

# Situative IP-basierte Fahrerinformationssysteme: Szenarien, Routing und prototypische Realisierung

Timo Kosch, BMW Group Forschung, 80788 München, timo.kosch@bmw.de

Christian Schwingenschlögl, TU München, Kommunikationsnetze, 80290 München, schwinge@lkn.ei.tum.de

Christian Bettstetter, TU München, Kommunikationsnetze, 80290 München, bettstetter@ei.tum.de

## Kurzfassung

Seit einigen Jahren untersuchen die BMW Forschung und der Lehrstuhl für Kommunikationsnetze an der TU München zusammen netztechnische Lösungen zur Einbindung von Fahrzeugen in eine heterogene Mobilfunklandschaft. Anwendungsgebiete für unsere Arbeiten sind unter anderem neue Prinzipien zur effizienten Unfallwarnung und ein „Virtuelles Stadtportal“. Dieser Artikel bietet einen Überblick über einige Aspekte aus diesem Themenfeld. Wir betrachten insbesondere die direkte, spontane Multihop-Vernetzung von Fahrzeugen und die Anbindung solcher Fahrzeug-Netze an WLAN-basierte Netzinfrastruktur. Dabei erläutern wir unsere Erweiterungen des IP-basierten *Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV)* Routingprotokolls und dessen simulative Untersuchung im Fahrzeugumfeld. Darüber hinaus stellen wir kurz eine prototypische Realisierung des Gesamtsystems mittels AODV und IEEE 802.11 vor.

## 1 Einleitung

Fahrer und Insassen im Pkw besitzen Bedarf an aktuellen Informationen. Speziell bei Urlaubsfahrten, Ausflügen und Geschäftsreisen sind ortsbezogene Informationen und Infotainmentdienste sehr nützlich. So können zum Beispiel touristische Auskünfte und aktuelle Stauwarnungen eine Fahrt angenehmer und interessanter machen.

Gegenwärtig versorgen vor allem überregionale Broadcast-Medien die Verkehrsteilnehmer mit solchen Diensten. Für die bidirektionale Kommunikation wird üblicherweise das zellulare Mobilfunknetz GSM/GPRS eingesetzt, wobei hierbei eine Mobilstation im Fahrzeug mit den Basisstationen des GSM-Netzes in Verbindung steht. Ein direkter, spontaner (ad-hoc) Datenaustausch eines Fahrzeugs mit Objekten in seiner unmittelbaren Umgebung, z.B. mit anderen Verkehrsteilnehmern, ist mit diesen Netztechnologien nicht realisierbar. In unserer Arbeit berücksichtigen wir deshalb insbesondere die direkte Multihop-Kommunikation zwischen Fahrzeugen sowie die Vernetzung von Fahrzeugen mit günstiger WLAN-Infrastruktur.

Anhand dreier Beispielanwendungen motivieren wir den Einsatz dieser neuen Kommunikationstechnologien und -prinzipien (Kapitel 2). Im Anschluss gehen wir auf die speziellen Anforderungen der Informationsweiterleitung zwischen Fahrzeugen ein und zeigen, wie ein Routingprotokoll aus dem Bereich der Ad-hoc Netze sinnvoll erweitert und eingesetzt werden kann (Kapitel 3). Schließlich stellen wir in

Kapitel 4 unsere Simulationsumgebung und die prototypische Realisierung des Systems vor.

## 2 Szenarien

Bislang wurde die Nahbereichskommunikation (*Dedicated Short Range Communication, DSRC*) in der Verkehrstelematik hauptsächlich im Bereich automatisierter Autobahnfahrspuren und zur Kollisionsvermeidung untersucht [7, 12]. Neuere Projekte nehmen eine breitere Perspektive ein und betrachten auch mobile Informations- und Unterhaltungsanwendungen [2, 3]. Folgende drei beispielhafte Szenarien lassen sich sehr gut mit WLAN-Technologien und dem Prinzip der spontanen Vernetzung realisieren.

