

# Zielorientiertes Sensing im Pervasive Computing<sup>1</sup>

Dipl.-Ing. Dr. Gerold Hölzl<sup>2</sup>

**Abstract:** Wissen über Kontext setzt sich aus einer Vielzahl von unterschiedlichen und heterogenen Informationsquellen zusammen. Beim dominierenden Designansatz zum Bau von Kontext bezogenen, pervasiven Systemen, geht man von unten nach oben vor. Der entscheidende Nachteil dieses Designansatzes besteht darin, dass als erstes mit der Auswahl der nötigen Sensoren begonnen wird. Im Anschluss wird die so genannte Aktivitäts- und Kontextererkennungskette, aufbauend auf der Sensor Ebene, definiert, um Kontextinformation aus den Sensordaten zu extrahieren. Die Systemdefinition wird während der Entwicklung des Systems festgelegt und ist von diesem Zeitpunkt an statisch und unveränderlich. Durch den unaufhaltsamen Anstieg an verfügbaren, intelligenten Geräten mit integrierten Sensoren ist dieser statische Ansatz bereits antiquiert. Für den weit verbreiteten Einsatz von kontextbezogenen, allgegenwärtigen sensor-basierten Systemen müssen neue Methoden diskutiert werden, um die statischen und vordefinierten Eigenschaften der derzeit bestehenden Ansätze aufzubrechen. Die Vision dieser Arbeit soll den Weg ebnen, um den von unten nach oben orientierten Ansatz in eine zielorientierte, von oben nach unten durchzuführende Konfiguration des kontextsensitiven Systems zu ändern. Eine zielorientierte, auf sogenannten Erkennungszielen basierende Methodik wird verwendet, um die dynamische, selbstorganisierende und adaptive Systemkonfiguration zur Laufzeit zu ermöglichen. Der zielorientierte Ansatz wird die derzeit dominierenden Verfahren neu bewerten und verändern. Dies wird dazu beitragen, die Komplexitätskrise der heutigen hohen Verfügbarkeit von Milliarden von Sensoren, die zur Aktivitäts- und Kontextererkennung verwendet werden können, zu überwinden. Die Reduzierung der Komplexität bezüglich Installation, Konfiguration, Optimierung und Wartung von sensorbasierten, kontextsensitiven Systemen durch einen zielorientierten Ansatz wird die Akzeptanz, die Verwendbarkeit und die Nützlichkeit dieser Systeme auf einer breiteren, offeneren Basis zeigen und erhöhen. Der zielorientierte Ansatz verfolgt eine offene Sicht der Dinge, in der Sensoren im Rahmen ihrer Möglichkeiten den definierten Erkennungszielen zugeordnet werden können. Ein zielgerichtetes Kontextererkennungssystem kann dynamisch auf Änderungen in der Sensorinfrastruktur reagieren und sich darauf einstellen. Dies stellt sicher, dass zu jedem Zeitpunkt die beste Auswahl an verfügbaren Sensoren eingesetzt wird, um das Ziel zu erreichen. Die Kernbeiträge dieser Arbeit sind die Entwicklung neuer Methoden und algorithmischer Lösungen für (i) semantische Aktivitäts- und Kontextbeziehungen, (ii) die Formulierung sowie das Übersetzen und Abarbeiten eines Erkennungsziels, (iii) die semantische Abbildung des Erkennungsziels auf die verfügbare Sensorinfrastruktur zur Laufzeit, begleitet von (iv) der Nutzung mehrerer Sensorinformationsquellen, um auf die Aktivitäten und den Kontext von Personen zu schließen. Die Erkenntnisse und Beiträge dieser Arbeit werden einen methodischen Paradigmenprung, weg von vordefinierten und statischen Kontextererkennungssystemen hin zu deren zielorientierter, dynamischen Laufzeitkonfiguration und Anpassung einleiten.

