach Anspruch 1, wobei das Prozesssteuerungssystem ferner dazu konfiguriert ist, eine oder mehrere Metriken zu bestimmen, die einen Zustand des Prozesssteuerungssystems als Ganzes angeben, basierend auf jeweiligen durchschnittlichen Antwortzeiten von mindestens einer der mehreren Prozesssteuerungen oder dem E/A-Gateway, und/oder

wobei das Prozesssteuerungssystem ferner dazu konfiguriert ist, eine Zustandsverschlechterung des Prozesssteuerungssystems als Ganzes basierend auf einer Änderung der einen oder der mehreren Metriken zu erfassen, und/oder

wobei die eine oder mehreren Metriken einen Latenzgrad des Prozesssteuerungssystems als Ganzes angeben und die erfasste Zustandsverschlechterung des Prozesssteuerungssystems als Ganzes eine Verringerung einer Verfügbarkeit von Rechenressourcen beinhaltet, und/oder

wobei die eine oder mehreren Metriken einen Jitterpegel des Prozesssteuerungssystems als Ganzes angeben und die erfasste Zustandsverschlechterung des Prozesssteuerungssystems als Ganzes eine Zunahme einer Konkurrenz um Rechenressourcen beinhaltet.

8. System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, insbesondere nach Anspruch 1, wobei eine Gesamtzahl von Heartbeat-Nachrichten, die in mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten enthalten ist, größer oder gleich einer minimalen Anzahl von Heartbeat-Nachrichten ist, die erforderlich ist, um die durchschnittliche Antwortzeit der zweiten Komponente zu bestimmen, und wobei die minimale Anzahl von Heartbeat-Nachrichten konfigurierbar ist.

9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 8, insbesondere nach Anspruch 1, wobei die erste Komponente die Prozesssteuerung ist und die zweite Komponente das E/A-Gateway ist, und/oder wobei:

das Prozesssteuerungssystem ferner dazu konfiguriert ist, eine Metrik zu bestimmen, die einen

Zustand des E/A-Gateways angibt, basierend auf jeweiligen durchschnittlichen Antwortzeiten und/oder jeweiligen durchschnittlichen Latenzen und/oder jeweiligem durchschnittlichen Jitter entsprechend dem E/A-Gateway; und

die jeweiligen durchschnittlichen Antwortzeiten und/oder die jeweiligen durchschnittlichen Latenzen und/oder der jeweilige durchschnittliche Jitter entsprechend dem E/A-Gateway basierend auf den jeweiligen Antwortzeiten und/oder den jeweiligen Latenzen und/oder dem jeweiligen Jitter entsprechend dem E/A-Gateway bestimmt werden und durch die mehreren Prozesssteuerungen bestimmt werden, und/oder

wobei die Prozesssteuerung eine physische Prozesssteuerung ist und die physische Prozesssteuerung dazu konfiguriert ist, die jeweiligen RTTs mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten und die RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht unter Verwendung eines in der physischen Prozesssteuerung enthaltenen Hardwaretaktgebers zu bestimmen, und/oder wobei:

die Prozesssteuerung eine virtuelle Prozesssteuerung ist;

jede Heartbeat-Nachricht, die in mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten enthalten ist, die durch das E/A-Gateway zurückgegeben werden, eine Angabe einer jeweiligen Zeit enthält, zu der jede Heartbeat-Nachricht an dem E/A-Gateway empfangen wurde, und einer jeweiligen Zeit, zu der das E/A-Gateway die jeweilige Rückgabe jeder Heartbeat-Nachricht an die virtuelle Prozesssteuerung übertragen hat; und

die virtuelle Prozesssteuerung dazu konfiguriert ist, die jeweiligen RTTs mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten ferner basierend auf den jeweiligen Zeiten zu bestimmen, die in jeder Heartbeat-Nachricht angegeben sind, und/oder wobei die virtuelle Prozesssteuerung über einen Container implementiert ist, und/oder wobei:

die durchschnittliche Antwortzeit der zweiten Komponente eine Kommunikationsverzögerung angibt, die durch das E/A-Gateway eingeführt wird;

ein durch die Steuerung erzeugtes Steuersignal zum Ansteuern eines Feldgeräts einen Zielwert für das Feldgerät enthält und ein Feld „Zeit bis Anwendung“ die durch das E/A-Gateway eingeführte Kommunikationsverzögerung anzeigt, und/oder

wobei das Feldgerät eine Angabe des Zielwerts für das Feld, verzögert um die durch das E/A-Gateway eingeführte Kommunikationsverzögerung, speichert.

