ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Semester Arbeit

Grenzenlose Piconetze mit Bluetooth

Wintersemester 01/02
7. Februar 2002

Burgener Egon
Fercher Peter

Betreuer: Jan Beutel, Prof. Dr. Lothar Thiele

TIK Institut für Technische Informatik und Kommunikationsnetze
Computer Engineering and Networks Laboratory

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort **5**

2 Hintergründe **7**
2.1 Mobile ad hoc Netzwerke 7
2.2 RDSR - Routing in ad hoc Netzwerke 8
2.3 Spezifikation von xhop 9
2.4 Anwendungen 10
2.5 Bluetooth Grundlagen 11

3 BlueZ - Bluetooth Stack für Linux **13**
3.1 Betrieb von BlueZ 13
3.2 Protokoll Schichtenmodell 14
3.2.1 Client 15
3.2.2 Server 16

4 xhop-Protokoll im Detail **17**
4.1 RDSR Kopf 17
4.2 Kommando-Daten 18
4.3 Antwort-Daten 20
4.4 Benutzung von xhop 21
4.5 Implementation 22

5 Bluetooth auf AVR **25**
5.1 Ausgangspunkt 25
5.1.1 Hardware 25
5.1.2 Software 25
5.2 Protokoll Stack 26
5.2.1 Software Komponenten 26
5.3 Schnittstellen 29
5.4 Protokoll Analyse 29
5.4.1 L2CAP 30

6 μxhop - xhop auf AVR **33**
6.1 Software Tests 34
6.1.1 l2ping 34
6.1.2 xhop - ohne Kommando Daten 34
6.1.3 xhop - mit Kommando Daten 35

7 Fazit und Ausblick **37**
7.1 Fazit 37
7.2 Ausblick 37

A Protokoll Analyse **39**

B Demo ping **53**

C Demo xhop **57**

1 Vorwort

Dieser Bericht betrifft unsere Semesterarbeit am Institut für Technische Informatik und Kommunikationsnetze (TIK) des Departements Informationstechnologie und Elektrotechnik der ETH Zürich. Unser Ziel ist es, hiermit nach einer kurzen Einführung in die verwendeten Technologien ein genaueres Verständnis für die entstandene Arbeit zu vermitteln. Dieser Bericht soll auch als Hilfe zur Verwendung unserer Implementation dienen. Zu diesem Zweck wende man sich an die Kapitel 3.2 4.5 6.

Unsere Semesterarbeit war sehr interessant und vor allem auch abwechslungsreich, da wir uns mit verschiedensten Technologien wie mobile ad hoc Netzwerke, Bluetooth und Mikrokontroller Programmierung beschäftigen mussten. Auf Grund dieser Vielfalt benötigten wir jedoch auch viel Zeit, uns immer wieder einzuarbeiten und fremden Code zu analysieren. Im grossen und ganzen sind wir gut vorangekommen und konnten unsere Ziele erreichen. Es war eine sehr lehrreiche Arbeit.

Bedanken möchten wir uns bei Jan Beutel, unserem Betreuer, der uns immer gerne und rasch geholfen hat und uns bei der Verrichtung unserer Arbeit viel Freiheit liess. Ebenso möchten wir uns bei der Dienstgruppe des Instituts bedanken, bei der wir immer umstandslos das notwendige Material beziehen konnten.

Burgener Egon und Fercher Peter

2 Hintergründe

In diesem Kapitel wollen wir einen kurzen Einblick in die Technologien und in die Problemstellung unserer Arbeit geben. Nähere Informationen zu mobilen ad hoc Netzwerken und Routing in ad hoc Netzwerken findet man im Bericht zur Semesterarbeit "Bluetooth Unleashed" [1]. Wer sich intensiver mit Bluetooth befassen will, lese in der Bluetooth Spezifaktion [2] nach.

2.1 Mobile ad hoc Netzwerke

Mobile ad hoc Netzwerke sind dynamische Gebilde. In einem solchen Netzwerk sind die einzelnen Knoten nicht fix, sondern bewegen sich und dürfen das Netz zu beliebigen Zeiten verlassen bzw. sich zu beliebigen Zeiten anschliessen. Im Gegensatz zu statischen Netzwerken existiert beim ad hoc Netzwerk keine zentrale Steuer- und Routingstation. In der Abbildung 2.1 ist ein solches ad hoc Netzwerk dargestellt. Die Funktechnologie Bluetooth lässt sich für solche Netzwerke sehr gut verwenden. Die Funkreichweite

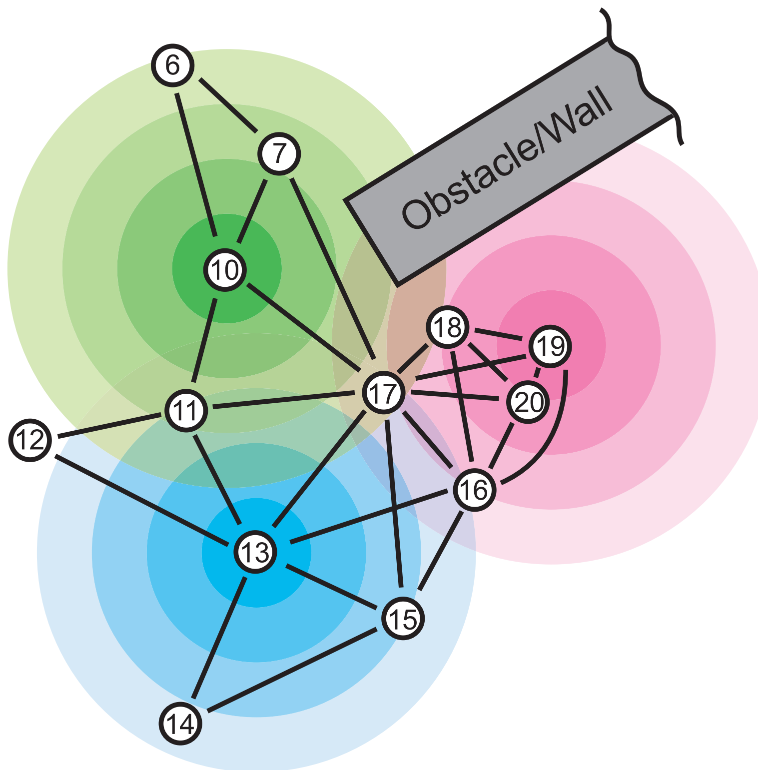


Abbildung 1: Mögliches ad hoc Netzwerk [3]

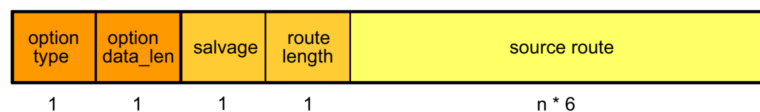
ist auf 10m beschränkt und somit für kleinere lokale Netze gedacht. Ein Bluetooth Knoten kann bis zu 7 Verbindungen zur gleichen Zeit halten (falls die Hardware dies unterstüzt). Bei einem sogenannten Piconetz handelt es sich um ein Netzwerk bestehend aus maximal 8 Knoten wobei einer die Rolle des Masters übernimmt. Solche Piconetze, in der Abbildung 2.1 mit verschiedenen Farben dargestellt, können zu einem grossen Scatternetz zusammengeschaltet werden. Die Kommunikation zwischen zwei benachbarten Piconetzen geschieht mit Hilfe eines gemeinsamen Knotens, welcher in beiden Netzen Slave ist.

Zur Illustration nehmen wir an, dass der Knoten 14 mit Knoten 6 kommunizieren will. Da letzterer nicht im Funkradius von 14 liegt, müssen z.Bsp. Knoten 13, 11 und 10 die Pakete weiterleiten. Auf Grund der Dynamik der Netze und der grossen Anzahl Knoten, die somit verbunden werden können, sind komplexe Routingmechanismen notwendig.

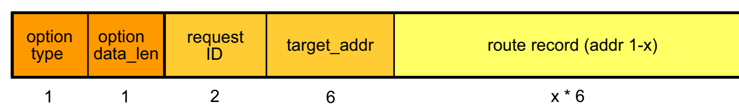
2.2 RDSR - Routing in ad hoc Netzwerke

Wie oben erwähnt, benötigt man in solchen ad hoc Netzwerken spezielle Routing Konzepte. Den Ergebnissen der Semesterarbeit "Bluetooth Unleashed" [1] zur Folge eignet sich das On-Demand Routing Protokoll Dynamic Source Routing (DSR) [9] am Besten. In der Arbeit wird ein Reduced Dynamic Source Routing (RDSR) vorgeschlagen. Folgende Paket Typen wurden spezifiziert:

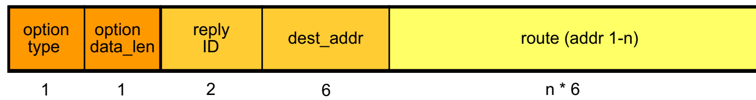
- Data



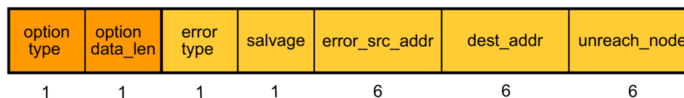
- Route Request



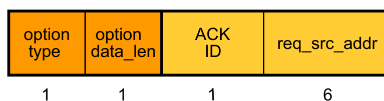
- Route Reply



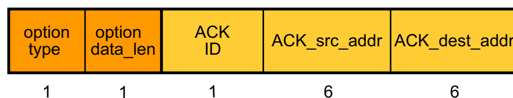
- Route Error



- ACK Request



- ACK



Will nun ein Knoten Daten zu einem anderen Knoten senden, sucht er nach einer eventuell vorher abgespeicherten Route und sendet das "Data" Paket. Findet er jedoch keine Route, so sendet er ein "Route Request" Paket an alle seine Nachbarn, welche ebenso nach einer Route in ihrem Speicher suchen. Falls diese Suche misslingt, senden diese auch ein "Route Request" Paket. Dies geht solange weiter, bis der Endknoten erreicht wurde oder jemand eine Route gespeichert hat. In beiden Fällen wird die Route dem Initiator zurückgeschickt. Sobald der Sender die Route erhält, sendet er das "Data" Paket mit Hilfe der soeben erforschten Route.

2.3 Spezifikation von xhop

Unsere Aufgabe war es nun, einen Teil des RDSR Protokoll zu implementieren: Versenden, Weiterleiten und Empfangen von Data Paketen. Nach Aufgabenstellung wird die Kenntnis der Routen als bekannt vorausgesetzt.

Unsere Implementation des RDSR Protokolls trägt den Namen xhop. Das Paket Format von xhop wurde schon in der Semesterarbeit "Bluetooth Unleashed" [1] festgelegt und wir mussten uns soweit wie möglich daran halten.

Im Gegensatz zu unseren Vorgängern, welche ihre Arbeit auf dem Axis Bluetooth Stack [4] aufbauten, benutzten wir den stabileren und weiter entwickelten BlueZ Bluetooth Stack [5]. Mehr dazu im Kapitel 3.

Die Aufgabe von xhop ist, die Grenze von 10m Reichweite, sowie die Begrenzung von 8 Knoten pro Netzwerk zu überwinden. Jeder Knote muss Verbindungen entgegennehmen können und falls er nicht das Endziel der Route ist, muss der Knoten das Paket weiterleiten. Falls der Knoten Endpunkt der Route ist, führt er die im Paket enthaltenen Kommandos aus. Da manche Kommandos Werte zurückliefern, muss diese Information an das Ende des Pakets angefügt werden, damit der Initiator diese Daten verarbeiten kann.

2.4 Anwendungen

Nach dieser kurzen Einführung in ad hoc Netzwerke und xhop stellt sich die Frage wozu man diese überhaupt gebrauchen kann.
Da mit Bluetooth verschiedene Arten von Daten übermittelt werden können, sind viele Anwendungen möglich. Hier möchten wir nur einige für uns relevante Anwendungen auflisten.

- **Positionsbestimmung**
  Mit Hilfe der Bitfehlerrate und Signalleistung einer Verbindung kann die Distanz zum Kommunikationspartner ziemlich gut abgeschätzt werden. Durch mehrere Messungen und einer Mittelung kann die Genauigkeit weiter erhöht werden. Führt man nun diese Distanzmessung von mehreren Knoten aus, so kann durch Triangulation die Position im 3-dimensionalen Raum bestimmt werden. Solange kein Knoten fix ist, bleibt die gemessene Position relativ. Um absolute Werte zu erhalten, müssen mindestens 3 Knoten des Netzes fixiert und mit absoluten Werten versehen werden.

- **Anwendungen die auf die Positionsbestimmung aufbauen**
  Auf die oben beschriebene Positionsbestimmung lassen sich nun weitere Anwendungen bauen. Es könnte ein Service entwickelt werden, mit dem man sich z.B. die Position der nächstgelegenen Pizzastube oder Pubs auf das Bluetooth Handy anzeigen lassen kann.

- **Dienstleistungsserver**
  Wie in einem statischen Netz können Knoten mit Serverfunktionen

installiert werden. Diese können im Beispiel der Positionsbestimmung die genaue Position anderer Geräte übermitteln. Ein weiteres Beispiel wäre ein Server, der das Datum und die genaue Zeit zur Verfgüng stellt.

