

Eine Architektur zur Kontextvorhersage

Rene Mayrhofer

Institut für Pervasive Computing
Johannes Kepler Universität Linz
Altenbergerstr. 69, A-4040 Linz
rene@mayrhofer.eu.org

Abstract: So genannte “kontextsensitive Systeme” haben zum Ziel, die eingesetzten Computersysteme automatisch an die aktuellen Situationen anzupassen und damit bessere Interaktion mit der Umgebung zu ermöglichen. Diese Arbeit befasst sich mit dem nächsten logischen Schritt nach der Erkennung des jeweils aktuellen Kontextes, nämlich der Vorhersage zukünftiger Kontexte. Zu diesem Zweck wurde eine mehrschrittige Software-Architektur entwickelt, welche aus den Daten mehrerer einfacher Sensoren die aktuellen und zukünftig erwarteten Kontexte gewinnt. Die entwickelte Architektur wurde bereits in Form eines flexiblen Software-Frameworks umgesetzt und mit aufgezeichneten Daten aus alltäglichen Situationen evaluiert. Diese Betrachtung zeigt, dass die Vorhersage abstrakter Kontexte in Grenzen bereits möglich ist, jedoch noch Raum für Verbesserungen der Vorhersagequalität in zukünftigen Arbeiten offen bleibt.

1 Einleitung

Pervasive Computing ist eine neue, zunehmend an Bedeutung gewinnende Forschungsrichtung an der Berührungsstelle zwischen Benutzerinteraktion, eingebetteten und verteilten Systemen und Netzwerktechnologien. Das erklärte Ziel ist eine holistische Gestaltung von Computertechnologie, oft gleichgesetzt mit dem “Verschwinden” derselben in den Hintergrund des täglichen Lebens. Ein zentraler Aspekt bei der Verfolgung dieses Ziels ist die Reduktion expliziter, vereinnahmender Schnittstellen zur Mensch/Maschine-Interaktion zugunsten impliziter, in Alltagsgegenständen verankerter. Während erstere die Aufmerksamkeit von Benutzern binden, erlauben letztere eine intuitive und unaufdringliche Benutzung. Diese dem Menschen eher entgegenkommende Form des Umganges mit Computersystemen erfordert jedoch die Anpassung solcher Systeme an den jeweiligen Kontext, in dem sie betrieben werden. Kontext wird hierbei, wie in diesem Zusammenhang üblich, als die Ansammlung von für die Benutzerinteraktion relevanter Information über die aktuelle Situation einer Person, eines Ortes oder eines Objekts verstanden. Die so genannte kontextbezogene Interaktion, manifestiert durch den Entwurf und die Konstruktion kontextsensitiver Systeme, ist daher einer der Grundpfeiler von Pervasive Computing. Im Zuge dieser wissenschaftlichen Stoßrichtung entstanden innerhalb der letzten fünf Jahre entscheidende Arbeiten zur Erkennung des aktuellen Kontextes anhand verschiedenartigs-

ter Sensoren, die in Kombination miteinander ein möglichst breit gestreutes Modell der realen Welt liefern sollen.

