

A Novel System Paradigm for Self Growing Wireless Networks

System zur kontextabhängigen, zweckgesteuerten Selbstkonfiguration und Verfahren der autonomen Erweiterung lokaler Datennetze

Bernd Bochow, Mario Schuster, Lasse Thiem, Jens Tiemann

Fraunhofer FOKUS, Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin, Germany

Contact: [bernd.bochow, mario.schuster, lasse.thiem, jens.thiemann]@fokus.fraunhofer.de

Abstract

This paper introduces a novel paradigm for autonomic and self-managing wireless communication networks denoted herein as ‘self-growing’ and ‘purpose-driven’. In this it is focusing on a specific convergence of wireless communication networks supporting machine-to-machine communication and sensor networks for control and monitoring applications based on reconfigurable network nodes and topologies, and dedicated to enable versatile use of a deployed network infrastructure.

The reconfiguration capacity of network nodes (e.g., available wireless interfaces, software radio modules, sensor or actor modules, protocol stacks, software and hardware interfaces ...) and of the network (e.g., topologies supported, collocation and implementation of services, connectivity, routing ...) determines the target purposes that can be attained by a system implementing the approach presented.

In this approach, the ‘purpose-driven’ property is characterized by the method used to control the reconfiguration of a suitable sensor and communication platform towards a give target purpose applying a set of a-priori known or learned rules to approach a new purpose.

The ‘self-growing’ property of the approach presented is based on a network/node capacity that allows augmenting functionality by either introducing new nodes, or by adding functionality to existing nodes.

The ‘target purpose’ is assumed to be determined by human interaction or by cognitive decision making based on changes in the operational (by internal stimuli) or environmental (by external stimuli) context.

A ‘purpose transition’ is either based on a soft-reconfiguration potentially initiated by cognitive decision making, or by adding nodes manually or by an artificial cognitive process that ‘utilizes’ or ‘acquires’ nodes temporarily from geographically collocated networks.

State-of-the-art and upcoming software-defined systems will provide a continuously increasing capacity to adapt networks to dedicated purposes either in the course of their planed lifecycle, or in responding to some external incident. Networks deployed on construction sites, industrial facilities, or in an incident area may be taken as concise application examples. A cognitive plane then adds the capacity for decision making such that the network can (ideally) automatically switch its purpose on demand (e.g., reconfiguring from a sensor network to a voice and data communication network and vice-versa), or respond to an exceptional situation (e.g., switching between sensor network, incident area network and communication network upon some incident detected by the sensor network initially).

That is, let’s say, a sensor network is requested to provide an increased spatial-temporal resolution of data gathered, that both requires enhanced functional or communication capacity of nodes as well as an increased node density. The cognitive functions of the network respond by applying available reconfiguration rules that are decided to match best the required transition from an initial operational purpose towards the requested target purpose. In the course of transition both network and network nodes are reconfigured.

While it can easily be understood that a functional change of nodes and network can be achieved be soft-reconfiguration, increasing the node density in this example requires a degree of (network-assisted) planning. That is, physically adding nodes to the network might require human interaction but temporarily ‘acquiring’ or ‘utilizing’ nodes of a collocated network may be well within the capacity of autonomic reconfiguration.

Keywords

Self growing networks, software defined systems, dynamic device and networking roles, situation dependant and evolutionary networks, incident driven communication, sensor networks

Anwendungsgebiet und gelöste Aufgabe

Die Entwicklung und der Einsatz von Kommunikationsnetzen zur Sprach- und Datenübertragung orientieren sich heute im Wesentlichen an den Erfordernissen horizontaler Massenmärkte. D.h. kommerzielle Netzwerkkomponenten sind auf diverse Standardsituationen ausgelegt, um den breiten Massenmarkt zu erreichen. Anwendungsszenarien mit ganz speziellen Anforderungen (vertikale Märkte) können so oft nur schlecht bis gar nicht unterstützt werden. Damit ihre Entwicklung und Einführung ökonomisch sinnvoll erscheint, wäre es daher wünschenswert flexible, vorzugsweise drahtlose Netzwerkkomponenten zu realisieren, die sich basierend auf einer einheitlichen Soft- und Hardwareplattform für viele unterschiedliche Anwendungsgebiete eignen.

Der Einsatz in spezifischen Anwendungsgebieten erfordert oft mehr oder weniger kostenintensive Anpassungen bzw. weitgehende Kompromisse bei der Eignung für einen bestimmten Anwendungszweck. Der in den Massenmärkten zu beobachtende technische Fortschritt erreicht daher solche vertikalen Märkte nur mit erheblicher zeitlicher Verzögerung und mit erhöhtem Aufwand. Geräte für spezifische Anwendungen sind folglich erheblich kostenintensiver für den Nutzer als vergleichbare Systeme für breite Anwendungsgebiete. Daher stehen Nutzern hier aus Kostengründen oft nur schlecht oder beschränkt geeignete Lösungen und Geräte zur Verfügung.

Als Beispiele für spezielle Anwendungsgebiete flexibler drahtloser Netzkomponenten wären hier zu nennen:

- **Variable/mobile Einsatzorte:** Automatische Anpassung der Frequenznutzung und des Funkstandards an technische, geographische und regulative Vorgaben mit dem Schwerpunkt auf die anwendungsbezogene Optimierung dieser Parameter z.B. zur Erhöhung der Daten-/Stör-/Betriebssicherheit, der Lebensdauer oder der Verfügbarkeit.
- **Temporär funkfeindliche Umgebungen:** Unterstützung von nicht notwendigerweise funkbasierten Technologien (z.B. optisch, akustisch, etc.) als Alternative in Anwendungsgebieten mit z.B. gestörten, explosionsgefährdeten oder abgeschirmten Bereichen, unterseeisch, unterirdisch etc.
- **Temporär variable Einsatzziele:** Unterstützung variabler, anforderungsspezifischer Optimierungsstrategien, z.B. im Hinblick auf Energieeffizienz – während im Normalbetrieb der Energieverbrauch (z.B. Batterieleistung, abgestrahlte Funkleistung, Energiebedarf der Aktorik, etc.) für eine hohe Lebensdauer der Komponenten optimiert ist, können im Sonderfall andere Optimierungsziele (z.B. Verfügbarkeit und Datenrate, ggf. auch unter gleichzeitiger Nutzung mehrerer Kommunikationsmedien) Vorrang erhalten.

Neue Verfahren der Selbstkonfiguration und Selbstorganisation auf Basis flexibler in Hardware und Software variabler Plattformen ermöglichen in zunehmendem Maß die lohnende Entwicklung von drahtlosen Kommunikationssystemen für Anwendung außerhalb der Massenmärkte bei gleichzeitiger Kostenersparnis. Selbstkonfiguration und Selbstorganisation können dabei für eine selbsttätige, zweckspezifische und ereignisgesteuerte Anpassung an das Zielanwendungsgebiet genutzt werden.