- **Mobile Datenkommunikation**
  Notebooks und auch normale Desktop Computer können im Nu miteinander vernetzt werden und dies ohne die Beschränkung durch die Reichweite und Anzahl Geräte. Ebenso können Peripheriegeräte ins Netz angebunden werden.

2.5 Bluetooth Grundlagen

Wie oben schon erwähnt, handelt es sich bei Bluetooth um einen Standard für die lokale Funkkommunikation. Es können sowohl via asynchrone wie auch über synchrone Verbindungen digitale und PCM Daten übermittelt werden (falls die Hardware dies unterstüzt). Die Sendefrequenz liegt bei 2.4 GHz. Als Modulation wird die Bandspreiztechnik "frequence hopping" (FH) und Zeitmultiplexierung (TDM) angewendet. Die Wechselrate beträgt 1600 Wechsel pro Sekunde. Die gesamte verwendete Bandbreite beträgt 79 MHz. Tabelle 1 zeigt die möglichen Übertragungsraten. Es existieren zwei Übertragungstypen: Asynchron mit 721/56 Kbit pro Sekunde sowie synchron mit je 432 Kbit pro Sekunde.

Tabelle 1: Übertragungsraten

Asynchrone Übertragung	721/56	Kbit/s
Synchrone Übertragung	432	Kbit/s
Maximale Übertragungsrate	1	Mbit/s

Im Kapitel 2.1 "Mobile ad hoc Netzwerke" wurde schon beschrieben, dass ein Bluetooth Modul fähig ist, bis zu sieben Punkt-zu-Punkt Verbindungen gleichzeitig zu halten. Das Modul übernimmt die Rolle des Masters des so entstandenen Piconetzes. Die maximale Anzahl Slaves eines Piconetzes ist auf 256 Module beschränkt. Bei den Slaves unterscheidet man unter den aktiven Modulen, die eine bestehende Verbindung mit dem Master besitzen und den passiven, die keine Verbindung zum Master besitzen aber trotzdem zum Piconetz gehören. Alle Slaves des Netzes erhalten eine 8 Bit lange Page Identifikationsnummer. Die aktiven Slaves kriegen zusätzlich eine 3 Bit lange Identifikationsnummer. Alle passiven Slaves speichern sich Synchronisationsdaten wie Kanal Sequenz und Phase des Master und können dadurch schnell wieder in den aktiven Zustand wechseln. Dies ist für ein gut funktionierendes Netzwerk essentiell, wenn man bedenkt, dass eine Synchronisation mehrere Sekunden dauern kann.

Als nächstes betrachten wir die Protokoll Schichten, wie sie in Abbildung 2 dargestellt sind. Die Schichten unter der HCI Schnittstelle sind in Hardware realisiert. Das "Host Controller Interface" (HCI) ist die Schnittstelle zwischen dem Bluetooth Modul und dem Gerät welches das Modul steuern und benutzen will.
Auf der nächst höheren Schicht liegt das standartisierte "Link Layer Control and Adaptation Protocol" (L2CAP). Seine Aufgabe ist es, den darüber liegenden Schichten eine abstrakte, modulunabhängige Kommunikationsschnittstelle zu bieten. Es unterstützt durch multiplexen die Möglichkeit, mehrere logische Verbindungen über dieselbe physische Verbindung zu leiten. Dies geschieht über sogenannte "channel identifiers". Ebenso kontrolliert L2CAP die Fragmentierung und Defragmentierung der Daten. Auch "Quality of Service" (QoS) wird angeboten.

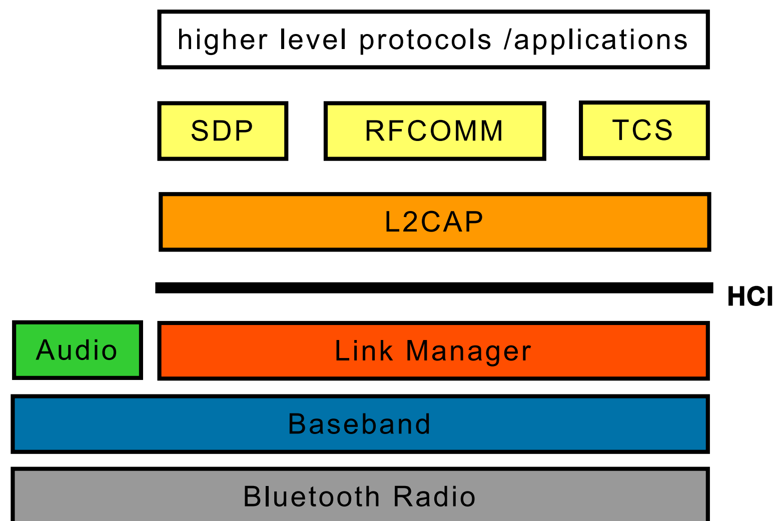


Abbildung 2: Bluetooth Protokoll Schichten [1]

3 BlueZ - Bluetooth Stack für Linux

Dieses Kapitel beschreibt den von uns verwendeten Bluetooth Stack BlueZ. BlueZ wird von der Open Source Gemeinde entwickelt und der Source Code ist bei sourceforge.net unter [5] erhältlich. Weil der Release 1.0 ab dem Kernel 2.4.10 nicht mehr kompatibel ist, benutzten wir die CVS Version vom 24 Okt. 2001. Seit Beginn des Jahres 2002 ist ein neuer Release 2.0-pre1 erhältlich.

3.1 Betrieb von BlueZ

Die Installation von BlueZ verläuft gemäss dem "How To" [6]. Dabei ist zu beachten, dass folgende Optionen im Kernel vorhanden sind:

- Networking Options $\Longrightarrow$ Kernel/User netlink socket.
- Network device support $\Longrightarrow$ PPP(point-to-point) support.

Weiter ist zu achten, dass "USB support $\Longrightarrow$ Bluetooth support" nicht gewählt ist.

Das BlueZ Paket enthält ein paar nützliche Hilfsprogramme wie `l2ping` und `l2test`, mit denen man die Installation und die Bluetooth Module testen kann. Nicht enthalten ist der "packet sniffer" `hcidump`, welcher jedoch auch unter [5] erhältlich ist. Startet man `hcidump` mit `[--hex|--raw]`, so wird jeweils auch das gesamte Paket in hexadezimaler Schreibweise dargestellt. Dies war für die Analyse der Funktionsweise und zum Suchen von Fehlern sehr hilfreich.

Mit dem Programm `hciconfig`, welches auch im Paket Bluez enthalten ist, kann das Bluetooth Modul konfiguriert und gesteuert werden. Zum Starten des Moduls verwendet man `hciconfig hciX up`, wobei `X` die interne, logische Nummer des Modules ist. Falls eine UART Verbindung zum Modul verwendet wird, muss man es zuerst an eine serielle Schnittstelle anbinden. Dazu kann entweder das Programm `hciattach` oder `hcid` verwendet werden. Wir haben folgende Syntax verwendet:

```
[root@localhost]# hciattach /dev/ttyS0 ericsson 57600 flow
```

Nähere Informationen zum Gebrauch findet man jeweils unter den Hilfe Optionen der einzelnen Programme.

Wie wir festgestellt hatten, läuft BlueZ stabil und zuverlässlich, falls eine UART Verbindung mit 57600 baud/s zum Bluetooth Modul verwendet wird. Leider hatten wir mit einer USB Verbindung Probleme, die jedoch

auch auf den Linux Kernel zurückzuführen sind. Zum Zeitpunkt unserer Arbeit wurde gerade an den USB Treibern Veränderungen vorgenommen, was zu Inkompatibilitätsproblemen führte. Weiter stellten wir fest, dass die Funktion `recv` der L2CAP Socket Schnittstelle manchmal 0 Bytes zurück gibt, obwohl das der Host das Paket vollständig erhalten hat. Dies konnten wir mit `hcidump` beobachten.

3.2 Protokoll Schichtenmodell

Abbildung 3 zeigt das Schichtenmodell des Bluez Protokollstacks. Unter "BlueZ utilities" versteht man die kleinen oben beschriebenen Hilfsprogramme.

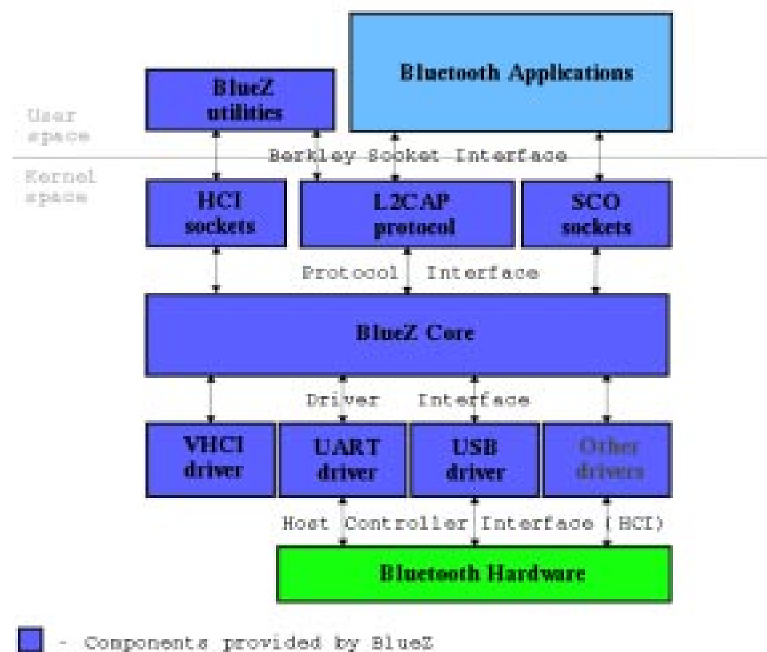


Abbildung 3: BlueZ Bluetooth Protokollstack

Die Schnittstelle zur L2CAP Schicht basiert auf "Sockets". Im folgenden sind die Schritte eines Clients sowie eines Servers skizziert. Den ausführlichen Code findet man in der Datei `l2test.c`.

3.2.1 Client

Unter Bluetooth ist der Begriff "initiator" gebräuchlicher. Will man Daten an einen Server senden, geht man folgendermassen vor: Zuerst holt man sich vom OS einen "socket filedescriptor".

```
s = socket(PF_BLUETOOTH, SOCK_SEQPACKET, BTPROTO_L2CAP);
```

Jetzt wird dieser Socket an eine lokale Adresse gebunden. Es ist möglich, mehrere Bluetooth Devices am gleichen Computer angeschlossen zu haben. Mit `loc_addr` wählt man eines aus.

```
bind(s, (struct sockaddr *) &loc_addr, sizeof(loc_addr));
```

Optional kann man nach dem `bind` call mit

```
getsockopt(s, SOL_L2CAP, L2CAP_OPTIONS, &opts, &opts_len);
```

Socket Optionen vom lokalen Socket lesen.
Neue Optionen setzt man mit:

```
setsockopt(s, SOL_L2CAP, L2CAP_OPTIONS, &opts, opts_len);
```

als Optionen können `opts.omtu`, und `opts.imtu` gesetzt werden. Dies sind die maximalen Transfereinheiten für Daten die über den Socket gesendet bzw. empfangen werden.
Nach `bind` kann man zur `rem_addr` verbinden der man Daten senden will:

```
connect(s, (struct sockaddr *)&rem_addr, sizeof(rem_addr));
```

Nach dem erfolgreichen `connect()` kann man nun Daten zum Server senden. Dazu benutzt man die Funktion:

```
send(s, buf, data_size, 0);
```

Will man die Verbindung zum Server trennen, so benutzt man die Funktion:

```
close(s);
```

Hier sind wir auf ein weiteres Problem des BlueZ L2CAP Layers gestossen: Beobachtet man die Aktivität auf dem Socket mit `hcidump` so sieht man das der L2CAP Layer erst ca. 10 Sekunden nachdem `close()` zurückkehrt auch wirklich in den closed Zustand geht. Wir mussten darauf

achten, dass zwischen dem Abbruch einer Verbindung mit A und dem Aufbau einer Verbindung mit B dem L2CAP Layer genügend Zeit bleibt, um wieder in den Anfangszustand zu gehen. Unter Linux war deshalb eine Verzögerung von ca. 10 Sekunden notwendig (`sleep(10);`).

3.2.2 Server

Der Begriff "acceptor" ist gebräuchlicher. Will man Daten empfangen geht man folgendermassen vor: Zuerst öffnet man die Kommunikationsschnittstelle (man holt sich einen Socket):

```
s = socket(PF_BLUETOOTH, SOCK_SEQPACKET, BTPROTO_L2CAP);
```

Danach wird der Socket an eine lokale Adresse gebunden:

```
bind(s, (struct sockaddr *) &loc_addr, sizeof(loc_addr));
```

Nun kann man auf dem Socket horchen, bis jemand eine Verbindung will. Dies geschieht mit:

```
listen(s, 10);
```

Will jemand verbinden, so kann man die Verbindung annehmen mit:

```
s1 = accept(s, (struct sockaddr *)&rem_addr, &opt);
```

Jetzt kann man mit `fork` einen neuen Prozess erzeugen, der sich um die Verbindung kümmert:

```
if( !fork() ) /* child */
```

Daten empfangen kann man mit der Funktion:

```
numbytes_received = read(s1, buf, data_size);
```

Will man die Verbindung trennen, so benutzt man:

```
close(s1);
```

4 xhop-Protokoll im Detail

In Kapitel 2 "Hintergründe" wurde die Funktionalität und Aufgabe von xhop beschrieben. Nun möchten wir in diesem Kapitel das Protokoll und dessen Verwendung im Detail besprechen.
Wie schon erwähnt, mussten wir uns beim Format von xhop an die Vorgaben der Semesterarbeit "Bluetooth Unleashed" [1] halten.