### 2.1 Unfallwarnung

Eine Multihop-Nahbereichskommunikation zwischen Fahrzeugen ist insbesondere dann sinnvoll, wenn Informationen sehr eilig sind und diese Informationen auch nur im örtlichen Umfeld des Senders von Bedeutung sind. Ein Beispiel hierfür ist eine Unfallsituation auf einer Autobahn: Die an einem Unfall beteiligten Fahrzeuge senden automatisch eine Warnnachricht an nachfolgende Fahrzeuge, welche diese innerhalb eines definierten Bereichs weiterleiten. Durch die dezentrale Organisation eines solchen Netzes sind die Informationen schnell und ortsbezogen verfügbar — schneller als bei einem Warnsystem über ein zelluläres Netz. Ein wichtiges Feature in diesem System ist die Unterdrückung von Warn-

meldungen an Fahrzeuge, die nicht direkt betroffen sind (z.B. die gegenüberliegende Fahrspur).

## 2.2 Virtuelles Stadtportal

Bei der Einfahrt in eine Stadt werden den Insassen eines Fahrzeugs aktuelle Informationen (wie z.B. die Zimmerverfügbarkeit in Hotels, gegenwärtige Parkplatzsituation) zugespielt. Diese können mit Hilfe eines persönlichen Profils selektiert werden. Die drahtlose Kommunikation zwischen dem virtuellen Portal und dem Fahrer kann mit Hilfe von zellularen Netzen, WLANs (am Straßenrand positioniert) oder auch DVB-T erfolgen. Hierzu kann jeweils das für den Fahrer aktuell günstigste Netz ausgewählt werden.



Abbildung 1: Virtuelles Stadtportal

## 2.3 Ampelnachricht

Mit Sende- und Empfangseinrichtungen ausgestattete Ampeln senden ihren Status zu den Fahrzeugen, die sie passieren möchten. Die Fahrzeuge senden ihrerseits den Überquerungswunsch an die Ampelanlage. Mit diesem Prinzip können durchsatzoptimierende Ampelschaltungen, Vorrang für Rettungsfahrzeuge und den öffentlichen Nahverkehr sowie „grüne Wellen“ verwirklicht werden. Dem Fahrer steht die Information zur Verfügung, wann die Ampel schaltet. Wartezeiten an Ampeln kann er beispielsweise nutzen, um sich über die Verkehrssituation auf seiner Strecke mittels Bildern und Videosequenzen zu informieren. Eine weitere Motivation zur Ausstattung von Ampeln mit Sende- und Empfangseinrichtungen ist ihre optimale Position für das Weiterleiten von Datenpaketen in Multihop-Verbindungen.

## 3 Routing

Die Realisierung solcher Anwendungen stellt neue Herausforderungen an alle Schichten des Protokollstapels. Bzgl. Schicht 1 und 2 haben wir in [5] die prinzipielle Eignung von WLAN Standardtechnologien

für den Einsatz zur Inter-Fahrzeug-Kommunikation nachgewiesen. Weiterentwicklungen dieser Technologien versprechen höhere Datenraten, Einsatz bei höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten und effizientere Vielfachzugriffsverfahren.

## 3.1 Routing in Ad-hoc Netzen

In der Netzwerkschicht sind für viele Anwendungen Multihop-Routingprotokolle nötig. Doch die meisten der in der IETF entwickelten Routingverfahren für Ad-hoc Netze (siehe [9]) eignen sich – aufgrund der Größe und Dynamik der entstehenden Topologie – nur bedingt für den Einsatz im automobilen Bereich. Deshalb erweitern wir ein aus diesem Bereich bekanntes Routingprotokoll, das so genannte *Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV)* Routingprotokoll [9], für unseren Einsatzzweck.

Grundsätzlich lassen sich die vorhandenen Routingverfahren für Ad-hoc Netze in zwei Klassen einteilen. Bei proaktiven Protokollen werden Routingtabellen in den mobilen Netzknoten vorgehalten, die jeweils den aktuellen Netzstatus widerspiegeln. Dies führt in sehr dynamischen Netzen zu einem ständigen Austausch von Topologieänderungsnachrichten. Besser geeignet für dynamische Netze sind reaktive Routingprotokolle, die nur im Bedarfsfall (*on demand*) eine Route zum Kommunikationspartner aufbauen.

Das AODV Protokoll ist ein reaktives Routingprotokoll. Um eine Route zu einem Zielknoten zu finden, flutet AODV das Netz mit so genannten *Route Request* Nachrichten, die eine *Route Reply* Nachricht des Zielknotens zur Folge haben. Zur Adressierung der Knoten werden IP-Adressen eingesetzt.

