

ETI-Großprojekt 8
Sommersemester 2009
Das Carrierpigeon-Projekt

Julius Adorf, Marek Kubica, Hong-Khoan Quach
Technische Universität München

11. Dezember 2009

Zusammenfassung

Das Carrierpigeon-Projekt ist ein studentisches Lernprojekt, dessen Ziel es war, ein System zu erstellen, in dem man mit einem Handy mittels Bluetooth Nachrichten an einen elektronischen Briefkasten senden kann. Auf dem elektronischen Briefkasten kann man die empfangenen Nachrichten anzeigen und anschließend auch löschen. Der Briefkasten besteht aus einem Mikrocontroller, einer kleinen Flüssigkristallanzeige, einigen Tasten und einem Bluetooth-Modul.

1 Motivation

Das Carrierpigeon-Projekt ist 2009 am Lehrstuhl für Rechnertechnik und Rechnerorganisation der Technischen Universität München im Rahmen eines studentischen Praktikums entstanden. Uns ging es darum, zu untersuchen, wie man mit einem Mikrocontroller über Bluetooth mit Geräten in der Umgebung kommunizieren kann, und zudem eine Anwendung zu entwickeln, die diese Form der Kommunikation integriert. Es ging nicht darum, einen Prototypen für ein markttaugliches System zu erstellen. Stattdessen stand der Lerneffekt und die Lösung der technischen Fragestellungen im Vordergrund.

Trotzdem haben wir in der Entwicklung nicht nur experimentiert, sondern uns an einer bestimmten Idee orientiert, um klare Anforderungen an das System zu erhalten. Begonnen hat das Projekt mit folgenden Anwendungsfall:

Alpha möchte Beta besuchen. Beta ist leider nicht da. Daher möchte Alpha eine Nachricht mit seinem Handy auf Betas elektronischen Briefkasten hinterlassen. Kommt Beta nun zurück, so kann Beta sich die empfangenen Nachrichten durchlesen.

In dieser Projektbeschreibung geht es uns nicht darum, ein Referenzhandbuch zu erstellen. Vielmehr möchten wir hier die Ideen hinter der Implementierung vorstellen und die Konzepte beleuchten, die aus dem Quelltext nicht immer so leicht erkennbar sind.

Dieses Dokument wurde aus Revision
bb855621030cbe6a56f489005c608419b5a04ecf
des Carrierpigeon-Repositories erstellt.

2 Begriffe

In dem gerade beleuchteten Szenario treten verschiedene Rollen und technische Komponenten auf. Die beiden technischen Komponenten sind der *Briefkasten* und das *Mobiltelefon*. Der *Sender* ist der Benutzer, der vom Mobiltelefon aus Nachrichten sendet. Den Benutzer, an den die Nachrichten adressiert sind und der diese lesen kann, nennen wir *Empfänger*.

Die Rollen des Senders stellen einige Anforderungen an das Programm auf dem Mobiltelefon. Als Sender soll man auf einfache Art und Weise eine Nachricht eingeben können. Als Sender soll man einen Briefkasten aus einer Liste wählen und diesem eine Nachricht senden können.

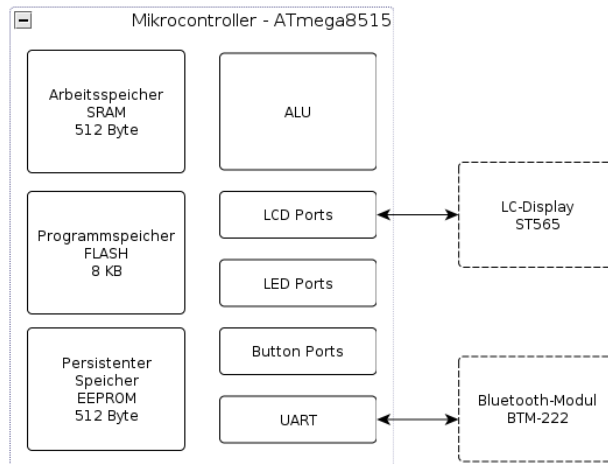
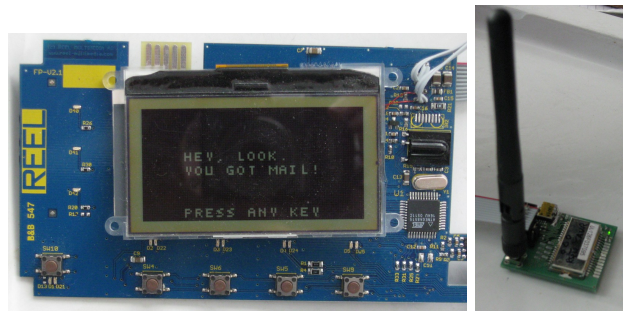
Analog dazu legt die Rolle des Empfängers die Anforderungen an den Briefkasten fest: Als Empfänger bekommt man die neueste Nachricht angezeigt. Man soll eine beliebige der gespeicherten Nachrichten anzeigen können. Schließlich soll man als Empfänger gespeicherte Nachrichten löschen können.

3 Architektur

3.1 Hardware-Architektur des Briefkastens

Der Briefkasten besteht aus einem ATmega8515-Mikrocontroller, der über Ports, die auf Register abgebildet werden, eine ST565-Flüssigkristallanzeige bedienen kann. Der Mikrocontroller kann mit einem UART-Baustein – also über eine serielle Schnittstelle – mit dem BTM-222-Bluetooth-Modul kommunizieren. Im Folgenden gibt ein Schaubild eine grobe Übersicht der wichtigsten Hardware-Elemente. Für eine genaue Spezifikation sei hier auf die Referenzhandbücher des ATmega8515, des ST565 bzw. des BTM-222 verwiesen.