10. System nach einem der Ansprüche 1 bis 9, insbesondere nach Anspruch 1, wobei die erste Komponente das E/A-Gateway ist und die zweite Komponente die Prozesssteuerung ist, und/oder

wobei das E/A-Gateway dazu konfiguriert ist, die jeweiligen RTTs mindestens der Teilmenge der

mehreren Heartbeat-Nachrichten und die RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht unter Verwendung eines im E/A-Gateway enthaltenen Hardwaretaktgebers zu bestimmen.

11. System nach einem der Ansprüche 1 bis 10, insbesondere nach Anspruch 1, wobei die Prozesssteuerung eine Sicherheitssystemsteuerung ist.

12. Verfahren zum Erfassen einer Verschlechterung von Komponenten in einem Prozesssteuerungssystem, wobei das Verfahren umfasst:

an einer ersten Komponente, die über einen Kommunikationskanal und einen Diagnosekanal mit einer zweiten Komponente kommunikativ verbunden ist,

wobei die erste Komponente ein E/A-Gateway und/oder eine Prozesssteuerung ist, die in mehreren Prozesssteuerungen enthalten ist, die über jeweilige Kommunikationskanäle mit dem E/A-Gateway kommunikativ verbunden sind, wobei das E/A-Gateway die mehreren Prozesssteuerungen mit den jeweiligen ein oder mehreren Feldgeräten kommunikativ verbindet, um dadurch einen industriellen Prozess in einer Prozessanlage zu steuern, und die zweite Komponente die andere des E/A-Gateways oder der Prozesssteuerung ist:

sequenzielles Übertragen von mehreren Heartbeat-Nachrichten durch die erste Komponente an die zweite Komponente über den Diagnosekanal;

Empfangen mindestens einer Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten an der ersten Komponente von der zweiten Komponente über den Diagnosekanal, wobei jede Heartbeat-Nachricht mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten bei entsprechendem Empfang an der zweiten Komponente durch die zweite Komponente an die erste Komponente zurückgegeben wird;

Bestimmen, durch die erste Komponente, einer durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente basierend auf einer Periodizität einer Modulscheduler-Ausführung an der zweiten Komponente und/oder jeweiligen Umlaufzeiten (RTTs) mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten, wobei die jeweiligen RTTs basierend auf jeweiligen Sende- und Empfangszeiten mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten an der ersten Komponente bestimmt werden; und Erfassen einer Verschlechterung der zweiten Komponente, wenn eine RTT einer nachfolgenden Heartbeat-Nachricht, die durch die erste Komponente an die zweite übertragen wird, einen Schwellenwert überschreitet, der der durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente entspricht.

13. Verfahren nach Anspruch 12, ferner umfassend, beim Erfassen der Verschlechterung der zweiten Komponente, mindestens eines von:
Erzeugen einer Warnung oder eines Alarms, die/der