In unserem Ansatz erweitern wir das AODV Protokoll unter Einbeziehung von Positionsinformationen zur Effizienzsteigerung des Routingverfahrens (geographisches Routing), insbesondere zur Unterstützung der Routensuche und Routenpflege. Vorarbeiten hierzu existieren in [8, 11].

## 3.2 Routensuche

Wenn die Position des Teilnehmers zu einem Zeitpunkt der jüngeren Vergangenheit bekannt ist, so lässt sich ein Gebiet bestimmen, in dem er sich mit großer Sicherheit gegenwärtig aufhält. Bei der Kommunikationsanforderung zu diesem Teilnehmer lässt sich die Ausbreitung der *Route Request* Nachrichten so auf einen Teilbereich des Netzes beschränken.

In vorhandenen Ansätzen erstreckt sich dieser meistens kegelförmig vom Sender aus mit einem bestimmten Öffnungswinkel in die vermutete Richtung des Empfängers. Die Netzknoten innerhalb dieses

Kegels werden zur Weiterleitung der *Route Request* Nachricht miteinbezogen. Hierbei wird oft von einer Gleichverteilung der Netzknoten ausgegangen und der Öffnungswinkel entsprechend der Knotendichte gewählt. Abbildung 2 macht deutlich, dass eine solche Strategie aufgrund der speziellen Netztopologie, die durch die Straßenführung gegeben ist, effizienter gestaltet werden kann. Wenn das Straßennetz aufgrund des Vorliegens einer digitalen Karte im Fahrzeug bekannt ist, so lässt sich das Suchgebiet durch die entsprechenden Straßenzüge eingrenzen. Als zusätzliche Optimierung können Routen mit höherer Verkehrsdichte gewählt werden, da hier die Wahrscheinlichkeit für die Existenz und die Stabilität einer Verbindung am größten ist.

Üblicherweise werden bei AODV *Route Request* Nachrichten von allen Knoten weitergereicht. Dies ist im Fahrzeugbereich nicht unbedingt notwendig und führt zu unnötiger Netzbelastung. Sind Positionen der Fahrzeuge und die Straßentopologie bekannt, reichen nur diejenigen Fahrzeuge mit kürzester Entfernung zum Zielknoten die Nachricht weiter. Hierbei ist darauf zu achten, dass durch die Minimierung der Zwischenknoten die Verbindung weniger stabil ist. Die Stabilität kann dadurch erhöht werden, dass Multihop-Verbindungen möglichst wenig direkte Kommunikationsbeziehungen zwischen Fahrzeugen beinhalten, die sich in entgegengesetzter Fahrtrichtung bewegen.

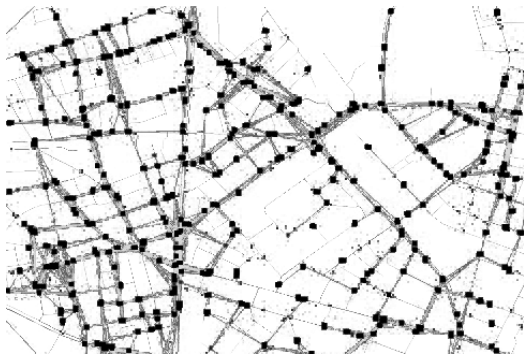


Abbildung 2: Simulationsszenario

### 3.3 Routenpflege

Sobald eine Verbindung zwischen zwei benachbarten Knoten in einer Multihop-Kommunikationskette reißt, startet AODV eine erneute Suche einer Verbindung zum Zielknoten. Dabei können jedoch Datenpakete verloren gehen.

Im speziellen Fall der Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation kann man sich auch in diesem Fall die zusätzlich vorhandenen Informationen und die speziellen Topologien zunutze machen. Anstatt auf einen Verbindungsabbruch mittels einer neuen Routensuche zu reagieren, ist es möglich, voraus-

schauend auf neue Zwischenknoten umzuschalten. Hierzu ist es erforderlich, dass Fahrzeuge sich gegenseitig über Positionen, Geschwindigkeiten und Fahrtrichtungen informieren. Aus diesen Informationen lassen sich Trajektorien und Wahrscheinlichkeiten für Verbindungsabbrüche abschätzen. Da Verbindungen entlang des Straßennetzes bestehen, kann auf einen anderen Teilnehmer in der gewünschten Richtung gewechselt werden, sobald ein Verbindungsabbruch droht.