In dieser Dissertation wird der nächste logische Schritt einer eingehenderen Betrachtung unterzogen: die Vorhersage zukünftiger Kontexte. Proaktivität, also im Gegensatz zu Reaktivität das Ausführen von Aktionen zur Erreichung eines definierten Zieles *bevor* externe Ereignisse eintreten, ist eine der auszeichnendsten menschlichen Fähigkeiten und ein offensichtlicher Grund, warum menschliche Assistenten nach wie vor in vielen Bereichen nicht durch ihre digitalen Pendanten ersetzt werden können. Durch den Einsatz von Proaktivität in Computersystemen können diese ebenfalls auf zukünftige erwartete Ereignisse Bezug nehmen und somit deutlich bessere Dienste für Benutzer leisten. Erst eine Vorhersage zukünftiger Situationen ermöglicht es einerseits, Abweichungen zu den Vorhersagen zu erkennen und damit potenzielle Fehlerfälle zu vermeiden und andererseits, die Benutzerinteraktion eher erwartungskonform zu gestalten. Bei zwischenmenschlicher Kommunikation entsteht deren Effizienz zumeist durch ein gemeinsames Verständnis des aktuellen, vergangenen und nicht zuletzt zukünftigen Kontext, innerhalb dessen die Interaktionen stattfinden. Computersysteme teilen ein solches Verständnis im Allgemeinen nicht, weshalb eine signifikante Verbesserung der Benutzerinteraktion nur durch einen zumindest teilweisen Kontextbezug stattfinden kann. Zusätzlich zu der in den meisten Anwendungsgebieten nötigen Mensch/Maschine-Interaktion erschließt Proaktivität weitere Gebiete der Möglichkeit der Automatisierung, wie zeitgerecht abgeschlossene Rekonfiguration, Verhinderung von Unfällen, Benachrichtigungen und Planungsbehelfe. Die Einbettung von Proaktivität erfordert allerdings eine Neugestaltung von informationsverarbeitenden Systemen. Beispiele für Anwendungen, die durch eine Einbeziehung von Proaktivität deutlichen Mehrwert bieten können, sind zahlreich in verschiedensten Bereichen zu finden: z.B. in Verkehr und Logistik (kontinuierliche Planung und Adaption aufgrund vorhergesagter Ankunftszeiten, gleichmäßige Auslastung von Strecken- und Parkplatzkapazitäten mit Einbeziehung von Online-Information beteiligter Objekte, Vermeidung von Stausituationen), Produktion (Ausnahmeerkennung und -behandlung in Just-in-Time Prozessen, Planung in flexiblen Fertigungszentren), Individualverkehr (Anmeldung der vorhergesagten Ankunft automatisch durch das Fahrzeug, Warnung vor Eintreten von Stausituationen, Initialisierung bzw. Booten von Bordsystemen vor deren Verwendung zur Vermeidung von Wartezeiten), Medizin (Einleitung von Gegenmaßnahmen bzw. Alarmierung bevor kritische Situationen eintreten, Diät-Assistenten mit Bezug auf persönliche Gewohnheiten und zukünftige Ereignisse), Kommunikation (rechtzeitiges Bereitstellen bzw. Wechseln von Verbindungen, optimiertes Roaming, Datensynchronisation und kontrolliertes Beenden von Sitzungen vor Abbruch der Verbindung), Haustechnik (Herstellen der gewünschten Raumtemperatur zum erwarteten Ankunftszeitpunkt, Bestellung von Lebensmitteln oder Heizmaterialien), etc. In Kombination mit Kontextbezug eröffnet Proaktivität vielfältige Möglichkeiten, um bereits verfügbare Dienste informationeller Natur besser zu gestalten oder neue Dienste zu entwickeln. Die vorliegende Dissertation stellt die erste systematische Arbeit zu dieser Kombination dar.

Der generelle Ansatz dieser Arbeit ist die Vorhersage abstrakter Kontexte mit dem Ziel, Computersysteme auf zukünftig eintretende Situationen proaktiv vorbereiten zu können. Diese Vorhersage von Kontext auf abstrakter Ebene erlaubt gegenüber der unabhängigen Vorhersage einzelner Aspekte – wie exemplarisch der geographischen Position des Benut-

zers – eine gemeinsame Betrachtung aller erfassbaren Aspekte. Dadurch wird eine Auswertung von Mustern und Zusammenhängen im Benutzerverhalten, die auf niedrigeren Betrachtungsebenen nicht erkennbar sind, ermöglicht. Die vorliegende Arbeit analysiert die Bedingungen für benutzergerechte Vorhersage von Kontext und entwickelt, aufbauend auf bereits bekannten Methoden zur datenbasierten Vorhersage, eine Architektur zur automatischen, im Hintergrund ablaufenden Kontexterkenkung und -vorhersage.

2 Motivation

Die Motivation für den Einsatz kontextsensitiver Systeme ist vielschichtig und wird weiterhin durch immer neue Arbeiten erweitert; obwohl die Vereinfachung der Mensch/Maschine-Interaktion der meist offensichtlichste Motivationsfaktor (z.B. [BGS01]) ist, existieren noch weitere wie z.B. Energie- oder Kostenersparnis (vgl. [Lou01, Moz98]). Diese Faktoren entstehen – unter Berücksichtigung der jeweiligen Anwendungen – aus der Tatsache, dass sich kontextsensitive Systeme explizit auf die Situation innerhalb der realen Welt beziehen.