---

<sup>1</sup> Englischer Titel der Dissertation: "Goal Oriented Sensing in Pervasive Computing"

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Informatik mit Schwerpunkt Eingebettete Systeme, Universität Passau, Deutschland, gerold.hoelzl@gmail.com

# 1 Einführung

Kontextererkennungssysteme wie wir sie heute kennen sind in ihrer Dynamik, Flexibilität und Adaption sehr eingeschränkt. Dies beruht auf der Tatsache, dass diese Systeme eine statische, sich nicht mehr verändernde Sensorinfrastruktur benötigen um korrekt zu funktionieren. Der dominierende Designansatz für diese Systeme ist immer noch ein von unten nach oben gerichteter. Dieser Ansatz war zu Zeiten sinnvoll, als wenige Sensoren verfügbar waren und diese mit dem Kontextererkennungssystem konfiguriert und ausgeliefert wurden. Während der gesamten Lebenszeit des Kontextererkennungssystems musste diese statische Sensorinfrastruktur funktionieren und konnte auch nicht geändert werden. Jegliche Veränderungen oder Fehler in der vordefinierten Sensorinfrastruktur führte zu einem Zusammenbruch des gesamten Kontextererkennungssystems. Die Annahme, dass die vordefinierte und statische Sensorinfrastruktur immer fehlerfrei funktioniert, ist die heutige Achillesferse dieser Systeme. Keine der heute zur Verfügung stehenden Frameworks oder Middlewares adressieren diese Limitierung noch nehmen Sie Bezug auf die große Anzahl an bereits zur Verfügung stehender Sensorik, die zur Aktivitäts- und Kontextererkennung eingesetzt werden kann. Daraus resultieren immer noch strikte Anforderungen an Designer und Ingenieure von Kontextererkennungssystemen. Sensoren müssen zur Designzeit des Systems für den einen speziellen Anwendungsfall konfiguriert werden. Während der Laufzeit benötigt das Kontextererkennungssystem exakt die gleichen Sensoren die initial definiert wurden. Diese Bedingungen verhindern einen breiteren Einsatz von Kontextererkennungssystemen. Jede Änderung in der Sensorinfrastruktur oder in der Sensorcharakteristik resultiert in einer Verschlechterung der Erkennungsperformanz oder im kompletten Ausfall des gesamten Kontextererkennungssystems.

Die essentiellen Nachteile eines vordefinierten, statischen Aktivitäts- und Kontextererkennungssystems verhindern dessen universelleren Einsatz. Zusammenfassend wurden folgende Limitierungen von aktuellen Aktivitäts- und Kontextererkennungssystemen identifiziert:

- Statische, a-priori Annahme über die Verfügbarkeit von Sensoren und deren Charakteristik, welche die heutigen Kontextererkennungssysteme anfällig gegenüber jeglicher unerwarteten Veränderung oder möglichen Fehlern macht.
- Zur Designzeit definierte und fixierte statische Sensorinfrastruktur, die in einem kompletten Systemausfall resultiert, wenn einer der Sensoren defekt ist (Sensor zeigt Fehler, Erkennung wird schlechter, oder ein kompletter Sensorausfall passiert).
- Fehlende Anpassungsfähigkeit an Veränderungen in der Sensorinfrastruktur, welche während der Entwurfszeit des Systems mit einem von unten nach oben verlaufenden Entwurfsmuster definiert werden.
- Fehlende Möglichkeit, zusätzliche Sensorressourcen, die zur Laufzeit entdeckt werden, zu verwenden.
- Vorgelehrnte, nicht anpassungsfähige, statistische Modelle mit einer begrenzten Anzahl an Aktivitätsklassen werden in der Aktivitätserkennungskette eingesetzt. Dies

ist unbrauchbar für den Einsatz von Kontextererkennungssystemen in großem Maßstab bei realen Anwendungen.