Bei der beschriebenen Lösung steht die selbsttätige, idealerweise ohne manuelle Eingriffe durchführbare Anpassung an die spezifischen Erfordernisse des Einsatzgebiets und der aktuellen Situation im Umfeld der Anwendung im Vordergrund. Dabei sollen grundsätzlich möglichst viele unterschiedliche Einsatzgebiete und Situationen durch eine gemeinsame technische Plattform mit

der Fähigkeit der Hardware- und Softwarekonfiguration zur Laufzeit erreicht werden. Im Einzelnen realisiert diese Plattform dabei einzelne oder alle Eigenschaften und Funktionen aus folgender Liste:

- Variable, vorzugsweise drahtlose, Kommunikationsschnittstellen mit weitgehend frei konfigurierbaren Parametern wie z.B. Funkstandard, -Reichweite, verwendeter Frequenzbereich und Wellenform für Funksysteme, bzw. physikalisches Medium und Zugriffsverfahren für andere, nicht Radio-basierte Kommunikationssysteme.
- Variable Funktion (bzw. Rollen) der auf der Plattform basierenden Komponenten, z.B. als Endgerät (Terminal), Kommunikationsknoten (Relay, Repeater, Router), Sensor, Aktor (einschließlich mobiler Systeme).
- Nutzung variabler Kommunikationsprotokolle für unterschiedliche Anwendungen und Situationen z.B. als Mesh Router oder WLAN Access Point, als Smartphone, Sensorknoten, oder als proprietärer Netzknoten (z.B. Gateway) in nicht Radio-basierter Kommunikation.
- Variable Optimierbarkeit für das Anwendungsgebiet z.B. auf Energieeffizienz (Betriebsdauer), Interferenzvermeidung (Koexistenz), Reichweite (Abdeckung), Kommunikationsmedium (Verfügbarkeit), Kommunikationsbandbreite (Dienstgüte) etc.
- Optimierbarkeit der Netztopologie z.B. zur Verbesserung der geographischen Abdeckung, Funkversorgung bzw. Erreichbarkeit über ein bestimmtes Medium oder Ortsauflösung für Sensordaten.
- Dynamische partitionierbarkeit der Netztopologie in Teilnetze unterschiedlicher Zweckbestimmung und Optimierung unter Beibehaltung der grundsätzlichen Konnektivität z.B. zur Nutzung unterschiedlicher Kommunikationsstandards oder spezifischer Funktionen in den jeweiligen Teilnetzen.
- Erweiterbarkeit der Netztopologie unter Nutzung oder Integration (auch über eine zeitlich begrenzte Dauer) räumlich oder topologisch benachbarter Netze z.B. mit dem Ziel einer kurzzeitigen funktionalen Erweiterung durch Nutzung der Funktion dieser Netze. Die Erweiterung der Topologie kann dabei auch zu einer Änderung der Funktion (bzw. Rolle) einer Komponente führen, z.B. durch die temporäre Übernahme von Gateway-Funktionen oder der Umsetzung zwischen physikalisch unterschiedlichen Kommunikationsmedien.

Die wesentlichen Vorteile der Lösung liegen dabei in der Kostenersparnis auf Seiten der Entwicklung (verglichen mit einer anwendungsspezifischen Entwicklung), der Verlängerung der Nutzungsdauer der Netzkomponenten (Werterhalt durch Mehrfachnutzung, ökologischer Nutzen), der Vielseitigkeit in der Anwendung (Flexibilität, Optimierung am Bedarf und an der Situation) und der automatischen Reaktion auf Änderungen in den Nutzungsanforderungen.

Letzteres stellt eine dynamische Nutzung auf der Basis von Selbstkonfigurationseigenschaften dar. Die oben genannten Eigenschaften der Plattform erlauben dabei die Partitionierung der Netztopologie, bzw. die Rekonfiguration einzelner Endsysteme derart, dass verschiedene Umgebungsbedingungen überwacht und für die Optimierung genutzt werden können (Umweltsensoren, Funksensoren) oder spezifische Dienste an bestimmten Orten realisiert werden können (Überwachung, Maschinensteuerung, Kommunikation). Eine erfasste Veränderung dieser Umgebungsbedingungen und deren Abbildung auf Regelwerke kann dazu genutzt werden das gesamte Netz für eine neue Aufgabe zu konfigurieren und zu optimieren, beispielsweise zur Unterstützung von Einsatzkräften zur Störfallbeseitigung.

Stand der Technik, Nachteile des Stand der Technik

Obwohl noch sehr wenige reale Implementierungen existieren, können drahtlose lokale Netze mit Selbstkonfigurationseigenschaften als dokumentierter Stand der Technik angenommen werden.

Die Eigenschaft der Selbstkonfigurierbarkeit bezieht sich dabei sowohl auf die Plattform, die Dienste als auch auf die Netztopologie.

Typische Beispiele für konfigurierbare Plattformen sind Software Defined Radios (SDR) und Cognitive Radios (CR). Diese schließen Konfigurierbarkeit durch Softwareänderungen als auch durch konfigurierbare Hardware ein [1][2].

Komplexere Beispiele für die Konfigurierbarkeit von Netzdiensten finden sich im Bereich der autonomen Netze (Service Composition). Ebenso fallen aber auch einfachere Modelle wie etwa Universal Plug and Play (UPnP) oder Device Profiles for Web Services (DPWS) in den Bereich der Dienstekonfiguration [23][27][29][30][31][33][35][36].

Selbstorganisation und Konfiguration der Netztopologie wird z. B. bei ad-hoc oder Mesh-Netzen angewendet. Beispiele finden sich hier in den durch unterschiedliche Anwendungsziele beschriebenen Szenarien um beispielsweise die Flexibilität (Anpassbarkeit) oder Zuverlässigkeit (Redundanz) einer Netztopologie zu erhöhen [3][4][5][6].

Selbstkonfigurierbarkeit basiert auf diesen Eigenschaften und wird beispielsweise durch die Vorgabe von Konfigurationsregeln (Wenn *Bedingung* Dann *Aktion*) innerhalb definierter Grenzen (beschrieben z.B. durch Policies) realisiert [7]. Im Bereich der Regelarbeitung haben sich im Wesentlichen auf ECA-Modellen (Event, Condition, Action) und Inference-Modellen basierende Verfahren durchgesetzt. Sowohl die dafür erforderlichen System zur Regelarbeitung (Rule Engines) als auch die meist verwendeten Beschreibungssprachen (z. B. XML, OWL, RuleML, DARPA XGPL) fallen üblicherweise recht komplex aus. Im Bereich kleinster eingebetteter Systeme (Embedded Systems) ist deren Einsatz daher nicht immer ohne weiteres möglich oder muss durch dedizierte leistungsstärkere Netzwerkknoten erfolgen [19][37][38].