Die einzelnen Bauteile kommunizieren über einen 8-Bit-Datenbus. Besonders auffällig ist, dass der ATmega8515 eine Harvard-Architektur darstellt. Im Gegensatz zu einem Von-Neumann-Rechner liegen in einer Harvard-Architektur Daten und Programm in unterschiedlichen Speichern. Die Programme liegen im vergleichsweise großzügig bemessenen Programmspeicher (Flash), die Programmdateien, der Stack und der Heap teilen sich den mit 512 Byte knapp be-

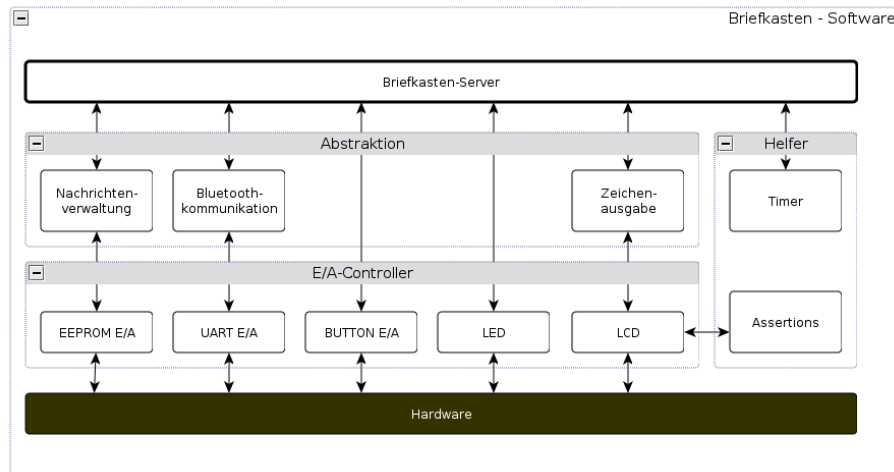


messenen Datenspeicher (SRAM). Für die persistente Speicherung von Daten über Zeiten ohne Stromzufuhr hinweg existiert ein dritter persistenter Speicher (EEPROM). Auch im EEPROM kann man nur 512 Byte speichern.

Der BTM-222-Baustein dient der Bluetooth-Kommunikation und arbeitet als Black-Box. Beispielsweise nimmt der Baustein bei entsprechender Konfiguration automatisch Verbindungen an. Der BTM-222 ist über eine serielle Schnittstelle ansprechbar. Die Schnittstelle dient zur Übertragung von Nachrichtentext und der Meldung von eingehenden Verbindungen. Man kann allerdings auch vom Mikrocontroller aus über die serielle Schnittstelle AT-Befehle an den BTM-222 übergeben.

3.2 Software-Architektur des Briefkastens

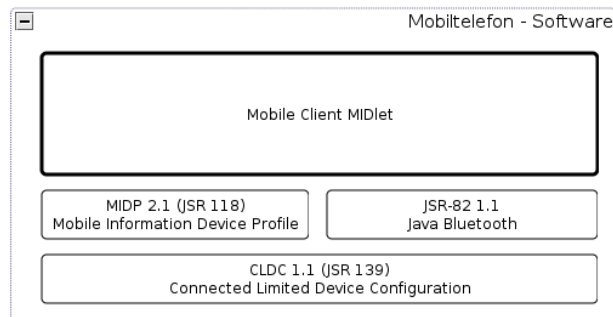
Auf der Hardware des Briefkastens läuft ein C-Programm, das aus verschiedenen, handlichen Modulen zusammen gesetzt ist. Ein Schaubild illustriert den Zweck, die verschiedenen Abstraktionsebenen und das Zusammenspiel der einzelnen Module.



Direkt über der Hardware liegen die E/A-Controller. Das sind Module, die alle Formen von Eingabe und Ausgabe steuern und von der tatsächlichen Hardware abstrahieren. Über den E/A-Controllern existieren Module, die für Abstraktion sorgen, die über die einfachen Aufgaben der E/A-Controller hinausgeht. Für manche Module, wie z.B. die Controller der Tasten oder Leuchtdioden ist eine weitere Abstraktion nicht notwendig. Ganz oben liegt das Serverprogramm des Briefkastens, das sich auch eines Timers bedient. Für Zwecke des Debuggings besteht ein Assertion-Modul, das mangels besserer Ausgabemöglichkeiten vom LCD abhängig ist.

3.3 Software-Architektur des Mobiltelefons

Die Applikation für das Mobiltelefon ist plattformunabhängig um auf Betriebssystemen und Mobiltelefonen ganz verschiedener Hersteller zu laufen. Sie ist in Java implementiert und baut auf drei Spezifikationen auf. Wie diese implementiert sind, interessiert uns nicht weiter.



Die Installation der Applikation erfolgt je nach Handy-Hersteller unterschiedlich. Auf den meisten Geräten lässt sich die Applikation sehr einfach installieren, in dem man sie z.B. über Bluetooth an das Handy schickt.

4 Briefkasten

Die gesamte Software auf dem Briefkasten ist in C programmiert. Änderungen am Code sollen sich möglichst nur lokal auswirken. Das Finden und Ausbessern von Schwachstellen wird dadurch erleichtert, dass das Programm in einzelne Module mit unterschiedlichen Verantwortlichkeiten aufgeteilt ist.