Eine Vielzahl von verwandten Arbeiten beschäftigte sich in den vergangenen Jahren mit der Erkennung des aktuellen Kontext und der Aufzeichnung von vergangenen Kontexten, so z.B. [WHFG92, BGS01, KMS⁺00, LF94, FBN01, CYEOH⁺03, LRT04]. In dieser Dissertation wird die Vorhersage zukünftiger Kontexte analysiert, also die Verbindung der bereits in den Computerwissenschaften bekannten Konzepten der Kontextsensitivität und der Proaktivität. Durch eine zusätzliche Vorhersage zukünftig erwarteter Situationen ergeben sich neue Anwendungsgebiete, die durch die früheren Ansätze zu kontextsensitiven Systemen nicht explizit behandelt wurden. Das Ziel ist die Unterstützung von Kontextvorhersage, um darauf aufbauende Anwendungen möglichst einfach und effizient erstellen zu können. Dabei werden drei Faktoren besonders berücksichtigt: Einerseits soll die Erkennung und Vorhersage von Kontext mit möglichst geringer Benutzerinteraktion, also automatisch und im Hintergrund, erfolgen. Weiters sollen die entwickelten Systeme keine getrennten Trainings- und operationalen Phasen aufweisen, sondern das Umgebungsverhalten soll kontinuierlich beobachtet und die Systeme sollen beständig an geänderte Bedingungen angepasst werden. Außerdem sollen die verwendeten Methoden auch auf eingebetteten Systemen einsetzbar sein, um Kontexterkenkung und -vorhersage auch auf Geräten mit eingeschränkten Ressourcen nutzen zu können. Ein möglicher Einsatz auf leistungsfähigen High-End Systemen erschließt sich dadurch automatisch, während der umgekehrte Weg meist schwierig ist. Daher erfolgt in dieser Arbeit bewusst eine Konzentration auf Systeme mit geringen Ressourcen und daraus folgender Online-Verarbeitung aller Daten, ohne umfangreiche zentralisierte Datenbanken führen zu müssen.

Die Kombination dieser Faktoren begünstigt sowohl die Wirtschaftlichkeit potenzieller Systeme, die dieses Konzept einsetzen, als auch das folgend erwähnte Prinzip der Datensparsamkeit. Diese beiden Aspekte wurden in früheren Arbeiten oft vernachlässigt und stellen daher eine weitere Motivation für diese Forschungsarbeit auf dem Gebiet der kontextsensitiven Systeme dar.

3 Architektur

Das Hauptergebnis der Dissertation ist die Entwicklung einer mehrschrittigen Software-Architektur zur Kontexterkennung und -vorhersage nach oben genannten Anforderungen. Der generelle Ansatz zur Kontextvorhersage baut auf einer Klassifikation von Sensordaten auf. Diese (so genannte unüberwachte) Klassifikation dient dazu, automatisch diejenigen Situationen zu finden, in denen sich ein System häufig befindet und diese Kontexte den automatisch gebildeten Klassen zuzuweisen. Ähnliche Ansätze wurden bereits in früheren Arbeiten wie z.B. [Lae01] vorgestellt und konnten bereits zeigen, dass eine automatische Bildung solcher Kontext-Klassen ohne Benutzerinteraktion möglich ist. Aufbauend auf diesem bekannten Ansatz werden nun die Kontext-Klassen als Zustände einer Zustandsmaschine interpretiert. Der Übergang von einem Kontext in den nächsten führt – bei entsprechender Wahl der Sensortechnologien, also ausreichender Abdeckung der Umgebungswerte durch verschiedene Sensoren – zu einer Änderung in den Sensorwerten. Sofern die neuen Sensorwerte durch die Klassifikation einer bereits gebildeten Kontext-Klasse zugewiesen werden können, wird dadurch eine neue Kontext-Klasse aktiv. Durch Beobachtung der daraus entstehenden Abfolge der aktiven Kontext-Klassen über die Zeit entsteht eine Kontext-Trajektorie und in der dieser Arbeit zugrunde liegenden Interpretation eine Zustands-Trajektorie. Mit Hilfe statistischer Methoden können die beobachteten Zustände zur Bildung eines Modells über das System- bzw. Benutzerverhalten verwendet und dadurch zukünftige Zustände vorhergesagt werden. Die Interpretation von Kontexten als Zustände einer Zustandsmaschine erlaubt damit eine Vorhersage zukünftig erwarteter Kontexte.