Die wesentlichen Nachteile existierender **Systeme und Systemansätze** bestehen in den höheren Kosten variabler Plattformkomponenten im Vergleich zu Komponenten fest vorgegebener Anwendungen, wie sie üblicherweise im Massenmarkt zum Einsatz kommen. Die Anwendung von frei rekonfigurierbaren Komponenten innerhalb bestehender drahtloser Kommunikationssysteme ist daher limitiert durch die eingeschränkten Möglichkeiten der flexiblen Anpassung an neue Anwendungsgebiete und -situationen. Die Zielsetzung existierender Anwendungen ist oft die evolutionäre Integration bzw. das Nachrüsten variabler Funktionalität in bestehende Architekturen um spezifische Probleme zu lösen. Dabei entsteht eigentlich immer ein zusätzlicher Personal- und Material-Aufwand und die neu integrierten Funktionen können mitunter die bestehende Systemintegrität stören, da üblicherweise keinerlei Mechanismen zur Selbstdiagnose und Selbstheilung über verschiedene Kommunikationstechnologien und Anwendungsszenarien hinweg existieren. Systeme, deren Betrieb von der Verfügbarkeit selbstkonfigurierender Komponenten abhängt, werden dagegen bislang nicht betrachtet bzw. nur in Bezug auf einzelne Technologien und vordefinierte Anwendungsgebiete berücksichtigt.

Verfahren zur Steuerung der Konfiguration und der Konfigurationseigenschaften in den in der Literatur diskutierten Anwendungsbereichen sind im Wesentlichen zentralisiert und werden generell

durch den Netzbetreiber (seltener durch den Nutzer) vorgegeben. Die vorgesehenen spezifischen und besonders lohnenden Anwendungsgebiete sind dagegen auf eine spontane, selbsttätige und ohne besondere Anforderungen an den Kenntnisstand des Nutzers durchführbare Inbetriebnahme und Aufrechterhaltung des Betriebs angewiesen. Verfahren zur dezentralen, situationsabhängigen, ereignisgesteuerten und zweckbestimmten Optimierung werden dagegen bislang nicht betrachtet.

Grundzüge des Lösungswegs

Das beschriebene System (Abbildung 1) baut auf dem Stand der Technik auf und kann grundsätzlich unter Verwendung existierender Plattformkomponenten realisiert werden. Der Nutzen des Systems kann aber erheblich gesteigert werden, je mehr der oben genannten Eigenschaften von den einzelnen Systemkomponenten erfüllt werden. Dies entspricht auch dem innovativen Charakter des Systems.

Die zentralen Plattformkomponenten sind dabei Endsystem (A), Netzknoten (B) und externer Netzknoten (C). Endsystem (A) und Netzknoten (B) sind rekonfigurierbar und im Folgenden genauer beschrieben. Die Unterscheidung zwischen Endsystem und Netzknoten ist grundsätzlich nicht unbedingt erforderlich und lediglich durch die hauptsächlich vorgesehene Rolle bestimmt, die durch das jeweilige System situationsbedingt eingenommen werden kann und die z.B. an den Aufstellungsort gebunden sein kann. Die zentralen Plattformkomponenten können identisch aufgebaut sein und erst im Zuge der Selbstkonfiguration eines Netzes auf ihre jeweilige Rolle festgelegt werden. Das beschriebene Verfahren (siehe unten) kann diese Konfiguration anhand äußerer Einflüsse (z. B. ereignisabhängig) oder interner Bedingungen (z. B. aufgrund der Planung des Energieverbrauchs) dynamisch festlegen. Abbildung 2 zeigt den Aufbau eines solchen generisch konfigurierbaren Knotens. Die darin wiedergegebene interne funktionale Aufteilung ist ein Ausführungsbeispiel. Die Zuordnung der globalen Funktionen (d. h., Hardwareunterstützung, Algorithmische Unterstützung, Konfigurationsunterstützung, Regelwerke) ist dagegen systembeschreibend.

Gegenüber den externen Netzknoten (C) agiert das beschriebene System grundsätzlich als regulärer Nutzer der Dienste des externen Netzes. Im Rahmen der Konfigurationseigenschaften der Netzknoten (B) können beliebige existierende Technologien z. B. als Zugangsnetz oder kooperierendes Netz genutzt werden (z. B. WLAN, UMTS, WiMAX, LTE etc. für Funkssysteme oder IrDA für eine optische Schnittstelle)

Abbildung 1: Systemkomponenten

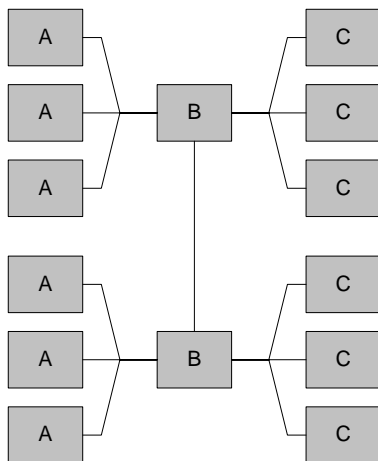
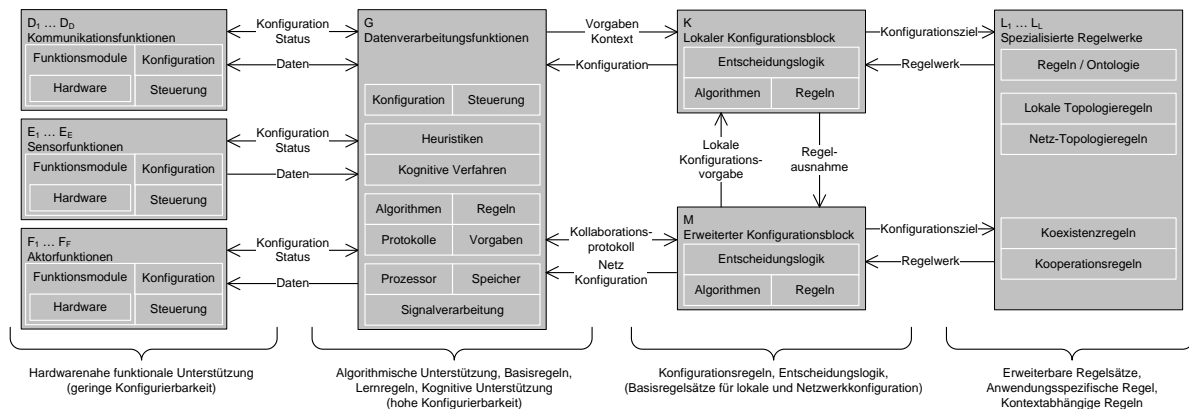


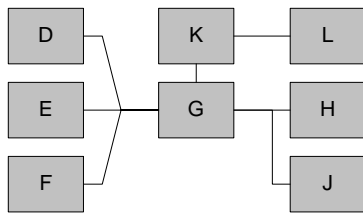
Abbildung 2: Komponenten eines generisch konfigurierbaren Knotens