Modul	Pfad
EEPROM E/A	letterbox/eprom/eprom.h
UART E/A	letterbox/uart/uart.h
BUTTON E/A	letterbox/buttons/buttons.h
LED	letterbox/buttons/led.h
LCD	letterbox/lcd/lcd.h
Zeichenausgabe	letterbox/lcd/text.h
Bluetooth-Kommunikation	letterbox/uart/bt.h
Nachrichtenverwaltung	letterbox/message/message.h
Assertions	letterbox/assert/assert.h
Timer	letterbox/timer/timer.h
Server	letterbox/main.c

4.1 Arbeitsspeicher

Der Arbeitsspeicher (SRAM) des Mikrocontrollers ist auf 512 Byte beschränkt. Dies entspricht 512 ASCII-Zeichen, was für ein System, das mit Textnachrichten umgeht, nicht gerade viel ist. So hat sich letztendlich der Arbeitsspeicher als größte Hardwareeinschränkung ergeben, weit vor der Taktrate, die mit 16 MHz überaus großzügig bemessen war. Wir haben darauf geachtet, dass der Code möglichst effizient ist, wobei wir jedoch den Fokus - soweit es ging - auf klaren, verständlichen Code gelegt haben.

Jedoch mussten wir einige Abstriche machen, um Speicher zu sparen. So ist es trotz unseres zeilenbasierten Übertragungsprotokolls nicht möglich, eine Zeile Text direkt vom UART in den Arbeitsspeicher einzulesen, da die eingelesene Zeile kein Längenlimit hat, unser Arbeitsspeicher jedoch schnell an seine Grenzen kommt. Daher werden eingehende Zeilen direkt in den EEPROM geschrieben.

4.2 Robustheit

Eingebettete Systeme haben hohe Anforderungen, was die Zuverlässigkeit der Programme anbelangt. Besonders sorgfältig muss die Kommunikation zwischen

Briefkasten und dem Mobilgerät ablaufen.

Zu dem C-Programm müssen wir ehrlicherweise anmerken, dass wir uns nicht besonders um programmweite Konsistenz bei den verwendeten Datentypen gekümmert haben. Im Folgenden kommen nun die Modulbeschreibungen. Sie enthalten je eine Übersicht der deklarierten Prozeduren um einen Zusammenhang zur tatsächlichen Implementierung herzustellen.

4.3 E/A-Controller

Die E/A-Controller sind dafür zuständig, die Hardware auf der Ebene von Bits und Bytes zu steuern. Zu ihren Aufgaben gehört das Auslesen der Tasten, das An- und Ausknipsen der Leuchtdioden, das Beschreiben des Speichers, die Ansteuerung des LC-Displays und letztendlich die Kommunikation über die serielle Schnittstelle mit dem Bluetooth-Modul. Sie sind sozusagen die Treiber für das Server-System.

4.3.1 EEPROM

Das EEPROM-Modul stellt eine einfache Schnittstelle für Lese- und Schreibzugriffe auf den persistenten Speicher bereit:

```
void eeprom_write(unsigned int address, unsigned char data);  
unsigned char eeprom_read(unsigned int address);
```

Bytes können im EEPROM einzeln adressiert werden. Die Implementierung ist direkt aus der Referenzdokumentation entnommen.

Wir haben uns im gesamten Projekt bemüht, die Zahl der Lese- und Schreibzugriffe auf das EEPROM zu minimieren und wann immer möglich, nur mit Daten aus dem flüchtigen Arbeitsspeicher zu arbeiten.

4.3.2 UART

Die Kommunikation zwischen dem Briefkasten und dem Bluetooth-Bauteil erfolgt über eine serielle Schnittstelle. Diese serielle Schnittstelle wird von einem UART-Baustein implementiert. Für die Steuerung des UART-Bausteins haben wir Peter Fleurys UART-Library benutzt, die wiederum auf dem UART-Beispielcode von Atmel basiert. Die Library bietet Unterstützung für die Ansteuerung zweier separater UART-Bausteine, daher gibt es in der Bibliothek für jede Funktion zwei Versionen. Unser Mikrocontroller hat jedoch nur einen UART, sodass ein Teil der Funktionen ungenutzt sind. Dieser Code ist streng genommen redundant, wir haben uns jedoch entschieden, keine eigenen Änderungen an der Library vorzunehmen, um eventuelle zukünftige Updates einfach zu halten.

Das UART-Modul stellt die folgenden Prozeduren bereit:

```
extern void uart_init(unsigned int baudrate);
extern unsigned int uart_getc(void);
extern void uart_putc(unsigned char data);
extern void uart_puts(const char *s );
extern void uart_puts_p(const char *s );
extern void uart1_init(unsigned int baudrate);
extern unsigned int uart1_getc(void);
extern void uart1_putc(unsigned char data);
extern void uart1_puts(const char *s );
extern void uart1_puts_p(const char *s );
```

Die UART-Library ermöglicht das nichtblockierende Lesen von einzelnen Bytes, sowie das Schreiben von Bytes oder ganzer Bytefolgen. Eine Unterstützung für das Lesen von ganzen Strings, wie etwa einzelnen Zeilen, bietet diese Komponente nicht – diese Funktionalität wurde in der Bluetooth-Komponente selbst implementiert.

Wichtig bei der Benutzung der seriellen Schnittstelle ist die korrekte Konfiguration. Die Baudrate, also die Geschwindigkeit, mit der Symbole pro Sekunde über die Leitung geschickt werden, muss korrekt eingestellt sein. Ebenso muss darauf geachtet werden, ob ein Paritätsbit gesendet wird oder nicht.

4.3.3 Tasten

Das BUTTONS-Modul stellt die folgenden Prozeduren bereit:

```
char get_key(void);
```

Das Modul stellt nur die Möglichkeit bereit, abzufragen, ob und welcher Button gedrückt ist. Die Interaktion mit dem Benutzer wird nicht über Interrupts geregelt, sondern geht ausschließlich über regelmäßiges Abfragen. Die Hardware des Briefkastens verfügt über zwölf Tasten. Eine Abfrage liefert einen Rückgabewert von 1 bis 12 zurück, der spezifiziert, welche Taste gedrückt wurde. Auch diese Funktion blockiert nicht, daher wird 0 zurückgegeben, falls keine Taste gedrückt wurde.