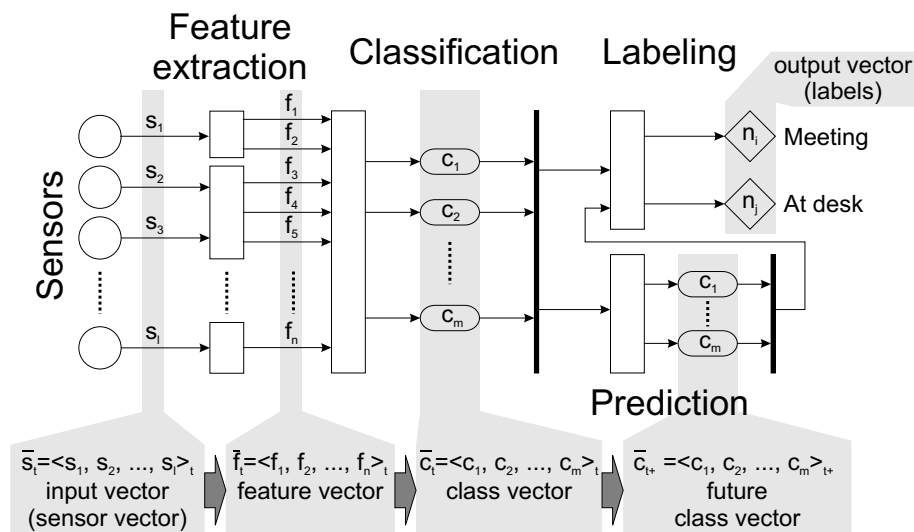


Abbildung 1: Architektur zur Kontextvorhersage

Dieser generelle Ansatz wurde in Form einer flexiblen Software-Architektur umgesetzt.

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, besteht die Architektur aus fünf Schritten, die durch einfache, klar definierte Schnittstellen voneinander getrennt sind. Diese strikte Trennung in Einzelschritte und der Verzicht auf eine gemeinsame Datenbank erlauben die unabhängige Entwicklung und den reibungslosen Austausch einzelner Teile und damit eine hohe Flexibilität sowohl in Entwicklung und während der Testphase als auch im späteren Einsatz. Außerdem folgt diese Architektur dem Grundsatz der Datensparsamkeit, also dass im Interesse des Datenschutzes und der Privatsphäre nur die unmittelbar notwendigen Informationen erfasst und verarbeitet werden. Durch die spezielle Art der Datenverarbeitung innerhalb der Architektur, nämlich der Weitergabe von Daten von einem Filter-Schritt zum nächsten ohne zwangsweise notwendige Rückkopplungen, wird nicht nur der Datenschutz begünstigt, sondern auch die Einsetzbarkeit in Geräten mit geringen Ressourcen erleichtert. Die einzelnen Schritte der Architektur sind wie folgt definiert:

1. *Sensor data acquisition*: Verschiedene Sensoren wie z.B. Helligkeits-, Feuchtigkeits-, Temperatur-, Beschleunigungssensoren, Mikrophone, Kameras oder auch handelsübliche Drahtlostechniken wie IEEE 802.11 Wireless LAN und IEEE 802.15 Bluetooth liefern Datenströme in Form von Zeitreihen. Obwohl meist physikalische Parameter wie einkommende Funksignale die Basis für Messungen darstellen, können auch abstraktere Datenquellen wie z.B. die gerade benutzte Anwendung als Sensoren dienen und wichtige Beiträge zu den vielschichtigen Aspekten des aktuellen Kontext liefern.
2. *Feature extraction*: In diesem Schritt werden aus den rohen Sensordaten aussagekräftigere Merkmale, die so genannten *Features* extrahiert. Anwendungs- und sensorspezifisches Wissen wird verwendet, um aus einem Sensordatenstrom mehrere Features zu erzeugen. In der Abbildung auf Features werden die Sensordaten absichtlich simplifiziert, transformiert oder auch expandiert, um eine bessere Interpretierbarkeit zu erreichen. Üblicherweise werden einfache statistische Parameter wie das arithmetische oder geometrische Mittel oder die Standardabweichung verwendet; solche Parameter können jedoch nur über numerische Sensordaten berechnet werden. In dieser Arbeit werden verschiedene Typen von Features unterschieden, um die unterschiedlichen Sensortypen in einer gemeinsamen Architektur verwenden zu können: numerische, nominale, ordinale und Intervalltypen.
3. *Classification*: Die Aufgabe des Klassifikationsschrittes ist das Finden häufig vorkommender Muster im hochdimensionalen Feature-Raum, der durch die so genannten Featurevektoren aufgespannt wird. Da mehrere Kontexte unter Umständen gleichzeitig zu verschiedenen Graden aktiv sein können, wird jeder Punkt des Feature-Raumes, also die Feature-Werte zu jedem beliebigen Zeitpunkt, mit allen gefundenen Klassen gleichzeitig assoziiert. Für jede dieser Klassen wird ein Zugehörigkeitswert $c \in C$ mit $C := [0; 1]$, also eine Kenngröße, wie wahrscheinlich die aktuelle Situation in die jeweilige Kontext-Klasse passt, berechnet und den nächsten Schritten zur Verfügung gestellt.
Es ist während des Betriebes möglich und durchaus gewünscht, dass zur Laufzeit neue Kontext-Klassen gefunden werden und daher die Dimensionalität des hier entstehenden Klassenraumes vergrößert wird. Die folgenden Schritte müssen auf diese dynamische Vergrößerung der Klassenvektoren vorbereitet sein.