Das Endsystem (A) besteht aus Teilsystemen, die spezifischen Aufgaben entweder fest zugeordnet sind, oder die dynamisch konfiguriert und damit spezifischen Aufgaben je nach Situation, Bedarf und Optimierung zugeordnet werden können. Die Funktionalität des Endsystems entsteht aus der anwendungsspezifischen Kombination und Konfiguration dieser Teilsysteme. Im Einzelnen sind dies die Kommunikationsfunktionen (D), Sensorfunktionen (E) und Aktorfunktionen (F), welche in Verbindung mit den Datenverarbeitungsfunktionen (G) die Konfiguration des Endsystems bestimmen. Die Datenverarbeitungsfunktion greift dabei auf einen (grundsätzlich konfigurierbaren und erweiterbaren) Bestand von vorgefertigten Verfahren und Algorithmen in Form von Modulen zurück, die durch die spezifische Konfiguration gezielt aktiviert werden können. Dieser Vorrat von Modulen teilt sich grundsätzlich in Algorithmen und Verfahren zur Verarbeitung von Daten (J) und reine Protokollmodule (H) für bestimmte Kommunikationstechnologien auf. Dabei handelt es sich vorzugsweise um digitale Signalverarbeitungsalgorithmen und Programm-Module die von der Datenverarbeitungsfunktion (G) ausgeführt werden. Der Konfigurationsblock (K) kontrolliert die Verknüpfung (algorithmisch und topologisch) der Teilsysteme (D, E, F, H, J) und greift dabei auf ein Regelwerk (L) zurück. Der Konfigurationsblock (K) kann das Regelwerk (L) verändern (z. B. optimieren oder erweitern), indem er eine geeignete Verknüpfung von Teilsystemen (D, E, F, H, J) herstellt und diese auf eine oder mehrere Regeln aus (L) anwendet. Das Endsystem (A) wird damit lernfähig und kann seine Funktion selbsttätig an äußere Bedingungen oder Ereignisse anpassen indem z. B. Sensordaten (E, G, J) oder über die Kommunikationsfunktionen erhaltene Daten (Download) (D, G, H)

auf Regeln angewendet oder in diese integriert werden. Die Veränderung von Regeln in (L) wird aus Sicherheitsgründen ebenfalls über Regeln aus (L) gesteuert.

Abbildung 3: Rekonfigurierbares Endsystem

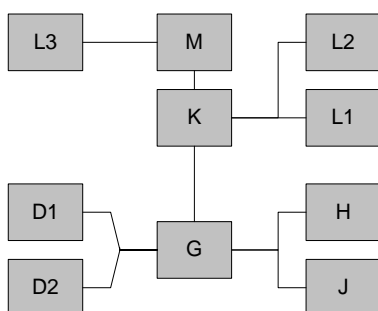


Der Netzknoten (B) stellt eine spezialisierte Form der Teilsysteme (E, E, F, G, H, J, K, L) dar und unterscheidet sich im Wesentlichen in der Ausführungsform und in Umfang und Ausrichtung des Regelwerks. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass das Endsystem (A) Teile der Funktion des Netzknoten (B) übernehmen kann.

In der bevorzugten Ausführungsform setzt sich ein Netzknoten (B) aus einer (oder mehreren) Kommunikationsfunktionen (D1, D2 etc.), der Datenverarbeitungsfunktion (G) mit angeschlossenen Bestand an Algorithmen, Verfahren und Kommunikationsprotokollen (H, J) sowie dem Konfigurationsblock (K) zusammen. Der Konfigurationsblock verfügt einerseits über Regeln (L1) zur Konfiguration der lokalen Teilsysteme (D1, D2, G, H, J) als auch über Regeln zur Konfiguration der Netztopologie (L2). Letztere beschreiben spezifisch das Verhalten des Netzknoten in der Verbindung und Zusammenarbeit mit anderen Netzknoten (B), den Endsystemen (A) und externen Netzknoten (C). Diese Regeln beschreiben gleichermaßen den Austausch von Daten und Regeln zwischen Netzknoten. Dadurch wird die ereignisgesteuerte Rekonfiguration eines Netzwerks aus mehreren Endsystemen (A) und Netzknoten (B) ermöglicht, wenn das auslösende Ereignis durch ein einzelnes, beliebiges Endsystem (A) erkannt wird, das mit einem beliebigen Netzknoten (B) kommuniziert.

Der Netzknoten (B) enthält zusätzlich einen erweiterten Konfigurationsblock (M), der über sein Regelwerk (L3) angebundene Endsysteme (A) konfiguriert und, falls notwendig, die erforderlichen Regelwerke dazu an diese überträgt.

Abbildung 4: Rekonfigurierbarer Netzknoten



Das beschriebene System zeichnet sich im Wesentlichen durch die folgenden Eigenschaften aus:

- Es erlaubt die flexible dynamische Erweiterung der Funktionalität durch Zusammenarbeit mit benachbarten Netzen und durch Nutzung von Diensten dieser Netze.
- Es stellt Funktionen bereit, die von benachbarten Netzen bzw. mittels dieser Netze durch Dritte genutzt werden können.

- Es erlaubt die Anpassung an interne sowie externe Erfordernisse und Situationen durch Auswertung von in den beteiligten Netzen gewonnener Informationen oder durch die manuelle Vorgabe neuer Betriebsregeln.
- Es erlaubt die Anpassung und Optimierung der Betriebsregeln an unterschiedliche Einsatzzwecke und Situationen.
- Es nutzt Selbstkonfigurationseigenschaften der Plattform sowie von Diensten und Netztopologien für geplante Erweiterungen der Funktionalität und Topologie (Evolution) und für ereignisgesteuerte Erweiterungen (Reaktion)

Das im Folgenden beschriebene Verfahren basiert auf diesen Eigenschaften.

Die Besonderheit des **Verfahrens** liegt dabei in der kontextabhängigen und zweckgerichteten Anpassung und Optimierung, wobei der Zweck optional vorgegeben werden, aber auch in Reaktion auf ein externes Ereignis neu bestimmt werden kann. Diese Anpassung und Optimierung basiert auf der Anwendung von Regelwerken die sich auf die folgenden Regelsätze aufteilen:

- **Basisregeln:** unveränderliche Regeln, die auf Basis der Kenntnis der Konfigurierbarkeitseigenschaften und Grenzen der Konfigurierbarkeit eines Knotens festgelegt sind.
- **Dynamischen Regeln:** erweiterbare Regelsätze die durch lokales oder netzwerkweites Lernen erzeugt und / oder durch Kommunikation im Netz erweitert bzw. verteilt werden können
- **Lernregeln:** feste und erweiterbare Regelsätze die auf andere Regel angewendet werden und verschiedene Aufgaben zur Überprüfung und Anwendung dynamischer Regeln übernehmen können

Das beschriebene Verfahren verwendet diese Regelsätze, um aus den „Steuergrößen“ (lokaler Kontext, Netzwerkkontext, Konfigurationsvorgaben) eine Rollenzuweisung für einzelne Knoten zu ermöglichen. Das Verfahren bestimmt dazu in einer ersten Phase unter Nutzung der lokal verfügbaren Ressourcen (Kommunikation, Sensorik, Aktorik) selbsttätig Informationen (Kontext) um seine Aufgabe selbst zu bestimmen. Es folgt dabei seinem Basisregelwerk, welches das Herstellen einer initialen Netzkommunikation über eine beliebige bzw. den Basisregeln nach am besten geeignete Kommunikationstechnologie ermöglicht. Nachfolgend werden über das Verfahren anwendungsspezifischer Konfigurationsregeln aus der Netzinfrastruktur bezogen oder es wird entsprechend dem Kontext und der Basisregeln eine Standard-Rolle durch das System eingenommen. Dieser Teil der Selbstkonfiguration eines Knotens wird im Folgenden als Rollenerkennung bezeichnet.