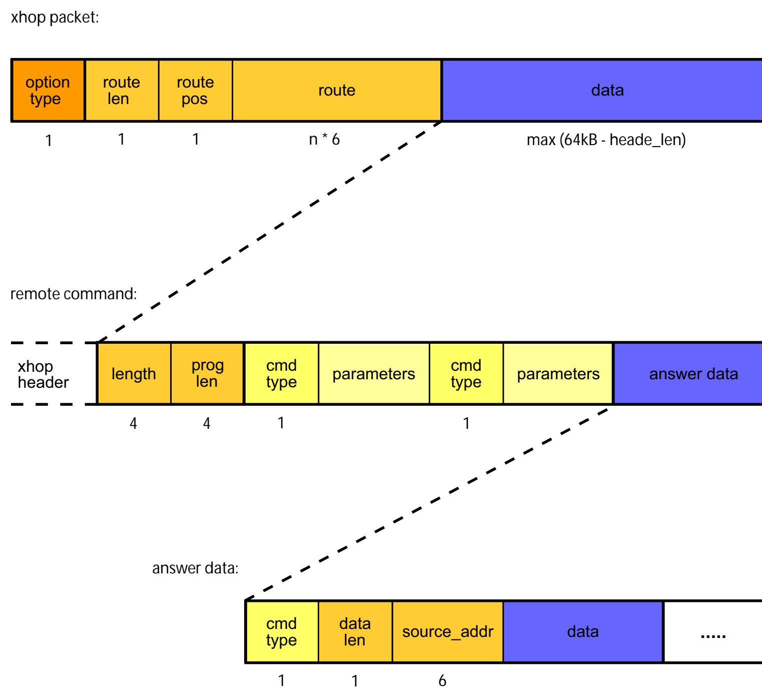


Abbildung 4: Paket Format von xhop [1]

Die Abbildung 4 zeigt ein Modell des Formats. Es ist gut erkennbar, dass das gesamte Paket in folgende drei Teile aufgeteilt ist:

1. RDSR Kopf
2. Kommando-Daten
3. Antwort-Daten

Im Folgenden werden diese einzelnen Teile genauer betrachtet.

4.1 RDSR Kopf

Das erste Byte des RDSR Kopfes beschreibt den Typ des RDSR Paketes. Dies ist für unsere Anwendung vom Typ RDSR Data. Beim zweiten Byte

handelt es sich um die Länge der Route, d.h. die Anzahl Knoten im Feld "Route". Das nächste Byte enthält die aktuelle Position in der Route. Der Wertebereich von 'route pos' beginnt mit 1 und endet mit dem Wert von 'route len'. Falls das Paket weitergeleitet werden muss, ist der Wert von "route pos" um eins zu inkrementieren.
Das Feld "route" enthält die 6 Byte grossen Bluetooth Adressen. Somit ergibt sich die Länge von "route" durch "route len" mal 6 Byte. Die Route muss vom Initiator des Pakets via RDSR oder sonstige Routingprotokolle berechnet worden sein. Es ist wichtig, dass jeder Knoten in der Route jeweils vom vorherigen direkt erreichbar ist.

4.2 Kommando-Daten

Beim zweiten Teil, den Kommando-Daten, handelt es sich um den Teil, der xhop für Anwendungen sehr nützlich macht. Die Idee ist, dass ein Bluetooth Knoten auf anderen Knoten Kommandos ausführen kann. Eines der möglichen Kommandos ist auch xhop selber. Somit ist man fähig mit nur einem xhop Paket zu einem entfernten Knoten zu "springen", dort Kommandos ausführen zu lassen und weiter zu einem beliebigen Knoten zu "springen", der ebenso Kommandos ausführt und das Paket weiterleiten kann. Die maximale Anzahl "Sprünge" ist lediglich durch die maximale Paketlänge von 64 KB begrenzt.

Der Kopf der Kommando-Daten enthält zwei Längenangaben. Die erste, als "length" bezeichnet, gibt die Gesamtlänge des Kommandoteiles an. Sie enthält die Länge des Kopfes von stets 8 Byte, die Länge der gesamten Kommandofelder und die Länge der gesamten Antwort-Daten.
Das Feld "prog len" enthält die Länge der gesamten Kommandofelder. Diese zweite Längenangabe dient dazu die Kommandofelder von den Antwort-Daten zu unterscheiden.

Jedes einzelne Kommandofeld besitzt einen vordefinierten Kopf mit 1 Byte langem Kommandotyp Feld und einem 4 Byte langen "param len" Feld. Dieses Parameterlängenfeld fügten wir hinzu, um das Durchlaufen des Paketes zu erleichtern. Abbildung 5 zeigt den für alle Kommandos geltenden Kopf.
Vorläufig haben wir folgende Kommando Typen implementiert:

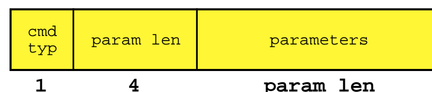


Abbildung 5: Kommando Kopf

- CMD_INQ
- CMD_SEND_DATA
- CMD_XHOP

Mit diesen drei Typen lassen sich viele Anwendungen aufbauen. Weitere Kommandos lassen sich ziemlich einfach einbauen. Dazu ist lediglich ein weiterer "case" Eintrag im "switch" der Funktion `exec_cmd` nötig.

Die Funktion von `CMD_INQ` ist, auf dem entsprechenden Knoten ein "inquiry" durchzuführen und die gefundenen Knoten den Antwort-Daten des Paketes hinzuzufügen. Bei einem "inquiry" sucht der Knoten nach Bluetooth Modulen die in seiner Reichweite sind. Bei kommerziellen Geräten wird diese Funktion oft auch als "discover" bezeichnet.
In Abbildung 6 ist das genaue Format vom Typ `CMD_INQ` dargestellt. Das Feld "sec" beinhaltet die Dauer der Suche in Sekunden. In der Regel sollten 7-8 Sekunden ausreichen um alle Bluetooth Geräte zu erkennen.
Mit dem Kommando `CMD_SEND_DATA` lassen sich beliebige Daten zu einem

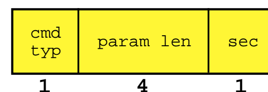


Abbildung 6: Kommando `CMD_INQ`

Knoten senden. In unserer Implementation benutzen wir dieses Kommando lediglich um einen Text am anderen Knoten anzeigen zu lassen. Das Feld "Data buffer" in Abbildung 7 enthält die Daten. Weiter ist zu beachten, dass die maximale Paketlänge eingehalten wird. Um eine grosse Flexibilität

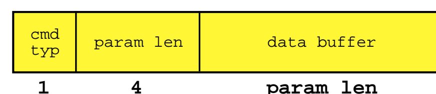


Abbildung 7: Kommando `CMD_SEND_DATA`

zu erreichen, benötigt man die Fähigkeit das Paket nach Ausführung von diversen Kommandos an weitere Knoten weiterzuleiten. Dies wird vorallem auch zum Rücksenden der Antwort-Daten verwendet.
Dieser Mechanismus wird mit dem Kommando `CMD_XHOP` erreicht. Wie Abbildung 8 zeigt, enthält das Kommando nur die Bluetooth Adresse des Bluetooth Moduls, zu dem das Paket gesendet werden soll. Der Knoten ist selber dafür zuständig eine Route zum Ziel zu finden. Da uns keine implementierten Routingprotokolle zur Verfügung standen, setzten wir das

Kommando so um, dass das Paket direkt zum Ziel versendet wird. Dies setzt die direkte Erreichbarkeit des Ziels voraus.
Bevor das Paket gesendet werden kann, wird der RDSR Kopf mit der neuen Route versehen. Weiter werden alle schon ausgeführten Kommandos inklusive `CMD_XHOP` von den Kommando-Daten entfernt.

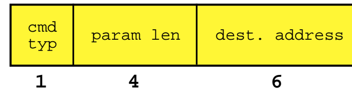


Abbildung 8: Kommando `CMD_XHOP`

4.3 Antwort-Daten

Wie wir oben gesehen haben, generieren manche Kommandos Rückgabewerte. Diese Daten werden ans Ende des Paketes angehängt. Damit diese später voneinander unterschieden und richtig zugeordnet werden können, ist ein gemeinsames Format, wie es in Abbildung 4 ersichtlich ist, nötig.

Das erste Byte "cmd typ" bestimmt von welchem Kommandotyp die Antwort stammt. So kann das Format der Daten abhängig vom Kommando entworfen werden. Das Feld "data len"enthält die Länge des "data" Feldes, das die eigentlichen Rückgabewerte beinhaltet, in Bytes. Das "source_addr" Feld gibt an von welchem Knoten die Daten stammen, d.h. es enthält die Bluetooth Adresse des Moduls, welches das Kommando ausgeführt hat.

Die Antwort-Daten werden vom Knoten genau dann gelesen, wenn keine Kommandos im Paket sind oder wenn man bei der Abarbeitung der einzelnen Kommandos nicht auf ein `CMD_XHOP` stösst.

Bei den drei von uns implementierten Kommandos, generiert lediglich `CMD_INQ` Rückgabewerte. Im folgenden wird das Format der Antwort-Daten eines `CMD_INQ` erläutert.
Das erste Byte im "data" Feld gibt die der Anzahl gefundenen Knoten an. Ist der Wert auf null gesetzt, so trat bei der Ausführung des "inquiry" ein Fehler auf oder es wurden keine Bluetooth Knoten gefunden. Im Falle eines Fehlers enthalten die darauffolgenden Bytes eine Fehlermeldung. War das "inquiry" jedoch erfolgreich, so sind in den restlichen Bytes die Bluetooth Adressen der gefundenen Module sequentiell aufgelistet.

4.4 Benutzung von xhop

In diesem Abschnitt zeigen wir, wie man xhop benutzt und wie man ein xhop Paket generiert. Da xhop nicht direkt vom Benutzer sondern von Anwendungen oder von höheren Schichten genutzt wird, haben wir weder eine graphische noch eine Konsolen basierte Schnittstelle geschaffen.

Das Programm xhop kann auf zwei verschiedene Arten gestartet werden. Zum einem im Empfangs-Modus mit dem Kommando `xhop -r` und zum anderen im Sende-Modus mit `xhop -s`. Im Empfangs-Modus führt das Modul ein "listen" aus und wartet bis eine Verbindung zustande kommt. Ist dies der Fall wird das Paket verarbeitet. Während der Verarbeitung bleibt das Modul beim "listen". Im Sende-Modus sendet das Modul das im Code definierte Paket. Die Hardcodierung des Pakets ist sehr simpel und nur für Test- und Entwicklungszwecke gedacht.
Der folgende Code Ausschnitt zeigt die Generierung des Pakets, welcher in der Funktion `demo_packet` in der Datei `xhop.c` zu finden ist.

```
...

//---------------------- R O U T E --------------------
// ex.:
add_hop(buf, strtoba("00:00:00:00:00:44")); // Knoten A
add_hop(buf, strtoba("00:d0:b7:03:20:12")); // Knoten B
add_hop(buf, strtoba("00:00:00:00:00:07")); // Knoten C
//--------------------------------------------------

...

//---------------------- C O M M A N D S---------------
// ex.:
// INQ(5);
// XHOP("00:00:00:00:00:07");

SEND(text,sizeof(text));
INQ(5);
XHOP("00:00:00:00:00:44"); // Knoten A (liesst die Antwort)
//---------------------------------------------------

...
```

Als erstes muss die Route festgelegt werden. Dazu kann die Hilfsfunktion `add_hop` verwendet werden. Sie fügt die angegebene Bluetooth Adresse dem Feld "route" hinzu und inkrementiert "route len".

Als nächstes kann das Paket mit Kommandos versehen werden. Bei den Funktionen `INQ(int sec)`, `SEND(char *text,int len)`, `XHOP(char* btaddr)` handelt es sich um Makros, die die Kommandofelder entsprechend generieren. Bei dem Argument von `XHOP` handelt es sich um eine Bluetooth Adresse, die mit 6 Hexadezimalzahlen getrennt durch Doppelpunkte geschrieben wird.

Möchte man eine Anwendung oder eine höhere Schicht aufbauend auf xhop entwickeln, so muss noch eine geeignete Schnittstelle erstellt werden.

4.5 Implementation

Wer sich mit dem Code von xhop beschäftigt, dem sei hier ein kleiner Überblick über die Implementation gegeben. Weitere Hilfe und Beschreibung der Funktionen steht im Code als Kommentar.