Nur die vier Tasten direkt unterhalb des Displays finden Verwendung – die verbleibenden acht Tasten auf dem Boards dienen keinem Zweck..

4.3.4 Leuchtdioden

Das LED-Modul stellt die folgenden Prozeduren bereit:

```
void led_init(void);
void led_blink(uint8_t led);
void led_on(uint8_t led);
void led_off(uint8_t led);
```

```
void led_blink_times(uint8_t led, int n);
```

Das LED-Modul ist, wie sich das für Mikrocontroller fast schon gehört, als erstes entstanden, um überhaupt herauszubekommen wie die Interaktion mit der Hardware abläuft. Das Board enthält drei LEDs: eine rote, eine grüne sowie eine blaue, die links neben dem Display angebracht sind.

Die LEDs waren im Laufe des Projektes hauptsächlich für Debugging-Zwecke dienlich, da die Unterstützung des Displays erst relativ spät hinzugefügt wurde. So konnten durch das Blinken der LEDs auf einfache Weise kleine Integerwerte, wie etwa der aktuell gedrückte Button dargestellt werden.

Das fertige Projekt nutzt die LEDs nur noch für Statusinformationen wie den Verbindungsaufbau oder das Vorhandensein neuer Nachrichten.

4.3.5 Flüssigkristallanzeige

Das LCD-Modul bietet die Möglichkeit das LC-Display zu initialisieren. Es werden die grundlegenden Funktionen wie die Einstellung der Helligkeit, des Kontrastes und vieles mehr angeboten. Folgende Auflistung enthält alle Prozeduren:

```
void lcd_control(unsigned char control);  
void lcd_write(unsigned char data);  
void lcd_init(void);  
void lcd_clear(void);  
void lcd_light(unsigned char level);  
void lcd_contrast(unsigned char level);  
void lcd_set_page(unsigned char pagenum);  
void lcd_set_column(unsigned char colnum);
```

4.4 Abstraktion

In einer Abstraktionsschicht, die sich nur noch kaum direkt mit Bits und Bytes auseinandersetzen muss, befinden sich die Module für die Nachrichtenverwaltung, für die Kommunikation mit Bluetooth-Klienten und für die Ausgabe von Text auf der Anzeige.

4.4.1 Nachrichtenverwaltung

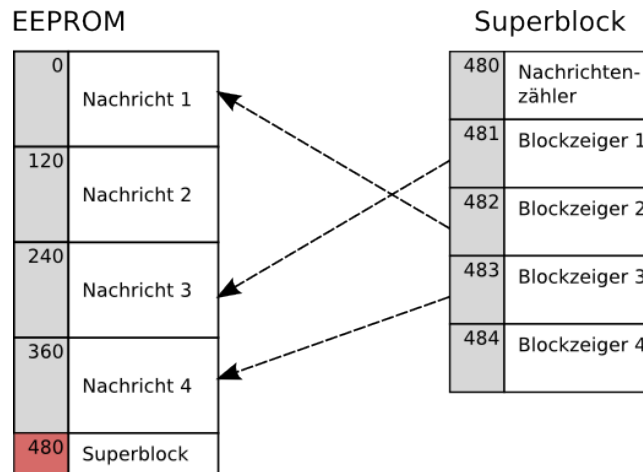
Die Nachrichtenverwaltung kümmert sich um das Auslesen, Speichern und Löschen der empfangenen Nachrichten. Die Nachrichteninhalte sind im EEPROM gespeichert. Da die Nachrichten zwar in geordneter Reihenfolge beim Briefkasten eingehen, diese aber vom Empfänger in beliebiger Reihenfolge gelöscht werden können, liegt über dem EEPROM-Speicher noch eine Indirektionsschicht. Der EEPROM-Speicher wird von der Nachrichtenverwaltung in verschiedene Blöcke

aufgeteilt, und zwar in sogenannte *Nachrichtenblöcke* und einen sogenannten *Superblock*.

Adresse	Datum	Format	Beschreibung
0	Status	char	STATE_EMPTY, STATE_NEW, STATE_READ Für zukünftige Erweiterungen.
1-7	Reserviert	—	Reserviert für zukünftige Erweiterungen.
8-119	Text	120 x char	Text der Nachricht. Durch ein Null-Byte wird das vorzeitige Ende einer Nachricht gekennzeichnet.

Der Text und der Status der Nachrichten sind in Nachrichtenblöcken zu je 120 Byte gespeichert. Der Grund, dass die Größe keiner Zweierpotenz entspricht, liegt an der geringen Größe des EEPROM-Speichers. In den 512 Bytes dieses Speichers muss auch noch der Superblock Platz finden. Das Limit der Nachrichtlänge auf 112 Bytes ersparte uns auch die Implementierung einer Scrollfunktion, damit die Nachricht auch dann gelesen werden kann, wenn sie nicht ganz auf die Anzeige passt. Das hätte natürlich ein schönes Feature dargestellt.

Der Superblock besteht aus *Blockzeigern* und einem *Nachrichtenzähler*, der angibt, wie viele Nachrichten momentan auf dem Briefkasten gespeichert sind. Die Blockzeiger bilden *Nachrichtennummern* auf Nachrichtenblöcke ab.



Wird vom Briefkasten eine neue Nachricht empfangen, und ist noch Platz für diese Nachricht, so wird der Nachrichtentext in einen freien Block geschrieben, ein Blockzeiger auf diesen Block angelegt und der Nachrichtenzähler erhöht. Die neue Nachricht erhält die größte Nummer.