- Fehlende Fähigkeit, Veränderungen in den Sensorparametern (beispielsweise die Abtastrate, Auflösung, Genauigkeit) zu berücksichtigen.
- Fehlende Anpassung an Änderungen in den Sensordatenströmen z.B. aufgrund von Sensor-Rotation oder Fehlausrichtung, die zu einer Verschlechterung der Erkennungsleistung führt. Sensoren müssen daher immer an einer genau definierten Position getragen und befestigt werden. Dies führt zu benutzerspezifischen Kontextererkennungssystemen (Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen von Körperproportionen, Kleidung, etc.)
- Fehlende Wiederverwendung oder parallele Nutzung von sich bereits im Einsatz befindlichen Sensoren und trainierten Modellen als Bausteine für neue Kontextererkennungssysteme.
- Fehlende Laufzeit-Bewertungsmetriken, um die Qualität der gelieferten Sensordatenströme zu charakterisieren.
- Fehlende Integration oder Austausch von Sensoren mit neu verfügbaren (besseren). Dies macht es dem Kontextererkennungssystem unmöglich, sich an künftige Gegebenheiten anzupassen, oder sich an kurzfristige Änderungen und langfristige Trends in der Sensorik anzugleichen.
- Fehlende dynamische Sensor (-selbst) Charakterisierung, die eine maschinenles- und verarbeitbare Quantifizierung der Sensor Fähigkeiten zur Laufzeit ermöglicht.
- Fehlende (Selbst-)verwaltete Interaktion und Konfiguration der einzelnen Bestandteile des Kontextererkennungssystems.
- Fehlende Ensemble Koordinationsarchitektur für spezifische und dynamische Sensorauswahl.
- Fehlende Möglichkeit, die Erkennungsarchitektur an verschiedene Anwendungsdomänen und für unterschiedliche Erkennungsziele anpassen und wiederverwenden zu können.
- Aktuelle Ansätze erlauben es nicht, Kontextererkennungssysteme als Bausteine für groß angelegte, offene, intelligente Umgebungen zu verwenden, da in diesen Umgebungen immer neue Sensoren hinzugefügt werden und neuer Kontext erkannt werden muss. Dies erfordert das jeweils benutzerspezifische (um)Lernen für jeden neuen Sensor und jeden neuen Kontext.

Unter Berücksichtigung der statischen Natur mit all den Limitierungen dieses antiquierten Designansatzes für Kontextererkennungssysteme und der Tatsache, dass heute bereits millionenfach Sensoren in unserer Umgebung verfügbar sind, die für die Aktivitäts- und Kontextererkennung verwendet werden können, ist es notwendig, diesen Ansatz radikal umzudenken, um die identifizierten Einschränkungen zu überwinden. Dieser neue Designansatz wird zu dynamischen, selbstorganisierenden und adaptiven Kontextererkennungssystemen führen.

## 2 Von instrumentiertem zu opportunistischem Sensing

Der Fokus der Dissertation [Ho15] liegt auf einem Wechsel, oder präziser ausgedrückt, einem Paradigmenprung mit der Bezeichnung *Opportunistisches Sensing* dessen Vision es ist, das etablierte Designparadigma für Kontextererkennungssysteme zu revidieren und umzukehren. Kontextererkennungssysteme sollen nach dem opportunistischen Prinzip dynamisch zur Laufzeit von oben nach unten konfiguriert werden. Opportunistische Kontextererkennungssysteme müssen die bereits verfügbare Sensorinfrastruktur nutzen können. Diese Sensoren müssen koordiniert, also aufeinander abgestimmt werden, und sie müssen sich selbst zu *zielorientierten* Sensorensembles formieren, um effizient Informationen zu relevanten Aktivitäten und Kontext sammeln zu können. Opportunistisches Sensing beinhaltet Prinzipien zur Unterstützung eines autonomen Betriebs in offenen Umgebungen wie Selbst-Konfiguration, autonome Evolution und Selbstverbesserung, die als Schlüsselprinzipien für den Einsatz in großen, intelligenten Umgebungen gesehen werden können. Opportunistisches Sensing adressiert direkt die bestehenden Einschränkungen aktueller Aktivitäts- und Kontextererkennungssysteme wie die anwendungsspezifische Sensorausbringung und die Annahme über stationäre Umgebungen und Sensoren. Es adressiert realwelt Probleme [Ho12] bei der Bereitstellung und dem Mainstreaming intelligenter Umgebungen durch die Ausnutzung jeglicher verfügbarer und passender Sensoren [HKF12]. Weiters lockert es die Einschränkungen über die Platzierung von Sensoren, was zu einer erhöhten Nutzerakzeptanz führen wird, und erhöht die Robustheit gegenüber nicht vorhersehbaren Änderungen in realwelt Umgebungen [HKF13a].