die erfasste Verschlechterung angibt;
 automatisches Neuausgleichen einer Last an der zweiten Komponente;
 Bestimmen einer Abschwächungsmaßnahme für die erfasste Verschlechterung;
 Veranlassen, dass die Abschwächungsmaßnahme automatisch durchgeführt wird; oder
 Erzeugen einer Warnung oder eines Alarms, die/der die Abschwächungsmaßnahme angibt, und/oder wobei die zweite Komponente die Prozesssteuerung ist und das Bestimmen der Abschwächungsmaßnahme das Bestimmen einer Modifikation an einer durch die Prozesssteuerung ausgeführten Steuer-routine einschließt, und/oder wobei die zweite Komponente die Prozesssteuerung ist, die Prozesssteuerung eine virtuelle Prozess-steuerung ist, die auf einer physischen Rechenplatt-form ausgeführt wird, und das Veranlassen, dass die Abschwächungsmaßnahme automatisch durch-geführt wird, beinhaltet, dass die virtuelle Prozess-steuerung für die Ausführung zu einer anderen phy-sischen Rechenplattform migriert wird, und/oder wobei die virtuelle Prozesssteuerung über einen Container implementiert wird und das Veranlassen der Migration der virtuellen Prozesssteuerung auf die andere physische Rechenplattform das Zuwei-sen des Containers zu der anderen physischen Rechenplattform umfasst, und/oder wobei die zweite Komponente das E/A-Gateway ist und das Bestimmen der Abschwächungsmaßnahme das Bestimmen einer Modifikation einer Melderate des E/A-Gateways und/oder das Bestimmen einer Modifikation an einer Anzahl von Clients umfasst, die durch das E/A-Gateway bedient werden, und/o-der wobei das Bestimmen der Abschwächungsmaß-nahme das Bestimmen einer Modifikation einer Last der physischen Rechenplattform einschließt, die die zweite Komponente unterstützt, und/oder wobei das Bestimmen der Modifikation der Last der physischen Rechenplattform das Bestimmen jewei-liger Modifikationen an einem oder mehreren von Fol-gendem umfasst: einer Last einer CPU (Central Pro-cessing Unit, Zentraleinheit) der physischen Rechenplattform, einer Speichernutzung der phy-sischen Rechenplattform oder einer Festplattenplatz-nutzung der physischen Rechenplattform.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, insbe-sondere nach Anspruch 12, wobei das Erfassen der Verschlechterung der zweiten Komponente das Erfassen der Verschlechterung der zweiten Kompo-nente einschließt, wenn die RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht außerhalb von einer oder meh-reren vordefinierten Standardabweichungen von der durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Kompo-nente liegt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, insbesondere nach Anspruch 12, ferner umfas-

send das Bestimmen einer oder mehrerer Metriken, die einen Zustand des Prozesssteuerungssystems als Ganzes angeben, basierend auf jeweiligen durchschnittlichen Antwortzeiten von mindestens einer der mehreren Prozesssteuerungen oder des E/A-Gateways, und/oder

, das ferner das Erfassen einer Zustandsverschlech-terung des Prozesssteuerungssystems als Ganzes basierend auf einer Änderung der einen oder der mehreren Metriken umfasst, und/oder wobei:

die eine oder die mehreren Metriken einen Latenz-grad des Prozesssteuerungssystems als Ganzes angeben; und

das Erfassen der Zustandsverschlechterung des Prozesssteuerungssystems als Ganzes das Erfas-sen einer Verringerung einer Verfügbarkeit von Rechenressourcen basierend auf der Änderung des Latenzgrades einschließt, und/oder wobei:

die eine oder die mehreren Metriken einen Jitterpe-gel des Prozesssteuerungssystems als Ganzes angeben; und