Zum Erreichen einer Zielkonfiguration sieht das Verfahren folgende Mechanismen vor die gemäß den Basisregeln in verschiedenen Kombinationen angewendet werden können um eine Rollenerkennung zu ermöglichen

- Erfassen der Umgebungsbedingungen durch die Sensorik (physikalische Kennwerte oder Kommunikationsparameter)

- Beobachten des Verhaltens umgebender Knoten und Netze (passive Konfiguration)
- Kommunikation mit umgebenden Knoten und Netzen (aktive Konfiguration)
- Kommunikation mit entfernten Knoten (die z. B. für die Rollenzuweisung verantwortlich sind) mithilfe umgebender Knoten und Netze

Nachdem eine Zielkonfiguration des Netzwerks und der teilnehmenden Knoten erreicht wurde, befindet sich das System in der Betriebsphase. Im allgemeinen Fall folgt die Selbstkonfiguration dabei den Regeln, die in der Phase der Rollenerkennung angenommen wurden.

In der Betriebsphase sieht das Verfahren generell zwei Zielsetzungen vor, die als höhere Regelwerke (im Folgenden Strategien genannt) umgesetzt werden. Im einfachsten Fall beinhalten diese Strategien den Eingriff durch menschliche Benutzer. Darüber hinaus werden diese Strategien auch durch die folgenden zwei Modi selbstständig ausgeführt:

- **Kontinuierliche funktionale Erweiterung:** Die kontinuierliche funktionale Erweiterung realisiert die autonome Erweiterung des Netzwerks indem während der Betriebsphase eine kontinuierliche Optimierung im Rahmen der vorgegebenen Strategie und der Beschränkungen der Selbstkonfigurationseigenschaften stattfindet. Das System lernt. Dies kann externe Netzknoten mit einbeziehen indem eine Veränderung / Erweiterung der angebotenen Dienste dieser Netzknoten erkannt und in die Strategie integriert wird, sofern die lokalen Optimierungsregeln und Vorgaben diese Erweiterung zulassen.
- **Ausnahmebehandlung:** Das Verfahren sieht im Weiteren vor, bei signifikanten Änderungen der Umgebungsbedingungen mit einer entsprechenden selbstständigen Anpassung der Konfiguration zu reagieren, soweit diese Änderungen im Rahmen der Möglichkeiten des lokalen und / oder verteilten Kontextes (Sensorik, Netzcharakteristik etc.) erkannt werden können und eine Anpassung (z. B. die neue Rolle soll beibehalten werden solange die Ausnahme gilt) möglich ist. Dies kann einerseits selbsttätig erfolgen, durch andere Knoten oder die verwendeten Netze initiiert werden, oder kann auch durch eine Empfehlung bzw. Rückmeldung des menschlichen Nutzers erfolgen.

Erzeugte Verbesserung und Vorteile gegenüber dem Stand der Technik

Das beschriebene **System** baut auf dem Stand der Technik auf und nutzt die Flexibilität und Rekonfigurierbarkeit der Plattform um die Konfiguration des Netzes für die Anwendung zu optimieren.

Gegenüber existierenden Systemen wird in dem beschriebenen System die Funktionalität der Netzknoten und Endsysteme grundsätzlich erst nach der Installation dieser Komponenten festgelegt. Die Rollenfestlegung einzelner Plattformkomponenten kann durch externe Konfiguration, selbsttätig oder durch eine Kombination von beidem im Rahmen der Verfügbarkeit von Sensor-, Aktor- und/oder Kommunikationsfunktionen im Funktionsvorrat der Komponenten erfolgen.

Neben einer besseren Anpassung an die vorgesehenen Aufgaben erlaubt dieser Ansatz die Verwendung einheitlicher (oder weniger) Plattformkomponenten für unterschiedlichste

Anwendungsgebiete und erschließt damit „vertikale Märkte“ für die bislang gesonderte Entwicklungen stattfanden. Die Systemkomponenten werden damit preisgünstiger und leichter ersetzbar, womit das System auch einfacher mit zusätzlicher Redundanz ausgestattet werden kann und damit sicherer wird.

Das **Verfahren** baut auf den Selbstkonfigurationseigenschaften der Plattform auf und ermöglicht die Anpassung des Systems an verschiedene Anwendungsgebiete auf der Basis von dynamischen Regelwerken.

Je nach Auslegung und Lernfähigkeit des Regelwerks kann ein unterschiedliches Verhalten innerhalb und außerhalb der vorgesehenen oder geplanten Anwendung vorgegeben werden. Gegenüber existierenden Ansätzen ist das System damit in der Lage neben der Konfiguration von Netztopologie und der Netzdienste auch die Rollen der Systemkomponenten abhängig von äußeren Einflüssen zu verändern oder neu zu bestimmen. Grundsätzlich kann damit ein Kommunikationsnetz nach Bedarf ganz oder teilweise zu einem Sensornetz konfiguriert werden und umgekehrt. Im folgenden Abschnitt werden dazu einige konkrete Beispiele genannt.

Das Verfahren legt dabei das Paradigma fest, nachdem das Netz arbeiten soll. Neu ist hierbei, dass diese Festlegung erst nach der ersten Inbetriebnahme des Netzes – oder eines Netzkerns – erfolgen kann. Somit besteht die Möglichkeit über ein geeignetes Regelwerk dem Netz einen Wachstumsprozess aufzuerlegen in dessen Verlauf eine Aufgabe angenommen wird und das Netz im Betrieb dann für diese Aufgabe optimiert wird. Aufgrund des Stands der Technik bei Systemen künstlicher Intelligenz kann dieser Vorgang natürlich nur eingeschränkt mit biologischen Systemen verglichen werden und erfordert in den verschiedenen Entwicklungsphasen weiterhin grundsätzlich den Menschlichen Eingriff und Korrektur. Neu ist hier aber, dass System und Verfahren die Entwicklung und Evaluation von Regelwerken während des Betriebs unterstützen kann (durch Lernen und Kollaboration).

Ausführungsbeispiele

System-on-a-Chip Knoten: Diese Ausführungen kommen vorzugsweise für Endsysteme (A) in Frage bei denen die Energieeffizienz im Vordergrund steht. Einschränkungen in der Konfigurierbarkeit, Kommunikationsreichweite und im Umfang der unterstützten Kommunikationsprotokolle und -Standards, Sensorik und Aktorik erfordern ein engeres Zusammenspiel mit leistungsfähigeren Netzknoten (B) die dann Teilaufgaben der Endsysteme mit übernehmen (z. B. zentral gespeicherte Regelsätze, Gateway-Funktionalität, Protokollumsetzung).

Embedded System Knoten: Diese Ausführung ermöglicht einen großen Funktionsumfang in allen Komponenten, d. h. kann wahlweise als Endsystem (A) oder Netzknoten (B) agieren, benötigt aber eine externe Energieversorgung der Knoten. In Verbindung mit System-on-a-Chip Knoten können Embedded Systeme gleichzeitig als Endsystem und Netzknoten agieren und Funktionen der System-on-a-Chip Knoten übernehmen. Die Kombination aus Embedded System und System-on-a-Chip Knoten ist insbesondere für Netzkonfigurationen interessant, die eine Netzwerkweite (kollaborative) Energieoptimierung zur Verlängerung des Lebenszyklus des gesamten Netzes anwenden.