Als Folge daraus, und um das opportunistische Systemverhalten zu erreichen, ist eine Direktive notwendig, die den Adaptionsprozess in einen von oben nach unten verlaufenden Prozess hinsichtlich eines definierten Erkennungsziels für das opportunistische System während der Laufzeit steuert und regelt. Es ist von essenzieller Bedeutung für ein opportunistisches Kontextererkennungssystem, welches in unkontrollierten Umgebungen arbeitet, zu wissen, welche Sensoren es verwenden kann. Diese Direktive wird als das *Erkennungsziel* [HKF13b] definiert. Es beinhaltet eine abstrakte Beschreibung, was opportunistische Kontextererkennungssysteme leisten sollen, präziser formuliert, was sie erkennen sollen, aber nicht wie.

Dies ist gegensätzlich zu aktuellen Kontextererkennungssystemen. Wenn wir bei aktuellen Systemen überhaupt von einem zu erfüllenden *Ziel* sprechen können, ist es fix im System implementiert und unveränderbar. Um ein abstraktes Erkennungsziel (z.B. wieviele Personen befinden sich im Raum; welche Aktivitäten werden gerade durchgeführt; sind die Personen gerade aufmerksam oder nicht) formulieren zu können, muss ein formaler Ansatz definiert werden, wie ein Ziel syntaktisch und semantisch formuliert und zusammengesetzt sein kann, um die geeigneten Sensoren aus der Menge an verfügbarer Sensoren im Umfeld auszuwählen. Abhängig von den verfügbaren Sensoren in der Umgebung, kann das formulierte Erkennungsziel dann in einem gewissen Ausmaß umgesetzt werden, oder nicht. Durch die abstrakte Formulierung des Erkennungszieles kann das opportunistische Kontextererkennungssystem autonom und dynamisch auf Änderungen in der Sensorinfrastruktur reagieren, und so zu jedem Zeitpunkt das beste Sensorenensemble für das formulierte Erkennungsziel konfigurieren.

### 3 Das Erkennungsziel: Die Essenz des opportunistischen Sensings

Der Kernbeitrag dieser Arbeit ist ein formaler Ansatz, wie Erkennungsziele für ein opportunistisches Kontexterkenkungssystem definiert und angegeben werden können. Die Erkennungsziele sind eine abstrakte Formulierung des erwarteten Systemverhaltens des opportunistischen Kontexterkenkungssystems in Bezug auf die Aktivitäten und den Kontext, den es erkennen soll. Die Definition des Ziels und dessen Verarbeitung ist in drei fundamentale Kategorien aufgeteilt: (i) die formale und syntaktische Definition des Erkennungsziels, (ii) eine ontologische Wissensbasis um das nötige Domänenwissen abzubilden und das Erkennungsziel auf semantischer Ebene verarbeiten, schlussfolgern und substituieren zu können, und (iii) eine semantische Verarbeitungseinheit, welche die notwendigen Algorithmen bereitstellt, um das Erkennungsziel auf die verfügbaren Sensoren abzubilden, schlusszufolgern und zu substituieren. Das abstrakte Erkennungsziel wird dynamisch in eine koordinierte, sogenannte *Sensing Mission* übersetzt (dies beinhaltet alle notwendigen machine learning- und Mustererkennungsmethodologien die in der Aktivitätserkennungskette definiert sind), und resultiert in einem zielorientierten Sensorensemble welches autonom vom opportunistischen Kontexterkenkungssystem ausgeführt wird. Die in der Arbeit identifizierten Vor- und Nachteile des zielorientierten Ansatzes für ein Aktivitäts- und Kontexterkenkungssystem werden im Folgenden zusammengefasst, um einen kompakten Überblick zu ermöglichen:

#### Identifizierte Vorteile

- Zielorientierte, dynamische, von oben nach unten verlaufende Konfiguration eines Aktivitäts- und Kontexterkenkungssystems um den heutzutage dominierenden statischen, von unten nach oben gehenden Designansatz umzukehren.
- Dynamische Änderung des Erkennungszweckes des opportunistischen Kontexterkenkungssystems zur Laufzeit, basierenden auf den formulierten Erkennungszielen welche die autonome Konfiguration des Systems lenken.
- Dynamische Selektion, Instanziierung und Kombination der verfügbaren Sensorinfrastruktur zu Sensorensembles zur Laufzeit, gelenkt durch das formulierte Erkennungsziel.
- Dynamische, zielorientierte (wieder-)Verwendung von Elementen der Aktivitäts- und Kontexterkennungskette.
- Kombination von, und Kooperation zwischen Sensing, Signalverarbeitung, Merkmalsextraktion und Klassifizierungsschritten unter sich dynamisch ändernden Konditionen.
- Dynamische Rekonfiguration von Sensorensembles basierend auf (i) Veränderungen im Erkennungsziel und/oder (ii) Veränderungen in der Sensorinfrastruktur.
- Dynamische Selektion und fortlaufende Reevaluation der besten Menge an Sensoren (Sensorensemble) die das Erkennungsziel ausführen können.

- Verarbeitung multipler und paralleler Erkennungsziele mit (sogar) überlappenden Sensorensembles.
- Semantische und dynamische Kombination von Sensoren basierend auf Wissensschlussfolgerungen, Umformungen des Erkennungszieles und Zuordnung zwischen dem Erkennungsziel und der selbstbeschriebenen Sensorinfrastruktur.
- Überwindung der statischen und vordefinierten Natur heutiger Aktivitäts- und Kontexterkennungssysteme mit dem Ziel in unkontrollierten, offenen Umgebungen arbeiten zu können.
- eine zielorientierte sensing Architektur, die in einem elastischen und belastbaren sensing System gegenüber Änderungen in der Sensorinfrastruktur resultiert.

### **Identifizierte Schwierigkeiten**

- Das Erkennungsziel ist überhaupt nicht beschreibbar, da es nicht auf eine formalisierte, computer-verarbeitbare Formulierung heruntergebrochen werden kann.
- Die Definition des Erkennungsziels könnte zu unpräzise sein um die Bedürfnisse eines Benutzers oder einer Anwendung exakt formulieren zu können. Dies kann in zwei Dimensionen betrachtet werden: (i) die Ausdrucksstärke der Definition des Erkennungsziels ihrerseits ist zu schwach, oder (ii) Benutzer und Anwendungen können die Ausdrucksstärke der Erkennungszielbeschreibung nicht nutzen.
- Als Konsequenz des Einsatzes einer dynamischen Erkennungszielverarbeitung, Substitution und Schlussfolgerung kann das resultierende System unerwartete Performanz im Bezug auf Laufzeit und Erkennungsgenauigkeit, vor allem in unkontrollierten Realweltumgebungen zeigen.
- Ungenaueres oder fehlendes Domänenwissen in der modellierten Wissensbasis kann die Genauigkeit und die Präzision der Erkennungszielverarbeitung massiv beeinflussen und somit auch die konfigurierten Sensorensembles.
- Der semantische Abgleichprozess der dynamisch das Sensingensemble koordiniert und formt kann in unterschiedlichen Ensembles mit gleicher Genauigkeit resultieren. Die Selektion des Sensorensembles muss dann anhand von a-priori Wissen und/oder einem Regelwerk geschehen.
- Erkennungsziele können zu bestimmten Zeitpunkten erfüllt werden. Da sich die Sensorinfrastruktur aber dynamisch ändern kann, kann sich auch die Erfüllbarkeit von Erkennungszielen ändern (von z.B. erfüllbar auf nicht erfüllbar). Die Frage die sich stellt ist, wie lange das opportunistische System abwartet bevor es ein Erkennungsziel als definitiv nicht (mehr) erfüllbar ansieht (z.B. durch Verwendung eines Time-Outs). Speziell in asynchronen Umgebungen ist dies ein kritischer Faktor.
- Multiple Erkennungsziele können dem System parallel angegeben werden. Diese Erkennungsziele können konfliktierend in Bezug auf die zu verwendenden Systemressourcen und die verfügbaren Sensoren in der Umgebung sein. Welche Erken-

nungsziele dann weiter verarbeitet werden muss aufgrund einer Konfliktlösungsstrategie entschieden werden.