das Erfassen der Zustandsverschlechterung des Prozesssteuerungssystems als Ganzes das Erfas-sen einer Zunahme einer Konkurrenz um Rechen-ressourcen basierend auf der Änderung des Jitter-pe-gels einschließt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, insbesondere nach Anspruch 12, ferner umfas-send das Bestimmen der jeweiligen Umlaufzeit (RTT) jeder Heartbeat-Nachricht mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten und der RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nach-richt durch die erste Komponente, und/oder wobei: die erste Komponente die Prozesssteuerung ist, die Prozesssteuerung eine virtuelle Prozesssteuerung ist und die zweite Komponente das E/A-Gateway ist; das Verfahren ferner für jede Heartbeat-Nachricht, die in mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten enthalten ist, das Empfang-en einer Angabe einer jeweiligen Empfangszeit jeder Heartbeat-Nachricht an dem E/A-Gateway und einer jeweiligen Zeit der Übertragung der Rück-gabe jeder Heartbeat-Nachricht durch das E/A-Gateway umfasst, und das Bestimmen der durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente ferner auf den empfang-enen Angaben der jeweiligen Zeiten des Empfangs am E/A-Gateway und den jeweiligen Zeiten des Übertragens der Rückgaben durch das E/A-Gate-way basiert, und/oder wobei das Bestimmen der jeweiligen RTT jeder Heartbeat-Nachricht mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten und der RTT der nachfolgenden Heartbeat-Nachricht auf einem in der ersten Komponente enthaltenen Hardwaretakt-geber basiert.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16 insbesondere nach Anspruch 12, ferner umfassend das Konfigurieren einer minimalen Anzahl von Heartbeat-Nachrichten, auf denen basierend die durchschnittliche Antwortzeit der zweiten Komponente zu berechnen ist, und wobei das Bestimmen der durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente das Bestimmen der durchschnittlichen Antwortzeit der zweiten Komponente beim Empfangen mindestens der minimalen Anzahl von Heartbeat-Nachrichten, die von der zweiten Komponente zurückgegeben werden, an der ersten Komponente umfasst.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, insbesondere nach Anspruch 12, wobei: die erste Komponente die Prozesssteuerung ist und die zweite Komponente das E/A-Gateway ist; das Verfahren ferner das Bestimmen einer Metrik umfasst, die einen Zustand des E/A-Gateways angibt, basierend auf mindestens jeweiligen durchschnittlichen Antwortzeiten und/oder jeweiligen durchschnittlichen Latenzen und/oder jeweiligem durchschnittlichem Jitter entsprechend dem E/A-Gateway; und die jeweilige Antwortzeit und/oder die jeweilige Latenz und/oder der jeweilige Jitter entsprechend dem E/A-Gateway durch die mehreren Prozesssteuerungen basierend auf jeweiligen Heartbeat-Nachrichten bestimmt werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 18, insbesondere nach Anspruch 12, wobei die erste Komponente die Prozesssteuerung ist und die zweite Komponente das E/A-Gateway ist und das Verfahren ferner umfasst:
Bestimmen eines Wertes eines Parameters „Zeit bis Verzögerung“ basierend auf der durchschnittlichen Antwortzeit des E/A-Gateways;
Generieren, durch die Prozesssteuerung als Ausgang einer Ausführung eines Steuermoduls, einer Nachricht zum Ansteuern eines Feldgeräts, wobei die Nachricht eine Angabe eines Zielwerts für das Feldgerät und den Parameter „Zeit bis Verzögerung“ enthält, der mit dem Wert gefüllt ist, der basierend auf der durchschnittlichen Antwortzeit des E/A-Gateways bestimmt wird; und
Übertragen der generierten Nachricht durch die Prozesssteuerung an das Feldgerät über das E/A-Gateway.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 19, insbesondere nach Anspruch 12, das ferner das Einrichten des Diagnosekanals zwischen der ersten Komponente und der zweiten Komponente für eine dedizierte Verwendung umfasst, einschließlich des Verhinderns, dass Kommunikations- und Steuerungsnachrichten, die beim Steuern des industriellen Prozesses verwendet werden, zwischen der ersten

Komponente und der zweiten Komponente über den Diagnosekanal übermittelt werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 20, insbesondere nach Anspruch 12, wobei: die erste Komponente und die zweite Komponente in einem Regelkreis enthalten sind, der ausgeführt wird, um mindestens einen Abschnitt des industriellen Prozesses zu steuern; und das Verfahren ferner das Verarbeiten von Kommunikations- und Steuerungsnachrichten durch die erste Komponente umfasst, die durch die erste Komponente über den Kommunikationskanal gesendet und/oder an dieser empfangen werden, um dadurch den Regelkreis auszuführen, um mindestens einen Abschnitt des industriellen Prozesses zu steuern, und/oder wobei: eine Routine an der zweiten Komponente ausgeführt wird, um Kommunikations- und Steuerungsnachrichten zu verarbeiten, die durch die zweite Komponente über den Kommunikationskanal gesendet und/oder an dieser empfangen werden, um dadurch den Regelkreis auszuführen, um mindestens den Abschnitt des industriellen Prozesses zu steuern; und das Empfangen mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten, die durch die zweite Komponente zurückgegeben wird, an der ersten Komponente das Empfangen mindestens der Teilmenge der mehreren Heartbeat-Nachrichten beinhaltet, die durch die Routine zurückgegeben wird, die an der zweiten Komponente mit einer schnellsten durch die zweite Komponente unterstützten Aktualisierungsrate ausgeführt wird.