Abbildung 3 illustriert ein Beispielszenario. Das Fahrzeug *S* schickt Nachrichten zum Zielfahrzeug *D*. Da die verfügbare Funkreichweite von *S* nicht ausreicht, um eine direkte drahtlose Verbindung zu *D* aufzubauen, bedient es sich des Fahrzeugs 1 als Übermittler. Dieses Fahrzeug fährt jedoch bald aus der Kreuzung heraus und erreicht *D* nun auch nicht mehr. In der Zwischenzeit biegt Fahrzeug 2 in die Querstraße ein und eignet sich somit als Kandidat zum Weiterreichen der Datenpakete.

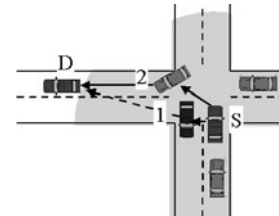


Abbildung 3: Lokale Routenpflege

### 3.4 Geocasting

Im Automobilbereich treten, wie in Kapitel 1 motiviert, häufig Situationen auf, in denen Informationen nur für Fahrzeuge innerhalb eines begrenzten geographischen Bereichs relevant sind. Es ist daher erforderlich, eine positionsbasierte Adressierung zu verwenden. Die Schwierigkeiten dabei liegen in der Bestimmung des genauen Verbreitungsgebiets der Nachrichten und einer effizienten Zustellung, um die Überflutung der Nutzer mit irrelevanten Nachrichten zu verhindern.

Abbildung 4 verdeutlicht die Problematik. Im gekennzeichneten, rechteckigem Gebiet ist der Verkehr dichter geworden. Diese Information soll nun an alle Fahrzeuge gesendet werden, die an dieser Information aktuell interessiert sind. Eine einfache Möglichkeit besteht in der Weiterreichung der Nachricht von Fahrzeugen in diesem Gebiet bis zu einer festgelegten Entfernung oder einer maximalen Hopzahl. Dies ist jedoch abhängig vom Einzelfall. Ideal ist eine Verteilung an alle Fahrzeuge, die von der Verkehrsmeldung betroffen sind, nicht jedoch darüber hinaus, da dies die Netzressourcen unnötig in Anspruch nimmt. Ein adaptives Verfahren, bei dem Nachrichten nur weitergeleitet werden, solange die Empfänger

noch ein ausreichendes Interesse an der Nachricht bekunden, führt automatisch zu einer intelligenten und situationsangepassten Nachrichtenverbreitung (siehe auch [6]).

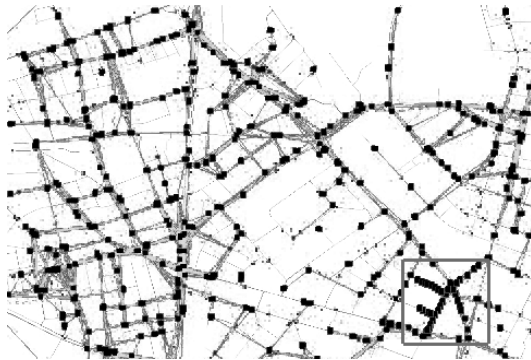


Abbildung 4: Simulationsszenario 2

## 4 Simulation und Prototypische Realisierung

### 4.1 Simulationsumgebung

Die von uns aufgebaute Simulationsumgebung dient einerseits dazu, existierende Protokolle auf ihre Eignung für den Einsatz in dezentralen Fahrzeugnetzen genau zu bewerten und andererseits die von uns entwickelten Verfahren und Protokollerweiterungen zu evaluieren.

Die Abbildungen 2 und 4 zeigen jeweils Momentaufnahmen aus der Simulation. Darin sind Straßenzüge, Fahrzeuge und Erreichbarkeitsrelationen zwischen den Fahrzeugen zu erkennen. Die Kommunikationsreichweite wurde in den Beispielen mit 400 m gewählt.