4. *Labeling*: In diesem Benennungsschritt wird der Bezug zum Benutzer dadurch hergestellt, dass vom Benutzer vergebene Bezeichnungen zu den automatisch gebildeten Kontext-Klassen zugewiesen werden.
Eine Trennung der beiden Schritte ist insofern sinnvoll, als das System bereits häufig vorkommende Kontexte lernen kann, bevor eine erste Interaktion mit dem Benutzer erfolgt. Bei einer Verschmelzung von Klassifikation und Benennung könnten nur solche Kontexte gelernt werden, die vom Benutzer bereits benannt wurden; die in dieser Arbeit gewählte Variante ist daher deutlich flexibler in Bezug auf die Benutzerinteraktion.
5. *Prediction*: Dieser letzte Schritt ermöglicht die Kontextvorhersage, indem aufbauend auf den durch den Klassifikationsschritt gelieferten Klassenvektoren zukünftige Kontext-Klassen abgeschätzt werden. Die Schnittstelle am Ausgang dieses Schrittes ist äquivalent zur Schnittstelle am Eingang, also definiert als Klassenvektoren. Der Vorteil der äquivalenten Schnittstelle ist, dass der Benennungsschritt auch auf die vorhergesagten zukünftigen Klassenvektoren angewandt werden kann und somit zukünftige Kontexte mit vom Benutzer vergebenen Bezeichnungen entsprechend präsentiert und verwendet werden können.

Durch diese fünf Schritte werden aus den rohen Sensordaten am Eingang der Architektur aktuelle und zukünftige Kontexte sowohl in Form von Klassenvektoren als auch durch den Benutzer vorgegebenen Bezeichnungen bestimmt. Die einzelnen Teile sind unabhängig austauschbar und können dadurch auf die jeweiligen Bedürfnisse der konkreten Anwendung abgestimmt werden.

Für eine genauere Beschreibung der einzelnen Schritte und der Schnittstellen zwischen den Schritten wird auf die Dissertation verwiesen ([May04]). Zusätzlich wurde eine umfangreiche Literaturstudie zum qualitativen Vergleich von bekannten Verfahren zur Klassifikation und zur Vorhersage durchgeführt. Anhand von genau definierten Kriterien an solche Verfahren konnte aus vielen analysierten Klassifikationsmethoden der Algorithmus "Lifelong Growing Neural Gas" als bester Kandidat für die Kontexterkenkung identifiziert werden. Der Vergleich verschiedener Verfahren zur Zeitreihenanalyse und -vorhersage bietet ein weniger klares Ergebnis, da die jeweiligen Anforderungen stärker durch die konkreten Anwendungen priorisiert werden und daher nur eine Hilfe zur Auswahl geeigneter Verfahren im Zuge der Erstellung einer Anwendung gegeben werden kann.

4 Evaluierung

Um eine möglichst realitätsnahe Evaluierung der Konzepte, der Architektur und ihrer Implementierung durchzuführen, wurden Realdaten über einen Zeitraum von etwa zwei Monaten aufgezeichnet. Unter Verwendung mehrerer verschiedener Sensoren, die jedoch in handelsüblichen Notebooks bereits integriert sind bzw. leicht daran angeschlossen werden können, entstanden insgesamt 28 Features für jeden der etwa 90000 Datenpunkte. Die Aufzeichnung selbst erfolgte vollkommen unaufdringlich und ohne jegliche Benutzerinteraktion durch ein im Hintergrund laufendes Programm, um die Konzepte unter die-

sen erschweren, aber realistischen Bedingungen evaluieren zu können. Der Einsatz handelsüblicher Hardware und diese Form der Aufzeichnung kommen einem möglichen praktischen Einsatz des Gesamtsystems mit Kontextvorhersage bereits sehr nahe; für an vorhergesagte Kontexte angepasste Anwendungen, die auf herkömmlichen Notebooks laufen sollen, sind in Bezug auf die Sensorausstattung und die Benutzerinteraktion nur geringe Änderungen gegenüber dieser Erststudie nötig.