22. Computer-lesbares Speichermedium, welches Instruktionen enthält, die mindestens einen Prozessor dazu veranlassen, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 21 zu implementieren, wenn die Instruktionen durch mindestens einen Prozessor ausgeführt werden.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

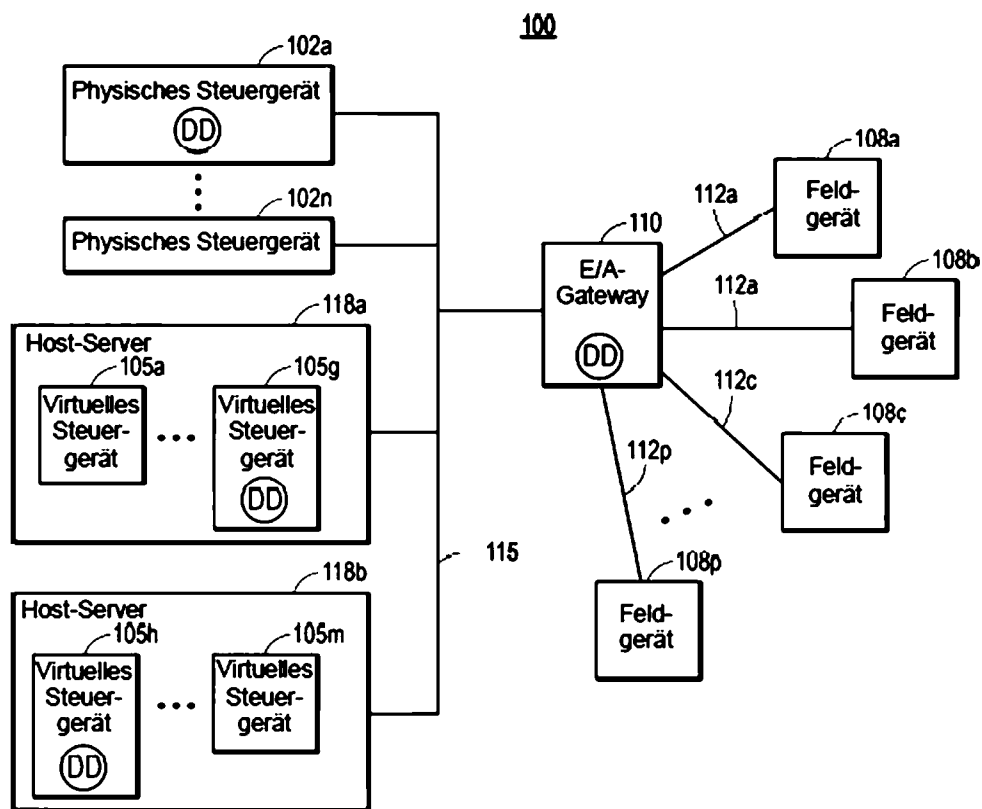


FIG. 1