Löscht der Empfänger eine Nachricht, so wird der zugehörige Blockzeiger entfernt. Die Nummern aller neueren Nachrichten werden dekrementiert, die Blockzeiger rücken auf (eine verkettete Liste würde diese Prozedur ersparen). Zuletzt wird der Nachrichtenzähler erniedrigt.

Dieses Prinzip führt dazu, dass sich die zeitliche Ordnung der Nachrichten stets in den ihnen zugewiesenen Nummern widerspiegelt, und dass bei Löschvorgängen sehr wenig Arbeit zu verrichten ist. Die Nachrichten auf dem EEPROM werden nicht wirklich gelöscht, die Blöcke werden freigegeben, indem die Blockzeiger entfernt werden.

Die Nachrichtenverwaltung bedient sich verschiedener Techniken, um den Anforderungen gerecht zu werden. Sie stellt ein Streaming-Interface zum Schreiben und Lesen von Nachrichten bereit, um den Einsatz von Puffern überflüssig zu machen. Damit können Schreib- und Lesevorgänge sehr effizient ablaufen.

Um die nötigen Schreib- und Lesezugriffe auf den EEPROM-Speicher zu begrenzen, wird der Superblock im Arbeitsspeicher zwischengespeichert und nur beim Löschen und beim Speichern einer Nachricht wird der Superblock in den EEPROM zurückgeschrieben. Die Ersparnis der Lesezugriffe ist offensichtlich, die der Schreibzugriffe jedoch nicht: Das Aufrücken der Blockzeiger soll nicht direkt auf dem EEPROM geschehen, sondern im Arbeitsspeicher.

Die Nachrichtenverwaltung ist so ausgelegt, dass sie auch mit einem korruptem Superblock umgehen kann. Dies ist recht wichtig. Man stelle sich vor, durch einen Stromausfall, ein sonstiges unerwartetes Ereignis oder durch ein erneutes Flashen der Software wird der Superblock korruptiert. Das kann direkt dazu führen, dass der Briefkasten sich nicht mehr starten lässt. Bei Programmstart wird der Superblock in den Arbeitsspeicher kopiert. Nun könnte durch den korrupten Superblock der Nachrichtenzähler negativ sein, was das Programm unter Umständen in eine Endlosschleife geraten lässt. Oder die Blockzeiger führen ins Nichts. Ebenso könnten zwei Blockzeiger auf den gleichen Nachrichtenblock zeigen. Auf all diese Fälle wird beim Einlesen des Superblocks geprüft und im Fehlerfall wird der Superblock in einen validen Nullzustand überführt.

Für die Nachrichtenverwaltung existieren gründliche automatische Tests. Damit diese Tests auf jedem Rechner laufen - und nicht nur auf dem AVR - kommt ein gemocktes EEPROM-Modul zum Einsatz.

Das Message-Modul exportiert die folgenden Funktionen:

```
bool message_new(void);
uint8_t message_write(char *text);
uint8_t message_write_char(char c);
bool message_open(uint8_t msg_num);
char message_read(void);
void message_close();
char message_state(uint8_t msg_num);
bool message_delete(uint8_t msg_num);
uint8_t message_count(void);
bool message_empty(void);
bool message_full(void);
void message_serialize(void);
void message_restore(void);
void message_validate(void);
```

4.4.2 Bluetooth-Kommunikation

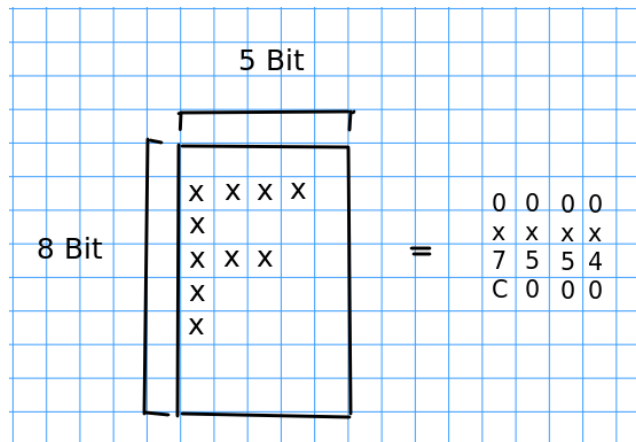
Das Bluetooth-Modul stellt die folgenden Prozeduren bereit:

```
bool bt_readline_buffer(char* buf, int max_size);  
bool bt_readline_message(int max_size);
```

4.4.3 Zeichenausgabe

Das Modul zur Zeichenausgabe bedient sich der Funktionen des LCD-Moduls und ermöglicht die Ausgabe von Text auf der Flüssigkristallanzeige. Es kümmert sich um die Umwandlung eines Zeichens (`char`) in eine darstellbare Bitmatrix und sorgt für einen automatischen Zeilenumbruch. Maskierungen erlauben es, dass die Textausgabe invertiert erfolgt (weiß auf schwarz). Das LC-Display unterstützt von sich aus keine Zeichenausgabe. Deshalb haben wir einen eigenen Zeichensatz entworfen, der auf die Größe und Auflösung des LC-Displays angepasst ist. Der Zeichensatz umschließt alphanumerische Zeichen und einige Satzzeichen, erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Ein Buchstabe wird durch eine 8x5-Bit-Matrix repräsentiert. Die Spaltenvektoren werden in je einem Byte gespeichert. Das oberste Bit entspricht dem höchstwertigen Bit. Eine 1 entspricht einem schwarzen Bildpunkt, die 0 einem weißen Bildpunkt. Mit der XOR-Maske `0xff` lässt sich so ein Schwarz-auf-Weiß-Buchstabe auf einfache Art und Weise invertieren. Diese Technik wird beim Zeichnen von Dialogen und Bedienelementen verwendet. Die Speicherung der Spaltenvektoren bietet sich auch an, da die Ausgabe an den LC-Display sowieso schon Spalte für Spalte erfolgt.



