

# Bio-inspirierte effiziente Datenkommunikation in mobilen Netzen

Falko Dressler  
Rechnernetze und Kommunikationssysteme  
Universität Erlangen-Nürnberg  
Martensstr. 3, 91058 Erlangen  
[dressler@informatik.uni-erlangen.de](mailto:dressler@informatik.uni-erlangen.de)

## Einführung

Der Aufbau und die Beherrschung von sich selbst-konfigurierenden, selbst-heilenden, selbst-verwaltenden und adaptiven hoch-mobilen Datennetzen ist Forschungsschwerpunkt in verschiedenen Gruppen im Forschungsbereich Kommunikationssysteme. Die zum Einsatz kommenden Komponenten werden dabei immer kleiner und, dank energiesparender Mechanismen in Betriebssystemen, Kommunikationsinfrastruktur und Anwendungen, auch mobiler. Eingebettete Systeme in unterschiedlichster Form kommen zum Einsatz mit dem Ziel, Daten zu erfassen, zu verarbeiten und zu kommunizieren. Eine typische Anwendung sind die sogenannten Sensornetze. Aufgrund der sehr knappen verfügbaren Ressourcen, wie z.B. Verarbeitungskapazität, Speicher, Bandbreite und vor allem die verfügbare Energie, stellen sich neue Probleme und Herausforderungen in Bezug auf effiziente Datenspeicherung und Datenkommunikation. Wir adressieren diese Problematiken mittels Mechanismen, die aus der Molekular- und Zellbiologie bekannt sind. Neben ingenieurwissenschaftlichen Methoden der Autonomen Systemforschung beschäftigen wir uns auch mit bio-inspirierten Verfahren für hocheffiziente Datenhaltung und -kommunikation in verteilten, einer starken Fluktuation unterworfenen Umgebungen. Die Problemstellungen, Möglichkeiten der Lösung und weiterführende Forschungsaktivitäten werden in diesem Papier diskutiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Vorstellung des neuartigen Ansatzes, die bio-inspirierten Verfahren im Bereich des „Pervasive Computing“ zu etablieren und erfolgreich einzusetzen.

## Problemstellungen in mobilen, verteilten Netzen

Neben anderen stellen sich folgende Probleme besonders in Verbindung mit mobilen Sensornetzen: Datenspeicherung, Datenaggregation und die Kommunikation zwischen einzelnen Knoten zum Zweck des Datenaustausches bzw. des Managements des Gesamtsystems. Ein typischer Netzverbund ist in Abbildung 1 zu sehen. An diesem Beispiel werden im folgenden die einzelnen Problematiken erläutert und bekannte bzw. in Arbeit befindliche Lösungsansätze beschrieben.

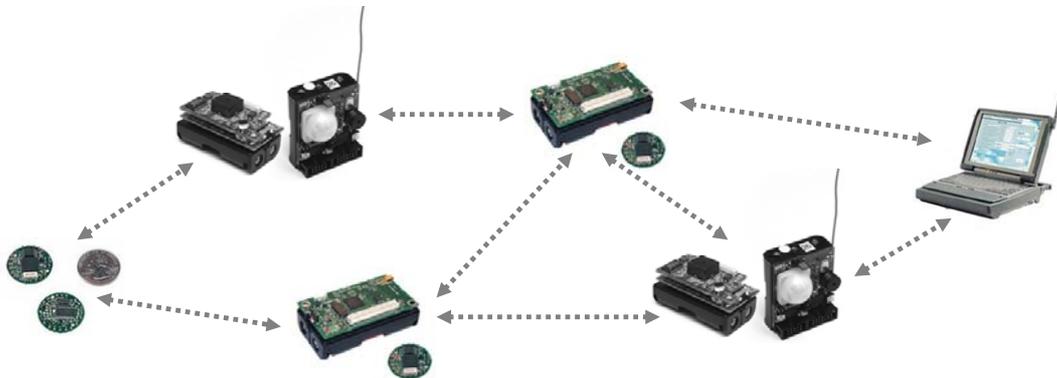


Abbildung 1: Sensornetzverbund, Kommunikation zur Außenwelt über dedizierte Knoten (dargestellt durch den PC)

### Datenspeicherung

Datenspeicherung ist ein wesentlicher Bestandteil moderner Kommunikationseinheiten. Ob es sich um Sensorinformationen handelt, Statistikinformationen über verbrauchte Energie oder Kommunikationsbandbreite oder auch um Managementinformationen bzgl. des Gesamtverbundes (z.B. für spätere Routing-Verfahren). Die aufgezeichneten Daten müssen effizient gespeichert werden und natürlich zur weiteren Verarbeitung effizient lokalisierbar sein. Als Lösungsraum für diese Fragestellungen stehen Technologien bekannt aus der Peer-to-Peer-Forschung bereit. Mittels Verfahren wie der DHTs (Dynamic Hash Tables) sind netzweit eindeutige Referenzen auf Daten möglich, die die Indizierung und Auffindung beliebiger Objekte möglich machen. Bisher nicht vollständig adressiert ist das Problem der ressourcenschonenden automatisierten Redundanz in der Datenhaltung. Hier sind neue Verfahren zu suchen.