Unsere Implementierung basiert auf dem Netzwerksimulator *GloMoSim* [1], der an der Universität von Los Angeles (UCLA) speziell mit dem Fokus auf Ad-hoc Netze entwickelt wurde. Verschiedene Protokolle der einzelnen Schichten sind implementiert und lassen sich beliebig kombinieren. Für unsere Simulationen wählen wir *Rice Fading* auf der physikalischen Übertragungsebene und das Medienzugriffsverfahren von IEEE 802.11. Die Implementierung der physikalischen Ebene haben wir dahingehend erweitert, dass Abschirmungseffekte durch Gebäude auf einfache Weise berücksichtigt werden.

Wesentlichen Einfluss auf das Verhalten des Netzes hat die Mobilität der Teilnehmer. Dazu haben wir in den Simulator ein eigenes Mobilitätsmodell integriert. Da es nicht unser Ziel ist, Verkehrsphänomene exakt abzubilden und zu untersuchen, bestehen zwar Ähnlichkeiten zu mikroskopischen Verkehrsmodellen, jedoch ist das Mobilitätsverhalten in unserem Simu-

lator deutlich simplifiziert. Die Fahrzeuge im Simulator bewegen sich entlang von Straßen mit automobiltypischen Geschwindigkeiten. Durch die Verhaltensregeln der Fahrzeuge kommt es zu einer stärkeren Belastung der Hauptverkehrsstraßen, zu verkehrstypischen Kolonnen an Kreuzungen und zu Staus.

Zur Evaluierung des Protokollverhaltens lassen sich als Eingabeparameter unter anderem das Straßennetz, die Größe des simulierten Gebietes, die Anzahl der Fahrzeuge, deren Ausstattungsrate mit Send- und Empfangseinrichtungen, Übertragungreichweiten und Kommunikationsmuster der Teilnehmer variieren.

### 4.2 Fahrzeug-Prototyp

Zusätzlich zur Simulation bauen wir einen fahrzeugbasierten Prototyp (siehe Abbildung 5) auf, mit dem wir Erfahrungen durch beispielhafte Realisierungen bestimmter Konzepte sammeln. Die in unserem Testbed verwendeten Fahrzeuge sind mit Rechnern, PCMCIA 802.11b WLAN Karten und speziellen Fahrzeugantennen ausgestattet.

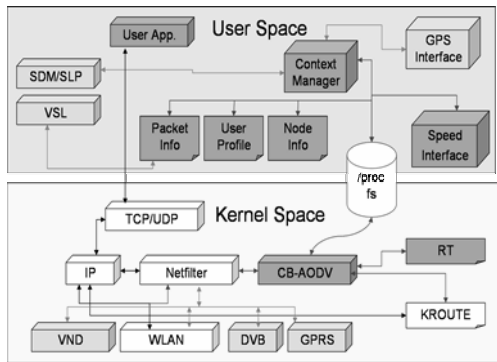


Abbildung 5: Messungen am Prototyp

Als Betriebssystem der Rechner wird Linux verwendet. Dadurch stehen uns sämtliche Bereiche des Betriebssystems offen, und wir können Protokollimplementierungen und Hardwaretreiber an unsere Bedürfnisse anpassen. Abbildung 6 zeigt eine Übersicht über die in unserem Prototyp verwendeten Software-Komponenten. Die Routingfunktionalität wurde basierend auf der NIST-AODV Implementierung [4] im Modul CB-AODV als Kernelmodul realisiert. Sämtliche Informationen wie z.B. Position, Geschwindigkeit oder Nutzerprofil werden dem Kernelmodul über das /proc Dateisystem zur Verfügung gestellt.

Neben der Erweiterung des AODV Protokolls wird der Prototyp auch mit einem virtuellen Netztreiber (VND) ausgestattet. Dadurch ist es möglich in Abhängigkeit von Netzverfügbarkeit und Benutzer-

profilen im laufenden Betrieb immer das günstigste vorhandene Netz auszuwählen.



**Abbildung 6: Systemübersicht**

Auch Broadcast-Techniken werden in unserem Prototyp eingesetzt. Wir verwenden dafür DVB-C im Labor und DVB-T bei Versuchen im Fahrzeug. Via Broadcast kann im „Virtuellen Stadtportal“ eine Informations-Grundversorgung garantiert werden. Darüber hinaus können die Broadcasts zur Unterstützung der sicheren Kommunikation im Ad-hoc Netz eingesetzt werden [10]. Weitere Informationen über das Testbed und die durchgeführten Messungen findet man in [5].