Wird xhop im Sende-Modus gestartet, so wird als erstes das Paket generiert und danach wird es dem zweiten Knoten in der Route gesendet. Das Senden übernimmt die Funktion `forward(char *buf, int len)`.
Der Empfangs-Modus ist ein bisschen komplexer. Nach dem Start gelangt das Programm in die Funktion `do_listen` wo es wartet bis eine Verbindung zustande kommt. Ist dies der Fall so wird ein Kindprozess erzeugt, der die Verarbeitung des Pakets übernimmt. Der Vaterprozess bleibt weiter beim "listen" und wartet auf weitere Verbindungen. Abbildung 9 zeigt das Zustandsdiagramm des Empfangs-Modus.
Beim Kindprozess wird als erstes die Funktion `recv_handler` aufgerufen. Sie nimmt die empfangenen Bytes auf und speichert diese in einem Buffer.

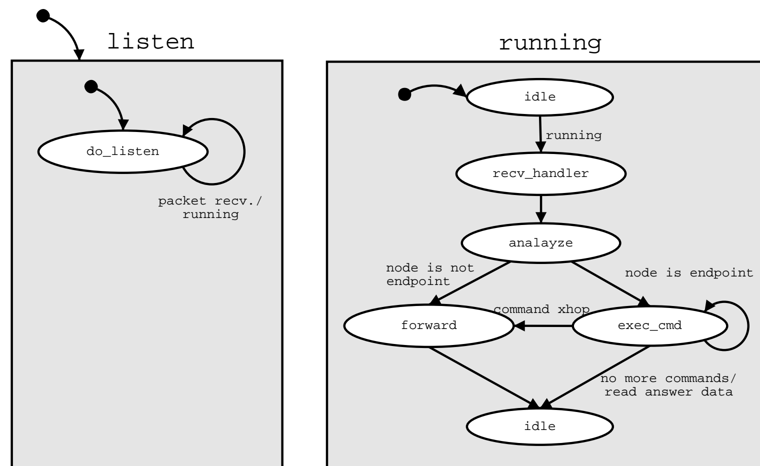


Abbildung 9: Zustandsmaschine von xhop

Als nächstes wird der Buffer der Funktion `analyze` übergeben, die das erhaltene Paket analysiert. Im Fall dass der Knoten nicht das Endziel ist, wird das Paket der Funktion `forward` übergeben, die das Feld "route pos" inkrementiert und das gesamte Paket an den nächsten Knoten weiterleitet und den Prozess terminiert. Ist der Knoten Endpunkt der Route, so müssen die Kommandos ausgeführt werden.
Die Analyse und Ausführung der Kommandos ist die Aufgabe der Funktion `exec_cmd`. Sind keine Kommandos vorhanden oder besitzt das Paket kein `CMD_XHOP` so werden die Antwort-Daten ausgelesen und der Prozess terminiert.
Im Falle, dass ein `CMD_XHOP` auftritt, wird ein neues Paket generiert. Das neue Paket enthält die neue Route, die Kommandos die noch nicht ausgeführt wurden sowie die bereits angehängten Antwort-Daten. Dieses neue Paket wird danach der Funktion `forward` zum Versand übergeben.

5 Bluetooth auf AVR

In diesem Abschnitt geht es um die Portierung auf den AVR. Ziel war es, die Funktionalität wie `l2test`, `l2ping` zu unterstützen. Also Daten zu senden und zu empfangen. Zudem wurde noch eine reduzierte Variante von `xhop` implementiert - siehe dazu auch das Kapitel 6.

5.1 Ausgangspunkt

5.1.1 Hardware

- **ATMEL 103 L**
  Zur Verfügung stand uns der ATMEL 103 L. Der AVR hat eine Harvard Architektur mit separatem Speicher und Buss für Programmcode und Daten. Der Datenspeicher ist ein 4 KB grosses 8 Bit breites internes SRAM. Der Programmspeicher ist ein 64 KB grosses 16 Bit breites internes Flash. Der limitierte Speicher auf dem AVR reichte aber für unsere Implementation aus. Da der Datenspeicher jeweils byteweise adressiert wird, sollte man wenn möglich `__u8` anstelle von `int` benutzen. Dies lohnt sich speziell für "loopcounter", da der AVR für eine 32 Bit breite Variable 4 Ladeintstruktionen aus dem SRAM ausführen muss!

- **Bluetooth Modul**
  Zur Verfügung stand uns der ROK 101 007 von Ericsson (Revision PA4).

5.1.2 Software

- **avr-gnutools**
  Unsere Version der `avr-gnutools` haben wir von Oliver Kasten (D-INFK). An dieser Stelle auch unser Dankeschön an ihn, der uns die Diplomarbeit [7] erläutert hat. Die Tools können von seiner Webseite heruntergeladen werden:

  `http://www.inf.ethz.ch/~ kasten/research/bathtub/avr/`

  Ebenfalls findet man dort Installationshinweise und den Link zu den neusten Versionen der Tools auf dem Web. Hilfreich kann auch das Abonnieren der Mailingliste für die `avr-gnutools` sein.

- **Diplomarbeit "The Event Collector Concept"**
  Von unserem Betreuer wurde uns der Code der Diplomarbeit [7] zur Verfügung gestellt. Den Teil, den wir übernommen haben, stellt die Initialisierung des AVR sowie die Ansteuerung der seriellen Schnittstellen zur Verfügung.

- **smart-its**
  Im Rahmen des Projektes smart-its [8], dessen Ziel es ist, Alltagsgegenstände durch kleine Computer zu verbinden, wurden wir auf die Arbeit von Frank Siegemund (D-INFK) aufmerksam gemacht. Er erklärte uns seinen Code und stellte ihn uns auch zur Verfügung. Es handelte sich um eine teilweise Portierung des Axis Protokoll Stacks. Auch ihm an dieser Stelle herzlichen Dank. Leider fehlte dieser Implementation die L2CAP Schicht, was den Grossteil unserer Arbeit ausmachte.

5.2 Protokoll Stack

Nach dem Studium dieser Voraussetzungen machten wir uns an die Implementation. Ziel war es, ein Programm zu schreiben, das es dem AVR ermöglicht mit einem Linux Rechner zu kommunizieren.

5.2.1 Software Komponenten

- **Makefiles**
  Wir haben ein paar Makefiles geschrieben, die den Umgang mit den Tools erleichtern. Alle Änderungen werden im Toplevel Makefile vorgenommen (`Makefile.include`). Hier werden die wichtigsten Optionen und Pfadangaben gesetzt. Dieses Makefile kann dann bequem "included" werden. Als Beispiel betrachtet man am besten das Makefile zu `uxhop.c`. Mit

  ```
  [root@pc-3294 uxhop]# make stk
  ```

  wird der code für das Development Board übersetzt. Mit

  ```
  [root@pc-3294 uxhop]# make btnode
  ```

  wird der code für den btnode übersetzt. Mit

  ```
  [root@pc-3294 uxhop]# make upload
  ```

  wird der Code ins Flash vom AVR geschrieben.

- **h File**
  Das File `hci_avr.h` ist eine Modifikation des BlueZ Stacks. Es enthält die nötigen hci und l2cap `#defines`

- **Debugging**
  Debugging ist auf dem AVR ein wenig umständlich. Es geschieht über

die serielle Schnittstelle. Dazu wird am besten folgendermassen vorgegangen

- Linux Rechner mit AVR verbinden.
  Dazu nimmt man entweder ein gerades 9-Poliges D-SUB (also 2 → 2, 3 → 3, 7 → 7, 8 → 8) oder wie wir, ein gekreuztes Kabel (also 2 → 3, 3 → 2, 7 → 8, 8 → 7) und schaltet einen Nullmodem Adapter dazwischen. (Die entsprechenden Kabel wurden von uns gelötet ;-)
- `minicom` auf Linux Rechner starten.
  Die Optionen muss man auf 57600, 8N1 setzen. Danach sollte der Output vom AVR auf dem Linux Rechner in der minicom console sichtbar sein.
- c File
  Im oberen Teil des Files `uxhop.c` stehen ein paar Zeilen, mit denen man die Debug Ausgaben des Programmes bequem steuern kann. Man muss dazu einfach die entsprechenden Zeilen auskommentieren. Beispiel:

  ```
  /* enables debugging prints in send mode */
  #define __INITIATOR__
  ```

  Dies ermöglicht compile-zeit gesteuertes Debuggen einzelner Komponenten.

Das Makro, das am meisten benutzt wird, ist

```
bprintf(s, arg...);
```

`s` ist ein "character array", ansonsten benutzt man die Funktion wie `printf`. Also zum Beispiel:

```
bprintf(my_buffer, "val=0x%x, cnt=%i \n \r", val, cnt);
```

- **sprintf(s, arg...);**
  Für diese Funktion gibt es keinen Standard auf dem AVR. Deshalb haben wir eine Version, die auf dem Web unter

  `http://home.arcor.de/0xdeadbeef`

  zu finden ist, in unseren Code übernommen. Diese Funktion hat sich als robust und einfach erwiesen. Eine kurze Erklärung der Flags findet sich im File `uxhop.c`
- **Initialisierung des AVR**
  Dies haben wir von der alten Diplomarbeit [7] übernommen.

- **Initialisierung des Bluetooth Modules**
  Die Funktion `hci_dev_init()` übernimmt die Initialisierung und speichert die vom Modul erhaltenen Daten in einer Struktur, die auch ausgegeben werden kann. Das entspricht der Funktionalität von `hciconfig hcix up`.

- **Paket Parser**
  Der Paket Parser ist in der Funktion `hci_recv_data()` implementiert. Seine Aufgabe ist es, Paketgrenzen zu erkennen. Mehrere Fälle mussten in Betracht gezogen werden:

  - Paket kommt nur teilweise an.
  - Paket wird ganz empfangen.
  - mehr als ein Paket wird auf einmal empfangen.

  Sobald ein Paket komplett empfangen wurde, wird der entsprechende Handler aufgerufen. Der Funktionsaufruf lautet:

  ```
  hci_recv_data(acl_handler, evt_handler);
  ```

  Eine Hilfsfunktion ist der `wrapper()`, der in einer "while loop" immer wieder `hci_recv_data()` aufruft. Es ist zu beachten, dass diese Art von Empfangen "blocking" ist. Falls "non-blocking" erforderlich ist, muss der "wrapper" angepasst werden.

- **Zustandsmaschine für Empfangen von Daten** (`l2test -r`)
  Will man Daten empfangen, d.h. "listen mode", geht man folgendermassen vor:

  ```
  wrapper (process_acl, process_evt);
  ```

  Die Funktionen `process_acl()` und `process_evt()` bilden zusammen die Zustandsmaschine für den Empfangsmodus. Dieser Zustand des AVR ist identisch mit dem Linux Tool `l2test -r` In diesem Modus kann man mit `l2test` Daten auf den AVR schicken. Dies kann wie folgt getestet werden:

  ```
  [root@pc-3294 tools]# ./l2test -s 11:11:11:50:11:11
  ```

- **Zustandsmaschine für Senden von Daten** (`l2test -s `)
  Will man aktiv Daten an eine Adresse senden, so benutzt man die Funktion

  ```
  send_data(data_to_send);
  ```

Diese Funktion ruft wiederum `wrapper()` mit dem "handler" `l2cap_initiator()` auf. Dort ist die Zustandsmaschine für das Senden von Daten implementiert. Ob die Daten auch ankommen, kann man mit

```
[root@pc-3294 tools]# ./l2test -r
```

auf einem Linux Rechner überprüfen. Hilfreich ist es, gleichzeitig `hcidump` zu starten.

```
[root@pc-3294 tools]# hcidump --hex
```

5.3 Schnittstellen

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, existieren folgende Schnittstellen:

- Empfangen
  `wrapper(process_acl, process_evt);`
- Senden
  `send_data(the data to be sent...);`
- xhop
  Die Funktion `uxhop()` wird nach dem erfolgreichen Empfangen von Daten aufgerufen. Hier werden die Daten analysiert und dann weitergeleitet.

5.4 Protokoll Analyse

Unser AVR-Port kann mit dem BlueZ Stack unter Linux kommunizieren. Für die Implementationen mussten wir herausfinden, welche Pakete in welcher Reihenfolge gesendet/empfangen werden. Deshalb wurden die folgenden Linux Kommandos aufgeschlüsselt:

- `hciconfig hci0 up`
- `hciconfig hci0 inq`
- `l2ping`
- `l2test`

Diese Tabellen befinden sich im Anhang A. Sie haben sich als sehr nützlich für die Implementation erwiesen.

5.4.1 L2CAP

- **L2CAP Verbindungsaufbau**
  Der Verbindungsaufbau wird in der Abbildung 10 verdeutlicht. Als erstes sendet der Initiator ein `l2cap_conn_req`, welches vom Empfänger mit einem `l2cap_conn_rsp` beantwortet wird. Auf gleicher Art und Weise folgen `l2cap_conf_req` und `l2cap_conf_rsp`. Daraufhin schickt noch der Empfänger sein `l2cap_conf_req`. Dies beantwortet der Initiator wiederum mit einem `l2cap_conf_rsp`. Diese Prozedur dient dem Austausch von Verbindungsgrössen, wie Paketgrösse, ... Danach kann der Initiator Daten zum Empfänger schicken.