- Dynamische Erkennungsziele können sich mit der Zeit verändern. Dies kann von einer Sekunde auf die andere passieren. Da der Rekonfigurationsprozess eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, kann dies zu einem instabilen Systemzustand führen, wenn die Erkennungsziele im Bezug zur Rekonfigurationszeit zu schnell wechseln.
- Die Erfüllbarkeit von Zielen mit dem vorgestellten Ansatz ist immer noch abhängig vom überwachten Trainieren von Sensoren und Modellen. Obwohl es sich dabei um einen geringfügigeren Aspekt für ein zielorientiertes System handelt, da Sensoren ja dynamisch ausgetauscht oder hinzugefügt werden können, limitiert dies dennoch die Adaptierung an das sich lebenslang ändernde Verhalten von Menschen auf der Sensorebene.

## 4 Forschungsherausforderungen

*Forschungsfrage: Zielorientiertheit*

- Gibt es Evidenz in der Natur, die als Grundlage dienen kann, einen zielorientierten Ansatz für Aktivitäts- und Kontexter kennungssysteme zu adaptieren?
- Sind zielorientierte Ansätze vielversprechend und gegenüber den von unten nach oben basierten Ansätzen für Aktivitäts- und Kontexter kennungsarchitekturen zu bevorzugen?

*Forschungsfrage: Modellierung von Aktivitäten und Kontext*

- Wie kann Domänenwissen in einem autonomen und adaptiven Aktivitäts- und Kontexter kennungssystem verwendet werden?
- Welche Beziehungen zwischen Aktivitäten und Kontext können als vorteilhaft und gewinnbringend für autonome und adaptive Aktivitäts- und Kontexter kennungssysteme identifiziert werden?
- Wie können die identifizierten Beziehungen für autonome und adaptive Aktivitäts- und Kontexter kennungssysteme dargestellt und Schlussfolgerungen daraus gezogen werden?
- In welcher Form muss die Wissensbasis verarbeitet werden um eine Zielübersetzung zu ermöglichen, und wie kann dies definiert und formuliert werden.

*Forschungsfrage: Erkennungsziel*

- Wie kann ein Erkennungsziel formuliert und repräsentiert werden?
- Wie kann ein Erkennungsziel in eine maschinell verarbeitbare Repräsentation übersetzt werden, die von einem autonomen und adaptiven Aktivitäts- und Kontexter kennungssystem verarbeitet werden kann?
- Welche Technologien sind für eine Zielrepräsentation, Zielkomposition und Zielübersetzung anwendbar?

*Forschungsfrage: Kombination von Informationsquellen*

- Wie kann die Erkennungsleistung verschiedener Sensoren kombiniert werden um ein Erkennungsziel zu erfüllen?
- Wie kann die Erkennungsleistung von verschiedenen kombinierten Sensoren quantifiziert werden?

#### 4.1 Beitrag

Der Kernbeitrag dieser Dissertation ist die Entwicklung und die Evaluierung von Methodologien, um den aktuell dominanten Designansatz von Aktivitäts- und Kontextererkennungssystemen zu überarbeiten und zu revidieren. Der vorgeschlagene Ansatz ist eine *zielorientierte*, von oben nach unten dynamisch durchgeführte Konfiguration des Aktivitäts- und Kontextererkennungssystems. Diese Systeme passen sich dynamisch anhand des definierten Erkennungszieles an die verfügbare Sensorinfrastruktur an. Dies gewährleistet eine flexible, dynamische Anpassung, sowie ein stabiles Aktivitäts- und Kontextererkennungssystem das nicht von vordefinierten und statischen Sensoren abhängig ist.

Unabhängig von Änderungen in der Sensorinfrastruktur während der Laufzeit verwendet ein zielorientiertes Aktivitäts- und Kontextererkennungssystem semantische Methoden und Schlussfolgerungsalgorithmik um zu jedem Zeitpunkt das bestmögliche Sensorensemble zur Erfüllung des Erkennungszieles zu konfigurieren.