Infrastrukturnetz mit geplantem Lebenszyklus: Diese spezielle Ausführung des Verfahrens ordnet die Lebensdauer, Konfigurations- und Optimierungsziele einer Netzkonfiguration den vier zeitlichen Phasen a) Aufbau und Verteilung, b) Regulärer Betrieb, c) Ausnahmebehandlung und d) Auslaufbetrieb zu.

Die **Aufbauphase a)** beschreibt den Zeitraum bis zum Erreichen eines Konfigurationsziels und ist charakterisiert durch eine ständig wachsende Anzahl von Knoten und die damit verbundenen Neukonfigurationen. Lokale Ressourcen (z. B. Sensoren) können dazu genutzt werden, entsprechend den Konfigurationsregeln die optimale Kommunikation aufzubauen und / oder zunächst geeignete Netzknoten in der Umgebung zu finden. Änderungen der Topologie oder auch Wechsel auf eine andere besser geeignete Kommunikationstechnologie können erforderlich werden, wenn ein neu hinzukommender Knoten diese anbietet).

Im **regulären Betrieb b)** bleibt die Anzahl der Knoten weitgehend konstant und die Optimierung der erreichten Konfiguration und der evolutionäre Lernprozess stehen im Vordergrund. Änderungen der Topologie oder der Eigenschaften und Parameter der verwendeten Kommunikationstechnologien können aber weiterhin infolge der Selbstorganisation erfolgen, um den Konfigurationszustand aufrecht zu erhalten. Beispielsweise können diese durch sich ändernde Kommunikationsbeziehungen mit externen Netzknoten oder durch Änderungen der internen Systemeigenschaften erforderlich werden. Kann die erreichte Konfiguration nicht mehr gewährleistet werden, so kann in Abhängigkeit der hier vorgesehenen Regeln und dem jeweiligen Ereignis in spezifische Ausnahmephasen oder in den Auslaufbetrieb gewechselt werden.

Die **Ausnahmebehandlung c)** beschreibt die ereignisgesteuerte Neukonfiguration des Netzes oder einzelner Netzteile für einen beschränkten Zeitraum, solange eine bestimmte Situation vorliegt oder ggf. auch für die verbleibende Lebensdauer des Netzes. Die Ausnahmephase beginnt und endet jeweils mit einer dedizierten Aufbauphase, wobei die einleitende Aufbauphase die Netzkonfiguration für die Ausnahmesituation optimiert. Die abschließende Aufbauphase zielt dann auf die Wiederherstellung des regulären Betriebs unter Berücksichtigung der durch die Ausnahme veränderten Situation und Bedingungen.

Der **Auslaufbetrieb d)** optimiert die Netzkonfiguration kontinuierlich um mit einer langsamen Degradation der Netzknoten (z. B. dem Ende der Batterielebensdauer) den Betrieb des gesamten Netzes bis zu einem definierten Abbruchzeitpunkt aufrecht zu erhalten. Dies kann sich auch auf Teilnetze (Partitionen) oder Teil-Systeme (z. B. nur Batteriebetriebene Knoten) beziehen und resultiert in den verbleibenden noch funktionstüchtigen Netzteilen unter Berücksichtigung der Veränderungen durch Selbstorganisation oder aufgetretene Ausnahmephasen.

Unter spezifischen Bedingungen (z. B. falls die die Situation, die zu einer Ausnahme geführt hat durch die vorhandene Sensorik nicht eindeutig ermittelt werden kann) berücksichtigt diese Anwendung auch einen dedizierten Notfallbetrieb.

Der **Notfallbetrieb** ist eine spezifische Ausnahmephase und erlaubt eine intensive Nutzung aller Ressourcen und den Betrieb des gesamten Netzes, um eine gesicherte Kommunikation aller Netzknoten, die zur Bewältigung des Notfalls benötigt werden, zu gewährleisten. Die üblichen Strategien zur Optimierung (z. B. des Energieverbrauchs) sind hier mitunter außer Kraft gesetzt

bzw. werden durch neue temporäre Strategien ersetzt, die eine umfassende Kommunikationsbereitschaft der Knoten sicherstellen können.

Erweiterung des Verfahrens um eine Offline-Optimierung: Ein wesentlicher Bestandteil des Verfahrens ist das Erfassen lokaler Umgebungsbedingungen mittels Sensorik oder auch der Beobachtung des Verhaltens umgebender Knoten und die daraus erfolgende Ableitung der Zielkonfiguration. Der zugrunde liegende Lernprozess kann aufgrund der Vielzahl von Eingangsvariablen (Kontext), Regeln und lokaler Konfigurationsmöglichkeiten aufwändig und langwierig sein. Steht das System mit anderen Systemen in Kontakt, so kann es erarbeitete Lösungen mit benachbarten Systemen austauschen, zumal die Umgebungsbedingungen räumlich oder topologisch benachbarter Netzknoten und Endsysteme wahrscheinlich ähnlich sind. Steht das System mit (logisch) zentralen Infrastrukturkomponenten in Verbindung, so können bereits ermittelte Konfigurationen aus einer Konfigurationsdatenbank herunter geladen werden und neu entdeckte Konfiguration zur weiteren Verwendung (auch in anderen Systemen) abgelegt werden.

Eine Erweiterung des Verfahrens ergibt daher sich aus der Bereitstellung einer zentralen Komponente die (auch simulativ) optimierte Konfigurationen bereitstellt. Diese zentrale Komponente kann sowohl als spezifisch konfigurierter Netzknoten (B) ausgeführt werden oder über einen externen Netzknoten (C) erreichbar sein. Ohne Beschränkung durch begrenzte lokale Ressourcen, wie Rechenleistung, Energiebedarf, Speicherplatz usw. von Endsystem und / oder Netzknoten lassen sich mithilfe dieser externen Komponente Lösungen schneller finden (z.B. durch Parallelisieren oder Kooperation) und an Netzknoten zurückgeben bzw. in der Konfigurationsdatenbank ablegen. Da die Optimierung dieser Konfiguration zum Teil außerhalb des hier beschriebenen Systems erfolgt, handelt es sich aus Sicht des Systems um eine Offline-Optimierungsstrategie.

Der Vorteil dieser Ausführung liegt in der Verarbeitung von real erfassten Umgebungsbedingungen mit den vorhandenen Sensoren der Endsysteme und Netzknoten unter Einbeziehung vorhandener Basisregeln des Systems. Die Offline-Optimierung arbeitet somit auf der gleichen Basis wie die interne Optimierung des Systems, ohne eine spezielle Modellierung von System oder Umgebung zu benötigen. Das Ergebnis der Offline-Optimierung kann direkt durch die lokalen Systeme verwendet werden. Andererseits können durch die Simulation des Systems unter Einbeziehung einer simulierten Umgebung und simulierter Ereignisse auch Konfigurationen für Anforderungen vorbereitet werden, die im realen Betrieb noch nicht aufgetreten sind. Das System und Verfahren kann daher auf der Basis bereits gesammelter „Erfahrungen“ durch die Offline-Optimierung „gehärtet“ werden.