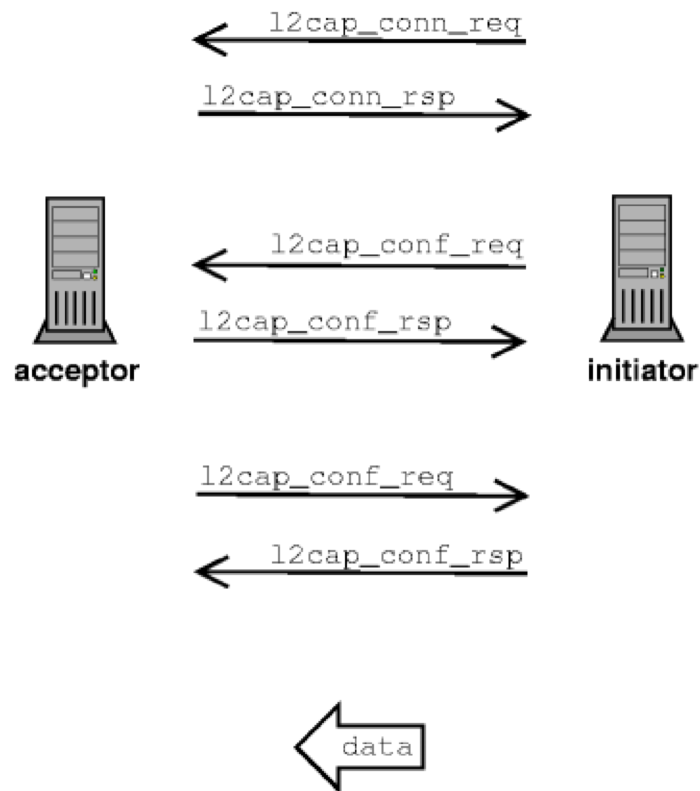


Abbildung 10: L2CAP Verbindungsaufbau

- **L2CAP Verbindungsabbruch**
  Man betrachte die Abbildung 11. Nachdem der Initiator seine Daten gesendet hat, sendet er dem Empfänger ein `l2cap_disconn_req`. Der Empfänger antwortet mit einem `l2cap_disconn_rsp`, womit der Verbindungsabbruch beendet ist.

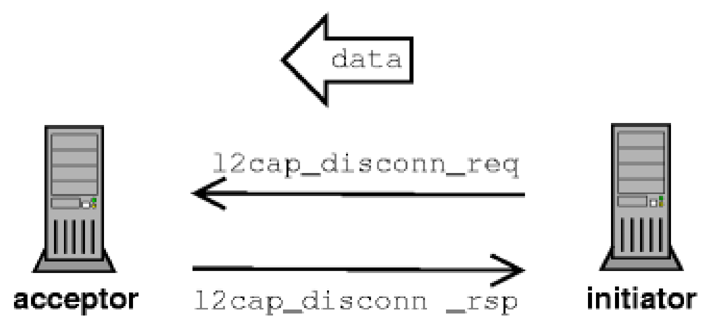
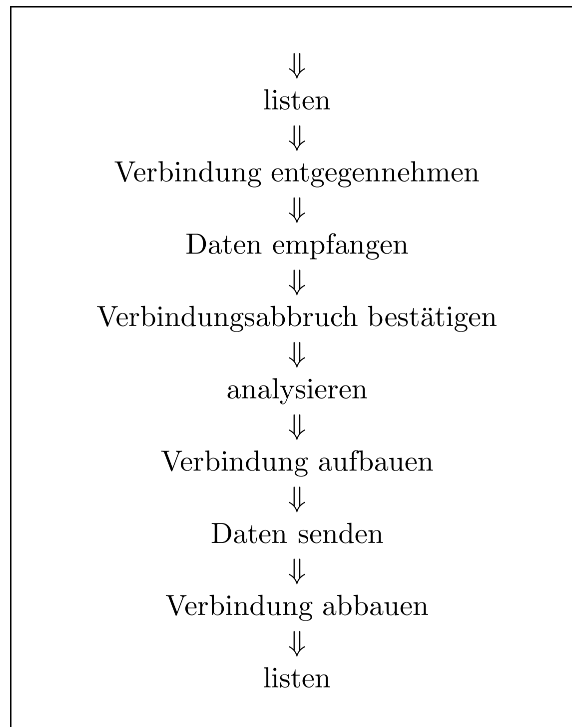


Abbildung 11: L2CAP Verbindungsabbruch

6 µxhop - xhop auf AVR

Die Funktion `uxhop()` wird aufgerufen, sobald die gesendeten Daten auf dem AVR angekommen sind. `uxhop()` analysiert das Paket und leitet es an die entsprechende Adresse weiter.



Hier sei nun der Ablauf skizziert, die genaue Syntax findet man im File `uxhop.c`. Zuerst wird das angehängte Bluetooth Modul initialisiert. Dies entspricht dem Vorgang von `hciconfig hci0 up`. Dabei wir die Information des Bluetooth Moduls in der Struktur `dev` gespeichert. Diese Struktur kann anschliessend ausgelesen werden.

```
hci_dev_init(&dev);
```

Dann kann ein Inquiry ausgeführt werden (Bsp.: 10 Sekunden, Maximal 200 Antworten):

```
inq(10, 0xc8);
```

Nun geht das Programm in den Empfangsmodus (acceptor) über:

```
wrapper(process_acl, process_evt);
```

Sobald Daten empfangen wurden, und die Verbindung wieder getrennt wurde, wird die Funktion `uxhop()` aufgerufen. Hier können die eingetroffenen Daten analysiert werden. Momentan werden die empfangenen Daten nur weitergeleitet:

```
void uxhop() {
        ...
        /* inc route pos field */
        h->route_pos++;
        /* send the data off */
        send_data(forward);
}
```

die Funktion `send_data` schickt Daten weiter an die Adresse `forward`

Nachdem die Daten versendet wurden, wird wieder auf eingehende Verbindungen gehorcht.

6.1 Software Tests

Die Entwicklung wurde fortlaufend mit Tools wie `l2test` oder `l2ping` `hcidump --hex` oder `hcidump --raw` geprüft. Die Funktionalität von `xhop` haben wir mit den zwei folgenden Szenarien überprüft.

- Knoten A, Linux Rechner
- Knoten B, AVR
- Knoten C, Linux Rechner

6.1.1 l2ping

Um die "ping" Funktionalität zu testen, nutzten wir das Programm `l2ping`. Das Protokoll findet man im Anhang B

6.1.2 xhop - ohne Kommando Daten

- Route
  (A $\rightarrow$ B $\rightarrow$ C)

A sendet ein xhop Paket an B. B leitet das Paket nach C weiter. C ist der Endpunkt und überprüft, ob er Kommandos ausführen soll. Dem ist in diesem Fall nicht so. Schliesslich gibt C das Paket auf der Konsole aus.
Das Protokoll dieses Tests befindet sich im Anhang C.

6.1.3 xhop - mit Kommando Daten

- Route
  (A → B → C inq, xhop → B → A)

Auch das folgende Szenario konnte erfolgreich getestet werden:
Host A sendet ein xhop Paket an B. B forwardet das Paket an C. Dieser ist Endpunkt und führt nun die Kommandos aus, die ihm A aufgetragen hat. In diesem Fall ein `inquiry` und ein `xhop`. Danach werden die inquiry Daten von C ans `xhop` Paket angehängt und nach der von A vorgegebenen Route wieder über B nach A geschickt.

7 Fazit und Ausblick

7.1 Fazit

Mit der in dieser Semesterarbeit programmierten Software ist es möglich, ein Netz ohne harte Grenzen aufzubauen. Mit xhop ist es möglich auf einem entfernten Knoten ein Kommando auszuführen. Dies war ein Hauptziel unserer Aufgabenstellung. Mit der Portierung auf den AVR Mikrokontroller ist nun auch die Benutzung von xhop mit mobilen Knoten möglich.
Die Funktionalität unserer Programme wurde fortlaufend durch Tests geprüft.

7.2 Ausblick

Die weitere Arbeit besteht nun darin, eine funktionsfähige routing Software zu entwickeln, die mittels unseres Codes eine Topologie des Netzwerkes aufstellt. Eine graphisches Schnittstelle wäre sicher zu Testzwecken auch interessant. Weiter würde die Implementation von zusätzlichen Kommandos das Anwendungsgebiet von xhop verbreitern.
Ein nächster Schritt wäre die Entwicklung von Anwendungen die verschiedenste Dienste anbieten. Um diese Dienste zu finden, wäre noch "Service Discovery" Software nötig.

A Protokoll Analyse

Die nachfolgenden Seiten zeigen die byteweise Analyse der Programme:

- `hciconfig`
- `inquiry`
- `l2ping`
- `l2test`

HCICONFIG

```
[root@pc-3294 /root]# hciconfig hci0 up
< HCI Command: Read Local Supported Features(0x04|0x0003) plen 0                 -       Page 702
01      03 10           00
cmd     opcode          plen

> HCI Event: Command Complete(0x0e) plen 12                                      -       Page 744 / 702 / 243
04      0E      0C      08                      03 10           00                       FF F9 01 00 00 00 00 00
evt     code    plen    num hci cmd pkts        cmd opcode      status 00 = success      features Page 243 (only first three bytes relevant up till now)
                                                                                         see table on page 243
< HCI Command: Read Buffer Size(0x04|0x0005) plen 0                              -       Page 703
01      05 10           00
cmd     opcode          plen

> HCI Event: Command Complete(0x0e) plen 11                                      -       Page 704
04      0E      0B      08                      05 10           00      A0 02            00               08 00            00 00
evt     code    plen    num hci cmd pkts        cmd opcode      status  acl max len      max sco len      num acl          num sco
                                                                        0x02a0 = 672     sco not supp.    8 pkts max       sco not supp.
< HCI Command: Read BD ADDR(0x04|0x0009) plen 0                                  -       Page 706
01      09 10           00
cmd     opcode          plen

> HCI Event: Command Complete(0x0e) plen 10                                      -       Page 706
04      0E      0A      08                      09 10           00      55 00 00 00 00 00
evt     code    plen    num hci cmd pkts        cmd opcode      status  00:00:00:00:00:55 is address of device

< HCI Command: Set Event Filter(0x03|0x0005) plen 1                              -       Page 623
01      05 0C           01      00
cmd     opcode          plen    parameter

> HCI Event: Command Complete(0x0e) plen 4                                       -       Page 623
04      0E      04      08                      05 0C           00
evt     code    plen    num hci cmd pkts        cmd opcode      status = success

< HCI Command: Write Page Timeout(0x03|0x0018) plen 2                            -       Page 645
01      18 0C           02      00 80
cmd     opcode          plen    0x8000 page timeout measured in number of baseband slots, 0x8000 * 0.625 msec = 20.48 sec.

> HCI Event: Command Complete(0x0e) plen 4                                       -       Page 645
04      0E      04      08                      18 0C           00
evt     code    plen    num hci pkts            cmd opcode      status success

< HCI Command: Write Connection Accept Timeout(0x03|0x0016) plen 2               -       Page 643
01      16 0C           02      00 7D
cmd     opcode          plen    0x7d00 * 0.625 msec = 20 sec.

> HCI Event: Command Complete(0x0e) plen 4                                       -       Page 643
04      0E      04      08                      16 0C           00
evt     code    plen    num hci pkts            cmd opcode      status success

< HCI Command: Write Scan Enable(0x03|0x001a) plen 1                             -       Page 647
01      1A 0C           01      03
cmd     opcode          plen    Inquiry enabled, page scan enabled

> HCI Event: Command Complete(0x0e) plen 4                                       -       Page 647
04      0E      04      08                      1A 0C           00
evt     code    plen    num hci pkts            cmd opcode      status success


[root@pc-3294 /root]# hciconfig hci0 down
< HCI Command: Reset(0x03|0x0003) plen 0                                         -       Page 622
01      03 0C           00
cmd     opcode          plen
```

```
INQUIRY (hciconfig hci0 inq 5)
------------------------------



< HCI Command: Inquiry(0x01|0x0001) plen 5      -       Page: 561

01      01 04           05      33 8B 9E        05              C8

cmd     ogf/ocf         plen    0x9e8b33        time            max
        opcode                  Company ass.    before inq      num of
                                LAP             is halted       responses (=200)



> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4        -       Page: 745

04      0F              04      00              07              01 04

evt     command         plen    command is      7 packets       command opcode that is pending
        status                  currently       may be sent
                                pending         to rok



> HCI Event: Inquiry Result(0x02) plen 15       -       Page: 728

04      02       0F             01              04 00 00 00 00 00       01      00      00      00 01 00        AF 4B

evt     inq      plen=15        Num_Resp=1      bt address              01: 1 Byte * Num_Resp: Page_Scan_Repetition_Mode (=R1)
        result                                  00:00:00:00:00:04       00: 1 Byte * Num_Resp: Page_Scan_Period_Mode (=P0)
                                                6bytes * Num_Resp       00: 1 Byte * Num_Resp: Page_Scan_Mode (=Mandatory Page Scan Mode)
                                                                        0x000100: 3 Byte * Num_Resp: Class Of Device
                                                                        0x4BAF  : 2 Byte * Num_Resp: Clock Offset

> HCI Event: Inquiry Complete(0x01) plen 1      -       Page: 727

04      01                      01              00

evt     inquiry complete        plen=1          success



> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4        -       Page: 745

04      0F              04      00              08                      00 00

evt     command status  plen=4  command         number of               Opcode of command
                                currently       hci packets             which caused this event and is pending completion
                                pending         that one can still
                                                send to rok
```

```
L2PING (l2ping 11:11:11:50:11:11) - pinging (active: 00:00:00:00:00:04 -pings-> 11:11:11:50:11:11)
---------------------------------                     ^^^^^^^^^^^^^^^^^
                                                        here we are !
< HCI Command: Create Connection(0x01|0x0005) plen 13                    -       Page 568

01      05 04      0D           04 00 00 00 00 00       18 CC           00               00             00 00       01

cmd     ogf/ocf    plen=13      bd addr                 Packet_Type     Page             Page           Clock Off   Allow Role Switch=master
                                00:00:00:00:00:04       0xcc18          Scan Rep Mod=R0  Scan Mode=Mand             but switch to slave
                                                                                                                    allowed

> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                                 -       Page 745

04      0F         04           00                      07                               05 04

evt     command    plen=4       status=command          number of further hci            opcode that created evt and is pending
        status                  pending                 cmds that are allowed
                                                        to send to rok=7


> HCI Event: Connect Complete(0x03) plen 11                              -       Page 730

04      03              0B              00              01 00             04 00 00 00 00 00     01              00

evt     Connection      plen=11         status=         Connectiona       address=              Link_Type=      Encryption_Mode=
        Complete                        success         Handle (12 Bits)  00:00:00:00:00:04     ACL             disabled


> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                                 -       Page 745

04      0F              04              00              08                       00 00

evt     command         plen=4          status=pending  now we can again         pending command ogf/ocf
        status                                          pass 8 cmd to rok        that caused evt


< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 28                             -       Page 555 / 293
  L2CAP(s): Echo req: dlen 20

02      01 20           1C 00           18 00   01 00   08      C8      14 00   45 46 47 48 49 4A 4B 4C 4D 4E 4F 50 51 52 53 54 55 56 57 58

acl     0x2001          dlen            28 acl data bytes                        optional data
        handle/flags    0x001c = 28     L2CAP:  18 00  0x0018 Length = 24 bytes
                                                01 00  0x0001 Cid (signalling)
                                                   08    0x08 L2cap cmd code (Echo request)
                                                   C8    0xc8 Identifier = 200
                                                14 00  0x0014 Length of cmd

> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 28                             -       Page 555 / 294
  L2CAP(s): Echo rsp: dlen 20

02       01 20          1C 00           18 00   01 00   09      C8      14 00   45 46 47 48 49 4A 4B 4C 4D 4E 4F 50 51 52 53 54 55 56 57 58

acl      handle/flags   dlen            28 acl data bytes                        optional data
                        0x001c = 28     L2CAP:  18 00 0x0018 Length = 24
                                                01 00 0x0001 Cid (signalling)
                                                   09   0x09 L2CAP cmd code (Echo response)
                                                   C8   0xc8 Identifier = 200 (this is the answer to the above request ;-)
                                                14 00 0x0014 Length of cmd

< HCI Command: Disconnect(0x01|0x0006) plen 3                            -       Page 571

01      06 04           03              01 00                   13

cmd     opcode          plen=3          connection handle       reason for disconnect (see Page 571)
                                        0x0001                  0x13 = other side terminated connection


> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                                 -       Page 745

04      0F              04              00                      07 06                           04

evt     code            plen=4          status                  opcode of pending cmd           4 cmds can currently be sent to rok
                                        =pending


> HCI Event: Disconn Complete(0x05) plen 4                               -       Page 733

04      05              04              00                      01 00                           16

evt     code            plen=4          status=disc             12 bits conn handle             see table on page 766
                                        has occured             0x0001                          reason for disc=conn term by local host


> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                                 -       Page 745

04      0F              04              00                      08                              00 00

evt     code            plen=4          comd curr pending       num of packets                  command that is pending and caused evt
                                                                allowed to send to rok
```

```
L2PING (l2ping 11:11:11:50:11:11) - getting pinged (passive: 00:00:00:00:00:04 -pings-> 11:11:11:50:11:11)
---------------------------------                                                          ^^^^^^^^^^^^^^^^^
                                                                                              here we are !

> HCI Event: Connect Request(0x04) plen 10                     -       Page 732

04      04              0A       04 00 00 00 00 00      00 01 00                 01

evt     Connection      plen=10  6Bytes Address         0x000100                 Link Type=ACL
        Request                  00:00:00:00:00:04      Class Of Device          connection request


< HCI Command: Accept Connection Request(0x01|0x0009) plen 7    -       Page 572

01      09 04           07       04 00 00 00 00 00      01

cmd     ogf/ocf         plen=7   6 Bytes Address        Role=Slave
        opcode


> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                       -       Page 745

04      0F              04       00                     08                       09 04

evt     command status  plen=4   command                num hci                  opcode that is pending
                                 pending                cmd packets


> HCI Event: Connect Complete(0x03) plen 11                    -       Page 730

04      03              0B       00                     01 00                              04 00 00 00 00 00       01               00

evt     Connection      plen=11  status=                2Bytes(12Bits meaningfull)         BD_ADDR                 Link_Type=ACL    Encryption_Mode=
        complete                 success                0x0001=1                                                   (Data Channel)   disabled


> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 28                   -       Page 555
  L2CAP(s): Echo req: dlen 20

02      01 20                           1C 00           18 00   01 00   08      C8      14 00   45 46 47 48 49 4A 4B 4C 4D 4E 4F 50 51 52 53 54 55 56 57 58

acl     handle/flags                    dlen = 0x001c   the 28 acl data bytes
        0x2001                               = 28       L2CAP:
        flags  = 20 01 >> 12                                    18 00   0x0018 Lenght = 24
               = 0x02   see page 557                            01 00   0x0001 Signalling CID (all config req/resp L2CAP stuff has signalling cid 0x0001)
        handle = 20 01 & 0fff                                      08     0x08 Code = Echo Request
               = 0x0001                                            C8     0xc8 Identifier = 200     (this is used to identifiy requests / responses)
                                                                14 00   0x0014 Length = 20
                                                                45 46 47 48 49 4A 4B 4C 4D 4E 4F 50 51 52 53 54 55 56 57 58 optional data...


< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 28                   -       Page 555
  L2CAP(s): Echo rsp: dlen 20

02      01 20                           1C 00           18 00   01 00   09      C8      14 00   45 46 47 48 49 4A 4B 4C 4D 4E 4F 50 51 52 53 54 55 56 57 58

acl     as above                        dlen            the 28 acl data bytes...
        handle/flags                    0x001c = 28     L2CAP:
                                                                18 00   0x0018 Length = 24
                                                                01 00   0x0001 Signalling CID
                                                                   09     0x09 Code Echo Response
                                                                   C8     0xc8 Identifier = 200
                                                                14 00   0x0014 Length = 20
                                                                45 46 47 48 49 4A 4B 4C 4D 4E 4F 50 51 52 53 54 55 56 57 58 optional data
this goes on and on... always the correct identifier in
a Echo rsp acl packet has to be sent back !
pressing ctr+c in the l2ping console stops pinging...


> HCI Event: Disconn Complete(0x05) plen 4                     -       Page 733

01      05               04              00              01 00                             08 see table on page 766

cmd     disconn          plen=4          status=         2Bytes (12Bit Meaningful)         Reason for disconnetion=
        complete                         disconn has     connection handle                 connection timeout
                                         occured         0x0001
```

```
L2TEST sending data as a client to a server (l2test -s 00:00:00:00:00:04)
---------------------------------------------------------------------------

< HCI Command: Create Connection(0x01|0x0005) plen 13                -      Page 568

01      05 04           0D              04 00 00 00 00 00       18 00           00              00                  00 00         01

cmd     ogf/ocf         plen=13         bdaddr=                 pkt type=       page scan       page scan           clock         allow_role_switch
        opcode                          00:00:00:00:00:04       0x0018  (acl)   rep mode R0     scan mode= mand     offset        master may switch to slave


> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                             -      Page 745

04      0F      04      00              07                                  05 04

evt     code    plen=4  pending         num hci cmds allowed to pass to rok  opcode of pending cmd


> HCI Event: Connect Complete(0x03) plen 11                          -      Page 730

04      03              0B              00              01 00            04 00 00 00 00 00      01              00

evt     code            plen=11         status          12 bits          bdaddr                 link type=ACL   encryption mode =disabled
                                        success         connection

> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                             -      Page 745

04      0F      04      00              08                                  00 00

evt     code    plen=4  pending(=ok)    we can sent up to 8 cmds to rok      cmd that is pending (none)


< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12                         -      Page 555 / 286
  L2CAP(s): Connect req: psm 10 scid 0x0040

02       01 20                  0C 00           08 00   01 00     02    01      04 00   0A 00   40 00

acl      handle/flags           dlen            12 acl data bytes...                            l2cap cmd data (Page 286)
                                0x000c = 12     L2CAP:
                                                        08 00   0x0008  Lenght (of cmd)
                                                        01 00   0x0001  CID of all signalling cmds
                                                           02     0x02  Cmd code (Connection request)
                                                           01     0x01  Identifier (helps to match requests/replys see Page 284)
                                                        04 00   0x0004  length of data field in cmd
                                                        0A 00   0x000A  10 (PSM)
                                                        40 00   0x0040  64 (Source CID)

> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 16                         -      Page 555 / 287
  L2CAP(s): Connect rsp: dcid 0x0040 scid 0x0040 result 0 status 0

02      01 20                   10 00           0C 00   01 00     03    01      08 00   40 00   40 00   00 00   00 00

acl     handle/flags            dlen            the 16 acl data bytes                   l2cap cmd data (Page 287)
                                0x0010 = 16     L2CAP:
                                                        0C 00   0x000C  Length of cmd 12
                                                        01 00   0x0001  CID of all signalling cmds
                                                           03     0x03  Code (connection response)
                                                           01     0x01  Identifier (like a sequence number)
                                                        08 00   0x0008  Lenght
                                                        40 00   0x0040  Destination CID
                                                        40 00   0x0040  Source CID
                                                        00 00   0x0000  Result
                                                        00 00   0x0000  Status
```

```
< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12                          -       Page 555 / 288
  L2CAP(s): Config req: dcid 0x0040 flags 0x0000 clen 0

02       01 20                  0C 00           08 00   01 00   04      02      04 00   40 00 00 00

acl      handle/flags           dlen            12 acl data bytes...                    l2cap cmd data (Page 288)
                                0x0010 = 16     L2CAP:
                                                        08 00   0x0008  Length
                                                        01 00   0x0001  CID of all signalling cmds
                                                           04     0x04  Code (Configuration Request)
                                                           02     0x02  Identifier
                                                        04 00   0x0004  Length 4
                                                        40 00   0x0040  Dest CID
                                                        00 00   0x0000  Flags

> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 14                          -       Page 555 / 291
  L2CAP(s): Config rsp: scid 0x0040 flags 0x0000 result 0 clen 0

02      01 20           0E 00           0A 00   01 00   05      02      06 00   40 00   00 00   00 00

acl     handle/flags    dlen            14 acl data bytes                       6 data bytes (Page 291)
                        0x000e = 14     L2CAP:
                                                        0A 00   0x000A (length=10)
                                                        01 00   0x0001 as above
                                                           05     0x05 code (configure response)
                                                           02     0x02 Identifier
                                                        06 00   0x0006 lenght
                                                        40 00   0x0004 Source CID
                                                        00 00   0x0000 Flags
                                                        00 00   0x0000 Result

< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 14                          -       Page 555 / 281
    L2CAP(d): cid 0x40 len 10 [psm 10]

02      01 20           0E 00           0A 00   40 00   25 00 00 00 0A 00 7F 7F 7F 7F

acl     handle/flags    dlen            14 acl data bytes
                        0x000E = 14     L2CAP:
                                                        0A 00   0x000A Lenght
                                                        40 00   0x0040 Channel ID (not signalling !!!)
                                                        25 00 00 00 0A 00 7F 7F 7F 7F 7F is Info
                                                        ^^
* the next data packets that get sent look all the same... but the count field
  (first data byte is incremented each time -> pseudo sequence number)
  like ...

02      01 20           0E 00           0A 00   40 00   26 00 00 00 0A 00 7F 7F 7F 7F
                                                        ^^

* from time to time, the rok sends back a...


> HCI Event: Number of Completed Packets(0x13) plen 5                 -       Page 749

04      13              05      01                      01 00                           04 00

evt     code            plen    Number of handles       Conn Handle                     HC num of completed packets
        number of                                       Number of handles * 2 bytes     2 bytes * number of handles
        completed                                       handle=0x0001 (12 bits)         so 0x004 = 4 packets have completed
        packets

* saying, that 4 data packets have been flushed (=sent out)

* or say, if rok answers this twice... the host sends 8 packets afterwards...
  you have to check that and compare always to the maximum number of acl
  packets on can sent to the rok (read at the beginning - read_buffer_size...)
```

```
* pressing ctrl+c results then in a abort of the packets beeing sent..

< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12                               -       Page 555 / 293
  L2CAP(s): Disconn req: dcid 0x0040 scid 0x0040

02       01 20          0C 00           08 00   01 00   06      03      04 00   40 00   40 00

acl      as above       dlen            12 acl data bytes...
                        0x000c = 12     L2CAP:
                                                        08 00   0x0008 Length 8 bytes data
                                                        01 00   0x0001 Signalling
                                                           06     0x06 Cmd code (Disconnection Request)
                                                           03     0x03 Identifier 3
                                                        04 00   0x0004 Length
                                                        40 00   0x0040 DCID
                                                        40 00   0x0040 SCID

> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12                               -       Page 555 / 294
  L2CAP(s): Disconn rsp: dcid 0x0040 scid 0x0040

02      01 20           0C 00           08 00   01 00   07      03      04 00   40 00   40 00

acl     as above        dlen=12         12 acl data bytes
                                        L2CAP:
                                                        08 00   0x0008 Length 8
                                                        01 00   0x0001 Singalling cid
                                                           07     0x07 Cmd Code = Disconnection Response
                                                           03     0x03 Identifier
                                                        04 00   0x0040 Length = 4 bytes
                                                        40 00   0x0040 DCID
                                                        40 00   0x0040 SCID


< HCI Command: Disconnect(0x01|0x0006) plen 3                              -       Page 571

01       06 04           03             01 00                    13

cmd      Opcode          plen           Connection handle        Reason see P 571 = Other End Terminated Connection Error Codes
         ogf/ocf                        12 bits meaningfull
                                        out of 0x0001


> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                                   -       Page 745

04      0F              04              00              07                      06 04

evt     code            plen=4          command         no of packets           opcode of command that
                                        currently       one can still           caused event and is pending
                                        pending         send to rok

> HCI Event: Disconn Complete(0x05) plen 4                                 -       Page 733

04      05              04              00              01 00                   16

evt     code            plen            disc has        connection              Reason See p 766 Table 6.1
                                        occured         handle 12 bits          =Connection terminated by local host
                                                out of (0x0001)


> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4                                   -       Page 745

04      0F              04              00              08                      00 00

evt     code            plen            cmd pending     no of pkt               opcode dummy
                                                        rok accepts
```