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf drei beispielhaften Anwendungen des Mobilfunks im Fahrzeugumfeld stellten wir in diesem Artikel unsere Arbeiten zur Erweiterung des AODV Routingprotokolls vor und erläuterten kurz unsere Simulationsplattform und die prototypische Realisierung des Systems.

Weitere Forschungsarbeiten sind insbesondere für die Spezifikation von Protokollen zur Kopplung von Ad-hoc (Fahrzeug-)Netzen an bestehende Netzinfrastruktur zu leisten. Hierzu sind Gatewayfunktionen nötig, wie z.B. zur Adress- und Protokollumsetzung [14, 15] und zur automatischen Konfiguration auf IP-Ebene [13]. Außerdem müssen verfügbare Netzzugangspunkte auch über mehrere Hops hinweg erkannt und effizient ausgewählt werden [14].

## Literatur

- [1] L. Bajaj, M. Takai, R. Ahuja, K. Tang, R. Bagrodia, M. Gerla. GloMoSim: A library for parallel simulation of large-scale wireless networks. Techn. Rep. 990027, UCLA CS, 1999.
- [2] W. Franz, R. Eberhardt, T. Luckenbach. Fleetnet – Internet on the road. In *Proc. World Congress*

*on Intelligent Transp. Systems.* Sydney, Australien, Okt. 2001.

- [3] W. Kellerer, C. Bettstetter, C. Schwingenschlögl, P. Sties, K. E. Steinberg, H. J. Vögel: (Auto-)Mobile communication in a heterogeneous and converged world. *IEEE Personal Communications*, vol. 8, Dez. 2001.
- [4] L. Klein-Berndt. NIST AODV. [http://w3.antd.nist.gov/wctg/aodv\\_kernel/index.html](http://w3.antd.nist.gov/wctg/aodv_kernel/index.html).
- [5] T. Kosch, C. Schwingenschlögl: Mobile ad hoc testbed for vehicle-to-vehicle communication. In *Proc. Intern. Conf. on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI)*, Juli 2001.
- [6] T. Kosch, C. Schwingenschlögl, L. Ai. Information dissemination in multihop inter-vehicle networks - Adapting the ad-hoc on-demand distance vector routing protocol. In *Proc. IEEE Intern. Conf. on Intelligent. Transp. Sys. (ITSC)*, Singapur, Sep. 2002.
- [7] M. B. Lachlan, N. Masao: Smart intersections using DS/SS CDMA vehicle-road communication. In *Proc. IEEE Intern. Conf. on Intelligent Vehicles*, 1998.
- [8] M. Mauve, J. Widmer, H. Hartenstein: A survey on position-based routing in mobile ad-hoc networks. *IEEE Network*, 2001.
- [9] C. E. Perkins: *Ad Hoc Networking*. Addison-Wesley, 2001.
- [10] C. Schwingenschlögl. Ad-hoc security support using DVB-T. In *Proc. Workshop on Ad-hoc Networks and Wireless (ADHOC-NOW)*, Fields Institute, Toronto, Kanada, Sep. 2002.
- [11] Y. C. Tseng, S. L. Wu, W. H. Liao, C. M. Chao: Location awareness in ad hoc wireless mobile networks. *IEEE Computer*, 2001.
- [12] T. Tushar, J.-P. M.G. Linnartz. Vehicle-to-vehicle communications for AVCS platooning. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Mai 1997.
- [13] K. Weniger, M. Zitterbart: IPv6 autoconfiguration in large scale mobile ad-hoc networks. In *Proc. European Wireless (EW)*, Florenz, Italien, Feb. 2002.
- [14] J. Xi, C. Bettstetter. Wireless multi-hop Internet access: Gateway discovery, routing, and addressing. In *Proc. Intern. Conf. on 3G Wireless and Beyond*, San Francisco, Mai 2002.
- [15] J. Xi, X. Shi. IPv6 multicasting in wireless multi-hop networks with modified MLD. In *Proc. IEEE Globecom*, Taipei, Taiwan, Nov. 2002.