Der aufgezeichnete Datensatz wurde anschließend für zwei quantitative Evaluierungen verwendet: zum Vergleich verschiedener Klassifikationsverfahren und zum Vergleich verschiedener Vorhersagemethoden. Durch die erste Evaluierung werden die Ergebnisse der Literaturstudie bestätigt. Der "Lifelong Growing Neural Gas" Algorithmus erzielt deutlich geringere Fehler als früher eingesetzte Verfahren.

In der zweiten Evaluierung wurden aufbauend auf den Ergebnissen der Klassifikation verschiedene Methoden zur Zeitreihenvorhersage, sowohl kontinuierliche als auch kategoriale, verglichen. Die Ergebnisse sind wie durch die Literaturstudie angedeutet weniger klar, zeigen aber bei diesem speziellen Datensatz eine Präferenz für die oft eingesetzte ARMA Methode zur Zeitreihenanalyse. Abbildung 2 zeigt exemplarisch die Vorhersage einer einzelnen Kontext-Klasse, d.h. des entsprechenden Zugehörigkeitswertes im Klassenvektor.

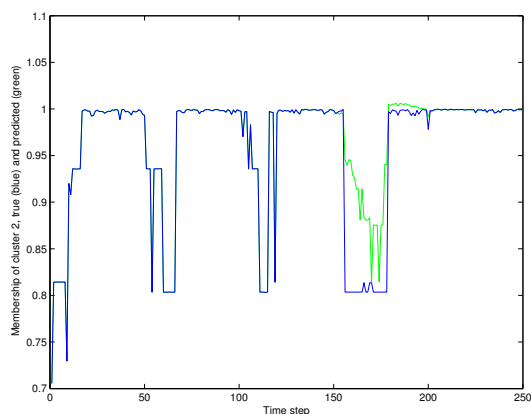


Abbildung 2: Vorhersage (grün) des Zugehörigkeitswertes einer Kontext-Klasse mit Hilfe der ARMA Methode über 50 Zeitschritte, startend bei Zeitschritt 150 (aufgezeichnete Ursprungsdaten in blau). Ein Zeitschritt entspricht 3000 s. Das verwendete Modell enthält AR(1) und MA(1) Terme sowie eine saisonale Korrektur mit Periode 55.

5 Ergebnisse

In der vorliegenden Dissertation wurde eine Architektur zur beständigen, im Hintergrund ablaufenden Kontexterkenkung und -vorhersage mit unaufdringlicher Benutzerinterakti-

on auf ressourcenschwachen Geräten entwickelt. Durch eine Beobachtung der Kontexte und einer Analyse der daraus entstehenden Trajektorie wird eine Vorhersage ermöglicht. Eine begleitende Literaturstudie über geeignete Methoden zur Klassifikation und Zeitreihenanalyse dient als Hilfestellung bei der Auswahl von Algorithmen für spezielle Anwendungen. Die mit der ersten Implementierung durchgeführte Evaluierung sollte lediglich als Proof-of-Concept verstanden werden und kann keine allgemeingültigen Aussagen über die Ergebnisqualität verschiedener Klassifikations- und Vorhersagemethoden für verschiedene Anwendungsgebiete liefern. Dennoch zeigen diese ersten Untersuchungen, dass mit der entwickelten Architektur Vorhersagehorizonte im Bereich von knapp 2 Tagen im Bereich des Möglichen liegen, obwohl noch Raum für Verbesserungen der Vorhersagequalität offen bleibt.

6 Innovation

Die Innovation dieser Arbeit liegt im Konzept der Kontextvorhersage. Frühere Arbeiten zum Thema Kontext beschäftigten sich meist mit der Erkennung des aktuellen und Archivierung früherer Kontexte oder mit der Vorhersage einzelner Aspekte wie z.B. dem Ort. In der vorliegenden Dissertation wird erstmalig die Vorhersage zukünftiger Kontexte in einer gesamtheitlichen Sicht, auf Basis von bereits aggregierten Kontext-Klassen, betrachtet. Kontextvorhersage als solche kann die Entwicklung völlig neuer Dienste und verbesserter Benutzerinteraktion erlauben.