Mit diesem Format benötigt jedes Zeichen genau 5 Byte. Der Zeichensatz enthält über 45 Zeichen, womit er insgesamt über 225 Byte an Speicherplatz benötigt. Damit im Arbeitsspeicher kein wertvoller Platz verschwendet wird, ist der Zeichensatz mit der `pgmspace`-Erweiterung des GCC in den Programmspeicher ausgelagert.

Das Zeichenausgabe-Modul stellt die folgenden Prozeduren bereit:

```
void lcd_draw_char_masked(char c, unsigned char xor_mask);
void lcd_draw_char(char c);
void lcd_draw_string(char* s);
int lcd_char_to_index(char c);
void lcd_display_char(char c);
void lcd_display_char_masked(char c, unsigned char xor_mask);
void lcd_display_string(const char* s);
void lcd_display_string_masked(const char* s, unsigned char xor_mask);
```

4.5 Helfer

4.5.1 Timer

Eine robuste Kommunikation ist ohne Timeouts nicht vorstellbar, jedoch ist die Timeout-Behandlung sehr lowlevel, daher haben wir einen Wrapper geschrieben um uns das Leben einfacher zu machen. Das Timer-Modul bietet die Möglichkeit auf einfachere Art mit Timeouts zu arbeiten. Dazu wird zuallererst eine gewünschte Zeitspanne in `timer_start` definiert. Danach kann der Nutzer `timer_poll` aufrufen um herauszufinden ob diese Zeitspanne bereits überschritten wurde oder noch nicht. Intern benutzen wir den Quarz und setzen die Timer-Skalierung des Mikrocontrollers auf den Maximalwert 1024 und prüfen ob der Timer einen bestimmten, errechneten Wert überschritten hat – sobald dies der Fall ist, kann dem User ein abgelaufenes Timeout signalisiert werden.

Das Timer-Modul stellt die folgenden Prozeduren bereit:

```
void timer_init(void);
void timer_start(int new_timeout);
bool timer_poll(void);
```

4.5.2 Assertions

Das Assertion-Modul ist eine nützliche Methode zum Debuggen. Der problematische Teil ist die Ausgabe einer Nachricht, falls eine Assertion nicht zutrifft. Derzeit sind die Assertions von der LC-Anzeige und deren Steuerung abhängig. Das Assertion-Modul stellt die folgenden Prozeduren bereit:

```
void assert_true(char* error_msg, bool actual);
void assert_false(char* error_msg, bool actual);
void fail(char* error_msg);
```

4.6 Server

Der Server ist das Hauptmodul, das alle anderen Module benutzt. Er erledigt drei Aufgaben, das Empfangen von Nachrichten, die Verarbeitung der Benutzeranfragen und die Steuerung der Bedienungsoberfläche. Der Server arbeitet in einer hier natürlich erwünschten Endlosschleife. Aus Sicht des Servers gibt es keinerlei Interrupts. Tatsächlich verwenden die UART-Funktionen Interrupts, wovon der Server allerdings nichts mitbekommt und sich deshalb auf das regelmäßige, zyklische Abfragen von Zuständen beschränkt.

Zum Empfangen einer Nachricht wartet der Server auf eine über die serielle Schnittstelle eingehende 'CONNECT XYZ'-Nachricht. Das Lesen der eingehenden Daten erfolgt über das Bluetooth-Modul. Nach Aufbau der Verbindung wartet der Server ein bestimmtes Zeitfenster auf die Nachricht. Die eingehende Nachricht wird direkt über die Nachrichtenverwaltung in das EEPROM geschrieben. In beiden Fällen, ob nun eine Nachricht kommt oder nicht - wird die Bluetooth-Verbindung nach diesem Zeitfenster bzw. nach dem Lesen einer Zeile (mit Limit!) durch den Server mit einem AT-Kommando an den BTM-222 beendet. Dieses Vorgehen sorgt für einen stabilen Server, der auch durch Fehlverhalten oder Absicht des Clients nicht angreifbar ist. Eine Denial-of-Service-Attacke ist natürlich immer noch möglich.

Das Senden einer Empfangsbestätigung ist bisher nicht implementiert. Der Client muss sich also mit dem Prinzip 'fire and forget' begnügen.

Zwischen den Abfragen, ob eine neue Verbindung angenommen wurde, bearbeitet der Server Anfragen des Benutzers. Ist eine Taste gedrückt, so wird die entsprechende Aktion ausgelöst und gewartet, bis die Taste wieder losgelassen wurde.

Der Server steuert auch die Bedienungsoberfläche. Dabei unterstützt er das Anzeigen von modalen Dialogen, die in bestimmten Fällen auch vom Benutzer geschlossen werden können. Diese Dialoge bestehen aus Text, der die gesamte Anzeige füllt. Da diese Texte viel Speicher im SRAM benötigen, sind sie in den Programmspeicher ausgelagert. Um deren benötigten Speicherplatz einzuschränken könnte man sie noch komprimieren, in dem man Leerzeilen mit entsprechendem Linefeed kodiert anstelle der expliziten Form mit Leerzeichen. Davon haben wir allerdings mangels Notwendigkeit abgesehen.