Anwendungsbeispiele

Kommunikationsnetz für Baugelände: Diese Anwendung erfordert die Unterstützung von Anwendungen für die Daten- und Sprachkommunikation, für die Maschinenüberwachung und Steuerung sowie für Sicherungsaufgaben bezogen auf Personal, Geräte und Gelände. Netzknoten müssen als Sensoren oder Aktoren, als Kommunikationsknoten (Access Points oder Router) oder als Gateways agieren können. Gegenüber herkömmlichen Netzkonfigurationen, bei denen diese Rollenverteilung durch die Installation festgelegt wird, liegt hier der Vorteil in der Möglichkeit einer dynamischen und situationsangepassten Rollenzuweisung die der ständigen

Veränderung des Baugeländes mit minimalem Aufwand folgen kann. Die angepasste Konfiguration bezüglich Kommunikationsstandards und -Protokollen erhöht dabei wesentlich die Redundanz und damit die Verfügbarkeit des gesamten Netzes.

Partitionierbares Netz: Diese Anwendung basiert auf einem speziellen Optimierungsziel für die Ausnahmebehandlungsphase eines Infrastrukturnetzes mit geplantem Lebenszyklus. Bei Auftreten einer Ausnahme wird ein Netzknoten gewählt, der die Rolle eines Zugangsknotens zu einem Teilnetz übernimmt, das im geographischen Bereich der aufgetretenen Ausnahme dynamisch gebildet wird. Dieses Teilnetz kann rein virtuell (z.B. als so genanntes Overlay) oder aus physikalischen Netzknoten oder Endsystemen bestehen und wird gesondert für die Ausnahme optimiert. Gegenüber einem externen Netzknoten oder einem externen Benutzer erscheint dieses Teilnetz als separates Netz. Der Vorteil dieser Lösung liegt darin, dass das verbleibende Netz seine regulären Aufgaben weiter erfüllen kann und Beeinträchtigungen nur im geographischen Bereich der Ausnahme auftreten.

Auswahl und Beschränkung von Kommunikationstechnologien: Die Anzahl der eingesetzten Kommunikationstechnologien wird in Zukunft noch weiter zunehmen. Schon heute kann es z. B. im Bereich der Funktechnologien zu gegenseitigen Störungen (Interferenzen) kommen oder in bestimmten Bereichen sind Funktechnologien schlicht unerwünscht oder stark reglementiert (z. B. in Flugzeugen oder Intensivabteilungen). Darüber hinaus gibt es immer wieder aufkommende Diskussionen im Bereich der Elektro-Smog Emissionen, die je nach eingesetzter Technologie mehr oder weniger sinnvoll sind. Alternative Technologien wie Infrarot sind in bestimmten Bereichen aus physikalischen Gründen mitunter gar nicht einsetzbar (z. B. dunkle stark verwinkelte Schächte) oder als einzige Lösung überhaupt einsetzbar (z. B. Ultraschall unter Wasser). Die Möglichkeiten der Kontextermittlung und der Partitionierung können durch das vorgestellte Verfahren derart genutzt werden, dass geografische Information mit heran gezogen werden, um eine Auswahl oder Beschränkung der verwendeten Kommunikationstechnologien vornehmen zu können. Wie bei den Ansätzen zum so genannten Geo Fencing können so virtuell geographische Bereiche markiert werden, die für bestimmte Technologien verboten oder nur mit Einschränkungen nutzbar sind, für andere Technologien aber prädestiniert sind. Beispiele wären hier das automatische Abschalten der Wi-Fi Funktion mobiler Endgeräte im Einflussbereich von Flugzeugen oder Intensivstationen oder der Wechsel von lokaler Voice over IP Kommunikation über Bluetooth an Stelle von GSM innerhalb geschlossener Räume oder Fahrzeuge (Faradayscher Käfig mit mitunter erhöhter Sendeleistung seitens mobiler Endgeräte).

Nutzung hypothetischer Selbstkonfigurierbarkeit zur Systemerweiterung: Während des normalen Systembetriebs repräsentieren unveränderliche Basisregeln die Konfigurationsmöglichkeiten eines System und dynamische Regeln erweitern diese z.B. durch Lernen. Wird der Umgang des Systems mit den genannten Regelsätzen geeignet modifiziert, so lässt sich das System parallel auch zur Analyse, Überwachung und Weiterentwicklung des beschriebenen Systems und Verfahrens nutzen. Der Vorteil ergibt sich dabei aus der gleichzeitigen Nutzung des Systems sowohl für den operativen Betrieb als auch für die experimentelle Erweiterung, Überwachung und Analyse des Systems und Verfahrens.

Werden die Basisregeln des Verfahrens in einer oder mehreren Kontext-Dimensionen über die tatsächliche Konfigurationsfähigkeit des Systems hinaus erweitert (z.B. dem sensorischen Erfassungsbereich), so wird das System ggf. auch Lösungen in Bereichen finden, die derzeit für

das System real nicht zugänglich sind. Die probeweise Erweiterung (bzw. hypothetische Konfigurationsfähigkeit) kann genutzt werden, um Hinweise auf bisher nicht genutzte Möglichkeiten der Systemkonfiguration unter bestimmten Umgebungsbedingungen zu bekommen. Diese lassen sich ggf. später auf wirtschaftlich sinnvolle Weise in das System oder Verfahren integrieren.

Werden die dynamischen Regeln des Verfahrens zwar im Betrieb wie beschriebenen erzeugt, aber nicht tatsächlich angewendet (bzw. bei iterativen Verfahren verzögert angewendet), so können diese neuen Regeln zunächst überprüft werden, um den sicheren Betrieb zu überwachen. Diese Überprüfung kann entweder extern oder im Vergleich mit einem weiteren Satz von Regeln erfolgen: Während die dynamischen Regeln (bottom-up) im System erzeugt werden, wird ein Vergleichsatz (top-down) dem System vorgegeben. Diese Anwendung des Verfahrens ist somit ähnlich der Nutzung von Mutationen zur Weiterentwicklung in evolutionären biologischen Systemen: hypothetische Erweiterungen werden experimentell erprobt, bewertet und ggf. verworfen oder in der folgenden Systemgeneration realisiert.