Durch frühere Arbeiten wurden bereits die Vorteile einer Trennung von Feature Extraktion und Klassifikation sowie von Klassifikation und Benennung skizziert (z.B. in [Lae01]), jedoch beschränkt auf numerische Features und mit festgelegten Verfahren zur Klassifikation und zur Benennung. Die hier vorgestellte Architektur berücksichtigt indes verschiedenartige Sensoren in einer gemeinsamen Architektur, wobei auch verschiedene Typen von Features berücksichtigt und vom Klassifikationsschritt gemeinsam behandelt werden.

Als weitere Neuerung wurde ein Software-Framework zur Kontextvorhersage speziell für Geräte mit geringen Ressourcen entwickelt. Dieses wurde im Hinblick auf die geringen Speicher- und CPU-Kapazitäten erstellt und benötigt weder Datenbanksysteme noch aufwändige Laufzeitumgebungen wie z.B. Java.

7 Ausblick

Obwohl die erste Evaluierung ebenfalls das durch bisherige Arbeiten verstärkt untersuchte Gebiet der tragbaren Geräten behandelt, sind sowohl die Architektur als auch deren Implementierung allgemein für Kontextvorhersage einsetzbar, z.B. auch zur Vorhersage von Kontexten innerhalb eines Rechnernetzes wie einem lokalen Netzwerk oder komplexen Steuerungssystemen. Eine Integration von Kontextvorhersage in verschiedene Anwendungsgebiete ist daher eine der Hauptaufgaben für zukünftige Forschung in diesem Gebiet. Die vorläufigen Ergebnisse mit einem ersten umfangreichen Datensatz zeigen zwar

noch offene Probleme auf, demonstrieren aber das Potenzial dieses vielversprechenden Ansatzes. Abgesehen von neuen Möglichkeiten zur Erstellung von Informationsdiensten liegt ein entscheidender Nutzen von Kontextvorhersage in der Vereinfachung der Benutzerinteraktion. Derzeit weitet sich eine neue Kluft zwischen zwei Bevölkerungsschichten: diejenigen, die Informationsdienste zu ihrem eigenen Vorteil verwenden können und aktiv an deren weiterer Gestaltung teilhaben und diejenigen, denen diese Möglichkeit aufgrund technologischem Mangels oder ungenügender Ausbildung im Umgang mit aktuellen Medien und technischen Einrichtungen fehlt. Durch weiter fortschreitende Miniaturisierung und Rationalisierung mit daraus folgender Kostenreduktion werden die nötigen technischen Hilfsmittel in naher Zukunft vermutlich einem Großteil der Bevölkerung zur Verfügung stehen – Trends in dieser Richtung sind vielfach erkennbar. Der korrekte Umgang mit diesen Technologien wird jedoch mit jeder Generation von Geräten komplexer, wodurch die sich weitende Kluft nicht mehr nur an nationalen, wirtschaftlichen oder kulturellen Grenzen auftritt, sondern bereits jetzt zu einer Spaltung der Gesellschaft führt, die deutlich stärker durch Unterschiede in Alter und Ausbildung geprägt sind. Kontexterkennung und -vorhersage liefern notwendige Werkzeuge, um Benutzerinteraktion intuitiver zu gestalten und damit den bisher aufgrund mangelnder Fachkenntnisse ausgeschlossenen Bevölkerungsgruppen ebenfalls Zugang zu den durch Informationsdienste gebotenen Möglichkeiten zu erlauben. Pervasive Computing, mit seiner Vision der Verflechtung der physikalischen und der virtuellen Welt, birgt natürlich die Gefahr, diese Kluft noch weiter zu vergrößern. Mit verantwortungsbewusstem Entwurf von Systemen innerhalb einer solchen Umgebung kann jedoch auch der gegenteilige Effekt eintreten: eine Verdrängung expliziter Schnittstellen zur Mensch/Maschine-Interaktion zugunsten impliziter kann den möglichen Benutzerkreis wesentlich erweitern, sofern sich die jeweiligen Systeme den betroffenen Benutzern anpassen, anstatt von den Benutzern eine Anpassung an die Systeme zu verlangen. Das Konzept der Kontextvorhersage liefert einen neuen Beitrag dazu.