B Demo ping

Bei dieser Demo handelt es sich um folgendes Szenario:

Ein Linux Rechner ”pinged” den mobilen AVR Bluetooth Knoten.
Auf der folgenden Seite ist die Ausgabe von `l2ping` des Linux Rechners, sowie die Ausgabe vom AVR via `minicom` aufgelistet.

```
[root@pc-2711 tools]# ./l2ping 00:d0:b7:03:20:12
Ping: 00:d0:b7:03:20:12 from 00:00:00:00:00:44 (data size 20) ...
20 bytes from 00:d0:b7:03:20:12 id 200 time 138.80ms
20 bytes from 00:d0:b7:03:20:12 id 201 time 180.41ms
20 bytes from 00:d0:b7:03:20:12 id 202 time 180.41ms
20 bytes from 00:d0:b7:03:20:12 id 203 time 200.38ms
20 bytes from 00:d0:b7:03:20:12 id 204 time 180.39ms
20 bytes from 00:d0:b7:03:20:12 id 205 time 190.41ms
20 bytes from 00:d0:b7:03:20:12 id 206 time 170.38ms
20 bytes from 00:d0:b7:03:20:12 id 207 time 180.38ms
8 sent, 8 received, 0% loss
[root@pc-2711 tools]#
```

produces the following output on the
serial console (from minicom)

```
-> Please reset ROK (if skt): here we go...
-> Initialising device...  finished: 0 out of 10 cmds failed
 > Device Info:
        address: 00 d0 b7 03 20 12
        features (see page 243): 47 ea 01 00 00 00 00 00
        sco pkt size: 0x0 [Bytes] max sco pkts: 0x0
        acl pkt size: 0x320 [Bytes] max acl pkts: 0xa
        page timeout: 0x8000
        connection accept timeout: 0x7d00
        number of hci cmds allowed to pass to rok: 0x1

-> Entering inquiry mode...
 > EVT_CMD_STATUS
 > EVT_INQUIRY_RESULT 03:20:12:04:01:01
 > EVT_INQUIRY_COMPLETE
-> Entering listen mode... ready to recv (try xhop -s)

 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=200
   L2CAP_ECHO_REQ
 < L2CAP_ECHO_RSP ident=200
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=201
   L2CAP_ECHO_REQ
 < L2CAP_ECHO_RSP ident=201
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=202
   L2CAP_ECHO_REQ
 < L2CAP_ECHO_RSP ident=202
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=203
   L2CAP_ECHO_REQ
 < L2CAP_ECHO_RSP ident=203
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=204
   L2CAP_ECHO_REQ
 < L2CAP_ECHO_RSP ident=204
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=205
   L2CAP_ECHO_REQ
 < L2CAP_ECHO_RSP ident=205
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=206
   L2CAP_ECHO_REQ
 < L2CAP_ECHO_RSP ident=206
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=207
   L2CAP_ECHO_REQ
 < L2CAP_ECHO_RSP ident=207
 > EVT_DISCONN_COMPLETE (setting l2cap_state to CLOSED)
```

of course this can be stopped, started again
and so on...

C Demo xhop

Folgende Seiten zeigen die Ausgabe der Demo ”xhop - ohne Kommando Daten”

- Route
  (A → B → C)

A sendet ein xhop Paket an B. B leitet das Paket nach C weiter. C ist der Endpunkt und überprüft, ob er Kommandos ausführen soll. Dem ist in diesem Fall nicht so. Schliesslich gibt C das Paket, das er erhalten hat, auf der Konsole aus.

Als erstes sieht man die Ausgabe des Knoten A, danach die Ausgabe von B und C.

starting on a pc the following pkt...

```
[root@pc-2711 xhop]# ./xhop -s
- DEBUG 1267, main -> xhop started in SEND mode

        ...

        print_packet(): showing content of RDSR packet...
           xhop header:
                        option type ='1(RDSR_DATA)'
                        route len = 0x3
                        route pos = 0x1
           route addresses:
                        00:00:00:00:00:44
                        00:D0:B7:03:20:12
                        00:00:00:00:00:55
           xhop data:
                        rc length = 8
                        prog length = 0
           Answer Data:

- DEBUG 801, send_buffer -> Done ...
- DEBUG 1306, main -> free packet buffer
xhop[9520]: Exit
[root@pc-2711 xhop]#
```

on the avr it looks like:

```
 > EVT_CONN_REQUEST
 < HCI_ACCEPT_CONN
 > EVT_CMD_STATUS
 > EVT_CONN_COMPLETE
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=1
   L2CAP_CONN_REQ psm=0xa scid=0x40
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=2
   L2CAP_CONF_REQ dcid=0x40 flags=0x0
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=2
   L2CAP_CONF_RSP scid=0x40 flags=0x0 result=0x0
 > L2CAP DATA cid=0x40 len=29 [psm 10]
 > L2CAP_SIGNALLING: ACL handle=0x1 flags=0x2, L2CAP ident=3
   L2CAP_DISCONN_REQ dcid=0x40 scid=0x40
 < HCI_DISCONNECT
 > EVT_DISCONN_COMPLETE (setting l2cap_state to CLOSED)
-> Analyzing pkt: forwarding
 > EVT_CMD_STATUS
 > EVT_CONN_COMPLETE
 < L2CAP_CONN_REQ
 > L2CAP_CONN_RSP handle=0x1 flags=0x2 dcid=0x40 scid=0x40 result=0 status=0
 < L2CAP_CONF_REQ
 > L2CAP_CONF_RSP
 > L2CAP_CONF_REQ handle=0x1 flags=0x2 dcid=0x40 flags=0x0
 < L2CAP_CONF_RSP
 < DATA
 < L2CAP_DISCONN_REQ
 > EVT_NUM_COMP_PKTS 5 hci acl datapkts have completed
 > L2CAP_DISCONN_RSP
 < HCI_DISCONNECT
 > EVT_CMD_STATUS
 > EVT_DISCONN_COMPLETE
 > EVT_CMD_COMPLETE
-> Entering listen mode... (try xhop -s)
```

and is ready again to receive data...

and on the pc that is the last one in this simple chain...

```
[root@pc-3294 /root]# hcidump --hex
HCIDump - HCI packet analyzer ver  11/02/2001.
device: hci0 snap_len: 1024 filter: none
> HCI Event: Connect Request(0x04) plen 10
  12 20 03 B7 D0 00 00 01 00 01
< HCI Command: Accept Connection Request(0x01|0x0009) plen 7
  12 20 03 B7 D0 00 01
> HCI Event: Command Status(0x0f) plen 4
  00 08 09 04
> HCI Event: Connect Complete(0x03) plen 11
  00 01 00 12 20 03 B7 D0 00 01 00
> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12
  L2CAP(s): Connect req: psm 10 scid 0x0040
< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 16
  L2CAP(s): Connect rsp: dcid 0x0040 scid 0x0040 result 0 status 0
> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12
  L2CAP(s): Config req: dcid 0x0040 flags 0x0000 clen 0
< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 14
  L2CAP(s): Config rsp: scid 0x0040 flags 0x0000 result 0 clen 0
< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12
  L2CAP(s): Config req: dcid 0x0040 flags 0x0000 clen 0
> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 14
  L2CAP(s): Config rsp: scid 0x0040 flags 0x0000 result 0 clen 0
> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 33
  L2CAP(d): cid 0x40 len 29 [psm 10]
  01 03 02 00 00 00 00 00 44 00 D0 B7 03 20 12 00 00 00 00 00
  55 08 00 00 00 00 00 00 00
> ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12
  L2CAP(s): Disconn req: dcid 0x0040 scid 0x0040
< ACL data: handle 0x0001 flags 0x02 dlen 12
  L2CAP(s): Disconn rsp: dcid 0x0040 scid 0x0040
> HCI Event: Number of Completed Packets(0x13) plen 5
  01 01 00 04 00
> HCI Event: Disconn Complete(0x05) plen 4
  00 01 00 13
```

this was in hcidump hex format as it tells more
then just the output from l2test or non-avr-xhop

```
xhop[14943]: Waiting for connection on psm 10 ...
xhop[14944]: Connect from 00:D0:B7:03:20:12 [imtu 672, omtu 672, flush_to 65535]
- DEBUG 672, recv_handler -> allocating buf for receiving packet
  data_size=MAX_PACKET_SIZE =640
  xhop[14944]: recv_handler() called...
  - DEBUG 691, recv_handler ->  packet received :
  print_packet(): showing content of RDSR packet...
     xhop header:
              option type ='1(RDSR_DATA)'
              route len = 0x3
              route pos = 0x2
     route addresses:
              00:00:00:00:00:44
              00:D0:B7:03:20:12
              00:00:00:00:00:55
     xhop data:
              rc length = 8
              prog length = 0
     Answer Data:
- DEBUG 697, recv_handler -> calling analyze()...
- DEBUG 1199, analyze -> analyze() called...
- DEBUG 1200, analyze -> p_len=29 - DEBUG 1218, analyze -> calling exec_cmd...
- DEBUG 154, exec_cmd -> exec_cmd() called
- DEBUG 166, exec_cmd -> Packet without commads recieved -> read answer
```

Literatur

[1] Lars Wernli und Riccardo Semadeni. Bluetooth unleashed. Semesterarbeit, ETH Zürich, SS 2001.

[2] Bluetooth Special Interest Group. The offical bluetooth specification. http://www.bluetooth.com/developer/specification/specification.asp

[3] Jan Beutel. Geolocation in a picoradio enviroment. Diplomarbeit ETH Zürich, UC Berkeley, 1999.

[4] Axis Communication. Axis freier Bluetooth Stack. http://www.developer.axis.com/software/bluetooth.

[5] SourceForge.net. BlueZ - Offizieller Bluetooth Stack für Linux. http://bluez.sourceforge.net.

[6] SourceForge.net BlueZ - Offizieller Bluetooth Stack für Linux. http//bluez.sourceforge.net/howto/

[7] Thomas Moser und Lukas Karrer. The EventCollector Concept. Diplomarbeit, ETH Zürich.

[8] Oliver Kasten. Forschungsprojekt vom Departement Informatik, ETH Zürich. http://www.inf.ethz.ch/∼ kasten/research/smart-its/

[9] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu, and Jorjeta G. Jetcheva. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks. Internet-draft, Rice University, AON Networks, Rice University, Carnegie Mellon University, http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-05.txt, 2001.

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Institut für Technische Informatik und Kommunikationsnetze (TIK)

Wintersemester 2001/02

SEMESTERARBEIT

für
Egon Burgener und Peter Fercher

Betreuer: Jan Beutel, ETZ G63
Stellvertreter: Christian Plessl, ETZ G81

Ausgabe: 22.Oktober 2001
Abgabe: 30. Januar 2002

Grenzenlose Piconetze mit Blootooth

Einleitung

Die elektronische Geräte um uns herum werden immer mehr und dringen in jeden Bereich unseres Lebens ein. Dabei wird die Kommunikation immer wichtiger um Funktionen zwischen Geräten auszutauschen und zu teilen. Der Trend geht dabei klar zu drahtlosen Kommunikationsschnittstellen. Herkömmliche Netzwerke bestehen jedoch meistens aus einer Basisstation und verschiedenen mobilen Geräten die dann sternförmig miteinander kommunizieren.