Die Forschungsschwerpunkte fokussierten sich dabei auf: (i) die Vorteile von zielorientierten Ansätzen für Aktivitäts- und Kontextererkennungssystemen herauszuarbeiten, (ii) die Definition eines neuen Aktivitäts- und Kontextmodells für die zielgerichtete Erkennung und (iii) die zielgerichtete Kombination von unterschiedlichen Informationsquellen. Die entwickelten Konzepte wurden in einem Echtzeitsystem implementiert um den Beweis für deren Anwendbarkeit und Durchführbarkeit zu erbringen. Ein Anwendungsszenario für implizites Energiemanagement [Ho12] basierend auf einem zielorientierten Aktivitäts- und Kontextererkennungssystem wurde evaluiert. Abschließend wird ein Ausblick auf den Einsatz von zielgerichteten Erkennungssystemen im Bezug auf kollektive, adaptive Systeme [Ho14] durch den Einsatz von sogenannten *smart wearables* gegeben.

Im Folgenden werden die Schlüsselbeiträge der Dissertation hinsichtlich der Vision einer zielorientierten Erkennungsarchitektur zusammengefasst, wobei ein Ziel als: *“Ein Erkennungsziel ist eine high level Direktive die abstrakt definiert und spezifiziert, was das System leisten, und wie es sich verhalten soll”*, definiert ist.

- *Zielorientiertheit*
  - Zur Verfügung stellen von zielorientierten Ansätzen und Methoden zur dynamischen, von oben nach unten gelenkten Konfiguration von Aktivitäts- und Kontextererkennungssystemen.
  - Über den aktuellen Stand von AWARE-Erkennungsarchitekturen hinauszugehen und die Limitierungen in Bezug auf statische, a-priori Annahmen über die Sensorverfügbarkeit zu überwinden.



- Semantische Zielformulierung, Bearbeitung und Schlussfolgerung unter Verwendung von TextTivity-Prädikaten zur dynamischen Konfiguration von autonomen Aktivitäts- und Kontextererkennungssystemen und deren Adaptierung zur Laufzeit.
- *Semantische Modellierung*
  - Verbessertes Verständnis und Modellierung von Aktivität und Kontext als ein Netzwerk von Beziehungen, die die Wissensbasis für die semantische Zielformulierung, Verarbeitung und Übersetzung darstellt.
  - Möglichkeiten zum semantischen Abgleich des Erkennungszieles mit der zur Verfügung stehenden Sensorinfrastruktur zur dynamischen Ensemblegenerierung. Dazu gehört die Überwindung der 1:1 Abgleichlimitierung zwischen dem Erkennungsziel und den Sensoren während des Ensemblekonfigurationsprozesses unter Zuhilfenahme von semantischen Kontextbeziehungen.
- *Maschinelles Lernen*
  - Zielorientierter Ansatz zur dynamischen Konfiguration von High-Level Erkennungsmodellen (HMM, Evidential Network) für zusammengesetzte Aktivitäten basierend auf einer ontologischen Wissensbasis mit unterschiedlichen und variierenden Quellen der Information (Sensoren).
- *Erkennungsarchitekturen*
  - Es wurde ein konzeptionelles Framework entwickelt, das einen Paradigmen-sprung von statischen hinzu dynamischen, adaptiven, zielorientierten Architekturen unter Einbindung von Erkenntnissen aus der Natur induzieren soll.
  - Dynamische Selektion, Instanziierung, Kombination und Reevaluierung der Sensorinfrastruktur zur Laufzeit basierend auf dem Erkennungsziel.
  - Die entwickelten Konzepte und Methoden sind alle als Referenzarchitektur für zielorientierte Erkennungsarchitekturen implementiert und umgesetzt.