### Datenaggregation

Datenkommunikation, gerade im Umfeld des „Pervasive Computing“, kann nur dann effizient durchgeführt werden, wenn Möglichkeiten gefunden werden, unnötige Transfers zu vermeiden. Was sind unnötige Übertragungen? Diese Fragestellung ist je nach Anwendungsfall unterschiedlich zu beantworten. Offensichtlich sind jedoch solche Mechanismen zu identifizieren, die Nutzdaten (Meßdaten, Statistikdaten) mehrfach in gleicher Weise speichern und übermitteln. Durch geeignete Aggregationsmechanismen kann an dieser Stelle optimiert werden. Ingenieurtechnische Herangehensweisen ermitteln viele der offensichtlichen Aggregationsmöglichkeiten. Zweckgesteuerte Mechanismen sind mit diesen Methoden nicht direkt umsetzbar. Neue Verfahren sind für dieses Forschungsgebiet zu adaptieren, wie z.B. die Unschärfelogik.

### Inter-Knoten Kommunikation

Zum Zweck des Selbst-Managements werden aktuelle Informationen über den Zustand einzelner Netzknoten (typischerweise Kommunikationsnachbarn oder relevante Verteilsysteme) benötigt. Anwendungen sind z.B. Routing-Verfahren (ad hoc, pro-aktiv, store-and-forward), die Erkennung von Fehlersituationen oder die Verwaltung von Aufträgen. Letzteres ist aufgrund der Komplexität der Entscheidungsbäume für die geeignete Wahl von Zielsystemen für neue Aufträge (z.B. Sammeln von Sensordaten, Auswertung von Informationen) ein eigenständiges Forschungsgebiet. Es zeigte sich in den letzten Jahren, daß eine effiziente Inter-Knoten-Kommunikation von vielen Faktoren gleichzeitig abhängt, die mit herkömmlichen Verfahren nicht parallel adressierbar sind. Z.B. werden optimierte Routingmechanismen basierend auf Peer-to-Peer-Verfahren für Aufgaben im „Pervasive Computing“ Umfeld adaptiert. Diese werden aber unabhängig von Mechanismen zur Fehlerschutz (Erkennung und Behebung für selbst-heilende Systeme) betrachtet und bieten im Zusammenspiel nicht immer optimale Ergebnisse. Mechanismen, benötigte Inter-Knoten-Kommunikation über eine adaptive Zwischenschicht (ähnlich einer Middleware-Umgebung) zu optimieren sollten hier deutliche Verbesserungen zeigen.

### **Biologische Mechanismen und Verfahren**

Lösungen für die beschriebenen Problematiken sehen wir in Verfahren, die in der Natur seit Jahrmillionen ausgereift, verbessert und zur Perfektion gebracht wurden. Biologische Mechanismen als Vorbild für technische Fragestellungen heranzunehmen ist keine neue Idee. So wurden erste Verfahren in den 70er Jahren vorgestellt. Die bekanntesten Vertreter sind die Erkennung von Computerviren basierend auf Mechanismen des humanen Immunsystems oder die Nutzung von Erkenntnissen aus der Untersuchung des Schwarmverhaltens von Bienen oder Ameisen [1,3,6-7].

Wir verfolgen einen neuartigen Ansatz basierend auf Fortschritten in der Molekular- und Zellbiologie. In einem interdisziplinären Team versuchen wir die als geeignet identifizierten

Mechanismen auf Netztechnologie zu adaptieren und im Bereich des „Pervasive Computing“, der Sensornetzforschung und der Netzwerksicherheit anzuwenden [2,4-5]. Die Effizienz der genannten Mechanismen wird im folgenden anhand des in Abbildung 2 gezeigten Kommunikationsapparats für den Signalaustausch zwischen Zellen beschrieben.

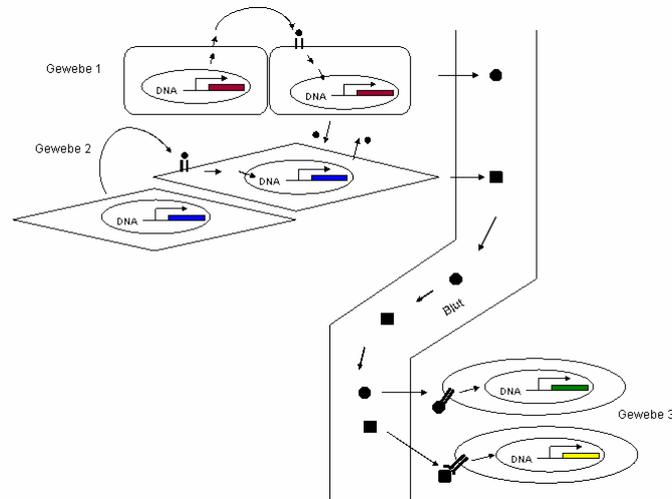


Abbildung 2: Interzelluläre Kommunikation zwischen Zellen im gleichen Gewebe, zwischen benachbarten Geweben und über die Blutbahn mit weit entfernten liegenden Geweben