Um die Knöpfe auf der Anzeige und die Dialoge in weißer Schrift auf schwarzem Hintergrund zu zeichnen, verwendet der Server die Möglichkeit des LCD-Moduls die Ausgabe zu maskieren. Die LC-Anzeige wird also nicht invertiert, sondern nur die Daten, die an die LC-Anzeige gehen.

Das Server-Modul ist in die folgenden privaten Prozeduren unterteilt:

```
static void lb_init(void);
static void lb_serve(void);
static void lb_check_user_request(void);
static void lb_check_connection(void);
static bool lb_is_connect(char *msg);
```

```

static void lb_force_disconnect(void);
static void lb_display_message(void);
static void lb_display_dialog(const char *pgm_msg, bool _closable);
static void lb_capture_message(void);
static void lb_set_new_as_current(void);

```

5 Mobiltelefon

Die Client-Anwendung auf dem Mobiltelefon ist in Java geschrieben. Sie baut auf drei Spezifikationen auf. Zum einen auf dem CDLC (Connected Limited Device Profile), das die grundlegenden Klassen der Standardbibliothek und die unterstützte Sprachfunktionalität auf den mobilen Geräten festlegt. Des weiteren benötigt die Anwendung noch eine Möglichkeit, eine graphische Benutzeroberfläche darzustellen. Dies liefert das MIDP (Mobile Information Device Profile). Zu allerletzt ist der Zugriff auf den Bluetooth-Stack im Mobiltelefon notwendig. Dafür sorgt die JSR-82-Spezifikation. Insgesamt ist das eine typische Umgebung für die Entwicklung einer Java-Anwendung. Man programmiert gegen eine Menge von Schnittstellen an und kümmert sich nicht um die spätere Implementierung.

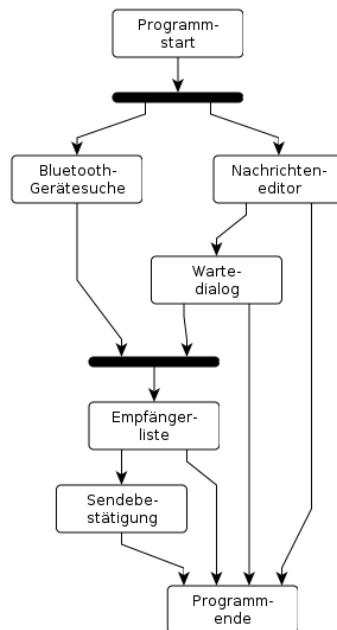
Die Client-Anwendung auf dem Mobiltelefon hat grundsätzlich zwei Aufgaben, zum einen die Kommunikation mit dem Benutzer, zum anderen die Suche nach Bluetooth-Geräten. Damit der Benutzer nicht lange auf das Ende der Gerätesuche warten muss, wird die Suche direkt bei Programmstart in einem eigenen Thread gestartet. Dies war eine kleine Herausforderung, da wir uns bei der Entwicklung der Anwendung nun mit drei verschiedenen Threads beschäftigen mussten.

Die Benutzerführung soll so einfach wie möglich gestrickt sein. Bevor der Empfänger ausgewählt werden kann, muss natürlich auf den Abschluss der Gerätesuche gewartet werden, falls dies bis dahin noch nicht erfolgt ist.

Die Anwendung ist in folgende Klassen untergliedert:

Klasse	Superklasse
CarrierpigeonMIDlet	javax.microedition.midlet.MIDlet
MessagePanel	javax.microedition.lcdui.Form
WaitPanel	javax.microedition.lcdui.Form
SendPanel	javax.microedition.lcdui.List
ErrorPanel	javax.microedition.lcdui.Form
DeviceDetector	java.lang.Object
DefaultDeviceDetector	DeviceDetector
MockDeviceDetector	DeviceDetector

Im Nachrichteneditor (`MessagePanel`) kann der Benutzer eine Nachricht eintippen. In der Regel bietet das Mobiltelefon dabei automatisch eine Schreibhilfe mit T9. Drückt man als Benutzer auf Senden, so erscheint unter Umständen ein



Wartedialog (`WaitPanel`) bis die Gerätesuche beendet ist. Eine Filterung der gefundenen Geräte erfolgt nicht, dem Benutzer wird also eine Liste von sichtbaren Geräten in seinem Umfeld präsentiert (`SendPanel`), in der ein Empfänger ausgewählt werden kann. Nach dem Senden der Nachricht wird eine Sendebestätigung angezeigt (keine Empfangsbestätigung).

Die Gerätesuche erfolgt mittels einem Observer-Pattern und der Klasse `javax.bluetooth.DiscoveryAgent`. Dabei haben wir sorgfältig auf korrektes Multi-Threading geachtet, und die beteiligten Klassen entsprechend synchronisiert, insbesondere um Race-Conditions zu vermeiden. Eine solche Race-Condition könnte z.B. in `DefaultDeviceDetector.waitForCompletion` auftreten, die dazu führt, dass das Mobiltelefon ewig den Wartedialog anzeigt, obwohl die Suche tatsächlich schon abgeschlossen ist. Die in der obigen Illustration sichtbare Barriere wird mit der Kombination aus `wait` und `notifyAll` erreicht. Die sonst übliche Technik mit `Thread.join` hat sich hier nicht angeboten.

Wie auch in Java Swing verwendet auch die Oberfläche auf dem Mobiltelefon zwei verschiedene Threads. Bei Swing ist das der *Event-Dispatching-Thread* und der *Realizing Thread*. Bei MIDP funktioniert das analog. Die MIDP-Spezifikation zeigt, dass man mit `Display.callSerially` Aufgaben in die Warteschlange des Event-Dispatching-Threads einreihen kann. Diese Möglichkeit haben wir intensiv genutzt, um eine korrekte Bedienungsfläche mit schnellen Antwortzeiten zu implementieren.