## 5 Conclusio

Basierend auf der Annahme einer offenen, dynamischen und flexiblen Welt, in der neue, und bis jetzt unvorhergesehene intelligente Sensoren und Aktuatoren in Zukunft entwickelt werden können, sind die Methodologien für den zielorientierten Ansatz für opportunistische Aktivitäts- und Kontextererkennungssysteme so generell wie möglich gehalten. Dies stellt sicher, dass die entwickelten Konzepte und deren Manifestation in Form der implementierten, zielorientierten Kontexterkennungsarchitektur zukunftssicher sind, da diese leicht für zukünftige Anwendungsdomänen adaptiert werden können. Zukünftige, intelligente Umgebungen müssen sich dynamisch an die Ziele und Bedürfnisse ihrer Benutzer anpassen. Ein wesentliches Kriterium für den Erfolg dieser intelligenten Umgebungen muss deren Fähigkeit sein, die benötigten Ressourcen selbständig und dynamisch gemäß den erkannten Zielen der Menschen anzupassen. Die in der Arbeit vorgestellten Beiträge

werden als Pionierarbeit hinsichtlich dieses komplexen und anspruchsvollen Zieles gesehen. Ich betrachte es als eine Herausforderung für die Menschheit Limitierungen zu überwinden, die durch den statischen, anwendungsspezifischen, einmal auszubringenden Systemansatz gegeben sind. Dies wird zu flexiblen, autonomen und zielorientierten Systemansätzen führen, die sich hinsichtlich eines definierten Zieles selbständig adaptieren und organisieren können. Informationen, die die einzelnen Knoten erfassen, sowie Kommunikationskanäle zwischen benachbarten Knoten und deren dynamische Reorganisation wird zur Konvergenz hin zum globalen Optimum bei der definierten Zielerfüllung führen.

## Literaturverzeichnis

- [HKF12] Hoelzl, Gerold; Kurz, Marc; Ferscha, Alois: Goal Oriented Opportunistic Recognition of High-Level Composed Activities using Dynamically Configured Hidden Markov Models. In: The 3rd International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT2012), Niagara Falls, Ontario, Canada. August 2012.
- [HKF13a] Hoelzl, Gerold; Kurz, Marc; Ferscha, Alois: Goal Oriented Recognition of Composed Activities for Reliable and Adaptable Intelligence Systems. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (JAHC), 5(3):357–368, July 2013.
- [HKF13b] Hoelzl, Gerold; Kurz, Marc; Ferscha, Alois: Goal Processing and Semantic Matchmaking in Opportunistic Activity and Context Recognition Systems. In: The 9th International Conference on Autonomous and Autonomous Systems (ICAS2013), March 24 - 29, Lisbon, Portugal, **Best Paper Award**. S. 33–39, March 2013.
- [Ho12] Hoelzl, Gerold; Kurz, Marc; Halbmayr, Peter; Erhart, Jürgen; Matscheko, Michael; Ferscha, Alois; Eisl, Susanne; Kaltenleithner, Johann: Locomotion@Location: When the Rubber hits the Road. In: The 9th International Conference on Autonomous Computing (ICAC2012), San Jose, California, USA. September 2012.
- [Ho14] Hoelzl, Gerold; Ferscha, Alois; Halbmayr, Peter; Pereira, Welma: Goal Oriented Smart Watches for Cyber Physical Superorganisms. In: Workshop on Collective Wearables: The Superorganism of Massive Collective Wearables, at 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2014), Seattle, USA, September. S. 1071 – 1076, September 2014.
- [Ho15] Hoelzl, Gerold: Goal oriented sensing in pervasive computing. Dissertation, Johannes Kepler University Linz, May 2015.



**Gerold Hölzl** studierte Informatik und promovierte mit Auszeichnung an der JKU Linz zum Thema *zielorientierte Aktivitäts- und Kontexterkenung mit dynamisch variierenden Sensorensembles*. Seit August 2015 arbeitet er als akademischer Rat auf Zeit im EISLAB<sup>2</sup>. Dr. Hölzl forschte erfolgreich in grundlagenorientierten und angewandten Forschungsprojekten auf europäischer und nationaler Ebene. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Themengebieten Eingebettete Intelligenz & Pervasive Computing, Aktivitäts- und Kontexterkenungssysteme, Maschinelles Lernen & Mustererkennung, Sensor-Netzwerke und Mobile Computing. Gerold Hölzl ist langjähriges Mitglied

der Österreichischen Computergesellschaft (OCG) und des ICST (Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering).

---

<sup>2</sup> <http://www.eislab.net>