Die Signalisierungskanäle in zellulären Strukturen funktionieren hochkomplex mit hoher Effizienz und Fehlertoleranz. Sollen Nachrichten an andere Zellen übermittelt werden, z.B. weil ein akutes Problem (z.B. eine Verletzung des Gewebes) erkannt wurde, wird diese Information gleichzeitig an mehrer direkten Nachbarn der Zelle übermittelt und kann so bis in andere Gewebe bzw. in das Blut fortgetragen werden. Durch die Transkription spezifischer Gene im Zellkern, die die Antwort der Zelle einleiten, werden Nachrichten verarbeitet und die erforderlichen Aktionen angestoßen. Ähnliche Mechanismen kommen auch für den Informationstransfer zu entfernten Geweben und Helferzellen zum Einsatz. Dabei werden Informationen an die Zellen anderer Gewebe weitergeleitet. Z.B. können Blutgefäßzellen aktiviert werden, die in jedem Organ die Verbindung zwischen dem Organ und dem Blut darstellen. Sie können dem Immunsystem die Entzündung eines Organs signalisieren. Ebenso kann die Entsendung von kleinen Proteinen (Hormonen) in das Blut weit entfernte Gewebe informieren bzw. aktivieren.

### Zielstellungen und weitere Forschung

Natürliche Organismen weisen nahezu an Perfektion grenzende optimierte Kommunikationsstrukturen auf. Diese für Rechnernetze zu adaptieren ist eine große, aber zumindest in Ansätzen lösbare und vor allem vielversprechende Aufgabe.

Grundsätzlich verfolgen wir die Zielstellung, die Kommunikationsmechanismen in biologischen Strukturen in einer interdisziplinären Gruppe zu analysieren, auf Rechnernetze abzubilden und geeignet zu adaptieren. Offensichtliche Methoden sind dabei die Modellbildung gekoppelt mit Simulationstechniken. Als Forschungsgebiete liegen uns dabei mobile, adaptive und selbst-organisierende Sensornetze und das Feld der Netzwerksicherheit (Netzwerkmonitoring, Erkennung von Gefahren, Treffen geeigneter Gegenmaßnahmen) am Herzen. Im Umfeld des „Pervasive Computing“ untersuchen wir Methoden der effizienten Datenspeicherung und Identifizierung, der Datenaggregation und der effizienten Inter-Knoten-Kommunikation. Die nächsten Schritte sind die Aufarbeitung des genannten Modells, welches sowohl die biologischen Zellstrukturen als auch Kommunikationsnetze im technischen Sinn geeignet be-

schreibt. Anhand dieses Modells führen wir Simulationen von Algorithmen und Mechanismen durch, die wir von den biologischen Systemen direkt in die Netzwerkforschung adaptieren können. Optimal erscheinende Lösungen testen wir in unserer Forschungsgruppe um Autonome Systeme an verschiedenen Sensorsystemen, z. T. in Verbindung mit mobilen Einheiten (sensorbestückten Robotern).

## Literatur

- [1] J. Chahl, S. Thakoor, N. L. Bouffant, G. Stange, M. V. Srinivasan, B. Hine, and S. Zor-netzer: Bioinspired Engineering of Exploration Systems: A Horizon/Attitude Reference System Based on the Dragonfly Ocelli for Mars Exploration Applications. *Journal of Robotic Systems*, vol. 20, pp. 35-42, 2003.
- [2] F. Dressler, B. Krüger: Cell biology as a key to computer networking. Poster at the German Conference on Bioinformatics 2004 (GCB'04), Bielefeld, Germany, October 2004. (accepted for publication)
- [3] J. O. Kephart: A Biologically Inspired Immune System for Computers. Proceedings of 4th International Workshop on Synthesis and Simulation of Living Systems, Cambridge, Massachusetts, USA, 1994, pp. 130-139.
- [4] B. Krüger, F. Dressler: Molecular Processes as a Basis for Autonomous Networking. Proceedings of IPSI-2004 Stockholm Conference, Stockholm, Sweden, September 2004 (accepted for publication).
- [5] B. Krüger, F. Dressler: Molecular Processes as a Basis for Autonomous Networking. To appear in IPSI BgD Transactions on Advanced Research, Issues in Computer Science and Engineering. (accepted for publication)
- [6] J. Suzuki and Y. Yamamoto: Biologically-Inspired Autonomous Adaptability in a Communication Endsystm: An Approach Using an Artificial Immune Network. *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E84-D, pp. 1782-1789, December 2001.
- [7] M. Wang and T. Suda: The Bio-Networking Architecture: A Biologically Inspired Approach to the Design of Scalable, Adaptive, and Survivable/Avilable Network Applications. Proceedings of 1st IEEE Symposium on Applications and the Internet (SAINT), San Diego, CA, USA, January 2001.