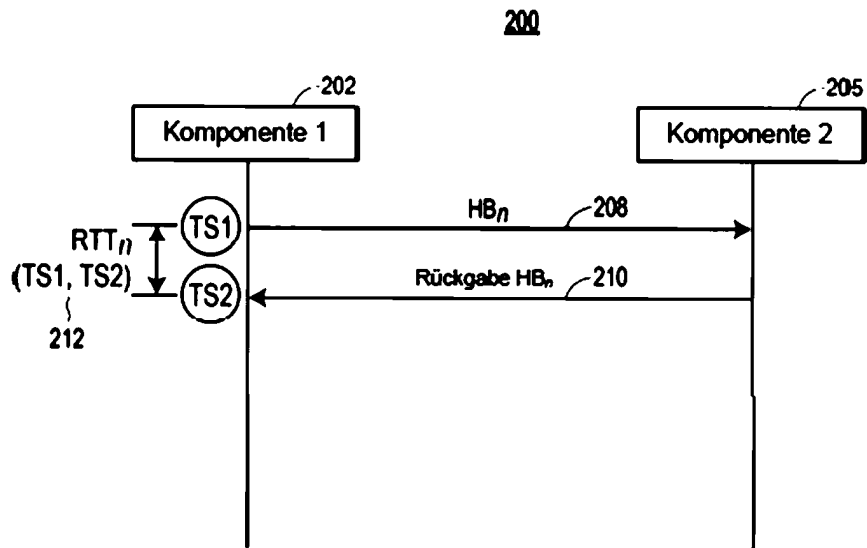


FIG. 2A

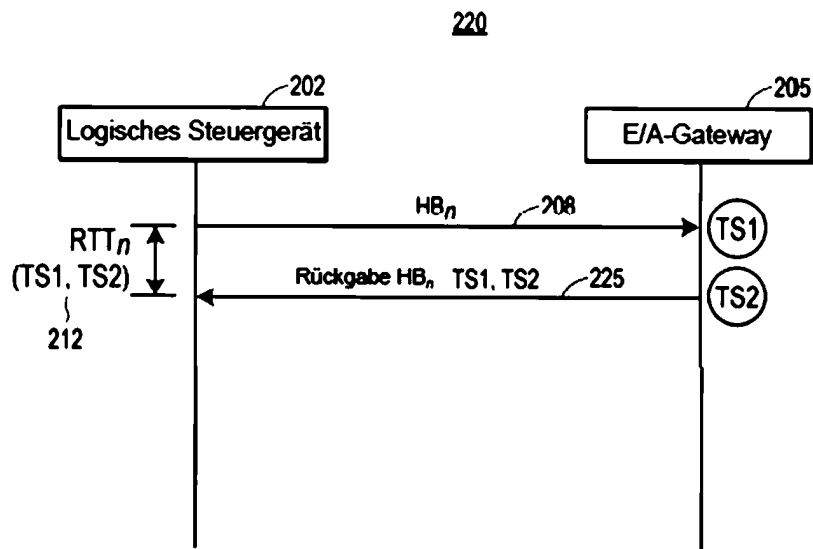


FIG. 2B

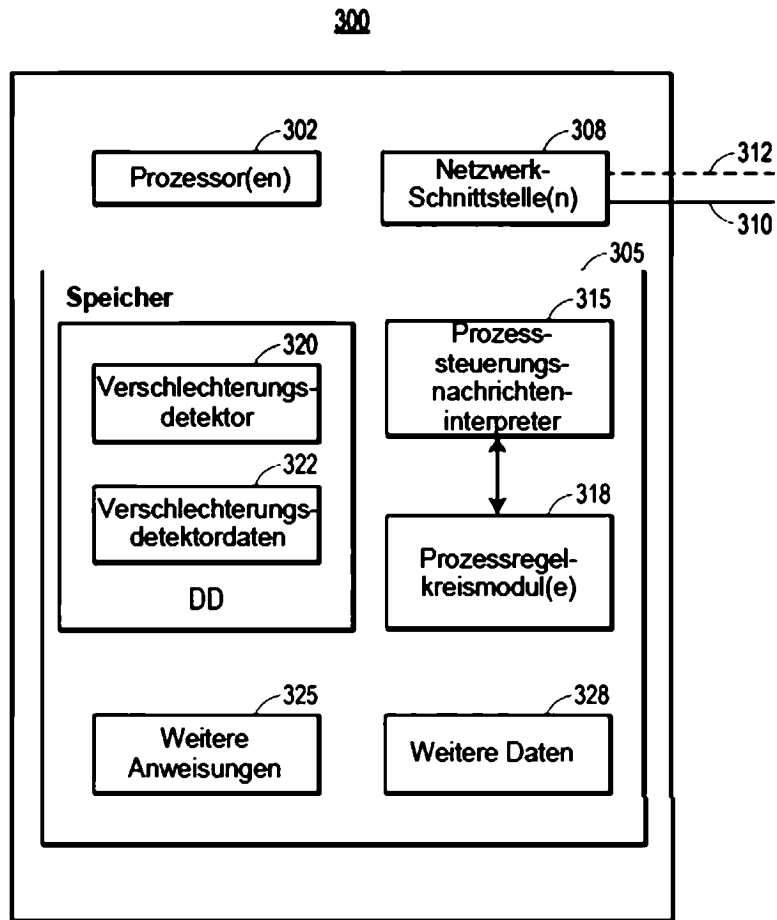


FIG. 3

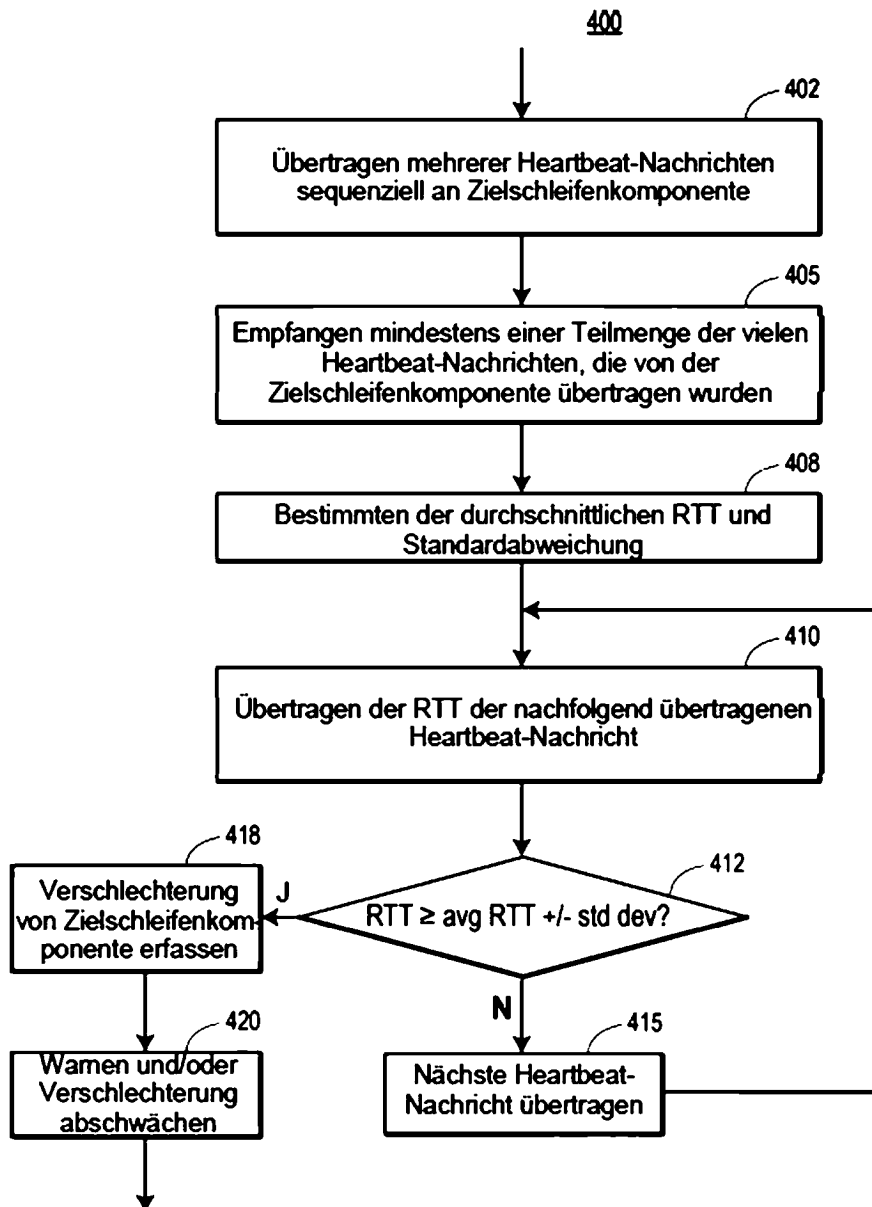


FIG. 4