Literatur

- [1] Zvonar, Z. & Mitola, J. (2003), 'SDR and wireless infrastructure', *IEEE Communications Magazine* **41**(1), 104.
- [2] Fette, B. (2005), 'Cognitive radios: The future of SDR technology', *Military Embedded Systems*, 34-37.
- [3] Pefkianakis, I.; Wong, S. & Lu, S. (2008), SAMER: Spectrum Aware Mesh Routing in Cognitive Radio Networks, in 'New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2008. DySPAN 2008. 3rd IEEE Symposium on', pp. 1-5.
- [4] Nesargi, S. & Prakash, R. (2002), MANETconf: configuration of hosts in a mobile ad hoc network, in 'INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE', pp. 1059-1068 vol.2.
- [5] Emmelmann, M.; Wiethülter, S. & Lim, H.-T. (2009), Opportunistic Scanning: Interruption-Free Network Topology Discovery for Wireless Mesh Networks, in 'International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (IEEE WoWMoM)'.
[6] Camp, J. & Knightly, E. (2009), 'The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard', <http://networks.rice.edu/papers/mesh80211s.pdf>.
- [7] Mitola, J. (2009), Policy languages for cognitive radio, in 'Proc. IEEE Radio and Wireless Symposium RWS '09', pp. 219.
- [8] Choi, C.; Park, I.; Hyun, S. J.; Lee, D. & Sim, D. H. (2008), MiRE: A Minimal Rule Engine for context-aware mobile devices, in 'Proc. Third International Conference on Digital Information Management ICDIM 2008', pp. 172--177.
- [9] Delias, N. L.; Koutsoloukas, E. A.; Lioudakis, G. V.; Kaklamani, D. I. & Venieris, I. S. (2007), A Performance Comparison of Ontolog Reasoning and Rule Engines, in 'Proc. 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit', pp. 1--5.
- [10] Ge, G. & Whitehead, E. J., J. (2005), Automatic generation of rule-based software configuration management systems, in 'Proc. 27th International Conference on Software Engineering ICSE 2005', pp. 659.
- [11] Gogos, C.; Alefragis, P. & Housos, E. (2007), Sensor enabled rule based alarm system for the agricultural industry, in 'Proc. ETFA Emerging Technologies. Factory Automation IEEE Conference on', pp. 912--915.
- [12] Gomes, J. S. (2009), A Rule Based Co-operative Approach for Cell Selection in High Speed Cellular Networks, in 'Proc. Eighth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications NCA 2009', pp. 74--81.

- [13]Hamadache, K.; Bertin, E.; Bouchacourt, A. & Benyahia, I. (2007), Context-aware communication services: An ontology based approach, *in* 'Proc. 2nd International Conference on Digital Information Management ICDIM '07', pp. 689--694.
- [14]Lin, A. & Miao, Z. (2006), Intelligent Service Gateway for pervasive computing, *in* 'Proc. IET International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks', pp. 1--4.
- [15]Liu, T.; Tian, C.; Li, F. & Zhang, H. (2009), Rule graph: Incorporate expert and statistical knowledge for rule execution, *in* 'Proc. IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics SOLI '09', pp. 573--578.
- [16]Liu, T.; Tian, C.; Zhang, H. & Ding, W. (2009), Learning the priority for rule execution, *in* 'Proc. IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics SOLI '09', pp. 565--572.
- [17]Moraes, P. S.; Sampaio, L. N.; Monteiro, J. A. S. & Portnoi, M. (2008), MonONTO: A Domain Ontology for Network Monitoring and Recommendation for Advanced Internet Applications Users, *in* 'Proc. IEEE Network Operations and Management Symposium Workshops NOMS Workshops 2008', pp. 116--123.
- [18]Nelson, M. L.; Rariden, R. L. & Sen, R. (2008), A Lifecycle Approach towards Business Rules Management, *in* 'Proc. 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences', pp. 113.
- [19]Paschke, A. (2005), RBSLA A declarative Rule-based Service Level Agreement Language based on RuleML, *in* 'Proc. International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce', pp. 308--314.
- [20]Patel, P. & Chaudhary, S. (2009), Context Aware Semantic Service Discovery, *in* 'Proc. World Conference on Services - II SERVICES-2 '09', pp. 1--8.
- [21]Pisan, Y. & Nayak, A. (2001), Increasing believability: agents that justify their actions, *in* 'Proc. 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems', pp. 1347--1350.
- [22]St-Onge, F.; Kidston, D. & Labbe, I. (2007), A Multi-level Policy Representation for Management Services in Maritime Networks, *in* 'Proc. Eighth IEEE International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks POLICY '07', pp. 96--108.
- [23]Bobek, A.; Zeeb, E.; Bohn, H.; Golasowski, F. & Timmermann, D. (2008), Device and service templates for the Devices Profile for Web Services, *in* 'Proc. 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN 2008', pp. 797--801.
- [24]Fabian, C.; Zeeb, E.; Timmermann, D. & Golasowski, F. (2009), Platform and language independent service life cycle management for device centric SOAs, *in* 'Proc. 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN 2009', pp. 545--550.
- [25]Li, Q.; Shu, Y.; Tao, C.; Peng, X. & Shi, H. (2008), Service-Oriented Embedded Device Model in Industrial Automation, *in* 'Proc. Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application IITA '08', pp. 525--529.
- [26]Park, Y. S.; Kirkham, T. D.; Phaithoonbuathong, P. & Harrison, R. (2009), Implementing agile and collaborative automation using Web Service orchestration, *in* 'Proc. IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE 2009', pp. 86--91.
- [27]Pruter, S.; Moritz, G.; Zeeb, E.; Salomon, R.; Timmermann, D. & Golasowski, F. (2008), Applicability of Web Service Technologies to Reach Real Time Capabilities, *in* 'Proc. 11th IEEE International Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)', pp. 229--233.
- [28]Ribeiro, L.; Barata, J.; Colombo, A. & Jammes, F. (2008), A generic communication interface for DPWS-based web services, *in* 'Proc. 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN 2008', pp. 762--767.
- [29]Sleman, A. & Moeller, R. (2008), Integration of Wireless Sensor Network Services into other Home and Industrial networks; using Device Profile for Web Services (DPWS), *in* 'Proc. 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications ICTTA 2008', pp. 1--5.

- [30] Yu, J. & Lalanda, P. (2008), Integrating UPnP in a development environment for service-oriented applications, *in* 'Proc. IEEE International Conference on Industrial Technology ICIT 2008', pp. 1--5.
- [31] Baroncelli, F.; Martini, B.; Valcarengi, L. & Castoldi, P. (2006), A Service Composition Model for Automatically Switched Transport Networks, *in* 'Proc. International conference on Networking and Services ICNS '06', pp. 61.
- [32] Blum, N.; Magedanz, T. & Schreiner, F. (2009), Management of SOA based NGN service exposure, service discovery and service composition, *in* 'Proc. IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management IM '09', pp. 430--437.
- [33] Choy Chuong Wen, K.; Wei, T. S.; Peng, W. S. & Mohamad, N. (2008), Supporting service composition with ontology-based UPnP AV architecture in AV environment, *in* 'Proc. IEEE Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications CITISIA 2008', pp. 104--109.
- [34] Dong, W.-L. & Yu, H. (2006), Optimizing Web Service Composition Based on QoS Negotiation, *in* 'Proc. 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops EDOCW '06', pp. 46.
- [35] Jensen, M. (2008), A Fault Propagation Approach for Highly Distributed Service Compositions, *in* 'Proc. IEEE International Conference on Services Computing SCC '08', pp. 507--510.
- [36] Kalasapur, S.; Kumar, M. & Shirazi, B. A. (2007), 'Dynamic Service Composition in Pervasive Computing', *#IEEE_J_PDS# 18(7)*, 907--918.
- [37] Aether Project (2007), 'Self-adaptive Embedded Technologies for Pervasive Computing Architectures', Aether Project.
- [38] XG Working Group (2004), 'XG Policy Language Framework', Technical report, DARPA XG Project, BBN Technologies.