Literatur

- [BGS01] M. Beigl, H.-W. Gellersen und A. Schmidt. Mediacups: experience with design and use of computer-augmented everyday artifacts. *Computer Networks (Amsterdam, Netherlands)*, 35(4):401–409, 2001.
- [CYEOH⁺03] D. J. Cook, M. Youngblood, III E. O. Heierman, K. Gopalratnam, S. Rao, A. Litvin und F. Khawaja. MavHome: An Agent-Based Smart Home. In *Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'03)*, Seiten 521–524. IEEE Computer Society Press, March 2003.
- [FBN01] A. Ferscha, W. Beer und W. Narzt. Location Awareness in Community Wireless LANs. In K. Bauknecht, W. Brauer und T. A. Mück, Hrsg., *Informatik 2001: Wirtschaft und Wissenschaft in der Network Economy - Visionen und Wirklichkeit, Tagungsband der GI/OCG-Jahrestagung*, Seiten 190–195, September 2001.
- [KMS⁺00] T. Kindberg, H. Morris, J. Schettino, B. Serra, M. Spasojevic, J. Barton, J. Morgan, G. Becker, D. Caswell, P. Debaty, G. Gopal, M. Frid und V. Krishnan. People, places, things: Web presence for the real world. In *Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'00)*, Seiten 19–30. IEEE Computer Society Press, December 2000.

- [Lae01] K. Van Laerhoven. Combining the Self-Organizing Map and K-Means Clustering for On-Line Classification of Sensor Data. In *Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)*, Seiten 464–469. Springer, 2001.
- [LF94] M. Lamming und M. Flynn. Forget-me-not: Intimate Computing in Support of Human Memory. In *Proceedings of FRIEND21'94, the International Symposium on Next Generation Human Interface*, February 1994.
- [Lou01] S. Loughran. Towards an Adaptive and Context Aware Laptop. Bericht HPL-2001-158, Hewlett-Packard Labs, June 2001.
- [LRT04] K. Laasonen, M. Raento und H. Toivonen. Adaptive On-Device Location Recognition. In A. Ferscha und F. Mattern, Hrsg., *Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE 2004)*, Jgg. 3001 of *Lecture Notes in Computer Science*, Seiten 287–304. Springer, April 2004.
- [May04] R. Mayrhofer. *An Architecture for Context Prediction*. Dissertation, Johannes Kepler University of Linz, Austria, October 2004.
- [Moz98] M. C. Mozer. The Neural Network House: An Environment that Adapts to its Inhabitants. In *Proceedings of the AAI 1998 Spring Symposium on Intelligent Environments*, Seiten 110–114. AAAI Press, 1998.
- [WHFG92] R. Want, A. Hopper, V. Falcão und J. Gibbons. The active badge location system. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 10:91–102, January 1992.



Rene Michael Mayrhofer wurde am 30. April 1979 in Graz, Österreich geboren. Im Anschluss an die Pflichtschuljahre in der Volksschule Behamberg von 1985 bis 1989 und der Unterstufe des Bundesrealgymnasiums Steyr von 1989 bis 1993 wurde eine Ausbildung in der Höheren Technischen Bundeslehranstalt Steyr, Ausbildungsrichtung Elektronik mit Ausbildungszweig Technische Informatik von 1993 bis 1998 mit ausgezeichnetem Erfolg absolviert. Neben dem Abschluss des Diplomstudiums Informatik an der Johannes Kepler Universität Linz von 1998 bis 2002, ein Jahr unter der Mindeststudiendauer mit ausgezeichnetem Erfolg, wurde im Zuge von mehreren Netzwerk-Sicherheitsprojekten eine Linux-basierte Firewall entwickelt, welche seit Februar 2003 als kommerzielles Produkt verfügbar ist (<http://www.gibraltar.at/>). Das Doktoratsstudium der technischen Wissenschaften an der Johannes Kepler Universität Linz wurde mit Beginn der Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter im November 2002 aufgenommen und mit dem Rigorosum im November 2004 ebenfalls mit ausgezeichnetem Erfolg abgeschlossen. Eine Promotion *sub auspiciis praesidentis rei publicae* wurde bereits bewilligt und wird im Laufe des Jahres 2005 durch den Österreichischen Bundespräsidenten erfolgen.