Die Anwendung besitzt leider keine automatischen Tests. Dafür allerdings unterstützt sie das manuelle Testen in einer simulierten Umgebung. Mit dem

`MockDeviceDetector` kann das Programm im Simulator ohne einer echten Gerätesuche und echten Bluetooth-Verbindungen laufen.

6 Projektumgebung

6.1 Zusammenarbeit

Das Projekt ist bei `bitbucket.org` registriert, wo wir unser Open-Source-Projekt entgeltfrei in einem Mercurial-Repository liegen haben. Vielen Dank an dieser Stelle! Mercurial hat sich als sehr gute Wahl herausgestellt. Als verteiltes Versionierungssystem glänzte es besonders, wenn wir uns mal wieder in Räumen oder Zügen ohne Internetanschluss bewegten oder gelegentlich ohne größere Absprachen treffen zu müssen, an den gleichen Dateien arbeiteten.

Bei der Entwicklung saßen wir in der Regel mindestens zu zweit an jeder Aufgabe, was zu der erfreulichen Tatsache geführt hat, dass es kaum zu solchen Situationen gekommen ist, in denen *keiner* von zwei Leuten wusste, warum eine bestimmte Funktion wie programmiert worden ist. Die Verteilung des Wissens über die Entwickler war deshalb nahezu optimal.

6.2 Werkzeuge

Die Programmierung erfolgte auf handelsüblichen Notebooks, die dazu benötigten Build-Skripte und Werkzeuge sind auf den meisten Betriebssystemen zu bekommen. Das Serverprogramm für den Briefkasten kann mit dem AVR-GCC (wir haben die Versionen 4.3 und 4.4 verwendet) und der `avr-libc` prinzipiell unter jedem Betriebssystem kompiliert werden. Das Aufspielen der kompilierten Software geschieht über `avrdude` und ab diesem Zeitpunkt ist das Gerät unabhängig vom Notebook.

Die Software ist in C99 geschrieben, nutzt aber spezielle Erweiterungen des AVR-GCC, sodass die Portierbarkeit in dieser Hinsicht eingeschränkt ist. Dies scheint aber kein großes Problem zu sein, da der GCC sich in der Community der AVR-Programmierer als ein Standardtool etabliert hat.

Hardware	ATmega 8515, BTM-222, ST7565 LCD, AVRISP2
Languages	C, Java, Python
Framework	Java Micro Edition, Peter Fleury's UART library
Compilation	<code>avr-gcc</code> , <code>avr-objcopy</code> , <code>avr-strip</code> , <code>avrdude</code> , <code>avr-nm</code> , <code>avr-size</code> , <code>splint</code> , <code>python</code> , <code>ant</code>
Helpers	<code>hcitool</code> , <code>rfcomm</code> , <code>gtkterm</code> , <code>jpneulator</code>

7 Ausbaumöglichkeiten

Wie immer gibt es eine Menge Möglichkeiten, die derzeitige Implementation zu erweitern und zu verbessern. Wir listen hier einige Verbesserungsmöglichkeiten auf:

Scrollen durch den Nachrichtentext Wenn genügend persistenter Speicher vorhanden wäre, könnte man längere Nachrichten zulassen. Eine Scrollfunktion würde notwendig, ein nettes Feature.

Erweiterung des persistenten Speichers 512 Byte reichen gerade so für vier Nachrichten. Für Test- und Demonstrationszwecke ist dies natürlich völlig ausreichend, eine Erweiterung wäre aber vielleicht technisch interessant.

Nachrichtenverwaltung mit verketteter Liste Abschaffen des Superblocks und Einführung einer verketteten Liste, sowohl in der programminternen Darstellung im Arbeitsspeicher als auch in den Nachrichtenblöcken des EEPROMs. Das würde wohl zu einem natürlicheren und leichter verständlichen Modell der Nachrichtenverwaltung führen.

Empfangsbestätigung senden Das Mobiltelefon erhält eine Rückmeldung vom Briefkasten nach dem dieser die Nachricht erhalten hat. Damit lässt sich auch das Problem lösen, was zu tun ist, wenn der Briefkasten voll ist.

Automatische Tests Es ist uns gelungen, SimulAVR als AVR-Simulator mit dem GNU Debugger zu verbinden und dort auch das AVR-Programm auszuführen. Allerdings hatten wir Probleme mit der Simulation des EEPROMs und haben diesen Faden nicht weiter verfolgt. Auch die Möglichkeiten zum Testen der Anwendung des Mobiltelefon haben wir nicht ausgeschöpft.

Vervollständigung des Zeichensatzes Bisher sind mehr als 45 Zeichen darstellbar. Nachdem im Programmspeicher noch einiger Platz verfügbar ist, könnte man den Zeichensatz auf Umlaute und andere Sonderzeichen erweitern.

Korrektes Encoding auf dem Mobiltelefon Momentan gibt es bei dem Programm auf dem Mobiltelefon die typischen Probleme mit Umlauten. Das Eingabetextfeld ist auf 112 Zeichen beschränkt. Das Mobiltelefon sendet aber zwei Bytes für einen Umlaut (UTF-8).

Einsatz der Leuchtdioden Kosmetisches Feature. Implementierung mit derzeitigem zyklischen Servermodell ist allerdings nicht ganz trivial. Eine Lösung wäre die Verwendung der Technik des Timers, um z.B. Blinken der LEDs während des Empfangens einer Nachricht zu ermöglichen.

Filterung der Geräte Auf dem Mobiltelefon werden derzeit alle Bluetooth-Geräte aufgelistet. Schön wäre es hier, wenn nur die Geräte angezeigt werden, die das entsprechende Nachrichtenprotokoll sprechen.