Mit Bluetooth lassen sich die unterschiedlichsten Geräte drahtlos verbinden. Dabei können aber immer nur bis zu acht aktive Geräte in einem sogenannten Piconetz miteinander kommunizieren. In einem Raum können mehrere Piconetze in einem Scatternetz koexistieren. Über einen Backbone (z.B. Ethernet) können Bluetooth Geräte in unterschiedlichen Räumen dann miteinander kommunizieren.

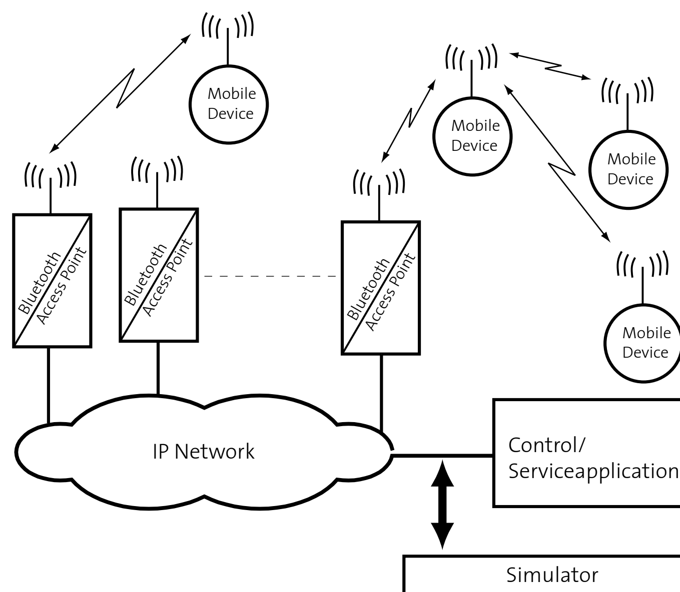


Abbildung 1: Verteilte Bluetooth Access Points und Piconetze

Um viele Bluetooth Geräte zu koordinieren und um ein Netzwerk aus sehr vielen Piconetzen aufzubauen, soll hier aufbauend auf vergangene Semesterarbeiten [23, 24] Steuer und Simulationssoftware entwickelt werden. Ein einfacher Zugriffsmechanismus über Backbone oder mehrere Bluetooth Geräte soll ein vollständig transparentes Netzwerk ermöglichen (in Zusammenarbeit mit der Diplomarbeit "Reconfigurable Bluetooth Ethernet Bridge"). Dabei müssen sowohl Network Discovery und Monitoring wie auch ein einfaches Routing weiterentwickelt werden.

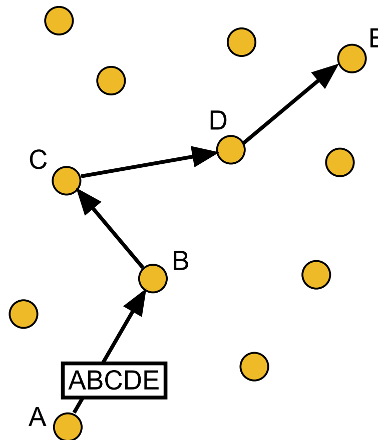


Abbildung 2: Dynamic Source Routing als Multihop Routing

Im Zusammenhang mit dem Smart It's Projekt [1, 25, 14] ist ein miniaturisierter Blutooth Knoten entstanden, der minimale Protokoll Funktionen ausführen kann. Der BTnode verfügt über ein Bluetooth Modul, einen einfachen Microcontroller [2], In- und Output sowie Powermanagement. Ein einfacher Scheduler bietet die Möglichkeit einfache nebenläufige Routinen auszuführen. Dieser soll nun um eine Multihop Routing Funktion erweitert werden.

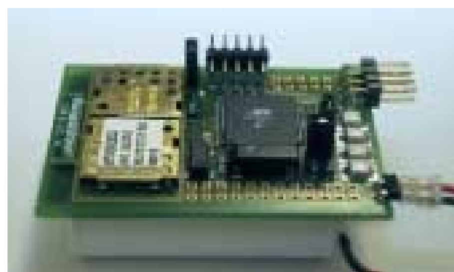


Abbildung 3: Bluetooth Node Prototyp mit Bluetooth Module, Microcontroller, und Batterie

Aufgabenstellung

1. Erstellen Sie einen Projektplan und legen Sie Meilensteine fest [27]. Erarbeiten Sie in Absprache mit dem Parallelprojekt "'Reconfigurable Bluetooth Ethernet Bridge" und dem Betreuer ein Pflichtenheft.
2. Führen Sie eine Literaturrecherche zu Themen wie Mobile und Ubiquitous Computing, Wireless Networking, Datenlinkprotokolle, und Multihop Netzwerke durch. Ausgangspunkte bilden z.B. die Arbeiten [19, 11, 10, 20, 21, 12, 13]. Suchen Sie auch nach neueren Publikationen.
3. Machen Sie sich mit den am Institut und bei Prof. Mattern (Smart It's) bereits durchgeführten Arbeiten [17, 16, 18, 26, 7, 23, 1] vertraut. Es sollten möglichst viele Synergien aus schon durchgeführten Arbeiten genutzt werden.
4. Arbeiten Sie sich in die Softwareentwicklungsumgebung des Bluetooth Stacks unter Linux ein [15, 4, 5, 9, 8]. Es gibt mehrere Open Source Projekte, führend und im aktuellen Linux Kernel 2.4.x integriert is BlueZ. Dieser Protokollstack soll in dieser Arbeit zur Verwendung kommen.
5. Implementieren Sie die in der Arbeit von Semadeni und Wernli [23] vorgeschlagene reduzierte variante des Dynamic Source Routing Protokolls für BlueZ.

6. Erweitern Sie die Remote Execution Funktion so das sie zur Überwachung und Messung der Netzwerktopologie benutzt werden kann. Orientieren Sie sich dabei bei den in [3, 22] vorgeschlagenen Mechanismen.

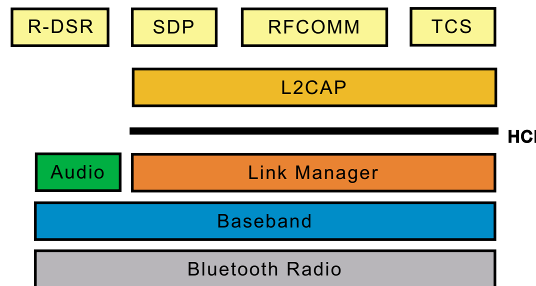


Abbildung 4: Dynamic Source Routing im Bluetooth Protocol integriert.

7. Realisieren Sie eine einfache Oberfläche zur Steuerung und Überwachung eines solchen ad-hoc Netzwerkes.

8. Die Multihop Funktion soll anschliesend auf die BTnode Platform übertragen werden. Dazu soll sie in ein minimales Betriebssystem wie etwa TinyOS [6] integriert werden.

9. Dasin der Semesterarbeit "Multihop Netzwerk Simulator" [24] entwickelte Simulationspaket "Netsim" soll Daten aus dem realen Netzwerk verarbeiten können. Definieren Sie die dazu nötigen Schnittstellen und implementieren Sie diese.

10. Dokumentieren Sie Ihre Arbeit sorgfältig mit einem Vortrag, einer kleinen Demonstration, sowie mit einem Schlussbericht.

Durchführung der Semesterarbeit

Allgemeines

- Der Verlauf des Projektes "Semesterarbeit: Grenzenlose Piconetze mitBlootooth" soll laufend anhand des Projektplanes und der Meilensteine evaluiert werden. Unvorhergesehene Probleme beim eingeschlagenen Lösungsweg können Änderungen am Projektplan erforderlich machen. Diese sollen dokumentiert werden.

- Sie verfügen über PC's mit Linux/Windows für Softwareentwicklung und Test. Falls damit Probleme auftauchen wenden Sie sich an Ihren Betreuer.

- Stellen Sie Ihr Projekt zu Beginn der Semesterarbeit in einem Kurzvortrag vor und präsentieren Sie die erarbeiteten Resultate am Schluss im Rahmen des Institutskolloquiums Ende Semester.

- Besprechen Sie Ihr Vorgehen regelmässig mit Ihrem Betreuer.

Abgabe

- Geben Sie vier unterschriebene Exemplare des Berichtes spätestens am *30. Januar 2001* dem betreuenden Assistenten oder seinen Stellvertreter ab. Diese Aufgabenstellung soll vorne im Bericht eingefügt werden.

- Räumen Sie Ihre Rechnerkonten soweit auf, dass nur noch die relevanten Source- und Objectfiles, Konfigurationsfiles, benötigten Directorystrukturen usw. bestehen bleiben. Der Programmcode sowie die Filestruktur soll ausreichen dokumentiert sein. Eine spätere Anschlussarbeit soll auf dem hinterlassenen Stand aufbauen können.

Literatur

[1] The Smart Its Project. http://www.smart-its.org.

[2] Atmel. *Atmel ATmega103L - 8-Bit AVR Microcontroller with 128k in-System programmable Flash*, January 2000.

[3] Jan Beutel. Geolocation in a PicoRadio Environment. Master's thesis, ETH Zürich, Electronics Lab, 1999.

[4] Jan Beutel and Maksim Krasnyanskiy. *Linux BlueZ Howto*, 2001.

[5] Axis Communications. Axis Bluetooth Driver Software. http://sourceforge.net/projects/openbt/.

[6] David Culler et. al. TinyOS: An operating system for Networked Sensors. http://tinyos.millennium.berkeley.edu/.

[7] Damon Fenacci, Marcel Grob, Peter Zberg, and Simon Künzli. Konzept Heim Netzwerk. Master's thesis, ETH Zürich, TIK, 2000.

[8] Bluetooth Special Interest Group. *Specification of the Bluetooth System - Core, v.1.1*, February 2001.

[9] IBM. BlueDrekar, Bluetooth protocol stack for Linux. http://www.alphaWorks.ibm.com/tech/bluedrekar.

[10] Thomasz Imielinski and Henry Korth. *Mobile Computing*. Kluwer Academic Publishers, 1996.

[11] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks. Technical Report 00-732, University of Southern California, March 2000.

[12] A. Iwata, Ching-Chuan Chiang, Guangyu Pei, M. Gerla, and Tsu-Wei Chen. Scalable routing strategies for ad hoc wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks*, 17(8):1369–1379, August 1999.

[13] Rahul Jain, Anuj Puri, and Raja Sengupta. Geographical routing using partial information for wireless ad hoc networks. Technical Report M99/69, UCB/ERL Memo, December 1999.

[14] Oliver Kasten and Marc Langheinrich. First experiences with bluetooth in the smart-it's distributed sensor network. In *Proceedings of the International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques*, September 2001.

[15] Maksim Krasnyanskiy. BlueZ, Bluetooth protocol stack for Linux. http://bluez.sourceforge.net.

[16] H. Mathys. Bluetooth Stack for the Palmpilot. Master's thesis, ETH Zürich, TIK, 2001.

[17] H. Mathys, A. Pellmont, and A. Petralia. Home Networking - Implementation (Übertitel: DMA - Drop a Message Anywhere). Master's thesis, ETH Zürich, TIK, June 2000.

[18] Thomas Moser and Lukas Karrer. The EventCollector Concept. Master's thesis, ETH Zürich, Distributed Systems Group, 2001.

[19] Danny Patel. Energy in Ad-Hoc Networking for the PicoRadio. Master's thesis, University of California at Berkeley, 2000.

[20] Jan M. Rabaey, Josie Ammer, Julio L. da Silva Jr., Danny Patel, and Shad Roundy. PicoRadio Supports Ad Hoc Ultra-Low Power Wireless Networking. *IEEE Computer*, 33(7):42–48, July 2000.

[21] Volkan Rodoplu and Theresa H. Meng. Minimum energy mobile wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad-Hoc Networks*, 17(8), August 1999.

[22] Chris Savarese, Jan Beutel, and Rabaey Jan M. Locationing in distributed ad-hoc sensor networks. In *Proceedings of ICASSP*, 2001.

[23] Riccardo Semadeni and Lars Wernli. Bluetooth Unleashed, Wireless Netzwerke ohne Grenzen. Master's thesis, ETH Zürich, TIK, July 2001.

[24] Reto Strahl. Build your own world. Master's thesis, ETH Zürich, TIK, July 2001.

[25] Jan Beutel und Oliver Kasten. A minimal bluetooth-based computing and communication platform. Technical report, ETH Zürich, May 2001.

[26] Sascha Wulff and Marco Wirz. Bluetooth Networking - Protocol and Application Development. Master's thesis, ETH Zürich, TIK, February 2001.

[27] Eckart Zitzler. Studien- und Diplomarbeiten, Merkblatt für Studenten und Betreuer. ETH Zürich, TIK, March 1998.

Date	**Section**	**Changes**
Sept. 25, 2001		Initial Version
Oct. 2, 2001		New Stylesheet
Oct. 22, 2001		Specifiy Workpackage

Tabelle 1: Revision History